

CRDS-FY2013-FR-02

研究開発の俯瞰報告書

環境・エネルギー分野 (2013年) 第2版

Panoramic View of the Environment
and Energy Field (2013) 2nd Edition



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

環境・エネルギー分野

環境・エネルギー分野の範囲と構造

環境・エネルギー分野を下図のように設定し、とくに**エネルギー分野を中心に「化石資源エネルギー」「再生可能エネルギー」「エネルギー利用技術・システム」**の3区分について俯瞰検討を実施した。



取り組みを強化すべき研究開発領域

3区分において、現状の課題認識から将来の社会的要請を踏まえて、今後取り組むべき**25の研究開発領域**を抽出した。

短期：今後10年以内に実用化に移行するか、理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる。

中長期：今後10～30年の間に実用化に移行するか、理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる。

の視点で分類した。

俯瞰区分	短期	中長期
化石資源エネルギー	- 低品位・未利用固体炭素資源の革新的転換・輸送・利用技術 - 超高効率固体酸化物形燃料電池 - 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な石炭火力発電技術	- メタンハイドレート利用技術 - 超高温材料と伝熱技術 - 革新的電気化学反応器の基盤技術 - 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 - 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒 - 石油化学品の革新的製造プロセス - 次世代型バイオ燃料
再生可能エネルギー	- 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 - 地域環境適合高性能太陽光発電システム技術 - 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム - 太陽熱利用の革新的技術・システム	- バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 - 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術 - 高温地熱エネルギー革新的利用技術
エネルギー利用技術・システム	- 低コスト・高効率燃料電池 - 高効率ガソリンエンジン - 中低温熱利用基盤技術	- 次世代二次電池 - 再生可能電力による化学品生産技術 - 電力国際ネットワーク基盤技術
	- エネルギーキャリア基盤技術 - 次世代エネルギーネットワーク基盤技術	

社会的・経済的インパクト

環境・生態系の保全

- ・高効率火力発電の導入。
- ・再生可能エネルギー導入拡大。
- ・海外（特に新興国）への高効率エネルギー変換技術供与による温室効果ガス削減。

エネルギー自給率向上

- ・各種再生可能エネルギー技術の革新による、導入拡大と低コスト化。
- ・蓄電技術やエネルギーキャリア技術の向上による再生可能エネルギー供給の平準化。
- ・スマートなエネルギー需給技術による緊急時対応の強化。

国際貢献

- ・途上国に対し、高効率火力発電、再生可能エネルギー、省エネルギー技術供与による日本のプレゼンス向上。
- ・エネルギーシステム技術供与による、電力国際ネットワーク基盤の構築。
- ・上記による国際競争力強化。

新産業・雇用創出

- ・再生可能エネルギー関連産業の発展（エネルギー供給産業、エネルギー機器供給産業等）。
- ・次世代二次電池（EV、グリッド連携等）
- ・次世代技術開発の先取り、当該技術での世界リード（国際標準化等）。

国際比較結果のポイント（概要）

日本…基礎・基盤的な研究・技術では諸外国に比べてきわめて高いレベルにあるが、石炭など一部の分野では研究者の減少が問題。分野間連携が弱く、異なる学問分野間での協働による新技術創出は米国と比べて遅れがち。応用開発では、産業界が国の補助のもと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。

米国…DOEを中心とした巧みな研究開発体制のもとで新しい技術の芽を生む土壌があり、基礎、応用、産業化さらには海外展開による従来技術の拡大まで広く活発な取り組みがある。

欧州…FP7の下での大型プロジェクトの推進など、バランスよく基礎、応用、産業化を進める。研究者層も厚い。英国・ノルウェー・オランダを中心に洋上風力の研究開発が非常に進んでおり産業化も順調。東欧・ロシアも含めた電力・ガスの域内ネットワークを構築している。

中国…基礎研究レベルは現状それほど高いとは言えないが、応用、産業化と合わせて順調に伸びている。また海外からの技術移転のスピードが速く、国内研究体制も整備、拡充されつつある。他方、エネルギー利用においては環境問題も含めて問題が山積している。

韓国…中国と同様、基礎、応用、産業化はそれぞれ順調に伸びている。日米欧の個別要素技術の取り込みと産業化の能力は高く、輸出産業にも活かしている。国内のエネルギー関連のシステム構築は日本と同様にこれからだが、産業の集約と戦略的政策の実行に優れている点は注目すべき。

今後の研究開発の方向

化石資源エネルギー

- 1) 利用効率の格段の向上を目指す
- 2) 特定の化石資源に絞らず**ベストミックス**を基本とする
- 3) 化石資源の**種類ごとに必要な技術開発**をバランス良く進める

再生可能エネルギー

- 1) **再生可能エネルギー導入を最大化**する次世代技術を開発する
- 2) 食糧資源と競合せずに**化石資源の代替**を促進する
- 3) **地域の特性**に適したエネルギーを導入する

エネルギー利用技術・システム

- 1) 再生可能エネルギーも含めた**エネルギー総合利用効率の向上**
- 2) 緊急時**エネルギー確保**を可能とする**スマートなエネルギー需給システム**の構築

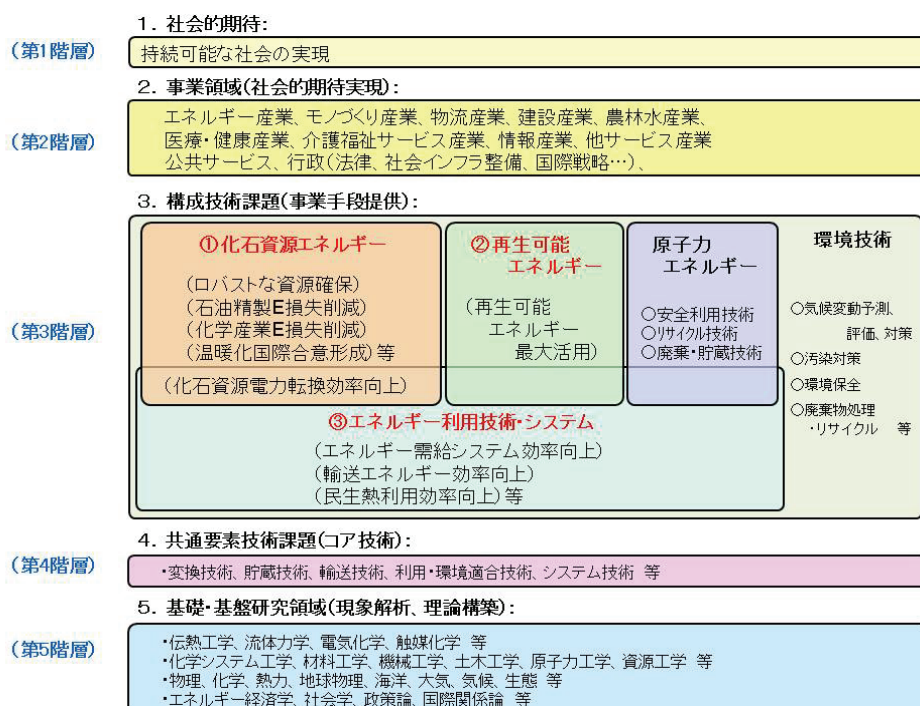
要素技術から、社会制度も含めたシステム技術の研究開発

エグゼクティブサマリー

環境・エネルギー分野は、資源・環境制約下で持続可能な社会を構築していくために必要なさまざまな技術が組み合わされた、課題駆動の科学技術分野である。対象となる範囲は広く、さまざまな科学技術知識の動員が必要である。本書は、独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST-CRDS）が、第一線で活躍する研究者あるいは当該領域の有識者の協力を得て、諸外国の研究動向も含めて、環境・エネルギー分野を俯瞰し調査した結果をまとめたものである。

俯瞰を行うにあたり、東日本大震災や福島原発事故など昨今の国内情勢を踏まえ、エネルギー分野を中心に俯瞰を行った。まず、我が国のエネルギー・フローならびに資源輸入額と二酸化炭素排出量の関係を概観し、我が国におけるエネルギー需給構造を大局的に捉えることとした。その上で、エネルギー政策上の基本原則であるエネルギーの安定供給（Energy）、環境保全（Environment）、経済成長（Economy）、いわゆる 3E を同時に達成するという基本方針に立ち、エネルギー分野を「化石資源エネルギー」、「再生可能エネルギー」、「原子力エネルギー」、「エネルギー利用技術・システム」の4つの俯瞰区分に大別し、検討を進めることとした。なお、「原子力エネルギー」区分に関しては本報告書では直接的には取り上げず、他の3区分の技術開発の進捗に応じて、それらを補うものとして安全性を確保しながら利用していくものと想定して、今後の課題とした。俯瞰領域の全体像を以下の図に示す。さらに、各区分において、現状の課題認識から将来の社会的要請を踏まえて、今後取り組むべき主要な 25 の研究開発領域を抽出し、短期、中長期の視点で分類して表にまとめた。

環境・エネルギー分野俯瞰の範囲と構造



取り組みを強化していくべき主要な研究開発領域

俯瞰区分	短期	中長期
化石資源 エネルギー	• 低品位・未利用固体炭素資源の革新的転換・輸送・利用技術 • 超高効率固体酸化物形燃料電池 • 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な石炭火力発電技術	• メタンハイドレート利用技術 • 超高温材料と伝熱技術 • 革新的電気化学反応器の基盤技術 • 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 • 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒 • 石油化学品の革新的製造プロセス • 次世代型バイオ燃料
再生可能 エネルギー	• 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 • 地域環境適合高性能太陽光発電システム技術 • 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム • 太陽熱利用の革新的技術・システム	• バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 • 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術 • 高温地熱エネルギー革新的利用技術
エネルギー 利用技術・ システム	• 低コスト・高効率燃料電池 • 高効率ガソリンエンジン • 中低温熱利用基盤技術	• 次世代二次電池 • 再生可能電力による化学品生産技術 • 電力国際ネットワーク基盤技術
	• エネルギーキャリア基盤技術 • 次世代エネルギーネットワーク基盤技術	

我が国のエネルギーに関わる近年の歴史を振り返ると、1970年代の石油危機以降、エネルギー安全保障が重視されるようになり、石油代替エネルギーの開発・導入、省エネルギーの促進など、脱石油政策の下でエネルギー消費を抑えながら安定成長を達成した。1990年代には地球温暖化問題への対応の必要性が国際的に高まり、環境性への取り組みが強化された。2000年代以降は、3Eの同時達成という挑戦的な課題に直面し、有効な解決策が見出せていない。経済が低迷するなか、エネルギーについても国としての戦略は揺れている。エネルギー利用の高効率化や省エネルギーでは世界最先端を走る一方、再生可能エネルギーの市場導入は進まないなど、技術開発には優れた成果を上げながらも総体として顕著なイノベーションを実現していない。こうした中、東日本大震災と福島原発事故の発生は、中長期でのエネルギー需給のあり方を根本から問う機会となった。

他方、日本を取り巻く国際環境は大きく変化している。とりわけ新興国のエネルギー需要は増加を続け、それに伴い温室効果ガス排出も増加し続けている。エネルギー需要を主に満たしているのは依然として化石燃料であるが、再生可能エネルギーの導入も進んできた。後者のうちバイオ燃料への期待が高まってはいるが、エネルギー収支や持続的な土地利用などには課題が残る。石油については、中東地域におけるカントリーリスクが高まり、米国は新たなオイル、ガスの生産を本格化させ、世界のパワーバランスや経済情勢を変えつつある。

今後の研究開発の方向については、まず、当分の間エネルギー供給源として主として化石資源に頼らざるを得ず、その利用効率の格段の向上が急務であり、かつ中長期的な研究開発戦略が必要といえる。再生可能エネルギーについては、原子力への多大な依存に国民の合意が成されなくなった今、最大限の活用のための技術確立が急務となっている。これらのエネルギー資源を、環境特性、経済性の側面から総合的に評価したうえで、エネルギー・ベストミックスの視点から研究開発を推進す

ることが必要となる。さらに、エネルギー利用技術・システムについては、需要端における、再生可能エネルギーも含めたエネルギー総合利用効率の向上、また緊急時エネルギー確保を可能とするスマートなエネルギー需給システムの構築に向けて、要素技術の研究開発から、社会制度も含めたシステム技術の研究開発を急ぐ必要がある。

以下に当該分野の俯瞰調査に基づく、区分ごとの各国の主な特徴について記す。

<日本>

基盤的な技術では諸外国に比べて極めてレベルが高いが、石炭など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、異なる学問分野間での協働による新技術創出は米国に比べて遅れがちである。応用開発では、産業界が国の補助のもとに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、太陽光やバイオマスエネルギーの基礎・応用研究のプロジェクトが数多く行われ成果も出ているが、産業化で諸外国に劣る。地熱も同様に基礎・応用研究が盛んで技術は海外に展開されているが、国内での産業化は政策上の理由で停滞している。エネルギー利用技術については、環境・省エネルギー技術は世界的競争力をもつが、海外技術移転などをも可能とする革新的技術の研究開発に取り組む必要がある。利用システムについては、グローバルな視点から中長期的研究開発への取り組みが必要である。

<米国>

化石資源関連では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、今後新規技術については有望である。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。一方、地熱や太陽熱については基礎・応用研究ともにもっとも盛んで、産業化も順調に進んでいる。バイオマスについては、巧みな研究開発体制のもとでレベルの高い基礎・応用研究が行われ、産業化も進んでいる。エネルギー利用技術・システムについては、基礎研究は進んでいるが応用開発、実用化は中位である。インフラの劣化もあり、また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に至るまで、幅広く戦略的取り組みが開始されている。

<欧州>

第7次研究枠組み計画（FP7）などにより大型プロジェクトが推進され、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。英国・ノルウェー・オランダを中心に洋上風力の研究開発が非常に進んでおり産業化も順調である。アイスランドでは地熱の産業化が進んでいるが、研究開発へは注力が少ない。太陽熱では「サブサハラ・デザートック」に関連した研究開発が進められている。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。個別利用技術においても輸送用エンジン技術は世界のトップクラスを維持し、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いる。

＜中国＞

化石資源分野の基礎研究レベルはあまり高くはないが、集中的な資金投入などによる海外からの技術導入が続いており、今後の進展が予想される。従来型の太陽光技術については基礎・応用研究、産業化のいずれも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。太陽熱に関しては基礎研究から産業化まで盛んに行われている。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り、やがて質の面でも先進国に並ぶ可能性がある。エネルギー利用においては、環境問題も含めて問題が山積しており、日本よりも 20～30 年遅れる。

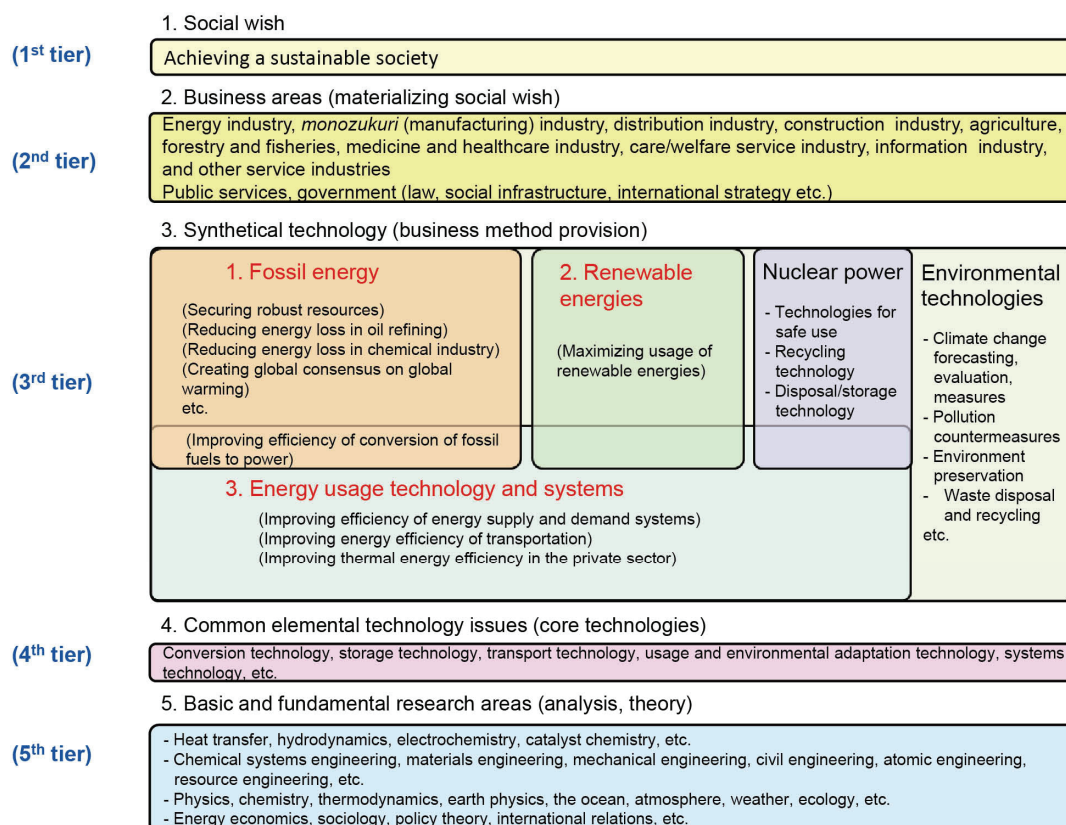
＜韓国＞

化石資源関連においては、製鉄分野を除き存在感が薄い。また中国と同様、従来型の太陽光技術については基礎・応用研究、産業化のいずれも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ほとんど行われていない。日米欧の個別要素技術の取り込みと産業化の能力は高く、輸出産業にも活かしている。国内のシステム構築は日本と同様これからであるが、産業の集約と戦略的政策の実行に優れている点は注目すべきである。

Executive Summary

The environment and energy is an issue-driven science and technology field, in which various technologies should be combined in order to establish a sustainable society under the constraints of resources and the environment. The scope encompassed is broad, and the mobilization of all sorts of scientific and technological knowledge is required. This report is compiled by the Center for Research and Development Strategy of the Japan Science and Technology Agency (CRDS-JST), in which we have tried to overview the environmental and energy field including overseas research trends with the cooperation of frontline researchers and other experts.

Taking into consideration the recent domestic situation such as the Great East Japan Earthquake and the Fukushima nuclear power plant accident, we decide to focus the overview upon the energy fields. First, we survey *Japan's energy flow* and *the relationship between the volume of imported resources and CO₂ emissions*, and broadly ascertain the supply and demand structure of energy in Japan. Based on this, with the basic stance of simultaneously attaining the “3Es” (Energy, Environment and Economy) that form the fundamental principles of energy policy, we split for our consideration the coverage into the four major overview categories, *i.e.*, “fossil energy,” “renewable energy,” “nuclear energy,” and “energy usage technologies and systems.” It is noted that this report does not directly touch upon the nuclear energy category, but envisages it as something that will be used, while maintaining safety, to complement the other three categories according to their technological development; it is therefore left as a topic for the future. An overall scope of the overview is provided in the diagram below. In the three categorized fields, we identify 25 major research areas that should be promoted in the years ahead according to future social needs formulated from current issue knowledge; these were then classified into short and mid-to-long term target fields as shown in another table below.



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

Overview category	Short term	Mid- to long-term
Fossil energy	● Innovative conversion, transport and usage technologies for low-grade/unused solid state carbon resources ● Ultra-efficient solid oxide fuel cells ● Coal-fired generation technologies that have outstanding load management ability and can greatly reduce CO₂ emissions	● Methane hydrate usage technologies ● Ultra-high temperature materials and heat transfer technologies ● Fundamental technologies for innovative electrochemical reactors ● Sophisticated steelmaking technologies using inferior/unused solid state carbon resources ● Low-temperature catalysts for exhaust heat recovery through endothermic reaction ● Innovative manufacturing processes for petrochemical products ● Next-generation biomass fuels
Renewable energies	● Innovative technologies for the large-scale popularization of floating wind turbine generation system ● Regional environment-friendly high performance solar fuel cell system technologies ● Binary power generation systems utilizing unused hot spa energy ● Innovative technologies and systems for solar thermal use	● Fundamental analytical technologies of biofunctions for accelerating biomass energy production ● Fundamental technologies for the popularization across wide areas of ultra-efficient solar power generation ● Innovative usage technologies for high temperature geothermal energy
Energy usage technology and systems	● Low cost/high efficiency fuel cells ● High-efficient gasoline engines ● Fundamental technologies for mid/low-temperature thermal usage	● Next generation rechargeable cells ● Chemical product manufacturing technologies using renewable power ● Fundamental technologies for international electricity network
	● Fundamental energy carrier technologies ● Fundamental technologies for next-generation energy network	

Key Research and Development Areas

Looking back on the history of Japan's energy in recent years, we see that after the oil crisis of the 1970's an emphasis was placed upon energy security, and stable growth was achieved through curbing consumption under a policy of becoming less dependent on oil, *i.e.*, developing and introducing alternatives to oil, and encouraging energy saving. In the 1990s the needs to address the issue of global warming grew on an international scale, and environmental measures were bolstered. Since the first decade of the 21st century we were faced with the challenging issues of simultaneously achieving the 3Es, but no valid solutions have been found. In the midst of economic stagnation, the nation's energy strategy is wavering. Although Japan is a world leader in efficient energy utilization and energy saving, the introduction of renewable energies to the market is making little progress, and while excellent results are obtained in technological developments little notable innovation has been made. Against this backdrop, the Great East Japan Earthquake and the Fukushima nuclear accident have presented an opportunity for fundamentally questioning the ideal formats for national energy supply and demand over the mid- to long-term.

On the other hand, the global environment surrounding Japan is changing greatly. In particular, the energy demand in the emerging economies continues to rise, and this is leading to an ongoing increase in greenhouse gas emissions. As ever, it is mainly fossil fuels that are satisfying the demand for energy, but the introduction of renewable energies has also made solid progress. There are high hopes for biomass fuels, although the questions of energy balance and sustainable land use remain unanswered. With regards to oil, geopolitical risks in the Middle East are increasing, while the U.S. is pursuing the fully-fledged production of new oil and gas, so the world's power balance and economic situation continues to shift.

In terms of the direction of future research and development, for the time being there is no choice but to depend upon fossil resources as the main energy source; a marked improvement in the efficiency of their usage should be a matter of the utmost urgency, for which mid- to long-term research and development strategies are necessary. With regard to renewable energies, there is an urgent need to establish technologies to maximize their usage, as there is no longer a consensus among the Japanese public in favor of being heavily dependent on nuclear energy. It is essential that, having comprehensively evaluated the environmental characteristics and economy of these energy resources, we promote research and development from a perspective of the best energy mix. Furthermore, from a viewpoint of energy utilization technologies

and systems, there is a need to accelerate research and development on elemental as well as systems technologies covering social systems for improving the overall energy efficiency at the demand side including renewable energies and also for establishing smart energy supply and demand systems to secure energy in a time of emergency.

The following is an outline of the main features in each country based on the fields covered in the overview.

JAPAN

Although the fundamental technologies in Japan are on a level well beyond other nations, the fact that there are a declining number of researchers in some fields, such as in coal, is a problem. Moreover, cross-disciplinary cooperation is weak, and the creation of new technologies through joint work between different disciplines tends to lag behind that of the U.S. In the field of applied and development research, the industrial sector is making fervent development efforts with help from the government, but only a few of these efforts have widely materialized. With regard to renewable energies, a large number of basic and applied research projects on solar energy and biomass have been fruitfully conducted, but efforts to commercialize them fall behind those of other nations. Likewise, basic and applied research on geothermal power is widely carried out and technologies are used overseas, but domestically the field is foundering due to policy reasons. With regard to energy utilization, Japan's environmental and energy-saving technologies are globally competitive, but there is a need to conduct research and development pursuing innovative technologies that can be transferred overseas. It is essential that mid- to long-term research and development on usage systems be pursued with a global perspective.

U.S.A.

The basic technology level for fossil resources is high, but overall researchers are somewhat thin on the ground. However, the U.S. is a fruitful soil for nurturing innovative technologies, and there is a base for optimism regarding future innovations. Application and commercialization is being pursued through the expansion of existing technologies overseas, while on the other hand the already vibrant basic and applied research on geothermal and solar energy is also moving healthily towards commercialization. A dexterous research and development system for biomass has led to high-level basic and applied research, and its commercialization is proceeding. In the field of energy usage technologies and systems, America's basic research is advancing, but its applied research and commercialization is just middling. In the light of the

deterioration of its infrastructure and from the perspective of fostering new industry, the Department of Energy (DOE) is at the center of some wide-ranging strategic initiatives covering both basic and applied research.

EUROPE

Large-scale projects under the Seventh Framework Programme (FP7) and so on are being pursued, and there is a good depth and balance in the region's basic and applied research and industrialization. Floating wind turbine research and development is very advanced, centering on the efforts of the United Kingdom, Norway and Holland, and industrialization is proceeding well. The industrialization of geothermal power in Iceland is advancing, but not much effort is being put into research and development. In the field of solar power, research and development related to sub-Saharan Desertec initiatives is being pursued. Regional networks for electricity and gas are being constructed, including those in Eastern Europe and Russia. In the fields of individual usage technologies too, the transport engine technologies are the best in the world, and there is a positive attitude to the introduction of renewable energies, which is being accelerated as social systems.

CHINA

The level of basic research in fossil resource field is not particularly high, but there is an ongoing introduction of technologies from overseas politically guided by concentrated investment, and further progress is expected in the future. Although basic and applied research and industrialization regarding conventional solar power technologies are steadily growing, there is very little research into next-generation solar cells. Efforts ranging from basic research to industrialization are numerous in the field of solar thermal energy. As in South Korea, the technology transfer from overseas is rapid, the domestic research setup is starting to expand, and it is quite feasible that the quality of environmental and energy technologies in China will one day be on a par with those of the developed nations. In terms of energy usage, China faces many issues, not least of all its environmental problems, and it is about 20 to 30 years behind Japan.

SOUTH KOREA

With the exception of the field of steelmaking, efforts toward fossil fuels are sparse. Again, as is the case in China, while there is a steady growth in basic and applied research and industrialization regarding conventional solar power technologies in South Korea, hardly any research into next-generation solar cells is visible. Their incorporation and industrialization capabilities of

industrial elemental technologies of Japan, the U.S. and Europe are high, and these are being put to good use in expert industries. The creation of domestic systems is, as is the case in Japan, something for the future; but South Korea's consolidation of its industries and its excellence in implementing strategic policy are strong points worth continuing observation.

目 次

エグゼクティブサマリー

1. 目的と構成	1
1.1 俯瞰報告書作成の目的	1
1.2 構成	1
2. 俯瞰対象分野の全体像	2
2.1 分野の範囲と構造	2
2.1.1 分野の範囲	2
2.1.2 分野俯瞰の構造	4
2.2 分野の歴史、現状、及び今後の方向性	7
2.2.1 分野の歴史と現状	7
(1) エネルギーに関わる日本社会の変化	7
(2) 技術的観点からのエネルギー分野の特徴とその進展	16
(3) エネルギー分野の研究開発施策の推移	20
(4) 俯瞰区分ごとの需給技術の動向	23
(5) 国際動向	28
(6) まとめ	31
2.2.2 今後の方向性	32
(1) 社会の方向	32
(2) 研究開発の方向性	33
3. 研究開発領域	46
3.1 化石資源エネルギー区分	48
3.1.1 低品位・未利用固体炭素資源の 革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）	50
3.1.2 メタンハイドレート利用技術（中長期）	55
3.1.3 超高温材料と伝熱技術（中長期）	59
3.1.4 革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）	62
3.1.5 超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）	65
3.1.6 負荷運用性に優れ CO ₂ の大幅低減が可能な 高効率石炭火力発電技術（短期）	69
3.1.7 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製銦技術（中長期）	73
3.1.8 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）	77
3.1.9 石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）	79
3.1.10 次世代型バイオ燃料（中長期）	82

3.2 再生可能エネルギー区分	84
3.2.1 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期） ..	87
3.2.2 バイオマスエネルギー増産加速化のための 生物機能解析基盤技術（中長期）	92
3.2.3 地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）	96
3.2.4 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期） ...	101
3.2.5 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）	106
3.2.6 高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）	110
3.2.7 太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）	115
3.3 エネルギー利用技術・システム区分	120
3.3.1 低コスト・高効率燃料電池（短期）	122
3.3.2 次世代二次電池（中長期）	127
3.3.3 高効率ガソリンエンジン（短期）	131
3.3.4 中低温熱利用基盤技術（短期）	136
3.3.5 エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）	140
3.3.6 再生可能電力による化学品生産技術（中長期）	145
3.3.7 次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）	148
3.3.8 電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）	156
参考文献	160
専門用語説明	164
（付録1） 検討の経緯	171
（付録2） 執筆協力者一覧	173
（付録3） 研究開発の俯瞰報告書（2013年） 全分野で対象としている研究開発領域一覧	175
（付録4） 索引	182
謝辞	185

1. 目的と構成

1.1 俯瞰報告書作成の目的

この報告書は、2013年3月に発行した「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2013年）」の第2版として、当該分野の俯瞰結果を一部改訂し、とりまとめたものであり、JST 研究開発戦略センター（CRDS）が作成する俯瞰報告書（全7冊）の一部をなすものである。

俯瞰報告書は、CRDS が政策立案コミュニティ及び研究開発コミュニティとの継続的な対話を通じて把握している研究開発の大きな流れを、研究開発戦略立案の基礎資料とすることを目的として、CRDS 独自の視点でまとめたものである。

俯瞰報告書は、各分野における研究開発の方向性や主要な研究開発領域、更に国際的なわが国のポジションを把握するのに役立つ。また、複数分野の報告書を使うことで、複数分野にまたがる新しい切り口からの研究開発戦略を立案することにも役立つ。俯瞰報告書は、一義的には、CRDS における研究開発戦略立案に活用されるが、当該分野の動向を深く知りたいと考える政策決定者、行政官、企業人、大学・独法関係者、学生などに大いに役立つはずである。また、研究者にとっても、自身の専門分野を超えた範囲の状況を知る上で有益である。

1.2 構成

社会ビジョンの実現および科学技術の基盤充実とフロンティアの拡大を目指した研究開発戦略を提案するためには、科学技術に関する様々な研究開発全体の俯瞰が必要である。CRDS では、研究開発が行われているコミュニティ全体を便宜的にいくつかの分野に分け、その分野ごとの研究開発状況を整理し可視化した俯瞰報告書を概ね2年に1回の頻度で、作成することとしている。

具体的には、①環境・エネルギー分野、②ライフサイエンス・臨床医学分野、③電子情報通信分野、④ナノテクノロジー・材料分野、⑤システム科学技術分野の5分野である。これらは、CRDS の内部組織であるユニットに対応している。「システム科学技術分野」は、これまで、わが国の科学技術政策において、特に重視されてこなかったが、CRDS としてその重要性に着目し、1分野としてとりあげている。

俯瞰報告書本編は、上記5分野別に作成される。更に、本編のほか、データ編として「データで見る俯瞰対象分野」、「主要国の研究開発戦略」が付随し、合計で7冊からなる。

以下、本報告書の「2. 俯瞰対象分野の全体像」では、CRDS が俯瞰の対象とする分野をどのように設定し、俯瞰の枠組をどう設定しているかの構造を示し、そこから当該分野の主要研究開発領域をどう導出したかを説明しており、いわば我々の活動の土俵を定め、それに対する認識を明らかにしている。また、対象分野の歴史、現状、および今後の方向性についていくつかの観点から全体像を明らかにしている。この章は、その後の章のコンテンツ全ての総括としての位置づけを持つ。

「3. 研究開発領域」では、俯瞰対象分野に存在する研究開発領域の現状を網羅的にリストアップして概説する。専門家との意見交換やワークショップを通じて、研究開発現場で共有されている情報をできるだけ具体的に記録する。また、研究開発領域ごとに主要国（原則、日本、米国、欧州、中国、韓国）を対象とした国際比較も行っている。

2. 俯瞰対象分野の全体像

2.1 分野の範囲と構造

2.1.1 分野の範囲

平成 23 年 8 月 19 日に閣議決定された第 4 期「科学技術基本計画」によれば、将来にわたる持続的な成長と社会の発展の実現のためのグリーンイノベーションの推進が掲げられている。そのなかで、エネルギーの安定確保と気候変動問題への対応は、我が国にとっても世界にとっても喫緊の課題であることを指摘し、具体的には我が国が強みをもつ環境・エネルギー技術のいっそうの革新を促すとともに、エネルギー供給源の多様化と分散化、エネルギー利用の革新に向けた社会システムや制度の改革、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を目指すこととしている。また、世界各国が将来の成長の鍵として脱化石燃料に向けた熾烈な競争を展開する中、これらの技術やシステムの国内外への普及、展開を強力に推進し、我が国の持続的な成長を実現する、としている。

こうした我が国の課題認識を踏まえたうえで「環境・エネルギー分野」の俯瞰を行うこととした。ここでいう「環境・エネルギー分野」は、資源制約・環境制約の下で持続可能な社会を構築していくために必要な、材料科学からシステム技術までさまざまな科学技術を含む、課題駆動の科学技術分野である。対象となる社会的範囲は幅広く、科学技術的にもさまざまな知識の動員が必要である。当該分野の俯瞰を行うにあたり、東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故以降、我が国のエネルギーに関するさまざまな課題が明らかになったことや、エネルギー問題と一体不可分の関係にある地球温暖化問題の解決に向けた対応が求められていることなどを踏まえて、本報告ではエネルギー分野を中心に俯瞰検討を行った。

「エネルギー分野」の俯瞰検討範囲としては、以下に示す我が国のエネルギー需給構造全体を捉えることとした。図 2.1.1 に我が国のエネルギー・フロー、図 2.1.2 に資源輸入額、エネルギー量（熱量換算）、二酸化炭素排出量を示す。これらから、20 兆円にも及ぶ国富を費やして得たエネルギー資源（約 23EJ/年）が最終消費されるまでには、さまざまなエネルギー損失が生じ、有効に使われる割合は 4 割程度である。これらの図を詳細にみると、さまざまな課題が浮かび上がる。一次エネルギー源の調達においては、原油の中東依存度が約 90% に及び、地政学的リスクへの対策強化が必要である。電力分野では、9.8EJ/年の一次エネルギー源から 3.6EJ/年の電力を得るに留まっており、発電や送配電の損失が大きく、効率改善が重要になる。石油を燃料に転換する過程での損失も大きく、1 割が排熱となっていることから、蒸留工程での熱回收利用技術などが必要といえる。同様な技術は、エネルギー多消費産業と言われる化学産業の省エネルギーにも寄与が大きいと考えられる。一方、運輸とりわけ自動車によるエネルギー損失も大きく、新技術による大幅削減が望まれる。暖房や給湯として使われる低位熱需要に対して多くの電力が使われている現状も改善の余地がある。そして最後に、再生可能エネルギーは一次エネルギー源としてはきわめて小さな割合を占めるに過ぎない。これを飛躍的に拡大し、その貯蔵・利用を可能とする優れた技術が必要である。

国際情勢とも連動する我が国のエネルギー分野を俯瞰することは容易ではない。しかしながら、次節以降では、社会的な期待とも言える、またエネルギー政策上の基本原則でもある

3E、すなわち、エネルギーの安定供給（Energy）、環境保全（Environment）、経済成長（Economy）を同時に達成するという基本方針に立ちながら、複数の区分に分類、把握し、俯瞰を進めることとする。

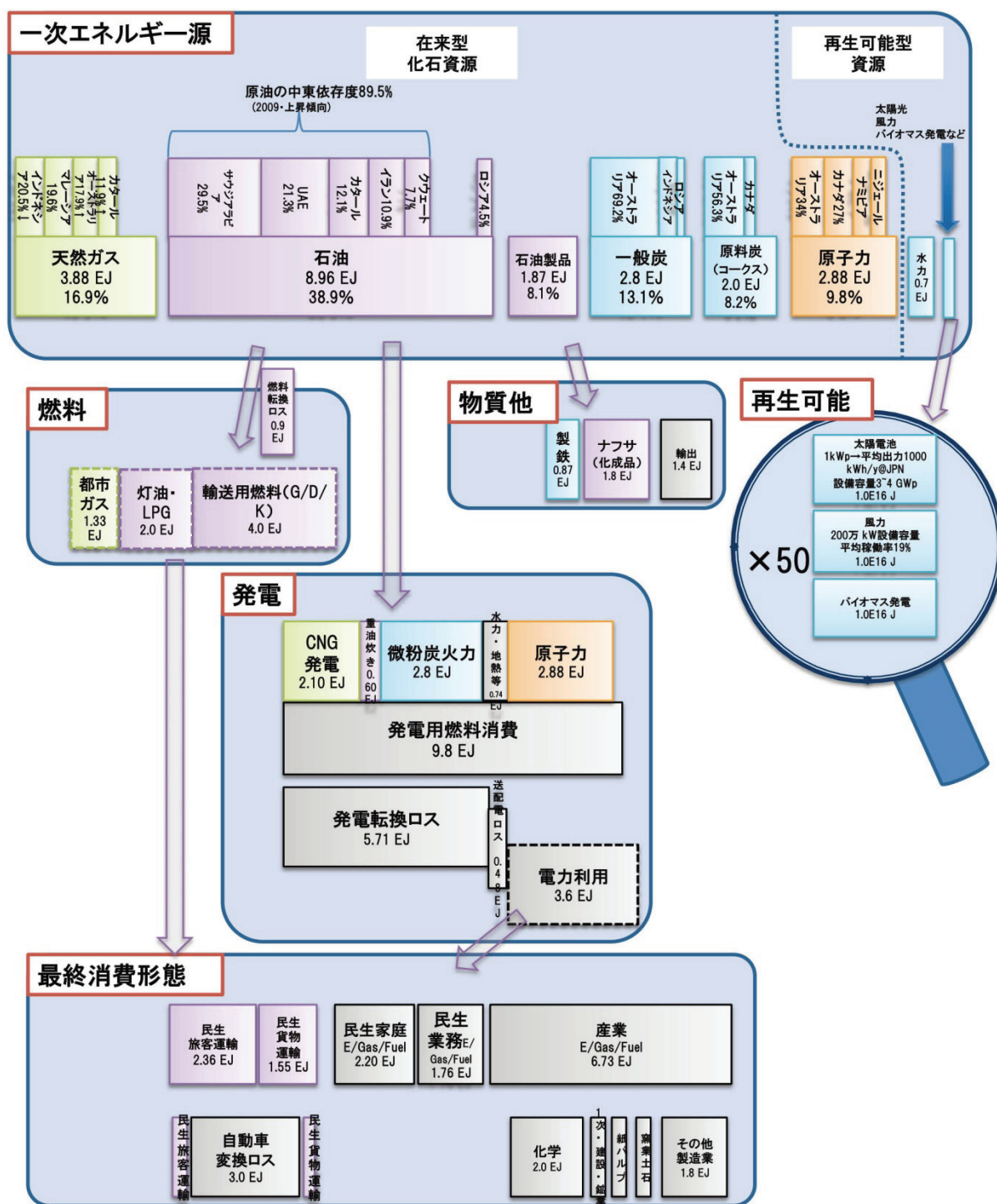


図 2.1.1 我が国のエネルギー・フロー
(1 EJ=10¹⁸ J、2010 年度データ、政府公開資料を基に CRDS が作成)

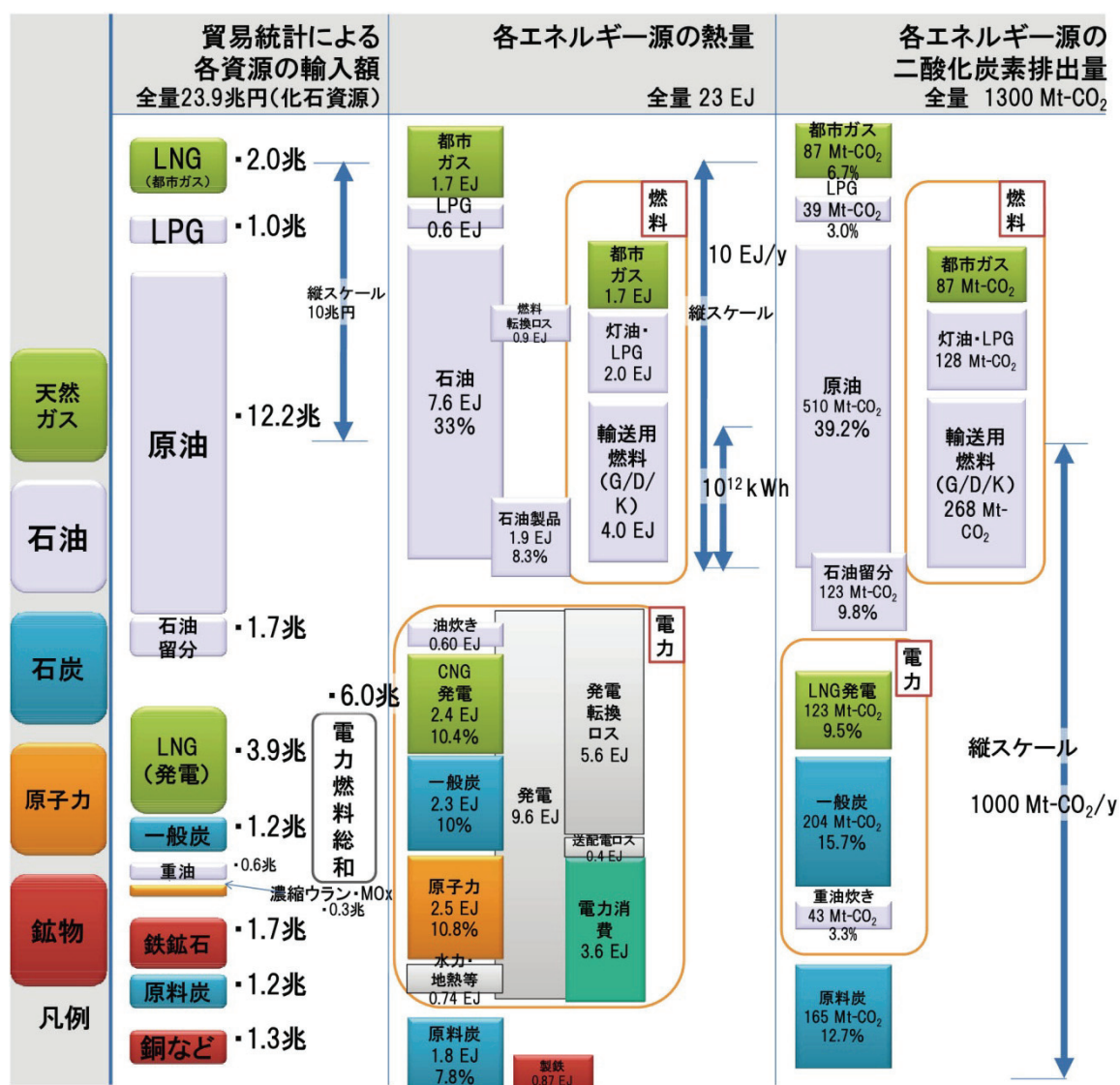


図 2.1.2 貿易統計からみた各資源の輸入額、エネルギー量（熱量換算）、炭酸ガス排出量
 (1 EJ=10¹⁸ J、金額：財務省貿易統計（2011 年度版）、熱量：経済産業省資源エネルギー庁総合エネルギー統計（2010 年分）、二酸化炭素：国立環境研発行「産業連関表による環境負原単位データブック」を基に CRDS が算出)

2.1.2 分野俯瞰の構造

エネルギーに関わる科学技術分野は、化石資源エネルギー、再生可能エネルギー、原子力エネルギー、そしてエネルギー利用技術・システムと分類し俯瞰を進めることが妥当であろう。これらの分野の科学技術の進展によって、前述の 3E を含むさまざまな社会的期待に応えることが可能となると言える。ただし、原子力エネルギー分野に関しては現在も国レベルの合意形成には至っておらず、本報告書では直接的には取り上げず、今後の課題とした。すなわち、原子力エネルギーについては、他の 3 区分技術開発の進捗に応じて、それらを補うものとして安全性を確保しながら利用していくものとした。そこで、以下に示す 3 つの構成領域（俯瞰区分）に区別して検討を進める。

化石資源エネルギー区分：資源確保・転換・産業利用

化石資源は、当分の間、エネルギー供給の主役とならざるを得ない。したがって、化石資源利用効率の格段の向上が急務であり、かつ中長期的な戦略に基づく対応が必要である。

再生可能エネルギー区分：資源確保・転換

再生可能エネルギーは、当面の寄与率は小さいが、産業構造の転換が進み、また民生需要の抑制策が浸透することで、エネルギー供給全体への寄与度は格段に増加する。

エネルギー利用技術・システム区分：主に民生分野の最終利用技術・システム

需要端における、再生可能エネルギーも含めたエネルギーの総合利用効率の向上、緊急時エネルギー確保、これらを支えるスマートなエネルギー需給システムの構築が急がれる。

なお、上記の分類上、複数に関係する技術領域が存在するが、あえてそれらの重複を排除せず、重要な検討課題の漏れがないように留意した。また、電力変換や産業界におけるエネルギー変換利用については化石資源エネルギー区分で、再生可能エネルギーの獲得から利用形態への変換までは、再生可能エネルギー区分で取り扱うこととした。

以上のような俯瞰の範囲と構造を、社会的課題解決の視点から見たものが図2.1.3である。第1階層の社会的期待を実現するために、第2階層の事業領域が存在し、その手段を提供すべく第3階層の構成技術・研究開発課題群が存在する。そうした技術を実現するために、第4階層の共通要素技術・研究開発課題群と、さらにそれらを支える第5階層の基礎・基盤研究領域が存在する。このように、社会的期待に応えるためには、階層の異なる研究開発を統合的に推進し、具体的な産業につなげる戦略が必要であることが理解できる。特に、これまで第5階層の基礎・基盤研究では、社会的期待の実現状況の把握と分析に基づいて研究開発計画を立案することが不十分であり、その改善が必要である（CRDS、11SP03、2011）。これが充実することにより、第1階層から第5階層までの活動の循環的推進が促され、課題解決型の研究開発が効果的に展開されることになる。

上述の3区分の検討では、第3階層から第5階層にまたがる主要研究領域の抽出を試みた。すなわち、社会的課題解決に直結する第3階層の技術・研究開発課題群のなかから主要研究開発領域を抽出するとともに、そうした研究領域を構成する第4階層の共通要素技術・研究開発課題群、さらにそれらを支える第5階層の基礎・基盤研究領域の抽出を試みた。なお、要素技術・研究開発課題群ならびに基礎・基盤研究領域の捉え方は科学技術の進展と共に変化することもあるため、第3階層の複数の技術・研究開発領域を支える重要な共通要素技術・基盤研究課題あるいは基礎・基盤研究領域については、継続的な検討が必要である。



図 2.1.3 社会的課題解決の視点からみた「環境・エネルギー分野」の範囲と構造

2.2 分野の歴史、現状、及び今後の方向性

2.2.1 分野の歴史と現状

本節では、エネルギー分野の変遷を、需給構造、政策、環境、市場などの視点から概観する。また技術の変遷に関しては前述の俯瞰区分ごとにも整理する。

（1）エネルギーに関わる日本社会の変化

エネルギー需給構造の変化

図 2.2.1 に、我が国の近年のエネルギー消費量と GDP の推移を示す。1970 年代の石油ショック後、後述の政策的な対応もあってしばらくはエネルギー消費量を増やさずに経済成長を続けたが、その後増加に転じ、1995 年頃以降は経済の停滞もあって現在まで微増に留まっている。この間、産業界での省エネルギーの徹底とは対照的に、電化・情報化による民生部門とモータリゼーションによる運輸部門での増加が著しい。

エネルギー消費の増加にともなって一次エネルギー供給量も増加した。1990 年と 2010 年と比較すると約 1.14 倍に増加した（図 2.2.2）。またその内訳にも変化がみられた。20 年間で石油が約 0.9 倍に減少する一方、石炭（約 1.5 倍）と天然ガス（約 1.9 倍）はともにシェアを伸ばし、原子力は約 1.3 倍に増加して、石油代替エネルギーの導入が進んだ。しかし、化石燃料のシェアは依然として高く、1990 年度と比べても微減に留まった。再生可能エネルギーなどは微増したが全体に占める割合では横ばいであった。

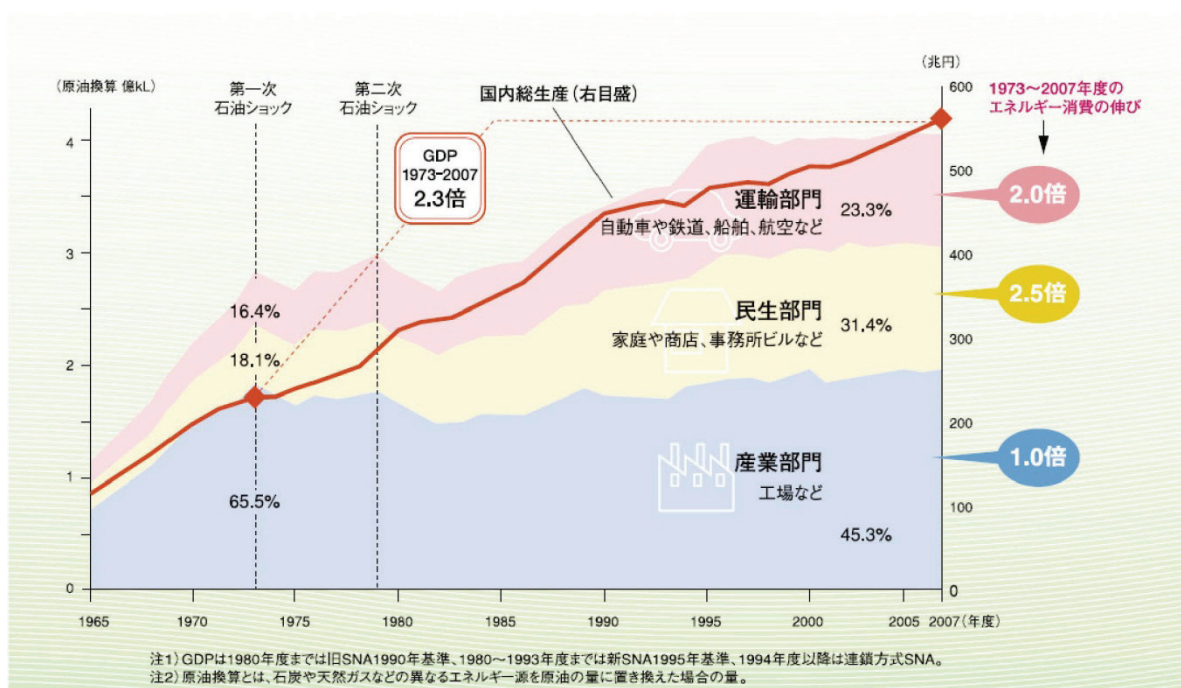


図 2.2.1 エネルギー消費量の推移と経済成長（エネルギー白書、2012）

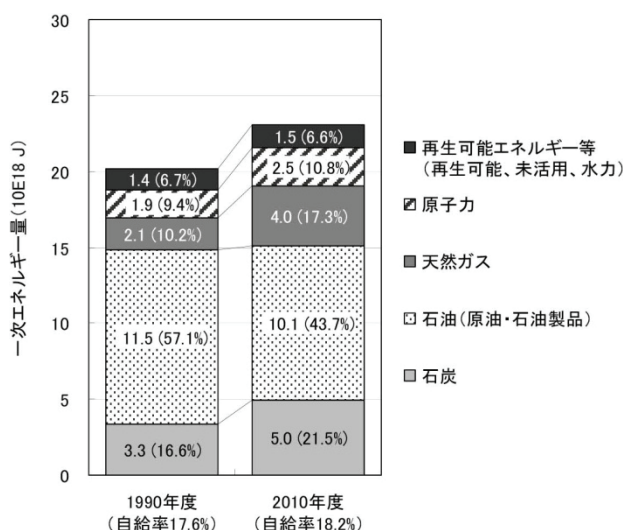


図 2.2.2 一次エネルギー量内訳とエネルギー自給率（1990 年度と 2010 年度の比較）

（総合エネルギー統計のデータをもとに CRDS が作成。一次エネルギー量は TPES（一次エネルギー総供給）の合計値、一次エネルギー内訳は TPES のエネルギー源別の値に依る。自給率の産出には PES（一次エネルギー供給）の国内産出および総供給の値に依る。）

エネルギー政策の変遷

我が国の戦後のエネルギー政策は、1973 年と 1979 年の二度にわたる石油ショックを大きな区切りとして改編された。石油ショックが発生した 70 年代から 80 年代にかけて、それまでの石油依存からエネルギー資源の多様化に重心が移り、代替エネルギーの導入、省エネルギーの促進によって脱石油が進められた（表 2.2.1）。また、高度成長の結果として地域環境問題が顕在化し、化石資源の利用に伴う煤塵、SO_x、NO_x などの排出低減対策が進められることとなった。さらにこのころ経済は安定成長から低成長の時代に移行することになるが、少資源国である日本は産官学が連携して省エネ技術・環境対策技術の開発に戦略的に取り組み、自動車ほか製造機器・設備で圧倒的な世界競争力を有するに至った。

90 年代に入り、金融の自由化や東西冷戦の終結により世界が急速にグローバル化すると同時に、リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議（地球サミット、92 年）や、先進国の温室効果ガスの排出削減を定めた京都議定書の採択（97 年）など、地球温暖化問題への対応の必要性が国際的に高まった。めまぐるしく変化する世界情勢に対し、日本はバブルの崩壊から立ち直る有効な政策手段は見出せず、経済は低迷を始めることとなった。

2000 年代からは新興国の急成長が目立ち始め、世界のエネルギー資源・環境問題はいつそう難しい局面となった。また情報化のさらなる進展が多様な利便性をもたらすとともに世界の金融不安定化を引き起こすなど弊害も生み始めた。こうしたなかで、我が国ではエネルギー政策基本法が制定（02 年）され、それに基づくエネルギー基本計画が閣議決定（03 年）されることにより、3E の同時充足を基本方針とした総合的なエネルギー政策が進められるようになった。

表 2.2.1 エネルギー政策の変遷

年代	主な政策的取組み	科学技術関連の主な政策的取組み	重視された側面
70年代	背景:石油危機(73年、79年)を契機とした脱石油機運の高まり ・資源エネルギー庁発足(73年) ・原子力エネルギー促進(電源三法74年) ・省エネルギー促進(省エネ法79年) ・代替エネルギー促進(代エネ法80年)	サンシャイン計画(74年) ムーンライト計画(78年) 新エネルギー総合開発機構設立(現NEDO 80年)	エネルギー安全保障 経済効率性の追加
90年代	背景:温暖化対策の要請の高まり(リオサミット92年、京都議定書97年) ・原子力エネルギー促進 ・温暖化対策本格化(環境基本法93年) ・新エネルギー促進(新エネ法97年)	地球環境技術研究開発(89年) ニューサンシャイン計画(93年) 科学技術基本法(95年) 第1期科学技術基本計画(96-00年)	環境性の追加 3Eの同時達成
00年代	背景:安定供給・効率・環境の同時達成志向の高まり、資源価格の高騰 ・循環型社会形成推進基本法(00年) ・エネルギー政策基本法(02年) ・エネルギー基本計画(03年、一次改訂07年、二次改訂10年) ・京都議定書の発効(05年)、第一約束期間(08-12年) ・新成長戦略(10年)	第2期科学技術基本計画(01-05年) 第3期科学技術基本計画(06-10年)(エネルギー等の分野別推進)	エネルギー安全保障の再認識 環境性の再認識
10年代	背景:リスク対応を含めた安全性の重視 ・エネルギー・環境会議発足(11年、革新的エネルギー・環境戦略12年)	第4期科学技術基本計画(11-15年)(グリーンイノベーション関連施策)	安全性の追加

※「「革新的エネルギー・環境戦略」策定に向けた中間的な整理」(エネルギー・環境会議、2011)、「【通産政策史シリーズ】資源エネルギー政策(1973-2010)」プレゼンテーション資料(独)経済産業研究所、2011)などをもとにCRDSが作成。

環境対策の変遷

我が国の環境行政は、1971年に発足した環境庁(2001年からは環境省)を中心に進められてきた。1990年代以降の主な流れを表2.2.2に示す。現在の政策の基本的な方向性を示す法律は1993年11月に公布された「環境基本法」である。国内ではすでに「公害対策基本法」や「自然環境保全法」が定められていたが、リオデジャネイロで1992年に開催された地球サミットでは気候変動枠組み条約と生物多様性条約が採択されるなど、世界的に環境問題は多様化していた。そのため国内でも従来の法制では十分な対処が困難になっていた。

2000年代に入ると「循環型社会形成推進基本法」など循環関係法が複数成立するなど、3Rの推進や廃棄物の適正処理といった循環型社会を推進するための基本的な枠組みが整えられた。また2005年には京都議定書が発効となり、地球温暖化対策も本格化した。

表 2.2.2 1990 年代以降の主な環境法制

年	主な動き
1992年	・自動車NO _x ・PM法制定・種の保存法制定
1993年	・環境基本法制定
1995年	・容器包装リサイクル法制定
1998年	・家電リサイクル法制定・地球温暖化対策推進法制定
2000年	・循環型社会形成推進基本法など、循環関係法6本が成立
2001年	・環境省発足
2004年	・外来生物法制定

※「環境省の歩み」より CRDS 作成。

平成 24 年版環境・循環型社会・生物多様性白書（環境省、2012）によれば、環境基準に照らした我が国の大気、水、土壌環境の状況は良好である。まず大気に関しては、二酸化窒素は全国各地に点在する測定局での達成率がここ数年間 100%を概ね維持している。大気汚染物質の一種である浮遊粒子状物質に関しても 90%を超える達成率を示している。

水環境は、たとえば広域な閉鎖系海域のうち人口や産業などが集中している東京湾、伊勢湾、大阪湾などを見ると、全窒素・全リンの環境基準達成率は 2000 年頃には 30～50%程度であったのに対して 2010 年頃には 70～100%程度にまで改善している。しかし生活排水などによる富栄養化の問題は依然として発生している。

土壌環境については、調査件数のうち指定基準を超過した件数が占める割合を見ると、土壌汚染対策法が施行された 2002 年度以降は概ね 40～50%で推移している。

地球温暖化対策は 1990 年代以降、京都議定書目標の達成を目指して行われてきた。しかしその目標自体は、表 2.2.3 に示すように政権ごとに設定が改められ、現時点の確定的な目標値は鳩山政権時代のものである。

表 2.2.3 京都議定書目標の推移

年月	内閣	位置づけ	基準年	温室効果ガス削減の目標値
2002年6月	小泉	京都議定書受諾	1990年比	2008～2012年で6%削減
2008年6月	福田	長期目標	2005年比	2050年までに60～80%削減
2008年6月	福田	中期目標	2005年比	2020年までに14%削減
2009年6月	麻生	中期目標	2005年比	2020年までに15%削減 ^{注1}
2009年9月	鳩山	中期目標	1990年比	2020年までに25%削減
2012年1月	野田	中期目標	1990年比	25%削減を下方修正する方針 ^{注2} （京都議定書削減義務も拒否の方針）

注 1) 京都議定書の削減目標は、通常、省エネ対策などを行う「国内削減対策」のほかに「森林吸収源」や「京都メカニズム」を加えたものであるが、この中期目標は「国内削減対策」のみを想定したものとして設定された。

注 2) 2012 年 1 月時点の報道による。

我が国の2010年度の温室効果ガス総排出量は、二酸化炭素換算で約12億5,800万トンだった。これは京都議定書で規定されている基準年（1990年度。ただしHFCs、PFCsおよびSF₆は1995年）の総排出量（12億6,100万トン）を0.3%下回る。しかし2009年度の総排出量（12億740万トン）と比べると4.2%の増加である。

また2011年度の温室効果ガス総排出量（速報値）は13億700万トンと基準年比、前年度比のいずれにおいても増加していた。要因としては東日本大震災の影響により製造業の生産量が減少する一方、火力発電の増加で化石燃料の消費量が増大したことがあげられている。

温室効果ガスのうち二酸化炭素排出量を部門別に見た結果は表2.2.4の通りである。割合として産業部門がもっとも大きい、基準年比では減少している。一方、運輸、民生の各部門は、産業部門より排出量は少ないものの、基準年比ではいずれも増加している。この傾向は図2.2.1で示したエネルギー消費の増加とも対応している。

表 2.2.4 部門別 CO₂ 排出量 [Mt CO₂]

排出源		京都議定書の基準年	1990年度	2009年度	2010年度	2011年度（速報値）	2010年度の基準年比
運輸部門	運輸	211	211	225	223	222	6.6%
産業部門	産業	390	390	346	323	339	-11.3%
民生部門	業務その他	84	84	92	93	93	10.4%
	家庭	57	57	61	58	59	7.8%
エネルギー転換部門	エネルギー転換	318	318	399	379	460	25.6%
工業プロセス	工業プロセス	62	60	41	40	41	-33.9%
廃棄物	廃棄物	23	22	27	27	28	20.6%
その他部門	その他部門	0	0	0	0	0	-9.5%
合計	合計	1,144	1,141	1,192	1,142	1,242	4.2%

※日本の温室効果ガス排出量データの1990～2010年度の確定値および2011年度の速報値（温室効果ガスインベントリオフイス）からCRDSが作成。「エネルギー転換部門」には、「事業用発電」、「地域熱供給」、「石油製品製造」、「その他エネルギー産業」を含め、産業部門とは別扱いとした。

京都議定書目標の達成に向けた政策的な取組みとしてはいわゆるポリシーミックスが重要と考えられている。環境省の地球温暖化対策検討チームが2000年に発表した提言（環境省、2000）ではその内容を次のように整理している。

1. 自主的取組・・・事業者の自主性に任されたもの。
2. 経済的手法・・・市場メカニズムを活用したもの。家庭・企業すべての排出主体が対象となる地球温暖化対策税（環境税）と、大規模な排出事業所が対象となるキャップ・アンド・トレード型の国内排出量取引制度が含まれる。
3. 規制的手法・・・規制によるもの。大規模排出者に対する経済影響緩和と継続的な削減インセンティブ付与のための弾力的な（事業活動量が加味された基準での）総量規制、お

よび規制値を大きく上回る削減努力に対する助成が含まれる。また産業、民生、運輸の小規模排出者に個別対応するための各種規制も含まれる。

4. その他・・・社会資本整備、税制、助成措置などによるその他の環境投資や、普及啓発を通じた国民の参画と協力。

鳩山内閣は「すべての主要国による公平かつ実効性ある国際的枠組の構築や意欲的な目標の合意を前提として、2020年に、温室効果ガスを1990年比で25%削減する」という中期目標を掲げた。この目標の達成に向け、政府は地球温暖化対策基本法を閣議決定し、以下の三施策を含めた諸施策を提示した（環境省、2010a、2010b）。上記の整理と比べると、再生可能エネルギーに関する施策が加えられているが、これは、同じく鳩山内閣で閣議決定された新成長戦略の「グリーンイノベーション」との関係でもある。

1. 国内排出量取引制度（キャップ・アンド・トレード）の創設
2. 地球温暖化対策のための税（環境税）の検討
3. 再生可能エネルギーに係る全量固定価格買取制度（Feed-In Tariff）の創設

上記のうち環境税は2012年10月から、FITは同年7月から導入された。国内排出量取引制度に関しては、大規模な排出事業者に対する新たな規制となるため慎重な議論が続けられている。

コラム：環境問題をとらえる視点

環境とエネルギーの問題は、どちらも社会あるいは地球全体に関わる事柄が多く、互いに密接に関連する。環境規制や地球温暖化対策はその典型例であるが、エネルギーと環境それぞれに特有の問題もある。それらは同じ問題を別の観点から捉えたものである場合もあれば、個別に特有の問題である場合もある。

環境省を主とした環境行政の枠組みや科学技術、研究開発の現状を概観しながら環境分野を改めて捉えると、以下のような視点でまとめることができる。もちろん社会の中で顕在化し深刻化する問題、あるいは潜在的に内包され将来に向けたリスクとなっている問題などは以下の体系に容易に分類できない場合もある。ゆえに環境分野の概観把握は、エネルギー分野同様に不断の取り組みが必要である。

- ①地球環境 観測・予測・評価 （全球／クロススケール／地域規模での物理化学的環境）
 - ・大気（大気汚染、オゾン、光化学スモッグ等）
 - ・気候変動
 - ・陸水
 - ・海洋
 - ・土壌
- ②地球環境 対策 （全球／クロススケール／地域規模での物理化学的環境）
 - ・大気（大気汚染、オゾン、光化学スモッグ等）対策
 - ・気候変動抑制
 - －二酸化炭素回収・貯蔵
 - －気候制御
 - ・水（水質改善、排水処理、海水淡水化など）
 - ・土壌（土壌改良、汚染物質除去など）
- ③野生生物 観測・予測・評価 （全球／クロススケール／地域規模での多様性や生物間相互作用）
 - ・陸域
 - ・陸水
 - ・海洋
 - ・土壌
- ④野生生物 保全・再生 （生物多様性、景観、外来種、二酸化炭素吸収）
 - ・陸域
 - ・陸水
 - ・海洋
 - ・土壌
- ⑤資源循環
 - ・リサイクル
 - －バイオマス系
 - －非金属鉱物系
 - －金属系
 - －化石系
 - ・リデュース・リユース
 - ・ライフサイクルアセスメント
 - ・生物地球化学的循環（窒素、リン、炭素、水など）
 - ・廃棄物処理
 - －原子力発電
 - －リサイクル不可物
 - －工業排水
- ⑥リスク管理・健康リスク
 - ・産業・公共事業に伴う環境影響評価
 - ・化学物質による健康被害リスク
 - ・温暖化に伴う環境・健康被害リスク
 - －高温障害（作物、人などに対して）
 - －病虫害（感染症含む）
 - －干ばつ・水害
 - ・放射能汚染に伴う環境・健康被害リスク
- ⑦持続可能な社会構築
 - ・農林水産業における環境負荷軽減
 - ・都市計画策定
 - ・市場メカニズムを利用した温暖化対策
 - ・その他の社会科学的・政策的取り組み

電力市場の構造変化

発電所によって発電された電気は、送電線、変電所、配電線という順に経路をたどって各需要家に供給されている。そのため、電力供給システムは発電部門（発電所）、送電部門（発電所から変電所まで）、小売（配電）部門（変電所から需要家まで）に大別される。

日本には、発電から小売までを一貫して行う垂直統合型の電力会社が地域ごとに1社ずつ、日本全体では10社ある。1964年に制定された電気事業法の下、これらの一般電気事業者を中心とした独占的な電力供給が行われてきた。しかしバブル経済の崩壊後は、電気事業の高コスト構造や内外価格差の是正を目的として表2.2.5に示すように制度改革が行われてきた。その結果、2011年度時点では販売電力量の家庭向けを除く62%が自由化対象になっている。

経済産業省の電力システム改革専門委員会は2012年7月に「電力システム改革の基本方針」をまとめた。その中では電力小売りの全面自由化、制度の詳細、工程表などに言及している。

表 2.2.5 電気事業に関する制度改革の動き

年	改革の主な内容
1995年	・発電部門への新規参入の拡大 ⇒ 発電市場に競争入札制度（競争原理）を導入・特定の供給地点における電力小売事業の制度化 ⇒ 特定電気事業制度を創設
1999年	・電力小売部門における一部自由化の実施（契約電力2千kW以上） ⇒ 大口需要家に対する電力小売事業を一般電気事業者以外にも開放
2003年	・電力小売部門における一部自由化の拡大（契約電力50kW以上）・送配電部門に係るルール策定・監視等を行う中立機関の創設 ⇒ 電気事業者や学識経験者からなる電力系統利用協議会・全国大の卸電力取引市場（JEPX）の整備
2008年	・卸電力取引所の取引活性化に向けた改革・送電網利用に係る新電力（新規参入事業者である特定規模電気事業者、PPS）の競争条件の改善・安定供給の確保及び環境適合に向けた取組の推進（グリーン電力卸取引の導入など）

電力小売自由化による効果については異なる見方が存在する。一方では、電力調達入札により調達価格の削減、環境面を評価した随意契約の締結、電気料金の低減などの動きが生まれたとの見方がある（経済産業省資源エネルギー庁、2012a）。しかし他方では、昨今の電気料金の低下は、「自由化による効率化の成果というよりも、電力需要の伸び率鈍化などの外的要因により、電力会社が設備投資を減らしたためではないかとの見解がある」とも言われている（山口、2007）。

2011年度の経済産業省の報告によれば、新規参入者（新電力）が発電電力に占めるシェアは、いまだ約3%に過ぎない。大部分を占める既存電力会社10社のシェアは自由化後の10年間で81%から77%に低下し、代わりにシェアを増加させたのは新日本製鐵や新日本石油などの自家発電事業者であったとの報告もある（山口、2007）。また日本電力卸取引所（JEPX）で行われているスポット取引が消費電力量に占める割合は、2006年で0.2%に満たず、全体的には増加傾向にはあるものの、「主要な電力調達手段のひとつと評価できる状況ではない」との指摘もある。これらのことから、現時点では「外見上、活発な競争状況が確認できない」と認識されるに至っている。

ガス市場の構造変化

国内のガス市場は、天然ガスを中心とした都市ガス事業と石油系の LPG 事業がそれぞれ 55%、45%の割合で国内の需要家に供給している。ガス市場は、表 2.2.6 に示すような制度改革を経て、需要家が自由に供給相手を選ぶことのできる自由化領域（年間契約数量 10 万 m³以上の需要に応じて行う導管によるガスの供給）と、供給相手が一般ガス事業者または簡易ガス事業者に限定されるもののガス料金が保護されている規制領域の 2 つに分かれている。なおガス事業法において、「ガス事業者」とは一般ガス事業者、簡易ガス事業者、ガス導管事業者、大口ガス事業者をいう。

これまでに許可・届出ベースで 28 社 207 件の新規参入があり（2007 年 4 月現在）、全大口供給量に占める新規参入事業者の供給量は約 10.1%（2007 年度実績）だった。しかし 2012 年 6 月に、さらなる新規参入と価格低下を期待して、小売りの完全自由化を視野に入れた「制度の見直しが必要」との指摘を含む報告書が、経済産業省の天然ガスシフト基盤整備専門委員会から公表された（経済産業省、2012a、2012b：日本経済新聞 2012 年 6 月 26 日記事）。

表 2.2.6 ガス事業における制度改革の動き

年	改革の主な内容
1995年	・ ガス小売の部分自由化（大口供給：年間契約数量200万m ³ 以上）
1999年	・ 小売自由化を年間契約数量100万m ³ 以上まで拡大
2003年	・ 小売自由化を年間契約数量50万m ³ 以上まで拡大
2006年	・ 小売自由化を年間契約数量10万m ³ 以上まで拡大

※「ガス事業制度の現状について」（経済産業省資源エネルギー庁、2012b）より CRDS が作成。

東日本大震災以降の政策的な動向

東日本大震災と福島原発事故以降、事故当時の菅内閣は、「エネルギーシステムの歪み・脆弱性を是正し、安全・安定供給・効率・環境の要請に応える短期・中・長期からなる革新的エネルギー・環境戦略および 2013 年以降の地球温暖化対策の国内対策を政府一丸となって策定するため」に、2011 年 10 月、内閣官房の国家戦略室にエネルギー・環境会議を設置した。続く野田内閣でも会議は継続され、2012 年 11 月の第 17 回会議では「グリーン政策大綱」の骨子が明らかにされるなど検討の最終段階に近づいていた。2013 年 1 月からは第二次安倍内閣が発足し、新政権下で改めて今後のエネルギー政策の詳細検討が行われる見通しである。

（２）技術的観点からのエネルギー分野の特徴とその進展

エネルギー分野の特徴

エネルギー分野は経済、社会と直結する分野であるため、関連する学術分野は工学、農学、理学、経済学、行政学など多岐にわたる。また技術開発のテーマも社会における課題に立脚したものが大半である。それゆえに実社会とのつながりが重要な意味をもつことが多く、社会導入時の種々の課題が技術開発の大きなボトルネックとなる事例もしばしばみられる。

エネルギー分野における社会的な課題を考えると、エネルギーそのものは目的ではなく、地球環境が持続的であり、かつその中で人々が生き甲斐をもって暮らせる社会を築くための手段である、という点は常に留意すべきと思われる。しかしながらエネルギーを利用する実際の場面では、一般に、その由来が問われることのないままに、大半が動力、電力、あるいは熱として最終消費されることになる。したがって安価で、大量で、かつ安定な供給だけがエネルギーに対する要件となりがちであるが、持続的なエネルギーの利用という観点からは、環境に対する負荷の軽減や安全への配慮も欠かせない。

以上より、エネルギー分野における科学技術、研究開発は、安定かつ経済的なエネルギー需給を環境制約下で安全に実現することが目的といえる。我が国におけるエネルギー分野の研究開発では、これまで述べてきたような経緯の中で産学官が連携して一定の技術進展を達成してきた。以下では、そうした事例をエネルギー供給、経済性向上、環境負荷軽減という観点で例示する。

エネルギー分野における技術の進展

エネルギー供給の観点からは、まず発電機器・プラントの効率の継続的な改善があげられる。とりわけ火力発電プラントの熱効率の変遷は図 2.2.3 のとおり大きく改善されてきた（小林ら、2011）。蒸気タービン（ST）によるシンプルサイクル（1 機関）からガスタービン（GT）と蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル（2 機関複合）へと変わり、現在は高温型燃料電池である固体酸化物形燃料電池（SOFC : Solid Oxide Fuel Cell）を付加したトリプルコンバインドサイクルが開発段階に入り、実用化に向けたロードマップが描かれている。

ガスタービンの熱効率向上は高温化、そして高圧化により進められてきた。1978 年に政府が計画したムーンライト計画では特に材料・伝熱技術など高温化技術が開発され、その後も公的な研究開発投資を通じて高温化が進められた。火力発電は CO₂ の排出に関しても社会からの強い要請がある。そのため技術開発では、効率向上に加えて CO₂ の排出量削減も大きな課題となっている（石川ら、2008）。熱効率の向上は CO₂ 排出量の削減にも寄与してきたが、さらに CO₂ 回収技術も検討されている。しかし、CO₂ 回収による効率低下とコスト上昇が避けられないのが現状である。

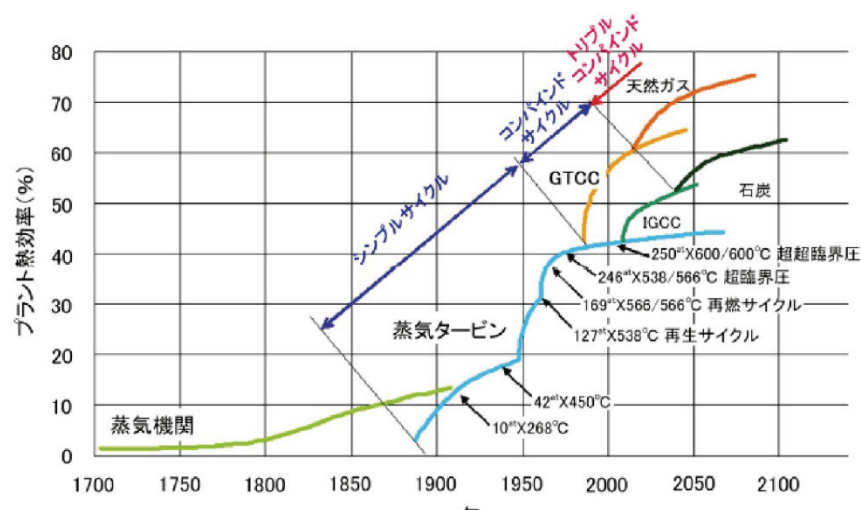


図 2.2.3 発電効率の変遷（小林ら、2011）

我が国で商用運転されてきた原子力発電所は、水（軽水）を冷却材として使う軽水炉型である。初の商業用原子力プラントは東海原子力発電所（16.6 万 kW）であり、1966 年に運転が開始された。2010 年 3 月（2009 年度）時点での日本の原子力発電所は、総計 54 基、認可出力（設備容量）は 4884.7 万 kW、設備利用率は 65.7%だった。

原子力発電の技術開発に関する変遷は図 2.2.4 のとおりである。我が国は、「軽水炉改良標準化計画」（1975～85 年）のもと、使用済みウラン燃料の国内での再処理・リサイクル（準国産エネルギー資源化）のほか、原子力発電技術や原子力プラントなどの機器・設備を国産化して自主技術化しようとする取組みを展開した。これを通じて、米国技術に依存していた軽水炉を、日本独自の技術や技術管理システムで置き換えるようになり、結果として日本型軽水炉とも言われる改良沸騰水型原子炉（ABWR）を世界で最初に営業運転させるなどに至った。

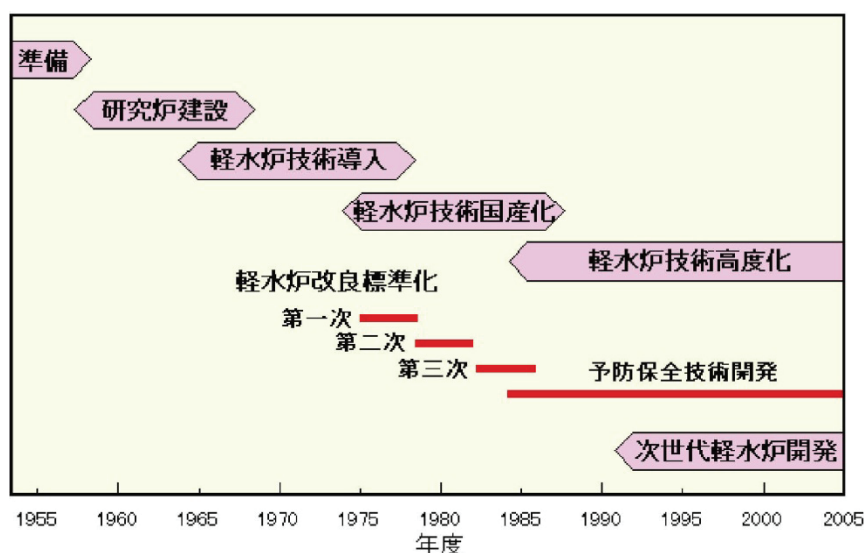


図 2.2.4 原子力発電技術の変遷

（日本の原子力発電開発の歴史（16-03-04-01）、原子力百事典）

経済性向上の観点では、工場などにおける産業プロセスの効率化などが行われた。我が国のエネルギー消費は、二度のオイルショック以降、国全体の最終エネルギー消費の4割強を占める産業部門を中心に省エネルギーが進み、また省エネルギー型製品の研究開発も盛んに行われた。その結果、実質 GDP の伸びは 1973 年度と 2010 年度を比べると 2.4 倍であったのに対し、産業部門の最終エネルギー消費の伸びは 0.9 倍に抑えられた。運輸部門の 1.9 倍、業務部門の 2.8 倍、家庭部門の 2.2 倍と比べると、産業部門での効率改善の寄与の大きさは明らかである（図 2.2.1 も参照）。こうした日本の省エネルギー技術は国際的に極めて優れており、GDP 当たりの一次エネルギー総供給では中国やインドの約 8 分の 1、欧米と比べても約 2 分の 1 である。

省エネルギーの実現は、産業部門、特に製造業におけるエネルギー消費効率の改善寄与が大きい。製造業では生産コスト低減という観点から積極的な取り組みが行われた。他方、省エネルギー型製品の研究開発は民生部門（オフィスなどの業務部門と家庭部門）のエネルギー消費と関連が深い。ライフスタイルの変化による快適性・利便性の追求や世帯数の増加など社会構造の変化によって民生部門のエネルギー消費は増大した。これに対して政府は、家電製品や自動車を対象にした関連基準の設定において、「その時点で上市されている製品のうちもっともエネルギー消費効率が優れているものの性能を勘案する」とするトップランナー方式を、1998 年に施行された改正省エネ法から導入した。同方式の導入以後、トップランナー対象機器は拡大し、2009 年時点では家庭部門の最終エネルギー消費の 70% をカバーするに至っている（経済産業省、2011）。いずれの機器でも効率改善がみられるが、例えばエアコンは 1997 年から 2004 年の間で当初見通し (66.1%) を上回る 67.8% (COP=3 から COP=5.05 へ) の効率改善を達成した。冷蔵庫は見通し (30.5%) を大幅に上回る 55.2% (647.3kWh/年から 290.3kWh/年へ) を達成した。ガソリン自動車でも効率改善が進んでおり、1999 年に 13.2km/L だった平均新車燃費は 2009 年には 17.8km/L にまで改善された。

家電製品以外にも住宅の断熱化やコジェネレーション・システムの導入などが進んだ。家庭用燃料電池（商品名：エネファーム）の導入により電気と同時に生成される熱が貯湯層に蓄えられ、給湯、風呂、床暖房などに有効利用されるようになった。

再生可能エネルギーの例として太陽光発電をみると、我が国における導入量は 2010 年末累積で 361.8 万 kW に達した（経済産業省、2012c）。個人住宅向けの設備が導入された 90 年代はじめ、1992 年末累積 1.9 万 kW と比べると、過去約 20 年で 190 倍にも増えたことになる。世界的にはドイツ、スペインに次ぐ第 3 位の水準にある。また生産量でも高い水準にある。2007 年までは世界トップの地位にあったが、中国、台湾、ドイツの企業の生産拡大におされて世界第 4 位に下がった。こうした再生可能エネルギーの日本社会への導入、普及はまだ十分ではない。これまで技術開発は主として性能の観点から進められてきた。太陽電池であれば変換効率とコストの改善が重要であるが、これまで技術開発は前者を中心に進められてきた。しかし、社会への導入、普及ではコストの問題が大きくなっている。2012 年からは再生可能エネルギーの全量固定価格買取制度（Feed-In Tariff）が新たに施行され市場が広がる中、今後の技術開発の進捗が注目される。

環境負荷軽減の観点からは、まず大気汚染物質の除去、分解に関する技術をあげる。同技術の進展には大気汚染防止法や自動車 NO_x 法などの法規制が少なからず影響を及ぼしたと考えられる。例えば、平成 4 年に制定（平成 13 年に改正）された自動車 NO_x・PM 法（自

自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法）では、トラック・バス（すべて）、および乗用のディーゼル車が対象とされた。これに前後して、粒子状物質についてはディーゼル微粒子除去装置の開発、実証試験、社会導入が進んだ。また窒素酸化物については、自動車や工場排気に含まれるサーマル NO_x の除去技術で、すでに多くの実用化例があり、触媒開発では無触媒脱硝（SNCR）法も検討されている。

二酸化炭素排出削減技術にもさまざまな技術進展があった。前述のとおり歴代政府は京都議定書の批准に伴い、中期ないし長期の温室効果ガス排出削減目標を設定してきた。これらの目標の達成に向け、我が国では多様な取組みが進められてきた。例えば、エネルギー供給側では一次エネルギー源に占める原子力の割合増加や再生可能エネルギーの導入促進が図られた。バイオマスからの代替燃料製造に関する研究開発なども進められた。また利用側では、産業部門を中心に機器の効率向上などを通じて排出削減が進められ、プラグインハイブリッド自動車や電気自動車の普及に向けた研究開発も進められた。

さらに、より直接的なアプローチとして二酸化炭素回収貯留技術（Carbon dioxide Capture and Storage, CCS）の研究開発も進んだ（経済産業省、2008）。CCS では、二酸化炭素を分離・回収し、液化・輸送した後に地中深くにある石炭層や帯水層などに貯留する。我が国では分離・回収技術は研究が進み実証試験も多数行われるようになったが、貯留に関しては世界に比して遅れている。

そのほかには水素エネルギー社会の実現に向けた水素製造技術や、有用物質（燃料油、水素など）とエネルギー（電力、蒸気など）を併産するコプロダクション技術などに関する研究開発が進められているが、本格的な普及には至っていない。

（３）エネルギー分野の研究開発施策の推移

主要な研究開発関連施策

近年のエネルギー関連主要施策の変遷についてはすでに表 2.2.1 に述べたが、このうち研究開発関連施策について以下に説明を加えたい。

政府はこれまで、通商産業省（当時）を中心に、第一次石油危機直後に始まった「新エネルギー技術開発計画（サンシャイン計画）」（1974～1992 年）、続く「省エネルギー技術開発計画（ムーンライト計画）」（1978～1992 年）、中央省庁再編により終了した「エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画（ニューサンシャイン計画）」（1993～2001 年）と、エネルギー技術の開発に対して長期にわたる研究開発投資を行ってきた。これらの計画に含まれる合計 23 の国プロに対する政府予算は総額 1 兆 4 千億円にも上る（2002 年価格。導入普及対策費を含む）（木村ら、2007 年）。

サンシャイン計画は石油代替を主な目的として、太陽エネルギー、地熱エネルギー、水素エネルギー、石炭エネルギーの 4 テーマを重点技術として推進した。ムーンライト計画は省エネ技術の開発を目的として、エネルギー転換効率の向上、未利用エネルギーの回収・利用、エネルギー利用効率の向上、エネルギー供給システムの安定化などを重点的に進めた。これらの計画は、当初は工業技術院（当時）が主体となって推進し、1980 年に「新エネルギー総合開発機構（現在の新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）」が設立されてからは NEDO が中心となって推進した。

ニューサンシャイン計画は、サンシャイン計画、ムーンライト計画および地球環境技術開発計画が、1993 年の国立試験研究所の再編成にともなって統合され作られたものである。そこでは太陽光発電や燃料電池発電などに関する基本技術の確立、研究開発成果の実用化、ならびにその普及の加速化、持続可能な成長とエネルギー環境問題の同時解決を目指した革新的な技術開発などが取組まれた。

上記 3 計画による効果に関しては、上述の小林ら（2007）による「保守的な見積もり」によれば、実用化に結びついた 10 の国プロによる省エネ効果および CO₂ 削減効果を 23 のすべての国プロへの投資額で除すると、それぞれ約 6 万円/kL と約 2 万円/t-CO₂ であったという。同著者らはこれらの結果を踏まえて、同国プロの費用対効果は「概ね妥当であった」と評価している。

2001 年の中央省庁再編で国プロとしてのニューサンシャイン計画は終了し、代わって「研究開発プログラム方式」と呼ばれる方式が導入された。これに伴ってそれまでのプロジェクトもこの新方式の下に再編された。

時期が前後するが、我が国では「科学技術基本法」が 1995 年に制定され、これ以降は 5 年ごとに策定される「科学技術基本計画」に基づき国の研究開発関連施策が進められることになった。第 1 期基本計画（1996～2000 年）では「地球環境、食料、エネルギー・資源等の地球規模の諸問題の解決に資する科学技術の研究開発を推進する」ことが示された。第 2 期（2001～2005 年）では、エネルギー分野を「国の存立にとって基盤的で、国として取り組むことが不可欠な領域」の一つとして位置づけ、燃料電池、太陽光発電、バイオマスなどの新エネルギー技術、省エネルギー・エネルギー利用高度化技術、核融合技術、次世代の革新的原子力技術、原子力安全技術などの研究開発が推進された。さらに第 3 期（2006～2010 年）では、エネルギー分野は「重点的に推進する分野」の一つとしての資源配分対象となっ

た。直近の第4期基本計画では、世界的なエネルギー需給逼迫や地球温暖化問題への懸念が高まる中、環境と経済の両立を図るため、エネルギーの安定供給確保や環境への負荷低減に貢献する省エネ技術、再生可能エネルギー技術、原子力技術などの研究開発を推進することとされた。具体的には、

①エネルギー源の多様化

原子力エネルギーや再生可能エネルギーの利用の推進、水素／燃料電池の研究開発、化石燃料の開発・利用の推進など

②エネルギー供給システムの高度化、信頼性向上

電力供給システム、電力貯蔵、ガス供給システムなど

③省エネルギー対策の推進

民生部門：住宅・建築物、空調・給湯・照明、情報家電・通信機器など

運輸部門：自動車、航空機・船舶など

産業部門：製造プロセス、組立・加工など

などが、重要な研究開発課題として取り組まれた。

科学技術基本計画との関連も深い。鳩山内閣（当時）は2009年に「新成長戦略（基本方針）」を閣議決定した。これには「6つの戦略分野」が示され、そのうちのひとつが「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」であった。これ以降の科学技術関連施策は基本的にこの方針に従って検討が行われ、また実施されている。

政策における戦略性

エネルギー分野は人口動態、産業構造、資源国際市場など、あらゆる経済・社会の状況に大きく影響を受ける。そのためエネルギー政策は時代に沿って徐々に変化を続けてきた。また、前述のとおり、関連の科学技術や研究開発も政策によって戦略的に推進され、大きな進展を続けてきた事実がある。

しかし、現状は、そうした国としての戦略性あるいは一体的な動きがやや弱まっているようである。例えば21世紀初めの10年は、日本の政策は再生可能エネルギーに関する研究開発に消極的な傾向があった。特に地熱と海洋エネルギー（波力など）については、2002年から東日本大震災に至るまで、国による研究開発事業がほとんど策定されない状況が続いた。1997年に成立した新エネルギー法（新エネルギー利用等の開発及び導入の促進に関する法律）では、これらのエネルギーは支援対象外とされ、2008年の同法改定でも地熱はバイナリー方式（熱水とは別の流体を循環させる方式）のみが対象とされた。その理由は、地熱のフラッシュ方式（熱水でタービンをまわす方式）は技術が開発済みであるため、海洋エネルギーは技術が未熟で実用化に程遠いためとされた。

太陽光は新エネルギー法の対象となり研究開発は続いたが、1994年から実施された住宅用太陽光発電導入補助事業が2005年度で打ち切られる（その後2009年度に再開）など普及政策には一貫性がなかった。このことが日本の太陽光発電関連の製造業の国際競争力を伸び悩ませることにもなった。

電力に関しては、インテリジェント化と低い故障率により高質の電力網を達成していたが、電力供給を地域独占とする制度を前提としていたため、少数の集中大型発電プラントと多数の需要者を意図した電力網に特化していた。そのため再生可能エネルギーやコジェネレーシ

ョン（熱電併給）などの、多数の分散した電源をサポートするスマートグリッド技術に関しては、基礎となる技術研究は行われていたにもかかわらず、応用研究が停滞していた。2010年になってようやく経産省が「次世代エネルギー・社会システム実証事業」として実証実験を始めたところである。

そもそも、国民各層に同意、共有されるエネルギー総合計画は見当たらず、それを基に立案されるエネルギー研究開発総合計画も存在しない（CRDS、2012b）。エネルギー分野は科学技術政策上の重点分野の1つとして位置づけられてはきたものの、府省が連携した一体的な取組みは十分機能していない。こうした中、2011年3月の東日本大震災と福島原発事故の発生は未曾有の広域災害をもたらし、我が国全体の社会・経済・行政システムの再構築を迫るものとなった。米国では1970年代に、英国では3年前に、単一の省の傘下でエネルギー関連課題を総合的に議論し計画を策定する体制を整えている。エネルギーの安定供給と利用に加え、地球環境問題、社会経済問題や産業の国際競争などを含めた総合的な視点から、我が国のエネルギー総合計画立案を進め、研究開発から市場導入までの各セクターの協働体制を築くことが求められる（CRDS、2012b）。

（４）俯瞰区分ごとの需給技術の動向

化石資源エネルギー区分

都市ガスの天然ガス化が進んだ 80 年代以降、天然ガス輸入を進めるにあたり LNG（液化天然ガス）とすべきか、メタノールとすべきかの議論があったが、都市ガス企業体の意向により LNG をタンカーで輸入する策がとられた。その後全国各地に LNG 基地が設けられ、主要都市の都市ガス天然ガス化（13A 規格あるいはそれに類する規格の熱量、かつ一酸化炭素を含まない）が進んだ。発電向け天然ガス利用は、ガスタービン・蒸気タービン・コンバインドサイクル発電の発展に伴い増加した。その後、サハリンにおいてサハリン 1-8（当時）のプロジェクトが提案され、そのうちのいくつかのガス田についてはパイプラインによる輸入が提案されたが、電力自由化との絡みで実現しなかった。

一方で、オイルショック以降、石油に代わる液体資源を模索する中、戦中日本でも実施されていた人造石油合成が再び脚光を浴びることとなった。石炭の直接液化が有望とされ、NEDO による大型プロジェクトが進行したが、商業化には至らなかった。天然ガスあるいは石炭ガス化ガスからの間接液化は、海外（石炭：南アフリカ、天然ガス：マレーシア、カタールなど）で進められたが、我が国では小規模なテストプラント建設にとどまっている。その他、ジメチルエーテル直接合成なども検討されたが、こちらも 100 トン/日規模のテストプラントの建設にとどまり、商業化には至っていない。

石油については、自動車の発展に伴い、ガソリン・軽油消費が増え、これより重い重油は船用や発電用として用いられてきたが、発電用重油炊きの縮小と需要の白油化（＝軽質化）に伴い、接触流動分解が進められ、ガソリン・ナフサ増産、重油減産の方向性がとられてきた。1990 年前後に 3 ナンバー車ブームがおこり、排気量の大きな自動車が増えガソリン需要は増加したが、2000 年代に入り低燃費化の流れ、軽自動車普及が進み、ガソリン需要は一転して減少し続けている。このような中で、従来は連産型として知られた石油精製を最上流とする化学産業は、原料調達を海外へとシフトさせ、エタクラッカーによるエチレンからのポリエチレン製造・輸入が進められると、石油精製のバランスが大きく崩れることとなった。今後ともナフサクラッカーの停止、トッパー（石油蒸留塔）の設備廃棄が計画されており、また石油精製業界全体として設備投資が小さい状況が続いている。

石炭については、戦後利用が拡大し、とりわけオイルショック以降、発電での利用が拡大してきた。戦後産炭地振興政策により、北海道および九州の電力では旧式の石炭火力が多用されてきたが、炭層が深いことに起因する 70 年代の相次ぐ炭鉱大型事故とモータリゼーションが重なり、我が国の石炭採掘はほぼ終焉し、現在は北海道釧路海底での採炭および三笠などでの小規模露天掘のみが残る。一方で海外からの安価な一般炭輸入が趨勢を占め、微粉炭火力における超超臨界圧蒸気プラントによる高効率発電が拡大してきた。最近海外一般炭・原料炭の山元寡占化が進み、大手三社が価格支配権を握るにつれ、褐炭など未利用低位石炭資源の利用拡大が進められてきた。我が国が手掛けるインドネシアにおける褐炭アップグレーディングは商業化フェーズに近いところまで来ている。製鉄分野においては、コークス炉齢が上がり、平均して 40 年程度となってきたため、SCOPE21 などのプロジェクト成果を基により高効率なコークス炉化が進められているところである。

バイオマスについては、90 年代に我が国ではブームとなったが、2002 年より農林水産省を中心として進められたバイオマス・ニッポン総合戦略の成果があまり上がらなかった反省

や、木質系バイオマス利用の難しさなどから、エネルギー分野における太宗を担うまでには至っていない。また、アメリカやブラジルではトウモロコシ、サトウキビから作られるバイオマスエタノールがガソリン添加剤あるいは単独燃料として注目されてきたが、アメリカではローマ食糧サミット以降、食糧との競合が問題視されている。我が国では最近では微細藻類による油産出が注目されている。



図 2.2.5 化石資源エネルギー区分における現状俯瞰

再生可能エネルギー区分

本区分における技術面での現状俯瞰を図 2.2.6 に示す。

太陽光は 1974 年に始まった「サンシャイン計画」以来、数多くの研究プロジェクトが行われてきた。また、1990 年代半ばより住宅用太陽光に対する補助金事業が始まり国内の導入量も徐々に増加していったが、2005 年以降に打ち切られたことにより国内市場が縮小した。それまで太陽電池の世界シェアの約半分をもっていた日本のメーカーが弱体化し、ここ数年の間に低価格化で成功した中国や台湾のメーカーが市場を大きく占めるようになった。2011 年 3 月の福島第一原発事故の影響もあり、一般家庭を中心に太陽光の導入が加速している。欧州で成功を収めた再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）が我が国でも 2012 年 7 月より始まり、これを後押ししている（資源エネルギー庁プレスリリース、2012 年 12 月 14 日：7 月以降の再生可能エネルギー導入量 114.3 万 kW のうち、約 96%が太陽光）。太陽電池はこれまでシリコン系・化合物系・有機系が開発され、大学・公的研究機関や企業では変換効率の向上や低コスト化を目指して研究開発を続けている。現状では結晶シリコン系がもっとも変換効率が高く、耐久性や信頼性にも優れる（NEDO、2010）。人工光合成の研究は、まだ基礎研究段階であるが、我が国が世界をリードしている。

太陽熱利用については、我が国では 90 年初頭に家庭用太陽熱温水器やソーラーシステムの普及が図られたが、販売体制の問題などにより急速にしぶんだ。集光型についても香川県で実証試験が行われたがすでに終了、解体されている。一方、海外では我が国の技術を生かしたタワー集光型・ダウンビーム集光型・トラフ型などの利用構想が拡大している。

風力は、石油危機を契機として少しずつ導入が進められたが、90 年代まではその設備総容量は非常に小さいものであった。一方で、1995 年の風力発電装置への補助事業、1997 年の地域新エネルギー導入促進事業や RPS 法などをきっかけとして我が国の風力設備容量は急速に拡大し、95 年に総容量が 10 MW 程度であったものが 97 年には 22 MW に、2000 年には 144 MW に、そして 2006 年には 1490 MW まで一気に拡大した。一方、2007 年改正建築基準法、2010 年新規の風力発電への助成制度中止などがきっかけとなり、設備容量は伸び悩み、2011 年末の時点で 2500 MW 強となっている。また、風況の悪い地域に設置した風車が問題を起こすケースや、風力の事業体が身売りしたケースなどが報道されている。風況は地域によって大きく異なり、北海道・青森・静岡・鹿児島といった地域が設備容量が多い。またこれまで陸上風力が主体であったが、今後は洋上風力を中心に導入が進むと考えられる。この分野では欧州がリードしているが、日本でも着床式を中心に実証試験が行われているほか、福島県沖では浮体式も準備が進んでいる。

海洋エネルギーや地熱は豊富な資源賦存量が我が国にはあるとみられるが（環境省、2011a、2011b）、前述の通り国の新エネルギー政策により約 15 年間停滞していた。したがって、海洋エネルギーは現在の導入量はゼロであり、地熱はその間発電プラントの新設が皆無であった。いずれも近年になって研究開発予算が付くようになり、また地熱開発において最大のネックである国立公園などの規制も環境省が一部で緩和を認め（2012 年 3 月）、洋上風力や海洋エネルギーの導入促進に向けて府省横断で取り組むことが決定している（総合海洋政策本部、2012 年 5 月）。なお、地熱発電用タービンの世界シェアでは、日本メーカーが約 7 割と圧倒している（Bertani、2012）。

バイオマスは、木質系、草本系、農業廃棄物、建築廃棄物、食品廃棄物・厨芥、黒液、下

水汚泥などの種類がある。このうち、木質系については 2000 年代に入り急速にブームとなり利用拡大が叫ばれ、石炭研究者の多くが木質バイオマス転換の研究に邁進した。草本系は我が国では賦存量が少ないが、米国・ブラジルではバイオ燃料の生産など利用が拡大した一方で、食糧との競合が問題とされている。農業廃棄物は量が多くないため我が国では利用があまり進まず、建築廃棄物は CCA（防蟻剤に含まれる銅クロムヒ素）の問題があり、食品廃棄物・厨芥は含水率の高さから熱量が低いため発酵が主な利用となっている。黒液は古くからボイラ炊きによるエネルギー回収に用いられてきたが、古紙回収率向上に伴い減少している。2010 年にバイオマス活用推進基本計画が策定された一方で、バイオマス・ニッポン総合戦略に対する総務省の行政評価では、効率・採算性の低さや成果の不明瞭さが指摘された（2011 年 2 月）。現在は海洋国であり世界 6 位の排他的経済水域（EEZ）を有する点を生かした海洋系のバイオマスならびに淡水系の油産生藻類が注目されるが、実用化には遠い。

再生可能エネルギーを導入する上で重要となる系統対策技術については、全体の規模や需給調整課題を抽出するためのフィージビリティ・スタディや、基幹送電線の設置主体やパワーコンディショナーの認証制度など制度面での検討が始まっている。また分散型エネルギーシステムについて、課題抽出のための実証実験が行われ始めた。

再生可能エネルギー区分 現状俯瞰



図 2.2.6 再生可能エネルギー区分の現状俯瞰

エネルギー利用技術・システム区分

主に民生分野のエネルギー最終利用技術・システムであるが、図 2.2.1 にも示したように、これまで 30 年以上にわたって民生部門、運輸部門のエネルギー消費が増加し続けている。

そうした内容を総合エネルギー統計などにより概観すると（図 2.2.7）、民生部門では、生活の利便性・快適性を追求する国民のライフスタイルの変化、世帯数の増加などの社会構造変化の影響を受け、家庭用エネルギー消費が 20 年間で約 30%増加している。消費の内訳は、冷暖房・給湯などの熱需要が約 65%、動力・照明が 35%程度である。供給源は、およそ 50%が電力、30%がガス、20%弱が灯油となっている。業務部門は通常 9 業種に分類され、事務所・ビル、ホテル・旅館、学校・病院、卸・小売業などが含まれるが、同様に消費が 20 年間で約 40%増加している。消費の内訳は冷暖房・給湯などの熱需要が約 50%、事務機器を含む動力・照明が約 50%である。供給は電力が約 50%、石油が約 30%、ガスが約 25%といった割合である。需要面では空調や給湯といった熱需要が大きく、供給面では電力と石油系燃料が中心で、これらへの対応策が中心となる。

こうしたなかで、まず省エネ型の空調機器が普及するとともに一巡したが、その COP 値は 20 年間で 2 倍程度にまで向上している。また、分散型で需要端における総合エネルギー効率を大きく改善できるコージェネレーション・システムの導入が始まっている。省エネルギーに大きく貢献する建築物の断熱対策も建築基準の強化とともに大きく進展した。これらの対策においてはさらなる効率向上とコストダウンが課題となっている。

供給の約半分を占める電力については、電力事業としての発電効率の向上と系統送電ロスの低減が図られる一方で、前述のごとく大口の需要家から順に自由化が進められ、競争原理に基づく経済合理性の追求が始まっている。小口の需要家への供給に対しても競争原理を導入すること、分散型電源として CO₂ 排出の少ない高効率ガスエンジンや燃料電池の採用や、再生可能エネルギー由来の電力への変換、などが課題となってきた。化石燃料については、資源として豊富で CO₂ 排出が相対的に少ないガスへの移行が進みつつある。エネルギー需給システム全体については、地域における電力、ガス、水道などの総合的な運営を考えていく必要があるが、これまでは行政区分も分かれておりそれぞれが個別に運営されてきた。将来のスマートコミュニティ形成に向けて、ようやく議論が開始され、課題発掘のための実証試験が始まっている段階である。

運輸部門については、40%弱を占める貨物部門は 15 年前から徐々に減少に転じているのに対し、60%強を占める旅客部門（うち 85%強が乗用車）が増え続けている。供給面では主に乗用車で使われるガソリンが 60%弱を占め、主に貨物部門で使われる軽油が 30%弱を占める。そのほか、ジェット燃料が 4%強、電力は約 2%である。石油危機以降、乗用車のエンジン改良ならびに軽量化や排気ガス浄化対策を中心とした省エネ・環境対策が大きく進展し、我が国は技術を軸に事業面でも世界のトップに躍り出た。1990 年代以降地球温暖化の問題が顕在化してくるに従い、いっそうの省エネ・脱石油化を図るべく車の電動化技術が進展した。しかしながら、二次電池の性能が十分でなく、航続距離と価格の面で普及に時間を要している。最近では、世界中で電池の性能向上と価格低減の技術が進み、メーカーによってはハイブリッド車が新車販売台数の 10%以上を占めるようになり、さらに、より蓄電容量の大きなプラグインハイブリッド車や、水素を燃料とする燃料電池自動車の市場導入に向けた開発が進められている。これらにおいてガソリン自動車なみの性能やコストを実現し普及させるた

めには、燃料電池、二次電池、モーター用磁性材料の希少資源代替、熱マネジメントなど、多くの革新的技術開発が必要とされている。

なお、ガソリンエンジンは今後とも数十年にわたって主流を占めると予想され（自動車技術会、2007）、そのエネルギー効率の向上は引き続き課題であり、小型・軽量化やエンジンの高効率化などによる燃費性能の向上について世界的に競争が激化している。また日本では、軽油を燃料とするディーゼルエンジンは主として貨物用に用いられるが、その効率はガソリンエンジンに比べ 1.5 倍程度高いものの、排ガスの清浄度を維持あるいは向上しつつ、いっそうのエネルギー効率向上が課題である。（数字は、主に 2010 年度版総合エネルギー統計）

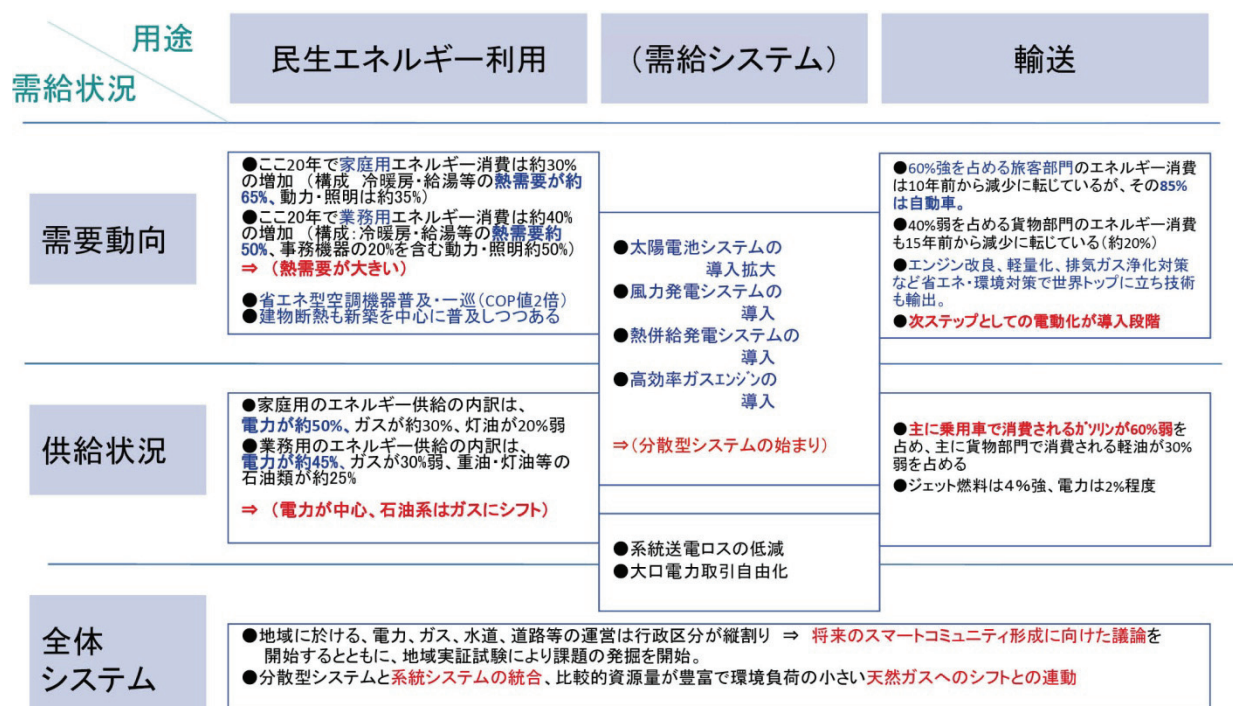


図 2.2.7 エネルギー利用技術システム区分の現状俯瞰

（５）国際動向 エネルギー需給

世界の一次エネルギー消費量は増加を続けている。著しい経済成長を示してきた中国・東南アジアなどの新興経済圏の人口増加およびエネルギー消費量の増加が原因と考えられている。OECD 諸国などの先進国では顕著な人口増加や経済成長は見られず、またエネルギー消費効率の高い機器の普及が進んだため、世界のエネルギー消費量に占める割合は減少基調にある。

一次エネルギーの内訳をエネルギー源別に見ると、世界は依然として化石燃料に大きく依存していることが分かる。その概況は表 2.2.7 のようにまとめられる。

表 2.2.7 エネルギー源別の世界の一次エネルギー内訳とその概況

エネルギー源	供給量 [石油(原油)換算Mt] (%)	概況
石炭	3475.77 (27.3)	中国、インドなどアジア諸国で電力消費の増加に伴い石炭火力発電所での消費が増加している。脱原発に向かうドイツでも石炭の比率が高い。米国で非在来型の天然ガス（シェールガス）が普及し、余った米国産石炭がアジア市場に流入して国際価格を下押しする懸念が出ている。
石油	4107.44 (32.3)	採掘技術の向上により可採年数が増加しているが、カントリールリスクの増大などにより原油価格の推移は不透明さがいつそう増している。先進国における需要は減少基調にある。
天然ガス	2727.61 (21.4)	需要、供給ともに増加の傾向にあり、想定される政策シナリオによらず将来的にもその傾向は変わらないと見られている（WEO2012）。シェールガスの台頭も著しいが環境負荷の問題が指摘されている。
原子力	718.96 (5.7)	発電設備容量は増加を続けてきた。2011年3月の東京電力（株）福島第一原子力発電所事故の発生後、ドイツでは脱原発へと政策転換が行われたが、そのほかの複数の国では引き続き原子力推進の政策がとられている。
再生可能エネルギーなど	1687.36 (13.3)	再生可能エネルギーの導入拡大に向けた取組みは世界的にも続いており、新設容量や発電所への投資は増加を続けている（REN21）。ただし依然として従来の化石燃料と比べると高コストであり、補助金による支援が必要な状況にある。技術開発は風力と太陽光を中心に行われ、国際競争は激化している。

注 1) 供給量の値は Key World Energy Statistics 2012, IEA の Total Primary Energy Supply (TPES) の値を引用した。「再生可能エネルギーなど」には Hydro、Biofuels and waste、Other を含めた。

気候変動とその対策

全球規模の気候の変化の原因としては大気中における温室効果ガス、エアロゾル（大気中に浮遊する固体または液体の微粒子）の濃度変化、地表面および太陽放射の変化が指摘されている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が 2007 年に発表した第 4 次報告書統合報告書によれば、全地球平均の地上気温は過去 100 年間（1906～2005 年）に $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 上昇した（IPCC, 2007）。そして、人為起源の温室効果ガス濃度の増加が、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をもたらした可能性が高く、21 世紀にはさらに大きな気候変化を起こす可能性があることが指摘されている。

IPCC では、21 世紀末までの気候変化とそれによってもたらされる影響の見通しに関する科学的知見をまとめている。その中では、複数の社会シナリオに基づいた気候のシミュレーションの結果に基づいて、各種の生態系への影響（例えば、温度上昇による生息域の縮小）、農業への影響（例えば、水利用可能量の減少による収量減）、低平な沿岸システムへの影響（例えば、海の体積増加と台風などの強化による海水侵入）、人の健康への影響（例えば、蚊が媒介する感染症の高緯度側への拡大）などを検討している。対策としては、温暖化に対する緩和策（温室効果ガス排出削減策）と適応策の両方を検討している。

この科学的知見に基づき、2007 年以後の地球環境に関する国際交渉の場では、世界平均気温の上昇を $+2^{\circ}\text{C}$ 以内に抑えるべきであるという目標設定が語られるようになった。2010 年

の気候変動枠組み条約締約国会議（COP16、カンクン）では、この目標を尊重し世界規模で大幅な排出削減をすることについて総論の合意が得られた。しかし各国の負担内容に関する議論はまとまらず、京都議定書の第1約束期間(2008-2012年)の終了がせまった2012年の締約国会議（COP18、ドーハ）で、2013-2020年を第2約束期間として京都議定書を延長することになった。ただし第2約束期間の約束（commitment）に参加する国の排出量を合計しても世界の約15%にすぎない。日本は第2約束期間に直接には参加せず、二国間クレジットによって途上国の温室効果ガス削減に貢献する方針を示している。2021年以後の体制については2015年までに決めることになった。

第1約束期間の実績評価は完了していないが、日本は、森林吸収分と、東ヨーロッパ諸国からの排出クレジット購入を含めてではあるが、削減目標（1990年を基準として-6%）をほぼ達成できる見込みである。

しかし、UNEP（2012）が採用した見積もりによれば、世界の温室効果ガス排出量はCO₂換算で2010年の49 Gtから、2020年には、各国が排出削減策をとらなければ58 Gt、各国が自主的に表明している約束(pledge)を守ったとしても52 Gtになる見込みである。温暖化を+2℃以内におさえるためには、これを44 Gtまで下げる必要があり、そのためには、まだ政策課題にのぼっていない強力な削減策が必要となる。

各国のエネルギー政策比較

主な先進諸外国の一次エネルギー供給構造とエネルギー自給率は図2.2.8のようになっている（国家戦略室、2011）。日本のエネルギー自給率は20%となっているが、平成23年度エネルギー白書（2009年の値）によれば、原子力を含めない場合は4.4%であり先進諸外国の中でも際だって小さい。

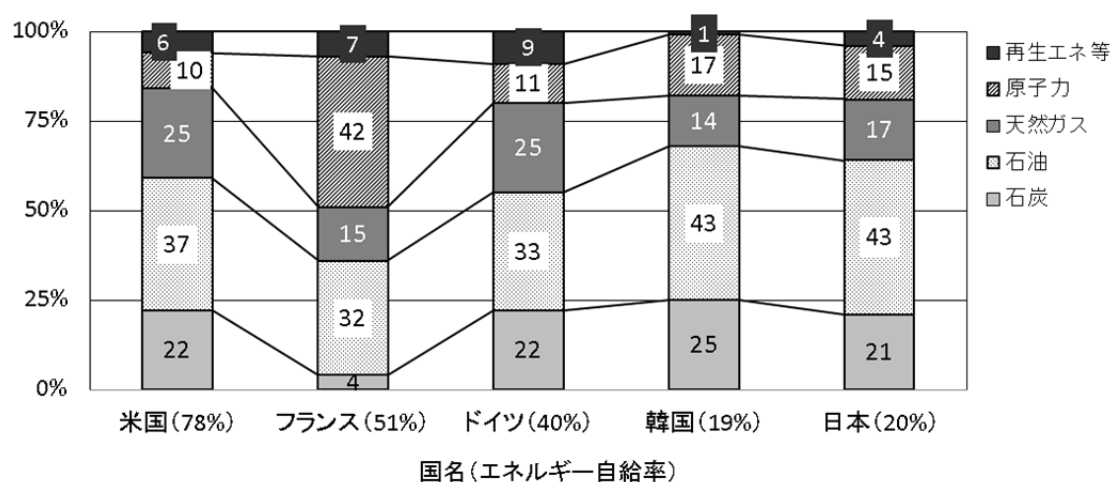


図2.2.8 各国のエネルギー供給構造

(IEA, Energy Balances of OECD Countries (2011 Edition) を基に CRDS が図作成)

また、安全保障上、エネルギー自給率の維持・改善はいずれの国にとっても至上命題の一つであるが、その取り組み内容は各国の諸事情に合わせてさまざまである。米国は、その国土に豊富な化石資源を保有しており、エネルギーミックスの大半が化石資源で占められている。石油輸入依存度の低減が長年の重要政策課題であったが、近年非在来型の天然ガスが市場に本格的に導入されたため、エネルギー安全保障上のリスクが軽減しつつある。フランス、韓国は日本同様に国内資源に乏しく輸入に依存している。ただしエネルギーミックスの構成では両国とも原子力を強く推進しており、特にフランスは関連国内企業（アレバ社）の支援にも力を入れている。ドイツは国土に豊富にある石炭資源の利用を維持する一方で、2002年には原子力発電所の新設禁止、東日本大震災後の2012年には2022年までに脱原発を目指す閣議決定を行っている。各々特色あるエネルギー政策ではあるが、欧州諸国は域内の電力流通が盛んであり、エネルギー安全保障を考える上では島国の日本とは異なる状況下にあると言える。

省エネルギーや再生可能エネルギーの推進状況は、表 2.2.8 に示すとおり各国の共通課題である。科学技術政策という観点では、米国におけるグリーンイノベーションへの体系的かつ継続的な取り組みが顕著である。米国エネルギー省は、2001 年以降、10 年もの歳月をかけて、1000 名を大きく超える有識者の関与によって、グリーンイノベーションに関するビジョンと戦略を取りまとめた。またこのシナリオを実現する仕組みとして、エネルギー省の下に、「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」という 3 つの研究イニシアチブを立ち上げている。

表 2.2.8 各国の省エネルギー、再生可能エネルギーに関する目標

国	省エネルギー	再生可能エネルギー
米国	・2020年までに商業用施設におけるエネルギー効率を現状より20%改善	・2035年までにグリーン電力（再生可能エネルギー、原子力、化石燃料のクリーン利用）として総電力供給の80%
フランス	・2015年から、2030年までにエネルギー効率を毎年平均2.5%以上改善	・2020年までに最終エネルギー消費の23%
ドイツ	・2020年までにエネルギー生産性を1990年比で倍増	・2020年までに総発電量に占める割合の38.6%
韓国	・2009年から、2020年までにGDP当たりエネルギー原単位を約26%改善	・2020年までにエネルギー供給の約6%
日本	・2020年代の可能な限り早い時期に原則すべての需要家にスマートメーター導入	・エネルギー・環境会議で審議中

* 「革新的エネルギー・環境戦略」策定に向けた中間的な整理（エネルギー・環境会議、2011 年）を基に CRDS が作成

（6）まとめ

2000 年代に入ってから日本の“3E”の同時達成という挑戦的な課題に直面し、有効な解決策を見出せずにいる。社会が低迷するなか、エネルギーについても国としての戦略的な体制が弱体化していた。エネルギー利用プロセスの高効率化や省エネルギーでは世界の中で先端をゆく一方、再生可能エネルギーの導入はなかなか進まないなど、個々には優れた成果を上げながらも総体として顕著な変化をもたらすには至っていない。とりわけ再生可能エネルギーの導入に関しては、現在の FIT 下で設定されている買い取り価格の持続性を疑問視す

る声や、種々の国の施策がある一方で関連産業が目立って立ち上がっていないという現状がある。

東日本大震災の発生はそうした日本の低迷に対して大きな衝撃を与えた。福島第一原子力発電所の事故発生以来、国内のほぼすべての原子力発電所は稼働停止となり、その代替として液化天然ガス（LNG）の輸入が増加した。これによりエネルギー自給率が下がり、国際交渉力もいっそう低下している。結果として、2012年には欧州債務危機の影響による輸出の大幅減少などとも相まって日本の貿易収支は過去最大の赤字を記録することとなった。火力発電に伴う二酸化炭素排出も基準年比、前年度比ともに増加している。東日本大震災前後に、当時の民主党政権は成長戦略の一つとして「グリーンイノベーション」を掲げ、続いて「革新的エネルギー・環境戦略」をとりまとめた。こうした国のエネルギー政策に関する基本方針が、新政権下でさらに詳細に検討されるものと予想される。

他方、日本を取り巻く国際環境は大きく変化している。世界とりわけ新興国のエネルギー需要は増加を続け、それに伴い温室効果ガス排出も増加し続けている。エネルギー需要を主に満たしているのは依然として化石燃料であるが、一部では再生可能エネルギー資源の導入も進んできた。再生可能エネルギー資源のうちバイオ燃料への期待が高まってきたものの、エネルギー収支や持続的な土地利用という観点から課題も残る。石油は中東地域におけるカントリーリスクが改めて認識された。一方、米国は新たなオイル、ガスの生産を本格化させ、世界のエネルギー市場のパワーバランスや経済情勢を変えつつある。

2.2.2 今後の方向性

（1）社会の方向

世界経済は不透明感が増しているが、世界的なエネルギー需要は新興国、特に中国、インドの成長に伴い、引き続き増加が予想される。こうした需要に対し、化石燃料は今後数十年間は主たる一次エネルギー源として、原子力もその安全性の向上とともに主要電力源のひとつとして利用されるとみられる。普及拡大が望まれる各種の再生可能エネルギーは、コストと供給安定性の改善が課題である。

またこうしたエネルギー需給に対し、地球環境の問題もいっそう深刻化している。温室効果ガスの排出削減に関する国際的取り組みは、京都議定書の第1約束期間（2008～2012年）が終了したが、世界経済の低迷も影響して第2約束期間へ移り各国の足並みが揃わず後退している。国際エネルギー機関エネルギー見通し 2011年版（IEA、2011）では、地球の平均気温の上昇を2℃以内に収めるためには二酸化炭素の排出にはわずかの余裕もないとの指摘があったが、最新の2012年版（IEA、2012）ではその状況はさらに厳しいと指摘されている。温室効果ガスの排出を伴うエネルギー需給の大幅な規模縮小とエネルギー利用効率のいっそうの向上が必要とされている。加えて、エネルギーの生産、貯蔵、利用など需給の各プロセスでの水需要も高まっており、上記WEO2012でも特別に章立てをして、その危険性に触れている。

一方、日本社会におけるエネルギー状況にはまだ不透明な部分が多い。しかし、政権によらず、安定供給性、環境性、経済性という3Eの同時充足を目指すという基本的方針を維持し、これを将来にわたって追求すべきである。これに対して科学技術が果たすべき役割は大きい。

（２）研究開発の方向性

エネルギー分野の公的な研究開発の方向性は国の方針に大きく依存する。現在は新政権下で改めてエネルギー政策の詳細検討が進められようとしている。こうした状況を踏まえた上で、エネルギーに関する研究開発を今後推進するにあたっての重要な考え方をまとめると、次のようになる（笠木、2012）。

1. エネルギー消費総量の削減を最重要視する。あらゆるエネルギー利用プロセスの高効率化、省エネルギー、需給の平準化などに研究開発努力を継続する。
2. 自然エネルギーの最大導入を図る。システム化によるエネルギーミックスにより導入を助ける。
3. 電力供給を維持するために、当面、天然ガス、石炭の高効率クリーン利用を進める。
4. 分散型エネルギーシステムを導入して、総合効率や危機対策上のメリットなどを生み出す。
5. 中長期の温暖化ガス排出削減シナリオを再構築し、国際的枠組み構築へイニシアチブをとる。
6. エネルギー・物質資源の多様化により、供給安定性・持続性を確保する。
7. 原子力は他のエネルギー源を補完するものとして位置付け、原子力への依存を減らす方向で現実的なシナリオを検討する。ただし、事故で学んだことを活かし、安全性確立のために技術の高度化への努力を続ける。
8. 核燃料サイクル（燃料の再処理）の成否によりシナリオが変わることから、期限を決めて技術的な答えを出すことを前提に研究を推進する。
9. 優れたエネルギー関連技術の海外普及に取り組み、世界の格差是正、温暖化対策に貢献する。

また上記を基本として、俯瞰区分ごとに研究開発の方向性を以下にまとめる。この際、時間軸についての用語は以下の通り定義した。

- ・「短期」研究開発領域：今後 10 年以内に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる研究領域。2020 年前後にはそうした目処がつくことを想定。
- ・「中長期」研究開発領域：今後 10 年から 30 年の間に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる研究領域。2030 年ごろまたはそれ以降に、そうした目処がつくことを想定。
- ・上記、実用化への移行とは実用化の開始時期を指しており、本格的普及にはコストダウンや品質の安定化などさらなる技術開発が必要となる。そのためにはさらに 10 年から 20 年を要すると想定している。

化石資源エネルギー区分

天然ガス、石油、石炭ならびにバイオマスのエネルギー資源ごとに、山元（採掘）から輸送・利用までの流れの中で、各段階における問題点を整理し、それらから導かれる課題を抽出し、図 2.2.9 に示すように整理した。



図 2.2.9 化石資源エネルギー区分における研究開発領域と課題

まず天然ガスに関しては、在来型の天然ガスに加え、非在来型（シェールガス・コールベッドメタン・メタンハイドレートなど）の台頭を視野に入れる必要がある。これら非在来型ガスの参入によりガス価格は低下気味であり、資源を持たない我が国としては、こうした新たな資源の獲得と利用に寄与する新たな技術開発に注力すべきである。具体的には、酸化反応による合成ガス製造とそこからの新規化学品製造のための触媒・プロセス開発、直接転換法実現のための革新的な電気化学反応プロセス開発などが必要となる。また、現在はコスト面で実用化が難しいとされているメタンハイドレートについても、表層型ハイドレートへの減圧法適用を含めた新規技術展開が望まれる。一方で、発電においても天然ガス利用が増大しており、高効率な超高温ガスタービンのための耐熱材料、遮熱技術の開発などが望まれる。民生部門においては、天然ガスや石油原料を用いた SOFC の実用化が進められているが、大規模なエネルギーシステムの導入に向けた単体での高効率化技術が望まれる。

石油に関しては、ノーブルユースが重要であることは論を俟たないが、今後自動車・航空・化学品原料に集約される中で、非在来型の石油化学製品製造ルートの開拓が期待されている。石炭に関しては、構造に近いバイオマスと併せて、低品位炭ならびにバイオマスの高度利用が期待される。現在の石炭利用の大半を占める発電（微粉炭燃焼）および製鉄（コークス化）のそれぞれにおいて、石炭採掘の山元からの輸送・利用における高度な技術が望まれる。

このほか、これらを横断的につなぐ技術として、石炭やバイオマスを液体・気体資源へと転換する高効率技術、非在来型を含むガス資源を液体資源・化学原料へと転換する高度転換技術が望まれる。また、工場などでの排熱利用による総合的なエネルギー効率の観点からは、これら資源転換反応とリンクした新規の低温排熱利用の吸熱反応による化学エネルギー回収が重要と考えられる。

他にも図 2.2.9 に示す通り、化石資源区分においては多くの課題があげられるが、我が国のエネルギー利用におけるベストミックス及びカントリーリスク回避の視点で重要となる技術課題を精査し、とりわけ重要度の高いものとして以下の 10 領域群を選定した。

1. 低品位・未利用固体炭素資源の革新的改質転換・輸送・利用技術
2. メタンハイドレート利用技術の開発
3. 超高温材料技術
4. 革新的電気化学的反応器の基盤開発
5. 超高効率固体酸化物形燃料電池の開発
6. 負荷運用性に優れ CO₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術
7. 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術開発
8. 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒の開発
9. 新たな石油化学品製造ルートの開発
10. 次世代型バイオ燃料の開発

上記では、図 2.1.2 に示したエネルギー・フロー、熱量、価格（＝経済）の観点から、今後注目すべき課題を検討し、さらに従来提案されることの少なかった新規性の高い課題を優先した。化石資源の中では天然ガスが総合的には優れていると考えられるが、化石資源をほぼすべて輸入に頼る日本としては、安定供給面でのリスク回避が極めて重要で、複数の資源国から複数の化石資源を入手することが肝心である。したがって、特定の化石資源に絞ることなく、ベストミックスの考え方をベースにし、化石資源の種類ごとに必要な技術開発を進めることが戦略として妥当であると考えられる。上記 10 課題はそうした意義も有している。

再生可能エネルギー区分

再生可能エネルギーは、太陽や風、地球内部の熱や海洋など自然界から得られる力を利用して産生・供給されるエネルギーで、自然エネルギーとも呼ばれる。そして、化石資源と異なり、利用する以上の速度で絶えず資源が補充され、枯渇しないエネルギーとも定義される（IEA、2010；IPCC、2012、など）。当区分では、主に、太陽光、風力（陸上風力、洋上風力）、海洋（海洋温度差、波力、潮流・海流）、地熱（高温熱水、温泉、地中熱）、バイオマス（液体燃料、ガス化・発酵、燃焼）を主な対象とした。また、水力のうち中小水力についても拡大が期待されることから検討に含めた。なお、地中熱を再生可能エネルギーに含めないとする考え方もあるが（IEA、2010）、当区分では地熱の一つとして含めている。これらのエネルギーについては、「NEDO 再生可能エネルギー技術白書」（2010 年）などでも取り上げられているように、経済産業省を中心に検討されているエネルギーである。

今後の研究開発課題の検討にあたっては、以下のような考え方が重要であろう。すなわち、エネルギー賦存量やコスト計算、また地球温暖化対策（CO₂削減）などを勘案し、導入拡大が見込める技術課題を抽出すること、また、エネルギー種別ごとに技術の成熟度や研究開発から実用化への段階がそれぞれ異なるため、時間軸を明確にすることである。

これらを念頭に置き、再生可能エネルギー導入可能量の検討結果を図 2.2.10、そして研究開発課題群を図 2.2.11 に示す。各エネルギーについて図の右側のグラフで表示された発電電

力量（バイオマスについては熱量）を中心に、今後の導入拡大の姿について示した。この導入量は、現状の技術動向や政策的・社会的な制約などを考慮して今後見込まれる量である。エネルギー種別ごとに、実用化あるいは導入拡大までのタイムスパンが異なることに留意する必要がある。また、再生可能エネルギーの賦存量の小さい我が国としては、風力、太陽光、バイオマス資源の豊富な諸外国に優れた開発技術を持ち込み、再生可能エネルギーを輸入することも有力な戦略のひとつとして考えておく必要がある。

短期的には、太陽光と風力の導入拡大が期待される。特に太陽光は、固定価格買取制度（FIT）などの政策効果もある。今後 10 年間で、住宅用太陽光の普及率（約 3%、2011 年）を大きく増やすことが重要である。南北に長い日本の地形においては日照条件の地域差が存在するが、既存の太陽光発電技術は各地の日照時間などの条件に適合した機能を有していない。太陽光に不利な地域でも普及率を上げることが、日本全体の太陽光の導入拡大の鍵になると考えられ、そのためには日照時間や高温などの様々な環境条件に対しても十分な発電能力を発揮できるような太陽光技術が必要である。一方で、国際的な産業競争力の観点から、次世代の革新的な太陽電池の開発で世界をリードし、日本企業が世界市場を先導することを中長期的に考える必要がある。

陸上風力については、短期的には拡大の見込みがあるものの、2030 年以降はほぼ頭打ちになると予想される。これに対し、洋上風力は陸上風力よりもポテンシャルがはるかに大きく、2030 年頃には発電電力量が陸上風力と同等になるまで拡大すると考えられる。特に、沿岸に設置する着床式よりも沖合に設置する浮体式が今後の風力では主流になっていくとみられ、そのための様々な技術開発が必要である。具体的には、これまでの技術トレンドでもある風車の大型化によるコストダウンや、後述する海洋エネルギーでも共通の支持構造物となる浮体の開発が核になる。これらの開発では、洋上風力の進んだ欧州と異なり、日本特有の厳しい気象や海象への耐久性や軽量化が求められる。特に、浮体の開発では日本が本来得意とする造船技術が活用でき、海外展開も期待される。また、陸上風力と異なりメンテナンスが困難になることから、故障の兆候を知ることができるリモートセンシング技術なども必要である。

海洋エネルギーや地熱は中長期的に導入が進むと考えられる。我が国には豊富な資源賦存量があるとみられるが（環境省、2011a、2011b）、現状では研究開発が細々と行われている程度である。地熱開発に対する規制緩和を含む政策課題や利害関係者の調整など、社会的合意形成の課題も大きい。当面は、将来の実用化に備えた技術開発を着実に進めるべきと考えられる。

海洋エネルギーにおいては発電効率の向上が重要課題であるほか、浮体の技術は洋上風力の研究開発に伴って大幅に進歩することが期待される。また、地熱は量的には高温熱水を利用した発電が拡大するが、一方で温泉熱を利用した発電技術は日本の温泉街における地域分散型エネルギーとしての価値も持っている。既存の技術を応用して発電設備を開発すれば良いが、普及には小型化・低コスト化が課題となる。

なお、再生可能エネルギーは電力利用のウエイトが大きい、熱利用も重要である。中でも太陽熱は、我が国でかつて普及促進施策も取られてきたが、その後停滞してしまった。近年ではコストなどの面で太陽熱が見直されつつあり、また太陽光とのハイブリッドシステムの研究開発も行われている。技術的には集熱機能の向上が課題となるが、一方で太陽熱シス

テムの普及には補助金制度などの政策誘導が必要である。再生可能エネルギーでは太陽光が偏重される傾向があるが、適切なバランスで普及推進策を進めるべきである。

バイオマスは熱量換算しているため電力との単純比較は難しいが、我が国ではポテンシャルが小さい。現状では、様々なプロジェクトの下でエネルギー生産のための技術開発が実施されているが、それ以前に原料を十分確保することが最優先課題である。バイオマス資源そのものを増やす、あるいはそこから得られる有用物質を増やすために、その基礎となる遺伝子やタンパク質、代謝産物の解析を行い、それらのデータの活用が考えられる。

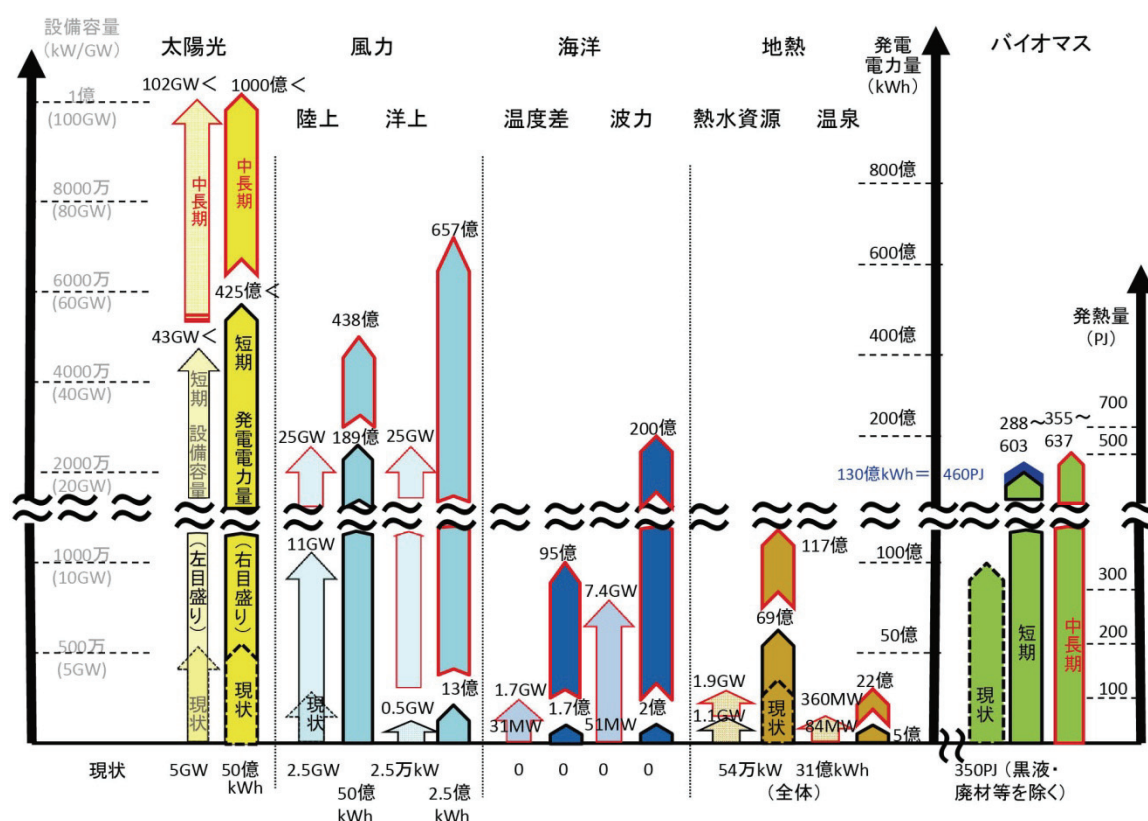


図 2.2.10 再生可能エネルギー導入量見込み

(太陽光、風力、海洋、地熱の各エネルギーについては、左側のグラフが設備容量 (kW/ GW、左目盛り) を、右側のグラフが発電電力量 (kWh、右目盛り) を表す。バイオマス (黒液や廃材を除く、あらゆるバイオマス利用) については発熱量 (PJ (=10¹⁵J)、右端の目盛り) で表示する。黒点線枠のグラフは現状の導入量 (表示可能なもののみ) を示し、黒実線枠のグラフは短期の、赤実線枠のグラフが中長期の導入量を示す。導入量の根拠については、NEDO (2009)、NEDO (2010a)、NEDO (2011)、日本風力発電協会 (2012)、自然エネルギー政策プラットフォーム (2010)、バイオマス活用推進会議 (2012) に基づき、有識者の議論を踏まえた。)

以上を踏まえ、今後の主要な研究開発領域として以下の7領域を抽出した。

1. 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 (短期)
2. バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 (中長期)
3. 地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術 (短期)

4. 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）
5. 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）
6. 高温地熱エネルギー利用の革新的利用技術（中期）
7. 太陽熱利用普及拡大に向けた技術・システム開発（短期）

再生可能エネルギー区分 研究開発領域と課題

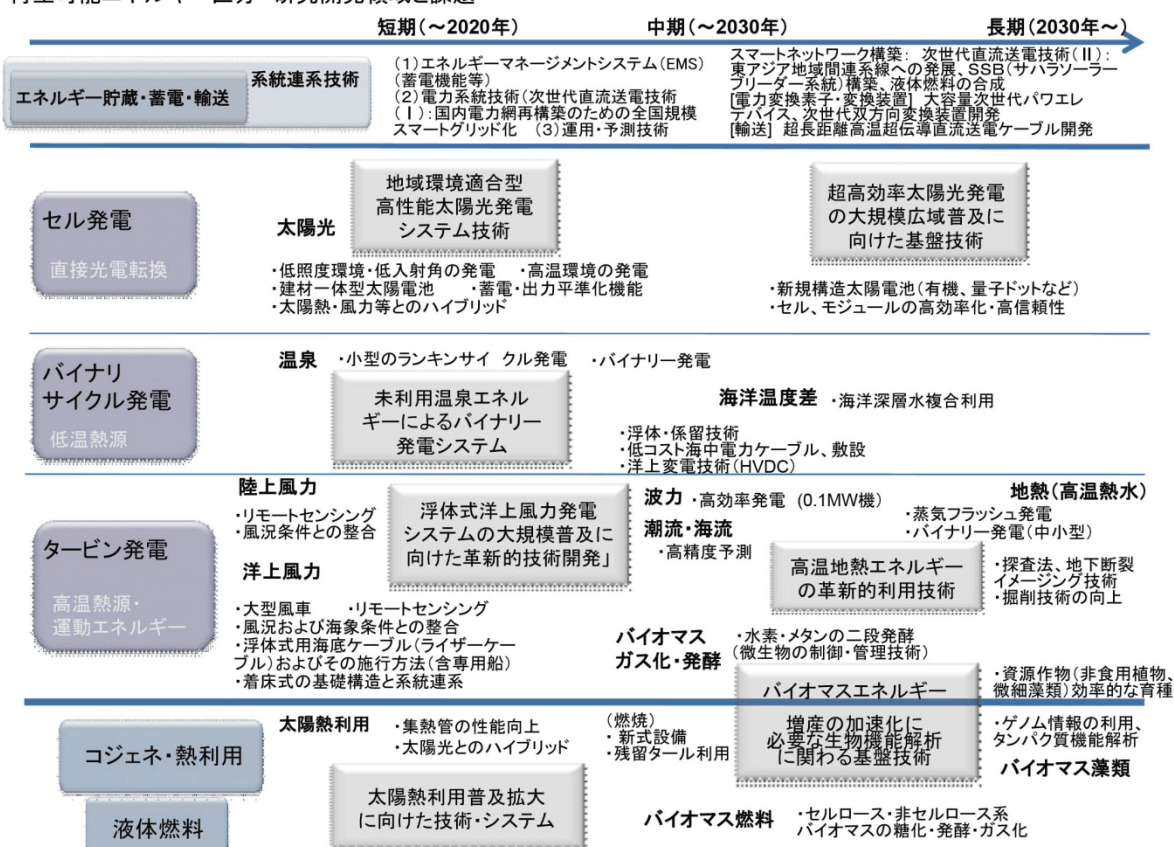


図 2.2.11 再生可能エネルギー区分における研究開発領域と課題

これらを総括すると、今後の方向として、①量的インパクトの観点から「次世代技術による再生可能エネルギー導入の最大化」（主に太陽光と風力）、②ベースロードとしての「化石資源の代替の促進」（主に地熱とバイオマス）、③「地域の特性に適したエネルギー導入」（温泉バイナリー発電、太陽光、太陽熱など）、が考えられる。

安定電源である地熱資源を有効利用することは、我が国のエネルギーセキュリティ上意義がある。地熱エネルギーは長年開発が停滞していたが、積極的に導入される気運にある。ただし、規制対策なども考慮して中長期的に拡大を図る必要がある。再生可能エネルギーで唯一液体燃料としての利用が可能なバイオマスは、特に輸送用燃料として化石燃料に代替可能である。

太陽光や風力は、量的インパクトは大きいが出力変動の平準化が課題とされる。系統対策や発電によるエネルギーの貯蔵・輸送のための技術を早期に確立し、これらの導入拡大に備えることが必須である（このことは当区分でも検討した他、エネルギー利用技術・システム区分で主に扱っている）。

我が国の再生可能エネルギーにおける基礎研究の水準は概して高く、特に研究コミュニティの大きい太陽光やバイオマスでは優れた研究成果が多数出ている。これに対し、産業化になると海外に勝るものがほとんど見当たらず、優れた技術を海外メーカーに利用されてしまう。産業政策も視野に入れた研究開発の戦略的推進が必要で、このことは国際的にコスト競争が激化している太陽電池の開発についてもいえる。我が国の現在実施されている再生可能エネルギー研究開発は、ほとんどが最長5年という短期間で終わってしまうために、結局は中途半端な成果しか出ていないことも指摘できる。また、研究開発事業間のつながりがなく、重複や空白がみられる。一方、洋上風力や海洋エネルギーの研究開発で世界をリードしている欧州では、基礎研究から実証試験までの道筋ができており、また実証試験のためのプラットフォームも整備されている。我が国でも、このような研究開発体制の構築が強く求められる。

エネルギー利用技術・システム区分

エネルギー利用技術・システム区分においては、我が国全体のエネルギー需給バランスの定量的検討から輸送分野と低位熱需要分野で大きな損失が存在していることが明らかであり（図 2.2.1）、いっそうの高効率化と省エネルギーを進めることが基本と考えられる。さらに、我が国の総合的なエネルギー政策を考えると、今後再生可能エネルギーの最大導入と緊急時のエネルギー確保が重要といえる。こうした観点から当該区分の今後の研究開発の方向を検討するに当たって、省エネルギーの極限追及、再生可能エネルギーの最大利用、緊急エネルギーの確保の3点を重視した。

具体的な検討対象としては、最近の政策課題（例えば、技術戦略マップ(NEDO、2010b))として、運輸部門の省エネルギー（先進交通システム、内燃機関高効率化、電気自動車などのクリーンエネルギー自動車、燃料多様化など）、民生エネルギー利用の効率化（高効率コージェネレーション、高効率ヒートポンプ・給湯器、次世代照明など）、エネルギーシステムの効率化（各種 EMS・Energy Management System、高効率送電、電力貯蔵・発電技術など）などが取り上げられている。2.2.1（4）に述べた現状の課題認識ならびにこうした政策上の課題認識に上記の3つの観点を加味し、以下の領域を検討対象とした。なお、電力変換や産業界におけるエネルギー変換利用については化石資源エネルギー区分で、再生可能エネルギーの獲得から利用形態への変換までは、再生可能エネルギー区分で取り扱うこととした。

1. 輸送エネルギー（旅客・貨物）
2. 熱エネルギー（家庭・業務－空調・給湯など）
3. エネルギーキャリア（化学物質）
4. エネルギーネットワーク（電力、IT・計測）

＊HEMS、BEMSは2. および4. に含む

＊電力の国際連携は4. に含む

＊ガス貯蔵・輸送技術・システムおよび水利用技術・システムは今後検討

これらの4領域について、今後10～30年にわたって取り組みが必要と考えられる技術課題を俯瞰した。100件以上の課題を検討したが、代表的な30件を表2.2.9に示す。

輸送エネルギーについては、抜本的な利用効率の向上および資源・環境問題への対応から、

二次電池搭載のハイブリッド電気自動車普及段階に入るとともに、水素燃料電池自動車も2015年の実用化を目標に開発が進められている。これらの本格的普及には二次電池の大容量化や燃料電池白金触媒の大幅削減などの技術革新が必須となるが、その見通しが未だ得られていない。異分野の専門研究者の協働による基礎的現象の解明と材料開発が特に重要と考えられる。この領域は、分散型エネルギーシステムにおける定置型蓄電池の性能向上とも連動している。世界的に激しい研究開発競争が展開され始めており、産業競争力維持の観点も含め、中長期的視点から産官学が幅広く連携して戦略的に研究開発を推進する必要がある。

一方、電動化が進むとしても、2030年でも自動車燃料の80%はガソリンなど化石燃料が使用されるという予測があり（自動車技術会、2007）、今後とも多くの輸送機器に搭載されるガソリンエンジンの高効率化は依然として重要である。さらなる効率向上のためには、火炎伝播や高温雰囲気潤滑現象の解明など基礎的研究の強化が必要である。比較的エネルギー効率の高いディーゼルエンジンについては、今後乗用車への適用のための軽量化・騒音低減も含め、さらなる技術改善が課題となる。また、情報技術と一体化した交通システムの構築については産官学の協同による多くの技術的検討と実証研究が進められてきたが、具体化には費用対効果に関する客観的な評価の共通認識化が課題となっている。

民生部門の空調や給湯などの熱エネルギーについては、燃料の燃焼はエクセルギー損失を伴う不可逆過程であるから、これを回避したプロセスを構築することが基本戦略と考えられる。具体的には、断熱や熱再生、高温の燃料電池コジェネレーション、ヒートポンプなど、非加熱プロセスを指向することが必要となる。またソフト面では、需給マッチングや熱輸送コスト低減システムの検討などが課題である。代表的な技術課題例としては、例えば、数十～数百℃の熱源（地熱・太陽熱など、エンジンや燃料電池、化学プロセスからの排熱など）から数十kW～MW程度の電力を回収する小型バイナリー発電の低コスト・高効率化技術開発などがあげられる。さらに、家庭や業務などでの熱利用の大半を占める200℃までの加熱について、化石燃料の燃焼を回避可能とする高温ヒートポンプの開発実用化が望まれる。これらは、原理的に新しいものではなく、断熱や潤滑の性能を飛躍的に向上させる材料やシステムの研究開発、サイクル効率を大幅に向上させる新作動流体の研究開発、そして適用先の条件に合った全体システムの最適化などを総合的に進めることが肝要である。なお、省エネの具体策として太陽熱利用の有効性（1次エネルギー基準システムCOPが他よりも高い）を再認識すべきである。

民生部門の熱エネルギー利用効率化は、地域社会システムとも深く関わりあう。我が国の民生部門（家庭・業務）のエネルギー消費量とほぼ同規模の未利用エネルギーが地域に存在する（資源エネルギー庁、2008）。エネルギー白書2012にもある通り、これまで工場・事業場、住宅・建築物などのエネルギー対策を、複数街区または地区レベルにおける複数の建築物の間の熱エネルギーの融通や、再生可能エネルギー熱や未利用熱などの熱エネルギーの有効利用を推進するなど、まちづくりと一体となった熱エネルギー有効利用の観点から推進することが必要となる。

化学物質としてのエネルギーキャリアは、蓄電池に比べ大容量のエネルギー貯蔵・輸送・利用のための媒体として、地域の再生可能エネルギー平準化（最大利用）や大陸間輸送、緊急時のエネルギー供給などに有効な手段と考えられる。水素エネルギーシステムについてはこれまで多くの取り組みがなされているが、水素以外にもアンモニアや有機ハイドライドな

ど、エネルギーキャリアとして利用可能な物質がある。そしてそれらの製造基本技術は、すでに存在する。しかしながら、再生可能エネルギーからエネルギーキャリアへの変換技術や、エネルギーキャリアから電気・動力への再変換技術、また貯蔵や輸送に関わる安全や品質の基準など、未検討の課題が多い。これまでは、少なくとも平常時には、比較的安価にかつ量的にも安定して化石資源の入手が可能であったことから、危機対策としての技術開発はそれほど進まなかった。現在こうした面では部分的な基礎研究の段階にあるが、まずは幅広い知見の蓄積が急がれる。そして、必要となる量的規模や特性、そして安全性などの目標値や要達成時期について、社会的ニーズを整理した上で実用技術に向けた研究開発に進むべきと考えられる。再生可能エネルギーの最大限利用という観点から、それらを用いて化学品の生産を行う技術の研究開発を進めておくことも必要と考えられる。

電力、燃料、情報のネットワークを繋ぐエネルギーネットワークは、再生可能エネルギーの最大利用や需給変動吸収による、社会システム全体のエネルギー総合利用効率向上および低炭素化が重要な政策課題となるなかで、不可欠の基幹技術・システムである。我が国では分散型システムやネットワークの技術的蓄積が少ない。具体的には、緊急時への対応も含めた自立型の地域分散エネルギーシステム、そして系統（電力・ガスなど）との統合制御システム、さらには海外ネットワークとの連結システムを順次立ち上げて行くことが必要となる。その際に、情報通信ネットワークとの結合、需給実態のセンシングからの制御、大容量二次電池や化学エネルギーキャリアによるエネルギー貯蔵と電力等への再変換、中低温熱発電の効果的取り込みなど、スマートグリッドとしての要素・基盤技術の確立が必要となる。その上で、2030年ごろまでには、系統統合化技術、電力輸送・変換システムの包括的スマート化が必要で、研究開発課題は山積している。長期的には、国際的な電力ネットワークの構築に向けた基盤技術の確立と標準化のリーダーシップ獲得などが期待される。

なお、スマートグリッドは、電力需要ならびに分散型電源の実時間把握を可能とするセンサ類と、多数のセンサ群と需給調整拠点との間を結ぶ情報通信手段、そして膨大なデータを瞬時に処理できる情報処理装置で構成される。このようなシステムの構築が望ましいことは理解されるが、多大な投資を伴うシステム構築のメリット、デメリットを確実に事前把握することも重要課題である。総合エネルギー効率が10～20%向上する可能性があるといわれるが、一般需要者の行動心理も関係するため、多くの社会実験と市民の合意形成が実現の条件となる。

以上から、エネルギー利用技術・システム区分における研究開発領域と課題を表2.2.9のように整理した。前述の3つの視点を縦軸にとり、検討対象とした4つの領域を横軸にとって示している。表中に赤字で示す8つの領域は、特に今後10～30年にわたって取り組みが必要と考えられる主要なものである。点線は、主要研究開発領域が、縦軸に示す複数の視点に横断的に応えることを示している。また、表中にはその他の領域・技術課題約30件も示している。なお、ガスパイプライン、エネルギーキャリアの海外輸出入、国際電力ネットワークシステムの課題は相互に関連付けて位置づけを吟味する必要がある。

ここでの研究開発領域8件は、これまで国家プロジェクトとして取り組まれてきたが、ハードルの高さから引き続き加速推進すべきもの（次世代二次電池、低コスト・高効率燃料電池）、これまでは民間主導で取り組まれてきたが、今後公的資金の集中投入によりブレークスルーを図るべきもの（高効率ガソリンエンジン、中低温熱利用基盤技術）、これまでは注目さ

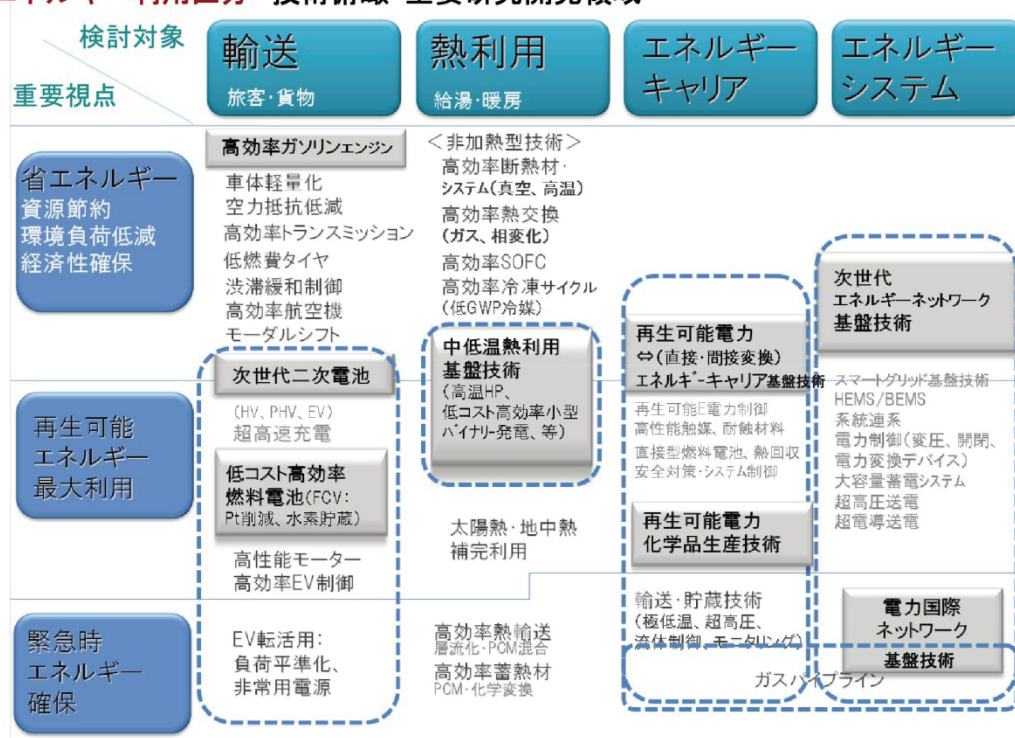
れていなかったが、情勢の変化により今後研究開発を加速すべきもの（エネルギーキャリア、再生可能電力による化学品生産、次世代エネルギーネットワーク基盤技術、電力国際ネットワーク基盤技術）と位置付けられる。

上記8件の主要研究開発領域を、今後10～30年の時間軸に置いたものが図2.2.12である。短期研究開発領域としては、高効率ガソリンエンジンや低コスト・高効率燃料電池、中低温熱利用基盤技術を取り上げている。これらは、これまでの技術蓄積をベースに、集中的な取り組みによりブレークスルーを図ることを期待するものである。その他の研究開発領域については中長期課題としているが、当面は基礎研究による知見の蓄積あるいは実証研究による技術的課題の発掘・特定が必要となるもので、それらを元にしてその後の本格的な研究開発を展開すべきと考えられる。

エネルギー利用技術・システム区分の研究開発においては、不特定多数の需要者の意識により求められる達成技術レベルは変化する。ここで提示した研究開発の方向性は基本的には変わらないと考えられる。したがって基礎研究を継続的に推進することは必須であるが、集中的なリソース投入の時期や規模については民意を踏まえた政策との整合性にも留意することが必要といえる。また、含まれる要素技術の相互連関を制御する必要のあるシステムの課題が多い。そこではハードとソフトの双方を含む情報技術（特に双方向技術）の最大限の活用が不可欠であり、そうした横断的な専門分野との連携が必要となる。

表 2.2.9 エネルギー利用技術・システム区分における研究開発領域と課題

エネルギー利用区分 技術俯瞰・主要研究開発領域



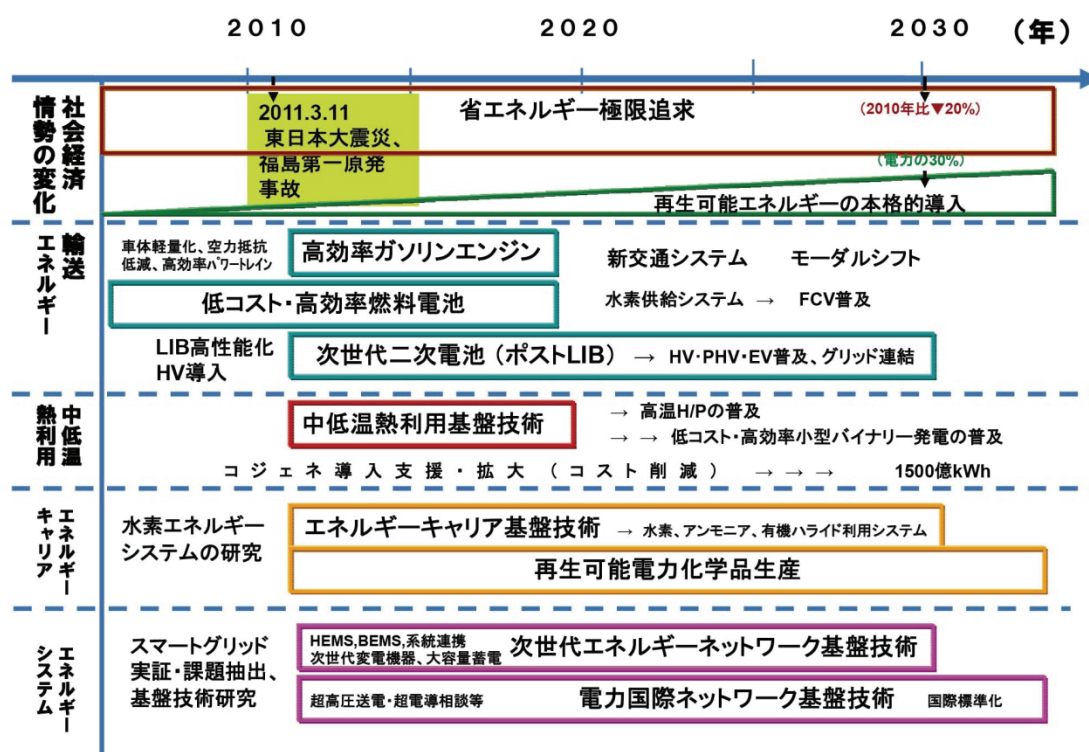


図 2.2.12 時間軸上のエネルギー利用技術・システム区分の研究開発領域

おわりに：エネルギー分野の研究開発のあるべき方向性

今後の研究開発の方向としては、繰り返しのべたように、まず、化石資源は当分の間エネルギー供給の主役とならざるを得ず、化石資源利用効率の抜本的な向上が急務であり、かつ中長期的な戦略に基づく対応が必要といえる。再生可能エネルギーについては、原子力への依存が見通せなくなった今、最大限の活用のための技術確立が急務となっている。当面の寄与率は小さいが、産業構造の転換を進め、民生需要の抑制策を浸透させることで社会全体への普及は格段に向上する。これらのエネルギー資源を、環境特性、経済性の側面から複合的に評価したうえで、エネルギー供給のベストミックスの視点から研究開発を戦略的に推進することが必要となる。また、エネルギー利用技術・システムについては、需要端における、再生可能エネルギーの最大限利用および化石資源も含めたエネルギーの総合利用効率の向上、また緊急時エネルギー確保、そしてこれらを支えるスマートなエネルギー需給システムの構築に向けて、要素技術の研究開発から、社会システムとの連動も含めたシステム技術の研究開発を急ぐ必要がある。表 2.2.10 はこうした考えの延長線に浮かび上がった今後の重要領域である。

表 2.2.10 取り組みを強化していくべき主要な研究開発領域

俯瞰区分	短期	中長期
化石資源 エネルギー	- 低品位・未利用固体炭素資源の革新的転換・輸送・利用技術 - 超高効率固体酸化物形燃料電池 - 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な石炭火力発電技術	- メタンハイドレート利用技術 - 超高温材料と伝熱技術 - 革新的電気化学反応器の基盤技術 - 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 - 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒 - 石油化学品の革新的製造プロセス - 次世代型バイオ燃料
再生可能 エネルギー	- 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 - 地域環境適合高性能太陽光発電システム技術 - 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム - 太陽熱利用の革新的技術・システム	- バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 - 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術 - 高温地熱エネルギー革新的利用技術
エネルギー 利用技術・ システム	- 低コスト・高効率燃料電池 - 高効率ガソリンエンジン - 中低温熱利用基盤技術	- 次世代二次電池 - 再生可能電力による化学品生産技術 - 電力国際ネットワーク基盤技術
	- エネルギーキャリア基盤技術 - 次世代エネルギーネットワーク基盤技術	

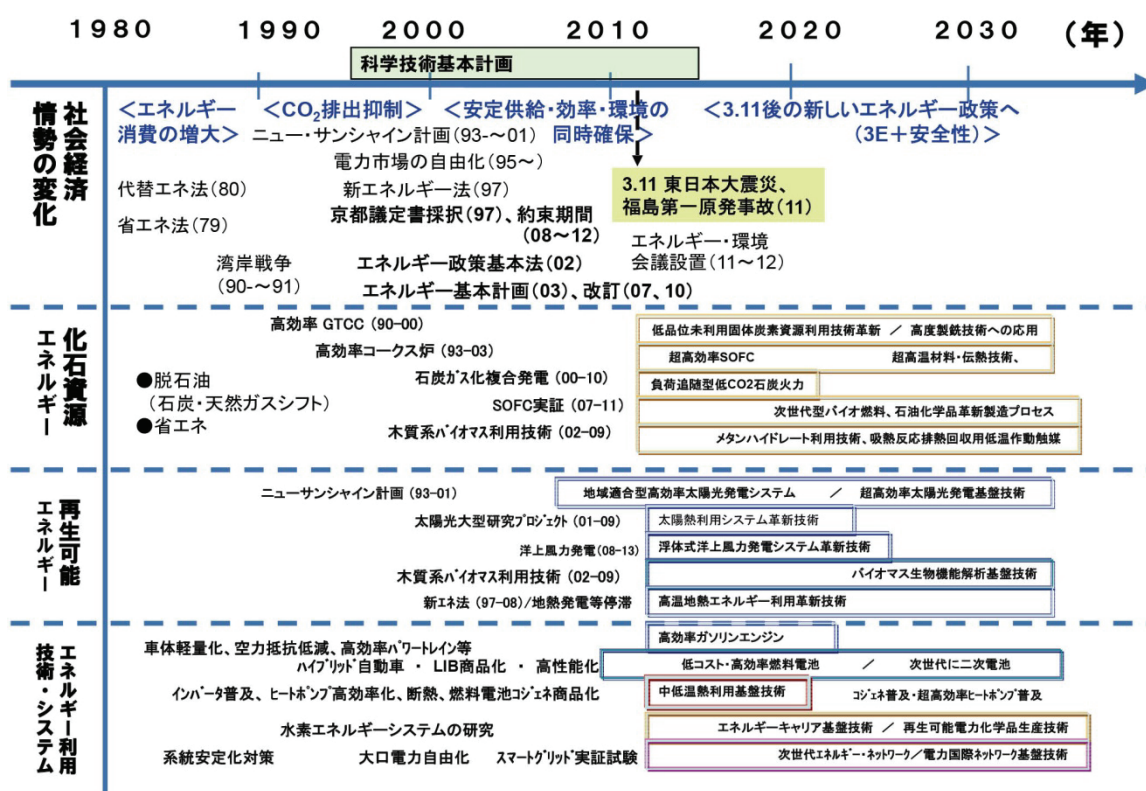


図 2.2.13 時間軸上のエネルギー分野研究開発動向の俯瞰

上記を時系列的な研究開発動向として展開し、図 2.2.13 に示す。2030 年頃の社会経済情勢は不透明であるが、1980 年前後の石油危機以降 50 年の縮尺年表としてみるとそれほど先

でもなく、マクロトレンドが読み取れる。これまで述べてきたように、エネルギー分野の研究開発には 10 年単位での時間を要するといっても過言ではない。これまでのように、数年から 5 年程度の短期的取り組みだけでなく、それと平行した、将来を見据えた中長期の戦略に基づく研究開発への取り組みが強化されねばならない。

また、上記の研究開発を支える我が国のエネルギー分野の研究開発体制も見直していく必要がある。先の提言（CRDS、2011b）でも指摘したように、我が国の政策目的基礎研究体制の強化充実が望まれる。産学官それぞれの役割分担を明確にした上で目標を共有する連携が必要である。そして、そうした研究開発活動を通じて優れた次世代人材育成も進めて行くことが重要である。

以上のようなエネルギー関連の戦略的な研究開発施策は、当然のことながら国のエネルギー基本計画と連動して立案されることが望ましい。両者において、我が国の総合的なエネルギー計画、将来の技術開発、それらに伴って変化する温暖化ガス排出削減の見通し、エネルギー経済や産業構造、そして国民の生活などを、数理的に予測するための「エネルギー政策のための科学」（CRDS、2012a）の支援は必須であり、その構築も極めて重要な研究課題であることを指摘しておきたい。現在は、経済学や工学の一部少数の研究者により開発された手法による具体的な予測結果が政策立案に時折採用されることがあるが、継続的な研究開発プログラムに取り上げられていないため、欧米諸国と比べて学術的にも人材的にも極めて手薄な状況にある。先端技術の開発に直接関係するものではないが、忘れてはならない重要課題と言える。

エネルギー分野の技術・研究開発は、これまで資源確保と環境課題への対応、そして経済原則に沿って産官学の関係者により進められてきた。今回抽出した主要研究開発領域は極めて広い技術分野を包含しているが、財政的制約が増すなかで、国民のコンセンサスを得ながら優先順位や産官学の役割分担を明確にして推進していかねばならない。従って、国策上の各種目標技術の客観的評価、プライオリティセッティング、そして政策決定プロセスに科学的方法の支援を導入し、賢い選択を導くことも不可欠な課題である。これまでのさまざまな政策プロセスにおいて、客観的な評価と主観的な判断が混在した議論が重ねられた例が数多くあり、冷静な合意形成を困難にしてきた。そうした場にも、社会の期待に応えるべく科学の知識を活かす機会があるといえる（笠木、2013）。

3. 研究開発領域

第3章では、エネルギー分野の3つの俯瞰区分の中から第2章で述べた検討に基づいて抽出された合計25の研究開発領域のそれぞれについて、現状と課題、国際比較を記述する。

以下は、それぞれの研究開発領域について、専門家（CRDS 環境・エネルギー研究戦略会議およびその分科会の委員）の協力を得て、科学技術・研究開発の国際比較および注目すべき研究開発の動向の調査を行い、その結果をとりまとめたものである。

各研究開発領域に関して、次の項目を含む。

(1) 研究開発領域名

(2) 研究開発領域の簡潔な説明

(3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

国内外の動向には研究開発と政策の両方に関するものを含む。

(4) 科学技術的・政策的課題

領域に存在する技術的なボトルネック、知識の欠如、または制度上の課題（産官学連携、府省連携、ファンディング制度、インフラ、知財戦略、標準化）などについて記す。

(5) 注目動向

ホットな研究開発課題、当該分野の潮流を生むような新しい知見や新技術の創出、国際的なファンディング動向など近年のトピックスなどについて記す。

(6) キーワード

当該研究開発と関連の深い重要な専門用語を複数記載する。

(7) 国際比較

原則として日本、米国、欧州、中国、韓国を比較し、「基礎研究」、「応用研究・開発」、「産業化」の3つのフェーズについて、現状およびトレンドを記す。また各国の状況および評価の際に参考にした根拠などについて記す。

(8) 引用資料

上記(1)～(7)の記述の根拠となる論文や総説などの情報について記載する。

このうち(7)国際比較は、表の形にし、次の用語および記号の約束を用いている。

フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国立研究所などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

現 状 ...

各国の技術力の現状（我が国の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価）

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている

○：ある程度の活動・成果が見えている

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

トレンド ... 各国の技術力が過去と比較して近年どのように変化してきているか

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

3.1 化石資源エネルギー区分

- 3.1.1 低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）
- 3.1.2 メタンハイドレート利用技術（中長期）
- 3.1.3 超高温材料と伝熱技術（中長期）
- 3.1.4 革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）
- 3.1.5 超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）
- 3.1.6 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）
- 3.1.7 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術（中長期）
- 3.1.8 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）
- 3.1.9 石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）
- 3.1.10 次世代型バイオ燃料（中長期）

3.2 再生可能エネルギー区分

- 3.2.1 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）
- 3.2.2 バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）
- 3.2.3 地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）
- 3.2.4 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）
- 3.2.5 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）
- 3.2.6 高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）
- 3.2.7 太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）

3.3 エネルギー利用技術・システム区分

- 3.3.1 低コスト・高効率燃料電池（短期）
- 3.3.2 次世代二次電池（中長期）
- 3.3.3 高効率ガソリンエンジン（短期）
- 3.3.4 中低温熱利用基盤技術（短期）
- 3.3.5 エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）
- 3.3.6 再生可能電力による化学品生産技術（中長期）
- 3.3.7 次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）
- 3.3.8 電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

ここでの「短期」と「中長期」という用語は、第2章で述べたように、次のような意味で使われている。

- 短期：今後10年以内に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる研究領域。
- 中長期：今後10年から30年の間に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる研究領域。

3.1 化石資源エネルギー区分

化石資源エネルギー区分においては、天然ガス、石油、石炭の3つの化石資源を中心に、さらには石炭などとの構造類似性を考慮してバイオマスを加え、これらエネルギー資源ごとに、山元での採掘から輸送・利用までの流れの中で各段階における問題点を取り上げ、それらから導かれる課題を抽出し、図 2.2.9 に示すように整理した。



図 2.2.9 化石資源エネルギー区分における研究開発領域と課題（再掲）

化石資源エネルギー区分においては多くの課題が挙げられるが、我が国のエネルギー利用におけるベストミックス及びカントリーリスク回避の視点で重要となる技術課題を精査し、とりわけ重要度の高いものとして以下の10領域を選定した。各領域の選定シナリオについては2.2.2(2)で述べたとおりである。

1. 低品位・未利用固体炭素資源の革新的改質転換・輸送・利用技術（短期）
2. メタンハイドレート利用技術の開発（中長期）
3. 超高温材料技術（中長期）
4. 革新的電気化学的反応器の基盤開発（中長期）
5. 超高効率固体酸化物形燃料電池の開発（短期）
6. 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）
7. 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術開発（中長期）
8. 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒の開発（中長期）
9. 新たな石油化学品製造ルートの開発（中長期）

10. 次世代型バイオ燃料の開発（中長期）

上記では、図 2.1.2 に示したエネルギー・フロー、熱量、価格（＝経済）の観点から、今後注目すべき課題を検討し、さらに従来提案されることの少なかった新規性の高い課題を優先した。化石資源の中では天然ガスが総合的には優れていると考えられるが、化石資源をほぼすべて輸入に頼る日本としては、安定供給面でのリスク回避が極めて重要で、複数の資源国から複数の化石資源を入手することが肝心である。したがって、特定の化石資源に絞ることなく、ベストミックスの考え方をベースにし、化石資源の種類ごとに必要な技術開発を進めることが戦略として妥当であると考えられる。上記 10 領域はそうした意義も有している。これ以降、上記 10 領域について詳述する。

3.1.1 低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）

（1）研究開発領域名

低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

褐炭や高灰分炭等に代表されるような賦存量が豊富で低価格ではあるが、一方で不燃の水分や灰分の含有率が高い低品質炭に代表される、海外に賦存する劣質・未利用固体炭素資源に対して、我が国における資源の利用先最適化を図るための革新的な改質転換・輸送・利用技術に関する基盤的研究開発

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

発電等に効率的に利用されている石炭等の固体炭素資源は、現在、供給寡占化と価格の超高騰が進むとともに、将来的には枯渇する危惧がある。そこで、海外に賦存する劣質・未利用固体炭素資源を改質転換し、発電等の適用先に利用できる固体炭素資源として確保することは、社会基盤を支える国策上重要であり、将来に備えて、低品位・未利用固体炭素資源の工業的利用技術ならびにその適用先最適化技術の開発の基盤となるシーズを創出すべく、これら資源の改質転換利用技術の研究開発を推進する必要があると考えられる。

海外に賦存する低品位・未利用固体炭素資源については、国内における利用に至るまでに、海外における改質転換、国内港湾整備までの長距離輸送、国内貯蔵といった様々なプロセスが内在する。特に、埋蔵量が豊富であるため、今後の有効利用の検討が進められている褐炭については、種々の脱水・改質技術の開発が進められているが、所要動力の大幅な低減が重要であることに加え、自然発火対策等も必要であり、大量輸送による国内利用が進んでいない状況である。そこで、所要動力やコストが低く、かつ安全性が十分確保可能な改質技術の開発を推進すべきである。褐炭の改質技術については、神戸製鋼所が油中にて改質（脱酸素化）と脱水を行う UBC（upgrading brown coal、褐炭改質）技術を開発し、2006年からの3ヶ年インドネシアにおける実証試験を実施している¹⁾。また、日揮が水熱改質技術による JCF プロセスを開発し、褐炭のスラリー燃料化事業を進めている²⁾。さらに、九州電力は、九州大学、豪ビクトリア州政府と協力し、移動床方式の褐炭改質技術の開発を進めている³⁾。溶剤抽出という観点からは、灰の熔融除去やハイパーコールのような可燃成分の抽出技術の開発が進められている⁴⁾。いずれの技術においても、所要動力の低減や脱水に使用する溶剤使用量の低減や回収率の向上、改質燃料の自然発火性の抑制技術が十分ではない。高灰分炭については、輸出国の炭鉱または港湾施設における選炭がなされている程度であり、石炭中に内在している灰粒子の高度除去技術は、まだ確立されていない。

そこで、低品位・未利用固体炭素資源の特性に応じて、これら個々のプロセスの高効率化を進めるとともに、種々のプロセス間の合理的な組み合わせを図り、最適なサプライシステムの構築に関する研究開発を推進し、低品位・未利用固体炭素資源の効率的な利用拡大に資するべきである。また、国内における利用技術についても、低品位・未利用固体炭素資源の工業的利用技術開発の基盤となるシーズを創出すべく、これら資源の

改質転換利用技術の研究開発を推進すべきである。現在までに、発電分野においては、次世代高効率石炭ガス化発電プロセス（A-IGCC、A-IGFC）の開発が進められている⁵⁾が、低品位・未利用固体炭素資源を対象とした新規な発電・転換利用技術の基盤研究が必要であると考えられる。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

- ・科学的側面からは、多種多様な固体炭素資源の評価と、その特性に応じた改質転換、輸送、貯蔵等に関する技術およびプロセスの開発、さらには製品とその最適利用先との関係解明。また、これらを統合的に取り扱い最適なサプライシステムを開発するためのプロセス要素モデル、およびその最適化技術の開発。
- ・政策的側面からは、科学的に将来ターゲットとすべきとされた海外資源の国としての権益確保に向けた動き、長距離輸送網の確保、および、社会基盤を支える資源転換利用技術の研究開発を主体的に推進する研究機関および研究者数拡大に向けての重点的リソース配分。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・中国中煤能源集团公司は、内モンゴル自治区フルンボイル市と共同で、褐炭改質総合利用プロジェクトを推進に合意。褐炭の熱分解により、コークスを製造、更にディーゼル燃料製造への転換も視野に。規模は 1000 万 t/年×2、総投資額は 180 億元（2012 年 6 月）⁶⁾。
- ・ドイツ RWE は、ノイラート（Neurath）発電所に新たな褐炭火力（110 万 kW×2）を導入し運転を開始。発電効率は 43% LHV [lower heating value]、建設費は 26 億ユーロ（2012 年 8 月）⁷⁾。
- ・スペイン政府は、OXYCFB300 プロジェクト（EERP = European Economic Recovery Plan の CCS 計画のひとつ）の Phase 1 として、コンポステージャ（Compostilla）に、酸素燃焼循環流動床ボイラ（pilot 規模 30MWth）[単位の後の th は thermal で熱としてのエネルギーであることを示す]を建設し、試験運転を開始。無煙炭、褐炭、バイオマスなど各種燃料での試験を予定⁸⁾。
- ・豪ビクトリア州政府は、CarbonNet プロジェクト（CCS 計画）の中で、褐炭（改質スラリー）直接エンジン供給、水素供給チェーン開発、褐炭ガス化、褐炭コークス製造、などの実施を計画。豪州政府とビクトリア州政府は、同プロジェクトのフィージビリティスタディに 1 億ドルの資金提供を表明（2012 年 2 月）⁹⁾。
- ・日揮は、NEDO の産炭国事業化実証・普及事業の一環として、インドネシアの西ジャワ州に、褐炭水熱改質スラリー化実証プラント（年産約 1 万 t 規模）を設置（2012 年 5 月）¹⁰⁾。
- ・IHI は、同社の循環流動層技術を応用した褐炭乾燥実証設備（3t/h）を建設予定、投資額は 10 億円規模。商用プラントでは約 400t/h の処理能力を想定（2013 年 1 月）¹¹⁾。

（６）キーワード

褐炭、劣質炭、改質、スラリー化、高効率脱水、高効率乾燥

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 応用研究や産業化技術に対して多くの研究資源が投入されており、基礎研究のレベルは高いものの、基礎研究に携わる研究者は他国に比べて少ない。 ● 乾留（炭化）、水熱処理、アンモニア処理、直接液化、低温ガス化、活性炭利用、等に関する研究は、世界最高水準の研究レベルにある。
	応用研究・開発	◎	↗	● バブコック日立、IHI、および三菱重工等の国内重工メーカは、高効率乾燥技術の開発を積極的に行っている^{11,12,13)}。川崎重工は、褐炭を対象に、CO₂フリーの褐炭ガス化・液化水素製造技術の開発を進めている¹⁴⁾。 ● 三菱重工は、褐炭を対象に、高効率乾燥システムと統合されたガス化IGCCの開発を進めている¹³⁾。
	産業化	◎	↗	● 神戸製鋼は、褐炭を対象に油中脱水技術（UBC技術）を開発し、インドネシアで実証試験を実施した¹⁵⁾。 ● 日揮は、褐炭や亜瀝青炭を対象に、水熱改質技術によるスラリー化技術（JCFプロセス）を開発し、インドネシアにおいて実証試験を実施している¹⁰⁾。
米国	基礎研究	◎	↗	● 燃焼、ガス化、バイオマス供利用、酸処理、ケミカルループ燃焼、活性炭利用、等に関する研究は、世界最高水準の研究レベルにある。 ● 国内資源の有効利用を想定する研究が多く、産炭地からの長距離輸送を前提とした改質転換・輸送・利用技術への取り組みは少ない。
	応用研究・開発	○	→	● 応用研究・開発は既に実施されており、実証段階にある。
	産業化	◎	↗	● CoalTekは、中国内モンゴルに低温マイクロ波脱水改質プラントを建設する予定である¹⁶⁾。 ● KBRは、韓国SK Energyに石炭を燃料とする移動層ガス化技術を提供した¹⁷⁾。 ● Shellは、中国の大唐集団との間で、褐炭ガス化技術の供給に関する契約を結び、3000t/d規模×3基のガス化プラントを建設する予定である¹⁷⁾。
欧州	基礎研究	◎	↗	● 主として、低品位炭の産出国であるドイツ、ポーランド、トルコ、ギリシア、チェコなどにおいて、基礎研究が盛んである。 ● 酸素燃焼、バイオマス混焼・混ガス化、活性炭利用、等に関する研究は、世界最高水準の研究レベルにある。 ● 域内の資源の有効利用を想定する研究が多く、産炭地からの長距離輸送を前提とした改質転換・輸送・利用技術への取り組みは少ない。
	応用研究・開発	◎	→	● 独ドルトムント大学では、褐炭の高効率乾燥（脱水）技術として、MTE（Mechanical Thermal Expression）プロセスの実用化開発が進められている¹⁸⁾。 ● 独ミュンヘン工科大学では、褐炭やバイオマスを燃料とする加圧噴流床ガス化技術の開発が進められている¹⁹⁾。
	産業化	◎	↗	● EERPのプロジェクトとして、褐炭火力でのCCSが計画されている²⁰⁾。 ● 改質技術ではなく、褐炭火力の効率向上に向けた取り組み（USC/A-USC）や、褐炭火力のCCS実証プロジェクトが推進されている²¹⁾。 ● 改質技術としては、褐炭の高効率乾燥技術（流動床乾燥装置）が褐炭火力に導入された例がある²²⁾。

中国	基礎研究	◎	↗	● 基礎研究に対して研究資源を積極的に投入しており、特にここ数年の伸びが極めて大きい。 ● 改質転換・輸送（自然発火）・利用技術に関連する分野の研究は、高水準の研究がなされている。
	応用研究・開発	○	↗	● 山東省科学院工業省エネセンターと山東天力乾燥設備会社が、高温蒸気による褐炭乾燥CCT [clean coal technology]技術を共同開発した²³⁾。 ● 多くの場合、海外の技術を積極的に導入し、一気に実証段階へと進む手段を取る。
	産業化	◎	↗	● 雲南先鋒化工有限公司は、褐炭ガス化利用試験事業を終了し、事業化を展開している²⁴⁾。 ● 韓国SK Energyの石炭ガス化技術（米国KBR社の移動層ガス化技術）を採用し、褐炭から合成ガスを製造、SNG（合成天然ガス）、CTL（石炭液化）、石油化学製品などに転換する計画である²⁴⁾。 ● 大唐集団は、褐炭をガス化(Shell炉)してメタノールを合成(Lurgi)、プロピレンへ転換(Lurgi)し、ポリプロピレン(PP)を製造(Dow)している。褐炭1000万t/年から46万t/年のPPを製造する計画である²⁵⁾。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではないが、ごく最近、急速に研究者が増えつつある。 ● 研究内容としては、既存技術のフォローアップ的なものが多い。
	応用研究・開発	○	→	● マイクロ波プラズマトーチを用いた褐炭ガス化プロセス(PE-gasifier)を開発した(National Fusion Research Institute)²⁶⁾。
	産業化	○	↗	● SK Energyの石炭ガス化技術により、中国の棗庄磁業集团公司とSNG（合成天然ガス）やCTL（石炭液化）を目的とする褐炭ガス化プラントを計画中である²⁴⁾。

(注1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) 杉田 他. 神戸製鋼技報. 2003, vol.53, no.2, p. 41-45.
- 2) 須山. CCT ワークショップ 2012. JCOAL, 2012.
- 3) NEDO 国際連携研究（NEDO 国際連携クリーンコール技術開発）. 2011.
- 4) 奥山 他. 神戸製鋼技報. 2006. vol.56, no.2, p. 15-22.
- 5) JCOAL（石炭エネルギーセンター）次世代高効率石炭ガス化発電プロセス
http://www.brain-cjcoal.info/cctin-japan-files/japan/2_2B5.pdf
- 6) JCOAL. JCOAL Magazine. 2012, 第99号.
- 7) <http://www.power-technology.com/projects/rwe-neurath/>
- 8) <http://www.compostillaproject.es/>
- 9) Gurnery, P. "Australia's research for sustainable future uses of brown coal", Cleaner Fossil Energy Securing a Cleaner Energy Future. Australia, 2012
- 10) <http://www.jgc.co.jp/jp/01newsinfo/2012/release/20120524.html>
- 11) 電気新聞. "褐炭乾燥実証設備建設へ". 2013年1月15日.

- 12) 日立評論. 2012, vol. 94, no.11, p. 36-37.
- 13) 橋本. 褐炭などの低品位炭を利用した IGCC の取り組み. MHI 技報, 2011, vol.48, p, 25-29.
- 14) 日刊工業新聞. "川崎重工 CO2 排出なしの水素供給網を構築". 2011 年 9 月 1 日.
- 15) 神戸製鋼. 600t/day プラントによる改質褐炭プロセスの実証. 神戸製鋼技報, 2010, vol.60, no.1,p. 71-75.
- 16) <http://coaltek.com/>
- 17) <http://www.kbr.com/Technologies/Coal-Gasification/>
- 18) Vogt, C. Mechanical/thermal dewatering of lignite. Fuel. 2012, vol.93, p.433-442.
- 19) Tremel, A. Experimental investigation of high temperature and high pressure coal gas-ification,. Applied Energy. 2012, vol.92, p. 279-285.
- 20) JFC/JBIC. "EU の CCT 政策と中東欧における CCT プロジェクトの現状". 2011 年 7 月.
- 21) JCOAL. EU における CCS 実証プロジェクト. JCOAL Magazine. 2011, 第 78 号.
- 22) <http://www.rwe.com/web/cms/en/88162/rwe/innovation/projects-technologies/power-generation/fossil-fired-power-plants/fluidized-bed-drying/>
- 23) JCOAL. 中国褐炭利用の技術開発が加速. JCOAL Magazine. 2010. 第 65 号.
- 24) JPEC （石油エネルギー技術センター）. 実用段階に入った中国の石炭による石油・天然ガス代替事業. JPEC レポート. 2011 年度第 21 回.
- 25) JCOAL. 大唐集団の石炭 MTP プロジェクト状況. JCOAL Magazine. 2011, 第 78 号.
- 26) Yong, C.H. Syngas production from gasification of brown coal in a microwave torch plasma. Energy. 2012, vol. 47, p. 36-40.

3.1.2 メタンハイドレート利用技術（中長期）

（1）研究開発領域名

メタンハイドレート利用技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

掘削、輸送、精製、貯蔵、および利用等、メタンハイドレートの効率的な利用に向けたトータルシステムに関する研究開発

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

我が国のエネルギーセキュリティを長期的な観点から維持・発展させていくには、国産エネルギーの確保が最も効果的である。メタンハイドレートは、近年の調査により、日本近海において、国内消費量換算で100年超の賦存量があるとの試算が示されている。メタンハイドレートの資源開発としては、2001年度より、官民学共同のメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）にて、主として賦存量調査と掘削技術開発に関する研究開発が進められてきているが、調査範囲は極めて限定されており、掘削方法も十分に確立されていない。そこで、日本周辺海域における賦存量の正確な把握とともに、海底下に賦存するメタンハイドレートの経済的な生産技術の確立が急務となっている。また、生産が開始された際の国内輸送・貯蔵システムの整備や最終利用形態まで含めたライフサイクルアセスメント（LCA）、さらにはメタンハイドレートサイトへのCO₂貯留技術（CCS）等、メタンハイドレート利用技術について、トータルシステムとしての研究開発を推進すべきである。

近年の研究より、メタンハイドレートは、砂礫中に分散する孔隙充填型¹⁾と海底表層近傍に高純度なものが堆積する表層型²⁾に分類できることが分かってきた。日本近海では、太平洋側に孔隙充填型が、日本海側に表層型が賦存することが確認されている。米国石油メジャー等の海外資本は、純度が高く採掘が容易だと考えられる表層型に注目し、日本海の資源量調査のため、国内大学への資金提供を開始している。メタンハイドレートの賦存量調査には、従来高コストな電磁震源探査法や曳航式電磁探査法³⁾が主として用いられてきたが、表層型に限っては、より簡便かつ低コストな計量魚群探知機による音響探査法⁴⁾が有効で、既に実用化がなされている。今後は、こうした効率的な調査法により、日本国内全体の賦存量分布を把握する必要がある。

メタンハイドレートの掘削技術としては、減圧法⁵⁾が提案されている。減圧法は、孔隙充填型メタンハイドレートに有効だとされており、南海トラフ周辺海域において、実証試験が開始されている。他海域において賦存が確認されている表層型メタンハイドレートに対する有効な掘削技術については、海洋土木工学分野における全く新たな研究開発を進める必要がある。

掘削されたメタンハイドレートの輸送、精製、貯蔵、および利用のそれぞれの技術については、既存技術の応用が可能だと考えられる。洋上での気液分離とパイプライン輸送、硫黄分等の微量物質除去技術、メタンガスの一時貯蔵技術について、新たなシステム開発が必要だと考えられる。

メタンハイドレートサイトに対して、国内プラントから回収されたCO₂の貯留が可能

になれば、メタンハイドレート版 EOR（石油増進回収）が可能となり、CO₂排出量の低減に資すると考えられる。そこで、新たにメタンハイドレートサイトへの CO₂貯留技術についての技術開発を進めることで、さらに大きな効果を生むことができると考えられる。なお、CO₂貯留については、環境影響評価が不可欠であると考えられる。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

- ・ 科学技術的課題として、賦存量調査については、低コストかつ広範囲にわたる調査と分析が可能な技術を採用する必要がある。
- ・ 掘削技術については、対象海域に賦存するメタンハイドレートの特性に応じて適用が可能でかつ高効率な技術を開発する必要がある。
- ・ メタンハイドレートの国内利用を推進するためには、国内パイプライン網やガス貯蔵技術の整備が必要である。
- ・ CCS 技術との統合的運用を目指して、メタンハイドレートサイトへの CO₂貯留の技術開発、および環境影響評価を進める必要がある。
- ・ 政策的課題として、賦存量調査と掘削技術開発を早急に確立するとともに、広く国内外に公表し、海外の化石資源依存脱却への可能性を示すことにより、化石資源に関わる海外ビジネスに関するパラダイムシフトを促し、一層のエネルギーセキュリティの向上を図る。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ メタンハイドレートの資源開発としては、平成 13 年度より、官民学共同のメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）にて、主として賦存量調査と掘削技術開発に関する研究開発が進められており、平成 25 年 1 月から、南海トラフ海域において産出実証試験が行われている。
- ・ 日本海側の表層型メタンハイドレートが相次いで発見されていることを受け、2012 年 9 月、日本海側の 10 府県が海洋エネルギー資源開発促進日本海連合（秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県、福井県、京都府、兵庫県、鳥取県、島根県、会長は山田啓二京都府知事）を設立し、日本海側海域の賦存量に関する合同調査プロジェクトを立ち上げた。
- ・ 米国エネルギー省は、MH21 とのアラスカ陸上産出実証試験共同プロジェクトの成功を受け、2012 年 8 月、メタンハイドレートに関する研究を加速するため、新たに 14 のプロジェクトを立ち上げた。主なものに、産出時の環境影響評価、残渣の性状分析、および海域資源調査がある。
- ・ 韓国は、2014 年から韓国名ウルルン海盆（日本名対馬海盆）の竹島西方海域における生産を開始するとのプレスリリースをしており、実現すれば世界初の実用化事例となる。

（６）キーワード

メタンハイドレート、表層型メタンハイドレート、高効率回収、資源賦存量推定

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↑	● 国内の大学・研究機関は、資源調査や試料分析科学の分野において、圧倒的に世界最高水準である。 ● 経産省が主導する官民学共同のメタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）を中心に、資源量評価法、フィールド開発技術、生産手法開発、環境影響評価に関する研究が進められている。 ● メタンハイドレートには、孔隙充填型と表層型の2つの形態があり、それぞれの形態に応じた掘削方法の開発が進められている。 ● MH21では、太平洋側南海トラフ周辺に豊富な孔隙充填型メタンハイドレートの埋蔵量を確認している。 ● 日本海側においても、佐渡島周辺～兵庫県沖に至る海域に、表層型メタンハイドレートが埋蔵されていることが確認されている。 ● 2012年9月、日本海側の10府県が海洋エネルギー資源開発促進日本海連合を設立し、日本海側の表層型メタンハイドレートの調査に乗り出した。 ● メタンハイドレートの生成メカニズムや物性等について、大学を中心とする研究が進められている。 ● 2003年、日・米を中心として、日・米・欧州・中・韓21カ国からなる統合国際深海掘削計画（Integrated Ocean Drilling Program, IODP）を組織化し、その中で資源調査研究を実施。
	応用研究・開発	○	↑	● MH21は、2011年までアラスカにおいて、陸上産出試験を実施し、孔隙充填型に対応する減圧法による掘削技術の実証を行った。 ● MH21において、2013年1月より、減圧法による海洋産出試験が開始される予定である。
	産業化	△	→	● メタンハイドレートは、サンプル採取の段階であり、産業化は進んでいない。 ● 米国石油メジャーは、おもに日本海側の表層型メタンハイドレートに注目し、東大や明治大等に膨大な資金提供を開始し、自社鉱区内の資源量調査を積極的に実施中。
米国	基礎研究	◎	↑	● IODPについては日本の項を参照。 ● MH21と共同で、アラスカにおける陸上産出試験を実施し、産出法の実証を行った。この成果を受けて、DOEは研究予算の増額を決定し、2012年8月、14の新規プロジェクトをスタートさせた。 ● メキシコ湾岸に、メタンハイドレートの豊富な埋蔵量を確認。
	応用研究・開発	○	↑	● DOEは、メキシコ湾岸におけるメタンハイドレートの埋蔵形態を精査し、効率的な産出方法について、地域に既に設置されている1700の油井を使用して、試験研究を実施予定。
	産業化	△	→	● メタンハイドレートは、サンプル採取の段階であり、産業化は進んでいない。
欧州	基礎研究	○	→	● ブレーメン大学は、掘削された地層試料の分析科学研究において、世界最高水準である。 ● その他の研究機関では、それほどメタンハイドレート研究は盛んではない。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
中国	基礎研究	○	→	● 研究は大学・公的機関で活発に行われているが、そのレベルは必ずしも高くない。ほとんどが、日本の後追い研究である。 ● 台湾南西海峡における活動が、中国のメタンハイドレート研究の大部分を占めている。この海域では豊富な埋蔵量の確認が報告されている。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

韓国	基礎研究	○	↗	● 研究は大学・公的機関で活発に行われているが、そのレベルは必ずしも高くない。ほとんどが、日本の後追い研究である。 ● 竹島西方海域における活動が、韓国のメタンハイドレート研究の全てであるが、近年、国際会議における発表が激減しているため、状況は不明である。
	応用研究・開発	○	→	● 2014年に韓国名ウルルン海盆（日本名対馬海盆）の竹島西方海域における生産を開始する、とのプレスリリース後、生産開始に向けた技術開発に関する発表は皆無で、現状は不明である。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

- 1) 藤井 他. 地学雑誌. 2009, vol.118, no.2, p. 814-834 .
- 2) 松本 他. 地学雑誌. 2009, vol.118, no.1, p. 43-71.
- 3) 後藤 他. 地学雑誌. 2009, vol.118, no.2, p. 935-954.
- 4) 青山 他. 地学雑誌. 2009, vol.118, no.1, p. 156-174 .
- 5) 山本 他. 地学雑誌. 2009, vol.118, no.2, p. 913-934 .

3.1.3 超高温材料と伝熱技術（中長期）

（1）研究開発領域名

超高温材料と伝熱技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

火力発電のさらなる高効率化に向けた、ボイラ用伝熱管やガスタービン用高温部品等の超高温材料技術に関する研究開発

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

火力発電において、今後格段の高効率化が期待される技術として、石炭火力のアドバンスド超々臨界圧発電技術と超高温ガスタービンを用いる LNG コンバインドサイクル発電技術が挙げられている。前者は、およそ 35 MPa、700℃の蒸気条件によって、発電端 53%以上、送電端 46%（HHV [higher heating value]）以上の熱効率を達成するものであり、後者は、1800℃を超えるガスタービン作動温度によって、送電端 65%（LHV [lower heating value]）以上の熱効率を達成するものである。これを実現可能とする超高温材料の開発には、材料の選定や複合化、高温条件におけるミクロな挙動からマクロな状態変化に至るまで、多岐にわたる研究が必要である。そこで、金属材料の設計・試作から実機規模における耐久性評価までを網羅する統合的な研究開発を推進すべきである。

ボイラ材料では、700℃以上の高温領域においても優れた特性を有する Fe-Ni 基合金や Ni 基合金の適用性の向上とその実証、さらには改良フェライト鋼の 700℃以下の部位への適用等を進めていく必要がある¹⁾。また、材料が有する各種特性把握および加工性評価、石炭灰や腐食性ガスに対する高温腐食特性、さらには長時間信頼性の検証が必要である。

ガスタービン材料には、現在 Ni 基合金が主に用いられているが、遮熱コーティングや強制冷却によって、健全性が保たれている²⁾。しかし、Ni 基合金であっても、表面温度が 1000℃以上という超高温条件では強度がかなり低下するため、十分な強度と耐食性をもつとともに、軽量の超高温材料の開発が必要である。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

- ・ 高い溶接性、耐クリープ破断特性、および曲げ加工特性をもつ Ni 基合金等、新規合金を開発する必要がある。また、新たに開発された合金に対して、大型部材の製造技術や高 Cr 鋼等異種合金との溶接施工技術を確立する必要がある。また、遮熱コーティング材との接合技術の高度化も必要である。これらを実現するためには、高度な材料研究技術として、新規材料開発や熱応力・破壊力学に関するシミュレーション技術、実機環境を再現する熱流動シミュレーション技術との統合、さらには実機環境と同等の環境を再現する実証試験技術等が重要である。
- ・ 我が国が、現在の世界最高水準の高効率な火力発電技術を維持し、さらに発展させていくには、ハードウェアとソフトウェアの有機的な連携を図ることが可能な統合的な新規材料開発環境を整備する必要がある。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・溶接接手のクリープ強度が母材とほぼ同等である改良型高クロム鋼をボイラで使えるように、同鋼を米国機械学会で規格化するための国プロが日本で始まった（2012年）。
- ・700℃級超々臨界圧発電の開発に向けた日本の国家プロジェクトが、2013年度からは700℃での実缶試験および回転試験という実証試験のフェーズに入る。

（６）キーワード

高温腐食耐性、長期安定性、超々臨界圧発電、ガスタービン

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 温度領域650℃以下での使用を想定したフェライト系耐熱鋼の研究・開発に関しては、大学・公的機関・鉄鋼メーカーにおける基礎研究が活発であり研究成果も多い。 ● 特に、ボロン添加による改良型高クロム鋼に関する研究レベルは世界最高水準である。 ● 温度領域650℃～700℃での使用を想定したオーステナイト系耐熱鋼の研究・開発も、一部の大学等で行われている。 ● 温度領域700℃超での使用を想定したニッケル系耐熱合金の研究・開発は、タービンメーカー・鉄鋼メーカー等を中心として活発に行われている。 ● 温度領域900℃超での使用を想定したガスタービン材料用Ni基超合金の研究・開発に関しては、公的機関・大学・タービンメーカーにおける基礎研究が盛んであり研究成果も多い。
	応用研究・開発	◎	→	● 700℃級超々臨界圧発電の開発に関連する複数の国プロが活発に進められている。 ● 1700℃級ガスタービンの開発に関する国プロが着実に進められている。
	産業化	◎	→	● 600℃級超々臨界圧発電所の製造技術と運用に関しては、日本が世界で最先端を走っている。 ● 1600℃級（発電用）ガスタービンは世界に先駆けて国内のメーカーが開発・製造し、2013年中に国内の発電所で運転開始予定である。
米国	基礎研究	△	↘	● 近年、米国の大学・公的機関において、高温材料に関する基礎研究はあまり行われていない。
	応用研究・開発	○	→	● 発電所で実際に起きている事象や今後懸念される課題等について、EPRIやコンサルティング会社がクローズド型の研究プロジェクトを行っている。 ● 700℃級超々臨界圧発電の開発に関連する国プロが行われていたが、近年、その成果はあまり報告されていない。
	産業化	○	→	● ガスタービンについては、GEが現在でも世界的に優位な位置を占めている。ただし、GEは高温化よりも運用性を重視して製品を開発している傾向が見える。 ● 現時点においては、米国では超々臨界圧火力所は運転されていないと思われる。
欧州	基礎研究	◎	→	● 温度領域650℃以下での使用を想定したフェライト系耐熱鋼の研究・開発に関しては、大学・公的機関・鉄鋼メーカーにおける基礎研究が活発であり研究成果も多い。 ● 特に、高クロム鋼の組織観察と分析に関する研究レベルは世界最高水準である。 ● 温度領域900℃超での使用を想定したガスタービン材料用Ni基超合金の研究・開発に関しては、公的機関・大学・タービンメーカーにおける基礎研究が盛んであり研究成果も多い。

	応用研究・開発	◎	→	● 700℃級超々臨界圧発電の開発に関連する欧州プロジェクトおよび国プロが進められてきた。実証プラントの建設の段階で当初の計画より遅れが生じているが、700℃級超々臨界圧発電に関しては現時点でも世界で先頭を走っている。
	産業化	◎	→	● 近年、600℃級超々臨界圧発電所が複数、建設・運用されており、技術力が向上している。 ● ガスタービンについては、シーメンスが世界的に重要な位置を占めている。
中国	基礎研究	△	→	● 研究は大学・公的機関で活発に行われているが、そのレベルは必ずしも高くない。また、国際会議のキャンセルが現在でも多い。
	応用研究・開発	○	↗	● 超々臨界圧発電の開発に関連するプロジェクトが国を挙げて実施された。本プロジェクトは、日本や欧州の技術を吸収するのに役立ったと推測される。
	産業化	◎	↗	● 近年、600℃級超々臨界圧発電所が急激に建設・運用されている。初期は日本や欧州のメーカーからの技術供与を受けての設計・建設であったが、現在は中国メーカーが単独で建設するだけでなく、第3国への輸出も行っている。 ● しかし、中国製のプラントについては、品質・納期・知的財産の面での懸念が指摘されている。実際に、インドやインドネシアにおいて中国製プラントのトラブルが発生している。
韓国	基礎研究	○	→	● 高温材料に関する研究が大学・公的機関・メーカー等で活発に行われている。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（注1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

1) 佐藤 他. 火力原子力発電. 2006, vol.57, no.10, p. 821.

2) 伊藤 他. 三菱重工技報. 2010, vol.47, no.1, p. 25-30.

3.1.4 革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）

（1）研究開発領域名

革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

燃料電池をはじめとする電気化学的反応器は、熱、化学物質、電気エネルギーの相互変換を、効率良く選択的に行え、生成物の分離が容易であるという特長を有する。燃料電池や水電解セルは、電解質や電極触媒の開発が進んでおり、実用化されているが、種々の物質合成を目的とした反応器開発は進んでおらず、このための電解質や電極材料の開発を本研究領域では目指す。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

固体電解質は固体高分子形や固体酸化物形燃料電池に用いられる材料が実用に耐えうる電解質で、それぞれ 100℃未満、600℃以上といった温度範囲で優れた伝導度を示す。固体高分子形は高分子内の H_2O がプロトンキャリア、固体酸化物形は酸素欠陥を利用したイオン伝導であるため、現状の温度範囲以外では使用が困難である。反応の選択性を考えた場合に、200℃から 600℃程度の温度範囲において、速度差が出やすく選択性を高められる可能性が大きく、この温度範囲で良好なイオン伝導特性を示す新規な電解質が必要である。この候補として、 SO_4^{2-} や PO_4^{3-} 、ポリオキソ酸、ヘテロポリ酸などの無機酸素酸塩がある。これまでに、200℃から 500℃程度の温度範囲で基礎的な伝導特性や安定性についての研究がなされてきているが、まだ基礎研究の段階である¹⁾。これらの無機酸素酸塩電解質の電気化学的な反応器への応用は主に燃料電池で、特定の物質の合成に向けた電極触媒の開発は進んでいない。近年、電気化学的反応器の応用の一例に、アンモニア合成が提案されており、まだまだ生成速度は小さいものの、常圧で反応が進行するといった特徴がある²⁾。また、電気化学的に反応を進行させることで、触媒活性が飛躍的に向上するといった効果も報告されている³⁾。本課題は、以下の2項目に大別される。

1. 新規電解質材料の探索、複合化による電解質性能向上、伝導機構の解明
2. 電極触媒材料の探索、電極反応素過程の解明（含シミュレーション）、電極微構造設計

なお、無機酸素酸塩電解質の研究分野は、松井（京都大学）や日比野（名古屋大学）、松田（豊橋科技大）らの研究が世界をリードしている。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学的な研究課題群は、初期の段階では電解質および電極材料検索とその解析に絞られる。電極触媒材料の開発には、触媒化学および電気化学両面からのアプローチが必要である。実用段階では、電極微構造設計や電解質薄膜化など、反応システム開発が研究課題となる。

触媒化学研究者と電気化学研究者、計算化学による理論的解明、システム化と複数の研究者、複数の研究機関による客観的な科学データに基づく研究遂行が必須である。本

分野は、燃料電池開発に続くもので、現在の燃料電池開発で培った知見をさらに大きく発展させることが可能な課題である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ EU では、FP7（7th Framework Programme）の中で RelHy と呼ばれる新規電気化学法による水素製造プロジェクトを開始している。SOEC（固体酸化物形電気分解）技術を軸とし、材料開発から実用までの各フェーズを検討している。ドイツカールスルーエ大学が中心となり、企業なども多くかかわっている。
- ・ 我が国では SOFC の商業化に伴い、材料開発の軸は多用途展開などへと軸足を移しつつある。固体アイオニクス学会が中心となり、国内の研究者がまとまっている。

（６）キーワード

固体電解質、無機酸素酸塩、中温形燃料電池、電気化学

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 基礎研究レベルは世界の中でも欧州と並んで非常に高いレベルにある。
	応用研究・開発	○	↗	● SOFCは実用化が進められているが、SOECやその他電気化学的反応についてはいまだ基礎的フェーズにある。自動車業界を中心として産業界も基礎的なR&Dを精力的に展開している。
	産業化	○	→	● NEDOなどを中心として実用化が検討されている。
米国	基礎研究	◎	→	● 基礎的研究レベルは高いが、停滞気味である。
	応用研究・開発	○	→	● 応用研究・開発はARPA-Eなどで小規模に実施されており、実証段階にある。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
欧州	基礎研究	◎	↗	● 主として、ドイツの企業・大学を中心として、SOFCを研究していたグループがSOECに移行するなどして、革新的な電気化学反応器に関する研究が活発に行われている。研究者層も厚い。
	応用研究・開発	◎	↗	● FP7におけるR&Dプロジェクト（RelHy）が進められている。
	産業化	○	→	● 目立った動きはない。
中国	基礎研究	△	↗	● 基礎研究に対して研究資源を積極的に投入しているが、いまだ研究のレベルは低い。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではない。 ● 既存技術のフォローアップ的な研究が多い。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（註 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（ 8 ） 引用資料

- 1) Paschos, O.; Kunze, J.; Stimming, U.; Maglia, F. J. Phys.: Condens. Matter. 2001. vol. 23, 234110.
- 2) Kordali, V.; Kyriacou, G.; Lambrou, C. Chem. Commun. 2000. vol. 31, p. 1673.
- 3) Yiokari, C.; Pitselis, G.; Polydoros, D.; Katsaounis, A.; Vayenas, C. J. Phys. Chem. A. 2000. vol. 104, p. 10600.

3.1.5 超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）

（1）研究開発領域名

超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

分散型電源には従来以上に大きな期待が寄せられている。これまでの分散型電源は高い総合効率を得るために熱利用先の確保が導入制約となっていた。しかし、大規模集中火力発電所相当の発電効率を示す分散型電源は熱利用の導入制約を大幅に緩和させる効果があり、分散型電源を飛躍的に普及させるものと期待される。また、分散型電源を大規模火力並に高効率化できる技術は、大規模集中火力発電所の発電効率を一層大幅に向上させることも可能である。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

固体酸化物形燃料電池（SOFC）は原理的には最も高い発電効率を得る発電様式であり、現状の実用機（47%LHV）は中小型のガスエンジンやガスタービンを原動機とする分散型電源よりも高い発電効率を示す。これは、現在の電源構成で大きな役割を担っている LNG 汽力発電（45%LHV）よりも高い発電効率であり、排熱利用をしなくても大規模火力よりも省エネであると言える。しかし今後の大規模火力発電の主力は LNG コンバインドサイクル発電だと考えられ、その発電効率は CC [combined cycle] 発電は 50%LHV [lower heating value] 前後、ACC [advanced combined cycle、1300℃超] 発電は 55%LHV 前後、MACC [more advanced combined cycle、1450℃超] 発電は 59%LHV 前後である。長期的観点からは、大規模火力発電所相当の発電効率を示す分散型電源とは、55%LHV 以上の発電効率を示す分散型電源になっていくことが予想されるが、現状の SOFC 実用機はそのレベルに達していない。

そこで、SOFC 単体の発電効率を上げるための材料開発やプロセス開発を行い、SOFC システムの発電効率を大幅に改善する開発を実施することで、55%LHV 以上の発電効率を持つ分散型電源システムを目指す。

さらに、SOFC の単体効率を大幅に向上させることが可能になれば、ガスタービンおよび蒸気タービンと組み合わせ、SOFC からの排熱を利用して複合発電を行うことで、80 万 kW 級大規模システムで世界最高レベルとなる 70%LHV 以上の発電効率が期待できる。また、既存の火力発電所に SOFC を付加することにより、既存の発電所の発電効率および出力を 1 割程度向上させることも可能である。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

日本は家庭用 SOFC では世界でトップレベルの技術と普及を実現しているが、業務用 SOFC では世界の後塵を拝しており、55%LHV 以上の業務用 SOFC に関する技術開発は、世界に向けた日本の先進技術アピールも実現し得る技術開発分野である。

また、55%LHV 以上の発電効率を示す超高効率 SOFC は、SOFC 単体での達成は非常に困難であると考えられ、システム化を達成するための各要素の技術課題に加え、組み合わせによる様々な技術課題の解決も必要となる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・国内では 2007 年から 2011 年 3 月まで、NEF（新エネルギー財団）が NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成を受けた「固体酸化物形燃料電池実証研究」の中で、都市ガス、LPG ガスおよび灯油仕様の家庭用 SOFC システムの設置・運転試験を実施した¹⁾。JX 日鉱日石エネルギーは 2011 年 10 月²⁾、アイシン精機はトヨタ自動車、大阪ガス、長府製作所ならびに京セラと共同開発した家庭用 SOFC システム（エネファーム type S）について 2012 年 4 月から販売を開始した³⁾。
- ・欧州では、ヨーロッパ連合ならびにエネルギー供給会社がバックアップし、家庭用小型 SOFC システムの開発がすすめられている。オーストラリアの CFCL、スイスの Hexis、およびイギリスの Ceres Power 等が、ドイツやフランスを中心に 1～2kW 級の家庭用 CHP [combined heat and power、熱電併給] システムの実証試験をすすめている。また、フィンランドの Wartsila は 50kW 級の定置用 SOFC の実用化に向けた実証試験を、デンマークの Topso FC、カナダの VPS と開始する。
- ・米国では、DOE がすすめる SECA プログラムの中で、石炭ガス化やガスタービンとの複合発電を目標とした大規模発電用 SOFC の開発が FCE、UTC-Power、Siemens、GE、ならびに Rolls-Royce FC を中心にすすめられてきた⁴⁾。FCE はカナダの VPS、UTC-Power は Delphi と引き続き開発を進める一方、GE と Siemens は 2010 年に米国での同事業の継続を断念、Rolls-Royce FC は 2012 年 6 月に韓国の LG グループに事業を引き継いだ⁵⁾。Bloom Energy は、カリフォルニア州の手厚い環境対策の助成（SGIP）を受け、100kW 級の定置用 SOFC システムのパートナー企業への導入をすすめている。

（６）キーワード

固体酸化物形燃料電池、固体アイオニクス、酸素イオン伝導、混合伝導体

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↑	● 耐久性・信頼性向上のため、NEDO 事業の中で開発企業および大学・研究機関が協力しながら、問題解決に向けた産官学連携体制が整備されている。 ● 耐久性評価ならびに劣化メカニズムの科学的解明について、大学・公的研究機関の基礎研究レベルは高く、研究成果も多い。 ● NEDO 事業の当面の目標である耐久性 4 万時間（電圧低下率 0.25%/1,000 時間以下）、起動停止 250 回について、概ね見通しが得られている。
	応用研究・開発	○	→	● NEDO 事業として、実用化に向けた低コスト化技術、運用性向上に向けた起動停止運転技術、ならびに高効率化のための高圧運転技術について、開発企業が検討を実施している。システムの実用化に向けて重要な課題であり、早期の市場導入に向けた研究体制の強化と技術開発が急務である。
	産業化	◎	↑	● 家庭用 SOFC システム（エネファーム type S）は、NEDO 助成による実証研究を経て、システム開発企業 2 社が 2011 年～2012 年にかけて販売を開始した。また、後発企業も市場投入に向けた研究開発を進めている。 ● 三菱重工業は 200kW 級の SOFC／ガスタービン複合システムの技術実証に成功しており、2020 年頃に事業用規模の SOFC 複合発電システムの実現を掲げている。

米国	基礎研究	○	→	● 第1期SECA（FY2001-2007）では、エネルギー省（DOE）の助成により、大学・公的研究機関において先駆的な基礎研究、ならびに企業によるスタック/モジュールの開発が行われ、世界を先導してきたが、DOEの予算削減から現在基礎研究は停滞気味である。
	応用研究・開発	○	→	● 第2期SECAでは、スタック/システムの低コスト化（2010年に\$400/kW）に加え、石炭ガス化ガスを燃料とした高効率CO ₂ 回収型の大規模発電システムの開発がVision21ですすめられている。
	産業化	◎	↗	● カリフォルニア州では、手厚い環境対策の導入助成（SGIP）を受け、ベンチャー企業（Bloom Energy）が100kW級の定置用SOFCシステムをパートナー企業へ導入をすすめている。
欧州	基礎研究	◎	↗	● 欧州では、材料からセル/スタックに至る技術開発ならびに部品を共通化することで、効率的な研究開発を進めている。これら共通化されたセル/スタックをもとに、ドイツ、イギリス、オランダ、デンマーク等において、ヨーロッパ連合やエネルギー供給会社の支援により、複数の企業がシステム化技術開発を行っている。
	応用研究・開発	○	→	● ドイツやオランダでは、木質をベースにしたバイオガスをSOFC燃料使用すべく、不純物の影響評価等をすすめている。
	産業化	◎	↗	● オーストラリアのCFCLは、スタックからセルの供給を受けドイツの工場で数kW級のコージェネレーションシステムを開発しドイツやフランスで実証試験をすすめている。 ● フィンランドのWartsilaは、デンマークのTopso FC、カナダのVPSからセル/スタックの供給を受け、数十kW級の定置用SOFCを開発しバイオガスやメタノールガスを燃料としたシステムの実証試験をすすめている。
中国	基礎研究	○	→	● 大学・研究機関の研究開発は、科学技術省（MOST）の863ならびに973国家プロジェクト中で、電池寿命の改善、コスト低減などの基盤技術開発が進められている。
	応用研究・開発	○	→	● 燃料電池に関してはこれまで固体高分子形燃料電池自動車の開発が中心であったが、今後は家庭用、定置発電用の技術開発がすすむことが予想される。
	産業化	◎	↗	● 希土類金属の主要な産地であることから、材料からセル/スタックの製造技術開発がすすむことが予想される。
韓国	基礎研究	○	↗	● 燃料電池に関しては、国レベルで80年代半ばから積極的な研究開発が行われている。
	応用研究・開発	○	↗	● 燃料電池に関しては着実に研究開発が進められており、EUのセル/スタック開発企業や、米国のベンチャー企業などの技術提携などにより、商業生産間近にある。
	産業化	◎	↗	● POSCOエネルギーのように、今後は、外国企業との技術提携によるライセンス生産などを通じて徐々に技術力を蓄えていくものと考えられる。 ● 米国同様に手厚い環境対策の導入助成を受け、ベンチャー企業を中心に家庭用、定置用SOFCシステムの導入をすすめることが予想される。

（註1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（８）引用資料

- 1) <http://www.nef.or.jp/sofc/>
- 2) http://www.noe.jx-group.co.jp/newsrelease/2011/20110915_01_0950261.html
- 3) http://www.kyocera.co.jp/news/2012/0305_yuki.html
- 4) <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>
- 5) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464285912702043>

3.1.6 負荷運用性に優れ CO₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）

（1）研究開発領域名

負荷運用性に優れ CO₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

今後、ますます厳しい負荷変化調整が要求される石炭火力発電において、負荷応答速度が速く、幅広い負荷範囲において安定運転可能でかつ高い発電効率を維持でき CO₂ 排出量を最小限に抑制できる技術の開発。さらには、CO₂ の分離・回収技術を組み合わせても高い発電効率となる方式に発展できる技術の開発。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

火力発電分野においては、CO₂ 排出量の削減に加え、今後大量に系統と連系されることが予想される再生可能エネルギーの不安定性の補完能力なども強く求められる。そこで、需要に応じて速やかに出力を調整できるとともに、定格負荷時に高効率だけでなく、全負荷帯を通じて高い発電効率を有し、プラントの運転期間全体を通して CO₂ 排出量を最小にできる技術の開発が必要になる。また、今後ますます強くなるとされる CO₂ 排出抑制に対する要請に対応可能とするため、CO₂ 回収技術を組み合わせても、所要動力を極めて小さくして高い発電効率を維持できる高度な火力発電システムへと発展できる方式を開発すべきである。

微粉炭火力においては、既に様々な低負荷運転、負荷変化運転がなされているものの、最低負荷の一層の切り下げ、負荷追従速度の向上が期待されている状況である。一方、微粉炭火力に比べて大幅な発電効率の向上が期待できる石炭ガス化を核にした石炭ガス化複合発電や石炭ガス化燃料電池複合発電においては、まだ負荷追従性の向上や最低負荷の切り下げ、といった視点では検討がなされておらず、まさに今後、このような視点からの技術開発は重要となると思われる。CO₂ 回収技術については様々な方式が提案されているものの、いずれの方式も CO₂ 回収により大幅な効率低下とコスト上昇は避けられず、高発電効率と CO₂ 回収を両立できる方式は、まさにこれからの開発課題だと考えられる。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

- ・微粉炭燃焼を核にしたシステムの場合は、低負荷時に濃度が希薄となるバーナ内微粉炭を適度に濃縮するなどバーナ構造の最適化を中心にした技術が重要となる、一方、石炭ガス化を核にしたプロセスにおいては、極低負荷におけるガス化炉の安定運転技術およびガス化炉とガスタービンまたは燃料電池の連携技術など、複雑なシステム構成において負荷変化時の最適運転方法を多様な視点から探索し、必要な要素技術を開発しなければならない。また、燃焼およびガス化に共通な課題として、微粉炭を製造するための粉砕機の負荷追従性と低負荷運転安定性の向上が重要となる。また、高効率な CO₂ 回収のためには、CO₂ の回収位置の最適化と回収技術の高度化だけでなく、CO₂ を回収しやすいガス条件への設定など、より多面的な視点からの検討が必要となる¹⁾。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ 勿来の空気吹き IGCC 実証機は、2012 年度で所定の目標が達成される見込みであり、実証試験を 2012 年度末で終了し、2013 年度からは商用運転される計画である。
- ・ EAGLE プロジェクトにおいて、石炭ガス化ガスからの CO₂回収エネルギーの低減に向けて、化学吸収方式、物理吸収方式の試験研究が行われている。
- ・ 大崎クールジェンプロジェクトが進行中であり、その第 1 段階である酸素吹き IGCC 実証試験設備の建設が 2013 年 3 月より、実証試験が 2016 年度より開始される予定である。
- ・ 海外の IGCC プラントとして、中国 GreenGen プロジェクト及び米国 Edwardsport プロジェクトが 2012 年に試運転を開始した。

（６）キーワード

石炭ガス化複合発電（IGCC）、低負荷高効率化、高効率の二酸化炭素回収（CCS）

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 大学や研究機関におけるガス化技術・CO₂回収技術に関する基礎的研究は、幅広く実施されている。 ● 低品位炭の改質・利用拡大、熱分解・燃焼・ガス化反応モデリングや数値解析技術等の基礎研究が行われている。 ● また、CO₂回収技術の分野では、酸素燃焼方式の概念をIGCCと組み合わせた新しいシステムの基盤技術開発や膜分離技術に関する研究等も進められている。
	応用研究・開発	◎	↑	● 空気吹きIGCC実証機プロジェクト²⁾や酸素吹きEAGLEプロジェクト³⁾が順調に進捗し、さらに、燃焼前回収方式CO₂回収型IGCCやIGFCも視野に入れた大崎クールジェンプロジェクトも開始されている⁴⁾。 ● 日本と豪州の共同プロジェクトとして、豪州カライド発電所における酸素燃焼方式CO₂回収技術の実証試験が開始されている⁵⁾。
	産業化	○	↑	● 石炭ガス化技術に関し、三菱重工が空気吹きガス化／酸素吹きガス化ともに実用化段階の技術として、米国や中国等への展開を進めている⁶⁾。 ● 三菱重工と日立製作所が火力発電システム分野での事業統合に基本合意し、本技術統合が実現することにより、国際的な競争力が大きく向上すると期待される。
米国	基礎研究	◎	→	● 米国の大学・研究機関における基礎研究は、米国エネルギー省のサポートもあり、幅広い分野で高いレベルにある。 ● 石炭利用分野に関し、基礎的な実験研究に加え、高度な数値解析技術の活用も進められつつある。
	応用研究・開発	◎	→	● ガス化技術の中核とした各種システムの高度化（コスト低減、効率向上）に向けた開発研究が数多く行われている。 ● 米国エネルギー省のサポートを受け、酸素製造用O₂分離膜、加圧下への粉体供給ポンプ、CO₂回収用H₂-CO₂分離膜、ガス精製技術等の様々な技術開発が継続して行われている⁷⁾。
	産業化	◎	→	● GE社、Phillips66社の保有するガス化技術は、これまでに化学合成用を中心に、世界各国で数多くの実績がある。現在、発電用も含め、自国のみならず、グローバルに事業展開している。 ● 米国内ではEdwardsport IGCC（GE社技術）が運転を開始し、両社の技術を用いたプロジェクトは、海外も含め複数進行中である（インドJamnagarプロジェクト、韓国POSCOプロジェクト等）^{8) 9)}。

欧州	基礎研究	△	→	● 石炭関連技術については、古い歴史を持ち大学・研究機関で裾野の広い基礎研究が行われている。 ● ガス化分野よりも、石炭のキャラクタリゼーション、熱分解などに関する研究やCO₂回収貯留に関する研究が多い傾向が見受けられる。
	応用研究・開発	○	→	● CO₂回収貯留に関して、積極的に取組んでおり、酸素燃焼方式や燃焼前回収方式の実証プロジェクト計画がある。しかしながら、必ずしも順調には進捗していないものも見受けられ、その動向を注視する必要がある。 ● スペインPuertollano IGCCプラントにおいて、ガス化ガスを一部抽気し、CO₂分離回収+H₂製造のパイロット試験も行われている¹⁰⁾。
	産業化	○	↗	● Shell社は、化学合成用ガス化技術に関し豊富な実績を持ち、発電用に関しても、自社技術を有している。また、Uhde社もスペインPuertollano IGCCでの実績を持ち、海外を含め事業展開を図っている。 ● 上記の2社に加え、近年、Siemens社は、化学合成プラント、IGCCプラントに対し、積極的な事業展開を図っていることが注目される¹¹⁾。
中国	基礎研究	○	→	● 国内での研究に加え、海外への留学を通じて、研究の水準は着実に上がってきている。 ● 低炭素化をテーマにした国際会議の開催を積極的に行うなど、最新の研究動向把握と海外研究機関との交流により、自国の基礎研究の拡充を図っている。
	応用研究・開発	△	→	● ガス化技術に関し、後述の2つの技術が実用化の段階まで来ており、これらの改善検討が継続して行われているようであるが、ガス化技術分野での応用研究・開発は一段落の感がある。 ● 国際的な技術動向を見極めながら、自国の優位性を高めるよう技術開発を進めてきていることから、今後、CO₂回収分野等での研究開発が加速されることが推測される。
	産業化	◎	↗	● ガス化分野において、過去は、GE社やShell社などの海外技術の導入が中心であった。 ● 自国のガス化炉技術の開発も進められ、HCERI (Huaneng Clean Energy Research Institute) 炉によるGreenGenプロジェクトが運転を開始し、既に、同技術の海外展開を図っている¹²⁾。 ● また、中国では、OMB (Oposit Multi Burner) 炉も開発され、化学合成用として中国国内で多数稼働している¹³⁾。
韓国	基礎研究	○	→	● 大学・研究機関で石炭利用技術に関する基礎研究は、継続的に行われてきている。 ● 基礎研究としての水準は着実に上がっており、例えば、釜山大学では、Pusan Clean Coal Centerにおいて、石炭燃焼・ガス化に関し、基礎実験から数値解析まで総合的に研究が行われている。
	応用研究・開発	○	→	● 米国で記載したPOSCOプロジェクトや後述のTaeanプロジェクトのように、コアとなるガス化技術は海外から導入する流れが多い。 ● このような状況の下、新技術開発に比べ、既存技術・他国技術の評価を可能とするような研究開発の進展が見られる。
	産業化	△	↗	● Taeanプロジェクト等IGCC導入計画が進められているものの、コアとなるガス化技術は海外技術である¹⁴⁾。 ● 海外ガス化炉メーカーとの協業により、ガス化分野での国内産業の育成・強化を図ろうとしている。

(注1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（８）引用資料

- 1) 住明正, 島田荘平 (編著). 温室効果ガス貯留・固定と社会システム. コロナ社, 2009.
- 2) 南直喜. "石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証機プロジェクトの進捗状況". 日本機械学会 2012 年度年次大会. 2012.
- 3) 小俣浩次. "石炭ガス化技術と CO₂ 分離回収". 日本機械学会 2012 年度年次大会. 2012.
- 4) 有森英二. "大崎クールジェンプロジェクトの紹介". 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012.
- 5) カライド酸素燃焼プロジェクト、<http://www.callideoxyfuel.jp/>
- 6) Sakamoto, Koichi. "Progress Update of the MHI Air Blown IGCC and Gasification Plant". POWER-GEN International 2012, 2012.
- 7) Bose, Arun C. "Gasification Systems Program Overview". Gasification Technologies Workshop, 2012.
- 8) Crew, Jason. "GE Gasification Project Update". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 9) Amick, Phil. "E-Gas™ Gas TM Technology 2012 Outlook". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 10) Alarcón, Fernando. "Elcogas Carbon Capture Pilot Cost Assessment in different scenarios". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 11) Morehead, Harry. "Siemens Gasification Project Update and Lessons Learned". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 12) Li, Guangyu. "Industrial Application of Two Stage Dry Pulverized Coal Gasification Technology". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 13) Zhou, Zhijie. "Experience and Future Development of ECUST Gasification". 2012 Gasification Technologies Conference, 2012.
- 14) Kim, Sung Chul . "Overview of IGCC R&D Project in Korea". 2011 Gasification Technologies Conference, 2011.

3.1.7 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術（中長期）

（1）研究開発領域

劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

高炉法による鉄製造に必要なコークスの高強度化を図ることは、CO₂排出量の削減のために必要不可欠である。一方で、石炭価格の高騰や良質資源の枯渇が懸念され、海外に賦存する劣質・未利用固体炭素資源を原料とする高強度コークス製造が今後ますます重要となる。そこで、劣質だが安価な固体炭素資源の前処理やバインダー添加により、高強度かつ低コストで、新規なコークス製造技術開発を実現するための研究を実施する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

「革新的製鉄プロセス（COURSE50）」¹⁾や「革新的塊成物（フェロコークス）製造プロセス」²⁾に代表される我が国独自の製鉄技術開発は、今後の我が国の工業社会を支える基盤技術と位置づけられる。これらの技術の実現のためには、高炉内で高反応性かつ高強度な品質をもつコークスを製造する技術開発が要求される。しかし近年の世界的な鉄鋼需要の増大や、良質資源の価格高騰により、我が国の鉄鋼製造業分野においては厳しいコストダウンが要求され、原料費が価格に占める割合が7割を超えるまでに達し、利益の上がりにくい状況にある。この現状を打開し、高品位な鋼材の国際競争力をいっそう高めるためには、原料費の抑制が急務となっている。鉄鉱石のメジャー支配が進む中で、鉄鉱石還元剤となる固体炭素資源については低品位・未利用炭を含めればまだまだ資源は豊富であり鉄鉱石ほどの不安はない状況である。しかし、高強度なコークス製造に必要な不可欠な良質な粘結炭は、資源が石炭中の2割程度と少なく、価格も一般炭よりも高値で推移している。このため、鉄鋼メーカーは少しでも安価な劣質・未利用固体炭素資源の利用を目指して、石炭配合技術の開発や「次世代コークス製造技術（SCOPE21）」によるコークス炉建造を行い、コークス品質を維持しつつ原料費低減を目指している。

コークスの工業的強度の指数であるドラム指数（drum index, DI）は、高炉の管理上重要であるが、DIが1%増加すれば鉄1t製造に必要なコークス（燃料）の量を1.71%減少させることが可能であり、このため、鉄鋼各社は高強度なコークス製造を目指した技術開発を行っている。日本鉄鋼連盟におけるCOURSE50でも、高強度コークスが指向され、将来状況を見込んだ高炉法においてもDIの増加要求は大いに求められている。しかし、劣質な石炭原料を使用すればDIの減少を招き、結果的に高炉操業の不安定化やトータルでのコスト増加につながるため、原料価格の面で有利な劣質な石炭を多量使用するには至っていない。現在、日本鉄鋼協会では、劣質・未利用炭素資源を用いた場合においても強度を維持できる機構を見出すため、大学と企業の共同研究により、基礎研究を実施している状況である。欧州ではULCOS（Ultra-low Carbon Dioxide Steelmaking）やIDEOGASなどのプロジェクト³⁾が立ち上がり、企業や大学の広範囲なネットワークのもと、低炭素排出製鉄研究が進められている。中国では人件費が低いことからまだ具体的な研究開発の動きは乏しい。韓国では直接還元技術開発を積極化さ

せているが、技術的困難に直面している。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

劣質・未利用固体炭素資源のうち、劣質炭と称される石炭はコークス化しにくい性質があり、前処理が必要とされる。また粘結性が不足しているため、粘結助剤としてバインダーの添加が指向される。しかしどのような前処理が効果的なのか、どのようなバインダーをどの程度混合すれば、DIが向上するのか、などの機構は不明瞭である。近年の大学では、最先端技術に関する基礎研究が指向されているため、石炭や製鉄研究を実施している研究者は減少する一方である。可能な限り早期に予算のある研究開発プロジェクトを行わなければ、大学の人材が失われ、その結果、企業の人材に影響を与えることが懸念される。企業の研究開発活動は、原材料費の高騰によってさかんになってきているが、基礎研究を短期間に遂行するだけの素地は失われていると思われる。産総研では炭素資源に関する研究を継続しており、本開発領域に大いに注力できる状況にある。

石炭は様々な種類があるが、コークス製造に適した石炭への改質技術の開発により、亜瀝青炭から褐炭に至る膨大な石炭資源をコークス製造に使用できる可能性がある。また、輸入が困難な褐炭については、海外での改質によるバインダーの製造を行うことで、液体として輸入できる可能性があり、劣質石炭とバインダーの組み合わせによる高強度なコークスの製造が可能になることも期待される。

科学技術的課題は次のような項目に分けられる。

- ・劣質・未利用固体炭素資源の改質研究
- ・劣質・未利用固体炭素資源からのバインダー製造技術開発研究
- ・劣質・未利用固体炭素資源で製造したコークスの強度向上技術開発研究

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・日本鉄鋼協会では、「劣質・未利用炭素資源コークス化技術研究会」を2010年度より立ち上げ、バイオマスやオイルサンドビッチュメンなどの未利用資源、ならびに低品位な石炭から作成したハイパーコールなどをバインダーとして用いた際のコークス強度向上に関する研究開発を、鉄鋼大手各社ならびに全国の大学の研究者・国研の研究者とともに共同で進めている。
- ・中国中煤能源集团公司は、内モンゴル自治区フルンボイル市と共同で、褐炭改質総合利用プロジェクトの推進に合意し、褐炭の熱分解により、コークスを製造している。規模は1000万t/年×2、総投資額は180億元（2012年6月）⁴⁾。
- ・豪ビクトリア州政府は、CarbonNetプロジェクト（CCS計画）の中で、褐炭からのコークス製造の実施を計画。豪州政府とビクトリア州政府は、同プロジェクトのフィージビリティスタディに1億ドルの資金提供を表明（2012年2月）⁵⁾。

（６）キーワード

劣質炭改質、高機能バインダー、コークス強度向上、バイオマス利用

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 応用研究や産業化技術に対して多くの研究資源が投入されており、基礎研究のレベルは高いものの、基礎研究に携わる研究者は他国に比べて少ない。 ● 乾留（炭化）、水熱処理等に関する研究は、世界最高水準の研究レベルにある。
	応用研究・開発	◎	↑	● バブコック日立、IHI、三菱重工等の国内重工メーカーおよび電中研は、高効率な褐炭・バイオマス乾燥技術の開発を積極的に行っている ^{6,7,8)} 。
	産業化	◎	↑	● 神戸製鋼は、褐炭を対象に油中脱水技術（UBC技術）を開発し、インドネシアで実証試験を実施した ⁹⁾ 。
米国	基礎研究	△	→	● 製鉄産業の規模は日本に比べて小さく、また国内資源の有効利用を想定する研究が多く、取り組みは少ない。
	応用研究・開発	△	→	● 応用研究・開発はあまり例がない。
	産業化	△	→	● 製鉄産業の規模自体が小さく、目立った展開はない。
欧州	基礎研究	◎	↑	● 主として、低品位炭の産出国であるドイツ、ポーランド、トルコ、ギリシア、チェコなどにおいて、基礎研究が盛んである。 ● 物性等に関する研究は、世界最高水準の研究レベルにある。
	応用研究・開発	◎	→	● 独ドルトムント大学では、褐炭の高効率乾燥（脱水）技術として、MTE（Mechanical Thermal Expression）プロセスの実用化開発が進められている。
	産業化	◎	↑	● EUのFP7における取組としてULCOSが動いており、バイオマスを利用したプロセスが展開中である。
中国	基礎研究	◎	↑	● 基礎研究に対して研究資源を積極的に投入しており、特にここ数年の伸びが極めて大きい。 ● 低品位炭・バイオマスに関連する分野の研究は、高水準の研究がなされている。
	応用研究・開発	○	→	● 山東省科学院工業省エネセンターと山東天力乾燥設備会社が、高温蒸気による褐炭乾燥CCT [clean coal technology]技術を共同開発した。 ● 多くの場合、海外の技術を積極的に導入し、一気に実証段階へと進む手段を取る。
	産業化	△	→	● 中国の製鉄産業規模は日本の7倍程度と非常に大きい、この分野の産業化の動きはまだあまり見えていない。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではないが、研究者が増えつつある。 ● 研究内容としては、既存技術のフォローアップ的なものが多い。
	応用研究・開発	○	→	● 海外技術の取り込みなどによる実用化が進められている。
	産業化	◎	↑	● 製鉄産業の規模が大きく、また鉄鋼分野のエネルギー原単位がドイツよりも低く、日本に次いで世界第2位であり高効率低二酸化炭素排出を実現している。

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（８）引用資料

- 1) 杉田 他. 神戸製鋼技報. 2003, vol.53, no.2, p. 41-45.
- 2) 須山. CCT ワークショップ 2012. JCOAL, 2012.
- 3) NEDO. NEDO 国際連携研究（NEDO 国際連携クリーンコール技術開発）. 2011.
- 4) JCOAL. JCOAL Magazine. 2012, 第 99 号.
- 5) Gurnery, P. "Australia's research for sustainable future uses of brown coal". Cleaner Fossil Energy Securing a Cleaner Energy Future. Australia, 2012.
- 6) 電気新聞. "褐炭乾燥実証設備建設へ". 2013 年 1 月 15 日.
- 7) 日立評論. 2012, vol. 94, no.11, p. 36-37.
- 8) 橋本. 褐炭などの低品位炭を利用した IGCC の取り組み. MHI 技報. 2011, vol.48, p. 25-29.
- 9) 神戸製鋼. 600t/day プラントによる改質褐炭プロセスの実証, 神戸製鋼技報, 2010. vol.60, no.1, p. 71-75.

3.1.8 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）

（1）研究開発領域名

吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

化学反応は熱力学的平衡ならびに反応速度論制約を受け、一般に吸熱反応は高温を必要とする。低温でも熱力学的平衡的に有利な反応を選び、高性能触媒により反応速度を上げることが出来れば、200℃程度の未利用低温排熱を化学エネルギーとして再生可能になる。このためには吸熱反応を低温で駆動できる高性能触媒の開発が重要である。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

再生可能エネルギー利用拡大が叫ばれるが、現状ではそのポテンシャルは低く、化石資源中心のエネルギー社会を変えるには至っていない。また工場などの廃熱は未だに200℃程度以下のものについてはほとんど廃棄されている。このような熱を生かして、吸熱反応に供給して化学的ポテンシャル回収を行い、再生可能エネルギーの転換などに用いることが出来れば、高効率なエネルギープロセスが構築可能である。

具体的な課題の一例： 長期的な視点では、究極的には再生可能エネルギーをベースとしたエネルギーシステムが構築される必要があるが、現状では再生可能エネルギーの転換による電力あるいは水素製造、ならびにそれらの貯蔵・輸送が大きな壁となっている。バイオマスからの水素製造が一時もてはやされ、ガス化や発酵経由での水素製造が提案されてきたが、可食性バイオマスを原料とすることは食糧との競合から問題があり、非可食性バイオマス（セルロースやリグニンなど）はガス化においては含水率の高さによる低い熱量が、発酵においては単糖化が問題となり普及には至っていない。現在、後者の多糖類の単糖化は様々な触媒プロセスが提案されつつあり今後に期待が持てるが、発酵後に得られた低濃度エタノールの蒸留は潜熱回収の難しさや共沸の点から今後とも大幅な効率改善は見込めない。その解決法として、膜分離が提案されているが、ファウリング(fouling)などが課題として知られ、またスケールファクターがほぼ1である（設備の規模を10倍にすれば初期設備投資費用も10倍になる）ことから大規模化が難しい。一方で、この低濃度エタノールをダイレクトに水蒸気改質する反応は吸熱反応であり、これにより高濃度水素へと一段で転換可能である。このための触媒は現在400℃程度で高い活性を示しており、今後さらなる低温化（触媒の高活性化）を図ることで、廃熱を利用した熱回収型水蒸気改質が可能になれば、これまで捨てていた熱を回収して用い水素へと再生することで、再生可能エネルギー利用とエクセルギー回収が同時に実現可能となる。このような提案はこれまでに非常に少なく、国外でもほとんど研究の例がない。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

日本は水素製造触媒の世界では海外と比較して非常に高いレベルにある。今後、このような領域における基礎研究が進展することで、世界に向けた日本の先進技術アピールを実現し得る分野である。一方で、現在は低温作動の吸熱反応自体の対象が少なく、今

後新たな反応を見出していくことも必要となる。

（６）キーワード

低温作動高性能触媒、非ファラデー系電気化学反応、吸熱反応、エクセルギー再生

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	● 基礎研究フェーズにあり、研究者の数も多くない。一方で、排熱や吸熱に限定しない触媒研究については、多くの研究者が高いレベルの研究を進めており、今後の展開が期待される。
	応用研究・開発	△	↑	● NEDOは国際共同研究プログラムにおいてジメチルエーテル（DME）の海外における生産と国内への輸送、国内での利用を想定し、国内に輸入したDMEを排熱を用いて低温水蒸気改質することにより20ポイント程度のエネルギー効率向上が可能であることを示した。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
米国	基礎研究	△	→	● 触媒開発においてはかつては高いレベルを有していたが研究者の減少により近年は低迷している。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
欧州	基礎研究	◎	↑	● フランス・ドイツを中心として基礎的研究は高いレベルにある。研究者の数、母体も多い。
	応用研究・開発	△	→	● 応用を志向した研究はFP7の中で一部取り上げられている程度で、今後の展開が期待される。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
中国	基礎研究	○	↑	● 触媒分野の基礎研究に対して研究資源を積極的に投入しており、特にここ数年の伸びが極めて大きい。しかしまだ研究のレベルは低い。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではない。研究者数も多くない。研究内容としては、既存技術のフォローアップ的なものが多い。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（注1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注3）トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

3.1.9 石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）

（1）研究開発領域名

石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

現在、石油化学品は軽質ナフサの熱分解により製造されるオレフィン群と重質ナフサの接触改質で製造される芳香族群を原料として製造されている。今後天然ガスへの転換が進む重質石油留分からオレフィンや芳香族を製造するプロセスの開発を進め、石油を有効利用することが望まれる。さらに、シェールガス開発により、今後天然ガスからオレフィンや芳香族を製造するプロセスを開発し、石油は別途有効利用することが望まれる。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

中東やアメリカでのエタンクラッカー建設により、日本等で採用されているナフサクラッカーによる軽質オレフィン製造は急速に競争力を失うと予想される。しかし、エタンクラッカーでは、プロピレン、ブチレン、ブタジエンを製造することができないので、これらを生産する代替製造技術が必要となる。原料としては、軽質ナフサとガスへの転換が進む重油が現実的である。いずれの原料を使用する場合も、転換効率やプロピレン・ブテン選択性を考慮すると、触媒接触反応が望ましい。ナフサからの軽質オレフィン合成は石油化学会社が研究しているし、重質石油留分の接触分解は JX エネルギーが国の支援を得て開発している。

接触反応ではブタジエンは副生しないので、ナフサクラッカーで併産されるブタジエンやイソプレン等を目的生産するプロセスの開発も必要である。ブタジエン製造は、石油化学会社でブテンまたはブタンを原料に研究が行われているが、実用化には触媒劣化等の課題を克服する必要がある。

他方、シェールガスの登場により天然ガス価格が下がっている。一方、石油の価格は高止まりしており、天然ガスから石油化学品原料である軽質オレフィンや芳香族を製造する技術の開発が望まれる。従来技術は合成ガス（CO+H₂）を製造し、メタノール経由でオレフィンや芳香族を製造する研究が 1980 年代に盛んに行われた。また、2000 年ごろより、合成ガスから FT [Fischer-Tropsch] 反応を利用して石油代替燃料を製造する GTL [gas-to-liquid] プロセスの建設が行われ実際に稼働が開始している。

これらの技術は、ガス化技術、メタノール合成技術、FT 反応技術、2 次転換技術、等々の集積技術であり、個々の技術にはまだまだ技術開発の要素が残されており、これら課題を解決し、新たな集積技術群として構築することが望まれている。

天然ガス資源を開発し利用するためには、これらの転換技術が有効に作用すると考えられる。産ガス国への資源獲得競争を勝ち抜くためにも、本技術の保有が望まれる。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学技術的課題は触媒の性能向上であり、本課題克服のためには産学連携が効果的である。政策的課題として重要なのは、スケールアップ研究に対する支援である。実証化研究レベルとなると民間企業が装置を建設・運転するのには負担が大きすぎる。さらに、

石油関税を還付する等の優遇税制により、新たな生産ルートを保護・育成するとともに、国内生産を保護・育成することも有効と考えられる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・カタールではラスラファン地区にて日産 34000 バレルの FT プラントがカタール国営石油と南アフリカ合成石油の合弁により稼働している。また同じくラスラファン地区にて日産 140000 バレルの巨大 FT プラントがカタール国営石油とロイヤルダッチシェルの合弁により稼働を始めた。
- ・中国では、MTP（メタノールからのプロピレン製造）が稼働を始めた。UOP およびルルギ社が技術を提供し、炭素ベースで 40%の効率を示している。
- ・ADNOC のエチレン+エチレン→2 ブテン→プロピレンプロセスがすでに動いており、またエタンからのプロピレンプロセス（エタンクラッカー経由）も稼働を始めた。この際に重合だと異性化が不要となるため利点が多い。
- ・我が国では HS-FCC [high severity fluidized catalytic cracking 高耐性流動接触分解] が PEC [石油エネルギー技術センター]の補助事業として動いており、サウジアラビアでのパイロットプラント稼働をもとに、JX 日鉱日石エネルギー社が水島製油所での実証化を進めている。

（６）キーワード

プロピレン・ブテン・ブタジエン製造、オレフィン、芳香族、シェールガス、高性能触媒

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	● 基礎研究のレベルは高いものの、基礎研究に携わる研究者は他国に比べて少ない。 ● 石油学会、触媒学会などが主な研究者のフィールドであり、広がりがないが、三菱化学や住友化学をはじめとする大手化学系企業が基礎研究においても存在感を見せている。
	応用研究・開発	◎	↑	● JX日鉱日石エネルギーによる HS-FCCがサウジアラビアでの試験プラントを経由して水島製油所での実証化を開始し稼働を始めている。 ● 三菱化学は、経済産業省未来開拓プロジェクトにおいてあらたなるオレフィン製造ルートの開拓をうたった大規模研究を展開している。
	産業化	◎	↑	● 東洋エンジニアリングは米国 ABB Lummus社と共同で新たなプロピレン製造プロセスを世界に展開している。現在世界で 8 基のプラントが操業を開始している。
米国	基礎研究	◎	↑	● 早くからこの分野に取り組み、研究者層も厚く、基礎研究は充実している。他国の追随を許さない状況である。
	応用研究・開発	◎	→	● 応用研究・開発は既の実施されており、実証段階にある。
	産業化	◎	↑	● ABB Lummasをはじめとした多くの企業が商業化を手がけ、MTP や脱水素、メタセシスなどで新たな技術を生かした商業化が進められている。

欧州	基礎研究	◎	↗	● ドイツの大学や企業を中心として、新規手法が検討されている。研究者層はドイツ・フランス・イタリア・ベルギー・オランダを中心として多く、そのレベルも高い。
	応用研究・開発	○	→	● 独企業を中心として実証化が検討されている。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。
中国	基礎研究	◎	↗	● 触媒を中心とした基礎研究に対して研究資源を積極的に投入しており、特にここ数年の伸びが極めて大きい。 ● SAPO34というアルミノリン酸塩がMTP反応に高い性能を示すことを大連のグループが発見し、世界的な話題となっている。
	応用研究・開発	◎	↗	● MTPプロセスを中心として大規模な実証が進んでいる。
	産業化	◎	↗	● メタセシスおよびMTPが商業化フェーズとして稼働を開始している。今後も大規模な増設が検討されている。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではない。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）参考資料

- 1) 室井高城. GTL 触媒の基礎と最新動向. ペトロテック. 2013. vol. 36, p. 70-75.
- 2) 触媒学会. 第 7 回工業触媒研究会フォーラム資料. 2013 年 1 月 18 日.

3.1.10 次世代型バイオ燃料（中長期）

（１）研究開発領域名

次世代型バイオ燃料（中長期）

（２）研究開発領域の簡潔な説明

現在、再生可能エネルギーとしては太陽光と風力が注目されているが、航空機や自動車を考えるとバイオ燃料の確立も重要である。これまでは電力から水素・合成ガスを製造し FT 反応などを経由することが提案されてきたが、今後は再生可能エネルギー由来の電力とバイオマス起源の燃焼由来の二酸化炭素から、炭化水素などの気体・液体・固体燃料を作ることが重要になる。

（３）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

再生可能エネルギーとして風力や太陽光が注目されているが、将来的な航空機や自動車の燃料としては液体燃料の存在が重要である。これまで、再生可能エネルギー由来の液体燃料製造としては、再生可能エネルギー由来電力による水電解を経由した合成ガス製造とそこからの FT [Fischer-Tropsch] 反応による人造軽油合成あるいはメタノール合成が主な候補であった。他にも BDF [bio-diesel fuel] などの手法があるが、量的な問題から難しい。一方で、近年ドイツにおける SolarFuel プロジェクトや、アメリカにおける Electrofuels プロジェクト 1) のように、バイオマス資源由来の二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を反応させて炭化水素を得る試みが注目されている。今後、時間変動が多く、地域偏在性の強い再生可能エネルギーを広範囲に使っていくためには、このような新規バイオ燃料の合成技術が重要となる。方法としては微生物利用法・均一触媒法・不均一触媒法・プラズマ法などが考えられる。また生成物としては炭素、低級アルコール、メタン、液体炭化水素などが考えられる。世界的にはここ 2 年で展開が広がっており、我が国は遅れている。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学技術的課題としては新規プロセス開発及び触媒の性能向上であり、本課題克服のためには異分野間での連携が効果的である。生物化学、触媒化学、電気化学、化学工学各分野の研究者のシナジーにより新たな知見が生まれることを期待する。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・アメリカ DOE の ARPA-E プロジェクトにおいて、Electrofuels プロジェクトが取り上げられ、2010-2013 の期間で進められている。これは CCS により回収した二酸化炭素と、再生可能エネルギーなどから得られた電力と水素を組み合わせ用い、バクテリアや電極触媒を用いたバイオ燃料合成をおこなうことで従来の光合成の 10 倍以上の効率を狙ったものである。
- ・ドイツでは SolarFuel プロジェクトが進められている。またサハラ砂漠での太陽光利用とのリンクが検討されている。

（６）キーワード

バイオ触媒、人工光合成、再生可能エネルギー、二酸化炭素回収（CCS）

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 燃料産生型の藻類の基礎研究などは精力的に行われているが、それ以外については各分野での基礎研究のレベルは高いものの、連携が弱く有意な成果が得られているとは言い難い。
	応用研究・開発	○	→	● 要素技術ごとのR&Dは大学・企業とも精力的に行われているが、連携が弱く形を成していない。
	産業化	△	→	● 藻類、バイオ系合成含め、産業につながる規模での実用化フェーズにある技術はまだ醸成されていない。
米国	基礎研究	◎	↗	● Electrofuelsプロジェクトをはじめ、分野間の融合による精力的な研究がすすめられ、研究者層も厚い。
	応用研究・開発	○	↗	● 応用研究・開発は既に実施されており、実証が検討されている。
	産業化	△	↗	● 産業レベルで利用可能な技術はまだ出ていない。
欧州	基礎研究	◎	↗	● ドイツをはじめとして、精力的な研究が続けられ、レベルも高く研究者層も厚い。
	応用研究・開発	◎	→	● 独SolarFuelプロジェクトをはじめとしたR&Dが進められている。
	産業化	△	↗	● 産業レベルで利用可能な技術はまだ出ていない。
中国	基礎研究	○	↗	● 基礎研究に対して研究資源を投入しているが、要素技術の進展にとどまり目立った成果はない。
	応用研究・開発	△	↗	● 多くの機関が取り組み始めているが、今のところ目立った動きはない。
	産業化	△	↗	● 産業レベルで利用可能な技術はまだ出ていない。
韓国	基礎研究	△	→	● 基礎研究はあまり盛んではない。 ● 既存技術のフォローアップ的なものが多い。
	応用研究・開発	△	→	● 目立った動きはない。
	産業化	△	→	● 目立った動きはない。

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（８）引用資料

1) Electrofuels <http://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/electrofuels>

3.2 再生可能エネルギー区分

再生可能エネルギー区分においては、主に、太陽光、風力（陸上風力、洋上風力）、海洋（海洋温度差、波力、潮流・海流）、地熱（高温熱水、温泉、地中熱）、バイオマス（液体燃料、ガス化・発酵、燃焼）を検討対象とした。また、水力のうち中小水力についても拡大が期待されることから検討に含めた。

2.2.2 で述べたように、我が国のエネルギー研究開発の方向性の一つとして、再生可能エネルギーの拡大による産業構造の転換があげられている。当該区分における研究開発課題の検討にあたっては、エネルギー賦存量やコスト計算、また地球温暖化対策（CO₂削減）などを勘案すること、また、エネルギー種別ごとに技術の成熟度や研究開発から実用化への段階がそれぞれ異なるため、時間軸を明確にすることが重要である。

これらを念頭に置き、再生可能エネルギー導入可能量の検討結果を図 2.2.10 に、研究開発課題群を図 2.2.11 に示すように整理した。この導入量は、現状の技術動向や政策的・社会的な制約などを考慮して今後見込まれる量である。エネルギー種別ごとに、実用化あるいは導入拡大までのタイムスパンが異なることに留意する必要がある。また、再生可能エネルギーの賦存量の小さい我が国としては、風力、太陽光、バイオマス資源の豊富な諸外国に優れた開発技術を持ち込み、再生可能エネルギーを輸入することも有力な戦略のひとつとして考えておく必要がある。

以上を踏まえ、今後の主要な研究開発領域として以下の 7 領域を抽出した。各領域の選定シナリオについては 2.2.2 (2) で述べたとおりである。

1. 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）
2. バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）
3. 地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）
4. 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）
5. 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）
6. 高温地熱エネルギー利用の革新的利用技術（中期）
7. 太陽熱利用普及拡大に向けた技術・システム開発（短期）

これ以降、上記 7 領域について詳述する。

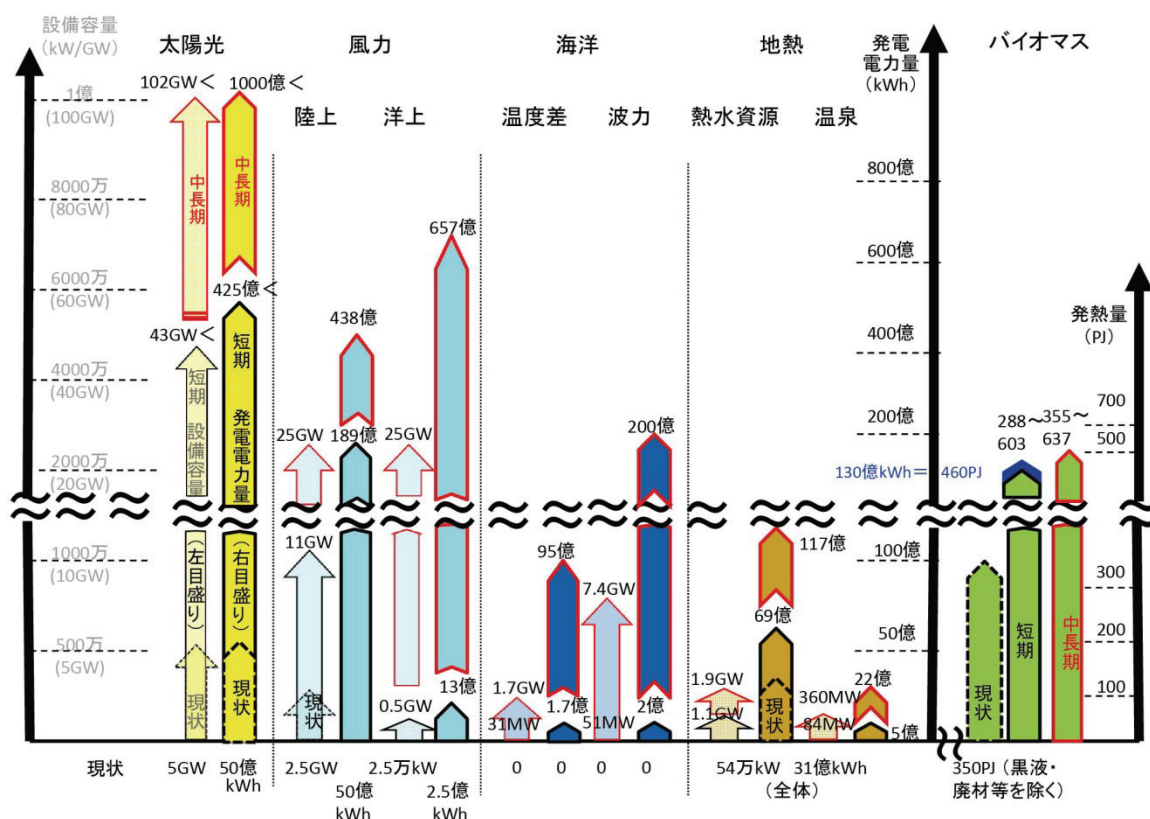


図 2.2.10 再生可能エネルギー導入量見込み（再掲）

（太陽光、風力、海洋、地熱の各エネルギーについては、左側のグラフが設備容量（kW/GW、左目盛り）を、右側のグラフが発電電力量（kWh、右目盛り）を表す。バイオマス（黒液や廃材を除く、あらゆるバイオマス利用）については発熱量（PJ（ $=10^{15}$ J）、右端の目盛り）で表示する。黒点線枠のグラフは現状の導入量（表示可能なもののみ）を示し、黒実線枠のグラフは短期の、赤実線枠のグラフが中長期の導入量を示す。導入量の根拠については、NEDO（2009）、NEDO（2010a）、NEDO（2011）、日本風力発電協会（2012）、自然エネルギー政策プラットフォーム（2010）、バイオマス活用推進会議（2012）に基づき、有識者の議論を踏まえた。）

再生可能エネルギー区分 研究開発領域と課題

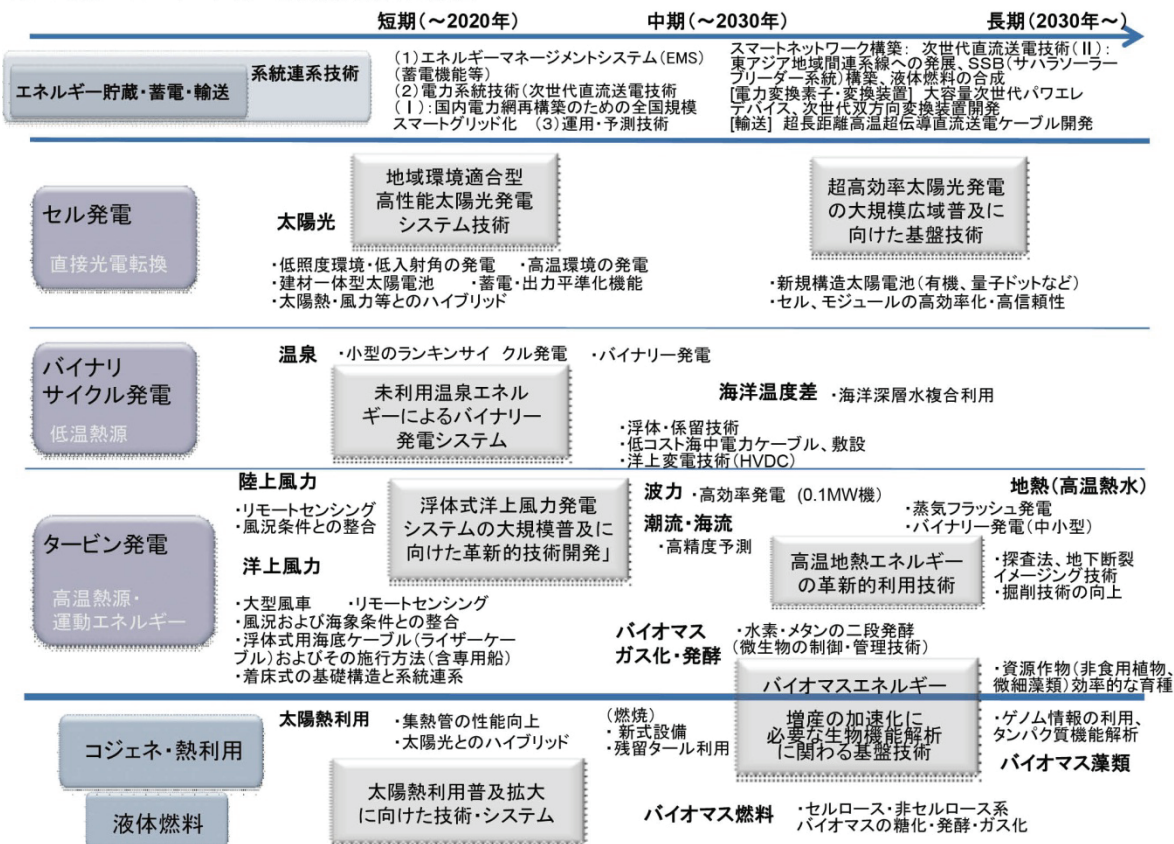


図 2.2.11 再生可能エネルギー区分における研究開発領域と課題（再掲）

3.2.1 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）

（1）研究開発領域名

浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

実証実験段階に進んでいる浮体式洋上風車については、陸上と大きく異なる自然環境条件・社会条件下において、格段にアクセスの悪い状況下で稼働することになる。大規模な普及を促進するためには、このことに起因する課題を、革新的な技術開発で大幅に解決することが必要である。このため、次の研究開発により浮体式洋上風車の大規模展開に向けた基盤技術を確立するとともに、総合的な最適化を行い、設計、建造、設置、運転・保守、撤去のライフサイクルにわたるコスト低減を通じて、洋上風力発電の事業性の格段の向上を目指すものである。

- [1] 風車の大型化と低コスト化
- [2] 信頼性の大幅な向上とメンテナンスフリー設計の構築
- [3] リモートメンテナンスシステムの開発
- [4] 新形式浮体式風車の開発
- [5] 効率的な設計用統合シミュレーションシステムの開発
- [6] 社会受容性の向上

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

浮体式洋上風車は、洋上の膨大な風力エネルギーを利用する上で必要不可欠な装置であり、世界において開発競争が展開されている。現在は実証実験が次々に計画され実施に移される段階に入っている。我が国は、基礎研究の段階では欧米と肩を並べる研究の質と量を有していたが、実証実験、事業化に向けての歩みは遅れ、欧米の後塵を拝する状況にあった。しかしながら、東日本大震災後以降、各方面から注目を集め、急速に研究開発が進展する機運にあり、一時の低迷期を脱しメガワットクラスの実証実験の段階に進んできている。実証実験では浮体式洋上風力発電の基本技術の確立と、事業性に関する一定の将来的展望を得ることが目標とされている。

しかしながら、これらの実証実験は既存要素技術の延長上にシステムを構築し、技術的成立性を確認するのが主要内容であり、革新的な技術開発も個別的な試みに限定されている。今後、システム全体に及ぶ革新的イノベーションの導入により、信頼性を向上しつつ、大幅に発電コストを下げる必要がある。本研究開発領域では、事業性に優れた次世代のマルチメガワット浮体式洋上風車の技術を確立することを目標とする。以下の研究開発項目を達成することにより、設計、建造、設置、運転・保守、撤去を通じた、総合的な最適化を達成し、大規模展開に向けた基盤技術を確立する。

[1] 風車の大型化と低コスト化

浮体式風車に関しては規模の経済が機能するので、搭載する風車の大型化とあわせて、部品点数の削減による軽量化・低コスト化を実現し、1kW当たりの設備コストを大幅に

削減する。また、100 万 kW 程度のウィンドファーム規模を想定し、通常 of 海底ケーブルとジョイント可能な 275kV 系ライザーケーブルを開発し、必要ケーブル本数を削減する事により、ライザーケーブルを含む海底ケーブル本体および敷設費を削減する。

[2] 信頼性の大幅な向上とメンテナンスフリー設計の構築

風車の部品点数の削減は、システムの大幅な信頼性向上に寄与する。洋上に設置された風車は陸上に比べて格段にアクセスが悪く、補修には多大なコストと時間を要し、稼働率を大幅に低下させる原因となる。風車の信頼性向上に係留系の長寿命化・信頼性の向上を加えて、基本的なメンテナンスフリー設計の枠組みを構築する。

[3] リモートメンテナンスシステムの開発

メンテナンスフリー設計の枠組みの下で、保守点検の作業は大幅に削減されるが、その上で、故障予測手法と遠隔操作によるメンテナンス技術を開発して、予測・遠隔のキーワードの下に、気象予測と組み合わせ、荒天などの条件に左右されることなく、故障発生前に計画的に補修を可能とする戦略的メンテナンス技術を開発する。

故障発生を予見して、風車が故障する前に、荒天を避けつつ短時間で効率良く故障の予想される部品を交換することで、稼働率を下げない修理を可能とするものである。

[4] 新形式浮体式風車の開発

風車の大型化、メンテナンスフリー設計、リモートメンテナンスシステムを前提として、大規模展開に向けて、社会受容性に優れ、発電コストを最小化する新形式の軽量小型支持浮体の開発に係留方式、設置工手法の開発とあわせて行う。

[5] 効率的な設計用統合シミュレーションシステムの開発

浮体式風車は、風、波、流れが同時に存在する海洋環境中において、複雑な風車-浮体連成挙動を示す。設計においては膨大な数の時間領域の計算を実行することが必要になる。そこで、信頼性が高く、効率的な設計用統合シミュレーションシステムを開発する。これにより、浮体式風車の挙動の全体像を明確にすることが可能となり、これまで取り組みが不十分であった、風車設計と浮体設計の間のトレードオフ検討が可能となり、新形式の浮体式風車の可能性を明らかにすることが可能となる。

[6] 社会受容性の向上

浮体式風車については、既存の海面利用とのすみわけ、協調が重要である。浮体式風車の社会受容性を検討し、既存の海面利用との干渉を最小限とするフットプリントの小さな浮体・係留形式の開発を行う。

（４）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

浮体式風車の技術は、風車に関しては機械技術、浮体部分については造船技術、送電については電気技術、設置工事などに関しては海洋土木技術など、多方に面におよび、個別分野における検討では、総合的な最適化、大幅なコスト削減は図れない。したがっ

て、研究推進には、中長期的な展望の下に、これらの関連産業分野に加え、大学や研究機関を加えた総合的かつ有機的な取り組みが必要であり、国際連携も視野に入れた革新的な研究開発が必要である。中長期的な開発戦略には、国として目標を明確にした開発プログラムを企画することが重要である。また、分野の急速な成長や国際競争をにらんだ人材育成に関する中長期的な戦略の構築も必要である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

2009年に設置されたノルウェーの2.3MWのスパーク型風車（浮体式の一種）Hywind¹⁾と、2011年にポルトガル沖に設置された米国の2.0MWセミサブ型（同上）WindFloat²⁾があり、世界をリードする状況である。

2014年には経済産業省の浮体式洋上風車による洋上ウィンドファームのプロジェクトによる2.0MWの1号機が浮体式洋上変電所とともに設置される予定である³⁾。環境省による浮体式洋上風車の実証研究でも2.0MWの浮体式が設置される予定である⁴⁾。いずれも革新的な内容を含みつつも、既存技術の延長上にあるので、今後に向けて革新的な技術の開発が必要である。

（６）キーワード

風車の大型化、リモートメンテナンス、浮体式、統合シミュレーションシステム、海底ケーブル

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	● 基盤浮体の研究開発に関する大学・公的機関における基礎研究レベルは高く、研究成果も多い¹⁾。 ● 本文(3)中で述べた、基盤浮体の動揺と風力タービンの荷重等を連成して解析する技術開発がいくつか進行中である⁵⁾。
	応用研究・開発	○	↑	● 経済産業省の浮体式洋上風車による洋上ウィンドファームのプロジェクトによる2MW風力発電1基、7MW風力発電2基、変電所のサブステーション1基の実証研究事業が福島県沖の設置に向けて進行中である³⁾。世界的には一番大きなプロジェクトであり、産業化に向けて大きな前進が期待される。 ● 環境省による実証試験も2012年6月から行われている。環境への影響等を継続的に調査している⁴⁾。 ● 日立造船株式会社を中心となり、「地域振興型アクア・ウインド事業化計画研究会」が2012年に立ち上がり産業化を見据えた応用研究として期待される⁶⁾。
	産業化	○	↑	● コストダウンが鍵となる。本研究開発領域に投資し競争力を高める必要があり、分野をまたいだ横断的かつ産官学の有機的な取り組みが期待される。
米国	基礎研究	○	→	● 新形式浮体式風車に関わる基礎研究がMITで行われたが⁷⁾、その後発電コストを最小化することを目的とするような浮体、係留方法、設置方法に関わる研究は見受けられない。 ● 公的機関における解析技術に関わる基礎研究レベルは非常に高い。陸上用の風車の解析時に用いられるFAST (Fatigue, Aerodynamics, Structures and Turbulance) は National Renewable Energy Laboratory (NREL)で開発された。FASTと浮体動揺を連成して解析する浮体動揺-風車の連成解析がNRELでも行われている⁸⁾。 ● 上記FASTは世界各国で用いられており、信頼性が高いツールである。

	応用研究・開発	◎	↗	● Principle Power社のWind Floatは2.0MWの発電容量であり、EUの資金を得て、ポルトガル沖に設置されている²⁾。既存の陸上風車を搭載した洋上風力発電ではあるが、設置、曳航が比較的安価になり得るシステムとなっており産業化に向けて世界をリードした応用研究といえる。 ● 2012年3月、米国エネルギー省の公募事業により、設置コストの軽減や発電単価10セント/kWhを実現すること等を目標とする実証研究が開始されようとしており、急速に応用研究が進んでいくと考えられる⁹⁾。
	産業化	○	↗	● 産業化に向けて米国エネルギー省の公募プロジェクトが先導的な役割を果たしていくと思われる。
欧州	基礎研究	◎	↗	● 欧州の大学・公的機関における基礎研究レベルは非常に高く、多くの博士研究員が研究に携わっている。特にノルウェー、オランダ、フランスの研究者、研究機関による顕著な成果が公表されている。 ● ノルウェー工科大学(NTNU)内のsintefが中心となって、国内外問わず様々なメーカー、研究所等と連携し研究を進めている¹⁰⁾。
	応用研究・開発	◎	↗	● 欧州には様々な支持浮体を有する実証試験機がある。既に設置されたものではノルウェー沖に設置されているHywind¹⁾、ポルトガル沖に設置されているWind Float²⁾（但し、米国の企業の技術である）、オランダ沖に設置されているBlueH¹⁾、ノルウェー沖に設置されているSway¹¹⁾があり、先行した技術を有している。 ● その他多くの石油開発会社やエンジニアリング会社により実証試験が計画の段階である^{*1)}。
	産業化	○	↗	● HywindはHywind2プロジェクトをスコットランド沖またはメーン州において実施予定である¹²⁾。Hywindプロジェクトは実証試験が2009年に始まり世界でも最大規模の2.3MWの発電をいち早く開始した。Hywind2は喫水やタービン重量を小さくする予定であり、産業化に向けて重要な知見を得ると考えられる。
中国	基礎研究	△	→	● 最近になって少しずつ洋上風力発電に関わる研究が大学で行われるようになってきており、学術論文に掲載されるようになってきた¹³⁾。
	応用研究・開発	×	→	● 浮体式洋上風力発電に関わる大きな実証プロジェクトが計画されていることは聞こえてこない。
	産業化	×	→	● 浮体式洋上風力発電に関する基礎研究は大きく進んでいることはなく、応用研究においても目立った技術の蓄積もない状況である。しかし陸上での風力発電の導入量は伸びている。今後、陸上風車のノウハウを生かし大規模に展開することはあり得る。
韓国	基礎研究	△	→	● Ulsan大学のHyunkyung Shin教授がInternational Energy Agency (IEA)のOffshore Code Comparison Collaboration (OC3)プロジェクトの一環として水槽試験を実施し開発した数値計算コードとのベンチマークを行っている¹⁴⁾。この研究は韓国知識経財相の研究資金で行われた。 ● Hyunkyung Shin教授以外目立って大きな研究成果は報告されていない。
	応用研究・開発	×	→	● 浮体式洋上風力発電に関わる大きな実証プロジェクトが計画されていることは聞こえてこない。
	産業化	×	→	● 着床式洋上風力発電に関しては、大規模プロジェクトを進めることが韓国知識経済部から発表されている¹⁵⁾。現代重工業、大宇造船海洋等がこのプロジェクトに参加している。

(註 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註 3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（８）引用資料

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構. 風力等自然エネルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 浮体式洋上風力発電に係る基礎調査. 2011 年 12 月.
- 2) Pilot floating wind power project seeks EU funds、
http://www.principlepowerinc.com/news/articles/reuters_120617.pdf
- 3) 経済産業省. 企画競争募集「浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業. 2011 年 12 月.
- 4) 環境省. 洋上風力発電実証事業.
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/sanyo/dai7/siryou3.pdf>
- 5) 藤岡弘幸, 鈴木英之, 柴田創, 平林紳一郎. "浮体式洋上風車の風車-浮体連成応答解析プログラム UTWind の開発". 第 23 回海洋工学シンポジウム. 2012, OES23-024.
- 6) 洋上風力発電建設技術および事業化に関する共同研究について ～6 社 1 協会による「地域振興型アクア・ウインド事業化研究会の設立～」,
<http://www.hitachizosen.co.jp/release/2012/09/000492.html>
- 7) Slavounos, P.; Tracy, C.; Lee, S. Floating Offshore Wind Turbines: Responses in a Sea State Pareto Optimal Designs and Economic Assessment.
<http://web.mit.edu/flowlab/>
- 8) Jonkman, J.; Buhl, M. L. Loads Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine Using Fully Coupled Simulation. NREL/CP-500-41714, 2007, p. 1-32.
- 9) 米国エネルギー省研究公募「U.S. Offshore Wind: Advanced Technology Demonstration Projects」、Funding Opportunity Announcement Number: DE-FOA-0000410, 2012（3 月）.
- 10) Nowitech, Annual report 2010,
http://www.sintef.no/project/Nowitech/Publikasjoner/Annual%20Report%202010_NOWITECH.pdf
- 11) Sway. <http://www.sway.no/?page=165>
- 12) Statoil zeros in on Scotland and Maine for Hywind2 test sites、
http://www.rechargenews.com/business_area/innovation/article249542.ece
- 13) Zhang, Er-hu; He, Yan-ping; Zhao, Yong-sheng. Types and Principles of Floating Wind Turbine Platform Design. Journal of China Offshore Platform. 2012.
- 14) Shin, Hyunkyung. Model test of the OC3-Hywind floating offshore wind turbine、International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE). 2011, p. 361-366.
- 15) <http://www.ecool.jp/news/2010/11/skorea05-967.html>

3.2.2 バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）

（1）研究開発領域名

バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

バイオマスエネルギーの増産を行うためには、1) 油糧植物や微細藻類等、原料となるバイオマスの効率的かつ、安定的な大量生産法の確立、2) 未利用資源、特にリグノセルロース系原料に代表される次世代バイオ資源の効率的な糖化技術の確立の2点が特に重要である。近年急速に発展したDNAシーケンサーおよび質量分析技術がもたらす膨大な情報を最大限に活用し、上記2課題の解決を加速化するためには、遺伝子およびタンパク質の機能同定を行う革新的な基盤技術の確立が急務である。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

バイオマス由来のエネルギー供給量は、他の再生可能エネルギー源に比して小さいと言わざるを得ないが、化学物質として生産・蓄積できる点が、他の再生可能エネルギーには無い特徴である。したがって、他の再生可能エネルギー源に対する調整電源である火力発電の代替としての利用も考えられる。また、脂質系燃料に代表されるバイオマスエネルギー資源は、石油代替物であるという観点から、エネルギー源としての利用はもとより、化学工業原料への転用も可能な点が、他の再生可能エネルギーと大きく異なっている。さらにバイオマスエネルギーの生産技術は、食料供給と基軸を一にしたものであることから、第一次産業である農林水産業の六次産業化（農産物の生産だけでなく加工・流通まで含めて多角化することによる、付加価値の創造）にも寄与し得ると考えられ、その進展は、例えエネルギー供給規模的には貢献度が低かろうとも、人類の福利を支える可能性を秘めている。その様な背景の下、バイオマスエネルギー生産技術は多岐に亘っている。研究室レベルに留まっているものもあれば、すでに実用化されているものもある。ただし、実用化されている技術であってもバイオエネルギー利用の普及には、更なる低コスト化へ向けた努力が必要である。バイオエネルギーは化学物質として生産・蓄積できる点が特徴的である。したがって生成物はエネルギー源としての利用はもとより、工業原料への転用も可能な点が、他の再生可能エネルギーと大きく異なっている。現時点でのバイオマスエネルギー生産は、廃棄物等「今、有る物」を利用する範囲に限られており、小規模に留まっている。将来期待されるバイオマスエネルギーの増産は、原料となるバイオマスの増産無くしてはあり得ない。その一方、既存の技術によりエネルギーへの変換が容易な糖、デンプンを用いたエネルギー生産は、食料生産との競合が問題視されている。そのため、食料生産と競合しない藻類や油糧植物等、次世代バイオ資源の高効率生産に向けての取り組みや、可燃性物質の生産能向上を目指した植物機能の解析が進行中である。その様な流れの中で、次世代DNAシーケンサーや、新たな質量分析技術により膨大な情報が得ることが可能になったが、これらが必ずしも効率的に利用されているとは限らない。一例を挙げれば、バイオエタノール生産に重要な、非セルロース系多糖の単糖化に関与する酵素遺伝子と思われるものが、ある生物のゲノム解析により短期間で発見されても、その機能を確認する研究手法の選択肢が限られて

いるため、最終的な結論が得られるのに数年かかることは珍しくない。また、藻類等を含めた未利用植物は、栽培や研究実績が少ないことから、従来から研究対象となっているモデル植物や食用植物に比べ、既存の遺伝子組換え技術を適用できないことが多い。これらの事はバイオマスエネルギー生産に限らず、他分野を含めて生物機能を産業へと展開する上での技術的ボトルネックとなっている。そこで新規生物、新規酵素の機能解析を速やかに行うための基盤技術の確立が必要である。具体的な研究開発課題は

1. 新規な遺伝子組換え生物作出法の開発
2. 新規なタンパク質機能解析法の開発
3. 1, 2 を利用した生物（植物）機能の迅速な解明法の開発に大別される。

米国では DOE を中心に産官学が連携し、大規模なバイオエネルギー関連プロジェクトが多数進行している。特に外来遺伝子を導入した組換え植物による燃料生産が有望視されている。我が国でも農林水産省、NEDO、JST 等によりバイオエネルギー関連のプロジェクトが立ち上がっている。それらはガス化装置、燃焼装置、発酵槽の開発等、実用化に直結した課題から、バイオマス増産に関わる基礎的課題まで多岐に亘っている。それらの内、基礎的課題は本研究開発課題により飛躍的に進展することが期待できる。

（４）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

次世代シーケンサーや新型質量分析計を所有しているのは大規模な予算を所有している研究機関、研究グループであることが多い。一方、バイオエネルギーに関わる未利用生物を対象として来た研究者は、マイナーな研究グループである事が多い。「金持ち勝つ」的な研究体制では無く、異なるタイプの研究機関や研究者が情報を持ち寄り、平等かつ有機的に共同研究ができる体制を構築することが重要である。また、本研究開発領域は、バイオエネルギー生産に限定されず、生命科学を基盤とする多分野の研究技術開発と重複しているとも考えられる。しかし、バイオマスエネルギーの増産には不可避の課題であることから、再生可能エネルギー分野が率先して行うと同時に、他研究開発領域との連携が必要である。本研究開発の進展とともに遺伝子組換え生物の実証試験が必須となってくる。これに関し、遺伝子組換え生物の利用に対する社会的コンセンサスの醸成が必要である。さらには、成果体である遺伝子組換え生物を用いた新たな産業の創成する際には、地方自治体を含めた行政によるイニシアチブが求められる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

米国 DOE および USDA により 13 件のバイオエネルギー生産関連プロジェクトに対し、4,100 万米ドル相当の研究資金が提供された。それらにはグアユールゴムのゲノム解析による生産性の安定化等に関する課題が含まれている。

我が国では JST による CREST、さがけ（「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」、「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」）および先端的低炭素化技術開発や、NEDO による「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（次世代技術開発）」等により、バイオマスエネルギー生産の基盤技術関連の研究プロジェクトが多々進行中である。

（６）キーワード

バイオマス増産、DNA シークエンサー、質量分析技術、バイオマスエネルギー、遺伝子組換え生物

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 昨今のバイオマスエネルギー研究ブームにより、従来植物生理学等の基礎科学を中心に行っていた研究者達が、バイオマスエネルギー生産を視野に入れた研究に多く参画するようになっている。 ● 耐乾性、耐塩性等、ストレス環境下で高等植物が耐性を示すメカニズムが分子レベルで明らかにされてきており、より高い生産性を持つ植物の育種が期待できる¹⁾。 ● 微生物による発酵的な物質生産は我が国の「お家芸」的な分野であり、代謝工学的な手法を導入することで、有用物質生産を支える基盤技術の確立が期待できる。 ● 微細藻類関連の研究も再び注目を浴びており、より幅広い分野の研究者の参画により、基礎的な知見が蓄積しつつある。 ● バイオエタノール生産に重要な、担子菌や海洋生物由来の多糖分解酵素等に関する知見も増えつつある²⁾。
	応用研究・開発	○	→	● 遺伝子操作作物の栽培試験に制約があり、産業化への移行が難しい状態である。
	産業化	○	→	● バイオマスエネルギー研究のための「ツール」的な物は産業化されている物が見られるが、バイオマスエネルギーそのもので産業化されている例は非常に少ない。 ● 上記の理由は供給できる「量的」制約によるものが多く、実証試験的な試みも、企業のCSR的な観点によるものが多い。
米国	基礎研究	◎	→	● 米国の強みは大学間、公的機関間の共同研究構築体制の巧さにあり、それが結果として基礎研究をレベルは非常に高くしている。 ● DOEおよびUSAD、さらには国防省（空軍）からの巨大予算により、コンソーシアムが展開され、基礎的な生物学から燃料回収の工学的な分野まで幅の広い研究が進展している³⁾。 ● DOE傘下のJoint Genome Instituteにおける、多様な生物の遺伝子情報解析が上記研究の下支えになっている⁴⁾。
	応用研究・開発	◎	→	● 外来遺伝子の導入による高機能組換え植物のフィールド栽培実験が行われている。
	産業化	○	→	● 豊富な農業資源を元に、糖質を原料とする第一世代エタノールに関しては、すでに応用産業化のレベルに達している。 ● バイオケミカル法を用いたプロジェクトでは、2010年度段階でデモ段階およびパイロット段階のものが公表されているが、設備建設に若干の遅れが見られている。 ● 藻類由来燃料生産についてもデモ段階およびパイロット段階のプロジェクトが進行中である。しかし石油由来製品とのブレンドでの実証試験が実施されている段階である。
欧州	基礎研究	◎	→	● ドイツやイギリス等を中心に、天然有機化合物の生合成あるいは合成生物学的な研究で、世界をリードしているグループが存在する。 ● 北欧を中心に、多糖分解酵素等、木質バイオマスの利用に関する研究が盛んに行われている。 ● オランダのWageningen大学を中心に、藻類由来燃料生産に関する教育・研究体制の確立が進められている⁵⁾。
	応用研究・開発	◎	→	● 木質系バイオマスの利用を視野に入れた多糖分解酵素に関する展開が進んでおり、パイロット段階に進んでいる。 ● 閉鎖系システムによる藻類培養技術を蓄積している。
	産業化	◎	→	● 石油メジャーによるバイオ燃料生産研究に対する投資が行われている。投資先はEU内に留まらず米国にも波及している。

中国	基礎研究	○	→	● 学術論文等のレベルは格段に向上しつつある。 ● 中国科学院を中心としてバイオ燃料生産に向けた藻類等の有望品種の取得が行われている。 ● バイオマス液化技術に関しては、生産コストが高く基礎研究規模に留まっている。
	応用研究・開発	○	○	● 稲藁等を利用した、直燃発電による中小型バイオマスガス化発電については施設件数も多く進展している。
	産業化	○	→	● 人件費および土地の利用し易さ等から、物質生産を目指した藻類の屋外培養池の建築が、イスラエル等の外国資本の導入により行われている。
韓国	基礎研究	○	→	● KAISTを中心に藻類由来燃料生産に関するコンソーシアムが形成され、有望な品種のコレクションも充実しつつある ⁶⁾ 。
	応用研究・開発	○	↗	● 教育科学技術部が先進的バイオマス研究開発基盤の形成を目指した施策を2010年に始動しており、燃料・素材転換技術などの研究開発を急いでいる。
	産業化	○	→	● 韓国のバイオ産業は医薬系を視野に入れた物が中心であり、バイオ燃料生産に関しては二次的な物になっているのが現状である。

(注1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) Todaka et al. Rice phytochrome-interacting factor-like protein OsPIL1 functions as a key regulator of internode elongation and induces a morphological response to drought stress, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2012, 10.1073/pnas.1207324109.
- 2) Igarashi et al., Traffic jams reduce hydrolytic efficiency of cellulase on cellulose surface, Science. 2011, vol. 333, p. 1279-1282.
- 3) <http://energy.gov/articles/agriculture-and-energy-departments-announce-new-investments-drive-innovation>
- 4) <http://genome.jgi.doe.gov/genome-projects/>
- 5) <http://www.algae.wur.nl/UK/Home/>
- 6) <http://chemical.eng.usm.my/ICENV2012/Ji-Won.php>

全般的参考資料

- ・バイオマス活用推進会議. 第4回バイオマス活用推進会議資料「バイオマスをめぐる現状と課題」. 2012年2月.
http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kenntou/01/pdf/1_1.pdf#search='バイオマスをめぐる現状と課題'
- ・NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）. "バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ". NEDO 再生エネルギー技術白書. 2010年7月. 4章.
<http://www.nedo.go.jp/content/100107272.pdf>

3.2.3 地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）

（1）研究開発領域名

地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

2020年までに、日本全体で1000万戸の戸建住宅（普及率では3割以上）に太陽光発電システムを導入し、その他の中規模から大規模の太陽光発電と合わせて、全電力の7%程度を担うものとする¹⁾ためには、南北に長く連なる日本の多様な地域環境に適合する高性能太陽光発電システムの研究開発が喫緊の課題である。本研究開発領域では、産官学の連携のもとに、低照度環境、高温環境、低入射角などで高効率発電が可能な高性能次世代太陽電池の研究開発を行うとともに、建材一体型太陽電池、超軽量太陽電池、保護・収納可能な太陽電池を開発し、太陽光発電の用途拡大と大規模市場形成をねらう。また、オフグリッド使用に耐える蓄電・出力平準化機能を持つ太陽光発電システムの開発、太陽光と太陽熱や風力等の複合発電が可能なシステムの開発、100年太陽光発電に向けてメンテナンスや補修が可能な太陽光発電システムの開発などを総合的に進め、2020年代早期の太陽光発電導入目標に貢献する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

現在、日本の戸建住宅に対する太陽光発電システムの普及率は全体で約3.3%であるが、地域ごとに見ると九州地方のように普及率6%を超えるところもある一方で、北海道や北陸東北地方では普及率1%に満たない地域がある。普及率の低い地域は、年間を通じて曇天が多く低照度で総日照量が少なく、また降雪地帯で既存の結晶系シリコン太陽電池に不向きな場所が多い。また、日照条件の良い地域でも強風のため基礎工事に多大なコストを必要として結果的に事業化できない場合もある。日本全体として3割を超える普及率を早期に達成するためには、このような地域環境にも適合する高性能太陽光発電システムの研究開発を急ぐ必要がある²⁾。研究開発課題は、以下の項目に集約できる。

- ・低照度環境で高効率発電が可能な太陽電池の研究開発
- ・高温環境で発電効率が落ちない太陽電池の研究開発
- ・垂直設置でも総発電量を維持できる広入射角太陽電池の研究開発
- ・建材一体型太陽電池の研究開発
- ・センサーとの組み合わせなど室内用途に特化した太陽電池の研究開発
- ・簡易施工が可能な超軽量太陽電池の研究開発
- ・過酷環境時（降雪期、強風期）に保護・収納可能な太陽光発電システムの開発
- ・オフグリッド使用に耐える蓄電・出力平準化機能を持つ太陽光発電システムの開発
- ・太陽光と熱・風力等のハイブリッド発電が可能なシステムの開発
- ・100年太陽光発電に向けてメンテナンスや補修が可能な太陽光発電システムの開発

これらの課題解決に向けて、産官学連携のオールジャパン体制で新型太陽電池の研究

開発を行う。必要条件是、既存の電力買取制度に適合する低コスト材料と低コスト製造が可能な太陽電池であり、薄膜系太陽電池や有機系太陽電池がベースになる。また、ハイブリッド発電を可能にする高性能インバーターの設計と、出力安定化と発電ピークシフトを可能にする程度の小規模蓄電ハイブリッドシステムの開発が必要となる。

低照度環境、高温環境、低入射角などの太陽光発電に不利な条件で高い発電量を維持できる太陽電池は、既にいくつか知られている。しかしながら、これまでの太陽電池の評価は、AM（air mass）1.5（光の大気通過量が1.5倍、入射角41.8度での到達光）、1 kW/m²という日照条件の良い環境を基準にしているため、日本の多様な地域環境に適合する太陽電池の開発はあまり進んでいない。また、建材一体型太陽電池や軽量太陽電池の研究開発例もあるが、既存の太陽電池を建材に張り付けただけのものが多く、本格的な研究開発の動きに至っていない。この状況は、海外でも同様である。

（４）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

こうした研究は、太陽光発電の普及拡大を進める上では重要であるが、研究内容が多岐に亘るため単独の企業が独自で取り組むと研究投資に対する費用対効果が悪くなる。政府主導で共同研究（研究開発部分）と役割分担（市場化部分）を適切に進めながら実用化を加速することは不可欠である。世界の太陽電池産業全体が過酷な価格競争に巻き込まれている中で、高性能太陽電池の開発を企業だけに任せることは、国際競争上も好ましくない。諸外国でも太陽光発電の技術開発に多額の国費が投入されている現状を見ると、日本でも勇気をもってこのような研究開発に重点投資すべきである。国際競争に勝てる実用化を指向したオールジャパン体制の構築が急務である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

導入が進みつつある化合物半導体系（CIGS）太陽電池の実績³⁾や、有機系太陽電池のフィールド実証試験などを通じて、これらが低照度環境でも発電量を維持できるため、現行の評価基準で同程度の定格電力の結晶系シリコン太陽電池よりもトータルの発電量を多くできる可能性が見えてきた。

プラスチック基板を用いた色素増感太陽電池を基本構造として、容易に組み立て・分解収納が可能な、ユニット式太陽電池が提案された⁴⁾。

中国・韓国・台湾の企業が製品レベルの有機系太陽電池の製造を開始した一方、米国の有機系太陽電池メーカーが破綻⁵⁾。

中国・台湾では、政府の助成をもとに大学教授らが企業を立ち上げている⁶⁾。

韓国では政府投資を結晶シリコン系から薄膜系に振り向ける方針が発表された⁷⁾。

日本では、蓄電機能を内蔵した有機系太陽電池が開発された。

日本・米国・欧州で高効率ハイブリッド型太陽電池の基礎研究が進んだ。

（６）キーワード

太陽電池、ハイブリッド発電、高性能化、建材一体型、日照条件、地域環境

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 有機系太陽電池のうち、色素増感太陽電池には早くから取り組んでおり基礎研究の蓄積度は高いが、太陽電池性能向上に関する研究に支援の重点がおかれ、諸外国に比べて基礎研究に対する支援が薄い。近年の各種プロジェクトにより参入する研究者が増え、分光法や理論的考察により各種メカニズムの明らかにする研究例が増えつつある。革新的技術として蓄電機能を内蔵した有機系太陽電池が開発された。また、高効率ハイブリッド型太陽電池の基礎研究が進んだ。
	応用研究・開発	◎	→	● 太陽電池の変換効率をまとめたSolar cell efficiency table⁸⁾において、色素増感太陽電池及び有機薄膜太陽電池の最高効率は、いずれもシャープ(色素増感セル11.0%)、ソニー(色素増感モジュール9.9%)、三菱化学(有機薄膜セル10.0%)、住友化学(有機薄膜モジュール5.2%)といった日本メーカーの記録である通り、これらの分野での応用研究レベルは高い。
	産業化	○	→	● 薄膜シリコン系太陽電池では先行したものの、結晶シリコン系太陽電池の低価格化により競争力を保てなくなっている。CIGS系は本格的に生産が開始され、普及しつつある。 ● 有機系太陽電池では、ほぼ製品レベルの試作品は多数製造されているものの、多数販売される段階には至っていない。最近日本写真印刷が色素増感太陽電池を使った照明器具の販売を開始したとの報道有り⁹⁾。 ● 太陽誘電が簡単に組立・分解が可能な有機系太陽電池を開発⁴⁾。 ● 日本の環境に適合する製品を開発するという観点では最も有利。ただ、海外市場に出るためには、各国の環境を十分調査する必要がある。特にシステム技術に関しては海外規格への対応が重要。
米国	基礎研究	○	→	● 有機系太陽電池の研究例は有機薄膜太陽電池に関するものが多い¹⁰⁾。 ● 米国エネルギー省の大型プロジェクトとして2007年から3年間の基礎研究助成¹¹⁾が行われて以降、大型プロジェクトは展開されていないが、多くの成果が出続けている。NRELの2010年度の太陽光発電関連予算が7969万ドル、2012年度要求額は7297万ドル¹²⁾というように、研究所予算の裏付けがある。
	応用研究・開発	○	↗	● 日本企業から提供された材料を使い、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)が有機薄膜太陽電池セルの世界最高効率10.6%を達成¹³⁾。 ● CIGS太陽電池セルの変換効率はNRELによる19.6%がefficiency table上の世界最高値⁸⁾。
	産業化	○	→	● カドミウム-テルルを材料とする太陽電池メーカーFirst Solarが急成長し、一時世界トップシェアを占めていた。 ● 有機薄膜太陽電池を製造・販売する企業Konarkaが立ち上がっていたが、2012年破綻⁵⁾。 ● 国土が広い、当面は、環境に適合した製品を開発するよりも、製品に適した環境を探すほうが容易とみられる。
欧州	基礎研究	◎	→	● 有機系太陽電池の研究では、スイスおよびスウェーデンの研究機関における色素増感太陽電池の報告例が目立つ^{14,15)}。
	応用研究・開発	◎	↗	● Solar cell efficiency tableでアモルファスシリコン太陽電池の最高効率はスイスのOerlikon Solarによって報告された10.1%⁸⁾。 ● 色素増感太陽電池の論文レベルでの最高効率は、スイス連邦工科大学ローザンヌ校によって報告された12.3%（2011年）¹⁶⁾。
	産業化	○	→	● 従来型の結晶系シリコン太陽電池で、一時世界シェアトップに立ったドイツのQセルズが破綻し、今年韓国企業に買収された。 ● 英国では色素増感太陽電池を販売する企業が現れている。スイスのSolaronixなどが色素増感太陽電池向け材料を中心事業としている。

中国	基礎研究	○	↑	● 有機系太陽電池では、日本やスイス、米国などから帰国した研究者が多数の論文を発表している。以前は他国での研究の模倣が多かったが、最近急速に特色ある成果を挙げつつある ¹⁵⁾ 。
	応用研究・開発	○	↑	● 従来型の結晶系シリコン太陽電池の製造技術を諸外国から導入。 ● 有機系太陽電池では既存技術の組み合わせで製品レベルまで製造。
	産業化	◎	↑	● 従来型の結晶系シリコン太陽電池の製造メーカーが世界シェア上位に並び、低価格パネル製品を大量に生産している。 ● 有機系太陽電池を製造する工場が既に稼働状況にある ⁶⁾ 。
韓国	基礎研究	△	↑	● 有機系太陽電池の材料の物性に関する研究報告が急増している。
	応用研究・開発	○	↑	● サムスンSDI社が色素増感太陽電池の試作品を公表している。 ● 2010年度の太陽電池技術開発関連政府予算は642億ウォン ¹⁷⁾ 。
	産業化	△	↑	● ハンファグループがドイツQセルズを買収し、従来型でシェア拡大。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注 3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）.

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）. 2009年6月.

<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>

- 2) 小長井誠, 山口真史, 近藤道雄（編著）, 日本学術振興会 次世代の太陽光発電システム 第175委員会（監修）. 太陽電池の基礎と応用. 2010. 培風館.

- 3) S B エナジー株式会社 実証実験データ

<http://www.sbenergy.co.jp/ja/business/attention.html>

- 4) Tech On 2011年10月5日

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20111005/199012/>

- 5) コナルカ社 プレスリリース 2012年6月1日

http://www.konarka.com/index.php/site/pressreleasedetail/konarka_technologies_files_for_chapter_7_bankruptcy_protection

- 6) OPV Tech 社 <http://www.opvtech.com/en>

MKE Technology 社 <http://www.mketech.com.tw>

Taiwan DSC PV Ltd. <http://www.tdp-dsc.com>

- 7) 聯合ニュース 2012年4月5日

<http://japanese.joins.com/article/966/149966.html>

- 8) M. A. Green, et al. Solar cell efficiency tables (version 40).

Prog. Photovolt. Res. Appl. 2012, Vol. 20, 606.

- 9) 日刊工業新聞 Web 2012年9月12日

<http://www.nikkan.co.jp/dennavi/news/nkx0320120912qtkf.html>

- 10) J. Peet, A. J. Heeger, G. C. Bazan. "Plastic" solar cells: self-assembly of bulk

heterojunction nanomaterials by spontaneous phase separation,
Acc. Chem. Res. 2009, Vol. 42, 1700.

- 11) 米国エネルギー省 2006 年公募「Basic Research for Solar Energy Utilization」
<http://science.doe.gov/grants/pdf/DE-FG02-06ER06-15.pdf>
- 12) 米国エネルギー省 2012 年度予算要求書
<http://www.cfo.doe.gov/budget/12budget/Content/FY2012Lab.pdf>
- 13) 住友化学プレスリリース 2012 年 2 月 14 日
<http://www.sumitomo-chem.co.jp/newsreleases/docs/20120214.pdf>
- 14) M. Grätzel, et al. Materials interface engineering for solution-processed photovoltaics. Nature. 2012, vol. 488, p. 304.
- 15) A. Hagfeldt, et al. Dye-sensitized solar cells. Chem. Rev. 2010, vol. 110, p. 6595.
- 16) A. Yella, et al. Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III) -based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency, Science. 2011, vol. 334, p. 629.
- 17) 亜細亜経済日本語ニュース 2009 年 10 月 13 日
<http://www.ajnews.co.kr/kor/view.jsp?newsId=20091013000019>

3.2.4 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）

（1）研究開発領域名

超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

2050年には、太陽光発電が日本の主要な一次エネルギー源を担うように強化するため、汎用太陽電池モジュールの変換効率を現在の20%程度から40%程度に高め、それによって大規模広域普及を可能にするための基盤技術研究を総合的に進める¹⁾。具体的には、①新構造太陽電池の研究開発（4接合以上の多接合型、量子ナノ構造型、ホットキャリア型、多励起子生成型、有機無機ハイブリッド型など）、②低コスト高効率化を可能にする光物理研究開発（新集光システム、光マネジメント、波長変換技術、アップコンバージョン、ダウンコンバージョンなど）、③その他の新規概念太陽電池、の課題に取り組む²⁾。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

本研究開発領域では、新材料・新規構造等を利用して「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み（7円/kWh）」の汎用太陽電池モジュール実現をめざした研究開発を行う。本研究開発領域で対象とする技術分野は下記の通りである。

1) 新構造太陽電池

すでに研究室レベルでは、3接合セルで集光システム（306倍）を利用して43.5%の変換効率が報告されているが、これを汎用品とするためには安価かつ量産に向けた高性能太陽電池への転換を図ることや現状の太陽電池と同様に大面積で使用できる薄膜型などへの挑戦も考えられる。具体的なアプローチは以下の通りである。

① モノリシック型多接合太陽電池

- ・主としてIII-V系、III-V-N系材料等で、組成制御により光波長に対応したセルを構成した一体型の超高効率多接合太陽電池を開発する。
- ・量子構造などの光吸収波長をチューニングした材料を用いた量子ドットタンデム太陽電池、量子ドット増感型タンデム太陽電池等の量子効果型の多接合太陽電池を開発する。

② メカニカルスタック型多接合太陽電池

- ・光吸収波長の異なる複数セルを機械的に積層することで、材料の選択に自由度の高い超高効率多接合太陽電池を開発する。
- ・材料への自由度を利用して、シリコン系材料、II-VI族、有機系、有機無機ハイブリッドなどとの実用性の高い異種多接合太陽電池を開発する。
- ・大面積化が可能な薄膜系異種多接合太陽電池についても検討する。

量子ドット構造などの新しい量子ナノ技術の導入により、変換効率60%以上の超高効率太陽電池の可能性が報告されている。ここでは量子ドット構造、超格子構造、マルチバンド材料などの量子ナノ構造や分子系ナノ材料とこれらを用いた新しい太陽電池構造の開発により、太陽光全波長利用あるいは変換時の損失低減による超高効率太陽電池の可能性を実証する。具体的なアプローチを以下に示す。

① 中間バンド構造太陽電池

- ・量子ドット超格子型の中間バンド材料の開発・利用により幅広い波長域の太陽光を有効変換する太陽電池を開発する。

② ホットキャリア太陽電池

- ・量子ナノ構造材料中で励起されたキャリアは伝導帯中を緩和する時間が長くなる。高いエネルギー状態のホットキャリア活用による太陽電池の可能性を実証する。

③ マルチエキシトン効果型（Multiple Exciton Generation, MEG）太陽電池

- ・量子ナノ構造により、大きなエネルギーを持つフォトンから複数のキャリアを発生させることで太陽光を効率よく電力に変換する MEG 型太陽電池の可能性を実証する。

2) 光マネジメント構造（波長変換・波長分割構造等）

太陽光を波長分割してそれぞれに適合した複数セルで受光・変換する、あるいは蛍光材料など波長変換材料を開発してデバイスに適合するように波長変換を行うなど、太陽光を効率よくエネルギーに変換する光マネジメント技術の可能性の探索と実証を行う。

- ・フォトリソグラフィ材料、フィルター／ミラー方式などで光を分割し、複数セルで受光するシステムの材料・構造を開発する。
- ・アップ・ダウンコンバージョン材料等で太陽電池に適した波長に波長変換を行う材料を開発する

3) その他新規概念太陽電池（有機無機ハイブリッド、プラズモン太陽電池等）

現状の太陽電池では利用されていない、光電変換概念を利用した超高効率太陽光発電の可能性を実証する。

- ・有機無機ハイブリッド太陽電池、プラズモン太陽電池、非半導体 pn 接合型太陽電池、レクテナ太陽電池、など。

超高効率太陽電池に関しては、世界的に激しい研究開発競争が進められている。開発途上国の急激な経済成長等による石油資源価格の高騰や地球規模の気候変動、更には原子力発電の安全性への懸念等から、再生可能エネルギーの重要性は著しく高まっているが、その中でも太陽光発電はわが国の半導体デバイス技術や材料技術を活かして世界市場を獲得できる可能性を秘めており、この研究開発分野で日本が存在感を示し世界をリードすることは国家戦略的にも極めて重要である。現在、日本のメーカーは多接合型太陽電池と集光システム（306 倍）を組み合わせ、43.5%を超える世界最高の変換効率を報告したが、これが海外メーカーによって数か月で塗り替えられる状況にある。我が国は、高い材料技術基盤の上に産業界の努力により当該分野で世界的競争力を構築してきたが、ここ数年欧米ならびにアジアの各国が、国を挙げての研究開発戦略を強化し肉薄して来ている。

（4）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

こうした研究推進には、中長期の集中研究拠点を核とし国際的な人材獲得も視野に入れた革新的な基礎研究の強化と、その成果の迅速な応用展開に向けたネットワーク連携が重要な鍵となる。そのためには国策としての総合的な研究開発戦略の企画推進力強化が不可欠である。当該分野の基盤研究強化は、日本が再び太陽光発電分野で世界のトップ

に立つために必要である。一方、こうした研究は、研究内容が高度で多岐に亘るため、単独の企業が独自で取り組むと研究投資に対する費用対効果が悪くなる。政府主導で共同研究（研究開発部分）と役割分担（市場化部分）を適切に進めながら実用化を加速することは不可欠である。世界の太陽電池産業全体が過酷な価格競争に巻き込まれている中で、高性能太陽電池の開発を企業だけに任せることは、国際競争上も好ましくない。諸外国でも太陽光発電の技術開発に多額の国費が投入されている現状を見ると、日本でも勇気をもってこのような研究開発に重点投資すべきである。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

EUにおいては、基礎研究から応用研究まで幅広く研究開発を支援する第7次欧州研究開発フレームワーク（FP7）が2007年から2013年まで7年間総額533億ユーロの予算で進められており³⁾、その中の共同研究プログラムで、日本（NEDO）とEUの太陽光発電技術に関する共同技術開発プロジェクト「世界最高効率の集光型太陽電池の技術開発」に500万ユーロが提供されている（2011-2014年）。マドリード工科大学（スペイン）、BSQソーラー（スペイン）、フラウンフォーファー太陽エネルギーシステム研究所（ドイツ）、PSE（ドイツ）、インペリアルカレッジロンドン（イギリス）等が参加⁴⁾。2014年以降は2020年までの7年間総額800億ユーロのフレームワークHORIZON2020が予定されており、太陽光発電関連の増額が予想される。

（６）キーワード

新構造太陽電池（多接合型、量子ナノ構造型、有機無機ハイブリッド型など）、波長変換技術、集光システム、光マネジメント

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	超高効率太陽電池の概念に係わる大学・公的機関からの研究発表は多く出ており、応用研究の下支えをしている。光マネジメントに関連する、太陽電池以外の光物理・光化学の研究が進んでおり、これも応用研究を支えている。太陽電池の研究開発目標が主に変換効率で設定されるため、超高効率を謳う研究がNEDOプロジェクト等で支援されている。
	応用研究・開発	◎	→	シャープが今年5月、化合物3接合太陽電池で世界最高変換効率となる43.5%(集光時)を報告 ⁵⁾ するなど、超高効率太陽電池作製技術が蓄積されている。
	産業化	×	→	超高効率太陽電池は研究開発段階にあり、産業化に向けた技術開発はまだ進められていない。
米国	基礎研究	○	→	米国エネルギー省(DOE)の大型プロジェクトとして2007年から3年間の基礎研究助成 ⁶⁾ が行われて以降、大型プロジェクトは展開されていないが、多くの成果が出続けている。現在のDOEの大型プロジェクトは太陽光を利用した燃料生産に関するもの ⁷⁾ だけであるが、研究所予算が手厚くなっており、国立再生可能エネルギー研究所(NREL)の2010年度の太陽光発電関連予算が7969万ドル、2012年度要求額は7297万ドル ⁸⁾ というように、研究所予算の裏付けがある。
	応用研究・開発	○	↑	Solar Junction社が世界最高の集光時セル変換効率(同率)を報告するなど、開発レベルは高い。

	産業化	×	→	超高効率太陽電池は研究開発段階にあり、産業化に向けた技術開発はまだ進められていない。
欧州	基礎研究	◎	↗	基礎研究から応用研究まで包括する大型プロジェクトが進行中で、その枠組みの中で超高効率太陽電池の研究が行われている ⁴⁾ 。 中間バンド構造型、ホットキャリア型などで実績を挙げている。
	応用研究・開発	◎	↗	2003-2008年に約1500万ユーロをかけたFULLSPECTRUMプロジェクトで、3 接合セルで集光時変換効率39.7%を達成 ⁹⁾ 。2 接合セルでも32.6%。
	産業化	×	→	超高効率太陽電池は研究開発段階にあり、産業化に向けた技術開発はまだ進められていない。
中国	基礎研究	×	↗	多くの人材が欧米研究機関に送り出されており、帰国して今後実績を挙げていくと見込まれる。
	応用研究・開発	×	→	太陽電池の低コスト化に対する意識が高く、まだ超高効率太陽電池の応用研究には着手できていないとみられるが、今後急速に進展する可能性が高い。
	産業化	×	→	超高効率太陽電池は研究開発段階にあり、産業化に向けた技術開発はまだ進められていない。
韓国	基礎研究	×	↗	多くの人材が欧米研究機関に送り出されており、帰国して今後実績を挙げていくと見込まれる。
	応用研究・開発	×	→	太陽電池の低コスト化に対する意識が高く、まだ超高効率太陽電池の応用研究には着手できていないとみられるが、今後急速に進展する可能性が高い。
	産業化	×	→	超高効率太陽電池は研究開発段階にあり、産業化に向けた技術開発はまだ進められていない。

(註 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註 3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）.

太陽光発電ロードマップ（PV2030+）. 2009 年 6 月.

<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>

- 2) 小長井誠, 山口真史, 近藤道雄（編著）, 日本学術振興会 次世代の太陽光発電システム 第 175 委員会（監修）. 太陽電池の基礎と応用. 2010, 培風館.

- 3) European Commission FP7 公募について

http://ec.europa.eu/research/energy/eu/news/news_en.cfm?news=20-07-2010

- 4) 経済産業省産業技術環境局資料

http://www.meti.go.jp/committee/summary/0001620/031_06_00.pdf

- 5) NEDO プレスリリース 2012 年 5 月 31 日

http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100129.html

- 6) 米国エネルギー省 2006 年公募「Basic Research for Solar Energy Utilization」

<http://science.doe.gov/grants/pdf/DE-FG02-06ER06-15.pdf>

- 7) 米国エネルギー省 2010 年公募「Energy Innovation Hub - Fuels from Sunlight」

http://science.doe.gov/grants/pdf/SC_FOA_0000214.pdf

- 8) 米国エネルギー省 2012 年度予算要求書

<http://www.cfo.doe.gov/budget/12budget/Content/FY2012Lab.pdf>

- 9) Photovoltaic Solar Energy: Development and Current Research

http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2009_report-solar-energy.pdf

3.2.5 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）

（1）研究開発領域名

未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

未利用温泉エネルギーを利用した安価な中小型発電機システムを開発し、全国の温泉旅館等に設置して未利用エネルギーの有効活用と排熱の暖房利用などのコジェネ利用をはかる。

スクロール膨張機を用いたランキンサイクルの既存発電機を改良して、空気放熱形式として機器の信頼性を高める。さらに、一定以上の台数を生産することによって、初期投資の早期回収が可能なシステムを構築する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

地熱エネルギーで、温度 $120^{\circ}\text{C}\sim 52^{\circ}\text{C}$ の低温エネルギーの発電ポテンシャルは $8,330\text{MW}$ と見積もられている¹⁾。これは、原子力発電所約 8 基分に相当する。これらの低温エネルギーの大部分は全国の温泉で湧出している。

日本は、全国に 28000 の温泉があり、世界でも独自の文化を築いている。多くの掛け流し温泉は入浴に適した温度まで温泉を冷却し供給している。もし、この未利用エネルギーを低コストで発電可能ならば、たとえ発電の熱効率が低くても、温泉の冷却と電気の供給、排熱の有効利用が可能である。

これまで、温泉利用の発電システムはその発電能力が大きい代わりに、1台 8,000 万円から 1 億円もする高価なシステムであった。そのため、個人経営の温泉旅館がこのシステムを導入することは不可能で、温泉の発電利用は普及していない。

本研究開発領域では、これまで未利用だった温泉の熱エネルギーを電気に変換する低価格なシステムを構築するための基礎および応用研究を行い、熱-電気変換効率が低くても初期投資の回収が早期に可能な、低価格の中小型の発電システムを構築する。その研究を短期に達成するために既存技術を活用しつつ以下の研究項目の検討を行う。

既存の低温廃熱を利用したエネルギー変換技術から、冷媒等を使うバイナリー発電システムの要素技術を調査して、電気出力 20kW から 3kW の逆ランキンサイクルの膨張機や熱交換機、発電機の組み合わせについて検討し、本システムに適切な組み合わせを構築する。

種々の温泉成分を含む温泉を冷却すると、硫黄やカルシウム等の不溶性成分が析出したり（湯ノ花という）、汚れ（fouling）を伴う。そのため、温泉の熱利用には 1 次冷却系と冷媒を用いた 2 次冷却系が必要となる。温泉を冷却する 1 次冷却系は水を用いた熱交換システムが適当と考えられるが、その熱交換機は汚れに対する対策が必要であり、特殊な構造となることが予想される。また、冷媒の冷却側は、空気を用いた熱交換器になるが、温泉環境にも耐えうる高耐食性の熱交換機の開発が必要である。このような熱交換器を低価格高信頼性で作ることが本研究開発領域の重要課題となる。

各温泉地域は湧出する温泉の成分や温度、湯量などが広範囲にわたっている。それらの現状調査を行うことによって、発電システムの出力の適正調査を日本全国で実施する。

これらを踏まえた上で、発電システムの出力別ラインアップの構築と価格の適合性について検討する。

本システムの初期普及には、政策上・財政上の支援が必要である。この条件も温泉旅館の規模や地域性など多様である。その調査を実施して、どのような支援政策が最も効果的か検討する。

実施例として、小型の温泉熱発電システムの開発例を示す。

近年、温排水を利用した安価な小型発電システムが開発されている。これを、改良して出力 3kW、価格 200 万円程度の温泉発電機を開発して全国の温泉旅館に使用してもらえば、再生可能エネルギーの有効利用となる。

5 年程度で、既存の発電システムの高信頼性化、空気放熱への改良、低価格化を実現し、若干の省エネ・インセンティブ（導入補助金など）を付加して、全国 28000 の温泉旅館に設置すれば、着実な省エネルギー効果が達成される。

高温地熱は温泉業者の反対によって、地熱発電所の新設・拡充が進んでいないが、この温泉発電システムの普及で地熱の発電利用の理解が深まれば、高温地熱の有効利用にも貢献できる可能性もある。

地熱は、機器の整備期間を除き連続的に定格の電気出力を取り出すことが出来るので、旅館等の基幹電力として本装置を使い、ピーク時のみに電力会社の電気を受電すれば送電線に過大な付加をかけることも少ないと考えられる。これは、地熱発電一般の特徴である。

（４）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

短期間で、研究成果を上げ再生エネルギー利用を向上させるには既存技術を使うことが有効である。特に未利用エネルギーによる発電は、熱効率よりシステムの価格と信頼性が要求される。今回の提案は、既存の排熱発電システムや冷凍機の技術を改良して温泉に使うものであるが、下記の技術課題がある。

既存のシステムは放熱部が冷水であるが、温泉地で冷水は必ずしも得られない場合もあるので、空気放熱としてその放熱も暖房や温室などの低温熱源として使用する。このために、冷温側の温度が上昇し、熱効率が若干低下する。

一般に温泉地は、硫化水素などの腐食性ガスが存在する 경우가多く、長期間使用するための腐食対策が必要である。もしくは、腐食して破損しても安価に部品交換が出来るシステムを開発する必要がある。

温泉水は多量のミネラルを含有しているので、熱交換部分の汚れ（fouling）と熱交換器の閉塞が問題となる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

2000 年頃比較的高出力の温泉熱発電機が開発されたが、価格が高く競争力を持たなかった。

近年、エアコンの高効率化が進み、二酸化炭素を冷媒としたエコキュートの急速な発展から、民需の熱交換器やコンプレッサーの急速な高効率化が達成された。この技術は

本研究開発領域に直接応用可能である。

100℃以下の熱源を利用した出力 3kW 程度の小型発電システムが開発された²⁾。ただし、この冷却側は水冷であるので、本システムに応用するには改良が必要である。

（６）キーワード

バイナリー発電、未利用温泉エネルギー、空気放熱形式、コジェネ利用、小型発電システム

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 本研究の基礎となる伝熱工学の研究は世界でもトップレベルである。 ● 温泉水による汚れの沈着やその防止については、ある程度の基礎研究があるが、今後も研究を継続する必要がある。
	応用研究・開発	○	→	● エアコンの省エネ化がすすみ、トップランナー方式の活用とも相まって、熱交換器やコンプレッサーなどの省エネ化技術は世界最先端である。
	産業化	○	↑	● 日本は温泉宿の文化があり、本研究開発領域には適している。また全国に約2800の温泉があり、未利用エネルギー有効活用に適している。 ● エアコンやエコキュートの基礎技術を応用した小型の発電装置が開発された²⁾。 ● 小型安価な低温熱源発電装置の開発は今後の課題である。
米国	基礎研究	△	↓	● 伝熱工学と熱力学が発展していたが、近年研究者人口が減りつつある。
	応用研究・開発	×	↓	● 本分野で特筆すべき応用研究は存在しない。
	産業化	×	→	● 温泉宿の文化がないので、産業化として成立しない。
欧州	基礎研究	△	→	● 熱工学関係は、純粋な基礎研究や航空宇宙分野の研究が多く、本分野での基礎研究は盛んではない。
	応用研究・開発	×	↓	● 本分野で特筆すべき応用研究は存在しない。
	産業化	×	→	● 温泉宿の文化がないので、産業として成立しない。
中国	基礎研究	○	↑	● 近年、熱工学・伝熱工学の研究が盛んになっており、新しい基礎概念の導入なども盛んに行われている。 ● 熱工学、省エネルギー機器に関する国内、国際会議が盛んに開催されている。
	応用研究・開発	◎	↑	● 近年、家電製品関連の研究や省エネルギー機器の研究が急速に進展している。 ● 省エネ機器の性能向上に関する研究は盛んに実施されており、このままでは日本の高性能省エネ機器をキャッチアップする可能性がある。
	産業化	×	→	● 温泉宿の文化がないので、産業として成立しない。
韓国	基礎研究	○	↑	● 熱工学、伝熱工学研究の進展が進展しており、日本の学術分野に近づいている。
	応用研究・開発	◎	↑	● 国内に強力な家電産業が発達しているので、省エネ関連の熱工学研究は大きく進展しているものと考えられる。 ● 本研究開発領域の関連技術に関する応用研究も、進展している。
	産業化	△	→	● 温泉宿の文化はあるが、地質学上高温の温泉が湧出する場所はほとんど無いので、韓国国内の産業として成立しない。

（註 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註 3）トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（8）引用資料

- 1) 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課. 平成 21 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査 調査報告書. 2010 年 3 月.
- 2) 90°C のお湯で 3kW の発電が可能な高効率可搬小型発電システムの研究開発成果
<http://www.ulvac-riko.co.jp/kaisya-5.htm#20110531>

3.2.6 高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）

（１）研究開発領域名

高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）

（２）研究開発領域の簡潔な説明

原発約 20 基分の発電ポテンシャルを有する 150℃ 以上の蒸気による地熱エネルギーを利用する地熱発電所を数多く建設し、再生可能エネルギーのベース電力として活用する。そのために、日本企業が海外に輸出している蒸気フラッシュ発電プラントを導入する。さらに、地熱資源の探査技術と蒸気井の斜め掘技術を高度化させ、温泉地域・景勝地を避けた蒸気源の確保を行う。また、温泉地域へのインセンティブ等の社会インフラを整備して、2030 年までに現在の発電容量の約 5 倍の 2.5GW 発電所建設を目指す。

（３）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

地熱発電は、地中の高温岩体や熱水から高温蒸気を抽出し、ランキンサイクル等で発電するもので、150℃ 以上の蒸気を使用するものと、120℃ 以下の低温蒸気や熱水（温泉）を利用するものがある。一般的な地熱発電設備は前者で、規模は 2～3MW 規模のものが多く。

地熱発電は他の再生可能エネルギーと異なり、ほぼ定格での継続運転が可能である。風力・太陽電池・水力などの定格出力は、その機器の設計出力であり、実際の発電能力とは大きな差異があるが、地熱発電は火力や原子力と同様に定格での長期連続運転が可能である。一方、蒸気抽出のための井戸は、一度掘ったら永遠に使えるものではなく、ある一定期間ごとに新しい井戸を掘る必要がある。また、タービン等の腐食・壊食も火力発電所に比べて遙かに大きいので、設備の保守には一定以上の経費が必要である。

地熱は、機器の整備期間を除き連続的に定格の電気出力を取り出すことが出来るため、基幹電力として利用できることから送電網に過大な負荷をかけることも少ないと考えられる。これは、地熱発電一般の特徴である。

表：世界の地熱資源量と発電容量の比較²⁾

国名	地熱発電賦存量GW (順位)	2010年発電容量GW (順位)	利用割合% (順位)
米国	30.00 (1)	3.093 (1)	10.3 (5)
インドネシア	27.79 (2)	1.197 (2)	4.3 (7)
日本	23.47 (3)	0.536 (8)	2.3 (8)
フィリピン	6.00 (4)	1.904 (3)	31.7 (1)
メキシコ	6.00 (4)	0.958 (4)	16.0 (4)
アイスランド	5.80 (6)	0.575 (7)	9.9 (6)
ニュージーランド	3.65 (7)	0.628 (5)	17.2 (3)
イタリア	3.27 (8)	0.843 (6)	25.8 (2)

表は、世界主要地熱国の地熱発電賦存量と発電容量を比較したものである。我が国の地熱発電の賦存量は 150°C 以上の蒸気では 23GW でアメリカ、インドネシアに続いて世界第 3 位の賦存量である。しかし現在の発電容量は 0.536MW であり、地熱資源量が日本の 1/4 であるアイスランドより低い。地熱発電大国であるアイスランドでも賦存量の 10%しか発電していないが、日本は地熱資源の 2.3%しか活用していないことが分かる。また、各国の発電容量はフィリピンを除き、2000 年実績に比べると着実に増加している。特に、アイスランドでは 3.4 倍になっているが、日本は 2000 年以後発電容量が全く増加していない¹⁾。しかし、諸外国では日本企業が開発した地熱発電設備を導入しているのが現状である。

本提案では、日本がすでに技術開発し、アイスランドなどの海外の地熱発電で使用しているシステムを活用した地熱発電所を多数建設し、2030 年までに現在の 5 倍の発電容量を達成する。その達成のために、下記の研究開発を進める。

未だ技術課題が残る温泉源への斜め掘り技術確立し、景勝地や温泉地を避けた大規模地熱発電所建設の基盤技術とする。

日本の地震予知等の技術を応用して、温泉源の探査と泉源の規模や位置測定を精緻化して、より効率の高い蒸気井の掘削技術を開発する。

現在問題になっている法律や規制、各省庁間の調整を行う政府部署を新設し、計画から建設までの期間短縮とコスト削減を行う。

地熱発電は、原発と同様なベース電力となりうるので、太陽光と同額で買い取る制度を整える。また、温泉地域の理解を得るために、当該地域に直接インセンティブとなる法的・税制的措置を作る。

（４）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

我が国の地熱発電システム技術はほぼ確立しており、日本企業が海外に発電プラントを輸出している。主な問題は、下記に示す技術以前の問題である。これを解決しないと、地熱発電の建設は難しい。

日本の地熱開発の障壁⁵⁾

- ・ ほとんどの活火山が国立公園とされ、82%で地熱開発が規制されている。
- ・ 2006 年 3 月現在、国内に 27,866 あるといわれる温泉との摩擦。
- ・ 国立公園法、温泉法等々、縦割りの許認可制度のため、わが国では地熱発電の探査から開発までに 15～25 年も掛かっている。
- ・ これら 3 つを総合した結果として、地熱発電開発の初期コストが大きい。
- ・ これらはほぼ全て社会的・制度的要因であり、強力な政策的支援があれば、克服されることであるが、必ずしも十分な政策的支援が得られないことである。

地熱発電の主力技術である蒸気フラッシュ発電は 2003 年 4 月施行の RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）の対象外となり、有望な再生可能エネルギーである地熱発電が振興しないように、わざと政策がとられているとしか思えない状態である。まず、風力や太陽光に比べて出力が安定な再生エネルギーである地熱電力を太陽光と同等の価格で買い取ることが先決である。

発電プラント以外では、蒸気井の斜め掘り技術が完全に確立しているとはいえず、コ

スト面等で問題がある。しかし、地熱発電所が多数建設されれば、日本の技術は向上し、世界に輸出しているフラッシュ発電設備と同様に、海外に輸出できる技術となる可能性がある。

地熱源の探査技術はあるが、精度や確度に向上の余地がある。日本や地震による断層の測定等で技術を持っていると考えられるので、地熱探査技術に投資してより確度の高い蒸気井を掘ることが出来れば、コストの削減に繋がる。

表を参照すれば分かるように本研究開発領域の目標は 2030 年までに地熱発電容量の利用率を 10%まで増大させ、発電容量を現在の米国に次いで世界 2 位とする野心的な目標である。そのためには、強力な政策誘導を行い、地熱発電を促進する必要がある。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ 2012 年 3 月 22 日 国定公園内地熱開発の規制緩和の実施：地熱開発の行為が小規模で風致景観等への影響が小さなものや既存の温泉水を用いるバイナリー発電などで、主として当該地域のエネルギーの地産地消のために計画されるもの、当該地域の国立・国定公園の利用の促進や公園事業の執行に資するものなどについては、第 2 種特別地域及び第 3 種特別地域並びに普通地域において自然環境の保全や公園利用に支障がないものは認めることとし、その促進のために地域への情報提供を行うなどの取組を積極的に進めることとする。
- ・ 2011 年 11 月 1 日 第 4 回エネルギー・環境会議：傾斜掘削による自然公園の地下開発であれば許可可能である旨通知。
- ・ 2012 年 4 月 26 日 富士電機米国カリフォルニア州の地熱発電プロジェクトへの資本参加を決定し、投資契約の調印を完了したと発表した。同社は、米国の民間発電事業会社である Energy Source LLC の子会社 Hudson Ranch Power II LLC(米国) に対して資本参加する。
- ・ 米国の地熱エネルギー協会（GEA）は、2011 年 1 月から 2012 年 3 月の期間における地熱発電導入量が 9 万 1000kW となり、全米の地熱発電容量は 318 万 7000kW に達したと発表した。2010 年の新規導入量は景気低迷の影響などにより、わずか 1 万 5000kW であったが、回復の兆しが見られた。2011 年 1 月から 2012 年第 1 四半期までに竣工した設備容量の州別内訳は、カリフォルニア州が 4 万 9900kW、ネバダ州が 3 万 2650kW、ハワイ州が 8000kW など。GEA によると、現在進行中の地熱発電プロジェクトが 130 件あり、今後も地熱発電は着実に導入されていくと予測している。
- ・ 地熱資源である高温の熱水や蒸気には、塩化物、硫化水素、二酸化炭素などの腐食性不純物や不凝結ガスなどが含まれるため、タービンなどの中核設備には耐久性など安定的に発電する高い技術が求められ、この点で日本企業の技術力が高く評価されている。中核機器となるタービン・発電機の世界市場シェアでは、東芝、富士電機、三菱重工業 という日本の 3 社合計で、約 7～8 割の世界市場シェアを占めている模様。また、インドネシアやニュージーランドなど、世界各国の地熱発電所開発プロジェクトでは、発電設備・機器の受注だけでなく、発電所の運営まで手掛けることもある総合商社が、日本のタービン・発電機メーカーと組んで共同受注す

るケースが多い。インドネシアでは、住友商事や三菱商事 などが、タービン・発電機メーカーと組んで受注を拡大させている。

（６）キーワード

高温熱水、蒸気フラッシュ発電、地熱資源探査技術、斜め掘技術

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 日本の地熱に関する基礎研究は充実しており、歴史も長い。 ● 高温岩体からの熱抽出研究は、米国にと共に盛んであり、オーストラリアでフィールド実験などが行われている。
	応用研究・開発	◎	↑	● フラッシュ発電システムを中心とした、産業界の地熱発電技術は高く海外の発電プラントに輸出し、地熱発電設備も世界トップクラスである。 ● 地熱蒸気に含まれる腐食性ガスに対応する、材料技術が世界最先端であり、それに関する研究も進んでいる。
	産業化	×	↓	● 政策的に地熱発電が抑制されてきたために、2000年以後地熱発電の設備容量が全く増えていない。そのため、国内での産業化は停滞している。 ● 温泉地域の反対や各種法整備の不備から、地熱発電の産業化が著しく遅れている。
米国	基礎研究	◎	→	● 米国の大学・公的機関における地熱の基礎研究レベルは高く世界をリードしている。 ● 火山地区だけでなく、高温岩体に亀裂を作り、蒸気を取り出すシステムの基礎研究が進んでいる。 ● ローレンス・バークレー国立研究所とアリゾナ州立大学は、微量のヘリウム同位体を超高感度に検出することにより、地球の過熱マントルまで到達できるような透水性の高い場所を特定できることを発表した。
	応用研究・開発	◎	→	● 応用研究でも米国は世界の地熱発電をリードしている。 ● マサチューセッツ工科大学は、EGS (enhanced geothermal system: 地熱井涵養システム) の新しい掘削技術を開発している。それは、従来の掘削ビットを噴流火炎で置き換えるものである。
	産業化	◎	↑	● DOE は米国西部地区への地熱エネルギーの供給を目的として、ネバダ大学の地熱エネルギーの研究に 94 万ドルの支援を行った。ネバダ州の Yucca 山が核廃棄物貯蔵の候補地とされているので、州政府は再生可能エネルギーを提唱している。特に同地区は地熱の宝庫であり、いかなる廃棄物も出さない地熱エネルギーを推進している。 ● 「2005年エネルギー政策法」により、地熱発電が米国政府の再生可能エネルギー生産税控除を受けられるようになったため、米国西部の多くの市場では現在、地熱資源で発電される電力のコストが化石燃料による電力コストと等しくなっている。経済情勢が追い風となり、地熱産業は急速に活性化している。
欧州（アイスランド）	基礎研究	△	→	● アイスランドの地熱発電や水力発電で得られた電力を用いた水素エネルギー利用の研究は盛んであるが、地熱に関する基礎研究はそれほど多くはない。 ● 多くの基礎技術を日本企業等からの技術導入で行っているようである。
	応用研究・開発	△	→	● アイスランドの地熱発電設備の多くは日本企業で開発されたものであり、高い信頼性を得ている。
	産業化	◎	↑	● アイスランドはほぼすべての全力を、再生可能エネルギーで賄っている国で、そのうち75.5%を水力、残りの24.5%を地熱発電で調達している、地熱先進国である。 ● シェルなどのメジャーがバイオエタノールの生産を手がけ、米国企業並みの競争力を有する。 ● スウェーデンにおいては、国内の農民組合と組んだ総合的なバイオマスイエネシステムシステムの構築に取り組んでいる。

中国	基礎研究	△	→	● 地熱に関する基礎研究は幾つかの期間で実施されているが、国土面積の割に地熱府損量が大きくないため、大規模に取り組んでいる状況ではない。
	応用研究・開発	△	↗	● 2000年の西部大開発以降、中国においては地熱井掘削の爆発的ブームが始まっている ³⁾ 。
	産業化	△	→	● 中国の地熱発電所は2カ所で、チベット自治区に導入されている。合計発電容量は42MWである ⁴⁾ 。
韓国	基礎研究	△	→	● 地熱発電産業化のニーズが少ないため、基礎研究は盛んではない。
	応用研究・開発	△	↗	● 2003年韓国地質鉱物資源研究院（KIGAM）は、浦項市において地熱直接利用のプロジェクトを進めており、2,000m級の坑井を掘削中である。言うまでもなく、これらの国々は高温地熱資源に恵まれておらず、コスト高を覚悟の上で、純国産かつクリーンな地熱エネルギーを利用しようとしている。
	産業化	×	↗	● 地質学的に地熱発電に適した地域が少ないので産業化は進んでいない。 ● 韓国政府は2011年から2015年にかけて1150億ウォン（約92億8896万円）を投じ、5000キロワットクラスの地熱発電所を建設する計画だと明らかにした。年内に事業用地選定と許認可手続きを終え、来年上半年から本格的な建設に入る予定である。

（注1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

- 1) 伊藤高敏. "地熱利用の現状と課題". JST CRDS 環境エネルギー研究開発戦略会議 再生可能エネルギー分科会資料. 2012 年.
- 2) 小山弘. 海外情報 国内外の地熱発電の動向. 地熱技術, 2011, vol. 36, no. 3+4, p. 15-21.
- 3) Zhang, Keyang. Proceedings of 6th Asian Geothermal Symposium, 2004, p. 85-90.
- 4) 石田 他. "中国・インドのエネルギー情勢と政策動向". (財) 日本エネルギー・経済研究所 定例研究報告会. 2007 年 10 月.
- 5) 村岡洋文. "日本とアジアにグリーン地熱エネルギーのインフラを". NPO 法人 環境ベテランズファーム セミナー. 2008 年 4 月.

3.2.7 太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）

（1）研究開発領域名

太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

従来の家庭用の太陽熱利用集熱器より高温の温水が得られ、かつ従来型より安価なシステムを開発する。

温水器を導入することにより CO₂削減効果と省電力効果を定量的に評価し、太陽光発電に対抗しうる補助金制度を制定し、初期設備の償却期間を著しく短縮する。

産業分野でニーズがある 100°C 以上の高温蒸気が生産できる新しい太陽光集熱器を開発する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

太陽熱利用は、太陽光発電、風力発電、地熱発電などと異なり、熱を直接利用するものである。そのため、（発電容量×時間×稼働率）で換算される発電エネルギーと太陽熱エネルギーは同等に扱うことが出来ない。集光型太陽熱発電（CSP, Concentrating Solar Power）以外の太陽熱利用は低温の熱エネルギー利用なので、そのエネルギーをエクセルギーの大きい電気エネルギーと同一に扱うと誤解を招くことになる。

日本の太陽熱利用は、家庭用温水器が中心であるが、1990 年の $1.167 \times 10^{13} \text{kcal}$ をピークに 2010 年には $0.411 \times 10^{13} \text{kcal}$ と 1/3 に減少している¹⁾。この値は、 $0.769 \times 10^{13} \text{kcal}$ の地熱発電、 $1.288 \times 10^{13} \text{kcal}$ のゴミ発電（ただしこの値は電気エネルギー）に比べても著しく小さい。この原因として石油価格の低下、住宅用太陽熱高度利用システム導入促進対策費補助金が 2005 年に廃止されたことなどが影響していると考えられる。その後、各地方自治体や環境省で短期的な補助金等が措置されているが、家庭用温水器の普及は滞っているのが現状である。近年では、太陽光発電の普及に伴い、太陽温水器を屋根に設置する家庭が更に減少している。

平板型太陽熱温水器の日本における設置費用償却期間は、プロパンガスで温水を作る場合と比較して約 5 年、石油の場合で約 10 年と言われている。しかし、平板型温水器は、夏場以外では追い炊きが必要であり、太陽熱によるエネルギーで作った温水を全て利用することは少ないなど、実効的なエネルギー利用とその償却期間設定には更なる検討が必要である。さらに、寒冷地の冬期には配管の水が凍るため使用できない場合がある。冬期も利用するためにはより高価な不凍液循環の温水器を用いる必要がある。

諸外国では、近年真空二重管式集熱器を用いた温水器が利用されている。これは、ガラス製真空二重管を用いて内側のパイプに水を流すもので、平板式に比べて集熱効率が著しく高い。平板式集熱器は水温 80°C 程度で集熱効率がゼロになるのに対して、100°C 程度でもかなり高い集熱効率を有する。この集熱器は冬場でも十分温度の高い温水が得られることも特徴である。

真空二重管式集熱器は日本国内では非常に高い設備となっている。世界では、中国が圧倒的なシェアを有しており、価格も著しく安価である。ドイツやオーストラリアなどの諸外国では、真空二重管を中国から購入し、システムを本国で構築することによって

集熱器の価格を下げている。日本でも同様な機器を販売している。

集光型太陽熱発電（CSP）は、国内外での研究が活発である。これは、直達太陽光を集光し高温のエネルギーからランキンサイクル等で熱発電をするものである。太陽電池に比べて大規模な発電設備に有効である。この発電システムは北アフリカに大規模に展開し、欧州に電力供給することが検討されている。日本は、サンシャイン計画で仁尾町に集光型の熱発電研究が実施された。日本は直達日射が継続的に得られる時間が短い。例えば、仙台では1日中雲が無く快晴の日は一月に2～3日しかない。従って、日本ではCSP実施は難しいと考えられる。

太陽熱利用を現在から大幅に増大させるためには、これまでの補助金の整備だけでは十分でなく、下記に述べる新たな方向を検討することが必要であろう。

従来の家庭用の太陽熱利用集熱器より高温の温水が得られ、かつ従来型より安価なシステムを開発する。

温水器を導入することによりCO₂削減効果と省電力効果を定量的に評価し、太陽光発電に対抗しうる補助金制度を制定し、初期設備の償却期間を著しく短縮する。

産業分野でニーズがある100℃以上の高温蒸気が生産できる新しい太陽光集熱器を開発する。

①真空二重管型太陽熱集熱器の導入を検討する。この基幹部品であるガラス製真空二重管は中国が世界シェアの大部分を抑えており、かつ価格的にも著しく安い。この真空二重管を国内で生産すると、集熱器の価格が大幅に増大することになる。従って、諸外国と同様に中国からこの部品を輸入することを前提に、日本の気候や家屋条件にあった太陽光集熱システムの開発研究を行う。日本の気候条件で追い炊きをしなくても温水が利用可能でかつ冬期も凍結しない温水器とその制御システムを開発する。価格を低減するために総合的な性能評価と価格評価を実施する。

②太陽熱利用によるCO₂削減効果、電力ピーク削減効果、化石燃料消費削減効果などを定量的に評価し、設置場所や方角なども加味した再生エネルギー利用設備設置効果を算定し、標準データとして公表する。そのデータを基準にして、国や自治体の再生エネルギー活用補助金を算定して継続的な設置奨励を行う。また、これらの設備設置後に幾つかの例をモニターして、今後の検討課題を見つける。

③家庭用の太陽熱利用は一般的に浴室給湯など夜や早朝に利用されることが多い。そのため大量の温水貯蔵が必要であり貯蔵期間中の放熱も無視できない。一方、産業用太陽熱利用は一般に100℃以上の蒸気を使用される。産業用の熱エネルギーは操業中の日中に使用される場合が多く、大きな蓄熱設備が不要なことも利点である。

高温の太陽熱を利用するには、非結像型集光装置であるCPC（Combined Parabolic Concentrator）を用いた弱集光型集熱器の開発が重要となるであろう。この設備を工場の屋根などに設置して高温温水や蒸気を生産し、食品加工や各種加熱に使用することが可能である。また、高温面でふく射伝熱損失を軽減する新しい高効率選択吸収膜の研究も重要である。

実施例として、真空パイプ内にCPCとインボリュート反射板を複合させた反射鏡を挿入し、集熱パイプで高温蒸気を発生させる新しい集熱器の研究を述べる²⁾。これは、

太陽光を追尾しなくても約2倍の集光性能を有しており、ガラスの真空断熱と選択吸収膜を設置することにより、南中時（正午）に200°Cで60%、100°Cで70%の驚異的な集光効率を有する集熱システムである。この装置を工場の屋上等に設置して得られた高温の蒸気を産業プロセスに利用すれば、その蒸気生成に必要な化石燃料代を著しく低減できる。また、200°Cの冷媒蒸気を用いれば、ランキンサイクルで太陽電池に匹敵する発電効率の太陽熱発電をすることも可能である。この集熱パイプは、既存の真空二重管式集熱器の内管直径に比べて著しく小さいので、高压の蒸気を作り出すことが可能である。

太陽熱を有効に利用するには、太陽光を吸収し、長波長の赤外線放射を抑制する高性能選択吸収膜の開発が重要である。ナノ粒子を用いたふく射伝熱制御など、近年発達が著しいナノテクノロジーを応用した選択吸収膜の開発も重要となるであろう。

（4）科学技術的課題、政策的課題（研究開発推進上の課題・ボトルネック）

家庭用太陽熱温水器のボトルネックは、温水器の価格である。同じ品質の温水器でも日本は海外の製品と比べて価格が高いために、導入の妨げになっている。少なくとも太陽光発電に比べてかなり安価でないと導入が進まないと考えられる。

太陽光発電に比べて太陽熱は設置することによるインセンティブが低い。同じ屋根に設置する場合、多少価格が高くても再生エネルギー買い取りがある太陽電池を設置する方向にある。同じように屋根を占有する構造物として、初期投資の回収期間が短くないと太陽熱は導入されない。

温水利用について考えれば、燃料費の節約等の省エネ効果や化石燃料の削減に関する、第三者の定量的評価が少ない。また、それに基づいた財政的インセンティブ（補助金等）がまちまちで、一般家庭に太陽熱温水器を導入する条件が整っていない。

太陽熱の新しいユーザーとなりうる企業のニーズが全く開拓されていない。企業に利用してもらうには、高効率で高温の熱源を供給できる太陽熱集熱器開発が不可欠である。

（5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

2010年、世界の既存の太陽熱温水器および暖房設備の容量は約25GWth〔単位の後thはthermalで熱としてのエネルギーであることを示す〕で約16%増加し、およそ185GWthに達した。中国は推計17.5GWth（集熱器面積では2500万m²、以下同じ）を新規導入し、総量では118GWth（1億6800万m²）弱（全体の64%）となった。2010年のEU市場は新規参入があったにも関わらず、経済の停滞により縮小した。一位の中国には大きく差をつけられたものの、市場規模は変わらず二位であった。中国での新設は太陽熱温水器のみであったが、EUでは温水器と暖房を組み合わせた比較的大規模なシステムを導入する傾向がある。工業プロセスでの太陽熱の導入が、2009年から2010年の間に、中国、EU、米国、その他の地域で行われた³⁾。

集光型太陽熱発電（CSP）市場は数年間停滞していたが、2007年から2010年末の間に活気を取り戻し、約740MWが導入された。このうち半分（約478MW以上）が2010年に導入され、世界の総設備容量は1095MWに達した。パラボリック・トラフ式発電所が世界市場を独占しており、CSP発電所の90%、稼働中の既存容量のほぼすべてを占

めている³⁾。

米国のソーラー産業は 2012 年第 2 四半期に、742MW のソーラー発電（太陽光・太陽熱）設備を設置するという、過去最高の四半期決算を記録した。電力事業者規模である 477MW の設備が設置されたことにより、米国のソーラー市場は、対前期（2012 年第 1 四半期）比で 45%増、前年同期比で 116%増と拡大した。

中国国家能源（エネルギー）局は 2012 年 9 月 12 日、『太陽エネルギー十二・五（第 12 次 5 カ年計画期、2011—2015 年）計画』を正式に発表した。『計画』では、「十二・五」期の太陽エネルギー発電の目標を 2100 万 kW とし、そのうち太陽光発電と太陽熱発電はそれぞれ 2000 万 kW と 100 万 kW と定めた。

デザーテック（DESERTEC）は、地球規模で砂漠の太陽エネルギーや風力エネルギーを利用するコンセプトである。サハラ砂漠の CSP 等で得られた電気を高圧直流送電によって欧州に運ぼうという計画である。技術面や経済面を含めた精密な計画は 2012 年までに立案される予定である。

韓国の太陽熱エネルギー供給量（2006 年）は石油換算 3.3 万トンである⁴⁾。

（6）キーワード

太陽熱利用、太陽光集熱器（真空二重管式集熱器、弱集光型集熱器）、温水器、性能評価、補助金制度

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	→	● 低温の太陽集熱器に関する基礎研究はほぼ終了している。
	応用研究・開発	○	→	● 最近、米国等の影響でCSPの応用研究が始まっている。
	産業化	×	↘	● 太陽熱温水器等の普及が停滞しているので、それに関する研究も低調である。 ● 日本では、CSPの事業化はほぼ不可能である。CSPの研究成果を海外で展開する検討がされている。
米国	基礎研究	◎	→	● 太陽熱利用の研究は米国で強力に進められたが、低温集熱器の基礎研究は終了している。 ● CSPに関する研究で、高性能の選択吸収膜の研究が行われている。
	応用研究・開発	◎	↑	● CSPのプラント設計や要素技術の研究が活発に実施されている。
	産業化	◎	↑	● CSPプラント建設が盛んに計画されている。 ● エネルギーがまだ安いために低温の太陽熱温水器等の展開は低調である。
欧州	基礎研究	○	→	● CSPなどに使用する高性能選択吸収膜の研究が進められている。
	応用研究・開発	○	↑	● デザーテックに関連したシステムや送電に関する研究が行われている。
	産業化	○	↑	● 低温の太陽熱利用は、ドイツとトルコが中国に次いで導入量が多い。 ● デザーテックに関連し、CSPに関連した研究開発が進められている。
中国	基礎研究	◎	↑	● 太陽熱エネルギー利用に関する研究が、全国の大学や研究所で活発に実施されている。

韓国	応用研究・開発	◎	↗	● 太陽熱エネルギー利用に関する研究が、全国の大学や研究所で活発に実施されている。
	産業化	◎	↗	● 太陽熱利用に関する産業化は、世界一の生産、消費値として非常に活発である。 ● 真空二重管の太陽熱集熱器は中国が世界シェアの大部分を占める。
	基礎研究	△	→	● 太陽熱利用の基礎研究は、余り盛んではない。
	応用研究・開発	△	→	● 太陽熱利用の基礎研究は、余り盛んではない。
	産業化	△	→	● 太陽熱集熱器や太陽熱発電の研究は特に活発ではない。 ● 再生エネルギーに占める太陽熱の割合も多くはない。

（註 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

- 1) （財）日本エネルギー・経済研究所 計量分析ユニット. EDMC エネルギー・経済統計要覧. （財）省エネルギーセンター. 2012 年 3 月.
- 2) 太陽集熱装置特願 2012-198077
- 3) REN21, 環境エネルギー政策研究所（訳）. 自然エネルギー世界白書 2011. <http://www.isep.or.jp/images/library/GSR2011jp.pdf>.
（原著：REN21. Renewables 2011 Global Status Report. 2011.
http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/110929_GSR2011_FINAL.pdf）
- 4) 李秀澈. 韓国の再生可能エネルギー支援政策. 名城論叢. 2008, vol. 9, no. 2, p. 11-34.

3.3 エネルギー利用技術・システム区分

エネルギー利用技術・システム区分において、今後 10～30 年にわたって取り組みを強化すべきと考えられる主要研究開発領域として以下の 8 領域を選定した。

1. 低コスト・高効率燃料電池（短期）
2. 次世代二次電池（中長期）
3. 高効率ガソリンエンジン（短期）
4. 中低温熱利用基盤技術（短期）
5. エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）
6. 再生可能電力による化学品生産技術（中長期）
7. 次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）
8. 電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

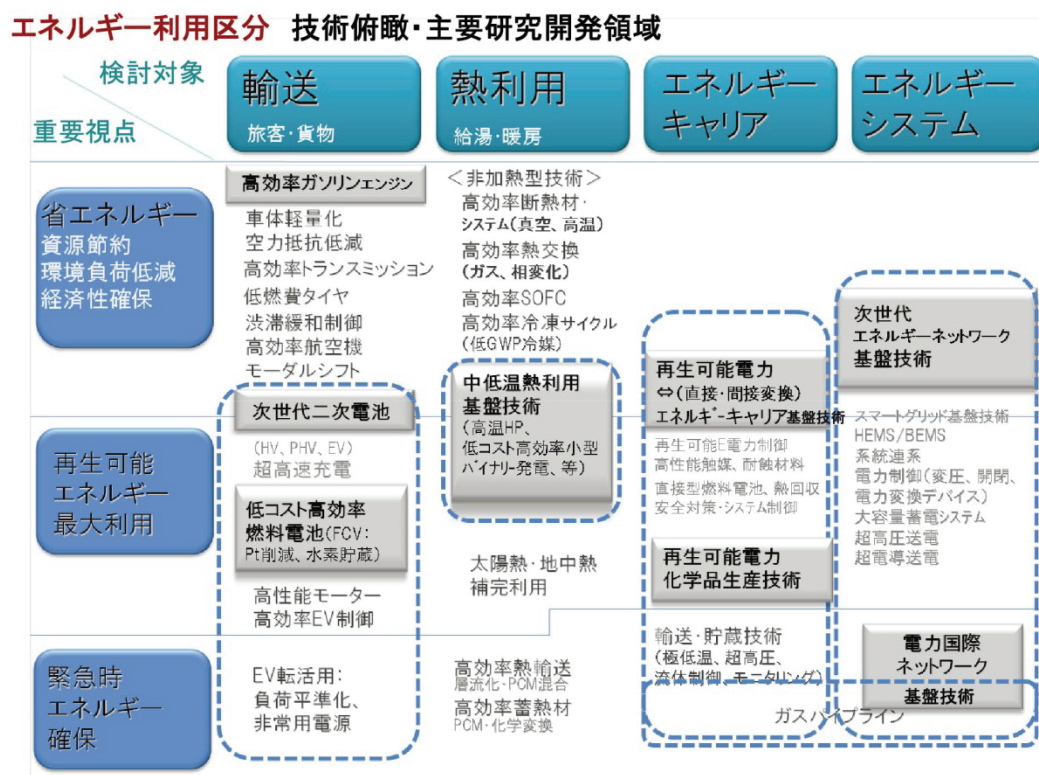
各領域の抽出シナリオは 2.2.2 (2) に述べたとおりであり、これら全体の位置付けやおよその時系列展開は、表 2.2.9 および図 2.2.12 に示したとおりである。

これらの研究開発領域には、これまで国家プロジェクトとして取り組まれてきたが、ハードルの高さから引き続き加速推進すべきもの（次世代二次電池、低コスト・高効率燃料電池）、これまでは民間主導で取り組まれてきたが、今後公的資金の集中投入によりブレークスルーを図るべきもの（高効率ガソリンエンジン、中低温熱利用基盤技術）、これまでは注目されていなかったが、情勢の変化により今後研究開発を加速すべきもの（エネルギーキャリア基盤技術、再生可能電力による化学品生産、次世代エネルギーネットワーク基盤技術、電力国際ネットワーク基盤技術）が含まれる。

研究内容としては、原理的に新しいというよりも、社会的な重要性から基礎に戻った現象の解明とそれに基づく理論モデル化などによるブレークスルーが期待されるものが多い（図 2.1.3 の第 5 階層にまで掘り下げた研究）。したがって、その推進は単一研究機関や企業単独では難しく、複合的な社会的期待を総合的にとらえ全体システムの最適化などを念頭に置きつつ、国家戦略として強力に取り組む必要がある。

これ以降、各領域の詳細な内容を記述する。

表 2.2.9 エネルギー利用技術・システム区分における研究開発領域と課題（再掲）



3.3.1 低コスト・高効率燃料電池（短期）

（1）研究開発領域名

低コスト・高効率燃料電池（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

最先端の解析技術を駆使して燃料電池電極における触媒反応メカニズムを明らかにし、触媒としての白金使用量の大幅削減または汎用元素への代替を可能とすることにより、低コスト・高効率の燃料電池を実現させる。戦略的集中的な資金投入により課題解決の突破口を得ることを狙う。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギーや環境問題への対応から、燃料電池自動車については2015年の実用化開始を目標に、世界の主な自動車会社を中心に技術開発が進められている。大量普及のためには、発電システムとしての燃料電池システムの一層の低コスト化・小型化が必要で、特にPt量のコストに占める割合が多く¹⁾大幅低減が必須であるが、これは量産効果のみでは達成不可能である。現状では車1台（約80kW）あたり約30g程度のPtが必要である。内燃機関乗用車の排気処理触媒コンバータに用いられるPt量は数g/台で、世界全体のPt使用量の1/3程度を占める。これまで大学・研究機関、自動車会社等で、NEDOなどのファンドも含め、触媒の低白金化（合金触媒、コアシェル触媒など）や非白金化、触媒の有効利用率向上（特に、低加湿、高出力時）などに取り組んできている。

しかしながら、鍵となる触媒への反応物質の移動メカニズムの解明が鍵となっている。日本、米国、欧州において、個別の基礎的な探索研究が実施されているのが実態である。ナノからミクロンのオーダーまでのマルチスケールの取り組みが要求されるため、単独研究者での遂行は困難であるが、組織化する動きはまだ見られない²⁾。ここでは、短期的な研究開発領域として、触媒の有効利用率向上に関わる課題解決の促進を提案する。具体的な研究課題は以下の通りである。

- ・プロトン、酸素、水などの反応物質の輸送現象の解明

- ・目標を実現する熱と水のマネジメント、材料や構造（触媒層）の研究開発

これらは、ナノからミリにわたるマルチスケールの動的な現象を扱う総合的なパッケージとしての取り組みが必要であり、下記ステップが有効とおもわれる。

- ①輸送現象、反応現象など解明のための先端的な設備を用いた観察型の研究

- ②現象解明と理論モデル化の研究（マルチスケールで）

- ③要求性能実現のための静的・動的特性を有する材料及び構造の指針を見出す研究

- ④上記指針に基づく材料や構造の開発とその製造手法の開発

こうした取り組みは、国内外で一部には始まっているが（下記の（5）注目動向を参照）、現象解明が多岐にわたることと複雑なため、未だ初期段階にあると云える。広範な学術分野の協同が必要なことから、大学から企業にいたる参加を得て集中的に進める必要がある。また、こうした知見は定置型燃料電池の低コスト化・高効率化にも反映できる可能性が高い。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学技術推進上の課題としては、先端的観察型研究施設（Spring8 など）の充実と最大限の活用、ナノからミリにいたるマルチスケールのモデル・シミュレーション技術などの基盤の充実、さらに、高分子・触媒・熱物質輸送など多分野の協同、などが挙げられる。

政策的課題としては、一気通貫体制の構築（多分野集中、基礎応用一貫）の支援、研究開発資金の継続な投入などがある。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ DOE³⁾ と NEDO⁴⁾ において、低コスト化のための触媒研究が進展している。特に、コアに Pt 以外の金属、表層に白金を分布するコアシェル触媒の研究開発が進展を見せている。耐久性の確認、産業化への製造プロセス構築などが今後の鍵となっている。
- ・ NEDO 事業として、Pt 触媒の構造を作動中に観察できる新しい世界最先端の専用ビームが Spring-8 に完成。今後の NEDO 事業による活用が期待される⁵⁾。
- ・ 電解質膜の研究は、ブレークスルーをもたらす進展が見られない。DOE などでは高温無加湿膜の研究ファンドが減少している³⁾。
- ・ 米国 DOE の Chu 長官がこれまでの水素・燃料電池への予算抑制の方針を変換。実用化のための研究開発促進の立場になり、今後米国 DOE での研究開発の強化が想定される⁶⁾。
- ・ 欧州では、New Energy World Industry Grouping (New-IG)が FP7 の枠組みで、2008 年～2013 年までで 1000 億円規模の資金により、基礎～応用研究が推進されている⁷⁾。
- ・ カナダでは、自動車を対象としてカナダ国内の英知を結集した体制を構築し、Pt 量低減などの研究が産業界への展開を想定して進められている⁸⁾。

（６）キーワード

燃料電池、白金触媒、輸送現象、現象解明、理論モデル

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 主としてNEDOにより、自動車用燃料電池の低コスト化、高寿命化を狙った基礎的なレベルから応用研究レベルまでが実施されてきている。今後は、現象解明や新材料探索などの基礎研究の強化が課題で、諸学会、大学、国立研究所等の広範な参画が必要。 ● 触媒反応、物質輸送、などの現象解明の分野で、燃料電池研究組合（FC-Cubic）が先端的な研究成果を挙げている。これら知見を分子や原子レベルでの構造計算とあわせてモデル化する研究も、東北大学、京都大学、九州大学などで世界的なレベルを目指した研究が行われている。スタックの小型化によるコスト低減を目指した、水やガスの物質輸送の現象解明などの基礎的研究は、東京工業大学、北海道大学などで世界的なレベルの研究が行われている。材料技術構築に向けてナノスケールでの現象解析のため、NEDOファンドにより東京電機大学、理化学研究所、分子研究所の共同でSpring-8を活用した専用のビームラインを建設中。これらの研究を総合的に強化促進する体制作りが課題。

	応用研究・開発	◎	→	● NEDOにより、材料研究やそれらの研究成果を企業において産業化をするための応用研究が進められている。Pt量低減をめざした電極触媒の研究（山梨大学、同志社大学、横浜国立大学、東京工業大学など）や、低加湿で運転する低コストは炭化水素系の電解質膜の研究（山梨大学、上智大学、東京工業大学など）は世界的なレベルであるし、また、主に定置用の燃料電池開発の企業と大学の連携により炭化水素系とフッ素系の電解質膜材料の開発も進められている。 ● 自動車会社において、多くの燃料電池自動車のプロトタイプ車がつくられ、デモンストレーションや耐久評価などが活発に行われている。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に必要なレベルのコストや性能の材料技術の確立には、基礎レベルからの材料設計が依然として必要な段階にある。
	産業化	◎	→	● 自動車会社において、燃料電池自動車の普及開始を目指したコスト低減、性能向上、生産技術構築、デモンストレーションが活発に進められている。 ● 材料・部品の産業で、燃料電池自動車の量産化に向けた新たな取り組みは、まだ表面化していない。
米国	基礎研究	○	→	● NSFにより、大学教官個人レベルでのファンド、および、大学から産業化のためのセンター機能などにファンドが行われている。 ● エタノール燃料電池研究に大学に1百万ドル（2012年）、ElectroChemi社へ電極技術研究（12年9月）、PennState大（汚水処理用燃料電池）25万ドル（2009年） ● NSFはコネチカット大（2009年から2012年までの4年間で23万ドル）と南カロライナ大に、燃料電池の産業化を意図した研究センターを設立（2009年から2011年で15.9万ドルの規模）。
	応用研究・開発	◎	→	● DOEファンドにより、コスト低減のため、触媒Pt量低減のための材料技術の研究（合金触媒、コアシェル触媒、膜構造触媒、および、非白金触媒）と、低加湿度でも作動する電解質膜の研究が、強力に推進されている。研究チームは、国立研究所、大学、企業の連合により推進されている。 ● 2013会計年度の水素燃料電池のDOE研究開発予算は、2012会計年度と同レベルに（80百万ドル～103百万ドル）。なおこれまで水素燃料電池向けのDOE予算が減少した年もあったが、材料研究など基礎研究は一貫して研究費を維持してきた。 ● 電極触媒や電解質膜などの材料で新しい構造が提案されているが、ブレークスルーもたらず進展は見られない。特に、電解質膜の研究は、ファンドが減少している。 ● 最近、小型化によるコスト低減の方策でもある高電流密度化を意識した、ナノCT装置活用の多孔体のなかの物質輸送の研究開発が活発化する動きを見せている。 ● DOEプロジェクトにより開発されたコアシェル触媒や合金触媒などを産業化するための研究開発がベンチャー企業や大手化学会社などで進められている。
	産業化	△	↓	● 自動車会社の燃料電池自動車の実用化開始時期は、2020年以降に量産を見込む（GM）など、やや中長期的になっている。 ● 電解質膜、触媒、などの材料供給会社の量産化の動きも表にはでてこない。
欧州	基礎研究	◎	→	● EUで、FP7の枠組みの元、大学アカデミア向けのファンドによる研究開発が進められている。これに加えて、ドイツやスイスなどでは、政府によるファンドや研究開発への税制優遇策がとられている。 ● New-IGが中心となり、FP7の援助の元、2008年～2013年に約1000億円の規模で主に、基礎～応用研究に投資している⁷⁾。 ● フランスでは、原子力研究所（CEA）が産業化にそなえて、材料内の水の挙動モデリングを含めた基礎研究から材料・システムの応用研究まで手がけている。 ● スイスでは、原子力研究所（PSI）において、基礎研究から、プロトタイプ燃料電池自動車の試作まで手がけている。特筆すべきは、所有する中性子線源による燃料電池内の水の可視化研究であり、専門の研究家チームにより世界トップレベルを維持している。

	応用研究・開発	○	→	●ドイツでは、Julich国立研究所などで、高温で作動する膜の研究など、企業と連携した材料基礎研究からシステム応用研究まで手がけている。 ●ドイツでは、自動車会社によるプロトタイプ燃料電池自動車の試作が多く行われ、北米、欧州、アジアにおけるデモンストレーションが多く行われている。
	産業化	◎	↑	●ドイツでは、自動車会社の燃料電池自動車の量産化に向けた動きが活発である。 ●フランスやイギリスなどで、燃料電池システムを製造・販売するベンチャー企業がでてきている。電気自動車のバッテリーの充電用から、クルマの主駆動用までラインアップを備えている。 ●ドイツなどの自動車会社の商品化の動きに合わせて部品、製造装置、材料において産業化の動きが活発になっている。
中国	基礎研究	△	↑	●燃料電池自動車の産業化は、中国の政策としては長期的にとらえており、もっぱら基礎研究や応用研究を重視している。 ●国家863プロジェクト（1986年3月開始、ハイテク技術研究発展組合）などに従って重点的な取り組みを、選択された機関に集中投資して実施している。 ●触媒は、大連化学物理研究所が中心であり、その他、重慶大学、武漢理工大学などで活動が活発。論文の質のばらつきはあるものの、世界的に著名な論文誌への採択も増加している。 ●大連化学物理研究所は、大学院教育機能も兼ねており、優秀なドクター育成と研究の国際連携を並行して進めている。 ●清華大学や天津大学などで、自動車用途を意識したスタックシステムの熱・流体の面からの研究開発が行われている。
	応用研究・開発	△	→	●燃料電池自動車のプロトタイプ車作成とデモンストレーションは、上海汽車からのベース車両提供などのサポートの元、同済大学（乗用車）と清華大学（バス）を中心におこなわれ、北京五輪、上海万博などで実施されている。 ●燃料電池システムの部品や制御技術については、同済大学と清華大学を中心に応用研究・開発が行われている。
	産業化	△	→	●大連化学物理研究所と自動車会社（上海汽車）などの合弁により、スタック開発製造会社を大連に設立（サンライズパワー社）。自動車用スタック開発製造会社は、このサンライズパワー社と上海神力社の2社がメイン。 ●中国民族資本の自動車会社による、燃料電池自動車の研究開発活動はまだ表に出てきていない。当面、電気自動車、ハイブリッド車の開発と商品化を優先している。 ●電解質膜や触媒などの材料については、品質面で海外製品をしのぐ産業化のレベルにはまだなっていない。
韓国	基礎研究	△	→	●韓国科学技術院などを中心に、国のファンドで固体高分子形やりん酸形燃料電池、炭酸溶融塩燃料電池など、定置用と自動車用の両方の応用を意図して研究開発に取り組んでいる。 ●欧米の主要な学会において、大学や企業からの基礎的分野の論文発表は少ない。
	応用研究・開発	◎	→	●自動車会社（現代）でプロトタイプ燃料電池自動車が試作され、北欧、北米、欧州の各国のデモンストレーションプログラムに参加している。 ●学会などでの論文発表は少ないが、展示会、その他のカンファレンスでは、燃料電池自動車技術の研究開発に関する講演などが行われている。
	産業化	◎	↑	●燃料電池自動車の普及開始に向け自動車会社（現代）の取り組みが活発に行われている。1000台／年の規模の燃料電池自動車の製造設備能力を有している。

(注1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

（８）引用資料

- 1) 燃料電池システムにおけるコストブレイクダウン（Pt の占める割合）.
Sinha, J.J. et al. "Direct Hydrogen PEMFC Manufacturing Cost Estimation for Automotive Applications", DOE Hydrogen Program Review/USA, Project ID #FC_31_Sinha. 2009 年 5 月 21 日.
- 2) 飯山明裕. "日産自動車における燃料電池自動車の実用化に向けた技術開発の現状と今後の見通し". FC-EXPO 2012 専門技術セミナー/FC-2 ここまで来た燃料電池自動車開発の現状 ～ 実用化と普及の展望. 2012 年 2 月 29 日.
- 3) http://www.hydrogen.energy.gov/annual_review12_report.html
- 4) http://www.nedo.go.jp/library/database_index.html
- 5) <http://www.uec.ac.jp/facilities/research/fc/>
- 6) http://www.greencarreports.com/news/1078428_energy-secretary-chu-changes-his-mind-on-hydrogen-fuel-cell-cars
- 7) <http://www.new-ig.eu/>
- 8) <http://www.ic.gc.ca/eic/site/064.nsf/eng/07105.html>

3.3.2 次世代二次電池（中長期）

（1）研究開発領域名

次世代二次電池（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

ポストリチウムイオン電池（全固体電池、多価イオン電池、金属-空気2次電池など）の実用化に向けて、電池内部反応現象の解明とモデル化などの基礎・基盤研究を強化して材料ならびにシステムの最適設計を支援するとともに、それらを応用開発、実証開発と効果的に連動させ関連研究開発の総合的・戦略的推進を図る。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギーや環境問題への対応から、リチウムイオン電池の性能向上を目指した研究開発が多方面で精力的に行われ、それを搭載した電気自動車やハイブリッド自動車は実用化の段階に入っている。また、大容量二次電池は家庭等における分散エネルギーシステムの末端電力需給調整や、再生可能エネルギー由来電力の変動調整用としても期待されている。ただし、電池の性能・経済性は十分なものでなく、革新的な電池性能の向上に向けた研究開発が、米国、欧州などで国レベルの支援を受けて、民間企業や国立研究所が連携した体制で活発化してきている。国内においても、NEDOが2012年度6月に革新形蓄電池先端科学基礎研究事業のなかの革新電池の基礎研究として、下記を追加公募する段階である。

- ・多価イオン金属を用いる電解質・電極技術。（希少金属を用いない）
- ・多価金属電極の表面制御技術を駆使した高エネルギー密度化電池技術
- ・先端的な計測評価技術を駆使した高エネルギー密度化電池技術
- ・革新的かつ実用的な全固体電池技術
- ・非水系金属-空気電池技術

しかしながら、こうした研究開発を支えるための基礎基盤研究の充実と材料や電池の研究開発との密接な連携（一気通貫体制）が必須となっている。特に、電池の性能や耐久性に直結する、触媒表面反応現象の解明とモデル化、イオンの輸送現象（拡散）の解明とモデル化、電荷の移動現象（電極反応現象）の解明とモデル化、によりシミュレーションを可能にすることが必要である。そのうえで、狙いとする電池特性を実現する材料や構造を実現するための構成的研究の実施が可能となる。金属-空気2次電池で課題となる、空気中の二酸化炭素、水分の電池内への侵入を自動車の寿命中にわたって抑制する高度なシール技術、除去技術など、これまでの電池技術の領域を超えた学術・技術分野の取り込みも必要となっている。現状のNEDOの取り組みでは、『高度解析技術開発』の研究実施により、高輝度放射光、高強度パルス中性子等の量子ビーム技術の活用を進め、蓄電池の作動下の反応の特徴をつかむまでになっている。今後は、こうした基礎的な研究開発を日本として総合的に体系だてて進めることが必要である^{1) 2)}。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学技術的課題としては、イオン伝導メカニズムや反応メカニズム解明とモデル化による共通基礎理論の確立や、空気中の水分、二酸化炭素などの遮蔽、混入防止技術（金

属-空気2次電池）などに関する共通基盤研究の強化が必要。

政策的課題としては、既存の大規模施設の更なる活用（現状、リチウムイオン電池研究のみでも稼働率が高い）、現象のモデル化や計算科学に強い大学・企業との協働体制構築、文科省と経産省の連携による基礎基盤から応用研究の一貫推進体制の構築などが挙げられる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

リチウムイオン電池の量産化は、米国、日本、韓国、中国などで工場建設が行われてきているが、最近、電機自動車関係の販売動向を受けて、生産能力の増大のペースがおちている³⁾。

ポストリチウムイオンの研究開発が活発化している。特に米国では、IBMのリードにより、金属空気電池の研究開発が大規模に促進されている⁴⁾。

日本国内でも、最新の学会においては、イオン電池、全固体電池、金属空気電池などのポストリチウムイオン電池候補材料の電池性能などの報告がなされつつある⁵⁾。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の革新型蓄電池先端科学基礎研究事業（RISING）の一環として、NEDOと大学共用利用法人 高エネルギー加速器研究機構（KEK）が、KEKの大強度陽子加速器施設「J-PARC（茨城県東海村）」に建設を進めてきた世界最先端の蓄電池専用解析施設「RISING 中性子ビームライン（SPICA）」が完成し、2012年9月4日（火）、現地で完成披露式典を行った。

（６）キーワード

二次電池、ポストリチウムイオン電池、現象解明、理論モデル

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○○○	→	● NEDOのRISINGプロジェクトなどで、材料、解析技術などの構築が進められている。具体的には、SPRING-8やJ-PARCを活用した、電池内の現象解明。内部の原子配列を解明し、容量向上、劣化メカニズム解明の点で世界トップレベルの成果が挙げられている。（京都大学と日立製作所の研究チームは、動作中のリチウムイオン電池の正極表面の様子を詳細に観察することに成功し、電池劣化のメカニズムの一端を解明した） ● 早稲田大学は2012年10月15日、7000回以上の充放電が可能なりチウム蓄電池材料として、新しいシリコン負極材料を開発したと発表した。文部科学省の「元素戦略プロジェクト」に採択された京都大の大型研究拠点「触媒・電池元素戦略研究拠点」では、今後10年間かけて、レアメタルを全く使わない蓄電池（ナトリウムイオン電池や空気電池）や自動車の排ガス用触媒などの研究開発を目指す。
	応用研究・開発	◎	↗	● NEDOのRISINGプロジェクト以外にも、産総研、豊田中研、ソニーなどにおいても、リチウムイオン電池の低コスト化、次世代2次電池の研究開発が進められている。産総研：「無機固体電解質リチウム空気電池」、豊田中研：「固体マグネシウム電池」、「ナトリウムイオン電池」、ソニー：「アルミニウム二次電池」 ● 経産省は2012年7月に、2020年時点の世界の蓄電池市場で日本企業が50%のシェアを獲得することを目指す「蓄電池戦略」をまとめ、実証実験の補助などを通じ産業育成に注力する方針を示した。有望視されるのは、リチウムイオン電池（LiB）や、硫黄とナトリウムイオンの化学反応で充放電するNAS電池、バナジウムなどのイオンの酸化還元反応を充放電に利用するレドックスフロー（RF）電池。

	産業化	◎	↗	●自動車会社と連携してリチウムイオン電池の量産化工場建設が進められてきた。（AESC、パナソニックペペ、東芝、日立、GSユアサなど） ●部材メーカーである村田製作所は、野洲事業所（滋賀県野洲市）で大容量リチウムイオン二次電池の量産を始める計画をもつ。（2012年10月11日）ダイキン工業も、電気自動車 の需要拡大をにらみ、車載用リチウムイオン電池の材料となるフッ素を含有した電解液事業を本格化させ始めた。2013年1月から、米アラバマ州の量産プラントで生産。
米国	基礎研究	◎	↗	●DOEのファンドにより、リチウムイオン電池、ポストリチウムイオン電池の研究開発が促進されている。 ●IBMがリードする「Battery 500プロジェクト」により、空気電池などのポストリチウムイオン電池の研究開発が組織的に進められている。情報交換の場としてのフォーラム開催など、専門家内の情報流通などにも配慮されている。
	応用研究・開発	○	↗	●DOEが、初期段階のエネルギー関連プロジェクトを対象とした補助金制度「ARPA-E」を通じて、19件の電池関連開発プロジェクトに総額4300万ドルを支給した（12年8月） ●クリーンテクノロジーの米国 Infinite Power Solutions（IPS）は、製造コストが低く、エネルギー密度が高い、新しい充電式全固体電池技術を発表した。（2012年10月24日）
	産業化	○	→	●政府の援助を受けて大規模バッテリー工場が建設されたが運営は必ずしも順調ではない。A123が2012年10月に破産、自動車用は部品会社（Johnson Controls）へ売却へ。 ●シボレーVOLTや日産LEAFなどの販売は計画を下回っている。（2012年）
欧州	基礎研究	◎	↗	●FP7などの欧州台のファンドおよび、ドイツ政府など各国政府レベルのファンドのもと、ミュンヘン工科大を始め多くの電気化学系の大学において、リチウムイオン電池、空気電池などのポストリチウムイオン電池の研究開発が促進されている。 ●スウェーデンのウプサラ大学工学部（ウプサラ市）のマリア・ストローム教授らの研究チームは、藻類を利用した高エネルギー密度の新型二次電池開発プロジェクトに取り組んでいる。
	応用研究・開発	○	→	●ローマ大学と韓国漢陽大学との共同で、100回以上の充放電が可能なりチウム空気電池が発表された（2012年8月）。
	産業化	○	→	●LG化学やその他のバッテリーサプライヤにより、欧州内に自動車用バッテリーの量産化工場の建設が進められている。 ●サムソンとBoschの自動車用リチウムイオン電池の合弁会社は解散されサムソンの完全子会社へ。（2012年10月） ●リサイクル技術は、ユミコアなどで、産業化レベルに到達している。
中国	基礎研究	○	↗	●中国科学院、重点大学などでのバッテリー用の材料研究が行われている。
	応用研究・開発	○	↗	●バッテリーの安全性を重視して取り組まれているものの、システム技術化に遅れがあり、システムでの安全性技術構築は途上である。 ●冷却技術の研究開発が急がれており、空冷、液冷、蓄熱材による冷却技術の構築が促進されている。
	産業化	○	↗	●バッテリーは300社程度存在するといわれるが、ISOやIECをベースにきちんと評価・開発できる会社は10社以下と言われている。中国政府も淘汰整理したいとの意向がある。 ●日本の会社（三菱化学、クレハ、旭硝子、戸田工業など）が、正負極材やその材料や電解液の製造拠点を中国に設ける（2012年） ●上海汽車がエントリークラスで同社初の量産電気自動車「荣威E50」を発売した。（2012年11月5日発表）。りん酸鉄リチウムイオン電池18 kWhを使用。2012年に1000台販売目標。 ●BYDが独自のリチウムイオン電池の電気自動車個人向けに発売（2011年10月）

韓国	基礎研究	○	→	● 大学などでは、政府の強力な援助で活動・成果がある可能性があるものの、外部には、顕著なものが見当たらない。
	応用研究・開発	×○	→	● 活動・成果で顕著なものが見当たらないが、企業などでは、研究開発活動が活発に行われているはずで、外部に公表していないとおもわれる。
	産業化	◎	↗	● LG化学、サムスン（Boschとの合併）などがバッテリーの大規模な産業化を進めている（LG化学は電気自動車年産10万台分の工場を2011年建設。しかし、電気自動車の販売が不透明であり、さらなる工場建設拡大（35万台/年）の具体化が未決定な状況。）

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

- 1) JST CRDS. 戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」. 2011 年 7 月.
<http://crds.jst.go.jp/domains/environment/201107010000>
- 2) JST CRDS. 戦略プロポーザル「次々世代二次電池・蓄電デバイス基盤技術」.
2011 年 3 月. <http://crds.jst.go.jp/domains/nanotech/201103012005>
- 3) <http://jp.reuters.com/article/businessNews/idJPTYE89J00420121020>
- 4) http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smart_grid/article/battery500.html
- 5) <http://ds.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~denchi53/program.html>

3.3.3 高効率ガソリンエンジン（短期）

（1）研究開発領域名

高効率ガソリンエンジン（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

輸送手段として今後とも中心とならざるを得ないガソリンエンジンのエネルギー効率を抜本的に向上させるための、燃焼改善から高性能周辺機器をも含む総合的な技術革新を、大学/研究機関における基礎基盤と連携させて促進する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エネルギー利用効率の向上と資源・環境問題への対応から、ガソリンエンジン自動車の一部がガソリン／電気ハイブリッド自動車や電気自動車に置き換わり始めている。しかしながら、今後とも数十年に亘ってガソリン自動車あるいは軽油ディーゼル自動車が大半を占めると予想されている。容量や充電の容易さ、寿命等の機能面で、またコストの点で電池の性能を飛躍的に向上させる必要があるがその技術的目処が立っていないからである。

最もエネルギー効率の低いガソリン自動車については、その効率向上は車体の軽量化、トランスミッションの高効率化なども重要であるが、エンジンそのものの高効率化の寄与度が大きい。ガソリンエンジンの正味熱効率を向上するには、まず、

- ・燃焼改善と燃焼制御技術（現象の解明と理論モデル化）
- ・熱損失の低減（熱伝達現象の解明と制御）
- ・摩擦損失の低減（高温、高圧下の潤滑最適化）

などが必要である。また、可変動弁系、可変圧縮比、高効率過給器、燃料噴射装置の高性能化など関連ハードの新開発と最適化が必要である。本研究開発領域ではソフトとハード両面にわたる総合的な技術革新によってガソリンエンジンのエネルギー利用効率向上を図ることを取り上げる。各要素技術については未解明の現象も多く、研究開発の加速には、基本的な現象の解明と理論モデル化といった基礎研究について、大学・研究機関との協同が不可欠である。

世界各国では自動車から排出される炭酸ガスに厳しい規制値を設けて自動車のエネルギー効率の向上を促している。最近の傾向としてエンジンのダウンサイジングという手法がドイツのメーカーを中心に進められている。排気量を小さくした直接噴射式エンジンに高過給と低温排気再循環などを組み合わせて冷却損失と機械損失を低減しつつ異常燃焼を抑制する手法である。

欧州では GDP の 6.9% の貢献度のある自動車産業のグローバル競争力を維持・発展させるため 2001 年から EUCAR（European Council for Automotive R&D）プロジェクト 1）を産官学で推進している。自動車技術に関する 6 分野において産官学のグループで革新的な技術開発を行っている。EU の Framework Programme for Research & Innovation, 2014-2020（Horizon 2020）に 8 百億ユーロの予算を要求している。

米国では DOE（Department of Energy）が継続的に自動車用エンジンの技術開発を支援している。現在実施中のプロジェクト ACCESS（Advanced Combustion Con-

cept-Enabling Systems and Solutions) では4年間で2,400万ドルを助成して3.6Lのガソリンエンジンを2Lにダウンサイズすると同時に予混合圧縮着火燃焼を併用して熱効率30%の向上を目指している。また大型ディーゼルエンジンのプロジェクトとしてSuper Track Program（2010～2015年）を実施している。このプロジェクトでは通常の道路走行条件で正味熱効率50%をゴールにしている。

ひるがえって日本では現在、自動車用エンジンの大型国家プロジェクトは実施されていない。わずかに千葉大学が経産省イノベーション拠点立地支援事業「先端技術実証・評価設備整備費など補助金」（総予算56,520万円）によりダウンサイジングと予混合圧縮着火燃焼の研究開発を実施し始めるところである。欧米に比べて遅れた我が国のエンジン開発研究に危機感をいだいた自動車業界は、自動車技術会の研究センターに内燃機関共同研究推進委員会を設置し、産官学共同研究体制を整えつつある。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

科学技術的にハードルが高い課題としては、燃焼については点火以前に発生するプレイグニッションと火炎伝播中に発生するノックの発生の機構解明と抑制技術、トライボロジーにおける潤滑現象の解明と摩擦損失の低減、エンジンの排熱回収、各種可変機構のイノベーションなどが挙げられる。

科学技術政策の面では、リスクの高い長期的かつ科学的な研究課題だけに注力するのではなく、本研究課題のような国の産業に直結する工学的な研究課題に投資することが望まれる。グローバル市場における我が国自動車産業の技術優位性を維持するためには、欧米なみの公的資金を導入する政策が必須である。このままでは欧米に水を空けられるどころか韓国と中国に追いつかれて電機業界の二の舞を演ずることになりかねない。

産学連携の促進も課題である。エンジン技術では、基礎研究と開発研究の成果が緻密な設計に集約されて無駄のない生産技術を経て高性能で信頼性の高い製品へと至る。完成したエンジンを出力と排気を最適化しつつ運転するにはエンジンを構成する多くの可変機構を制御するシステムが必須である。産学共同研究に歴史のある欧州では、燃焼、振動、潤滑、排気、計測などの基礎研究とエンジン制御アルゴリズムの研究は大学（アーヘン、シュツットガルト、ダルムシュタット、カールスルーエ大学など）が中心になって推進している。これに対して産学共同体制の貧弱な日本はこの分野で大きく後れをとっている。

また、新エンジンを開発するには全てのエンジン構成要素の動的特性を考慮しつつ要求性能を満たすエンジンの概念を構築する必要がある、その設計過程はコンピュータシミュレーションと開発ツールを用いた複雑なプロセスに依存する。各社独自路線を走る日本の自動車産業は全欧州連合で協調・共通化を図る欧州の自動車産業に大きく遅れつつあると言われる。大学、自動車企業、情報企業が一体となって早急な対応をとる必要がある。政策的には、そのための障害除去と促進支援が必要である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

欧州の自動車メーカーを中心にエンジンの小型化と高過給による熱効率向上技術が進展している。高圧力下での燃焼が基本となるので、実用化にはプリイグニッションやノッ

クなどの異常燃焼の回避が不可欠であり、その現象解明と対策がドイツの大学と企業で研究されている。また実用エンジンではこの現象を抑制する燃焼制御技術と可変動弁機構による圧縮比の最適化が必要であり、この分野でも欧州の産学共同研究が先行している。さらに可変動弁機構の開閉時期制御、熱損失の低減、潤滑摩擦の低減などによる熱効率向上策が進められている。

欧州には世界的なエンジン研究開発会社 AVL 社と FEV 社があり、また電装、排気処理装置企業の Bosch 社も世界的にビジネスを展開している。これらの企業は欧州のみならず日米の自動車企業から委託業務を受け、コンサルティング事業を通して企業の技術情報とノウハウを吸収・集約して益々独占的な立場を固めている。このような技術と情報の被搾取状態から脱するためには国家的に産学研究体制を整えて、欧州の自動車産業に対抗することが必要である。

（６）キーワード

ガソリンエンジン、エネルギー効率、産学連携、共同研究

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	↑	● ダウンサイジングエンジンのコンセプトは欧州のコンサルタント会社AVL, Ricardo, FVVなどが早い時期から提案していたにもかかわらず、日本の研究者も企業も注目してこなかった。このため基礎研究から産業化まで欧州に比べて大きく立ち遅れている。最近千葉大学の森吉教授がダウンサイジングエンジンの産学共同コンソシアムを立ち上げたが、基礎研究は欧州に比べて5年以上遅れている ²⁾ 。
	応用研究・開発	○	↑	● 企業では最近、徐々にダウンサイズエンジンの応用・開発研究を進めている。
	産業化	○	↑	● 日産自動車から1.2L、直接噴射、スーパーチャージャー、ミラーサイクルのダウンサイジングエンジンHR12DDRが発表された。搭載車NOTEの燃費は25.2km/Lと国際的にも高いレベルを示している ³⁾ 。ただし全体的に産業化は低調である。
米国	基礎研究	○	↑	● 可変吸気弁時期制御による燃焼時期の制御に関してスタンフォード7大学のShaverらは先端的な研究を実施している ⁴⁾ 。またSandia 国立研究所のJ. DeckらはDOEのAdvanced Combustion Concepts-Enabling Systems and Solutions (ACCESS) の1員として燃焼現象の解明と制御に関する基礎的研究で顕著な成果を挙げている ⁵⁾ 。
	応用研究・開発	○	↑	● エネルギー庁DOEを中心に高効率ガソリンエンジンに関する関心が高まっている。ACCESSプロジェクトは30%の熱効率向上を目標としたガソリンエンジンの国プロジェクトであり、4年間で2400万ドルの財政援助が決まっている ⁵⁾ 。またEPAはCorporate Average Fuel Economy (CAFE) の燃費規制として2025年までに車両燃費を50%改善することを要求している ⁶⁾ ので、企業ではエンジンの熱効率向上以外にも車両の軽量化などの開発研究に着手している ⁹⁾ 。
	産業化	○	↑	● GMはEcotec 14 family と称するGM最初の吸気時期可変弁付き過給、直噴の2.0～2.5LのダウンサイジングFamily エンジンの生産を開始した ⁹⁾ 。

欧州	基礎研究	◎	↗	● ダウンサイジングエンジンの直接噴射における燃料の蒸発と混合に関する基礎研究が進められている⁶⁾。 ● ダウンサイジングエンジンで特に問題となるブリーグニションとノックの異常燃焼の現象解明と対策に関してカールスルーエ大学などで基礎研究が進んでおり⁷⁾、日米に比べて顕著な活動・成果が見えている。
	応用研究・開発	◎	↗	● 欧州ではGDPの6.9%の貢献度のある自動車産業のグローバル競争力を維持・発展させるため2001年からEUCAR（European Council for Automotive R&D）プロジェクトを産官学で推進している。自動車技術に関する6分野において産官学のグループで革新的な技術開発を行っている⁸⁾。 ● ダウンサイジングエンジンで問題となる異常燃焼を抑制するエンジン制御に関してはダルムシュタット大学、シュツットガルト大学などで進められ、日米に比べて顕著な活動・成果が見えている。過給技術に関しても部品メーカーを中心に高性能機器の開発が進んでいる。
	産業化	◎	↗	● ダウンサイジングガソリンエンジンの産業化ではVolkswagen社が世界で最も進んでいる。1.4L 2段過給のダウンサイズエンジンを搭載したGolf TSIは世界で高い評価を得ている。可変弁機構を世界最初に実用化したBMWは2010年に直噴ターボと可変バルブトロニックを組み合わせた1.6L、4気筒の新エンジンを発表した。
中国	基礎研究	×	↗	● 欧米日に比べて特筆すべき成果が見られないが、日欧米で学位を取った研究者が帰国して精華大学、上海交通大学などに着任し、徐々に基礎研究のレベルが高まりつつある。また先進国の研究者を短期、長期に招へいして新技術の吸収に努めている。米国のGMは毎年上海交通大学に1億円規模の研究費の寄付をしていますし、重点校は政府から多額の研究費を支給されている。研究設備は日本の大学をはるかに凌ぐレベル。
	応用研究・開発	△	↗	● 欧米日に比べて顕著な活動も成果も見られない。
	産業化	×	→	● 中国に最初に進出したのはVolkswagen社であり、ドイツは政府と企業が一体となってビジネスを展開している。 ● 外資系以外の民族系の車の質・性能は発展途上で、特筆すべき動きは見られない。
韓国	基礎研究	×	↗	● 欧米日に比べて顕著な活動も成果も見られない
	応用研究・開発	△	↗	● 世界の動向に従ってエンジンの熱効率向上の開発研究を当然進めているものと推察される。
	産業化	×	↗	● 日本企業の製造・生産技術を移転することにより急速に産業力を向上させ、その製品は質量ともに世界のトップレベルに達している。 ● 世界の動向に応じて2012年には1.2L、過給、直噴のダウンサイジングエンジンKappa エンジンを発売開始した¹⁰⁾。

(註 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註 3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用文献

1) <http://www.eucar.be/> (News 2012 年 6 月 20 日)2) <http://serc.co.jp/cpnsortium/index.html>

- 3) <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/hr12ddr.html>
- 4) Shaver, G. M.; Roelle, M. J. et al. A physics-based approach to the control of homo-geneous charge compression ignition engines with variable valve actuation. Int. J. Engine Research. 2005. vol. 6, no. 4. p. 361-375.
- 5) <http://www.greencarcongress.com/2011/11/access-20111104.html>gasoline
- 6) Koch, P. et al. Study of mixture formation processes inside a modern direct-injection engine, Int. J. Engine Research. 2010, vol. 11, no. 6, p. 455-472.
- 7) Spicher, U. "History and diagnostics of irregular combustion in spark ignition engines". Proceedings of COMODIA2012. 2012, p. 7-15.
- 8) <http://www.eucar.be/organization>
- 9) Brooke, Lindsay. Creating the 54.5 mpg car, Automotive Engineering. SAE International, 2012, November 6, p. 32-36.
- 10) <http://www.autoevolution.com/news/hyundai-presents-new-1.2-liter-turbo-engine-43360>

3.3.4 中低温熱利用基盤技術（短期）

（1）研究開発領域名

中低温熱利用基盤技術（短期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

低コスト高効率バイナリー外燃機関、熱駆動冷凍サイクルや高温ヒートポンプなど、不可逆損失を抑制し熱利用効率を向上させるためのプロセス基盤技術の研究開発を促進する。熱需給の実態を明らかにして、これら基盤技術の適用を促進する。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

中低温熱利用については、これまではエネルギー供給が確保されていたこともあり、個別技術の採算性の観点から当面の経済性が見通せない技術について研究が進んでいない。しかし、昨今のエネルギーを取り巻く環境の変化から、今後さらに大幅な省エネルギーが不可欠となり、わが国に於ける熱エネルギー利用の実態を総合的に把握するとともに、体系的な研究開発の推進を図ることが急務となっている。

第一に、熱需要の実態を明らかにすることで不可逆な加熱プロセスを削減することが基本である。化石資源の燃焼はギブス自由エネルギー変化も含めエンタルピー変化をすべて熱として取り出す不可逆過程である。従って、まずは断熱と熱再生による非加熱プロセスを指向すべきである。また、燃料電池は化学エネルギーを直接電気に変換するとともにそこで不可逆的に発生する中低温度の熱を利用するものであるが（コージェネレーション）、効果的な熱利用を図るためその高温化が課題となっている。そのほかヒートポンプは、可逆的な電気エネルギーによる熱の移動を可能とするが、その効率の向上や高温域への適用などの課題がある。逆に低位の温度差から高効率で電力に変換する技術の高度化などの課題がある。

現在見直し検討中のエネルギー基本計画の議論では、いずれの選択肢でもコージェネレーションを総発電電力量の約15%まで拡大することが謳われている。また、再生可能エネルギーとしての地熱からの発電など、仕事を回収できる熱源がクローズアップされている。数十℃～数百℃の温度を有する熱源には、地熱、太陽熱等の再生可能エネルギー、エンジンや燃料電池、化学プロセスからの排熱等があるが、これらの熱源は小容量で空間的に分散するため、数十kW～MW程度の範囲の小型システムへのニーズが高い。小型のバイナリー発電は、イスラエルのOrmat社がほぼ独占しているが、安全性や効率等、一層の改善が必要である。近年、神戸製鋼所、川崎重工業、富士電機等からも小型のバイナリーサイクルが発表されているが、一層の高効率化、熱源温度との対応、低コスト化など多くの課題を抱えている。例えば、熱源との温度差の小さいサイクルの開発（超臨界サイクル、トリラテラルサイクル等）、温度・圧力条件を満たす温暖化係数の小さい作動流体選定・開発、高効率膨張機、高効率熱交換器、耐スケール、高温に耐える冷凍機油、あるいはオイルフリー化技術、システム研究（熱源とのマッチング）などが挙げられる。排熱発電に限らず、中低温で再生が可能な吸着式、吸収式などの熱駆動冷凍サイクルも同様に一層の低コスト化、高効率化に向けた研究開発が必要である。

一方で、熱の用途には大きくは給湯、空調、乾燥、殺菌、濃縮、蒸留等がある。その

ほとんどは 200℃程度以下の温度であるが、現在は化石燃料を燃焼させること（ボイラー）で賄われている。燃焼プロセスはギブス自由エネルギー変化も含めたエンタルピー変化を全て熱として取り出す不可逆プロセスであり、抜本的な改善が不可欠である。ヒートポンプは理想的には不可逆損失無しに熱を利用することができる技術であるが、現在は空調と給湯のような 100℃以下の熱への適用に留まっている。近年 130℃程度の蒸気を発生させる高温型のヒートポンプが開発されつつある。しかしながら、先述した熱需要の多くをカバーするためには、より高温である 200℃程度までの適用可能な高効率ヒートポンプが必要である。具体的な研究開発課題としては、高温用サイクルの開発（冷凍サイクル、超臨界サイクル、逆ブレイトン再生サイクル等）、などが挙げられる。

そのほかの技術動向として、我が国のエアコン性能は諸外国に比べて非常に高いレベルにある。定格性能だけでなく、インバータ搭載が広く普及しているために部分負荷性能も高い。また給湯分野においては、世界に先駆けて CO₂ を冷媒とした超臨界サイクルヒートポンプが商品化されている。欧州では、ヒートポンプが再生可能エネルギーに位置づけられているということもあり、R410A を冷媒とした温水ヒートポンプの普及が始まっている。しかしながら、寒冷地でのヒートポンプ普及には一層の COP（coefficient of performance、成績係数）向上、特に実使用条件での効率向上が求められる。さらには、途上国における空調機市場拡大に伴って、韓国や中国メーカーのキャッチアップが著しく、技術的なリードを将来的にも確保し続けることは容易ではない。温水ヒートポンプに加え近年では 2 段圧縮サイクルや HFC134a/HFC245fa 混合冷媒を使用した 100℃以上のヒートポンプが商品化されるなど、活発な研究開発が進められている。ただし、一層の高温化や COP の更なる向上に加え、高温での信頼性や温暖化係数の小さい冷媒への転換など、今後継続して研究開発すべき課題も多い。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

ここで取り上げている技術課題の解決には、漸進的な技術の蓄積が土台となる。原理的には既知であり、主に経済的な効果により技術・研究開発の推進が左右されてきた。しかしながら今後は、エネルギーの安全保障、環境課題解決への貢献といった視点が必要で、そうした観点から一定程度の公的支援により基盤となる技術開発を推進する必要がある。それは、わが国の関連産業の国際競争向上につながり、結果的にわが国全体の経済効果をもたらす可能性が高い。

経済効果を把握するためには熱需給の実態を把握することが必要であるが、電気と異なり低位の熱需給の把握は極めて難しい。各地域で相当数の端末機器に温度等の検出端を設け、環境条件も含めてその時間変動から季節変動まで記録するなどの作業が必要となるが、個別企業での対応は困難であり、公的支援が不可欠である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・ 大型の地熱発電は三菱重工、東芝、富士電機等の日本のメーカーが圧倒的な競争力を誇っている。
- ・ 小型のバイナリーシステムでは、イスラエルの Ormat 社が非常に高い市場シェアを握っている。これまで世界中に 120 万 kW 以上の納入実績がある。作動流体とし

てノルマルペンタンを用いており、出力が 250kW から 15,000kW と幅広いラインアップが用意されている。また、空冷凝縮器などのモジュール化により低コストを実現している。

- ・富士電機も 2000kW の同様のシステムを 2010 年から販売開始した。最近では、我が国における超小型のバイナリーシステムの開発事例が目立っている。川崎重工株式会社はラジアルタービンを用いた 250kW のバイナリーシステムを 2010 年に発表した。また、神戸製鋼所はスクリー圧縮機を転用した 60kW の小型バイナリーシステムを 2011 年から販売開始した。95℃の温水を熱源に発電が可能で、40 万円/kW というこの容量と温度域では驚異的な低価格を実現している。株式会社 IHI はラジアルタービンで 20kW という超小型のバイナリーシステムを開発している。さらに、アルバック理工は 90℃のお湯により 3 kW 級の発電が可能なスクロール膨張機を用いたシステムを開発している。
- ・蒸気発生ヒートポンプに関しては、神戸製鋼、東京電力、中部電力、関西電力の 4 社が 65℃の温排水を利用して、120℃/0.1MPaG の蒸気を発生する製品を 2011 年に発表した。この高温でありながら、COP は 3.2 と非常に高い効率を実現している。さらに、後段に蒸気コンプレッサーを追設することで 165℃/0.6MPaG まで昇温昇圧することが可能である。

（６）キーワード

中低温熱利用、不可逆損失、バイナリー発電、外燃機関、ヒートポンプ

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 研究者数も多く、基礎研究力もまだ競争力を有している
	応用研究・開発	◎	↗	● 冷凍空調技術を応用した新技術が近年多く開発されている。
	産業化	◎	↗	● 上記技術を用いた新製品も発売が続いている。
米国	基礎研究	○	→	● 基礎研究自体は地道に続いている。
	応用研究・開発	△	↘	● メーカーの研究開発力は低下している
	産業化	○	→	● ターボ冷凍機やコンプレッサーを始め、既存技術や製品力は高いが新製品開発自体は目立っていない。
欧州	基礎研究	○	→	● 自然冷媒等の基礎研究は強い。
	応用研究・開発	○	→	● 伝統のある企業が地道に進めている。
	産業化	○	→	● イタリアのターボデン社が小型バイナリーシステムの納入実績がある
中国	基礎研究	○	↗	● 論文発表数が近年急速に増加している。まだレベルは高くないが、今後進展する可能性あり。
	応用研究・開発	△	↗	● 技術導入の進展が進むと今後急速に力をつけてくる可能性あり。
	産業化	△	↗	● 技術導入の進展が進むと今後急速に力をつけてくる可能性あり。

韓国	基礎研究	◎	→	● エアコン等の小型機での研究開発は大きく進んでいる。
	応用研究・開発	△	→	● 中大型機は現時点では強くないが、小型機の技術転用が進めば伸びる可能性あり。
	産業化	△	→	● 中大型機は現時点では強くないが、小型機の技術転用が進めば伸びる可能性あり。

（８）参考資料

- 1) JFE エンジニアリング株式会社ニュースリリース，2011
<http://www.jfe-eng.co.jp/news/2010/pdf/news100623.pdf>
- 2) 富士電機ホールディングス株式会社ニュースリリース，2010
<http://www.fujielectric.co.jp/about/news/10051001/index.html>
- 3) Kawasaki News 160 Autumn, 2010
http://www.khi.co.jp/knews/backnumber/bn_2010/pdf/news160_02.pdf
- 4) 株式会社神戸製鋼プレスリリース，2011
http://www.kobelco.co.jp/releases/2011/09/1186618_12091.html
- 5) 株式会社 IHI プレスリリース，2012
http://www.ihl.co.jp/ihl/all_news/2012/press/2012-9-19/index.html
- 6) アルバック理工ホームページ，2011
<http://www.ulvac-riko.co.jp/kaisya-5.htm#20110531>
- 7) 大木茂生. 高効率蒸気供給システム「スチームグロウヒートポンプ」の開発，中部電力技術開発ニュース. 2011, No.143.
http://www.chuden.co.jp/resource/corporate/news_143_06.pdf

3.3.5 エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）

（１）研究開発領域名

エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）

（２）研究開発領域の簡潔な説明

変動する再生可能エネルギー由来の電力を、高効率に水素あるいは水素キャリアに転換する、あるいはエネルギーキャリアから電力等に効率的に変換するための各要素技術、さらに、システム全体を統括最適化する技術基盤を系統的に構築する。

（３）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

再生可能エネルギーを化学的エネルギーとして貯えるためのエネルギーキャリアは、電気的エネルギーとして貯える蓄電池に比べて大容量のエネルギー貯蔵・輸送・利用が可能であり、分散型エネルギーシステムにおける再生可能エネルギーの平準化・最大限活用、国内および大陸間輸送、緊急時のエネルギー供給等に有効な手段と考えられる。エネルギーの需給変動は、短期間・小規模な電力の需給変動は二次電池あるいはシステムによる融通で、長期間・大規模なエネルギー貯蔵と再利用はエネルギーキャリアで、と棲み分けることになると考えられる。昨今のエネルギー事情から、エネルギーキャリアの安定的利用技術確立のニーズが顕在化してきたが、研究開発には時間を要することから、基盤技術確立に向け中長期に亘る戦略的・系統的な取り組みが必要といえる。

すでに、電力からのエネルギーキャリア（水素）への転換方法として水電解があり、これは、食塩電解などにおいて工業化されている電解技術が基盤となり、当該分野において日本の技術は大きくリードしている。しかしながら、エネルギー転換効率や、変動する再生可能エネルギーに対する耐久性など課題も多く、投入電力の制御（変動抑制）と併せて検討すべき点が多い¹⁾。また、その後段にあたる水素から化合物キャリア（メチルシクロヘキサンあるいはアンモニアなど）の合成工程ならびにその逆工程においても、既存技術はあるが、転換効率の向上や反応熱の利用・供給などにおいて課題が存在する。さらに獲得した水素エネルギーの利用については、現在、家庭用燃料電池（エネファーム）に代表されるように、定置用あるいは自動車用の燃料電池として技術開発および実証試験が進められているところである²⁾。エネルギーキャリアの本格的実用化に向けては、効率の向上を中心とするこれら要素技術の確立ならびに、マッチングや安全対策なども含めたシステム全体技術の確立について、国策として早期に基盤技術形成に取り組む必要がある。

中長期的には、エネルギー転換効率のさらなる向上にむけて、エネルギーキャリアと電力とを直接転換しうる技術が必要になると考えられる。電力によってトルエンと水から直接メチルシクロヘキサンに転換し、あるいはメチルシクロヘキサンと酸素から直接水と電力を取り出すことができれば、水素を介さずにエネルギーの転換が可能となり、高効率なシステムの実現が期待できる。

なお、2015年の実用化開始時期を控えた燃料電池自動車に関しては、技術的にはガソリン自動車並みの利便性を確保しており、航続距離（500km以上）や燃料充填時間（概ね3分）など既存の自動車と遜色ないレベルに達している²⁾。ただし現状では、燃料

水素を 70MPa で炭素繊維強化プラスチック (CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastic) 製容器に貯蔵しており、価格及び車両レイアウト上の制約が大きく小型車量などへの適用が難しい。水素の低価格・高密度貯蔵システムとその電力変換システムの早期技術確立が期待されている。

水素あるいは化合物キャリアの製造・転換技術について、具体的な研究開発課題として以下が挙げられる。

1. 電力⇄水素または化合物キャリア相互変換プロセス高効率化のための新規電極・触媒材料の開発（高活性電極触媒による高効率化、内部抵抗の低減、劣化機構の解明と高耐久材料の開発）

2. 水素⇄化合物キャリア転換用触媒・プロセス開発（高転換効率触媒とこれを有効に活用しうるプロセス最適化、反応・生成熱を有効に活用しうる熱供給・熱回収・熱蓄積技術）

3. 材料の設計加工技術の開発（ガス・液体の流体解析と制御、大規模化・大面積化のための材料製造・加工技術）

4. 解析・分析技術の開発（反応解析・分析技術、界面や各材料での電子移動機構の解析、シミュレーションによる解析）

5. 各工程を組み合わせたシステム最適化技術（再生可能エネルギー電力制御、反応熱を有効に供給するための他の熱源との組み合わせ・コジェネ化技術）

自動車用水素貯蔵技術については具体的な研究開発課題として以下が挙げられる。

1. 水素貯蔵材料開発（金属系水素貯蔵材料、吸着系水素貯蔵材料、Mg 系水素貯蔵材料、固溶体および窒素系水素貯蔵材料などについて、水素貯蔵のメカニズム解明とその最適構造の予測、中性子線、X 線をもちいた先端解析技術による材料評価解析技術、水素貯蔵特性の評価・推定が可能なモデル・シミュレーション技術、先端的水素貯蔵・放出材料の探索など）

2. 水素貯蔵システム（水素貯蔵材と高压タンクの複合システムの軽量化、高効率熱制御技術、金属系水素貯蔵材料の反応性向上・可逆性向上・軽量化、など）

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

各技術課題については、すでに海外でも部分的に実証に近い段階あるいは実証試験を行うプロジェクトが存在するものもある。これらは課題発掘のための試験といえる。再生可能エネルギーの大量貯蔵という観点での効率や耐久性、関連材料の製造技術については未解決の課題も多く、経済性も含めた実用技術確立には程遠い状態である。革新的な材料の開発や全体を通した総合的なシステム最適化技術の開発がこれから必要となる。日本は各要素技術において高いレベルを有しており、これをベースに総合的な開発を進めることで十分な技術競争力を確保できるものと考ええる。

このような研究を推進していくうえでは、劣化機構の解明などの基礎研究の強化が不可欠である。また、材料と制御の両面からのアプローチが重要であり、産業界との連携も含めた異分野融合による総合的な研究開発の推進が鍵となる。当該分野の基盤研究強化は、産業競争力の強化とともに将来の資源確保につながる可能性を有しており、我が国のエネルギー戦略においても重要な意味を持つものと考ええる。

政策的課題としては、普及シナリオの実現に向けた制度上の課題明確化と解決、安全性および社会受容性の検証、再生可能エネルギーの利用を含めたエネルギー利用システムのシナリオ検討、エネルギーキャリアの利用拡大あるいは燃料電池自動車の普及を可能とするための技術・材料のより広範囲な探索への継続的資源投入、などが挙げられる。

従って、中長期にわたる統合的な戦略のもとに、系統的な研究開発の推進が重要となる。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

電解などの水素の製造技術および燃料電池を中心とした利用技術については日本をはじめ各国で技術開発と普及に向けた取り組みが進められている³⁾。再生可能エネルギーからの水素製造は、特に欧州において実証試験が積極的に進められてきた⁴⁾。最近では、ドイツの「Hybrid Power Plant」プロジェクトにおいて石油・ガス、電力、エンジニアリング、鉄道といった各分野の欧州企業も参画し、クリーンな電力と熱と水素を供給する大がかりなプロジェクトが立ち上がっている。

アメリカにおいても DOE のプログラムにおいて実用的（水素貯蔵量 5.5 重量%、温度範囲 0～100℃）な水素貯蔵材の開発が推進されている⁵⁾。現在、アンモニアボランなど窒素系の貯蔵材が候補の一つとなっているが、技術的課題も多い。

アジアでは、近年韓国が水素エネルギー利用に関して積極的な技術開発と普及政策を進めている。たとえば、「水素タウンモデル事業」といった大規模事業を発表するなど、水素エネルギー利用の普及を模索している⁶⁾。

一方で再生可能エネルギーをエネルギーキャリアのように化学エネルギーとして貯蔵する技術については、水素を除いて多くはなされていない状況にある。このような中、ドイツの SolarFuel 社は、風力などの再生可能エネルギーを用いて水と CO₂ からメタンを製造する技術を発表している。これにより再生可能エネルギーの貯蔵と、電力網とガス供給網を連結することを目指すもので、現在 250kW 規模での実証試験が計画されている⁷⁾。

（６）キーワード

エネルギーキャリア、再生可能エネルギー、負荷平準化、電力変換、水素、アンモニア、有機ハイドライド

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↑	● 大学および研究機関において研究開発が進められている。材料、触媒あるいは分析・解析技術といった基本的な技術について、世界的にみても優位にある。
	応用研究・開発	○	↑	● 固体酸化物形燃料電池（SOFC）が市販され、ガソリン車と遜色の無い利便性を有する燃料電池自動車が開発されるなど燃料電池に関しては技術的には世界的にもきわめて高いレベルにある。 ● 水素キャリア（メチルシクロヘキサンやアンモニア）については要素技術について大学、研究機関や一部民間企業において研究開発が行われているが、システムやサプライチェーンをまたぐ統合的な研究開発が必要な状況である。 ● 水素貯蔵材についてNEDOのプログラム（HydroStar）などでさまざまな材料開発およびシステム開発が行われている。ただし、自動車に要求される作動温度や作動圧力の点で実用化が見通せる水素貯蔵材料、およびシステムが無いのが現状である。
	産業化	△	↑	● 燃料電池普及に向けて補助金制度等の様々な政策が打ち出されている。また、燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）より普及シナリオが公表された⁸⁾。その後、産業競争力懇談会（COCN）による燃料電池自動車・水素インフラ整備に関する政策提言を経て、水素利用技術研究組合（HySUT）が設立されている。HySUTでは水素ハイウェイおよび水素タウン実証を実施しており、水素インフラに関する技術の実用化に向けた検証が進められている。さらに、2012年9月に自動車各社から2015年に燃料電池自動車を市場投入することが公表された⁹⁾。
米国	基礎研究	◎	↑	● DOEにおいて水素貯蔵技術に関する研究開発プログラムが進められている。アミドイミド系やアンモニアボラン系のような含窒素系水素貯蔵材などが応用可能な材料の有力候補として挙げている。ただし、現時点で実用化につながる成果が見られていない⁵⁾。
	応用研究・開発	○	↑	● ノースダコタ州、ニューヨーク州などで「Wind to Hydrogen」プロジェクトが実施されている¹⁰⁾。文字通り風力発電による電力から水素を製造し、燃料電池自動車あるいは水素エンジン発電機による電力供給が実施された。
	産業化	○	→	● カリフォルニア州をはじめ各州において燃料電池あるいは燃料電池自動車の普及に向けて各種補助やインセンティブの付与などの政策がとられている。
欧州	基礎研究	◎	↑	● 水素については広範囲において研究開発が進められている。有機ハイドライドについては、1980年代にユーロ・ケベック計画（カナダで製造した水素をヨーロッパに海上輸送する）において研究された経緯があるが触媒に課題が残されていた。 ● 最近では、自動車会社などがカルバゾール系（複素環式）化合物をキャリアとするシステムについて研究している例がある¹¹⁾。
	応用研究・開発	◎	↑	● 再生可能エネルギーからの水素製造については早い時期から試験・実証されている。イギリス（The PURE Project）、ノルウェー（Utsira）、スペイン（RES2H2）、スコットランド（Hydrogen Office PJ）、フランス（Vignola）など多くの国で実施されている¹²⁾。ドイツでも多くのプロジェクトが実施されているが、特に「Hybrid Power Plant」プロジェクトは石油・ガス、電力、エンジニアリング、鉄道といった欧州企業が参画し、クリーンな電力と熱と水素を供給する大がかりなプロジェクトである。ドイツのSolarfuelプロジェクトは風力発電からの電力を用いてCO₂と水からメタンを製造するというものである⁷⁾。
	産業化	◎	↑	● 各国において燃料電池あるいは燃料電池自動車の普及に向けたインセンティブの付与などの政策がとられている。例えば、ドイツのノルトライン・ヴェストファーレン州では“水素HyWayプログラム”2008年から開始し、研究開発と実証支援を打ち出している³⁾。 ● 2008～2013年にEUは4.7億ユーロを水素・燃料電池技術開発と実証に投入するとされている。

中国	基礎研究	△	↗	● 基礎レベルではあるが、再生可能エネルギーとともに水素、水素貯蔵材に関する研究開発が増加している。
	応用研究・開発	△	→	● 中国科学院や大学を中心として研究開発が推進されている。
	産業化	×	→	● 今後増加するエネルギー需要への対策として再生可能エネルギー導入に関する政策がとられている。また、各主要都市において、ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車などの次世代自動車を1,000台以上導入するというプログラムを実施している ³⁾ 。
韓国	基礎研究	△	↗	● 水素貯蔵材料などの研究開発が行われている。有機ハイドライド等については触媒などの基礎研究がなされている。
	応用研究・開発	△	↗	● 水素・燃料電池などのエネルギー関連のR&Dを統括する韓国エネルギー資源技術評価・企画院が設立され、積極的な研究開発への資源投入がなされている ³⁾ 。
	産業化	△	↗	● 知識経済部が「水素タウンモデル事業」を発表（2012年5月28日）する ⁶⁾ など、今後も積極的に再生可能エネルギー・水素の利用拡大を打ち出していくものと思われる。 ● 2012年9月に現代自動車が燃料電池自動車のリース販売を2012年中に開始することを公表した。公表されたスペックによれば航続距離が500kmを超えるなど技術的には実用化レベルに近い可能性がある ¹³⁾ 。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注 3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

(8) 引用資料

- 1) 光島重徳. 再生可能エネルギーの有効利用のための水電解技術. 燃料電池. 2012. vol. 12, p. 31.
- 2) 経済産業省. 新たなエネルギー産業研究会 燃料電池分科会報告書. 2012.
- 3) http://www.iphe.net/docs/iphe_policy_update_120911_web.pdf
- 4) <http://www.fch-ju.eu/>
- 5) <http://www.hydrogen.energy.gov/storage.html>
- 6) <http://www.knrec.or.kr/>
- 7) SolarFuel GmbH
http://www.solar-fuel.net/fileadmin/user_upload/pi-2012-ZSEIWESSSolarFuel-I-nauguration250kW-plant.pdf
- 8) 燃料電池実用化推進協議会 http://www.fccj.jp/pdf/22_csj.pdf
- 9) 経済産業省 <http://www.meti.go.jp/press/20110113003.html>
- 10) http://nrel.gov/hydrogen/proj_wind_hydrogen.html
- 11) 18th World Hydrogen Energy Conference, 2010 Proceedings, p. 189 . 2010.
- 12) 例えば、<http://www.hi-energy.org.uk>, <http://www.res2h2.com/>,
<http://www.hydrogenoffice.com/>,
<http://www.statoil.com/en/NewsAndMedia/features/Pages/HydrogenSociety.aspx> など
- 13) [http://www.fcchea.org/core/import/PDFs/Connection/Connection October2012.pdf](http://www.fcchea.org/core/import/PDFs/Connection/Connection%20October2012.pdf)

3.3.6 再生可能電力による化学品生産技術（中長期）

（1）研究開発領域名

再生可能電力による化学品生産技術（中長期）

（2）研究開発領域の簡潔な説明

変動の大きい再生可能エネルギーによる電力を用いた化学品製造のための基盤研究を推進する。新しい電気化学プロセスや、そこで用いる電極材料や触媒材料、電解質について研究開発を行う。

（3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

現在の化学産業は石油の主にナフサ成分を出発物質としたものであるが、再生可能エネルギーを基とした持続可能型社会の確立のためには、再生可能エネルギーによる物質生産が必要になることは言うまでもない。従来、電力は化石資源から半分以上のエネルギー損失によって作られた極めて高級なエネルギー源であったため、電力を用いた物質生産はソーダ電解やアルミ精錬など一部に限られてきた。有機物の電解合成技術はファインケミカル分野でしか成長していない。しかしながら、再生可能エネルギーの大量導入による持続可能型社会の確立のためには、電力のみでなく物質の生産をも再生可能エネルギーにより行うことがあり得る。また、再生可能電力による物質生産は、エネルギーネットワークにおいて平準化のためのバッファともなり得るため、再生可能エネルギー導入を促進するものと期待できる。

電力からの物質生産は、特に電力が豊富な欧州などでは盛んに研究が進められており、再生可能電力からのメタン生産などの実証プロジェクト計画が進んでいる。これは欧州の高緯度地域の風力や北欧の水力など、再生可能電力が比較的豊富であるからである。日本においては再生可能電力の導入が遅れていることから、電力による物質生産に対して興味が低く、この分野を戦略的に研究支援し諸外国をリードする必要がある。日本は二次電池材料などにおいて世界を凌駕する卓越した材料技術を有している。この技術を応用しつつバルクケミカルを電力で生産できるプロセスや材料を見出すことが求められる。これまで化石資源を基とした化学プロセスでは化学資源は原料であるとともに熱源であり、熱反応によるプロセスとなっている。電力による物質生産では電気化学ポテンシャルによる化学反応であることが本質的に異なることであり、研究課題が多く残る。

具体的には CO_2 からの化学品合成や N_2 からのアンモニア合成、各種金属の電解精錬などを再生可能電力によって行う化学プロセスなどが研究対象として上げられる。

研究項目として

1. 再生可能電力に基づく電気化学プロセスの構築
2. 新電極材料開発、電極触媒材料開発、電解質材料の開発
3. 電極反応の素過程の解明や、電子移動機構の分析、シミュレーションをあげることができる。

（4）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

電気化学により化学品を大量生産するという革新的発想は、従来の石油化学に基づく

科学技術の中には全くないために、極めて原始的な段階にあるとしか言わざるを得ず、基礎的なところから長期間の研究開発が必要である。

このような化学プロセスの研究開発では短期的な経済性の視点から既存の石油化学プロセスと比較し、そのプロセスのフィージビリティを過小評価しがちである。再生可能電力が化石資源より必ず安価になる時期がくることを見越した長期的研究支援が必要である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

再生可能電力の導入が進んでいる欧米において、電力からの化学品への生産は注目されているテーマである。例えば米国では **ElectroFuels** という電力と CO_2 より炭化水素燃料を生産する基盤研究がエネルギー省（DOE）によって 2010 年より始まり、44.5 百万ドルの予算が計上されている。これは微生物を利用した電気化学反応によりガソリンまたはディーゼル燃料を代替できる炭化水素の生産を目指している¹⁾。また、ドイツでは **SolarFuel** という余剰再生可能電力と CO_2 からメタンを生産し、都市ガスに送る実用化研究の計画も進んでいる²⁾。このように再生可能電力からの化学燃料の生産の研究は、世界各国で基盤研究から実証実験まで多岐にわたる取り組みが行われている。特に、再生可能電力が電力に占める割合の高い欧州において、電力による有用化学品への変換技術の注目度は高い。本課題は、これらの電力からの燃料生産のみでなく、現在石油化学工業に基づいて生産されているエチレン、プロピレン、アンモニア、尿素などバルク化成品の生産を、再生可能電力と CO_2 や N_2 によって行うことを目指すものであり、国内の電力、石油会社などのエネルギー関連会社のみならず化学会社の将来像を描くものである。

（６）キーワード

エネルギーキャリア、再生可能電力、電力による物質生産、負荷平準化、C1 ケミカル

（７）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● 電気化学、触媒化学の技術レベルは高いが、電力による化学品合成の視点がない。
	応用研究・開発	△	→	● 再生可能の先進諸外国より明らかに導入が遅れていて、それに基づく科学技術が育たない。
	産業化	△	→	● 国家は再生可能電力を2030年までに30%程度導入するとしているが具体的な動きが不透明。震災後、再生可能電力への期待は大きい。
米国	基礎研究	◎	↗	● 再生可能電力のみならず、 Powering the planet ³⁾ など太陽光などの自然エネルギーからの化学品合成には多大な研究投資が行われ続けている。
	応用研究・開発	◎	↗	● ElectroFuels ¹⁾ のようなプロジェクトがDOEを中心に進んでいて、基礎から応用までを見据えた研究体制になっている。
	産業化	○	→	● グリーンニューディール政策のため再生可能エネルギーの注目度は高いが、最近ではシェールガス、シェールオイルに頼る動向も強い。

欧州	基礎研究	◎	↑	● 水電解、燃料電池といった再生可能エネルギーに基づく科学技術への注目は高い。特に水素エネルギー関連では米国よりも優位な科学技術を有する。
	応用研究・開発	◎	↑	● 北欧など電力の豊富な地域を抱えるため、電解水素による水素ネットワークなど電解技術には古くから多くの研究投資がされている。北欧は HyNor ⁴⁾ 、The Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (SHHP) ⁵⁾ などの水素エネルギー実証実験も進んでいて、再生可能電力に基づく化学燃料生産には積極的である。
	産業化	◎	↑	● SolarFuel ²⁾ では6□MW級の実証プラントを2013年に稼働させてしている。ドイツやスペインでは既に再生可能エネルギーの電力に占める割合が1/4～1/3であり、電力網に入れるだけでなく、他に有効利用することが求められてきている。
中国	基礎研究	△	→	● 欧米、日本追従型の学術研究なのでナノテクなどの視点が未だに高く、出口の見えた研究が少ない。
	応用研究・開発	△	→	● 再生可能エネルギー導入量が多いが、化学品に変換するという技術が注目されていない。
	産業化	△	→	● 再生可能エネルギー導入量が多いが、化学品に変換するという技術が注目されていない。しかし、国際的に各種工業材料の生産拠点がある。
韓国	基礎研究	△	→	● 欧米、日本追従型の学術研究なのでナノテクなどの視点が未だに高く、出口の見えた研究が少ない。
	応用研究・開発	△	→	● 日本と同様、再生可能の導入は大幅に遅れていて、そこからの化学品生産という視点はあまりない。
	産業化	△	→	● 再生可能がほとんど導入されていない現状で産業化は見込めない。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注 3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

(8) 引用資料

1) U.S. Department of Energy, Electrofuels

<http://arpa-e.energy.gov/ProgramsProjects/Electrofuels.aspx>2) SolarFuel GmbH <http://www.solar-fuel.net/en/contact/>

3) Powering the Planet, N.S. Lewis, California Institute of Technology 資料

<http://authors.library.caltech.edu/9302/1/LEWmrsb07.pdf><http://www.ccisolar.caltech.edu/index.php>4) 北島暁雄. ノルウェー水素道路プロジェクト－HyNor－日本語要約. 日本機械学会誌. 2010, vol. 113, p. 862. (HyNor <http://hynor.no/>)

5) The Scandinavian Hydrogen Highway Partnership

<http://www.scandinavianhydrogen.org/>

3.3.7 次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）

（１）研究開発領域名

次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）

（２）研究開発領域の簡潔な説明

次世代エネルギーネットワークの主要構成技術である分散型エネルギーマネジメントシステムを技術的、社会的に構築できる基盤技術体系を確立するとともに、再生可能変動電源大量連系時の統合制御エネルギーシステムを確立し、電力輸送・変換システムの包括的スマート化を含む系統制御と分散型制御の調和による全体最適化を実現する。

（３）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

電力は利便性や優れた制御性から、わが国における 1 次エネルギー消費に占める電力の割合は最近 40%を超えるレベルに達している。最終消費構造は民生（家庭、業務）部門 65%、産業部門 33%、運輸部門 2%程度となっており、比較的小口の末端需要家に全電力の 2/3 を輸送する必要がある特徴を持っている¹⁾。こうしたなかで、太陽光発電や風力発電などの本格利用を円滑に行うことが急務となっており、電力輸送・変換システムの包括的スマート化を含めた、系統制御と分散型制御の調和による全体最適化（安定供給、高信頼度、高効率、持続可能性、自己回復性）を実現することが求められている。

分散型エネルギーマネジメントシステム（スマートグリッド）の確立には、分散型電源やリチウムイオン電池などの要素技術と、HEMS、BEMS などを含む多様な需要側資源を連携させる双方向通信技術および分散エネルギーマネジメントなどの制御技術に重点的に取り組む必要がある。系統制御システムとしては、2030 年代までに太陽光発電や風力発電など変動電源が大量に導入されると予想されることから、それらとの連系時の統合制御エネルギーシステムを確立する必要がある。電力輸送・変換システムに関しては、2011 年から 2035 年までの 25 年間に想定される全世界の電気事業投資のなかで送配電設備は 42%（568 兆円）が見込まれており^{2) 3)}、効率向上に向けた極限的な技術革新及び包括的な研究開発の推進が求められている。

供給信頼度を向上させる送電系統広域監視制御から需要家機器制御まで、電力系統の全てのバリューチェーン（発電、送配電から電気利用まで）上に関わる研究プロジェクトが国内外で進行中である。2000 年代以降、欧米ならびにアジアの各国が、国を挙げての研究開発戦略を構築し、スマートグリッドを中心とするグリーン成長戦略に基づき、実装段階に達してきている。米国では、DOE の連邦エネルギー管理委員会（FERC）が地点別限界価格（LMP）ベースのデマンドレスポンスを基本政策とし、需要側資源の積極的活用を目指している。我が国では、電力供給不足問題を踏まえ、ネガワット取引など市場メカニズムに基づくデマンドレスポンスが実プログラムとして導入され始めた段階である。政府は、新しいエネルギーミックスを実現する手段の一つとして、スマートメーターの加速導入や柔軟なダイナミックプライシングの検討を開始したところである。高い電力系統技術基盤の上に産業界の経験的努力により当該分野で世界に類を見ない高品質を保持してきたが、規制改革等の社会科学、需要家行動の行動科学分野の研究との融合などの面で遅れている。

現状の技術レベルは、供給サイドはかなり向上していきしたが、大量データ処理、リアルタイム情報通信制御などでの根本的な障壁があり、需要サイドでは制御効果の確実性を確保する需要家行動解明など未解明の研究領域がある。現在の国内外の実証試験は、既存技術の統合が中心で、経験的に性能向上を図っている段階である。供給側、需要側の双方の要素技術群の技術進歩、センシング技術と無線ネットワーク技術が融合したセンサネットワーク、大規模データ処理などを統合した次世代エネルギーネットワークの数理的基盤、需要家行動原理をモデル化した需要予測技術・制度設計など、広範な研究領域が存在する。具体的な研究開発課題は、以下の通りである。

① デマンドレスポンスのためのエネルギーマネジメントシステム

我が国ではまだ市場価格や予測予備率に連動する新しいタイプのデマンドレスポンスプログラムが導入されていない。ダイナミックに変化するデマンドレスポンスの信号にきめ細かく需給調整するための自動化デマンドレスポンスシステム（エネルギーマネジメントシステムがベースになる）を開発する。

② LMP ベースのデマンドレスポンス

太陽光発電や風力発電など地域毎に発電状況やコストが時々刻々変化する電源の割合が増加してきたとき、既往の地点別需要・供給コストにさらに変化分が重畳し、地点別限界価格（LMP）による電力供給効率化を図れる余地が生じる。電力系統運用者が LMP に基づくデマンドレスポンスのインセンティブを需要家に提供し、再生可能エネルギーやその安定化に用いる蓄電池（自動車内蔵を含む）の最適運用を促す。

③ 電気自動車非接触充電

蓄電池の大幅な性能向上を待たずして、非接触充電を適用することにより、電気自動車の航続距離を長くし、短距離ユーザーを中心とした普及の拡大を支援する。特に、重量が制約になる貨物やバスなど大型自動車への適用を支援できる。

④ 変動電源大量連系時の統合制御エネルギーシステム

太陽光発電や風力発電など変動電源大量連系時に、系統制御と需要機器側のローカルな分散型制御の調和による全体最適化を実現する。現状では、系統制御と分散型制御がそれぞれ独立に研究されていることが多く、その最適な統合制御手法の確立には至っていない。

⑤ 上位系統（広域の系統制御）と連携した調整力の確保と分担方法

平常時は変動電源の出力変動に対応するため、基幹系統レベルの系統制御、住宅用太陽光発電システムや電気自動車連系する配電レベルの能動的制御の分担方法、緊急時の自己復旧性を高める制御分担方法の研究。次世代の電力システム運用の制度設計が具体化されていないため、現状では研究が進んでいない。

⑥ 電力輸送・変換システムに関わる革新技術

上位系統はエネルギーネットワークのバックボーンになるもので、上位系統での 100 万 V 級（UHV）送電システム技術の確立・国際標準化、超電導長距離送電システム技術の確立・国際標準化、また、上位から下位までの総ての系統における変電機器の極限的性能向上（変圧器、開閉器、避雷器などについての主要構成要素の材料再評価および新材料適用可能性評価、機器体格を決定している絶縁耐力予測手法の確立、変換装置の極限的性能向上（パワーエレクトロニクス素子の SiC 化および GaN 化・直流遮断技術

の革新、などが課題として顕在化している。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

ここで取り上げた研究開発領域は、2030 年ごろの実現を目指して中長期的な観点から戦略的に取り組むべきものである。まずは分散型エネルギーマネジメントシステムの確立が必要となるが、系統との連携やそれらを含む統合制御システムの確立に向けた基盤技術ならびに電力輸送・変換に関わる革新技術を平行して総合的な観点から推進する必要がある。こうした研究推進には、中長期の集中研究拠点を核とした異分野融合や国際連携も視野に入れた革新的な基礎研究の強化と、その成果の迅速な産業界での応用展開に向けたネットワーク連携が重要な鍵となる。そのためには国策としての総合的な研究開発戦略の企画推進力強化が不可欠である。

当該分野の基盤研究強化は、世界的に大きく広がるエネルギー・電力関連市場獲得に結び付く社会インフラ産業の国際競争力強化につながることから、国際標準の提案など国としての関与が求められる。新学術分野開拓ならびに将来の技術・産業・政策面でのイノベーションを誘発することが期待され、国際的な人材育成も含めた中長期の戦略的推進が不可欠である。

（５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

スペイン、アイルランドなど風力発電の普及が進んでいる地域では、電力市場において、系統安定化のためのアンシラリーサービス、特に周波数制御のサービス提供が始まっている。風力発電・太陽光発電の普及が進んでいるスペインなどでは余剰発電の出力抑制が必要となっており、より低炭素化を進めるには、再生可能エネルギー電源の出力を最大限利用する次世代エネルギーネットワークの必要性が高まっている。現状では、需要機器との双方向通信が可能なスマートグリッド化が十分進んでおらず、電気自動車のもつ二次電池を含む分散型電力貯蔵装置など需要側資源が本格的に電力市場に参加できる状況にはない。社会実証試験が我が国同様、欧米でも公的助成を受け、進行中である。

開発した技術の適用範囲が限定されないためにも、次世代エネルギーネットワークの最大の市場である中国とは、技術開発・製品化で戦略的な提携関係の構築が必要である。また、欧州主導の国際標準化に対抗するためにも、技術標準や技術評価の分野での日中韓のアジアでの連携も選択肢である。

電力輸送で基盤をなす送変電機器の効率は 95%以上と限界に近づいており、この観点では効率向上に関するホットな研究開発課題は見出しにくくなっている。それに代わるものとしては、大都市部での使用や省資源の観点から、極限的なコンパクト機器の開発が進められており、また、環境に配慮した材料開発も先進国を中心に進んでいる。例えば、ガス絶縁材料として多用されている SF₆ ガスは気候変動枠組み条約締約国会議 COP3 で温室効果ガスに指定され、現在では大気放出が禁止され、欧州を中心に遮断器での利用を除いて使用を禁止しようとする動きが有り、SF₆ の代替ガス媒体が研究されている。

直流電力の増大から、既存の交流電力との変換が重要になり、電力変換装置の効率向上が急務となっている。現在の Si 素子での効率改善には限界があることから、パワーエ

レクトロニクス素子の SiC 化および GaN 化を各国が競って進めている。

日本学術会議が作成した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」⁴⁾においても送配電技術は取り上げられており、そのロードマップによると、2020年-2030年には、①直流送電や直流連系が多数出現：低ロス、超小型電力変換器が開発され直流送電や直流連系が多数活用される、②超電導ケーブルを用いた電力供給：国外の安価で環境にやさしい電力（砂漠や洋上での太陽光発電等）を地球規模の超電導ケーブルネットワークシステムを用いて供給、などが実現されるとしている。

（６）キーワード

次世代エネルギーマネジメントシステム、スマートグリッド、デマンドレスポンス、電力輸送技術、電力変換技術、ネットワーク基盤技術

（７）国際比較

＜ネットワーク技術＞

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	● 大学（東大、北大、早大等）、研究機関で基礎研究（太陽光発電出力予測技術、エネルギーマネジメントなど）に取り組んでいる。
	応用研究・開発	◎	→	● 系統技術から需要家技術までバランスよく、応用研究を推進している。特に太陽光発電の周波数変動対策や余剰電力対策について、系統側対策と需要側対策の最適な組み合わせが得られることを期待する（宮古島メガソーラー実証研究など）。
	産業化	◎	→	● 送配電自動化、蓄電池、Vehicle to Homeなどの分野で世界をリードしている。実証試験を通して産業化、特に輸出産業化に取り組んでいる（スマートコミュニティ・アライアンス）。
米国	基礎研究	◎	→	● 大学、DOE国立研究所等をネットワーク化し、スマートグリッド、マイクログリッドに関する基礎研究を推進している。IEEEでスマートグリッド専門誌やグループを組織し、情報通信や需要側資源の基礎研究で世界をリードしている。
	応用研究・開発	◎	→	● 政府補助金により、New Mexico州における日米共同プロジェクトを含め、各地でスマートグリッド、マイクログリッドの実証試験が行われている。一方、地元への費用便益の説明不足などから、順調に試験が進んでいない事例も見られる。
	産業化	◎	→	● インフラ側に比べて、デマンドレスポンスプログラムなど下流側の産業化で進んでいる。特に、電力系統運用・市場運営が一体化された北東部や風力発電比率の高いテキサス州などで高度なデマンドレスポンスプログラムが開発・運用されている。
欧州	基礎研究	◎	→	● 風力発電の大量連系を可能とする系統安定化技術（パワエレ、制御技術を含む）や他のエネルギーキャリア（水素など）との代替・補完を考慮したエネルギーシステム研究が推進されている。北海油田で開発した基盤技術を活かして、洋上風力の開発・利用（HVDC [高圧直流送電]を含む）で世界をリードしている。
	応用研究・開発	◎	→	● EUプロジェクトとしてスマートメーター、統合システムを中心にスマートグリッド実証事業が進んでいる（JRC EC資料 ¹⁷⁾ ）。Fraunhofer研究所（独）が事務局となり、Sandia, NRELなど欧米の20の大学・研究機関が、DER [distributed energy resources、分散型エネルギー源]のスマートグリッド連系試験ネットワークを構築している ¹⁸⁾ 。電力系研究機関（CESI）が再生可能エネルギー電源の急拡大を考慮した欧州電力市場を対象として市場シミュレーターを開発している ¹⁹⁾ 。

	産業化	◎	→	● 電力系統運用者が再生可能エネルギー制御センターを創設し、風力発電の大量連系を実現した。国際連系を通じて、欧州大で広域運営することによって、風力発電の変動を吸収しているなど、我が国と電力システムが異なる点に注意する必要がある。欧州の特徴は、スマートグリッド開発は電力市場の域内統合と強く結び付いている点にある（欧州指令の大きな政策目標の実現に向けて、技術開発戦略と電力システムの制度設計が一体化される必要がある）。
中国	基礎研究	○	↑	● Hefei工業大学等で、マイクログリッド等の基礎研究に取り組んでいる ²⁰⁾ 。
	応用研究・開発	○	↑	● 配電自動化など今後、中国で普及すべき技術は試験的導入段階にある。
	産業化	○	↑	● 国家电网を中心に、関連するグループ企業で、スマートメーターなど要素技術の産業化に取り組んでいる。
韓国	基礎研究	○	↑	● KEPCO、Inha大学等で、太陽電池などの再生可能エネルギー電源と蓄電池を最適制御するなど、マイクログリッド等要素研究、Vehicle to Gridの基礎研究に取り組んでいる ²¹⁾ 。
	応用研究・開発	○	↑	● 済州島での実証事業を踏まえて、2013年頃に実証用のスマートグリッドを構築する予定である ¹³⁾ 。
	産業化	○	↑	● 国をあげて産業界（製造事業者、設置工事、電気事業者）と一体となって輸出産業化に取り組んでいる ¹³⁾ 。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(注 3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

< 電力輸送・変換技術 >

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↑	● 大学（東大、名大、九大など）と研究機関（電中研、産総研など）で基礎研究（材料、素子、装置、制御理論など）に取り組んでいると共に、2008年以降、産学連携のパワーアカデミー ¹¹⁾ や東大先端電力エネルギー環境技術教育センター（APET） ¹²⁾ が中心となり大学間連携の基礎研究も進められている。日本学術会議が作成した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」 ⁴⁾ にも送配電技術、エネルギーマネジメントシステム、保守・運用技術など、電力輸送技術が取り上げられている。
	応用研究・開発	◎	→	● 電力会社、メーカーが中心となり、それに電中研と大学が加わり、系統制御技術から送変電機器技術までバランスよく、応用研究を推進している。例えば、100万ボルト（UHV）送電システムや高温超電導電力ケーブルの開発は、世界の先駆けとなるもので、特に、UHV送電に関しては国際規格（IEC）を獲得するに至っている。
	産業化	◎	→	● UHV送電を初めとした高効率で大容量の超高压送電技術、変圧器の小規模化、高温超電導ケーブルなどの分野は技術的に世界をリードしていると共に、実用化、製品化においても世界のトップを走っている。ただし、こうした先端分野の世界市場への導入にはかなりの時間遅れがあることから、経済産業省との連携により、高い信頼性を有する従来機器におけるコスト競争力の強化等に取り組み、アジア及び先進国でのリプレース需要の獲得を推進することにも取り組んでいる。

米国	基礎研究	○	→	● スマートグリッドを中心とした系統制御技術については、大学、EPRI（電力会社の共同出資による研究機関）、DOE国立研究所などで基礎研究が推進されているが、送変電機器などハードウェア技術の基礎研究についてはEPRI主体で、大学の関与は余り大きくなく、日本メーカからの寄附講座で何とか維持されている。米国電気電子学会（IEEE）でも、スマートグリッドでの主導権を取るべく、系統制御理論や情報通信分野の基礎研究の推進に力を入れている。
	応用研究・開発	○	→	● 米国政府の支援によるスマートグリッド実証プロジェクト（New Mexicoなど）が行われているほか、高温超電導ケーブルの実系統導入試験（Albany）も行われたが、公社については後続のものがないなど、大統領が交代するなど大きく情勢が変わる傾向がある。
	産業化	○	→	● かつて世界の電力産業をリードしてきたGEとWestinghouseが、電力インフラ、特に送変電機器開発から大きく手を引いて、ガスタービン発電機など一部の機器のみに注力し、利益を上げる方針に変更していることから、ハードウェア技術の産業化はほとんど進んでいない。ただし、システムコーディネートにおいては、世界市場をリードしようとしている。
欧州	基礎研究	◎	→	● 大学と研究機関において、風力発電の大量導入時の系統制御、スマートグリッド関連の電力機器、環境に配慮した電力機器などについての基礎研究が進んでいる。
	応用研究・開発	◎	→	● ABB、Siemens、Alstomという欧州3強メーカが中心となり、大学や研究機関と協力して、日本に後れを取った交流UHV送電の代わりに、直流UHV送電に注力を図り、交直電力変換器を含めて、世界をリードする応用研究、開発を推進している。その他、既存機器の技術革新についても、日本メーカと競っている。国際規格（IEC）においても、日欧の技術主導権の争いが進んでいる。
	産業化	◎	→	● 上記の欧州3強メーカは、1970年代から世界的にビジネス展開を行っており、世界市場を見据えた製品化によって、そのシェアは50%とも言われるに至っている。
中国	基礎研究	○	↗	● 中国国有電力会社（国家电网など）からの潤沢な資金提供をもとに、大学（精華大学、西安交通大学など）では、電力工学分野だけでも1学年100名程度（日本の10倍）の学生を有し、日米欧をキャッチアップする基礎研究が急速に進められている。
	応用研究・開発	◎	↗	● 基礎研究と同様、国家电网などからの潤沢な資金提供をもとに、世界第2位の電気設備容量を構築するためのあらゆる応用研究、開発が、メーカ、研究機関、大学の共同で推進されている。
	産業化	◎	↗	● 国家电网の主導の下、最先端電力機器については日中合弁会社で産業化し、汎用の電力機器については量産化を図り、国内市場と共に、安価をセールスポイントとした世界市場を目指した産業化を進めている。
韓国	基礎研究	○	→	● 韓国電力（KEPCO）からの支援を受けて、大学（ソウル大、釜山大、漢陽大など）と研究機関（KERI、KEPRIなど）で基礎研究に取り組んでいる。系統制御技術関係の基礎研究は進んでいるが、ハードウェア技術の基礎研究（材料、電気絶縁など）は資金難から低調。
	応用研究・開発	○	→	● KEPCO、韓国メーカが中心となり、それに研究機関と大学が加わり、短期間で産業化ができる応用研究・開発を推進している。
	産業化	○	→	● 国をあげて産業界（製造事業者、設置工事、電気事業者）と一体となって輸出産業化に取り組んでいる ¹³⁾ 。

(注 1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(注 2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用・参考資料

- 1) 資源エネルギー庁. 平成 22 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2011）. 2011. <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm>
- 2) International Energy Agency（IEA）. World Energy Outlook 2011. 2011 年.
- 3) International Energy Agency（IEA）. World Energy Outlook 2012. 2012 年.
- 4) 日本学術会議. 理学・工学分野における科学・夢ロードマップ 電気電子工学分野. 2011. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h132-11.pdf>
- 5) 電気学会 非有効接地系統および UHV 系統の絶縁協調技術協同研究委員会. 非有効接地系統および UHV 系統の試験電圧の考え方. 電気学会技術報告, 2012 年, 第 1258 号.
- 6) 電気学会 ガス絶縁開閉装置（GIS）を取り巻く規格の動向調査専門委員会. ガス絶縁開閉装置（GIS）を取り巻く規格の動向. 電気学会技術報告, 2012 年, 第 1264 号.
- 7) 樋口徳子 他. 特集 電力インフラ産業の海外展開. 電気評論, 2012 年, 第 579 号, p. 7 - 45.
- 8) 藤木俊光. "重電機器産業について". 経済産業省 エネルギービジネス戦略研究会（第 2 回） - 資料 3. 2012 年 5 月 15 日.
- 9) 大西英之. "エネルギー産業先進国を目指して". 経済産業省 エネルギービジネス戦略研究会（第 2 回） - 資料 4. 2012 年 5 月 15 日.
- 10) 永井知美. 重電・インフラ需要拡大の追い風受ける総合電機メーカー. 東レ経営研究所 経営センサー, 2011 年, 11 月号.
- 11) パワーアカデミー: <http://www.power-academy.jp/>
- 12) 東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター. <http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/>
- 13) 韓国知識経済省資料.
- 14) 電気学会 新電力供給システムの研究動向調査専門委員会. マイクログリッド・スマートグリッドを含む新電力供給システムの研究動向. 電気学会技術報告. 2011 年, 第 1229 号.
- 15) NEDO. NEDO 再生可能エネルギー技術白書. 2010.
- 16) FERC Staff Report. Assessment Of Demand Response And Advanced Metering. November 2011.
- 17) JRC EC（Joint Research Centre, European Commission）, Smart grid projects in Europe. 2011.
- 18) Craciun, Diana. "DERlab Testing Facilities on Microgrids", Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal. 2012. <http://microgrid.lbl.gov/microgrid-symposiums/%C3%A9vora-2012>
- 19) Market Integration in Europe: a market simulator taking into account different market zones and the increasing penetration of RES generation. CIGRE. Au-

gust 2012.

- 20) Mao, Meiqin. "Multi-Agent Based Simulation of Microgrid Energy Management". Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal. 2012.
- 21) Won, Dong-Jun. "Operation of Grid-connected Microgrid on KEPCO Test-bed". Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal. 2012.

3.3.8 電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

（１）研究開発領域名

電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

（２）研究開発領域の簡潔な説明

電力貯蔵は小容量に留まる点、再生可能エネルギーによる発電の出力不安定性を勘案すると電力ネットワークはできるだけ拡大するのが良く、その規模は最終的に地球規模まで広がることが予想される。こうした世界的な要請に、わが国の先端的電力輸送、変換技術を駆使することで、世界電力ネットワークのイニシアティブをとることを目指す。

（３）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

世界的にみても電力化率（全エネルギー消費に占める電気エネルギー消費の割合）は上昇するものの、減少することはないと考えられている。その中で、環境に配慮しつつ、安定に電力を供給できるシステムを、各国で種々検討している

大量の貯蔵が難しいという電力の特質から、発電したものをどこかで消費する必要がある、電力輸送を行うネットワークは拡大されるほど、電力の高効率利用が可能となる。最終的には、地球全体が一つの電力ネットワークで連系されることも考えられる。

再生可能エネルギーを利用した発電は世界各所で導入が進むものの、その余剰電力の解消については必ずしも有効な手段が考えられていない。こうした問題も、電力ネットワークの地球規模まで広がると解決しやすくなる。

こうした超大規模な電力輸送を考えると、送電線路長は極めて大きくなり、UHV 送電および超電導線路の有効性は極めて高くなる。また、先進国を始めとして、各国は独自の電力ネットワークを持っていることから、これらを大きな電力ネットワークに組み入れていく場合には、電力変換器を通した連系が必須となる。

具体的な研究開発課題は、

1. 巨大電力ネットワークの制御技術の確立
2. 次世代（交流・直流）UHV 送電技術の確立
3. 超電導長距離送電ケーブル技術の確立
4. 次世代変換装置開発（次世代パワーエレクトロニクス素子の開発）
5. 直流遮断技術の高度化

3.3.7 節においても記述したように、この分野のわが国の技術水準は世界のトップレベルにある。今後も産官学による協力体制を継続することにより、着実に世界標準となる技術を生み出していくことにより、国際的な電力ネットワーク構築においても研究開発のイニシアティブをとることができると思う。

（４）研究開発推進上の課題・ボトルネック（科学技術的課題、政策的課題）

電力ネットワークを国際的につなげるためには、その前提としての政治的安定が必要となる。こうした環境の整備と平行して研究開発を進める必要がある。そのうえで、国内の市場でなく、国際市場にわが国の技術を導入していくという認識が不可欠であると同時に、こうした巨大システムの構成要素の実証試験を国内で積む必要がある。

（５） 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- 国際的電力ネットワークについては、シベリアからわが国への電力輸送をベースにした基礎研究が、1970年代からわが国で、電源開発などが中心となってきた。現在では、全世界の太陽光発電を中心とした電源を超電導ケーブルでつなぐ「ジェネシス（Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grid）計画」⁷⁾、再生可能エネルギー電源を世界的な電力ネットワークでつなぐ「GENI（Global Energy Network Institute）プロジェクト」⁸⁾、アフリカの太陽光発電をヨーロッパの電力システムにつなげる「DESERTEC プロジェクト」⁶⁾などが動いている。その他、インドの電気学会ではロシアと全アジアをつなぐ広域電力ネットワークを検討しているとの情報もある。
- 日本学術会議が作成した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」⁴⁾においても地球規模の電力ネットワークは取り上げられており、そのロードマップによると、2020年-2030年には、「超電導ケーブルを用いた電力供給：国外の安価で環境にやさしい電力（砂漠や洋上での太陽光発電等）を地球規模の超電導ケーブルネットワークシステムを用いて供給」、2040年-2050年には、「常温超電導を利用した無損失送配電：エネルギー資源を保有する諸外国から時間差を利用した安価な電力の購入」などが実現されるとしている。

（６） キーワード

電力国際ネットワーク、巨大電力ネットワーク、次世代 UHV 送電、超電導長距離送電、次世代電力変換技術、標準化

（７） 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↗	● ジェネシス計画 ⁷⁾ が日本発ということもあり、大学（東大、名大、九大など）、研究機関（電中研、産総研など）、企業（住友電工など）で基礎的な検討を行っている。こうした基礎研究（材料、素子、装置、制御理論など）は、有効に活用できる。日本学術会議が作成した「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ」 ⁴⁾ にも地球規模の電力ネットワークが取り上げられており、若い研究者に対して夢のある研究テーマといえる。
	応用研究・開発	○	→	● 全世界電力ネットワークを直接ターゲットとするような応用研究・開発はなされていないものの、その実現を想定した既存技術の革新などは、電力会社、メーカーが中心となり、それに電中研と大学が加わり、継続的に行われている。
	産業化	△	→	● 高効率で大容量の超高圧送電技術、変圧器の小規模化、高温超電導ケーブルなどの分野は技術的に世界をリードしていることから、全世界電力ネットワークの構築が現実のものとなったときに、それまでの技術力の蓄積が産業化に活かせると考える。全世界電力ネットワーク構築においては、国際標準・規格を獲得することが重要であり、その先駆けとして100万ボルトUHV送電に関して、オールジャパン体制で国際電気規格（IEC）を獲得するに至っている。世界市場への進出については、現在も進められている経済産業省との連携による、高い信頼性を有する従来機器におけるコスト競争力の強化等に取り組みやアジア及び先進国でのリプレース需要の獲得などが、役立つと考える。

米国	基礎研究	△	→	● GENIプロジェクト ⁶⁾ に関心を持つ大学、米国電中研（EPRI）、DOE 国立研究所などで基礎研究が行われていると思われる。
	応用研究・開発	○	→	● 全世界電力ネットワークを直接ターゲットとするような応用研究・開発はなされていないものの、その実現を想定した既存技術の革新、特にスマートグリッド実証プロジェクト（New Mexicoなど）で得た系統制御技術でのノウハウの蓄積が進められている。
	産業化	△	→	● EPRIやGEを中心として、システムコーディネートにおける世界市場の獲得という戦略で全世界電力ネットワークを捉えているものと考ええる。
欧州	基礎研究	○	↗	● DESERTEC プロジェクト ⁵⁾ の発信元ということで、EC各国の大学と研究機関において、基礎研究が進んでいる。
	応用研究・開発	○	→	● DESERTEC プロジェクト推進のため、ABB、Siemens、Alstom という欧州3強メーカーが中心となり、大学や研究機関と協力して、既存技術の延長線として応用研究を進めている。
	産業化	△	→	● 欧州3強メーカーがもつ、送変電分野の世界市場シェアは50%とも言われる実績を維持しつつDESERTEC プロジェクトおよび全世界電力ネットワークの主導権を取ろうとしているものと考えている。
中国	基礎研究	△	→	● 自国の電源開発が急務で有り、日米欧をキャッチアップする基礎研究が急速に進められている現状を考えると、全世界電力ネットワークはまだ視野の外かもしれない。
	応用研究・開発	△	→	● 基礎研究と同様、自国の電源開発が優先され、まずは既存技術のあらゆる応用研究、開発が、メーカー、研究機関、大学の共同で推進されている。全世界電力ネットワークはその延長上であるとの認識もあるかもしれない。
	産業化	△	→	● 国家電網の主導の下、既存技術でできる送変電機器の量産化、安価をセールスポイントとした世界市場を目指した産業化を推進することにより、世界市場の獲得という戦略で全世界電力ネットワークを捉えているものと考ええる。
韓国	基礎研究	△	→	● 当面の課題として北朝鮮との系統連系を軸に、全世界電力ネットワークの基礎研究が進められていると考える。
	応用研究・開発	△	→	● 関西電力（株）、韓国メーカーが中心となり、それに研究機関と大学が加わり、既存技術の産業化を目指した応用研究・開発を推進しており、その延長上として全世界電力ネットワークの研究を想定しているものと考ええる。
	産業化	△	→	● 現在、国をあげて産業界（製造事業者、設置工事、電気事業者）と一体となって輸出産業化に取り組んでいる。全世界電力ネットワークもその延長上であると思われる。

（注 1）フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（注 2）現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（注 3）トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用・参考資料

- 1) 資源エネルギー庁. 平成 22 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2011）. 2011. <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm>
- 2) International Energy Agency（IEA）. World Energy Outlook 2011, 2011 年.
- 3) International Energy Agency（IEA）. World Energy Outlook 2012, 2012 年.

- 4) 日本学術会議. 理学・工学分野における科学・夢ロードマップ 電気電子工学分野. 2011. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h132-11.pdf>
- 5) 藤木俊光. "重電機器産業について". 経済産業省 エネルギービジネス戦略研究会（第2回） - 資料3. 2012年5月15日.
- 6) DESERTEC Projects. <http://www.desertec.org/>
- 7) ジェネシス計画（Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grid）. <http://taiyoukou-system.net/>
- 8) GENI（Global Energy Network Institute）. <http://www.geni.org/index.html>

参考文献

1. バイオマス活用推進会議. 2012. バイオマス事業化戦略（平成 24 年 9 月）.
2. Bertani, R. 2012. Geothermal power generation in the world 2005–2010 update report. *Geothermics*. vol. 41, p. 1-29.
3. 中部電力. n.d. 太陽光発電の導入量.
http://www.chuden.co.jp/energy/ene_energy/newene/ene_data/dat_sun/index.html
4. CRDS（（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター）. 2011a. 環境・エネルギー分野 科学技術・研究開発の国際比較 2011 年版（11IC02）.
5. CRDS. 2011b. 戦略提言「エネルギー分野研究開発の戦略性強化」（11SP03）.
6. CRDS. 2012a. 戦略プロポーザル「エネルギー政策のための技術・経済モデルの研究開発」（11SP07）.
7. CRDS. 2012b. G-TeC 報告書「先端研究基盤とグリーンイノベーション」（11CR03）.
8. IEA (International Energy Agency). 2010. *Renewables Information 2010*.
9. IEA. 2011. *World Energy Outlook 2011*.
10. IEA. 2012a. *Key World Energy Statistics 2012*.
11. IEA. 2012b. *World Energy Outlook 2012*.
12. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007, Synthesis Report*.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html.
13. IPCC; 文部科学省, 経済産業省, 気象庁, 環境省 訳. 2009. IPCC 地球温暖化第四次レポート -- 気候変動 2007. 中央法規出版.
14. IPCC. 2012. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)*. <http://srren.ipcc-wg3.de/report>
15. 石川雅雄ほか. 2008. ガスタービンコンバインドサイクルプラントの高効率化への取組み. 三菱重工技報. vol. 45, No.1.
<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/451/451012.pdf>
16. 自動車技術会. 2007. （社）自動車技術会創立 60 周年記念フォーラム「日本における自動車燃料シナリオフォーラム」（2007 年 5 月 23 日）資料.
17. 環境省. 2000. 中央環境審議会企画政策部会「地球温暖化防止対策の在り方の検討に係る小委員会」報告書（2000 年 12 月 13 日）.
<http://www.env.go.jp/houdou/gazou/1443/966/170.pdf>
18. 環境省. 2010a. 中央環境審議会地球環境部会国内排出量取引制度小委員会（第 13 回）（2010 年 10 月 18 日）. <http://www.env.go.jp/council/06earth/y0610-13.html>
19. 環境省. 2010b. 国内排出量取引制度（キャップ・アンド・トレード）.
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/capandtrade.html>
20. 環境省. 2011a. 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書（2011 年 3 月）.
21. 環境省. 2011b. エネルギー供給 WG 資料（2011 年 3 月）.
22. 環境省. 2012a. 環境省の歩み、環境省のご案内 2012.
http://www.env.go.jp/guide/gyomu_pdf/pdf/p034-035.pdf

23. 環境省. 2012b. 平成 24 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書.
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h24/index.html>
24. 笠木伸英. 2012. 福島原発事故から学ぶ科学者の責任と役割. エネルギー・資源. vol.33, no. 2, p. 32-37.
25. 笠木伸英. 2013. 政策オプションの定量的プライオリティセッティングの試みーエネルギー分野の研究開発課題を例としてー. 第 1 回グリーンイノベーション戦略懇談会（2013 年 1 月 22 日）配付資料 3.
26. 経済産業省. 2008. Cool Earthーエネルギー革新技術計画、2008 年 3 月.
http://www.enecho.meti.go.jp/policy/coolearth_energy/coolearth-hontai.pdf
27. 経済産業省. 2012a. 総合資源エネルギー調査会総合部会 天然ガスシフト基盤整備専門委員会 報告書（2012 年 6 月）.
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/kiban_seibi/pdf/report01_01_00.pdf
28. 経済産業省. 2012b. 総合資源エネルギー調査会総合部会 天然ガスシフト基盤整備専門委員会（第 6 回）（2012 年 6 月 26 日）議事要旨.
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/kiban_seibi/006_giji.html
29. 経済産業省. 2012c. 平成 23 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書）.
30. 経済産業省資源エネルギー庁. 2008. 平成 19 年度未利用エネルギー面的活用熱供給適地促進調査報告書 概要版（2008 年 3 月）.
31. 経済産業省資源エネルギー庁. 2010. 2010 年度版総合エネルギー統計.
32. 経済産業省資源エネルギー庁. 2011. トップランナー基準の現状について.
<http://www.meti.go.jp/press/20110124003/20110124003-10.pdf>
33. 経済産業省資源エネルギー庁. 2012a. 電力小売市場の自由化について. 2012 年 8 月, 電力・ガス事業部電力市場整備課.
<http://www.enecho.meti.go.jp/denkihp/genjo/seido1206.pdf>
34. 経済産業省資源エネルギー庁. 2012b. ガス事業制度の現状について.
<http://www.enecho.meti.go.jp/gasHP/genjo/index.html>
35. 経済産業省 資源エネルギー年鑑 編集委員会. 2011. 2011 資源エネルギー年鑑.
36. 橘川武郎. 2011. 【通産政策史シリーズ】資源エネルギー政策（1973-2010）.（独）経済産業研究所 BBL セミナー（2011 年 10 月 6 日）プレゼンテーション資料.
37. 木村幸, 小澤由行, 杉山大志. 2007. 政府エネルギー技術開発プロジェクトの分析ーサンシャイン、ムーンライト、ニューサンシャイン計画に対する費用効果分析と事例分析ー. 電力中央研究所報告 Y06019.
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y06019.html>
38. 小林由則ほか. 2011. 究極の高効率火力発電ー SOFC(固体酸化物形燃料電池) トリプルコンバインドサイクルシステム. 三菱重工技報. vol. 48, No.3.
<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/483/483016.pdf>
39. （財）高度情報科学技術研究機構. n.d. 原子力百科事典 ATOMICA.
<http://www.rist.or.jp/atomica/index.html>
40. （独）国立環境研究所 地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス.

- 日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2010 年度）確定値。
<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
41. 内閣府. n.d. 統計情報 国民経済計算（GDP 統計）.
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>
42. 内閣府. 2009. 2009 年度国民経済計算（2000 年基準・93SNA）、国内総生産（支出側）、実質（連鎖方式）.
http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h21/h21_kaku_top.html
43. 内閣府. 2010. 2010 年度国民経済計算（2005 年基準・93SNA）、国内総生産（支出側）、実質（連鎖方式）.
http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h22/h22_kaku_top.html
44. 内閣府 国家戦略室. 2012. 「革新的エネルギー・環境戦略」策定に向けた中間的な整理. エネルギー・環境会議 第2回会議（2011 年 7 月 29 日）配布資料.
45. NEDO（（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構）. 2009. 太陽光発電ロードマップ（PV2030+）. 2009 年 6 月.
46. NEDO. 2010a. 再生可能エネルギー技術白書. 2010 年 7 月.
47. NEDO. 2010b. 技術戦略マップ.
48. NEDO. 2011. 平成 22 年度成果報告書、風力等自然エネルギー技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務. 2011 年 3 月.
49. 日本風力発電協会. 2012. 自然エネルギー白書（風力編）V3.2. 2012 年 2 月.
50. 日本経済新聞社. 2012. ガス小売り完全自由化を 経産省専門委「制度見直し必要」. 日本経済新聞, 2012 年 6 月 26 日.
http://www.nikkei.com/article/DGXNASFS2600G_W2A620C1EB2000/
51. 日本太陽光発電協会. 2010. PV News. (2010 年 5 月).
52. REN21. 2012. Renewables Global Status Report.
<http://new.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>
53. 産総研（（独）産業技術総合研究所）n.d. 太陽光発電工学研究センター. 太陽電池の原理.
http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/principle/principle_4.html
54. 自然エネルギー政策プラットフォーム. 2010. 自然エネルギー白書 2010. 2010 年 3 月.
55. 首相官邸. 2010. 新成長戦略. <http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/>
56. UNEP (United Nations Environment Programme). 2012a. The Emission Gap Report 2012.
<http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgap2012/>
57. UNEP. 2012b. Global Trends in Renewable Energy Investment 2012.
<http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2012>

58. 山口 聡. 2007. 電力自由化の成果と課題－欧米と日本の比較－. 調査と情報－ISSUE BRIEF－. No. 595（2007年9月25日）.
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/issue/0595.pdf>

専門用語解説

説明文中で下線のついた語は別の見出し語になっています。

ウィンドファーム (wind farm)

集合型風力発電所とも呼ばれる。多数の風力タービンを一箇所に集めて発電する施設。陸上でも洋上でも設置可能で、陸上は米国で、洋上は欧州で先行している。

エネファーム

家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの愛称(「エネルギー」と「ファーム＝農場」の造語)。2008年6月25日に燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)が家庭用燃料電池の認知向上を推進する取り組みとして統一名称を決定した。都市ガス等から改質器を用いて水素を取り出し、空気中の酸素と反応させて電気と熱をつくる熱併給発電システム。

エネルギーキャリア (energy carrier)

エネルギーの供給と需要の空間的・時間的ギャップを克服するために、化学エネルギーの形で輸送あるいは貯蔵する媒体となる物質。

温室効果ガス (greenhouse effect gas; greenhouse gas と書かれることが多い)

大気中で赤外線を吸収・射出する気体分子。そのうち気候変動枠組み条約の京都議定書で排出量削減対象となっている物質は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O、亜酸化窒素)、ハイドロフルオロカーボン類(HFCs)、パーフルオロカーボン類(PFCs)、六フッ化硫黄(SF₆)の6種類である。

環境税 (炭素税、地球温暖化対策税)

経済活動がもたらす環境悪化の費用を価格に反映させるため、環境負荷の大きさに応じてかけられる税。特に地球温暖化の対策として二酸化炭素排出量に応じた税をかけることが提案されている。

カントリーリスク (country risk)

ここでは、一次エネルギー資源供給国の政治・経済・社会の変化やその不確実性に伴うリスク。

高位発熱量 (higher heating value, HHV) と低位発熱量 (lower heating value, LHV)

燃料がもつエネルギーの値を評価する際の2種類の基準のとりかた。発熱量は、燃料を乾燥空气中で燃焼させて燃焼ガスをもとの温度に戻す過程で発生する熱として定義される。その際に、燃焼ガス中の水蒸気が凝縮するとしてその潜熱を勘定に入れた発熱量を高位発熱量、水蒸気のままと考えて潜熱を除外したものを低位発熱量という。

高温岩体 (hot dry rock)

高温ではあるが、熱水や蒸気を自噴するほど圧力が高くない地熱資源。熱源はあるが水分がないことが多く、そのままでは地熱発電には使えない。

コジェネレーション (cogeneration; コージェネレーションとも書かれる)

燃料を用いて発電し、同時にその排熱を冷暖房や給湯などに利用する仕組み。大型火力発電システムの多くでは発電後の排熱は環境に捨てられるが、これを有効に利用して、全体としてエネルギーの高効率利用が可能となる。

固定価格買取制度 (Feed-in Tariff)

再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定の期間電気事業者調達を義務づけるもの。日本では2012年7月1日に全量固定価格買取制度がスタートした。

コンバインドサイクル発電 (combined-cycle power generation)

複数の熱機関を組み合わせる発電技術をさす。通常は、火力でガスタービンを駆動し、その排熱を利用して蒸気タービンを駆動することをさす。

再生可能エネルギー (renewable energy)

太陽・風・海(波や海流)・地球内部の熱(地熱)といった、自然界から持続的に得られる力を利用して産生・供給されるエネルギーで、「自然エネルギー」とも呼ばれる。これらは化石資源と異なり、人間社会にとって枯渇しない(流量は有限だが累積供給量は無限とみなせる)エネルギーでもある。

在来型、非在来型

石油・天然ガスの採取技術の観点からの分類。在来型は地中からそのまま採取できる場合、非在来型は吸着・錯体・重合などを解いてやる必要がある場合。非在来型の石油にはオイルサンド、シェールオイル、天然ガスにはシェールガス、CBM、メタンハイドレートなどがある。

資源賦存量

潜在的に利用可能な資源量。再生可能エネルギーの場合は設備容量と同じ単位時間当たりの仕事量の値で示される。理論的に有用でないと判断されるものは除く（例えば、風力エネルギーの資源賦存量の評価では風速 5.5m/s 未満の場合が除かれた）が、種々の制約要因（土地用途、法令、利用技術、施工性など）によって利用が不可能になるかどうかは考慮しない。

質量分析 (mass spectrometry)

分子やイオンの質量電荷比を求める時に使用される分析法。既知物質の同定、未知物質の構造決定、物質の供給源や移動速度の推定が可能になるため、有機化学・生化学・地球科学の分野でよく利用される。

蒸気フラッシュ発電

地熱発電において、熱水を減圧して蒸気を得てタービンを回し、発電する方式。通常は熱水の状態では発電に使用せずそのまま地中に戻されるが、この方式により発電効率は向上する。

新エネルギー

「再生可能エネルギー」の広い意味の同義語であるが、正確には「新エネルギー法」（「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」、1997年成立）に基づき政策上の支援対象として指定される石油代替エネルギー（太陽光、風力、バイオマス、廃棄物など）をさす。2008年に同法が改正され、中小水力と地熱（バイナリー方式）が追加された。

スマートメーター（smart meter）

スマートグリッド（smart grid：2.2.2(2)節の「エネルギー利用技術・システムの項」参照）の需要家末端で用いられる通信機能を備えた電力自動検針メーターで、電力会社と需要者とのデータのやり取りのほか、家電製品などと接続してそれを制御したりすることができる。

石炭ガス化燃料電池複合発電（integrated (coal) gasification fuel-cell combined cycle, IGFC）

石炭からガスを生成し、それを燃料として、燃料電池による発電と、ガスタービン・蒸気タービンによるコンバインドサイクル発電を行う、複合技術。

石炭ガス化複合発電（integrated (coal) gasification combined cycle, IGCC）

石炭からガスを生成しそれを燃料としてコンバインドサイクル発電を行う複合技術。

設備（総）容量

発電設備における単位時間当たりの最大仕事量。単位はワット（W）あるいは実用的にキロワット（kW）が用いられる。

総合エネルギー効率（total energy efficiency）

燃料が実際に使用されて生じるエネルギー量と、実際に利用できるエネルギー量（エネルギーの変換や輸送などによって生じる損失量を差し引いた量）が比率で表された数値のこと。

超臨界圧火力発電（supercritical steam power generation）

蒸気タービンによる発電で、ボイラーでの水の気化を水の臨界圧（22.1 MPa）を超える高温・高压条件で行う技術。

超々臨界圧火力発電（ultra-supercritical steam power generation）

超臨界圧火力発電のうちで、温度 593℃以上、圧力 24.1 MPa 以上のもの。

低位発熱量 → 高位発熱量

熱効率 (thermal efficiency)

熱が仕事や電力に変換される割合。熱力学第2法則による限界値がある。熱機関の性能の代表的指標である。ヒートポンプの性能の指標は COP(成績係数) である。

二酸化炭素回収貯留 (carbon dioxide capture and storage, CCS)（「二酸化炭素 (carbon dioxide)」のところを「炭素 (carbon)」とする場合、「貯留 (storage)」のところを「隔離 (sequestration)」とする場合もある。）

地球温暖化の緩和のために、二酸化炭素を大気に出ていかにないように長期的に閉じ込める技術。典型的な技術構成では、化石燃料の燃焼によって生じる排気から二酸化炭素を化学反応によって吸収し、二酸化炭素に戻してパイプラインで輸送し、液体または超臨界流体の形で地下(海底下を含む)の地層中に注入する。

排出量取引 (キャップ・アンド・トレード cap and trade)

環境負荷物質の排出枠（キャップ）を設定、排出者に初期配分し、排出者間で取引(トレード)を可能とすることによって、排出削減を確実に効率的に実施しようとするしくみ。

特に、国際的に約束した日本の温室効果ガス削減の数値目標を達成するための国内対策として、個々の企業に排出枠を設定する国内排出量取引制度が検討されている。

ハイパーコール

石炭の有効成分を溶剤で抽出し再固化して作った超低灰分炭。

パワーコンディショナー (power conditioner, パワコン)

太陽光発電システムや家庭用燃料電池から得られる電力を家庭などの環境で使えるように変換する機器であり、インバータの一種である。ソーラーパネルなどで発電される電力は通常直流であるが、これを交流に変換することで一般家庭等の電気機器に利用可能な電力になる。パワコンの性能は直流から交流に変換する変換効率と、一度にどれだけの電力を変換できるか（容量）によって決まる。

浮体式洋上風力発電 (floating wind turbine)

洋上風力発電の一種で、洋上に浮かんだ浮体式構造物を利用する風力発電を指す。これに対して海底に基礎を据えるのが着床式風力発電で、英国やデンマークで設置が進んでいる。水深 50m を超えると着床式ではコスト高になるため、浮体式が利用される。また、浮体にはいくつかの形式（種類）があり、単純円筒形のスパー型や構造物の下半分が水中に潜るセミサブ型（半潜水型）が代表的である。

バイナリー発電 (binary power generation)

一般に地熱発電は、温度が 150℃以上の地下からの蒸気でタービンを回して発電するが、より温度の低い蒸気の持っている熱を水よりも蒸発しやすい流体(例:ペンタン、沸点 36℃)に熱交換させ、ペンタン等の蒸気をつくりタービンを回して発電する方式。水とペンタン等の二つの流体を利用することから「バイナリー」の言葉が使われる。これにより、従来利用

できなかった低温の蒸気や熱水が有効利用できる。

ベースロード (base load)

電力、ガスなどの事業において、ある期間における、最低の変動することのない稼働状態のこと。

マイクログリッド (microgrid)

小規模な電力系統。再生可能エネルギーを中心とした地域分散型エネルギー供給源と、住宅、オフィス、学校などのエネルギー需要群を、情報通信技術を利用して自立的ネットワークとして管理運転する。平常時は広域の電力系統に依存しない。

ランキンサイクル (Rankine cycle、蒸気サイクル)

地熱発電では、火力発電や原子力発電と同様に蒸気タービンを回して発電するが、作動流体である水はボイラーとタービンの間を循環する過程で、昇圧・加熱・膨張・凝縮を繰り返しながら熱の吸収と放熱を行う熱機関サイクルを構成する。このような水の熱力学的な状態変化の過程を利用して、熱を仕事に変換するサイクルをさす。

リグノセルロース (lignocellulose)

リグニンとセルロースの結合した物質で、植物の木質部にみられる。リグニンは木質とも呼ばれる高分子物質で、木材では 20～30% を占める。セルロースは繊維素とも呼ばれる有機化合物で、植物の約 3 割を占める。

ARPA-E	Advanced Research Projects Agency - Energy エネルギー高等研究計画局 (米国エネルギー省の機構名)
BDF	bio-diesel fuel バイオディーゼル燃料
BTX	benzene, toluene, xylene ベンゼン、トルエン、キシレンの三つの石油化学原料の総称
BEMS	building energy management system (オフィスビル等の建物の <u>EMS</u>)
CBM	coal-bed methane 炭層メタン
CCS	carbon dioxide capture and storage <u>二酸化炭素回収貯留</u>
CHP	combined heat and power 熱電併給
COP	coefficient of performance 成績係数。 エアコン、冷凍機などのエネルギー消費効率を表す指標の一つ。エアコンや冷凍機が作り出す熱・冷熱量の、消費する電力量に対する割合を示す。
COP	Conference of the Parties (条約、ここでは気候変動枠組み条約の)締約国会議
CTL	coal-to-liquid 石炭液化
DME	dimethyl ether ジメチルエーテル
DNA シークエンサー (DNA sequencer)	遺伝情報である DNA (デオキシリボ核酸) を構成する塩基配列を解読する

	ための機器。
DOE	Department of Energy (米国)エネルギー省
EERP	European Economic Recovery Plan ヨーロッパ経済復興計画 (EU の事業計画の名称)
EGS	enhanced geothermal system 高温岩体地熱発電
EJ	exajoule エクサジュール $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$
EMS	energy management system エネルギー・マネジメント・システム。 電力・ガス等のエネルギーの配送やコジェネレーションなどの設備の運用状況、さらには消費状況やそれに影響する環境条件などをモニターし、リアルタイムの情報処理によって、運用を最適化するシステム。
EOR	enhanced oil recovery 石油増進回収
ETBE	ethyl-tert-butyl ether エチル tert ブチルエーテル
EV	electric vehicle 電気自動車
FC	fuel cell 燃料電池
FIT	feed-in tariff 固定価格買取制度
FP7	7th Framework Programme 第7次研究枠組み計画 (EU の研究開発事業群の名称、2007-2013 年)
FC	fuel cell 燃料電池
FCC	fluid catalytic cracking 流動接触分解
FCV	fuel cell vehicle 燃料電池自動車
FT 反応	Fischer-Tropsch reaction フィッシャー・トロプシュ反応 (一酸化炭素と水素から触媒反応を用いて液体炭化水素を合成する)
GTCC	gas turbine combined cycle ガスタービン・コンバインドサイクル発電
GTL	gas-to-liquid ガスからの液体燃料合成
GWP	global warming potential 地球温暖化ポテンシャル
HEMS	home energy management system (住宅の EMS)
HFC(s)	hydrofluorocarbon(s) ハイドロフルオロカーボン (炭素・フッ素・水素からなる化合物で、クロロフルオロカーボン(フロン)に代わる代替フロンとして使われたが、温室効果ガス的一种として排出削減対象となった。)
HHV	higher heating value 高位発熱量
HV	hybrid vehicle ハイブリッド自動車
HVDC	high-voltage, direct current 高圧直流送電
IEA	International Energy Agency (OECD の)国際エネルギー機関
IGCC	integrated gasification combined cycle 石炭ガス化複合発電
IGFC	integrated gasification and fuel cell cycle 石炭ガス化燃料電池複合発電
IODP	Integrated Ocean Drilling Program 統合国際深海掘削計画 (国際事業名)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
KEPCO	Korea Electric Power Corporation 韓国電力公社
LCA	life-cycle assessment ライフサイクルアセスメント

LHV	lower heating value <u>低位発熱量</u>
LiB, LIB	lithium ion battery リチウムイオン電池
LNG	liquefied natural gas 液化天然ガス
LPG	liquefied petroleum gas 液化石油ガス
NEDO	(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構
NOx	窒素酸化物
NREL	National Renewable Energy Laboratory (米国エネルギー省)国立再生エネルギー研究所
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development 経済協力開発機構
PCM	phase change material 相変化材料 (融解の潜熱が大きく蓄熱に適した物質)
PFC(s)	perfluorocarbon(s) パーフルオロカーボン (炭素とフッ素だけからなる化合物で、温室効果ガスの一種)
PHV	plug-in hybrid vehicle プラグインハイブリッド自動車
PJ	petajoule ペタジュール 1 PJ = 10 ¹⁵ J
PM	particulate matter (大気汚染物質としての)粒子状物質
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (パリに本拠を置く国際的組織)
RPS	renewables portfolio standard 再生可能エネルギー利用割合基準
RPS 法	正式には「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」で、新エネルギー等利用法とも呼ばれる。2003年4月1日より施行され、電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務付けることにより、新エネルギー等の利用を推進していくための法律。対象となるのは、風力・太陽光・地熱（熱水を著しく減少させないもの）・水力（1000kW 以下のものであって、水路式の発電及びダム式の従属発電）・バイオマス（廃棄物発電及び燃料電池による発電のうちのバイオマス成分を含む）による電力。
SNG	synthetic natural gas 合成天然ガス
SOEC	solid oxide electrolyser cell 固体酸化物形電気分解装置
SOFC	solid oxide fuel cell 固体酸化物形燃料電池
SOx	硫黄酸化物
TBC	thermal barrier coating
UHV	ultra-high voltage 超高電圧。「UHV 送電」は電圧百万 V 以上による送電をさす。
UNEP	United Nations Environmental Programme 国連環境計画
WE02012	国際エネルギー機関(IEA)のエネルギー見通し(World Energy Outlook) 2012年版

（付録１）検討の経緯

2010年度に実施した環境分野、エネルギー分野それぞれの構造と俯瞰対象範囲についての検討を踏まえ、2011年4月から8月にかけて俯瞰の活動方針を検討するとともに全体計画を策定した。2011年9月に「環境・エネルギー研究戦略会議」（略称：EE戦略会議）を設置して具体的な検討を開始した。また、2012年2月にはEE戦略会議での議論を深めるため、俯瞰区分に対応した3つの分科会（1．化石資源分科会、2．再生可能エネルギー分科会、3．エネルギー利用技術・システム分科会）を設置し、詳細な調査・分析、重点研究開発課題の抽出などをおこなった（EE戦略会議ならびに分科会の委員については、執筆者・協力者一覧を参照）。一連の検討過程において、2012年12月までに4回のEE戦略会議を開催した（図i）。2012年9月14日に開催した第4回EE研究戦略会議は、俯瞰ワークショップを兼ねて開催し、環境・エネルギー分野の俯瞰とそれに基づく主要研究開発領域、重点研究開発領域の抽出方法について討議した。

また、分科会については、主査の判断の下、EE戦略会議と並行して会議形式あるいはメールベースでの議論を進めた（表i）。



表 i 環境・エネルギー研究戦略会議 分科会開催実績

(2012年12月5日現在)

1. 化石資源分科会 主査：牧野尚夫 副所長（電力中央研究所 エネルギー技術研究所） 担当：関根泰フェロー	
第1回	2012年 5月 2日（水）13:00～15:00
第2回	2012年 5月 9日（水）13:00～15:30
第3回	2012年11月 7日（水）13:30～16:30
第4回	2012年11月28日（水）13:30～15:30
2. 再生可能エネルギー分科会 主査：木下健 教授（東京大学 生産技術研究所） 担当：福田哲也フェロー	
第1回	2012年 5月 2日（水）10:00～12:00
第2回	2012年 7月 5日（木）13:30～16:30
第3回	2012年 7月26日（木）13:30～16:00
第4回	2012年 8月 9日（木）13:30～16:30
第5回	2012年11月 6日（火）10:00～12:00
3. エネルギー利用技術・システム分科会 主査：金子成彦 教授（東京大学 大学院工学系研究科） 担当：宮下永フェロー	
第1回	2012年 5月11日（木）15:00～17:00
第2回	2012年 7月30日（月）13:00～15:00
第3回	2012年 7月31日（火）15:00～19:00
第4回	2012年11月 5日（月）9:30～12:30

※いずれの分科会も、会議形式とは別に、適宜、メールベースでの議論を実施。

（付録 2）執筆協力者一覧

※五十音順、敬称略、所属・役職は本報告書作成時点

■全体総括

笠木 伸英（JST 研究開発戦略センター 上席フェロー）

《環境・エネルギー研究戦略会議》

■委員

飯山 明裕（日産自動車株式会社 総合研究所 EV システム研究所 エキスパートリーダー）
柏木 孝夫（東京工業大学 ソリューション研究機構／先進エネルギー（AES）国際研究センター 特命教授／センター長）
金子 成彦（東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授）
金子 祥三（東京大学生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 特任教授・副センター長）
木下 健（東京大学 生産技術研究所 教授）
田中 知（東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻 教授）
橋本 和仁（東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 教授）
藤井 康正（東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻 教授）
牧野 尚夫（財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 副所長）
丸山 康樹（財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 主席研究員）
持田 勲（九州大学 炭素資源国際教育研究センター 特任教授）
山地 憲治（公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長）
横山 明彦（東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授）
横山 伸也（鳥取環境大学 環境学部 環境マネジメント学科 教授）

■化石資源分科会【主査：牧野 尚夫】

青木 秀之（東北大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授）
天野 寿二（東京ガス（株） 基盤技術部 技術研究所 所長）
菊地 隆司（東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 准教授）
野村 誠治（新日本製鐵（株） 技術開発本部 製鉄研究開発部 部長）
畑中 重人（JX 日鉱日石エネルギー（株） 中央技術研究所 所長）
藤岡 祐一（福岡女子大学 教授（前 RITE／三菱重工業））
渡邊 裕章（財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 主任研究員／主査補佐）

■再生可能エネルギー分科会【主査：木下 健】

植弘 崇嗣（一般社団法人 国際環境研究協会 プログラムオフィサー）
岡田 茂（東京大学 農学生命科学研究科 水圏天然物化学研究室 准教授）
黒川 浩助（東京工業大学 ソリューション研究機構／先進エネルギー（AES）国際研究センター 特任教授）

斉藤 哲夫 (一般社団法人 日本風力発電協会 企画局長)
瀬川 浩司 (東京大学 先端科学技術研究センター 教授)
丸山 康樹 (財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 首席研究員)
圓山 重直 (東北大学 流体科学研究所 教授)

■エネルギー利用技術・システム分科会【主査：金子 成彦】

浅野 浩志 (財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 所長)
飯山 明裕 (日産自動車 (株) 総合研究所 EV システム研究所 エキスパートリーダ)
壺岐 英 (JX 日鉱日石エネルギー (株) 研究開発本部 中央技術研究所 水素・新エネルギー
研究所 水素貯蔵・輸送グループマネージャー)
神本 武征 (東京工業大学 名誉教授)
久保 田純 (東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 准教授)
鹿園 直毅 (東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 教授)
日高 邦彦 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

■CRDS 委員

笠木 伸英 (JST 研究開発戦略センター 上席フェロー)
田中 一宜 (JST 研究開発戦略センター 上席フェロー)
鈴木 至 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)
関根 泰 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)
中村 亮二 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)
福田 哲也 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)
増田 耕一 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)
宮下 永 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット フェロー)

荻本 和彦 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット 特任フェロー)
久保田 純 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット 特任フェロー)
鹿園 直毅 (JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット 特任フェロー)

（付録3）研究開発の俯瞰報告書（2013年）第2版全分野で対象としている研究開発領域一覧

1. 環境・エネルギー分野（CRDS-FY2013-FR-02）

俯瞰区分	研究開発領域
化石資源エネルギー	低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）
	メタンハイドレート利用技術（中長期）
	超高温材料と伝熱技術（中長期）
	革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）
	超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）
	負荷運用性に優れCO ₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）
	劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術（中長期）
	吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）
	石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）
	次世代型バイオ燃料（中長期）
再生可能エネルギー	浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）
	バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）
	地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）
	超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）
	未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）
	高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）
	太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）
エネルギー利用技術・システム	低コスト・高効率燃料電池（短期）
	次世代二次電池（中長期）
	高効率ガソリンエンジン（短期）
	中低温熱利用基盤技術（短期）
	エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）
	再生可能電力による化学品生産技術（中長期）
	次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）
	電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

2. ライフサイエンス・臨床医学分野（CRDS-FY2013-FR-03）

俯瞰区分		研究開発領域
ヒトの理解につながる生物学		ゲノム科学
		構造生物学
		分子・細胞生物学
		ケミカルバイオロジー
		発生・再生科学
		脳・神経科学
		数理情報生物学
		物理生物学（生物物理学）
医療・福祉	疾患	悪性新生物
		循環器・代謝疾患
		感染症
		免疫疾患
		精神・神経疾患
		疫学
	医療技術	医薬品創薬および医薬品開発
		医療機器開発
		再生医療
		医療IT
		医療技術評価
ヒトと社会		ヒト由来試料
		幹細胞・再生医学に伴う倫理的、法的、社会的課題
		脳・神経倫理
		デュアルユース、バイオセキュリティ、生物化学兵器、バイオテロ対策、など
		被験者保護
		研究不正
		リテラシー・アウトリーチ
食料・バイオマス生産		作物増産技術
		持続農業
		機能性作物
物質・エネルギー生産		バイオ燃料
		化成品原料
		医薬品・食品原料
		資源回収・リサイクル

環境保全	微生物生態・環境ゲノミクス
	動物生態
	植物生理・生態
	生物多様性

3. 電子情報通信分野（CRDS-FY2013-FR-04）

俯瞰区分	研究開発領域
デバイス／ハードウェア	アンビエント・アジャイル・プラットフォーム
	極低電力ICT基盤技術
	ハイパフォーマンスコンピュータ基盤技術
ネットワーク	エラスティックネットワーク
	グリーンネットワーク
	フィールド指向ネットワーク
ソフトウェア	ソフトウェア工学
	プログラミングモデルとランタイム
ロボティクス	リアルワールドにおける機能提供技術
	QoLを向上させるためのロボット技術（あるいはサービスを実現するためのロボット技術）
	ロボット技術の社会的受容
知能/インタラクション	知能システムの基礎
	言語、メディア理解
	ヒューマンインターフェイス・インタラクション
	データ認知科学またはソーシャルサイエンス
	統合的人工知能
	強い人工知能
データベース	モバイル・センサデータベース
	トレーサビリティ、データプロヴェナンス、不確実データのためのデータベース技術
	グラフ・ストリームマイニング
	データのセキュリティとプライバシー
	ソーシャル・クラウドソース
	ポリシー（プライバシー）
	ポリシー（著作権）
ITアーキテクチャ	社会システムアーキテクチャ
	柔軟なアーキテクチャ
	CPSアーキテクチャ
レジリエントICT	レジリエント・システムソフトウェア
	レジリエントネットワーク
	レジリエントデバイス
	レジリエント情報社会

CPS （ Cyber Physical Systems）	センシング
	アクチュエーション
	プロセッシング
	人間・社会のモデリング
ビッグデータ	大量データ処理プラットフォーム技術
	データマイニングによるビッグデータ分析活用基盤技術
	ライフサイエンス分野におけるビッグデータ
	天文科学分野におけるビッグデータ
	ITメディア分野におけるビッグデータ
	ソーシャルコンピューティング
知のコンピューティング	知のメディア
	知のプラットフォーム
	知のコミュニティ

4. ナノテクノロジー・材料分野（CRDS-FY2013-FR-05）

俯瞰区分		研究開発領域
グリーンナノテクノロジー	エネルギーを創る	太陽電池
		人工光合成
		燃料電池
		熱電変換
	エネルギーを運ぶ・貯める	蓄電デバイス
		パワー半導体デバイス
		高温超伝導送電
	エネルギーを節約する	グリーンプロセス触媒
		ナノ組織構造制御材料
	環境を守る	元素戦略・希少元素代替技術
		分離機能材料による水処理
		放射性物質除染、減容化
バイオナノテクノロジー		生体材料（バイオマテリアル）
		ナノ薬物送達システム（ナノDDS）
		ナノ計測・診断デバイス
		バイオイメーjing
ナノエレクトロニクス		超低消費電力ナノエレクトロニクスデバイス
		異種機能三次元集積チップ
		センシングデバイス・システム
ナノテクノロジー・材料科学技術基盤		超微細加工技術
		MEMS／NEMS
		ボトムアップ型プロセス（原子・分子制御、自己組織化）
		分子技術
		界面制御
		空間・空隙構造制御
		バイオミメティクス
		ナノ計測
		物質・材料シミュレーション
		リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションと社会受容

5. システム科学技術分野（CRDS-FY2013-FR-06）

俯瞰区分	研究開発領域
意思決定とリスクマネジメント	意思決定
	リスク概念と尺度
	統合・複合リスク・その他リスク
	市場リスク
	信用リスク
	リスクマネジメントの数値計算
モデリング	先端的数理モデリング
	エージェント・ベース・モデルとミクロ・マクロ連携
	統計モデル
	動学的経済モデルと統計整備
	データ同化：新しい戦略分野の開拓
	データマイニング・機械学習
	モデル合成による社会課題解決の展望
	モデルの正則化・最適化
	モデル統合に基づくシステム設計とその評価
	モデルの評価技術
制御	学習制御／適応制御
	ロバスト制御
	最適制御／予見制御／予測制御
	分散制御／分布制御
	合意・同期・被覆制御
	大規模・ネットワーク制御
	確率システム制御
	故障検出／信頼性設計
	制御の基盤としてのシステム理論
最適化	基礎分野としての最適化
	連続的最適化
	離散的最適化
	最適化計算
	最適化モデリング
	最適化ソフトウェアと応用
ネットワーク論	複雑ネットワークおよび総論
	機械学習・データマイニング分野におけるネットワーク構造解析
	ネットワークに関する離散数学
	ネットワーク解析用ソフトウェア

（付録４）索引

- ACC65
- BDF （バイオディーゼル燃料）82, 168
- BEMS39, 148, 168
- CBM （コールベッドメタン）34, 165, 168
- CCS （二酸化炭素回収貯留）19, 51, 52, 55, 56, 70, 74, 82, 83, 167, 168
- CHP （熱電併給）22, 66, 168
- COP （成績係数）18, 27, 40, 137, 138, 167, 168
- COP （締約国会議）30, 150, 168
- CTL （石炭液化）53, 168
- DME （ジメチルエーテル）23, 78, 168
- EGS （高温岩体地熱発電）113, 169
- EMS （エネルギーマネジメントシステム）39, 148~151, 168, 169
- EOB （石油増進回収）56, 169
- EV （→電気自動車を参照）19, 39, 40, 125, 127, 129~131, 144, 149, 150, 169
- FCV （→燃料電池自動車参照）27, 40, 67, 122, 124, 125, 140, 142~144, 169
- Fischer-Tropsch 反応79, 82, 169
- FIT （固定価格買取制度）12, 18, 25, 31, 36, 165, 169
- GTCC （ガスタービンコンバインドサイクル発電）169
- HEMS39, 148, 169
- HHV （高位発熱量）59, 164, 166, 169
- IGCC （石炭ガス化複合発電）51, 52, 69~71, 166, 169
- IGFC （石炭ガス化燃料電池複合発電）51, 70, 166, 169
- IPCC （気候変動に関する政府間パネル）29, 169
- LCA （ライフサイクルアセスメント）13, 55, 169
- LHV （低位発熱量）51, 59, 65, 164, 166, 170
- LNG （液化天然ガス）23, 32, 59, 65, 170
- LPG （液化石油ガス）15, 66, 170
- MACC65
- OECD （経済協力開発機構）28, 30, 42, 169, 170
- PPS （特定規模電気事業者）14
- RPS 法25, 111, 170
- SOFC （固体酸化物形燃料電池）16, 34, 35, 47, 48, 62, 63, 65~67, 143, 170
- TPES （一次エネルギー総供給）8, 18, 29
- 亜瀝青炭52, 74
- 一次エネルギー2, 7, 8, 18, 19, 28~30, 32, 101, 164
- 一次エネルギー供給7, 8, 30
- 一次エネルギー消費28
- 一般炭24, 73
- 一般電気事業者14
- ウインドファーム88, 89, 164
- 運輸部門7, 11, 18, 21, 27, 39, 148
- エアコン18, 107, 108, 137, 139, 168
- 液化石油ガス（LPG）15, 66, 170
- 液化天然ガス（LNG）23, 32, 59, 65, 170
- エタンクラッカー23, 79, 80
- エチレン23, 80, 146
- エネファーム18, 66, 140, 164
- エネルギー安全保障31
- エネルギー基本計画8, 45, 136
- エネルギーキャリア39~42, 47, 120, 140, 142, 146, 151, 164
- エネルギー政策基本法8
- エネルギー・フロー2, 3, 35, 49
- エネルギー転換11, 20, 140
- エネルギー転換部門11
- エネルギーの安定供給（→エネルギー安全保障を参照）3, 21, 22
- エネルギーマネジメントシステム（EMS）39, 148~151, 168, 169
- オイルサンド74, 165
- 温室効果ガス8, 10~12, 19, 29, 30, 32, 150, 161, 162, 164, 167, 169, 170
- 温泉バイナリー発電38
- 温暖化2, 8~13, 15, 21, 27, 29, 30, 33, 35, 45, 84, 136, 137, 164, 167, 169
- 温暖化係数136, 137
- 科学技術基本計画20, 21
- ガスタービン（GT）16, 23, 34, 59, 60, 61, 65, 66, 69, 153, 165, 166, 169
- 化石燃料2, 7, 11, 21, 27~29, 31, 32, 38, 40, 113, 116, 117, 137, 167
- ガソリン18, 23, 24, 27, 28, 40~42, 47, 120, 131~133, 140, 143, 146
- ガソリンエンジン28, 40~42, 47, 120, 131~134
- 褐炭23, 50~53, 74, 75
- 環境税11, 12, 164
- カントリーリスク29, 32, 35, 48, 164
- 気候変動問題2
- 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）29, 169

- 気候変動枠組み条約 ……9, 30, 150, 164, 168
給湯 ……2, 18, 21, 27, 39, 40, 116, 136, 137, 165
京都議定書 ……8～11, 19, 30, 32, 164
グリーンイノベーション ……2, 12, 21, 31, 32
軽水炉 ……17
系統対策 ……26, 38
軽油 ……23, 27, 28, 82, 131
原子力 ……4, 7, 13, 17, 19～21, 29～33, 43, 102, 110
原子力発電 ……2, 13, 17, 29, 31, 32, 102, 106, 168
原油 ……2, 29
原油価格 ……29
原料炭 ……23
高温岩体 ……110, 113, 165, 169
合成ガス ……34, 53, 79, 82
コークス ……23, 34, 51, 73, 74
コールベッドメタン（CBM） ……34, 165, 168
国内排出量取引制度 ……11, 12, 167
コージェネレーション（コージェネレーション）
……………18, 27, 39, 40, 165, 169
固体酸化物形燃料電池（SOFC） ……16, 34, 35, 47,
48, 62, 63, 65～67, 143, 170
固定価格買取制度（FIT） ……12, 18, 25, 31, 36, 165,
169
コンバインドサイクル発電 ……23, 59, 65, 165, 166, 169
最終エネルギー消費 ……18, 31
再生可能エネルギー ……2, 4, 5, 7, 12, 18, 19, 21,
25～27, 29, 31, 32, 35～41, 43, 47, 69, 77, 82～86,
92, 93, 102, 103, 107, 110, 111, 113, 127, 136, 137,
140～147, 149～152, 156, 157, 165, 166, 168, 170
在来型 ……29, 31, 34, 165
3E ……3, 4, 8, 31, 32
産業部門 ……11, 18, 19, 21, 148
サンシャイン計画 ……20, 25, 116
産炭地振興政策 ……23
シェールガス ……29, 34, 79, 80, 146, 165
資源賦存量 ……25, 36, 56, 165
次世代コークス製造技術（SCOPE21） ……23, 73
自然エネルギー ……33, 35, 37, 85, 146, 165
質量分析 ……92～94, 165
ジメチルエーテル（DME） ……23, 78, 168
重油 ……23, 79
省エネルギー（省エネ） 2, 7, 8, 10, 18, 20, 21, 27, 31,
33, 39, 40, 65, 107, 108, 117, 136
蒸気フラッシュ発電 ……110, 111, 113, 166
新エネルギー法 ……21, 166
人工光合成 ……25, 83
スマートグリッド ……22, 41, 148, 150～153, 158, 166
スマートメーター ……31, 148, 151, 152, 166
石炭 ……7, 19, 20, 23, 29, 31, 33～35, 47, 48,
50～53, 59, 66, 70, 71, 73, 74, 166～168
石炭液化（CTL） ……53, 168
石炭ガス化 ……23, 51, 53, 66, 67, 69, 70, 166, 169
石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC） ……51, 69,
166, 169
石炭ガス化複合発電（IGCC） ……51, 52, 69～71,
166, 169
石油危機（→石油ショックを参照） ……7, 8, 20, 25, 27,
44
石油ショック（→石油危機を参照） ……7, 8, 20, 25, 27,
44
石油精製 ……23
石油代替エネルギー ……7, 166
設備（総）容量 ……17, 25, 29, 37, 85, 112, 113, 117,
153, 165, 166
総合エネルギー効率 ……27, 41, 166
送配電 ……2, 14, 148, 151, 152, 157
ソーラーシステム ……25
太陽光 ……18, 20, 21, 25, 29, 35～39, 47, 82,
84, 85, 96～98, 101～103, 111, 115～118, 146,
148～151, 157, 165～167, 170
太陽電池 ……18, 25, 36, 39, 96～99, 101～104, 110,
116, 117, 152
太陽熱 ……25, 36, 38, 40, 47, 84, 96, 115～119, 136
断熱 ……18, 27, 40, 117, 136
暖房 ……2, 18, 27, 106, 107, 117, 165
地球温暖化 ……2, 8～13, 15, 21, 27, 35, 84, 164, 167,
169
地球温暖化対策推進法 ……10
蓄電池 ……40, 127, 128, 140, 149, 151, 152
地熱（→地熱エネルギー、地熱資源も参照） ……20, 21,
25, 35～38, 40, 47, 84, 85, 106, 107, 110～115, 136,
137, 165～170
地熱エネルギー ……20, 38, 47, 84, 106, 112～114,
地熱資源 ……38, 110～114, 165
着床式 ……25, 36, 90, 167
超超臨界圧蒸気プラント ……23
低位熱需要 ……2, 39
デマンドレスポンス ……148, 149, 151
電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別
措置法（RPS法） ……25, 111, 170
電気自動車（→EVを参照） ……19, 39, 40, 125,
127, 129～131, 144, 149, 150, 169
天然ガス（→LNGも参照） ……7, 15, 23, 29,
31～35, 48, 49, 53, 79, 165, 170
電力システム改革 ……14
都市ガス ……15, 23, 66, 146, 164
トップランナー ……18, 108

- ナフサ23, 79, 145
- 二酸化炭素2, 4, 11, 13, 19, 32, 70, 75, 82, 83, 93, 107, 112, 127, 164, 167, 168
- 二酸化炭素回収貯留（CCS）19, 51, 52, 55, 56, 70, 74, 82, 83, 167, 168
- 二酸化炭素排出量2, 11, 164
- 二次電池27, 28, 40, 41, 47, 120, 127~129, 140, 145, 150
- ニューサンシャイン計画20
- 熱効率16, 59, 106, 107, 115, 131~134, 167
- 熱電併給（CHP）22, 66, 168
- 燃費18, 23, 28, 133
- 燃料電池16, 18, 20, 21, 27, 28, 35, 40~42, 47, 48, 62, 63, 65~67, 69, 120, 122~125, 136, 140, 142~144, 147, 164, 166, 167, 169, 170
- 燃料電池自動車（FCV）27, 40, 67, 122, 124, 125, 140, 142~144, 169
- バイオエタノール（→バイオマスエタノールも参照）92, 94, 113
- バイオディーゼル燃料（→BDFも参照）82, 168
- バイオマス13, 19, 20, 23~26, 33~39, 47, 48, 51, 52, 74, 75, 77, 82, 84, 85, 92~95, 113, 165, 166, 170
- バイオマス・ニッポン総合戦略23, 26
- バイオマスエタノール（→バイオエタノールも参照）24
- バイオマス活用推進基本計画26
- 廃棄物9, 11, 13, 25, 26, 92, 113, 166, 170
- 排出量取引11, 12, 167
- バイナリー発電38, 40, 47, 84, 106, 108, 112, 136, 138, 167
- ハイパーコール50, 74, 167
- ハイブリッド自動車（HV）19, 127, 131, 144, 169, 170
- 発電2, 11, 14, 16, 18, 20, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 32, 34~39, 41, 47, 48, 50, 51, 59~61, 65~67, 69~71, 84, 85, 87~90, 92, 95~98, 101~103, 106~108, 110~119, 122, 136~138, 143, 148~153, 156, 157, 164~170, 174
- 発電効率17, 27, 36, 51, 65, 69, 96, 117, 166
- 発電電力量36, 37, 85, 136
- パワーコンディショナー26, 167
- ヒートポンプ39, 40, 136~138, 167
- 非在来型29, 31, 34, 165
- 微粉炭火力23, 69
- 風力25, 29, 35~39, 47, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 96, 110, 111, 115, 118, 142, 143, 145, 148~153, 164~167, 170
- 浮体36, 88~90
- 浮体式25, 36, 89, 167
- 浮体式洋上風力発電（→浮体式、洋上風力も参照）37, 47, 84, 87, 90, 167
- プラグインハイブリッド自動車（PHV）19, 27, 170
- 平準化33, 38, 40, 96, 140, 142, 145, 146
- ベースロード38, 168
- マイクログリッド151, 152, 168
- 未利用エネルギー20, 40, 106, 107, 108
- 民生部門7, 11, 18, 21, 27, 34, 40
- ムーンライト計画16, 20
- メタノール23, 53, 67, 79, 80, 82
- メタン34, 35, 47, 48, 55~58, 82, 142, 143, 145, 146, 164, 165, 168
- メタンハイドレート34, 35, 47, 48, 55~58, 165
- 木質系バイオマス24, 94
- 洋上風力25, 35~37, 39, 47, 84, 87, 90, 151, 167
- 余剰電力151, 156
- ライフサイクルアセスメント（LCA）13, 55, 169
- ランキンサイクル106, 110, 116, 117, 168
- 陸上風力25, 35, 36, 84
- リグノセルロース92, 168
- リモートセンシング技術36
- 劣質炭52, 74

謝 辞

本報告書を作成するにあたっては、研究開発戦略センター（CRDS）内外の多くの方々の継続的なご協力を賜った。環境・エネルギー研究戦略会議に委嘱させていただいた委員各位には、深く広範な専門知識と示唆に富んだご指摘をいただいた。同会議の下に設置された三つの分野担当の分科会の委員の方々には、当該分野における研究開発領域の抽出、各領域の現状と課題、国際比較などに関する調査分析に基づいて第3章の執筆に多大なお力添えをいただいた。また、環境・エネルギーユニット在籍の特任フェローの方々からは、数々のご助言やご示唆をいただいた。さらには、CRDS 関係者には、俯瞰作業の各段階において常に適切なアドバイスを賜った。紙面の都合でこれらの方々すべてのお名前をあげることができないが、ここに深く感謝の意を表すとともに厚く御礼を申し上げたい。

研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット一同

謝
辞

■研究開発の俯瞰報告書作成メンバー■

笠木	伸英	上席フェロー	
鈴木	至	フェロー	
関根	泰	フェロー	
中村	亮二	フェロー	
福田	哲也	フェロー	
増田	耕一	フェロー	(2013 年 3 月まで)
宮下	永	フェロー	(2013 年 3 月まで)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2013-FR-02

研究開発の俯瞰報告書

環境・エネルギー分野 (2013年)第2版

Panoramic View of the Environment and Energy Field (2013) 2nd Edition

平成 26 年 3 月 March 2014

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy

Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

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

©2014 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA CCTAACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

