

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTCGCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC  
TGA C CTAAC T CTCAGACC

CRDS-FY2011-CR-03

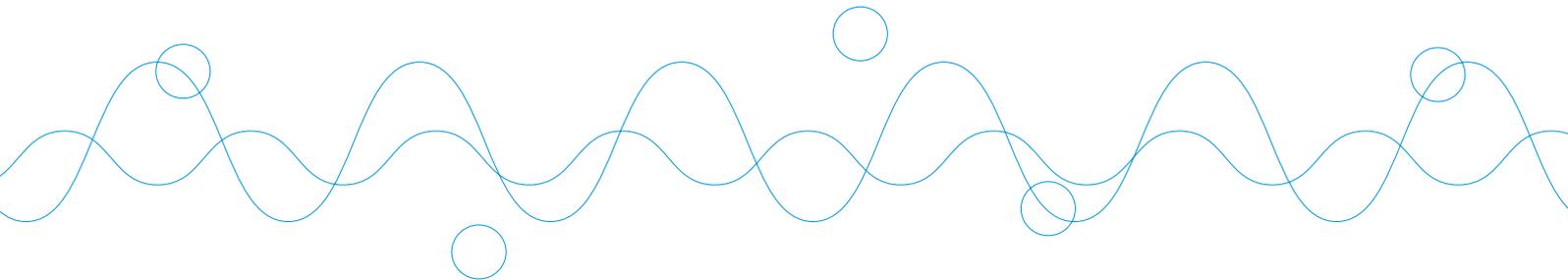
G-TeC報告書

# 先端研究基盤とグリーンイノベーション

G-TeC Report

Advanced Research Infrastructures and  
Their Utilization toward Green Innovation

0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
0101 000111 0101 00001  
001101 0001 0000110  
0101 11  
00110 11111100 00010101 011



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

## エグゼクティブサマリー

第4期科学技術基本計画の中で、成長をもたらす原動力として「グリーンイノベーション」及び「ライフイノベーション」という二つの柱が定められた。エネルギー・環境を対象とするグリーンイノベーション、医療・介護・健康を対象とするライフイノベーションが、震災からの復興と並び、5年間(2011年～2015年)の目標として明確に位置付けられている。科学技術によるイノベーションを重視する動きは、米欧にも共通して見られる。地球温暖化やグローバルな競争の激化など、高度で複雑な課題が顕在化し、その解決には従来の延長線上に無い新たな取り組みが必要となることが背景にある。社会課題の本質的解決に向け、未踏の科学原理や革新技術の創出が求められている。

イノベーションにつながる新たな科学原理や革新技術を創出する場合、未踏領域での挑戦を可能にする先端研究基盤が重要な役割を果たす。これまで観察できなかった微細な変化を検知する量子ビーム、仮想物質の機能をシミュレーションする超高速計算機などが代表として挙げられる。このため、日本では第4期科学技術基本計画において、重要課題達成に向けた施策として「科学技術の共通基盤の充実、強化」が掲げられ、「広範かつ多様な研究開発に活用される共通的、基盤的な施設や設備について、より一層の充実、強化を図る」ことが謳われた。米欧でも、研究基盤を構築・強化するための固有の方策が展開されている。

しかしながら一方で、イノベーションを促す先端研究基盤の整備には、継続した投資が必要になる。逼迫する財政状況は各国共通しており、こうした中で一定規模の投資を確保するために、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する取り組み」が強く求められるようになってきた。

実際に各国・地域の状況を概観すると、米国、英国及び欧州において特徴的な動きが見つかる。米国では国立科学財団、エネルギー省、国立衛生研究所などが基盤整備を行う中で、エネルギー省が「グリーンイノベーションのために先端研究基盤が果たす役割」を明らかにしている。英国では、基盤整備の中核を担う英国研究会議が、ロードマップの形で研究基盤の重要度を評価している。さらに、欧州全体では欧州研究基盤戦略フォーラムを母体とする基盤整備が展開されており、ここでも研究基盤の優先度を表す指標としてロードマップが用いられている。

したがって、これらの動きを詳細に分析すれば、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する」、さらには「先端研究基盤とイノベーションをつなぐジョン&戦略を策定する」ための有効なエビデンスが得られることになる。

そこで上記想定に基づき、「先端研究基盤とイノベーション」をテーマとする「G-TeC (Global Technology Comparison)」を行った。G-TeCは、重要な科学技術動向に焦点を当て、各国・地域の状況を分析することで日本のポジションを確認し、今後取るべき戦略の立案に貢献することをミッションとする。

調査には、公開情報に基づく基礎調査、米欧での海外現地会合などの手法を用いた。第一に、各国動向を概観することで、先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、米国、英国、欧州を選定した。第二に、基盤整備を推進している中核機関を特定し、

各機関が主導する研究基盤の整備状況を把握した。第三に、その中から、先端研究基盤を活用したイノベーションの取り組みを抽出した。その上で、第四に、これらの動きを詳細に分析することで、研究基盤への投資効果を高めるための要件を検討した。

得られた結果をまとめると、次のようになる。

- 1) イノベーションを促す科学技術の創出に向け、未踏領域での挑戦を可能にする先端研究基盤の役割が重要になっている。日本では第4期科学技術基本計画で「共通基盤の充実、強化」が掲げられ、米欧でも研究基盤を構築・強化する方策が打ち出されている。
- 2) 一方、逼迫する財政状況は各国共通しており、この中で一定規模の投資を確保するために、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する方策」が強く求められるようになってきた。上記に 대응するように、米国、英国及び欧州において特徴的な基盤整備が展開されている。
- 3) 米国では、国立科学財団の「“科学全般”を対象とした基盤整備」に加え、エネルギー省の「“エネルギー”を重点とした基盤整備」、国立衛生研究所の「“ライフサイエンス”を重点とした基盤整備」が進められている。
- 4) 2010年度の実績を見ると、科学全般を対象とした基盤整備に年間17億ドル、エネルギーを重点とした基盤整備に年間22億ドル、ライフサイエンスを重点とした基盤整備に年間12億ドルの資金が投入されている。
- 5) これらの取り組みの中で、研究基盤への投資効果を高める動きとして、エネルギー省がワークショップを活用しながら「グリーンイノベーションのために先端研究基盤が果たす役割」を明らかにしていった流れが注目される（内容は、11項以降で説明する）。
- 6) この他にも注目すべき動きが見つかる。英国では、研究基盤への投資効果を高める仕組みとしてロードマップが活用されている。そのために、英国研究会議が主要な役割を担っている。
- 7) 英国の場合、予算枠として、各研究会議の活動費に加え、「大型施設投資基金」が用意されている。2011年度の計画ではこれらの合計で、科学技術施設会議が2億8600万ポンド、工学物理科学研究会議が5700万ポンド、自然環境研究会議が6400万ポンド、医学研究会議が1億2800万ポンド、バイオテクノロジー生物科学研究会議が9700万ポンドを研究基盤に投ずる形となっている。
- 8) この内の大型施設投資基金について、英国研究会議が対象となる研究基盤の重要度を評価し、政府への助言を行っている。そのためにロードマップを策定しており、基金を提供する研究基盤は、原則として、英国研究会議が策定したロードマップに含まれることが要件となっている。

- 9) 欧州全体でも、研究基盤の優先度を評価する指標としてロードマップが用いられている。第7次研究枠組み計画で18億5000万ユーロを超える予算にて研究基盤への支援を行うことが定められ、この中で欧州研究基盤戦略フォーラムが策定したロードマップに基づく基盤整備が展開されている。
- 10) 欧州研究基盤戦略フォーラムは2002年に設立された組織であり、「欧州全体としての研究基盤のビジョン&戦略」を支援することをミッションとする。これまで3回に渡りロードマップを提示しており、2010年の最新ロードマップでは48の研究基盤が取り上げられた。これらに対し、第7次研究枠組み計画からの資金援助が行われている。
- 11) 研究基盤への投資効果を高める米英欧での動きの中から、イノベーションとの関わりが強く見られる取り組みを抽出すると、前述の米国エネルギー省が主導する「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」が浮かび上がってくる。
- 12) 米国は、未来の安定したエネルギー保障を実現するため、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションに取り組んでいる。具体的には、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用しながら、グリーンイノベーションの原動力となる「制御科学 (Control Science)」の新興を図っている。
- 13) 制御科学とは、エネルギーの物理又は化学的変換を支配している複雑な物質構造を設計・作製・制御するための科学基盤のことであり、「エネルギー現象の実態を明らかにする“観察科学”」と「求めるエネルギー現象を創り出す“ナノ科学”」、さらに「観察科学とナノ科学を理論で結びつける“計算科学”」を融合した新たな科学領域を意味する。
- 14) この制御科学の新興に向け、観察科学、ナノ科学、計算科学の3つを融合していく研究インフラとして、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤が重要な役割を果たすことになる。
- 15) 米国エネルギー省は、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオを描き出すために、2001年以降の10年をかけてビジョン&戦略を取りまとめた。そのために、研究サイドと政策サイドの双方から1600名を超える有識者が関与している。
- 16) 検討成果が「未来の安定したエネルギー保障を実現する基礎研究 (2003年2月)」から「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学 (2010年8月)」に至る14の報告書として発表されており、これらの中に、米国が掲げる「エネルギー研究のビジョン」、「制御科学の戦略的位置付け」及び「先端研究基盤の重要性」が明示されている。
- 17) この米国が展開するグリーンイノベーションのシナリオは、「イノベーションにつながる基礎研究」及び「基礎研究を支える先端研究基盤」を重視しているという大きな特徴を持つ。具体的には、次のような特徴を持っている。

- 第一に、最初にイノベーションを達成するための「社会課題（ここでは、“未来の安定したエネルギー保障”）」を掲げた上で、課題解決に必要となる「基礎研究（ここでは、“制御科学” の新興）」を特定している。
  - 第二に、特定した基礎研究に対する「先端研究基盤の重要性」を明示している。つまり、「基礎研究の中で先端研究基盤が果たすべき役割」を設定している。
  - 第三に、これらのビジョン&戦略が 14 の報告書として発表されており、その策定に、研究サイドと政策サイドの双方から 1600 名を超える有識者が関与している。
  - 第四に、これらの取り組みの結果として、「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオ」が構築、共有されている。
- 18) 米国はその後、シナリオを実現する仕組みとして「3つの研究イニシアチブ（エネルギーフロンティア研究センター、エネルギー高等研究計画局、エネルギーイノベーション・ハブ）」を立ち上げた。各国共通の目標である「研究基盤への投資効果の最大化」を図るため、米国での先駆的取り組みの成否が注目される。

## Executive Summary

G-TeC (Global Technology Comparison) was done on the theme of “advanced research infrastructures”.

G-TeC has the mission to contribute for creating R&D Strategies and/or Science & Technology Policies, by gathering various evidences through surveys. In principle, for gathering evidences, we use three-stepped approaches consisting of basic surveys and site visits.

- At the first step, through basic surveys, we investigate trends and movements of “policies & funding” and “institutes & human resources”, both at academia-sides and industry-sides.
- At the second step, through site visits, we have meetings with top-class research institutes, funding agencies, and other related organizations in the world, and extract important issues for selected research themes.
- Then, at the third step, we evaluate our findings gathered through basic surveys and site visits, and to identify priorities as evidences for creating R&D Strategies and/or Science & Technology Policies.

In this G-TeC, we set two objectives. First, we investigated trends & movements of advanced research infrastructures, globally. And second, based on these investigations, we considered vision & strategy for utilizing advanced research infrastructures toward green innovation.

Main results are as follows.

- 1) Advanced research infrastructures, those enable to explore research frontiers, have taken important roles to promote science & technology innovation. Therefore, in Japan, enhancement of research infrastructures is identified as a prior issue at the 4th Science and Technology Basic Plan. Similarly, in U.S. and European countries, research infrastructures have been well-maintained owing to their importance.
- 2) However, budgetary conditions are tight in Japan, U.S. and European countries, and therefore, investment scenarios for research infrastructures are strongly requested, where funding targets are optimized and funding effects are maximized. Corresponding to these, characteristic measures for funding have been implemented in U.S., U.K. and European Union.
- 3) In U.S., National Science Foundation has invested in “research infrastructures for Science & Technology in general”. Besides, Department of Energy has invested in “mainly for energy”, and National Institutes of Health has invested in “mainly for life sciences”.
- 4) In the fiscal year of 2010, National Science Foundation invested 1.7 billion dollars in research infrastructures, and Department of Energy invested 2.2 billion dollars,

and National Institutes of Health invested 1.2 billion dollars, approximately.

- 5) Among movements in U.S., it is remarkable that Department of Energy had made investment scenarios for “green innovation with advanced research infrastructures”. This is a good practice for funding to research infrastructures, where funding targets are optimized and funding effects are maximized.
- 6) In U.K., roadmaps have been utilized for funding to research infrastructures. Research Councils UK has taken key roles, and two funding schemes are applied to research infrastructures. One is annual research budgets of each council, and another is “Large Facilities Capital Fund”, applicable to construction, expansion and/or upgrading of large research facilities and infrastructure.
- 7) Using these schemes, at the delivery plan in the fiscal year of 2011, Science and Technology Facilities Council appropriated 286 million pounds for research infrastructures. Besides, Engineering and Physical Sciences Research Council appropriated 57 million pounds, Natural Environment Research Council appropriated 64 million pounds, Medical Research Council appropriated 128 million pounds, and Biotechnology and Biological Sciences Research Council appropriated 97 million pounds, respectively.
- 8) With regard to Large Facilities Capital Fund, in these budgets, Research Councils UK has made roadmaps, where research infrastructures are selected according to their importance. To be eligible for Large Facilities Capital Fund, research infrastructures must be included in roadmaps. Based on roadmaps, Research Councils UK advises their priorities to the Government.
- 9) Similar to U.K., roadmaps have been utilized in European Union. In Seventh Framework Programme, over 1.85 billion Euros has been appropriated for research infrastructures. European Strategy Forum on Research Infrastructures has made roadmaps of research infrastructures, and based on roadmaps, research infrastructures have been enhanced.
- 10) European Strategy Forum on Research Infrastructures was established in 2002, and has the mission to support vision & strategy for research infrastructures in European Union. They made roadmaps three times so far, and at the newest map in 2010, 48 research infrastructures were selected. To these infrastructures, budget supports have been done under Seventh Framework Programme.
- 11) To evaluate movements in U.S., U.K. and European Union, focusing on relationship between innovation and research infrastructures, “green innovation with advanced research infrastructures in U.S.” is selected as the best practice.

- 12) U.S. promotes green innovation for a secure energy future, and they have been emerging “Control Science” as driving force of green innovation, using advanced research infrastructures such as quantum beams and nanotechnologies.
- 13) Control Science is new knowledge base for designing, manufacturing and controlling complex structure of materials. It enables to govern energy phenomena derived by physical and/or chemical transformations.
- 14) Control Science is also scientific fusion by three different areas, “observational sciences, those reveal energy phenomena”, “nanosciences, those create energy phenomena” and “computational sciences, those combine observational and nano”. Therefore, advanced research infrastructures, such as quantum beams and nanotechnologies, should take key roles for Control Science.
- 15) In U.S., using about 10 years after 2001, Department of Energy had made investment scenarios of “green innovation with advanced research infrastructures”. Over 1600 experts had contributed to make scenarios, both from academia and policy sides.
- 16) As the result, 14 reports are presented, from “Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future (February in 2003)” to “Science for Energy Technology: Strengthening the Link between Basic Research and Industry (August in 2010)”. In these reports, “Vision of Energy Researches”, “Strategy of Control Science” and “Importance of Advanced Research Infrastructures” are clearly defined.
- 17) The investment scenarios by U.S. has two characteristics. First, they have prioritized “basic researches”, those could lead to innovation. And second, they have taken importance on “advanced research infrastructures”, those should support basic researches.
- 18) To analyze the scenarios in details, the following points can be extracted as key factors.
  - At first, a social use is selected as their targeted problem ( in U.S., “a secure energy future”), and basic researches are identified to solve the problem (in U.S., “Control Science”).
  - Then, for these basic researches, importance of research infrastructures is defined, and roles of advanced research infrastructures are identified.
  - Over 1600 experts contribute to create the investment scenarios, both from academia and policy sides. Besides, the scenarios are presented in a series of 14 reports, and spread out in U.S..
  - As the result, the investment scenarios of “green innovation with advanced research infrastructures” are well-accepted in U.S. research communities.

- 19) Afterwards, U.S. had founded “three research initiatives (Energy Frontier Research Centers, Advanced Research Projects Agency-Energy, Energy Innovation Hubs)”, as their vehicles to implement the scenarios.
  
- 20) As a promising approach for funding to research infrastructures, where funding targets are optimized and funding effects are maximized, U.S. scenarios toward green innovation should be global concerns, and their successful results are expected.

## 目 次

### エグゼクティブサマリー

1. 目的及び方法.....	1
2. 調査結果.....	4
2.1 先端研究基盤を巡る米国動向.....	6
2.1.1 国立科学財団.....	7
2.1.2 エネルギー省.....	10
2.1.3 国立衛生研究所.....	12
2.2 先端研究基盤を巡る英国動向.....	14
2.2.1 英国研究会議.....	15
2.3 先端研究基盤を巡る欧州動向.....	17
2.3.1 欧州研究基盤戦略フォーラム.....	19
a) 物理&工学、材料&分析.....	20
b) エネルギー.....	22
c) 環境.....	24
d) 生物&医療.....	26
2.3.2 欧州研究基盤コンソーシアム.....	28
2.4 先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション.....	29
2.4.1 米国が展開するグリーンイノベーション.....	31
a) シナリオを構築したプロセス.....	33
b) シナリオを推進する仕組み.....	39
c) 先端研究基盤を巡る動き.....	56
3. 調査結果の総括.....	70

## 1. 目的及び方法

第4期科学技術基本計画の中で、成長をもたらす原動力として「グリーンイノベーション」及び「ライフイノベーション」という二つの柱が定められた。エネルギー・環境を対象とするグリーンイノベーション、医療・介護・健康を対象とするライフイノベーションが、震災からの復興と並び、5年間(2011年～2015年)の目標として明確に位置付けられている。科学技術によるイノベーションを重視する動きは、米欧にも共通して見られる。地球温暖化やグローバルな競争の激化など、高度で複雑な課題が顕在化し、その解決には従来の延長線上に無い新たな取り組みが必要となることが背景にある。社会課題の本質的解決に向け、未踏の科学原理や革新技術の創出が求められている。

イノベーションにつながる新たな科学原理や革新技術を創出する場合、未踏領域での挑戦を可能にする先端研究基盤が重要な役割を果たす。これまで観察できなかった微細な変化を検知する量子ビーム、仮想物質の機能をシミュレーションする超高速計算機などが代表として挙げられる。このため、日本では第4期科学技術基本計画において、重要課題達成に向けた施策として「科学技術の共通基盤の充実、強化」が掲げられ、「広範かつ多様な研究開発に活用される共通的、基盤的な施設や設備について、より一層の充実、強化を図る」ことが謳われた。米欧でも、研究基盤を構築・強化するための固有の方策が展開されている。

しかしながら一方で、イノベーションを促す先端研究基盤の整備には、継続した投資が必要になる。逼迫する財政状況は各国共通しており、こうした中で一定規模の投資を確保するために、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する取り組み」が強く求められるようになってきた。

実際に各国・地域の状況を概観すると、米国、英国及び欧州において特徴的な動きが見つかる。米国では国立科学財団、エネルギー省、国立衛生研究所などが基盤整備を行う中で、エネルギー省が「グリーンイノベーションのために先端研究基盤が果たす役割」を明らかにしている。英国では、基盤整備の中核を担う英国研究会議が、ロードマップの形で研究基盤の重要度を評価している。さらに、欧州全体では欧州研究基盤戦略フォーラムを母体とする基盤整備が展開されており、ここでも研究基盤の優先度を表す指標としてロードマップが用いられている。

したがって、これらの動きを詳細に分析すれば、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する」、さらには「先端研究基盤とイノベーションをつなぐジョン&戦略を策定する」ための有効なエビデンスが得られることになる。

そこで上記想定に基づき、「先端研究基盤とイノベーション」をテーマとする「G-TeC (Global Technology Comparison)」を行った。G-TeCは、重要な科学技術動向に焦点を当て、各国・地域の状況を分析することで日本のポジションを確認し、今後取るべき戦略の立案に貢献することをミッションとする。

本調査では、G-TeCの目的を次のように定めた。

- ・ 各国・地域における「先端研究基盤整備に関わる中核機関」の動向分析
- ・ 各国・地域における「先端研究基盤に関わる整備方策」の動向分析
- ・ 各国・地域における「先端研究基盤を活用したイノベーション」の事例分析
- ・ これらに基づく「先端研究基盤への投資効果を高めるための要件」の検討

調査方法には、「基礎調査（各種公開情報に基づく各国・地域における“政策・資金”“機関・人材”の動向分析）」及び「海外現地会合（米欧における注目機関のリーダー等との討議）」などの手法を用いた。

具体的には、第一に、各国動向を概観することで、先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、米国、英国、欧州を選定した。

第二に、基盤整備を推進している中核機関を特定し、各機関が主導する研究基盤の整備状況を把握した。

第三に、その中から、先端研究基盤を活用したイノベーションの取り組みを抽出した。

その上で、第四に、これらの動きを詳細に分析することで、研究基盤への投資効果を高めるための要件を検討した。

海外現地会合を持った主な機関を、図表1にまとめて示した。さらに、これらの現地会合の中で、米国が展開する「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」について、日米有識者による討議を実施した。そのための米国会合機関及び日本側有識者の構成は、図表2のようになっている。

得られた調査結果を、以下にまとめる。

図表1 米欧における現地会合機関及び対象者

- 量子ビームなどの先端施設の活用が期待される「グリーン（エネルギー&環境）」を重点に、米英の注目機関との現地会合を実施。

研究領域	会合機関	対象者	役職	
量子ビーム	放射光	Lawrence Berkeley National Laboratory Advanced Light Source	Prof. Roger Falcone	Director
			Dr. Michael Banda	Deputy Director
			Dr. Zahid Hussain	Deputy Director
	中性子	SLAC National Accelerator Laboratory Stanford Synchrotron Radiation Lightsource	Dr. Chi-Chang Kao	Director
			Prof. Piero Pianetta	Deputy Director
		Argonne National Laboratory Advanced Photon Source Diamond Light Source	Dr. Dennis Mills	Deputy Director
			Prof. Gerhard Materlik	CEO
ナノテク	Oak Ridge National Laboratory Neutron Scattering Science Division	Dr. Gregory Smith	Group Leader	
		Rutherford Appleton Laboratory, ISIS	Dr. Andrew Taylor	Director
	Lawrence Berkeley National Laboratory Molecular Foundry	Dr. Jim DeYoreo	Director	
エネルギー	Lawrence Berkeley National Laboratory Energy Innovation Hub ; Joint Center for Artificial Photosynthesis	Dr. Stephen Streffer	Former Director	
		Dr. Michael Simonson	Director	
	Lawrence Berkeley National Laboratory Energy Frontier Research Center ; Center for Nanoscale Control of Geologic CO2	Dr. Elaine Chandler	Assistant Director	
		Prof. Don DePaolo	Director	
Lawrence Berkeley National Laboratory Helios Solar Energy Research Center	Dr. Heiz Frei	Deputy Director		
SLAC National Accelerator National Laboratory Center for Interface Science and Catalysis	Prof. Jens Norskov	Head		

図表2 日米有識者による現地会合

- G-TeC調査の一環として、米国が展開する「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」について、2011年2月に日米有識者による討議を実施。
- 米国会合機関及び日本側有識者は、以下の通り（会合毎に日本側有識者の構成は異なる）。

区分	機関名	役職	氏名
米国会合機関	Lawrence Berkeley National Laboratory, Advanced Light Source	Director	Prof. Roger Falcone
	Lawrence Berkeley National Laboratory, Molecular Foundry	Director	Dr. Jim DeYoreo
	Energy Innovation Hub; Joint Center for Artificial Photosynthesis	Member of Executive Committee	Dr. Heinz Frei
	Energy Frontier Research Center; Center for Nanoscale Control of Geologic CO2	Director	Prof. Don DePaolo
	SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford Synchrotron Radiation Lightsource	Science Director	Prof. Britt Hedman
	SLAC National Accelerator Laboratory, Center for Interface Science and Catalysis	Head	Prof. Jens Norskov
日本側有識者	高エネルギー加速器研究機構	理事	下村理氏
	理化学研究所 播磨研究所	所長	石川哲也氏
	物質・材料研究機構	理事	曾根純一氏
	産業技術総合研究所 グリーン・ナノエレクトロニクスセンター	連携研究体長	横山直樹氏

## 2. 調査結果

最初に各国動向を概観し、先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、米国、英国、欧州を選定した。

次に、これらの地域の現状を分析し、米国では、国立科学財団、エネルギー省及び国立衛生研究所を中心とした基盤整備が行われていることを特定した。2010年度の実績として、国立科学財団は“科学全般”を対象とした研究基盤に年間 17 億ドル、エネルギー省は“エネルギー”を重点とした研究基盤に年間 22 億ドル、国立衛生研究所は“ライフサイエンス”を重点とした研究基盤に年間 12 億ドル、それぞれ資金を投じている。

これに対し、英国の場合は英国研究会議が中核を担っていることが分かった。2011 年度の歳出計画では、科学技術施設会議が 2 億 8600 万ポンド、工学物理科学研究会議が 5700 万ポンド、自然環境研究会議が 6400 万ポンド、医学研究会議が 1 億 2800 万ポンド、バイオテクノロジー生物科学研究会議が 9700 万ポンドを研究基盤に投ずる形となっている。

さらに、欧州全体で捉えると、第七次研究枠組み計画として 18 億 5000 万ユーロを超える予算が措置されており、欧州研究基盤戦略フォーラムを母体とした活動が展開されている。本フォーラムは 2002 年に設立された組織であり、欧州全体としての基盤整備を支援していることが分かった。

その上で、米英欧での動きの中から、研究基盤とイノベーションの関わりが強く見られる事例の抽出を試みた。その結果、米国において「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」の取り組みが行われていることが明らかになった。

米国では、エネルギー省が 2001 年以降の 10 年をかけて、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオを実現している。シナリオを推進する仕組みとして「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」及び「エネルギーイノベーション・ハブ」という 3 つのイニシアチブが導入され、精力的なエネルギー研究が展開されている。

そこで、これらの取り組みを詳細に分析することで、先端研究基盤とイノベーションをつなぐビジョン&戦略に求められる要件を調べた。

第一に、グリーンイノベーションのシナリオを構築したプロセスに着目し、米国が「“未来の安定したエネルギー保障”という社会課題」を掲げた上で、イノベーションのビジョン&戦略を策定していった流れを分析した。シナリオを構築する仕組みとしてワークショップを活用しており、検討成果が複数の報告書の形で発表されている。この中に、先端研究基盤の果たす役割の重要性が明示されている。

第二に、シナリオを推進する仕組みについて分析した。エネルギー省が立ち上げた 3 つのイニシアチブの内、エネルギーフロンティア研究センターは基礎研究が対象で、応用研究は対象にしていない。逆に、エネルギー高等研究計画局は応用研究の枠組みであり、基礎研究は含まない。一方、エネルギーイノベーション・ハブには両者が含まれ、基礎研究、応用研究、商業化に必要な工学開発などの活動が行われる。3 つのイニシアチブの下で、基礎から応用までカバーした一体的研究体制が構築されていることが分かった。

その上で第三に、先端研究基盤を巡る注目動向を分析した。イニシアチブで設立された

拠点が中核となり、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションを展開している。その中で、先端基盤が研究ネットワークを構築する求心力となっていることが明らかになった。

以下に、実施した調査内容及び得られた成果を、項目毎にまとめて示す。

## 2.1 先端研究基盤を巡る米国動向

米国では、国立科学財団の「“科学全般”を対象とした基盤整備」に加え、エネルギー省の「“エネルギー”を重点とした基盤整備」、国立衛生研究所の「“ライフサイエンス”を重点とした基盤整備」が進められている。

この内、科学全般を対象とした基盤整備には、国立科学財団が年間 17 億ドル規模の資金を投じている。天体、極地、海洋、気象などの各種観測に加え、量子ビーム、ナノテク、高磁場などをカバーした広範な支援が行われている。

エネルギーを重点とした基盤整備には、エネルギー省が年間 22 億ドル規模の資金を投じている。基礎エネルギー科学局が中心的役割を果たしており、「基礎エネルギー科学」「計算科学」「生物研究、環境研究」「高エネルギー物理」「原子核物理」「核融合科学」の 6 分野を対象としている。「量子ビーム；9 施設」「ナノテク；5 施設」「電子顕微鏡；5 施設」「先端計算科学；3 施設」などへの支援が含まれる。

ライフサイエンスを重点とした基盤整備には、国立衛生研究所が年間 12 億ドル規模の資金を投じている。国立研究資源センターが中心的役割を果たしており、「生物医療技術」「比較医学」「臨床研究」「インフラ全般」の 4 分野を対象とする。「システム生物学；12 拠点」「構造生物学；12 拠点」「霊長類研究；8 拠点」「総合臨床研究；9 拠点」などへの支援が含まれる。

国立科学財団、エネルギー省、国立衛生研究所による基盤整備の内容を、次項以降にまとめて示した。

### 2.1.1 国立科学財団

科学全般を対象とした基盤整備については、国立科学財団が年間 17 億ドル規模の資金を投じている。内容は 3 つに区分される。

第一に、「主要研究機器及び施設建設 (MREFC ; Major Research Equipment and Facility Construction)」の資金勘定を用い、施設等の取得、建設、改造などを推進している。本枠組みの下で、概ね、1 案件について数千万ドル～数億ドル規模 (複数年に渡る建設費等の総額) の支援が行われる。

第二に、「研究及び研究活動 (R&RA ; Research and Related Activities)」の資金勘定を用い、上記以外の基盤整備を展開している。ここでは、MREFC の対象とならない「施設の計画、設計、開発、運転&メンテナンス、研究段階」を含めた資金提供が行われる。さらに、数百万ドル～数千万ドル規模の施設建設への支援を行う。

これらに加え、第三に「教育及び人材 (Education and Human Resources)」を対象とした支援が行われている。

国立科学財団の研究基盤関連予算を図表 3-1 にまとめて示した。2010 年度の実績 (2009 年 10 月から 2010 年 9 月までの投資額、施設や拠点、それ以外の研究インフラなどの多様な支援対象を含む) は、次のようになっている。

- ・ 主要研究機器及び施設建設 ; 1 億 6590 万ドル
- ・ 研究及び研究活動 ; 15 億 6497 万ドル
- ・ 教育及び人材 ; 1580 万ドル
- ・ 合計 ; 17 億 4667 万ドル

上記の内、「研究及び研究活動」の予算を分野別に整理すると、図表 3-2 の構成となる。2010 年度の実績は、次のようになっている。

- ・ 地球科学 (Directorate for Geosciences) ; 3 億 9353 万ドル
- ・ 数理学、物理学 (Directorate for Mathematical and Physical Sciences) ; 3 億 6943 万ドル
- ・ 局地プログラム (Office of Polar Programs) ; 3 億 1617 万ドル
- ・ サイバーインフラ (Office of Cyberinfrastructure) ; 1 億 6040 万ドル
- ・ 生物科学 (Directorate for Biological Sciences) ; 1 億 2757 万ドル
- ・ 学際的研究&教育 (Office of Integrative Activities) ; 9277 万ドル

- ・ 社会科学、行動科学、経済科学 (Directorate for Social, Behavioral and Economic Sciences) ; 4248 万ドル
- ・ 工学 (Directorate for Engineering) ; 3440 万ドル
- ・ 計算科学&工学、情報科学&工学 (Directorate for Computer and Information Sciences and Engineering) ; 2811 万ドル
- ・ 科学&工学の国際的活動 (Office of International Science and Engineering) ; 10 万ドル
- ・ 小計 ; 15 億 6497 万ドル

天体、極地、海洋、気象などの各種観測に加え、量子ビーム（コーネル・高エネルギーシンクロトロン、ウィスコンシン・シンクロトロン研究センター）、ナノテク（国家ナノテクインフラネットワーク）、高磁場（国立高磁場研究所）などをカバーした広範な支援が展開されている。

図表3-1 国立科学財団の研究基盤関連予算

項目	予算(百万ドル)		
	2010年度・実績	2011年度・暫定	2012年度・要求
主要研究機器及び施設建設	165.90	117.29	224.68
研究及び研究活動	1,564.97	1,528.91	1,502.69
教育及び人材	15.80	15.98	—
合計	1,746.67	1,662.18	1,727.37

(出典) 米国国立科学財団「Budget Request to Congress」の公開情報に基づきJST・CRDSが作成

図表3-2 国立科学財団の研究基盤関連予算

項目	予算(百万ドル)		
	2010年度・実績	2011年度・暫定	2012年度・要求
地球科学 (Directorate for Geosciences)	393.53	367.79	364.96
数理科学、物理科学 (Directorate for Mathematical and Physical Sciences)	369.43	353.73	305.51
極地プログラム (Office of Polar Programs)	316.17	321.43	338.02
サイバーインフラ (Office for Cyberinfrastructure)	160.40	150.38	148.06
生物科学 (Directorate for Biological Sciences)	127.57	135.45	132.93
学際的研究&教育 (Office of Integrative Activities)	92.77	93.04	93.14
社会科学、行動科学、経済科学 (Directorate for Social, Behavioral and Economic Sciences)	42.48	43.56	58.04
工学 (Directorate for Engineering)	34.40	32.83	31.33
計算科学&工学、情報科学&工学 (Directorate for Computer and Information Science and Engineering)	28.11	30.60	30.60
科学&工学の国際的活動 (Office of International Science and Engineering)	0.10	0.10	0.10
小計	1,564.97	1,528.91	1,502.69

(出典) 米国国立科学財団「Budget Request to Congress」の公開情報に基づきJST・CRDSが作成

## 2.1.2 エネルギー省

エネルギーを重点とした基盤整備では、エネルギー省が年間 22 億ドル規模の資金を投じている。

基礎エネルギー科学局 (Office of Basic Energy Sciences) が中心的役割を果たしており、「基礎エネルギー科学」「計算科学」「生物研究、環境研究」「高エネルギー物理」「原子核物理」「核融合科学」の 6 分野を対象としている。

エネルギー省の研究基盤関連予算を図表 4 にまとめて示した。2010 年度の実績 (2009 年 10 月から 2010 年 9 月までの投資額、施設や拠点、それ以外の研究インフラなどの多様な支援対象を含む) は、次のようになっている。

- ・ 基礎エネルギー科学 (Basic Energy Sciences) ; 9 億 3361 万ドル
  - 量子ビーム (放射光、中性子、自由電子レーザー) ; 9 施設、ナノテク ; 5 施設、及び電子顕微鏡 ; 3 施設の運営
  - 放射光施設等の建設
- ・ 計算科学 (Advanced Scientific Computing Research) ; 2 億 2965 万ドル
  - 先端計算科学 ; 3 施設の運営
  - ネットワーク & テストベット関連
  - プロトタイプ研究等
- ・ 生物研究、環境研究 (Biological and Environmental Research) ; 1 億 8405 万ドル
  - 共同ゲノム研究所 (Joint Genome Institute)、環境分子科学研究所 (Environmental Molecular Sciences Laboratory) の運営
  - 構造生物学関連
  - 大気放射計測等
- ・ 高エネルギー物理 (High Energy Physics) ; 3 億 2758 万ドル
  - 陽子加速施設、電子加速施設の運営
  - ニュートリノ関連施設、ミューオン関連施設等の建設 (設計、改造などを含む)
- ・ 原子核物理 (Nuclear Physics) ; 3 億 3110 万ドル

- 重イオン核物理施設、中エネルギー核物理施設、低エネルギー核物理施設、同位体関連施設等の運営
- 希少同位体ビーム施設、連続電子ビーム加速施設等の建設（設計、製造などを含む）
- ・ 核融合科学 (Fusion Energy Sciences) ; 2 億 2300 万ドル
  - 核磁気融合施設、トカマク施設、ITER 関連施設等の運営
- ・ 合計 ; 22 億 2899 万ドル

“基礎エネルギー科学”の予算枠が最大となっており、本予算で量子ビーム（9施設）、ナノテク（5施設）、電子顕微鏡（3施設）の基盤整備が展開されている。加えて、“計算科学”の予算で先端計算科学（3施設）、“生物研究、環境研究”の予算で共同ゲノム研究所や環境分子科学研究所の整備が行われている。

図表4 エネルギー省の研究基盤関連予算

項目	概要	予算(千ドル)		
		2010年度支出	2011年度要求	2012年度要求
基礎エネルギー科学 (Basic Energy Sciences)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・量子ビーム(放射光、中性子、自由電子レーザー):9施設、ナノテク:5施設、電子顕微鏡:3施設の運営</li> <li>・放射光施設等の建設</li> </ul>	933,612	963,132	1,093,052
計算科学 (Advanced Scientific Computing Research)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・先端計算科学:3施設の運営</li> <li>・ネットワーク&amp;テストベッド</li> <li>・プロトタイプ研究等</li> </ul>	229,654	254,052	284,103
生物研究、環境研究 (Biological and Environmental Research)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・共同ゲノム研究所、環境分子科学研究所の運営</li> <li>・構造生物学関連</li> <li>・大気放射計測等</li> </ul>	184,051	186,283	218,344
高エネルギー物理 (High Energy Physics)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陽子加速施設、電子加速施設の運営</li> <li>・ニュートリノ関連施設、ミューオン関連施設等の建設(設計、改造などを含む)</li> </ul>	327,575	335,743	333,761
原子核物理 (Nuclear Physics)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重イオン核物理施設、中エネルギー核物理施設、低エネルギー核物理施設、同位体関連施設等の運営</li> <li>・希少同位体ビーム施設、連続電子ビーム加速施設等の建設(設計、改造などを含む)</li> </ul>	331,097	352,960	398,513
核融合科学 (Fusion Energy Sciences)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気核融合施設、トカマク施設、ITER関連施設等の運営</li> </ul>	223,002	170,020	195,882
合計		2,228,991	2,262,190	2,523,655

(出典) 米国エネルギー省「Congressional Budget Request」の公開情報に基づきJST・CRDSが作成

### 2.1.3 国立衛生研究所

ライフサイエンスを重点とした研究基盤では、国立衛生研究所が年間 12 億ドル規模の資金を投じている。

国立研究資源センター (National Center for Research Resources) が中心的役割を果たしており、「生物医療技術」「比較医学」「臨床研究」「インフラ全般」の 4 分野を対象としている。

国立衛生研究所の研究基盤関連予算を図表 5 にまとめて示した。2010 年度の実績 (2009 年 10 月から 2010 年 9 月までの投資額、施設や拠点、それ以外の研究インフラなどの多様な支援対象を含む) は、次のようになっている。

- ・ 生物医療技術 (Biomedical Technology) ; 2 億 1457 万ドル  
基礎研究、橋渡し研究、臨床研究のための技術や手法の創出を主目的とする。以下の研究拠点に対する支援が含まれる。
  - システム生物学 (Technology for Systems Biology) ; 12 拠点
  - 構造生物学 (Technology for Structural Biology) ; 12 拠点
  - イメージング (Imaging Technology) ; 12 拠点
  - インフォマティクス (Informatics Centers) ; 11 拠点
  - 光学&レーザー (Optical and Laser Technology) ; 4 拠点
- ・ 比較医学 (Comparative Medicine) ; 1 億 9681 万ドル  
動物モデルや生物資源を対象とした支援を主目的とする。以下の研究拠点に対する支援が含まれる。
  - 霊長類研究 (National Primate Research Centers) ; 8 拠点
- ・ 臨床研究 (Clinical Research) ; 5 億 1446 万ドル  
研究成果の臨床応用を加速することを主目的とする。以下の研究拠点に対する支援が含まれる。
  - 総合臨床研究 (General Clinical Research Centers) ; 9 拠点
- ・ インフラ全般 (Research Infrastructure) ; 3 億 621 万ドル  
「小規模な機関の研究インフラ」「予算規模が小さい州の研究インフラ」「多様な領域を対象とする研究インフラ」及び「州全体をカバーする研究インフラ」を対象とした支援を主目的とする。

・合計;12億3205万ドル

生物医療技術、比較医学、及び臨床研究の分野を対象に、68 研究拠点への支援が行われている。加えて、インフラ全般の強化策として、小規模機関や予算規模が小さい州の研究インフラなどを支援している。

図表5 国立衛生研究所の研究基盤関連予算

項目	概要	予算(千ドル)		
		2010年度実績	2011年度暫定	2012年度要求
生物医療技術 (Biomedical Technology)	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎研究、橋渡し研究、臨床研究のための技術や手法の創出が主目的</li> <li>システム生物学 (Technology for Systems Biology):12拠点、構造生物学 (Technology for Structural Biology):12拠点、イメージング (Imaging Technology):12拠点、インフォマティクス (Informatics Centers):11拠点、光学&amp;レーザー (Optical and Laser Technology):4拠点への支援を含む</li> </ul>	214,567	213,740	212,945
比較医学 (Comparative Medicine)	<ul style="list-style-type: none"> <li>動物モデルや生物資源に対する支援が主目的</li> <li>霊長類研究 (National Primate Research Centers):8拠点への支援を含む</li> </ul>	196,808	195,369	199,165
臨床研究 (Clinical Research)	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究成果の臨床応用を加速することが主目的</li> <li>総合臨床研究 (General Clinical Research Centers):9拠点への支援を含む</li> </ul>	514,459	515,004	542,563
インフラ全般 (Research Infrastructure)	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模な機関の研究インフラへの支援</li> <li>予算規模が小さい州の研究インフラへの支援</li> <li>多様な領域を対象とする研究インフラへの支援</li> <li>州全体をカバーする研究インフラへの支援</li> </ul>	306,214	306,294	305,443
合計		1,232,048	1,230,407	1,260,116

(出典) 米国国立衛生研究所「National Center for Research Resources」の各種公開情報に基づきJST・CRDSが作成

## 2.2 先端研究基盤を巡る英国動向

英国では、英国研究会議が基盤整備の中核を担っている。

予算枠として、「科学技術施設会議」「工学物理科学研究会議」「自然環境研究会議」「医学研究会議」「バイオテクノロジー生物科学研究会議」などの各研究会議の活動費に加え、「大型施設投資基金」が用意されている。

2011年度の歳出計画では、科学技術施設会議が2億8600万ポンド、工学物理科学研究会議が5700万ポンド、自然環境研究会議が6400万ポンド、医学研究会議が1億2800万ポンド、バイオテクノロジー生物科学研究会議が9700万ポンドを研究基盤に投ずる形となっている。

この中に、「ダイヤモンド放射光施設」「テラスケールハイエンド計算機」「分子生物学研究所」などへの支援が含まれる。

英国研究会議による基盤整備の内容を、次項にまとめて示した。

### 2.2.1 英国研究会議

英国では、英国研究会議（Research Councils UK）を主体とする基盤整備が展開されている。

予算枠として、各研究会議が所掌する研究活動費（この中から、施設運転や国際連携などの資金を充当）に加え、「大型施設投資基金（LFCF ; Large Facilities Capital Fund、2002年度から導入）」が用意されている。LFCFはビジネスイノベーション技能省が所掌しており、「2500万ポンド以上の資本投資を要する研究基盤」、または「所掌する研究会議の年間予算の10%以上を占める研究基盤」が整備対象となる。1億ポンド／年が標準的投資総額として設定されており、以下の目的に使用される。

- 新規の研究基盤の国内及び国外における整備
- 既存の研究基盤の増強、改良など

英国研究会議が、LFCF資金を提供する研究基盤の優先順位について政府への助言を行う。原則として、「ファンディング対象となる研究基盤は、英国研究会議が提示した現行のロードマップの中に含まれる」ことが要件となっている。

英国研究会議は、2001年、2005年、2008年、2010年に“英国の研究基盤ロードマップ”を提示しており、最新ロードマップである「Large Facilities Roadmap 2010」では、「稼働施設（Current Facilities）」「改良計画（Renewals and Upgrades）」「新規計画（Emerging Facilities）」の3階層に分けて、合計で53の研究基盤を取り上げている。

ロードマップ2010では、研究基盤のニーズを評価する指標として、以下の6つの軸が設定された。

- 健康、長寿、生活の質（Lifelong Health and Wellbeing）
- 高度にネットワークされた経済（Digital Economy）
- エネルギー保障（Energy）
- 地球規模の食糧保障（Global Food Security）
- 変化する社会での安全・安心（Global Uncertainties ; Security for All in A Changing World）
- 環境と調和した暮らし（Living with Environmental Change）

英国研究会議の研究基盤関連予算を図表6にまとめて示した。歳出計画（Delivery Plan 2011/12 - 2014/15）に従えば、科学技術施設会議は、2011年度（2011年4月から2012年3月まで）の基盤整備に2億8600万ポンドを投ずる計画となっている。この中に、

LFCFに基づく「ダイヤモンド放射光施設 (Diamond Light Source)」への支援が含まれる。

工学物理科学研究会議は、2011年度の基盤整備に5700万ポンドを投ずる計画となっている。この中に、LFCFに基づく「テラスケールハイエンド計算機 (High-End Computing Terascale Resource)」への支援が含まれる。

自然環境研究会議は、2011年度の基盤整備に6400万ポンドを投ずる計画となっている。この中に、LFCFに基づく「海洋調査船ディスカバリー (Royal Research Ship Discovery)」への支援が含まれる。

医学研究会議は、2011年度の基盤整備に1億2800万ポンドを投ずる計画となっている。この中に、LFCFに基づく「分子生物学研究所 (Laboratory of Molecular Biology)」への支援が含まれる。

バイオテクノロジー生物科学研究会議は、2011年度の基盤整備に9700万ポンドを投ずる計画となっている。この中に、LFCFに基づく「動物衛生研究所 (Institute of Animal Health)」への支援が含まれる。

英国の場合、ロードマップの形で重要な研究基盤を抽出し優先度を提示した上で、これらに基づき研究基盤への支援を行う仕組みが構築されている。そのために、英国研究会議が中心的役割を果たしている。

図表6 英国研究会議の研究基盤関連予算

項 目	歳出計画 (百万ポンド)			
	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度
<b>科学技術施設会議</b>	286.19	292.99	291.54	299.81
国際連携施設への供出	154.82	149.81	150.23	150.74
大型施設投資基金	13.50	20.00	23.20	22.50
<b>工学物理科学研究会議</b>	57.00	46.00	36.00	36.00
国際連携施設への供出	0	0	0	0
大型施設投資基金	15.00	0	0	0
<b>自然環境研究会議</b>	64.00	40.00	36.00	24.00
国際連携施設への供出	6.00	6.00	6.00	5.00
大型施設投資基金	20.00	12.00	6.00	0
<b>医学研究会議</b>	128.10	95.00	158.00	76.00
国際連携施設への供出	21.00	20.00	20.00	21.00
大型施設投資基金	31.10	0	0	0
<b>バイオテクノロジー生物科学研究会議</b>	97.00	66.00	59.00	59.00
国際連携施設への供出	1.00	1.00	1.00	1.00
大型施設投資基金	30.00	7.00	0	0

(出典) 研究会議別「Delivery Plan 2011/2012 - 2014/2015」、ビジネスイノベーション技能省「Allocation of Science and Research Funding 2011/2012 - 2014/2015」の公開情報に基づきJST・CRDSが作成

## 2.3 先端研究基盤を巡る欧州動向

欧州では、各国による動きに加え、欧州全体としての基盤整備が展開されている。

第7次研究枠組み計画（2007年度～2013年度）として、18億5000万ユーロを超える規模の予算総額で、研究基盤を対象とした支援を行うことが設定された。「現行の先端研究基盤を有効活用すること」及び「研究コミュニティが求める先端研究基盤を整備すること」を支援目的とする。

第一の研究基盤の有効活用については、「欧州各国の先端研究基盤をネットワークした一体的活用体制の構築」を主眼とした支援が行われている。分野別の支援状況をまとめると、次のようになる。

- 物理学&天文学；7プロジェクトを採択、支援額は6200万ユーロ
- 数理科学&計算科学；2プロジェクトを採択、支援額は1600万ユーロ
- 材料科学&分析設備；7プロジェクトを採択、支援額は5600万ユーロ
- 工学&エネルギー；10プロジェクトを採択、支援額は7700万ユーロ
- 環境&地球科学；12プロジェクトを採択、11プロジェクトへの支援額は7000万ユーロ（1プロジェクトの支援額は公表されていない）
- ライフサイエンス；16プロジェクトを採択、支援額は1億2300万ユーロ

この内、工学・エネルギー分野では、下記プロジェクトなどが進められている。

- 分散型エネルギー源の研究基盤 (DERRI ; Distributed Energy Resources Research Infrastructure) ; 支援額は514万ユーロ、期間は4年、11ヶ国が参加
- 洋上型再生可能エネルギーの研究基盤 (MaRINET ; Marine Renewables Infrastructure Network for Emerging Energy Technologies) ; 支援額は900万ユーロ、期間は4年、12ヶ国が参加（ブラジルを含む）
- 太陽電池の研究基盤 (SOPHIA ; Photovoltaic European Research Infrastructure) ; 支援額は900万ユーロ、期間は4年、10ヶ国が参加
- 集光型太陽エネルギーの研究基盤 (SFERA ; Solar Facilities for the European Research Area) ; 支援額は740万ユーロ、期間は4年、7ヶ国が参加

ライフサイエンス分野では、下記プロジェクトなどが進められている。

- 構造生物学のNMR (Bio-NMR ; NMR for Structural Biology) ; 支援額は 8900 万ユーロ、期間は 4 年間、14 ヶ国が参加
  
- 微生物資源の研究基盤 (EMbaRC ; European Consortium of Microbial Resource Centres) ; 支援額は 419 万ユーロ、期間は 3 年、7 ヶ国が参加
  
- 霊長類の研究基盤 (EUPRIM-NET II ; European Primate Network: Advancing 3Rs and International Standards in Biological and Biomedical Research) ; 支援額は 700 万ユーロ、期間は 4 年、6 ヶ国が参加

その上で、第二の先端研究基盤の整備については、「欧州研究基盤戦略フォーラム」を中心とした取り組みが展開されている。

### 2.3.1 欧州研究基盤戦略フォーラム

欧州研究基盤戦略フォーラム（ESFRI;European Strategy Forum on Research Infrastructures）は欧州連合加盟国と欧州委員会が2002年に設立した組織であり、英国科学技術施設会議、ドイツ連邦教育研究省、フランス高等教育研究省などの欧州各国代表が参画している。

「欧州全体としての研究基盤のビジョン&戦略、及び関連施策の策定」を支援することをミッションとしており、そのために、以下の事項に関わる種々の活動を行う。

- 欧州の研究環境に関するベンチマーク
- 各国の研究基盤に関する情報の収集
- 欧州全体の研究基盤ロードマップの策定
- 研究基盤がもたらす社会経済効果の分析
- 欧州全体での研究基盤の整備方策の検討
- 研究基盤の運営方策（人的資源も含む）の検討
- 研究基盤の重要度に関する啓蒙・普及

この欧州研究基盤戦略フォーラムが策定したロードマップを指標に用い、欧州全体としての基盤整備が進められている。フォーラムの支援活動は、基盤整備の計画、準備から実践（建設段階以降）に至る全てのフェーズを対象としている。

これまでに、2006年、2008年、2010年の3回に渡り、欧州全体の研究基盤ロードマップを提示した。最新ロードマップである「Strategy Report on Research Infrastructure, Roadmap 2010」では、「物理&工学」「材料&分析」「エネルギー」「環境」「生物&医療」「社会&人文」の6分野を対象に、合計48の研究基盤を取り上げている。

これらの研究基盤に対し、第7次研究枠組み計画の予算を用い、準備段階での資金援助が行われている（準備費用の一部を欧州全体で負担）。

分野毎の整備状況を分析した結果を、次項以降にまとめて示した。「物理&工学」と「材料&分析」については、対象の研究基盤が重複するケースが見られたため、一括して分析した。

### a) 物理&工学、材料&分析

「物理&工学」分野で 8 研究基盤、「材料&分析」分野で 6 研究基盤、合わせて 14 研究基盤が取り上げられている（図表 7-1、図表 7-2）。

この内、以下の 8 研究基盤が準備フェーズに入っている。

- 欧州スパレーション中性子源 (European Spallation Source) ; スウェーデンが主導
- 欧州自由電子レーザー／赤外～軟 X 線領域 (European Free Electron Laser) ; ドイツが主導
- 欧州極限光研究基盤 (Extreme Light Infrastructure) ; フランスが主導
- 欧州高磁場研究所 (European Magnetic Field Laboratory) ; オランダが主導
- 欧州超大型望遠鏡 (European Extremely Large Telescope) ; 欧州南天天文台 (ESO ; European Southern Observatory) が主導
- チェレンコフ望遠鏡群 (Cherenkov Telescope Array) ; ドイツが主導
- 平方キロメートル級電波望遠鏡群 (Square Kilometre Array) ; 英国が主導
- 立法キロメートル級ニュートリノ望遠鏡 (Kilometre Cube Neutrino Telescope) ; イタリアが主導

残りの 6 研究基盤は準備段階を終了し、実践フェーズ（建設段階以降）に入っている。

- 欧州放射光施設の性能向上 (Upgrade of European Synchrotron Radiation Facility) ; 設置場所はフランスのグルノーブル
- 欧州中性子スペクトル施設 (ラウエランジュバン研究所) の性能向上 (Upgrade of European Neutron Spectroscopy Facility) ; 設置場所はフランスのグルノーブル
- 欧州自由電子 X 線レーザー／硬 X 線領域 (Hard X-ray Free Electron Laser) ; 設置場所はドイツのハンブルグ
- 希少放射性同位体ビーム生成・研究施設 (Facility for Production and Study of Rare Isotope Radioactive Beams) ; 設置場所はフランスのカーン
- 反陽子・イオン研究施設 (Facility for Antiproton and Ion Research) ; 設置場所はドイツのダルムシュタット
- 欧州先端計算科学連携 (Partnership for Advanced Computing in Europe)

図表7-1 欧州の研究基盤／物理&amp;工学、材料&amp;分析

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
ESRF (Upgrade of European Synchrotron Radiation Facility)	欧州放射光施設の性能向上	680万ユーロ	2億4130万ユーロ	9350万ユーロ/年	— (現行施設稼働中)	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、オーストリア、ベルギー、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ、スロバキア、ハンガリー、イスラエル
ILL 20/20 (Upgrade of European Neutron Spectroscopy Facility)	欧州中性子スペクトル施設(ラウエランジュバン研究所)の性能向上	620万ユーロ	1億7100万ユーロ	500万ユーロ/年	— (現行施設稼働中)	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、オーストリア、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、ポーランド、チェコ、スロバキア、ハンガリー、インド
ESS (European Spallation Source)	欧州スパレーション中性子源	3000万ユーロ	14億7800万ユーロ	1億1000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、オランダ、デンマーク、アイスランド、ノルウェー、スウェーデン、ポーランド、チェコ、ハンガリー、エストニア、ラトビア、リトアニア
European XFEL (Hard X-ray Free Electron Laser)	欧州X線自由電子レーザー(硬X線領域)	3900万ユーロ	10億8200万ユーロ	7700万ユーロ/年	—	ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、ギリシャ、デンマーク、スウェーデン、ポーランド、スロバキア、ハンガリー、ロシア
EuroFEL (European Free Electron Laser)	欧州自由電子レーザー(赤外～軟X線領域)	1億5000万～2億ユーロ	12億～16億ユーロ	—	—	英国、ドイツ、イタリア、スイス、スウェーデン
ELI (Extreme Light Infrastructure)	欧州極限光研究基盤	8500万ユーロ	7億ユーロ	7000万ユーロ/年	2015年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、ギリシャ、ブルガリア、ポーランド、チェコ、ハンガリー、ルーマニア、リトアニア
SPIRAL2 (Facility for Production and Study of Rare Isotope Radioactive Beams)	希少放射性同位体ビーム生成・研究施設	880万ユーロ	1億9600万ユーロ	1000～1200万ユーロ/年	—	—

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

図表7-2 欧州の研究基盤／物理&amp;工学、材料&amp;分析

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)	反陽子・イオン研究施設	1億2000万ユーロ	10億2700万ユーロ	1億1800万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、オーストリア、ギリシャ、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、スロバキア、ルーマニア、スロベニア、ロシア、インド、中国
EMFL (European Magnetic Field Laboratory)	欧州高磁場研究所	670万ユーロ	1億1500万ユーロ	2200万ユーロ/年	—	ドイツ、フランス、オランダ
PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe)	欧州先端計算科学連携	2000万ユーロ	—	—	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、オーストリア、トルコ、ギリシャ、キプロス、アイスランド、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ、ブルガリア、セルビア
E-ELT (European Extremely Large Telescope)	欧州超大型望遠鏡	1億ユーロ	10億ユーロ	3000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、オーストリア、オランダ、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、フィンランド、チェコ、ブラジル
CTA (Cherenkov Telescope Array)	チェレンコフ望遠鏡群	800万ユーロ	1億5000万ユーロ	1000万ユーロ/年	2019年～	—
SKA (Square Kilometre Array)	平方キロメートル級電波望遠鏡群	2億ユーロ	15億ユーロ	1億～1億5000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、オランダ、スウェーデン、ポーランド、ロシア、南アフリカ、オーストラリア、ニュージーランド、カナダ、米国、ブラジル、インド、中国、韓国、日本
KM3NET (Kilometre Cube Neutrino Telescope)	立法キロメートル級ニュートリノ望遠鏡	3200万ユーロ	2億2000万ユーロ	400～600万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ギリシャ、キプロス、アイスランド、オランダ、ルーマニア

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

## b) エネルギー

「エネルギー」分野では、7 研究基盤が取り上げられている（図表 8）。

2010 年のロードマップ策定に伴い、以下の 3 研究基盤が新たに追加された。

- 太陽エネルギーのための研究基盤 (European Solar Research Infrastructure for Concentrating Solar Power) ; スペインが主導
- 風力のための研究施設 (European WindScanner Facility) ; デンマークが主導
- 加速器駆動核変換システム実証のための高速スペクトル照射施設 (European Fast Spectrum Irradiation Facility) ; ベルギーが主導

残りの 4 研究基盤の内、2 研究基盤は準備フェーズに入っている。

- 二酸化炭素回収&貯蔵のための研究基盤 (European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure) ; ノルウェーが主導
- 高出力レーザーエネルギー研究施設 (High Power Laser Energy Research Facility) ; 英国が主導

1 研究基盤は準備段階を終了し、実践フェーズに入っている。

- 原子炉材料試験のための高フラックス中性子炉 (ジュールホロヴィッツ炉) (High Flux Reactor for Fission Reactors Material Testing) ; 設置場所はフランスのカダラッシュ

この他に、以下の研究基盤が取り上げられている。

- 核融合炉材料評価のための高フラックス加速器中性子源 (International Fusion Materials Irradiation Facility)

図表8 欧州の研究基盤／エネルギー

名称	概要	予算			運営開始 時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
EU-SOLARIS (European Solar Research Infrastructure for Concentrating Solar Power)	太陽エネルギーのための 研究基盤	350万ユーロ	8000万ユーロ	300万ユーロ/年	2017年～	—
WINDSCANNER (European WindScanner Facility)	風力のための研究施設	800万ユーロ	4500～6000万ユーロ	400万ユーロ/年	—	—
ECCSEL (European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure)	二酸化炭素回収&貯蔵 のための研究基盤	300～400万ユーロ	8100万ユーロ	630万ユーロ/年	2015年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、 オランダ、スイス、スペイン、 ノルウェー、ギリシャ、ポーランド
JHR; Jules Horowitz Reactor (High Flux Reactor for Fission Reactors Material Testing)	原子炉材料試験のための 高フラックス中性子炉	7000万ユーロ	7億5000万ユーロ	3500万ユーロ/年	2014年～	フランス、スペイン、ベルギー、 フィンランド、チェコ、欧州（欧州 委員会）、インド、日本
MYRRHA (European Fast Spectrum Irradiation Facility)	加速器駆動核変換システム 実証のための高速スペクトル 照射施設	4000万ユーロ	9億6000万ユーロ	4640万ユーロ/年	2020年～	—
IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility)	核融合炉材料評価のための 高フラックス加速器中性子源	1億5000万ユーロ	10億ユーロ	1億5000万ユーロ/年	—	—
HIPER (High Power Laser Energy Research Facility)	高出力レーザーエネルギー 研究施設	1500万ユーロ	—	—	2028年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、 スペイン、ポルトガル、ギリシャ、 チェコ、ポーランド、ロシア、米国、 カナダ、中国、韓国、日本

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが  
作成

### c) 環境

「環境」分野では、9 研究基盤が取り上げられている（図表 9-1、図表 9-2）。

9 研究基盤の全てが準備フェーズに入っている。

- 対流圏観測機 (Heavy Payload Long Endurance Tropospheric Aircraft) ; フランスが主導
- 欧州非干渉レーダーシステム (Next Generation European Incoherent Scatter Radar System) ; スウェーデンが主導
- 地球観測用航空機 (In Service Aircraft for A Global Observing System) ; ドイツが主導
- 炭素観測研究基盤 (Integrated Carbon Observation System) ; フランスが主導
- 北極圏観測研究基盤 (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) ; ノルウェーが主導
- 生物多様性及び生態系のための研究基盤 (Science and Technology Infrastructure for Research on Biodiversity and Ecosystems) ; オランダが主導
- 欧州地表岩盤プレート観測研究基盤 (European Plate Observing System) ; イタリアが主導
- 海洋観測研究基盤 (Global Ocean Observing Infrastructure) ; フランスが主導
- 欧州海底観測研究基盤 (European Multidisciplinary Seafloor Observatory) ; イタリアが主導

図表9-1 欧州の研究基盤／環境

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
COPAL (Heavy Payload Long Endurance Tropospheric Aircraft)	対流圏観測機	100万ユーロ	5000～6000万ユーロ	300万ユーロ／年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、ギリシャ、ベルギー、フィンランド、ポーランド
EISCAT_3D (Next Generation European Incoherent Scatter Radar System)	欧州非干渉散乱レーダーシステム	300万ユーロ	6000～2億5000万ユーロ	400～1000万ユーロ／年	2016年～	英国、ドイツ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、中国、日本
IAGOS (In Service Aircraft for A Global Observing System)	地球観測用航空機	500～700万ユーロ	1500万ユーロ	500～1000万ユーロ／年	2012年～	英国、ドイツ、フランス、スイス
ICOS (Integrated Carbon Observation System)	炭素観測研究基盤	500万ユーロ	1億3000万ユーロ	3600万ユーロ／年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、アイルランド、ベルギー、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ、イスラエル
SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System)	北極圏観測研究基盤	200～500万ユーロ	5000万ユーロ	1000万ユーロ／年	2013年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ、米国、ロシア、インド、中国、韓国、日本

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

図表9-2 欧州の研究基盤／環境

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
LIFEWATCH (Science and Technology Infrastructure for Research on Biodiversity and Ecosystems)	生物多様性及び生態系のための研究基盤	500万ユーロ	2億5500万ユーロ	3550万ユーロ／年	2016年～ (2012年から一部稼働予定)	英国、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、オーストリア、ギリシャ、トルコ、ベルギー、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、スロバキア、ハンガリー、ルーマニア、スロベニア
EPOS (European Plate Observing System)	欧州地表面プレート観測研究基盤	1200万ユーロ	5億ユーロ	8000万ユーロ／年	2020年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、オーストリア、トルコ、ギリシャ、アイスランド、アイルランド、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ、スロバキア、ルーマニア、スロベニア、イスラエル
EURO-ARGO (Global Ocean Observing Infrastructure)	海洋観測研究基盤	300万ユーロ	—	840万ユーロ／年	2011年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、ギリシャ、アイルランド、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ブルガリア
EMSO (European Multidisciplinary Seafloor Observatory)	欧州海底観測研究基盤	8000万ユーロ	1億6000万ユーロ	3200万ユーロ／年	2014年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、トルコ、ギリシャ、アイルランド、オランダ、ノルウェー、スウェーデン

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

#### d) 生物&医療

「生物&医療」については、13 研究基盤が取り上げられている（図表 10-1、図表 10-2）。2010 年のロードマップ策定に伴い、以下の 3 研究基盤が新たに追加された。

- 微生物資源の研究基盤 (Microbial Resource Research Infrastructure) ; フランスが主導
- 生態系分析の研究基盤 (Infrastructure for Analysis and Experimentation on Ecosystems) ; フランスが主導
- システム生物学の欧州研究基盤 (Infrastructure for System Biology-Europe) ; 英国が主導

残りの 10 研究基盤は、全て準備フェーズに入っている。

- 欧州臨床研究基盤ネットワーク (European Clinical Research Infrastructure Network) ; フランスが主導
- 医学における欧州橋渡し研究基盤 (European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine) ; オランダが主導
- 生物医学イメージングのための欧州研究基盤 (European Research Infrastructure for Biomedical Imaging) ; 欧州分子生物学研究所 (European Molecular Biology Laboratory) のドイツ内の研究拠点が主導
- モデル哺乳類ゲノムのための欧州研究基盤 (European Infrastructure for Phenotyping and Archiving of Model Mammalian Genomes) ; ドイツが主導
- 欧州高病原性研究基盤 (European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents) ; フランスが主導
- バイオバンク及び生物資源の研究基盤 (Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure) ; オーストリアが主導
- 欧州海洋生物資源センター (European Marine Biological Resource Centre) ; イタリアが主導
- 生物情報のための欧州ライフサイエンス研究基盤 (European Life-Science Infrastructure for Biological Information) ; 欧州分子生物学研究所の英国内の研究拠点が主導
- 構造生物学の研究基盤 (Integrated Structural Biology Infrastructure) ; 英国が主導
- 化学生物学のための欧州研究基盤 (European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology) ; ドイツが主導

図表10-1 欧州の研究基盤／生物&amp;医療

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
ECRIN (European Clinical Research Infrastructures Network)	欧州臨床研究基盤ネットワーク	580万ユーロ	—	350万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、オーストリア、アイルランド、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、ハンガリー
EATRIS (European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine)	医学における欧州橋渡し研究基盤	600万ユーロ	—	—	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド
EURO-BIOIMAGING (European Research Infrastructure for Biomedical Imaging)	生物医学イメージングのための欧州研究基盤	790万ユーロ	6億ユーロ	2億5000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、スイス、オーストリア、トルコ、ギリシャ、ベルギー、アイルランド、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ブルガリア、ポーランド、チェコ、ハンガリー、エストニア
INFRAFRONTIER (European Infrastructure for Phenotyping and Archiving of Model Mammalian Genomes)	モデル哺乳類ゲノムのための欧州研究基盤	480万ユーロ	1億8000万ユーロ	8000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、オーストリア、トルコ、ギリシャ、スウェーデン、フィンランド、チェコ、カナダ
ERINHA (European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents)	欧州高病原性研究基盤	440万ユーロ	1億7400万ユーロ	2400万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、ポルトガル、オーストリア、トルコ、ギリシャ、アイルランド、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、ハンガリー、ルーマニア、スロバキア
BBMRI (Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure)	バイオバンク及び生物資源の研究基盤	300万ユーロ	1億7000万ユーロ	2050～2200万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、オーストリア、ギリシャ、マルタ、アイスランド、アイルランド、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ハンガリー、エストニア

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

図表10-2 欧州の研究基盤／生物&amp;医療

名称	概要	予算			運営開始時期	参加国・地域
		準備	建設	運営		
MIRRI (Microbial Resource Research Infrastructure)	微生物資源の研究基盤	—	1億9000万ユーロ	1050万ユーロ/年	—	—
EMBRIC (European Marine Biological Resource Centre)	欧州海洋生物資源センター	750万ユーロ	1億ユーロ	6000万ユーロ/年	2014年～	英国、ドイツ、フランス、イタリア、ポルトガル、ギリシャ、ノルウェー、スウェーデン
ANAEE (Infrastructure for Analysis and Experimentation on Ecosystems)	生態系分析の研究基盤	—	2億1000万ユーロ	1200万ユーロ/年	2015年～	—
ELIXIR (European Life-Science Infrastructure for Biological Information)	生物情報のための欧州ライフサイエンス研究基盤	450万ユーロ	4億7000万ユーロ	1億ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、オランダ、アイスランド、デンマーク、スウェーデン、フィンランド、ハンガリー、イスラエル
ISBE (Infrastructure for System Biology-Europe)	システム生物学の欧州研究基盤	600万ユーロ	3億ユーロ	1億ユーロ/年	—	—
INSTRUCT (Integrated Structural Biology Infrastructure)	構造生物学の研究基盤	450万ユーロ	3億ユーロ	2500万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、イスラエル
EU-OPENSREEN (European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology)	化学生物学のための欧州研究基盤	370万ユーロ	4000万ユーロ	4000万ユーロ/年	—	英国、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、スイス、オーストリア、オランダ、デンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ポーランド、チェコ

(出典) 欧州研究基盤戦略フォーラム「Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2010」の情報等に基づきJST・CRDSが作成

### 2.3.2 欧州研究基盤コンソーシアム

欧州研究基盤戦略フォーラムを中心とした動きに加え、2009年8月に、欧州各国が共同で研究基盤を整備・活用する動きを支援する枠組みとして、「欧州研究基盤コンソーシアム (ERIC ; European Research Infrastructure Consortium)」が導入された。欧州委員会の研究総局が所掌しており、2010年4月には、支援制度に応募するためのガイドライン「Leagal Framework for A European Reseach Infrastructure Consortium, Practical Guidelines」が提示されている。

応募には「3つ以上の欧州加盟国が共同で研究基盤を整備・運営する」ことに合意する必要があるとされており、欧州研究基盤コンソーシアムとして認められると、付加価値税の免除などの特典が与えられる。欧州研究基盤戦略フォーラムのロードマップで取り上げられた研究基盤などに有効な制度となっており、欧州全体での基盤整備の促進が期待されている。

2011年5月には、最初のケースとして「高齢化による変化の社会経済分析に関する調査基盤 (SHARE ; Survey of Health, Aging and Retirement in Europe)」がコンソーシアムとして認められた。

上記に加え、「欧州臨床研究基盤ネットワーク (ECRIN ; European Clinical Research Infrastructures Network)」「海洋観測研究基盤 (EURO-ARGO ; Global Ocean Observing Infrastructure)」「多分野に渡る異言語の研究資源を共有するための基盤 (CLARIN ; Common Language Resources and Technology Infrastructure)」が承認審査の手続きに入っている。

## 2.4 先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション

先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、2.1 項～2.3 項に米国、英国、欧州の状況を整理した。

米国では、国立科学財団の「科学全般」を対象とした基盤整備に加え、エネルギー省の「エネルギー」を重点とした基盤整備、国立衛生研究所の「ライフサイエンス」を重点とした基盤整備が展開されている。

科学全般には年間 17 億ドル規模の資金が投入されており、天体、極地、海洋、気象などの各種観測に加え、量子ビーム、ナノテク、高磁場などをカバーした広範な支援が行われている。エネルギーには年間 22 億ドル規模の資金が投入されており、量子ビーム、ナノテク、電子顕微鏡、先端計算科学の施設などへの支援が行われている。ライフサイエンスには年間 12 億ドル規模の資金が投入されており、システム生物学、構造生物学、霊長類研究、総合臨床研究の拠点などへの支援が行われている。

英国では、英国研究会議が基盤整備の中核を担っている。予算枠として、各研究会議の活動費に加え、大型施設投資基金が用意されている。基金の標準的投資総額は 1 億ポンド／年に設定されており、英国研究会議がファンディングを行う研究基盤の優先順位を政府に助言する。

各研究会議固有の予算規模を見ると、2011 年度の歳出計画では科学技術施設会議が 2 億 8600 万ポンド、工学物理科学研究会議が 5700 万ポンド、自然環境研究会議が 6400 万ポンド、医学研究会議が 1 億 2800 万ポンド、バイオテクノロジー生物科学研究会議が 9700 万ポンドを研究基盤に投ずる形となっている。この中に、ダイヤモンド放射光施設、テラスケールハイエンド計算機、分子生物学研究所などへの支援が含まれる。

国別の動きに加え、欧州全体の基盤整備も展開されている。第 7 次研究枠組み計画として 18 億 5000 万ユーロを超える予算が確保され、本予算の下で、欧州各国の先端研究基盤をネットワークした一体的活用体制が構築されている。「洋上型再生可能エネルギーの研究基盤」や「微生物資源の研究基盤」などが代表として挙げられる。

さらに、欧州研究基盤戦略フォーラムを中心とした動きも見られる。欧州全体のビジョン&戦略を支援することをミッションとしており、フォーラムがまとめたロードマップを指標に用い、新たな研究基盤が整備されている。最新ロードマップである「Strategy Report on Research Infrastructure, Roadmap 2010」では、48 の研究基盤が取り上げられた。

これらの研究基盤を巡る米英欧での動きの中から、イノベーションとの関わりが強く見られる事例を抽出すると、米国エネルギー省が主導する「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」の取り組みが浮かび上がってくる。

米国エネルギー省は、2001 年以降の 10 年をかけて、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオを実現している。そのために、研究サイドと政策サイドの双方から 1600 名を超える有識者が関与した。

「未来の安定したエネルギー保障を実現する基礎研究」から「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学」に至る 14 の報告書が発表されており、これらの中に、米国が掲げる「エネルギー研究のビジョン&戦略」や「先端研究基盤の重要性」が明示されている。

シナリオを推進する仕組みとして「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」及び「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が導入され、これらを中心に、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションが展開されている。

そこで以下、上記取り組みを詳細に分析することで、研究基盤とイノベーションをつなぐビジョン&戦略に求められる要件を調べた。

### 2.4.1 米国が展開するグリーンイノベーション

米国は、未来の安定したエネルギー保障を実現するため、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションに取り組んでいる。具体的には、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用しながら、グリーンイノベーションの原動力となる「制御科学 (Control Science)」の新興を図っている。

制御科学とは、エネルギーの物理又は化学的変換を支配している複雑な物質構造を設計・作製・制御するための科学基盤のことであり、「エネルギー現象の実態を明らかにする“観察科学”」と「求めるエネルギー現象を創り出す“ナノ科学”」、さらに「観察科学とナノ科学を理論で結びつける“計算科学”」を融合した新たな科学領域を意味する。

この制御科学の新興に向け、観察科学、ナノ科学、計算科学の3つを融合していく研究インフラとして、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤が重要な役割を果たすことになる。

米国エネルギー省は、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオを描き出すために、2001年以降の10年をかけてビジョン&戦略を取りまとめた。研究サイドと政策サイドの双方から1600名を超える有識者が関与し、10の重点領域を対象に、挑戦すべき5つの科学原理を特定している。

「未来の安定したエネルギー保障を実現する基礎研究 (2003年2月)」から「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学 (2010年8月)」に至る14の報告書が発表されており、これらの中に、米国が掲げる「エネルギー研究のビジョン」「制御科学の戦略的位置付け」及び「先端研究基盤の重要性」が明示されている。

以上の米国での展開を、先端研究基盤とイノベーションとの関わりで整理すると、次のような特徴が導き出される。

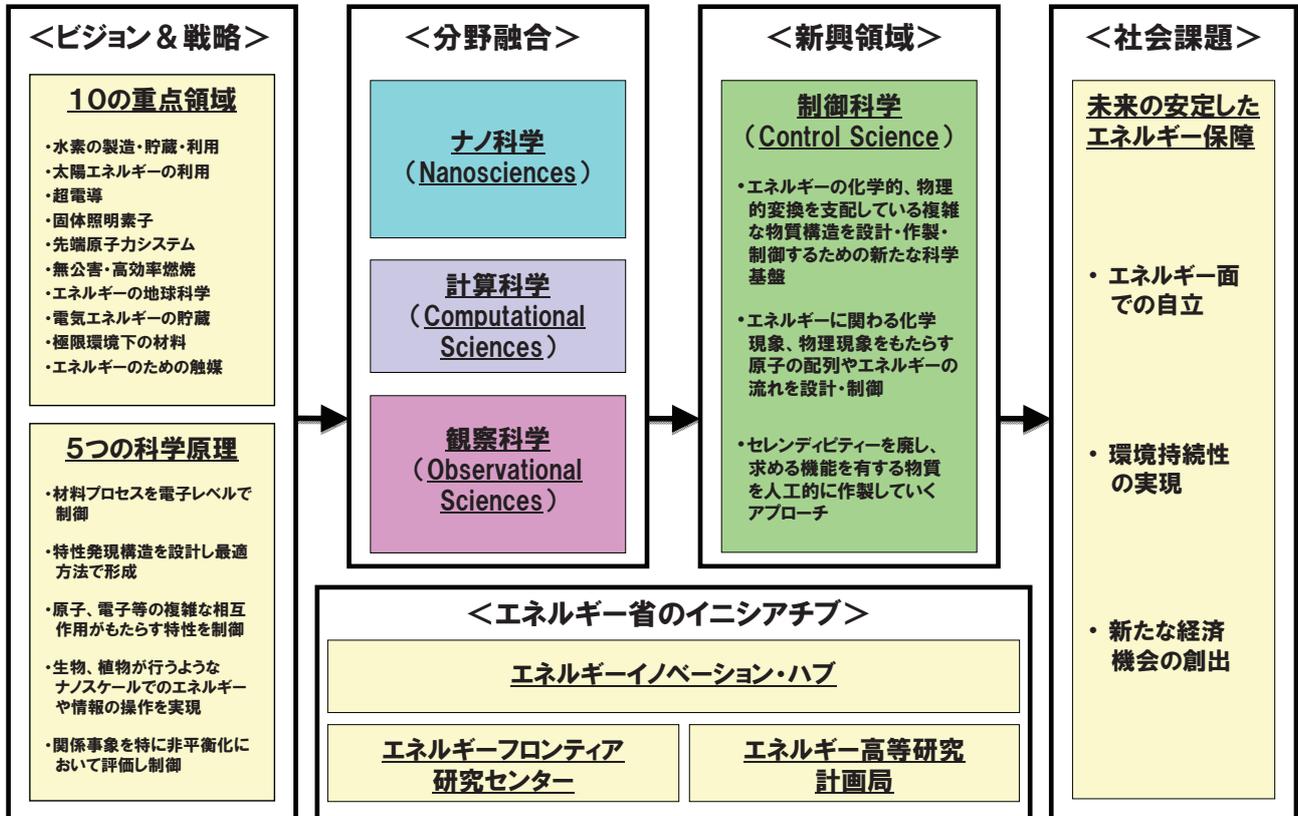
- 第一に、最初にイノベーション達成のための「社会課題 (ここでは、“未来の安定したエネルギー保障”）」を掲げた上で、課題解決に必要な「基礎研究 (ここでは、“制御科学”の新興)」を特定している。
- 第二に、特定した基礎研究に対する「先端研究基盤の重要性」を明示している。つまり、「基礎研究の中で先端研究基盤が果たすべき役割」を設定している。
- 第三に、これらのビジョン&戦略が14の報告書の形で発表されており、その策定に、研究サイドと政策サイドの双方から1600名を超える有識者が関与している。
- 第四に、これらの取り組みの結果として、「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオ」が構築、共有されている。

米国はその後、シナリオを実現していく仕組みとして「3つの研究イニシアチブ (エネルギーフロンティア研究センター、エネルギー高等研究計画局、エネルギーイノベーション・ハブ)」を立ち上げた。現在、これらのイニシアチブを中心に、基礎から応用までをカバーした精力的な研究が展開されている。

米国が取り組むグリーンイノベーションのシナリオを、図表 11 にまとめて示した。次

項以降に、シナリオの詳細を整理する。

図表11 米国が展開する“グリーンイノベーション”のシナリオ



(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報、関連機関との会合結果等に基づき JST・CRDS が作成

### a) シナリオを構築したプロセス

グリーンイノベーションのシナリオは、エネルギー省の科学局（Office of Science）に属する「基礎エネルギー科学局（Office of Basic Energy Sciences）」が中心となり、次のようなプロセスを経て構築している。

- 1) エネルギー省「基礎エネルギー科学諮問委員会（Basic Energy Sciences Advisory Committee）」の下で、基礎エネルギー科学局が「未来の安定したエネルギー保障（エネルギー面での自立、環境持続性の実現、新たな経済機会の創出）」という社会課題を解決するためのビジョン&戦略を策定。
  - 2) そのために、最初に2001年～2003年の約3年をかけて、「今後数十年、特に2050年」を見据えた場合の「米国がエネルギー供給システムを確保し、かつ低炭素社会を実現する（reduced environmental impacts of energy production and use）ための課題」を検討。
  - 3) 具体的には、2002年10月、2003年1月に開催した2回に渡るワークショップ（大学、産業界、研究所などから100人以上が参画）での討議を経て、未来のエネルギーシステムを構築するために“目指すべき37の研究方向”を提示。「未来の安定したエネルギー保障を実現する基礎研究（Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future）」という報告書にまとめ、2003年2月に発表。
  - 4) その上で、提示した“37の研究方向”に対応する“10の重点研究領域”を設定し、取り組むべき課題を抽出。合計で“78の基礎研究群”を提示。そのために、2003年～2007年の5年間に、10回に渡るシリーズの形で「基礎研究ニーズワークショップ（Basic Research Needs Workshop）」を開催。
  - 5) これらのワークショップには、大学、産業界、研究所などから、合わせて延べ1,500人以上が参画。ワークショップ毎に、抽出された基礎研究群を報告書にまとめ、発表。各ワークショップのテーマ及び実施時期は、以下の通り。
- ・「水素の製造・貯蔵・利用」に対する基礎研究ニーズ（Basic Research Needs for The Hydrogen Economy）、2003年5月13日～5月15日
  - ・「太陽エネルギーの利用」に対する基礎研究ニーズ（Basic Research Needs for Solar Energy Utilization）、2005年4月18日～4月21日
  - ・「超伝導」に対する基礎研究ニーズ（Basic Research Needs for Superconductivity）、2006年5月8日～5月10日
  - ・「固体素子照明」に対する基礎研究ニーズ（Basic Research Needs for Solid-State Lighting）、2006年5月22日～5月24日

- ・「先端原子力システム」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs for Advanced Nuclear Energy Systems)、2006年7月31日～8月3日
- ・「運輸燃料の無公害・高効率燃焼」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs for Clean and Efficient Combustion of 21st Century Transportation Fuels)、2006年10月29日～11月1日
- ・「エネルギーシステムのための地球科学」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs for Geosciences : Facilitating 21st Century Energy Systems)、2007年2月21日～2月23日
- ・「電気エネルギーの貯蔵」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs for Electrical Energy Storage)、2007年4月2日～4月4日
- ・「極限環境下の材料」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs for Materials under Extreme Environments)、2007年6月11日～6月13日
- ・「エネルギーのための触媒」に対する基礎研究ニーズ (Basic Research Needs : Catalysis for Energy)、2007年8月6日～8月8日

6) さらに10回に渡るワークショップの成果をもとに、基礎エネルギー科学諮問委員会に属する「グランドチャレンジ分科会 (Grand Challenges Subcommittee)」が、未来のエネルギーシステム構築に向け“挑戦すべき5つの科学原理”を特定。「エネルギー科学における5つの挑戦 (Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination)」という報告書にまとめ、2007年12月に発表。特定された科学原理は、以下の通り。

- 材料プロセスを電子レベルでいかに制御するか (How do we control materials processes at the level of electrons)
- 必要な特性を発現する新規構造をいかに設計し、原子やエネルギー効率の面で最適な方法でいかに形成するか (How do we design and perfect atom- and energy-efficient syntheses of revolutionary new forms of matter with tailored properties)
- 原子や電子などの構成因子の複雑な相互作用から生まれる優れた特性を見出し、これをいかに制御するか (How do remarkable properties of matter emerge from the complex correlations of atomic or electronic constituents and how can we control these properties)
- 生物や植物が行っているようなナノスケールでのエネルギーや情報の操作を可能にする新技術をいかに創出するか (How can we master energy and information on the

nanoscale to create new technologies with capabilities rivaling those of living things)

- 関係する事象を、特に非平衡下において、いかに評価し、そして制御するか (How do we characterize and control matter away - especially very far away - from equilibrium)

7) 加えて、基礎エネルギー科学諮問委員会に属する「“新時代の科学”分科会 (Subcommittee on Facing Our Energy Challenges in A New Era of Science)」が、米国が目指すべきゴールを「制御科学 (Control Science) の新興」というビジョンの形に整理。「未来の安定したエネルギー保障のための科学 (New Science for A Secure and Sustainable Energy Future)」という報告書にまとめ、2008年12月に発表。提示された「制御科学」の内容は、以下の通り。

- 「光、電子、化学結合などの様々な形でエネルギーの物理的又は化学的変換を支配している“複雑な物質構造”を「設計・作製・制御するための新たな科学基盤」を創出する。
- すなわち、「エネルギーに関わる物質中の化学現象や物理現象」をもたらす「原子の配列やエネルギーの流れ」を設計・制御することを可能にする。
- そのために、「求める機能を有する物質を描き出す、いわゆる“素材開発の逆問題”を解くための計算科学」や「自己組織化に代表されるボトムアップ型の材料構築」などの手法も駆使しながら、これまでの「機能を有する物質を偶発的に発見していくアプローチ」から、「セレンディピティーを廃し、機能を有する物質を人工的に作製していくアプローチ」へと転換を図る。
- その上で、一層発展させた最先端の観察科学を用いながら、「作製した人工物における電子や原子レベルの挙動」を捉え、得られた観察結果をフィードバックすることで、「求める機能の発現に必要な“複雑な物質構造”を最適化する。

以上から分かるように、米国エネルギー省は、シナリオを構築する仕組みとしてワークショップを活用しており、8年間に渡る一連の検討（検討成果を13種類の報告書として発表）をもとに、課題解決につながる「5つの科学原理」を特定し、「制御科学の新興」という新たなビジョンをまとめている。その中で、先端研究基盤が果たす役割の重要性を、以下の形で示した。

まず、2007年発表の「エネルギー科学における5つの挑戦」において、研究基盤を次のように位置づけている。

- 1) 先端研究基盤を創出し広く活用していくことが、5つの科学原理への挑戦を支える力となる（該当英文箇所を抜粋して記載）。

-----  
A dedicated and sustained effort to invent and disseminate novel and sophisticated

instruments forms the experimental underpinning of the Grand Challenges described in this report.

-----

- 2) 5つの科学原理への挑戦において、「量子ビーム」「ナノテク」「高速計算機」が主要な役割を果たす。これらの研究基盤の活用を高めることが、重要な要件となる（該当英文箇所を抜粋して記載）。
- 

The existing x-ray, neutron, computing, and nanoscience facilities supported by BES will play a major role in Grand Challenge Science, and it will be important to ask each facility to describe how their facility can most effectively respond to the challenges.

-----

さらに、2008年発表の「未来の安定したエネルギー保障のための科学」では、研究基盤が制御科学の重要なツールとなることを説明している。

- 1) エネルギー現象の制御には、超高速かつ超微細な変化を観察できる新たなツールが必要になる（該当英文箇所を抜粋して記載）。
- 

The physical and chemical phenomena that capture, store and release energy take place at the nanoscale, often involving subtle changes in single electrons or atoms, on timescales faster than we can now resolve. Penetrating the secrets of energy transformation between light, chemical bonds, and electrons requires new observational tools capable of probing the still-hidden realms of the ultrasmall and ultrafast. Observing the dynamics of energy flow in electronic and molecular systems at these resolutions is necessary if we are to learn to control their behavior.

-----

- 2) 未来の安定したエネルギー保障の実現には、超高速かつ超微細な変化を評価するツールが必要になる（該当英文箇所を抜粋して記載）。
- 

These advances-high-performance materials enabling precise control of chemical change, characterization tools probing the ultrafast and the ultrasmall, and new understanding based on advanced theory and simulation -are the agents for moving beyond incremental improvements and creating a truly secure and sustainable energy future.

-----

- 3) 制御科学のツールを活用することが、米国のエネルギー自給を促し、世界のエネルギー市場での経済機会獲得につながっていく（該当英文箇所を抜粋して記載）。

-----  
A national initiative to apply the methods and tools of control science to complex materials and chemical processes will not only reduce and potentially eliminate our dependence on foreign energy, it will also establish our leadership position in next-generation energy technology and reap the economic benefits of supplying this technology to an energy-hungry world.  
-----

その上で、2010年8月には、基礎エネルギー科学諮問委員会に属する「“エネルギー技術の科学”分科会 (Subcommittee on Science for Energy Technology)」が、「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学 (Science for Energy Technology: Strengthening the Link between Basic Research and Industry)」を発表した。

本報告書でも、基礎研究と産業をつなぐ要件として先端研究基盤が取り上げられており、量子ビームやナノテクなどの重要性が指摘されている。

これらの動きを総合すると、米国が未来の安定したエネルギー保障を実現するために、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用しながら、グリーンイノベーションの原動力となる制御科学の新興を図っている様子が浮かび上がってくる。

根拠となる米国エネルギー省の報告書を、該当の掲載ウェブサイトと合わせ、以下にまとめて示した。

▽ “37の研究方向”に関する検討内容が記載された報告書

・ Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/sef\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/sef_rpt.pdf)

▽ “10の重点研究領域”と“78の基礎研究群”に関する検討内容が記載された報告書

・ Basic Research Needs for the Hydrogen Economy

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nhe\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nhe_rpt.pdf)

・ Basic Research Needs for Solar Energy Utilization

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/seu\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/seu_rpt.pdf)

・ Basic Research Needs for Superconductivity

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/sc\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/sc_rpt.pdf)

・ Basic Research Needs for Solid-State Lighting

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ssl\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ssl_rpt.pdf)

・ Basic Research Needs for Advanced Nuclear Energy Systems

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/anes\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/anes_rpt.pdf)

・ Basic Research Needs for Clean and Efficient Combustion of 21st Century

## Transportation Fuels

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ctf\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ctf_rpt.pdf)

- Basic Research Needs for Geosciences : Facilitating 21st Century Energy Systems

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/geo\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/geo_rpt.pdf)

- Basic Research Needs for Electrical Energy Storage

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ees\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/ees_rpt.pdf)

- Basic Research Needs for Materials under Extreme Environments

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/muee\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/muee_rpt.pdf)

- Basic Research Needs : Catalysis for Energy

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/cat\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/cat_rpt.pdf)

## ▽ “挑戦すべき 5 つの科学原理” に関する検討内容が記載された報告書

- Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/gc\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/gc_rpt.pdf)

## ▽ “制御科学の新興” に関する検討内容が記載された報告書

- New Science for A Secure and Sustainable Energy Future

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nsssef\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nsssef_rpt.pdf)

## ▽ “研究基盤の重要性” に関する検討内容が記載された報告書

- Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/gc\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/gc_rpt.pdf)

- New Science for A Secure and Sustainable Energy Future

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nsssef\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/nsssef_rpt.pdf)

- Science for Energy Technology: Strengthening the Link between Basic Research and Industry

[http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/setf\\_rpt.pdf](http://science.energy.gov/~media/bes/pdf/reports/files/setf_rpt.pdf)

## b) シナリオを推進する仕組み

前項で説明した流れを、図表 12 にまとめて示した。米国がシナリオを構築したプロセスを整理すると、次のようになる。

- 1) 第一に、最初に「“未来の安定したエネルギー保障” という社会課題」を掲げた上で、課題解決のための目指すべき「37 の研究方向」を提示している。
- 2) 第二に、提示した 37 の研究方向に対応する「10 の重点研究領域」を設定し、これらの領域において、取り組むべき「78 の基礎研究群」を抽出している。
- 3) 第三に、抽出した 78 の基礎研究群を包含する形で、挑戦すべき「5 つの科学原理」を特定している。
- 4) その上で、5 つの科学原理への挑戦において、量子ビーム、ナノテク、高速計算機などの「先端研究基盤」が重要な役割を果たすことを示している。
- 5) 第四に、これらの取り組みを総合する形で、目指すべきゴールを「制御科学の新興」という新たなビジョンとして提示している。
- 6) さらに、この制御科学を駆使していくツールとして、「先端研究基盤」が必要となることを示している。

米国の場合、研究と政策サイドの双方から 1600 名を超える有識者が関与し、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオをまとめている。その上で、シナリオを推進する仕組みとして、米国エネルギー省が「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」及び「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た。個々のイニシアチブの内容は、次のようになっている。

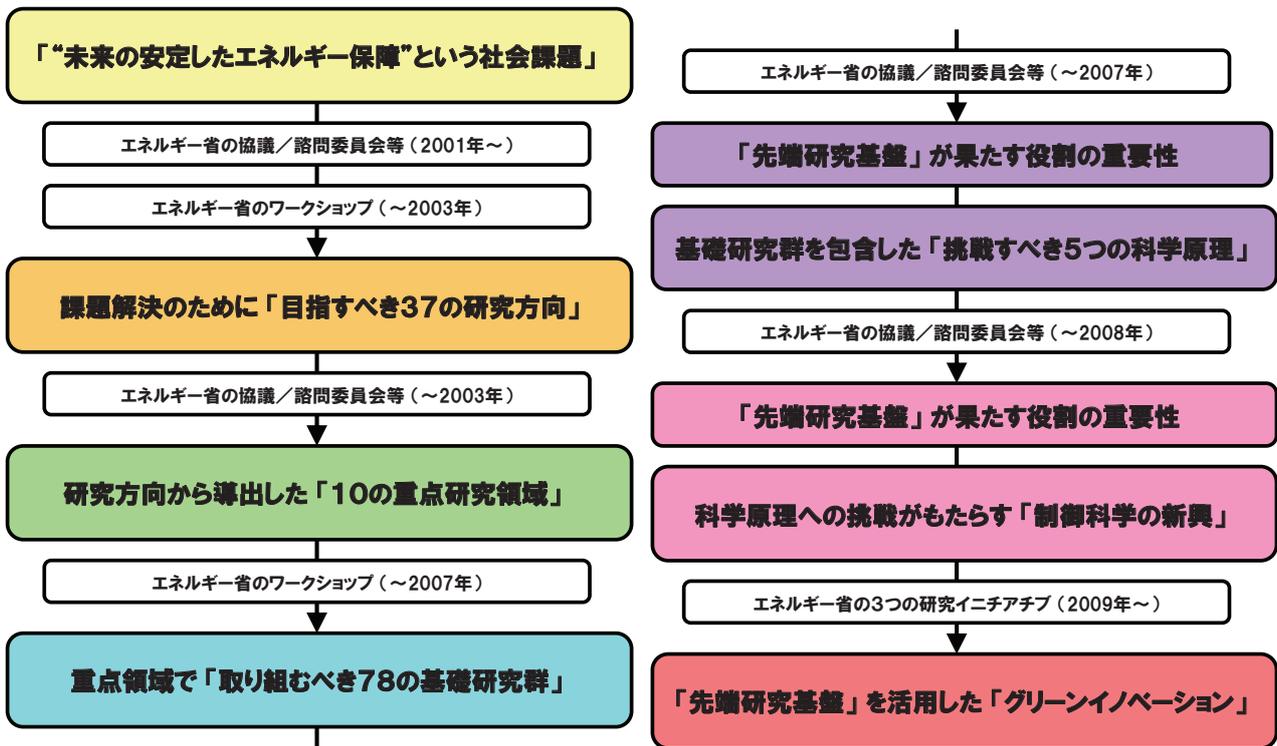
第一のエネルギーフロンティア研究センターは基礎研究を支援する枠組みで、応用研究は対象としていない。2009 年に 46 のセンターが設置され、これらの拠点で約 700 名のシニア研究者と約 1100 名の若手研究や技術者が活動している。

第二のエネルギー高等研究計画局は逆に応用研究のための枠組みで、基礎研究は対象としていない。産業界では取り組むことが困難で、リスクは高いが大きな成果が期待される研究への資金助成を行う。2010 年度時点ですでに 3 回の公募が実施され、117 のプロジェクトが採択されている。

第三のエネルギーイノベーション・ハブは、基礎と応用の両者を対象とする。ここでは、基礎研究や応用研究に加え、商業化に必要な工学開発までカバーした一連の活動が行われる。8 つのハブ創設が想定されており、これまでに「原子炉のモデリング及びシミュレーション」「太陽光からの燃料生成」「エネルギー高効率ビルディング」をテーマとするハブが設立されている。

イニシアチブの詳細を、次項以降にまとめて示した。

図表12 米国エネルギー省が“グリーンイノベーションのシナリオ”を構築したプロセス



(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報等に基づきJST・CRDSが作成

### ・エネルギーフロンティア研究センター

最初に、3つの研究イニシアチブの位置付けを図表13にまとめた。特徴を比較すると、次のように整理できる。

- 研究対象として、エネルギーフロンティア研究センターが「基礎」、エネルギー高等研究計画局が「応用」、エネルギーイノベーション・ハブが「基礎から応用まで」をカバーしている。
- 研究投資額は、エネルギーフロンティア研究センターとエネルギー高等研究計画局が「数億円/年・拠点」、エネルギーイノベーション・ハブが「数十億円/年・拠点」の規模に設定されている。
- 研究体制は、エネルギーフロンティア研究センターが「ネットワーク型」、エネルギーイノベーション・ハブが「アンダー・ワンルーフ型」としての性格を強く持っている。

この内、エネルギーフロンティア研究センター（EFRC ; Energy Frontier Research Centers）は米国内に46の研究拠点を整備するもので、これらに対し、5年間で7億7700万ドルの資金が投じられる。「化石から非化石への転換」及び「エネルギーのクリーン化」を促す基礎研究を行うことが目的であり、応用研究は対象としていない。そのために、大学を中心とした研究体制を組む。米国再生・再投資法から2億7700万ドルを充当し、残りは各年度予算で手当する形となっている。

採択された46センターの内訳を見ると、大学が31機関、エネルギー省の国立研究所が12機関、非営利組織が2機関、企業の研究所が1機関となっている。連携する研究機関を含めると、参画機関は110以上に達する。本ネットワークの下で、約700名のシニア研究者と約1100名の若手研究者（ポスドク、大学院生など）や技術支援者が一体となり、エネルギー分野の基礎研究を展開している。

図表14-1～図表14-8に、センター毎の「推進組織（運営機関、連携機関）」「リーダー」「5年間の資金助成額」「研究概要」を一覧にまとめて示した。個々のセンターが複数の機関と連携することで、全米をカバーするエネルギー研究の一大ネットワークが構築されている状況が確認できる（図表15）。

個別テーマを見ると、「燃料電池・蓄電池」の研究では、コーネル大学やニューヨーク州立大学ストーニブルック校に加え、民間からゼネラルエレクトリック・グローバルリサーチの提案が採択されている。

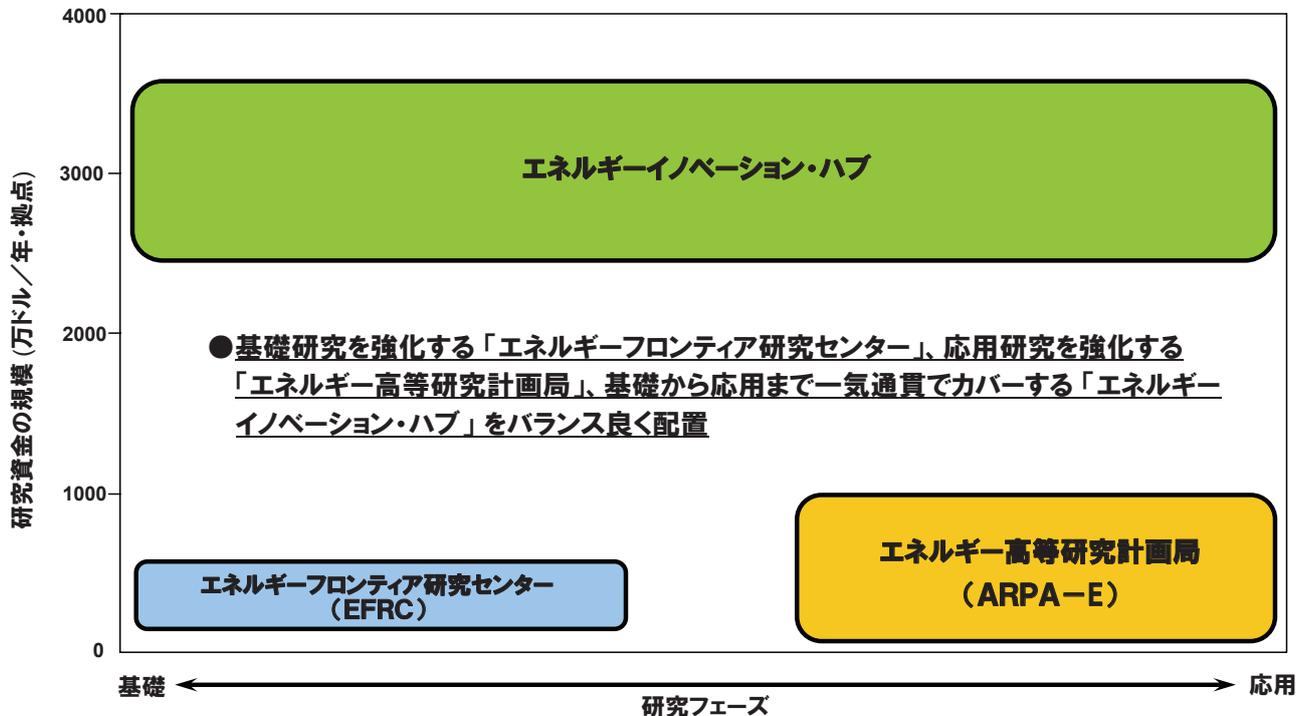
「バイオマス」に関する研究も複数見られる。例えば、遺伝子組み換え植物の研究をリードするドナルドダンフォース植物科学研究センターでは、藻類や種子植物を対象に「エネルギー収率の高い植物の生産性を向上するための科学原理」が研究されている。

また、プリンストン大学は他の提案と異なり、「輸送機関向けの非石油系燃料を対象とした燃焼モデル」の研究に取り組んでいる。

さらに、国立再生可能エネルギー研究所は、太陽エネルギー転換材料を設計するための理論計算として、「求める特性を有する新たな材料を描き出す、いわゆる“材料開発の逆問題”を解くための計算科学」を研究している。

全体として、多くの研究が科学的ブレークスルーをもたらす基盤として「ナノテク」を取り上げている点が注目される。

図表 13 米国エネルギー省の“3つの研究イニシアチブ”の位置付け



・縦軸を「研究資金の規模」、横軸を「研究フェーズ」とし、米国エネルギー省が掲げた3つの研究イニシアチブの関係を示した。

・エネルギーフロンティア研究センターは全米46ヶ所に設置されており、5年間の研究投資総額として7億7700万ドルが予定されている。

・エネルギーイノベーション・ハブは8つのハブを設置することが検討されており、全て整備された場合、5年間の研究投資総額は10億ドル規模となることを見込まれる。

(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報等に基づきJST・CRDSが作成

図表 1 4-1 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織			5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関	リーダー		
1	EFR Center for Bio-Inspired Solar Fuel Production	アリゾナ州立大学	無し	Devens Gust	\$14,020,000	太陽光の水素や各種燃料への転換
2	Center for Interface Science: Hybrid Solar-Electric Materials (CISHSEM)	アリゾナ大学	ジョージア工科大学 プリンストン大学 ワシントン大学 (ワシントン州) 国立再生可能エネルギー研究所 サンディア国立研究所	Neal Armstrong	\$15,000,000	無機-有機ハイブリッド材料を用いた太陽エネルギーへの電気への転換
3	Light-Material Interactions in Energy Conversion	カリフォルニア工科大学	ローレンスバークレー国立研究所 イリノイ大学	Harry Atwater	\$15,000,000	太陽エネルギーや熱の流れを制御する材料
4	Molecularly Assembled Material Architectures for Solar Energy Production, Storage, and Carbon Capture	カリフォルニア大学ロサンゼルス校	国立再生可能エネルギー研究所 イースタンワシントン大学 カンザス大学	Vidvuds Ozolins	\$11,500,000	太陽エネルギーの電気への転換、電気エネルギーの貯蔵、及び温暖化ガスの分離・捕捉のためのナノスケール材料
5	Center on Materials for Energy Efficiency Applications	カリフォルニア大学サンタバーバラ校	カリフォルニア大学デービス校 国立再生可能エネルギー研究所 ロスアラモス国立研究所	John Bowers	\$19,000,000	太陽エネルギーの転換、固体照明、及び熱から電気への転換のためのナノスケール制御材料
6	Emerging Materials for Solar Energy Conversion and Solid State Lighting	南カリフォルニア大学	カリフォルニア大学サンタクルーズ校 ミシガン大学 イリノイ大学 ミシガン大学 バージニア大学	Daniel Dapkus	\$12,500,000	太陽エネルギーの転換や固体照明のための無機-有機ハイブリッド材料
7	Center for Inverse Design	国立再生可能エネルギー研究所	ノースウェスタン大学 スタンフォード大学 オレゴン州立大学	Alex Zunger	\$20,000,000	太陽エネルギー転換材料を設計するための理論計算手法
8	Argonne-Northwestern Solar Energy Research (ANSER) Center	ノースウェスタン大学	アルゴンヌ国立研究所 シカゴ大学 イリノイ大学 エール大学	Michael Wasielewski	\$19,000,000	太陽光を電気や燃料に転換するための材料及びプロセス

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 1 4-2 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
9	Center for Integrated Training in Far-From-Equilibrium and Adaptive Materials (CITFAM)	ノースウェスタン大学	ミンガン大学 ハーバード大学	Bartosz Grzybowski	\$19,000,000	太陽エネルギーの転換、電気や水素の貯蔵、及び触媒用の材料
10	Solid-State Solar-thermal Energy Conversion Center (S3TEC CENTER)	マサチューセッツ工科大学	ボストンカレッジ オークリッジ国立研究所	Gang Chen	\$17,500,000	太陽光や熱を電気に転換するための材料
11	Center for Excitonics	マサチューセッツ工科大学	ハーバード大学 ブルックヘブン国立研究所	Marc Baldo	\$19,000,000	太陽エネルギーの電気への転換、及び電気エネルギーの貯蔵のための材料
12	Polymer-Based Materials for Harvesting Solar Energy	マサチューセッツ大学	国立再生可能エネルギー研究所 ピッツバーグ大学 ペンシルバニア州立大学 韓国、日本及びドイツの研究機関	Thomas Russell	\$16,000,000	太陽光からの電気への転換システムに用いる高分子材料
13	Solar Energy Conversion in Complex Materials (SECCM)	ミンガン大学	無し	Peter Green	\$19,500,000	太陽エネルギーや熱を電気に転換するためのナノスケール材料
14	Photosynthetic Antenna Research Center	ワシントン大学セントルイス校	ドナルドダンフォース植物科学研究センター ロスアラモス国立研究所 ノースカロライナ州立大学 オークリッジ国立研究所 サンディア国立研究所 カリフォルニア大学リバーサイド校 ペンシルバニア大学 グラスゴウ大学(英国) シェフィールド大学(英国)	Robert Blankenship	\$19,999,592	太陽光を燃料に転換するための科学原理

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 40 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 14-3 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
15	Solar Fuels and Next Generation Photovoltaics	ノースカロライナ大学チャペルヒル校	デューク大学 フロリダ大学 ノースカロライナセントラル大学 ノースカロライナ州立大学 国立再生可能エネルギー研究所 ミネソタ大学 ノースカロライナ大学 カリフォルニア大学アーバイン校 ライス大学 コロラド鉱山大学 コロラド大学 ミネソタ大学 ハーヴェュー大学 アーカンソー大学 ブルックヘブン国立研究所 ゼネラルエレクトリック	Thomas Meyer	\$17,500,000	太陽光を燃料や電気に転換するためのナノスケール材料
16	The Center for Advanced Solar Photophysics	ロスアラモス国立研究所		Victor Klimov	\$19,000,000	太陽光を電気に転換するためのナノ材料
17	Re-Defining Photovoltaic Efficiency Through Molecule-Scale Control	コロンビア大学		James Yardley	\$16,000,000	ナノサイズの薄膜中で太陽光を電気エネルギーに転換するための科学原理
18	Understanding Charge Separation and Transfer at Interfaces in Energy Materials and Devices (CST)	テキサス大学オースチン校		Paul Barbara	\$15,000,000	太陽電池や電気エネルギー貯蔵用の分子材料
19	Rational Design of Innovative Catalytic Technologies for Biomass Derivative Utilization	デラウェア大学	リーハイ大学 カリフォルニア工科大学 マサチューセッツ工科大学 ミネソタ大学 ペンシルバニア大学 南カリフォルニア大学 ニューヨーク州立ストーニブルック校	Dionisios Vlachos	\$17,500,000	バイオマスからの化学素材や燃料の生成などを対象とした複合分子を効率的に転換する触媒

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 14-4 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
20	Institute for Atom-Efficient Chemical Transformations (IACT)	アルゴンヌ国立研究所	ノースウェスタン大学 ハーヴェー大学 ウイスコンシン大学マディソン校	Christopher Marshall	\$19,000,000	石炭やバイオマスを化学素材や燃料に転換するための化学手法
21	Center for Direct Catalytic Conversion of Biomass to Biofuels (C3Bio)	パデュー大学	テネシー大学 国立再生可能エネルギー研究所 アルゴンヌ国立研究所	Maureen McCann	\$20,000,000	バイオマスをエネルギー、燃料または化学素材に転換するためのプロセス
22	Center for Advanced Biofuels Systems	ドナルドダンフォース植物科学研究所	ネブラスカ大学 ミズーリ大学セントルイス校 アリゾナ大学 ミシガン州立大学	Richard Sayre	\$15,000,000	エネルギー収率の高い植物分子の生産性を向上するための科学原理
23	Center for Lignocellulose Structure and Formation	ペンシルバニア州立大学	ノースカロライナ州立大学 バージニア工科大学	Daniel Cosgrove	\$21,000,000	バイオマスを燃料に転換するための基本原理
24	Center for Nanoscale Control of Geologic CO2	ローレンスバークレー国立研究所	ローレンスバークレー国立研究所 オークリッジ国立研究所 マサチューセッツ工科大学 カルフォルニア大学デービス校	Donald DePaolo	\$20,000,000	二酸化炭素の地中貯蔵のための科学基礎
25	Center for Gas Separations Relevant to Clean Energy Technologies	カリフォルニア大学バークレー校	ローレンスバークレー国立研究所 テキサスA&M大学 カリフォルニア大学ロサンゼルス校 アムステルダム大学 (デンマーク) ノルウェー科学技術大学 (ノルウェー)	Berend Smit	\$10,000,000	炭素の捕捉・隔離への応用などを対象としたガス分離
26	Frontiers of Subsurface Energy Security	テキサス大学オースチン校	サンディア国立研究所	Gary Pope	\$15,500,000	二酸化炭素の地中隔離などのための地中流体輸送の科学原理

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRGs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 14-5 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
27	Center for Materials Science of Nuclear Fuel	アイダホ国立研究所	コロラド鉱山大学 フロリダ州立大学 ノースカロライナ州立大学 フロリダ大学 ワシントン州立大学 ウィスコンシン大学 オークリッジ国立研究所 ミシガン大学 カリフォルニア大学デービス校 バシフィックノースウエスト国立研究所 サバンナリバー国立研究所 サンディア国立研究所	Dieter Wolf	\$10,000,000	核燃料の熱的・機械的挙動に関する疑似実験に有効な予測計算モデル
28	Materials Science of Actinides	ノートルダム大学	マサチューセッツ工科大学 ローレンスリバモア国立研究所 イリノイ大学 テネシー大学 イリノイ大学 オハイオ州立大学 ブラウン大学 カリフォルニア大学バークレー校 ノースカロライナ州立大学 ローレンスリバモア国立研究所	Peter Burns	\$18,500,000	核エネルギーシステム用のアクチニドを含むナノスケール材料
29	Extreme Environment-Tolerant Materials via Atomic Scale Design of Interfaces	ロスアラモス国立研究所	マサチューセッツ工科大学 ローレンスリバモア国立研究所 イリノイ大学	Michael Nastasi	\$19,000,000	極度の放射線照射や機械的負荷の下での材料挙動
30	Energy Frontier Center for Defect Physics in Structural Materials (CDP)	オークリッジ国立研究所	テネシー大学 イリノイ大学 オハイオ州立大学 ブラウン大学 カリフォルニア大学バークレー校 ノースカロライナ州立大学 ローレンスリバモア国立研究所	Malcolm Stocks	\$19,000,000	極度の放射線環境下での合金中の欠陥挙動等の分析
31	Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion	スタンフォード大学	カーネギー研究所 HRL 研究所 デンマーク工科大学 (デンマーク)	Fritz Prinz	\$20,000,000	各種エネルギー用途向けのナノスケール材料
32	Center for Energy Frontier Research in Extreme Environments (EFree)	ワシントンカーネギー協会	9つの米国大学 6つのエネルギー省国立研究所	Ho-Kwang Mao	\$15,000,000	圧力や温度の局時変化への耐久性に優れたエネルギー関連材料

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 14-6 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織			リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関				
33	Center for Electrical Energy Storage: Tailored Interfaces	アルゴンヌ国立研究所	ノースウェスタン大学 イリノイ大学アーバナシャンペーン校 チュレーン大学		Michael Thackeray	\$19,000,000	電気エネルギー貯蔵のための電気化学反応
34	Computational Catalysis and Atomic-Level Synthesis of Materials: Building Effective Catalysts from First Principles	ルイジアナ州立大学	オークリッジ国立研究所 テキサス A&M 大学 フロリダ大学 クレムゾン大学 ジョージア工科大学 グランプリング大学 ルイジアナ工科大学 ペンシルバニア州立大学 ユトレヒト大学 (オランダ) フロリダ大学		James Spivey	\$12,500,000	触媒設計用の計算ツール
35	Science of Precision Multifunctional Nanostructures for Electrical Energy Storage	メリーランド大学	カリフォルニア大学アーバイン校 サンディエゴ国立研究所 ロスアラモス国立研究所 ノースウェスタン大学 オハイオ州立大学 ミシガン大学 カリフォルニア大学ロサンゼルス校 ウエイン州立大学		Gary Rubloff	\$14,000,000	電気エネルギーを貯蔵するためのナノ構造を有する電極
36	Revolutionary Materials for Solid State Energy Conversion	ミシガン州立大学	ノースウェスタン大学 オハイオ州立大学 ミシガン大学 カリフォルニア大学ロサンゼルス校 ウエイン州立大学		Donald Morelli	\$12,500,000	熱を電気に転換するための材料
37	Energy Frontier Research Center for Combustion Science	プリンストン大学	ケースウェスタンリザーブ大学 コーネル大学 マサチューセッツ工科大学 ミネソタ大学 南カリフォルニア大学 サンディエゴ国立研究所 スタンフォード大学		Chung Law	\$20,000,000	輸送機関向け非石油系燃料の燃焼モデル

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 40 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 14-7 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
38	EFRC for Solid State Lighting Science	サンディア国立研究所	レンセラー工科大学 ニューメキシコ大学 カリフォルニア工科大学 ロスアラモス国立研究所 エール大学 ノースウェスタン大学 マサチューセッツ大学ローウェル校 フィリップスブルミレッズライティング アルゴンヌ国立研究所 イリノイ大学	Jerry Simmons	\$18,000,000	固体照明のためのナノ構造
39	Center for Emergent Superconductivity	ブルックヘブン国立研究所	アルゴンヌ国立研究所 イリノイ大学	Seamus Davis	\$22,500,000	高温超伝導材料
40	Nanostructured Interfaces for Energy Generation, Conversion, and Storage	コーネル大学	ローレンスバークレー国立研究所	Hector Abruña	\$17,500,000	燃料電池、蓄電池、太陽電池、及び触媒における電極での反応制御
41	Center for Electrocatalysis, Transport Phenomena and Materials for Innovative Energy Storage	ゼネラルエレクトリックグローバルリサーチ	エール大学 スタンフォード大学 ローレンスバークレー国立研究所	Grigori Soloveichik	\$15,000,001	燃料電池とフロー電池を組み合わせたエネルギー貯蔵
42	Northeastern Chemical Energy Storage Center (NOCESC)	ニューヨーク州立大学ストーニブルック校	ラトガース大学 ニューヨーク州立大学ビンガムトン校 マサチューセッツ工科大学 ローレンスバークレー国立研究所 ミシガン大学 アルゴンヌ国立研究所 ブルックヘブン国立研究所 フロリダ大学	Clare Grey	\$17,000,000	蓄電池の電極反応に関わる基本原理

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

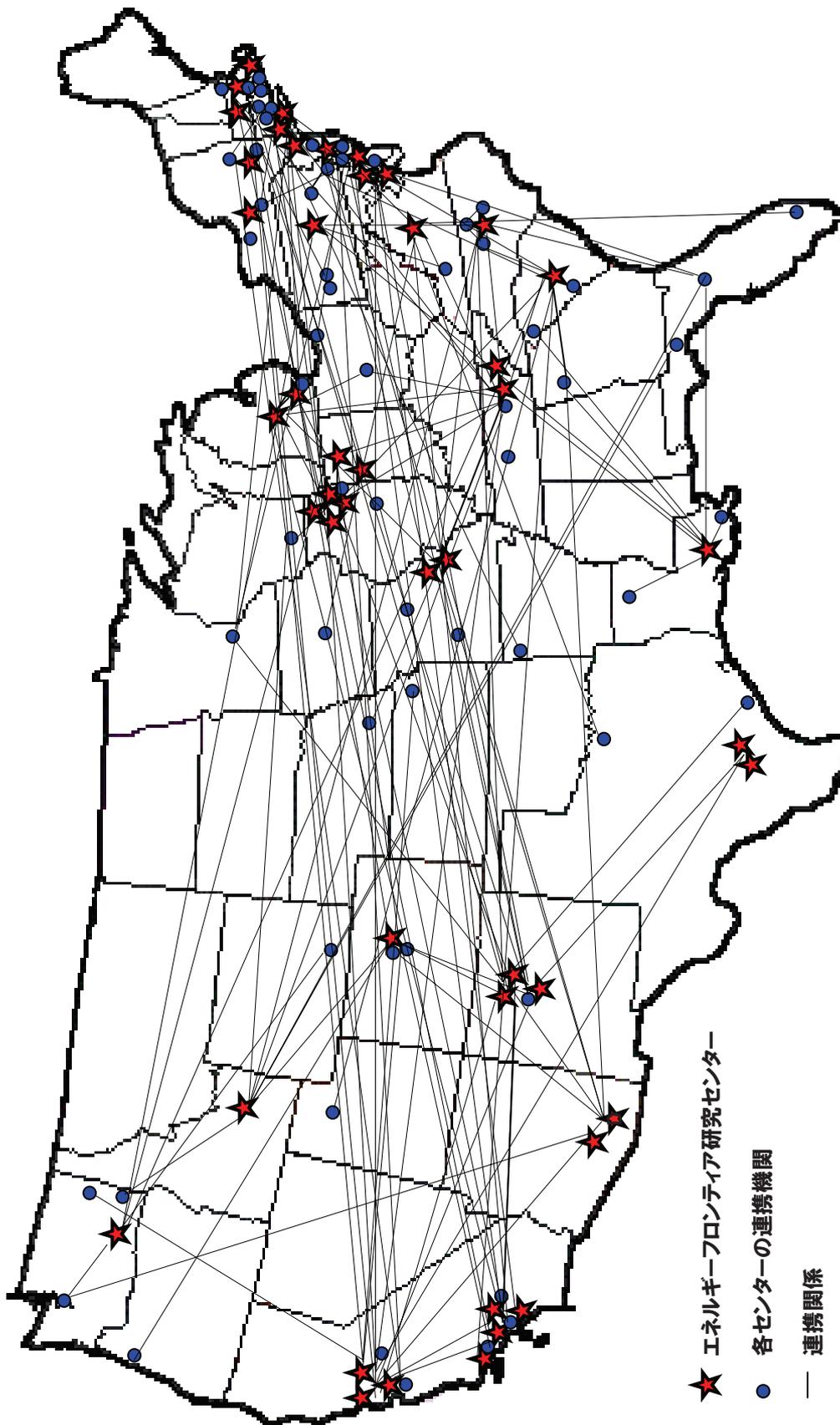
図表 14-8 米国エネルギー省「エネルギーフロンティア研究センター」の採択案件

No.	拠点名 (プロジェクト名)	推進組織		リーダー	5年間の 資金助成額	研究概要
		運営機関	連携機関			
43	Science Based Nano-Structure Design and Synthesis of Heterogeneous Functional Materials for Energy Systems	サウスカロライナ大学	ジョージア工科大学 ノースカロライナ州立大学 プリンストン大学 ペンシルバニア大学 ユタ大学 カリフォルニア大学サンタバーバラ校 コネチカット大学 バシフィックノースウエスト国立研究所 オークリッジ国立研究所 サバンナリバー国立研究所 アルゴンヌ国立研究所	Kenneth Reifsnider	\$12,500,000	エネルギー用途向けのナノ構造材料
44	Fluid Interface Reactions, Structures and Transport (FIRST) Center	オークリッジ国立研究所	アルゴンヌ国立研究所 ノースウェスタン大学 ドレクセル大学 テネシー大学 ノースカロライナ大学 バージニア大学	David Wesolowski	\$19,000,000	電気エネルギーの貯蔵、太陽光の燃料への転換、二酸化炭素の地中隔離などの各種先端エネルギーシステムの基本原理
45	Center for Catalytic Hydrocarbon Functionalization	バージニア大学	カリフォルニア工科大学 プリンストン大学 カリフォルニア大学バークレー校 メリーランド大学 アイオワ州立大学 ノースカロライナ大学 ノーステキサス大学 エール大学 スクリプス研究所フロリダ	Brent Gunnoe	\$11,000,000	水素ガスを液体燃料化するための触媒
46	Center for Molecular Electrocatalysis	バシフィックノースウエスト国立研究所	ワシントン大学 (ワシントン州) ペンシルバニア州立大学 ワイオミング大学	Morris Bullock	\$22,500,000	電気エネルギーや電気エネルギーの変換及び貯蔵

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRCs Awards」に基づき JST・CRDS が作成

図表 15 エネルギーフロンティア研究センター／研究拠点の分布

●一つのセンターが平均で4機関以上と連携し、全米をカバーするネットワークの中で、約700名のシニア研究者と約1100名の若手研究者や技術支援者が一体となり、エネルギー分野の基礎研究を展開している



- ★ エネルギーフロンティア研究センター
- 各センターの連携機関
- 連携関係

(出典) 米国エネルギー省「Synopsis of The 46 EFRC Awards」に基づきJST・CRDSが作成

### ・エネルギー高等研究計画局

エネルギー高等研究計画局（ARPA-E; Advanced Research Projects Agency-Energy）は、基礎ではなく応用を対象とするもので、革新的エネルギー技術を開発するために「産業界では取り組むことが困難で、リスクは高いが大きな成果が期待される研究」への資金助成を行う。助成期間は最長3年間に設定されており、1件当りの投資総額は通常200～500万ドル、最大で2000万ドルとなっている。米国再生・再投資法からは4億ドルの資金が充当された。

2010年度時点ですでに3回の公募が実施され、3億4900万ドルの予算規模で117のプロジェクトが採択されている。この内の60プロジェクトは企業（系列の研究機関を含む）が主導しており、その多くをベンチャーが占める。

採択テーマを見ると、第1回公募では「再生可能エネルギー」「エネルギー貯蔵」「エネルギー効率」「非化石自動車」「二酸化炭素回収」をカバーする広範な研究が選ばれていることが分かる。その上で、第2回公募では「バイオ燃料」「輸送機器用バッテリー」の研究などが採択された。さらに、第3回公募では「エネルギー伝送」の研究などが取り上げられている。

公募毎のプロジェクト構成を、図表16にまとめて示した。

図表16 エネルギー高等研究計画局／採択プロジェクト

- 3回の公募を通じ、3億4900万ドルの予算規模で117プロジェクトが採択されている。
- この内の60プロジェクトが、企業等（系列の研究機関を含む）が主導する研究開発となっており、そのほとんどをベンチャーが占める。

公募	採択時期	予算額	採択プロジェクト数	研究開発対象
第1回	2009年10月	1億5100万ドル	37 (この内、24を企業等が主導)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Renewable Energy／再生可能エネルギー</li> <li>•Energy Storage／エネルギー貯蔵</li> <li>•Industrial and Building Efficiency／エネルギー効率</li> <li>•Petroleum-Free Vehicles／非化石自動車</li> <li>•Carbon Capture／二酸化炭素回収</li> </ul>
第2回	2010年4月	1億600万ドル	37 (この内、12を企業等が主導)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Biofuels from Electricity／バイオ燃料</li> <li>•Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation／輸送機器用バッテリー</li> <li>•Innovative Materials and Processes for Advanced Carbon Capture Technologies／二酸化炭素回収</li> </ul>
第3回	2010年7月	9200万ドル	43 (この内、24を企業等が主導)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage／エネルギー伝送</li> <li>•Agile Delivery of Electrical Power Technology／エネルギー伝送</li> <li>•Building Energy Efficiency through Innovative Thermodevices／エネルギー効率</li> </ul>

(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報に基づきJST・CRDSが作成

### ・エネルギーイノベーション・ハブ

エネルギーイノベーション・ハブ (Energy Innovation Hubs) は、基礎と応用の両者を対象とする。ここでは、基礎研究や応用研究に加え、商業化に必要な工学開発までカバーした一連の活動が行われる。ハブの中に緊密に連携した「アンダー・ワンルーフな仕組み」を築き、多様な分野のトップ人材を糾合していく。いわゆる「エネルギー分野の“ベル研究所”」を作り出すことを目指している。

本イニシアチブ導入に際し、以下の8つのハブを創設する構想が示された。

- ・モデリング、及びシミュレーション (Modeling and Simulation)
- ・太陽光からの燃料生成 (Fuel from Sunlight)
- ・エネルギー高効率ビルディングシステム (Energy Efficient Building Systems Design)
- ・バッテリー、及びエネルギーの貯蔵 (Batteries and Energy Storage)
- ・極限材料 (Extreme Materials)
- ・グリッド材料、装置、及びシステム (Grid Materials, Devices and Systems)
- ・太陽光発電 (Solar Electricity)
- ・二酸化炭素の回収、及び貯蔵 (Carbon Capture and Storage)

2010年度時点で、これらのテーマの中からすでに3つのハブが設立されている。まず、2010年5月に「原子炉用モデリング及びシミュレーション (Modeling and Simulation for Nuclear Reactors)」に取り組むハブの公募結果が発表され、「オークリッジ国立研究所をリーダーとする提案」が選ばれた。

ハブの設置場所は、オークリッジ国立研究所となっている。5年間の予算総額は1億2200万ドルであり、初年度予算2200万ドルの内、「最大1000万ドルまでを、建物の新築を除くインフラ整備に充当できる枠組み」が設けられた。以下の10機関が、ハブに参画している。

- オークリッジ国立研究所 (テネシー州オークリッジ)
- ロスアラモス国立研究所 (ニューメキシコ州ロスアラモス)
- サンディア国立研究所 (ニューメキシコ州アルバカーキ)
- アイダホ国立研究所 (アイダホ州アイダホフォールズ)

- マサチューセッツ工科大学 (マサチューセッツ州ケンブリッジ)
- ミシガン大学 (ミシガン州アナーバー)
- ノースカロライナ州立大学 (ノースカロライナ州ローリー)
- ウェスティングハウス・エレクトリック (ペンシルバニア州ピッツバーグ)
- 米国電力研究所 (カリフォルニア州パロアルト)
- テネシー川流域開発公社 (テネシー州ノックスビル)

続いて、2010年7月には「太陽光からの燃料生成」に取り組むハブとして、「カリフォルニア工科大学をリーダーとする提案」が採択された。下記8機関より成る「人工光合成共同センター (JCAP ; Joint Center for Artificial Photosynthesis)」が設立されている。

- カリフォルニア工科大学 (カリフォルニア州パサディナ)
- ローレンスバークレー国立研究所 (カリフォルニア州バークレー)
- SLAC国立加速器研究所 (カリフォルニア州メンロパーク)
- カリフォルニア大学バークレー校 (カリフォルニア州バークレー)
- スタンフォード大学 (カリフォルニア州スタンフォード)
- カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (カリフォルニア州サンタバーバラ)
- カリフォルニア大学アーバイン校 (カリフォルニア州アーバイン)
- カリフォルニア大学サンディエゴ校 (カリフォルニア州サンディエゴ)

設置場所はカリフォルニア工科大学とローレンスバークレー国立研究所の2ヶ所に分かれているが、カリフォルニア工科大学のネーサン・ルイス教授をリーダーとする一体的なマネジメント体制の下で運営されている。

5年間の予算総額は1億2200万ドルで、ここでも初年度予算2200万ドルの内、「最大1000万ドルまでを、建物の新築を除くインフラ整備に充当できる枠組み」が採用されている。エネルギーフロンティア研究センターなどの他のイニシアチブの成果を取り入れながら、太陽光を化学燃料に転換するシステムを開発し、商業化に向け、開発システムのスケールアップを図るための活動を行っていく。

これらに加え、2010年8月には「エネルギー高効率ビルディング」に取り組むハブが

設立されている。「ペンシルバニア州立大学をリーダーとする提案」が採択され、建物のエネルギー効率に取り組む研究拠点がフィラデルフィア海軍ヤードの中に設置された。5年間の予算総額は1億2200万ドルとなっている。

エネルギーイノベーション・ハブの設置状況を、図表17に整理した。2012年度以降も、「バッテリー及びエネルギー貯蔵」や「戦略材料」をテーマとするハブが設立される計画となっている。

図表17 エネルギーイノベーション・ハブ／設置状況

- 2010年度に整備した3つのハブに加え、新たに「バッテリー及びエネルギー貯蔵」「スマートグリッド」及び「戦略材料」をテーマとする3拠点の設置が申請されている。
- 「戦略材料」を対象とするハブでは、レアアース等のエネルギー分野の重要資源確保をテーマに、基礎から商業化に必要な工学開発までカバーした一連の活動などが展開される予定となっている。

ハブの対象領域	エネルギー省・担当部局	設立時期	リーダー機関
原子炉のモデリング及びシミュレーション (Modeling and Simulation for Nuclear Reactors)	原子力エネルギー局	2010年5月	オークリッジ国立研究所
太陽光からの燃料生成 (Fuels from Sunlight)	科学局	2010年7月	カリフォルニア工科大学
エネルギー高効率ビルディング (Energy Efficient Building Systems)	エネルギー効率・再生可能エネルギー局	2010年8月	ペンシルバニア州立大学
バッテリー及びエネルギーの貯蔵 (Batteries and Energy Storage)	科学局	2012年度・申請	-
戦略材料 (Critical Materials)	エネルギー効率・再生可能エネルギー局	2012年度・申請	-
スマートグリッド (Smart Grid Technology and Systems)	電気伝送・エネルギー信頼性局	2012年度・申請	-
太陽光発電 (Solar Electricity)	-	未定	-
二酸化炭素の回収及び貯蔵 (Carbon Capture and Storage)	-	未定	-

(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報に基づきJST・CRDSが作成

### c) 先端研究基盤を巡る動き

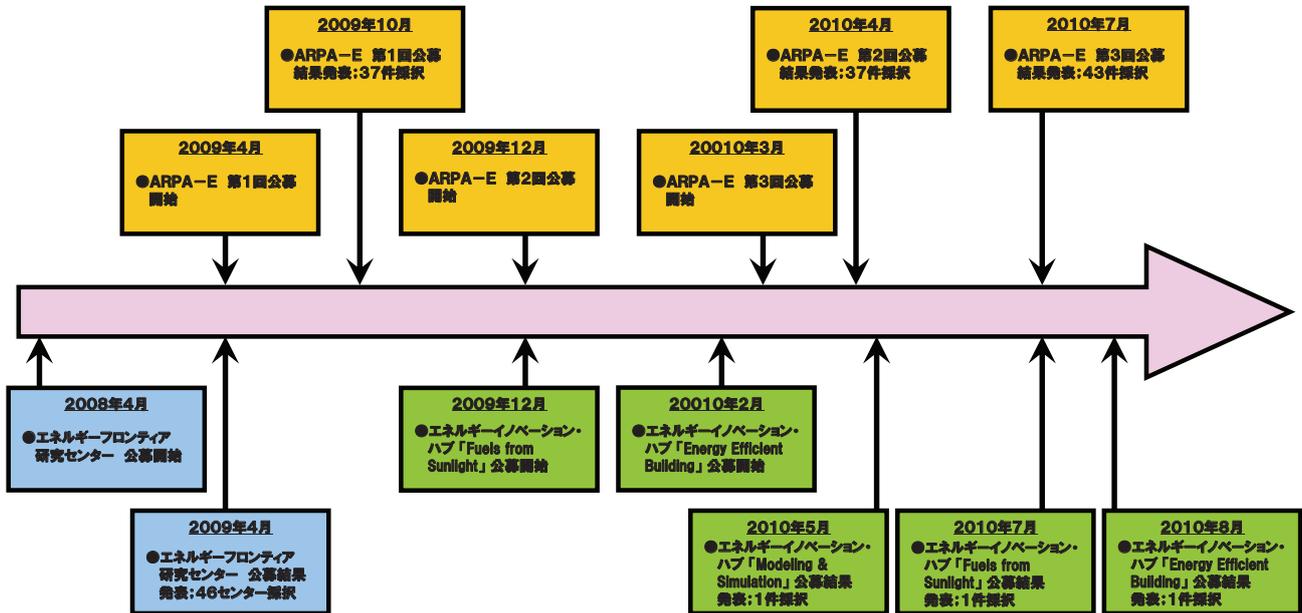
図表 18 に、3 つの研究イニシアチブに基づくファンディング状況を示した。主な動きを整理すると、次のようになる。

- 1) 3 つのイニシアチブの先頭を切り、2009 年 4 月に、エネルギーフロンティア研究センターの採択結果が発表された。最終公募に残った約 260 件の提案の中から、7 億 7700 万ドルの予算総額にて 46 センターが選定されている。
- 2) エネルギー高等研究計画局については、2009 年 10 月に第一回公募結果が発表され、1 億 5100 万ドルの予算総額で 37 プロジェクトが採択されている。
- 3) その後、2010 年 4 月に第二回公募結果が発表され、1 億 600 万ドルの予算総額で 37 プロジェクトが採択された。さらに、2010 年 7 月には第三回公募結果が発表され、9200 万ドルの予算総額で 43 プロジェクトが採択されている。
- 4) エネルギーイノベーション・ハブについては、2010 年 5 月に、「原子炉用モデリング及びシミュレーション」に取り組むハブとしてオークリッジ国立研究所の提案が採択されている（予算総額は 1 億 2200 万ドル）。
- 5) その後、2010 年 7 月には、「太陽光からの燃料生成」のハブとしてカリフォルニア工科大学の提案が採択された（予算総額は 1 億 2200 万ドル）。さらに、2010 年 8 月には、「エネルギー高効率ビルディング」のハブとしてペンシルバニア州立大学の提案が採択されている（予算総額は 1 億 2200 万ドル）。

2009 年度以降、グリーンイノベーションのための研究投資が継続して行われている様子が見て取れる。これらのファンドに基づく活動の中で、先端研究基盤を巡る注目動向を抽出し、次項以降にまとめて示した。

図表18 “3つの研究イニシアチブ”に基づくファンディング状況

●2009年4月以降、3つの研究イニシアチブに基づくファンディングの動きが連続的に展開されている。



(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報等に基づきJST・CRDSが作成

調査結果

### ・研究基盤とイニシアチブ

先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションの取り組みは、ローレンスバークレー国立研究所やSLAC国立加速器研究所が立地するサンフランシスコ地区で顕著に見られる。サンフランシスコ地区には、研究イニシアチブに基づき、二番目のエネルギーイノベーション・ハブである人工光合成共同センターが設置されている。

- 人工光合成共同センター (JCAP ; Joint Center for Artificial Photosynthesis) ; 「太陽光からの燃料生成」をテーマとするエネルギーイノベーション・ハブ。カリフォルニア工科大学がリーダー。研究拠点をローレンスバークレー国立研究所とカリフォルニア工科大学の2ヶ所に分けて設置。

人工光合成共同センターは、太陽光を化学燃料に転換するシステムを開発し、商業化に向け、開発システムのスケールアップを図ることを目的としており、そのために以下の3部門が連携した研究体制を取っている (図表 19)。

- 発見促進部門 (Department of Accelerated Discovery) ; 光吸収、触媒、膜などの研究を加速する役割を担う。
- 大規模システムの科学部門 (Department of Science of Large Scale Systems) ; “ナノスケールの構成要素” から作り上げた人工光合成システムを “センチメートルのスケールで実証” する役割を担う。
- 横断領域グループ (Crosscutting) ; 理論と手法に関する横断領域の研究に取り組む。発見や実証のための各種評価、データ処理、モデリングに必要となる理論、システム構築、手法開発などを担う。

上記ハブに加え、3つのエネルギーフロンティア研究センターがサンフランシスコ地区で活動している。

- 二酸化炭素の地中貯蔵のためのナノ制御センター (Center for Nanoscale Control of Geologic CO<sub>2</sub>) ; 「二酸化炭素の地中貯蔵のための科学基盤」をテーマとするエネルギーフロンティア研究センター。ローレンスバークレー国立研究所がリーダー。
- エネルギー高効率転換のためのナノ構造センター (Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion) ; 「各種エネルギー用途向けのナノスケール材料」をテーマとするエネルギーフロンティア研究センター。スタンフォード大学がリーダー。
- クリーンエネルギー技術のためのガス分離センター (Center for Gas Separations Relevant to Clean Energy Technologies) ; 「炭素の捕捉・隔離への応用などを対象としたガス分離」をテーマとするエネルギーフロンティア研究センター。カリフォルニア大学バークレー校がリーダー。

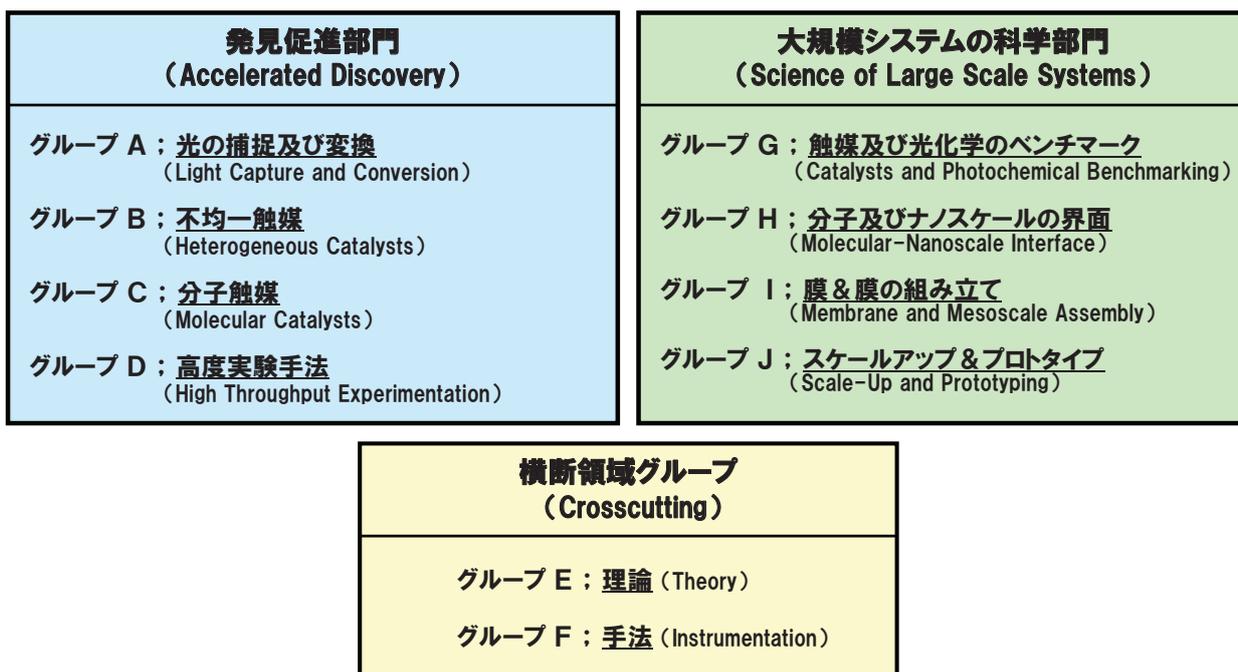
調査の一環として、これらの拠点が所在するサンフランシスコ地区を訪問し、現地にて日米有識者による討議を行った（米国会合機関及び日本側有識者の構成は、図表 2 に記載）。その結果、ローレンスバークレー国立研究所や S L A C 国立加速器研究所が保有する量子ビームやナノテクなどの先端基盤を巡る状況が明らかになり、米国が展開するグリーンイノベーションのシナリオは、次のように説明できることが分かった。

- 1) エネルギー分野のイノベーションをもたらすために、研究対象とする領域が「マイクロ」から「ナノ」へと転換していく。
- 2) その結果、「相界面及び相界面現象」を対象とする新たな科学原理、科学領域が新興してくる。
- 3) 具体的には、「エネルギー現象の実態を明らかにする“観察科学”」と「求めるエネルギー現象を創り出す“ナノ科学”」、さらに「観察科学とナノ科学を理論で結びつける“計算科学”」の三つが融合していく。
- 4) そのための“研究インフラ”や“ネットワーク構築の求心力”として、「量子ビームやナノテクなどの“先端研究基盤”」が重要な役割を果たす。

イニシアチブで設立された拠点が中心となり、量子ビームやナノテクなどの先端基盤を活用しながら、グリーンイノベーションを目指した研究を展開している状況が確認できる。

図表 19 エネルギーイノベーション・ハブ／人工光合成共同センター

- 基礎から応用までカバーした活動を展開するために、「発見促進部門」「大規模システムの科学部門」及び「理論と手法に関する横断領域グループ」が設置されている。



(出典) 米国エネルギー省「Joint Center for Artificial Photosynthesis」の各種公開情報に基づき JST・CRDS が作成

## ・研究基盤とネットワーク

グリーンイノベーションの研究において、先端基盤がネットワーク構築の求心力となっている状況は、例えば、エネルギーフロンティア研究センターの活動の中に見られる。

エネルギー省の報告書で“先端基盤の重要性”が示されたことを受けて、研究イニシアチブの一つであるエネルギーフロンティア研究センターの公募では、採択された46センターの半数以上が「先端基盤を活用すること」を研究計画書に明記した。図表20に、各拠点による先端基盤の活用計画をまとめて示した。計画段階ですでに、量子ビームやナノテクを中心とした研究ネットワークが構築されている状況が見て取れる。

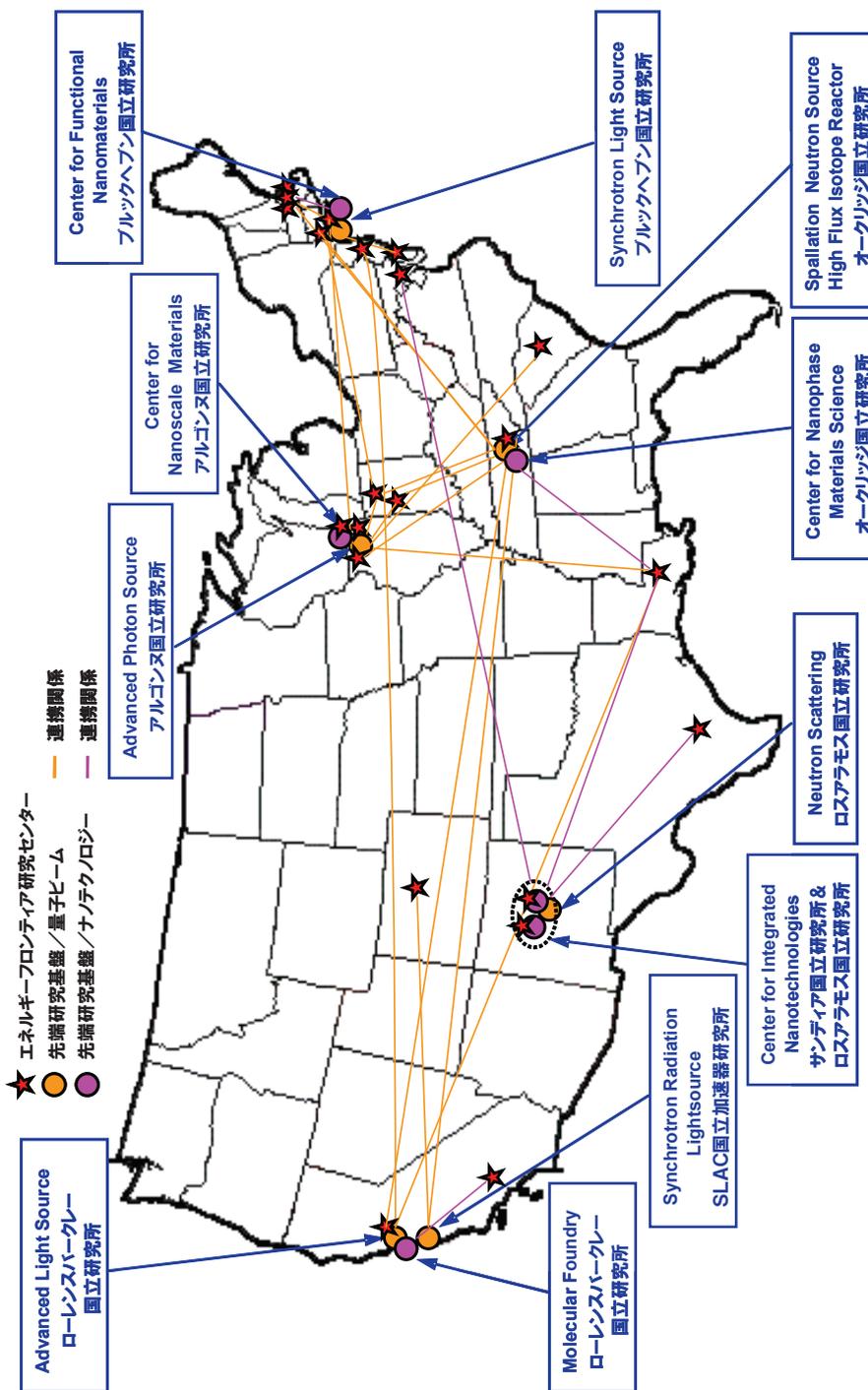
その後、活動の本格化によりネットワークはさらに広がっており、本調査で現地会合を持ったSLAC国立加速器研究所（カリフォルニア州メンロパーク）の場合、計画時点で2拠点だった連携が、2010年2月には9拠点まで増加していることが確認された。カリフォルニア州メンロパークで稼働する量子ビームを活用するため、カリフォルニア州、コロラド州、アリゾナ州、ワシントンDC、ニューヨーク州を本拠とする下記9センターが、SLAC国立加速器研究所との連携を構築している。

- Center for Nanoscale Control of Geologic CO<sub>2</sub> ; 「二酸化炭素の地中貯蔵のための科学基盤」をテーマとする研究センター。「カリフォルニア州バークレーに本拠を持つローレンスバークレー国立研究所」がリーダー。
- Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion ; 「各種エネルギー用途向けのナノスケール材料」をテーマとする研究センター。「カリフォルニア州スタンフォードに本拠を持つスタンフォード大学」がリーダー。
- Center on Materials for Energy Efficiency Applications ; 「太陽エネルギーの転換、固体照明、及び熱から電気への転換のためのナノスケール制御材料」をテーマとする研究センター。「カリフォルニア州サンタバーバラに本拠を持つカリフォルニア大学サンタバーバラ校」がリーダー。
- Molecularly Assembled Material Architectures for Solar Energy Production, Storage, and Carbon Capture ; 「太陽エネルギーの電気への転換、電気エネルギーの貯蔵、及び温暖化ガスの分離・回収のためのナノスケール材料」をテーマとする研究センター。「カリフォルニア州ロサンゼルスに本拠を持つカリフォルニア大学ロサンゼルス校」がリーダー。
- Center for Inverse Design ; 「太陽エネルギー転換材料を設計するための理論計算手法」をテーマとする研究センター。「コロラド州ゴールデンに本拠を持つ国立再生可能エネルギー研究所」がリーダー。
- Center for Interface Science: Hybrid Solar Electric Materials ; 「無機-有機ハイブリッド材料を用いた太陽エネルギーの電気への転換」をテーマとする研究センター。「アリゾナ州ツーソンに本拠を持つアリゾナ大学」がリーダー。

- Center for Energy Frontier Research in Extreme Environments ; 「圧力や温度変化への耐久性に優れたエネルギー関連材料」をテーマとする研究センター。「ワシントン DC に本拠を持つカーネギー地球物理学研究所」がリーダー。
  
- Re-Defining Photovoltaic Efficiency through Molecule Scale Control ; 「ナノサイズの薄膜中で太陽光を電気エネルギーに転換するための科学原理」をテーマとする研究センター。「ニューヨーク州ニューヨークに本拠を持つコロンビア大学」がリーダー。
  
- Northeastern Center for Chemical Energy Storage ; 「蓄電池の電極反応に関わる基本原理」をテーマとする研究センター。「ニューヨーク州ストーニブルックを本拠とするニューヨーク州立大学ストーニブルック校」がリーダー。

図表20 エネルギーフロンティア研究センター／先端研究基盤の活用計画

- エネルギー省・報告書で“先端研究基盤の重要性”が示されたことを受けて、3つの研究イニシアチブの一つであるエネルギーフロンティア研究センターのケースでは、採択された46センターの半数以上が、研究計画書に「先端研究基盤の活用」を明記した。
- 各拠点による先端基盤の活用計画をまとめると、計画段階ですでに「量子ビーム」や「ナノテク」を中心とする研究ネットワークが構築されていることが分かる。



(出典) 米国エネルギー省の各種公開情報等に基づきJST・CRDSが作成

## ・研究基盤と産業ニーズ

先端研究基盤は、エネルギー分野の“産業ニーズ”と“基礎研究”を結びつける上でも大きな役割を負っている。

米国エネルギー省は、8年間に渡る一連のワークショップをもとに78の基礎研究群と5つの科学原理を特定した後、基礎研究と産業ニーズをつなぐ方策を検討した。具体的には、基礎エネルギー科学諮問委員会に属する「“エネルギー技術の科学”分科会 (Subcommittee on Science for Energy Technology)」がワークショップを開催し、下記事項を討議している。この中で、エネルギー省が整備・運営する「量子ビーム」「ナノテク」「電子顕微鏡」などの先端研究基盤が取り上げられた。

## ・エネルギー研究に対する産業ニーズと優先すべき研究方向

## ・エネルギー研究における先端研究基盤の役割と重要性

ワークショップの検討成果をもとに、2010年8月に「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学 (Science for Energy Technology: Strengthening the Link between Basic Research and Industry)」が発表され、以下の戦略が提示されている。

第一に、「産業ニーズと合致し、かつ米国全体の優先事項 (address industry needs and national priorities)」であり、その取り組みに「新たな科学が必要 (require meaningful science)」となり、さらに「早期の成果が期待 (create an opportunity for near-term impact)」されるエネルギー研究として、8領域で合計25の優先すべき研究方向 (priority research directions) が特定された。領域毎の構成は、次のようになっている。

## ・研究領域 I ; 太陽光発電 (Solar Electricity from Photovoltaics)

光電変換界面の基本特性に関する研究など、下記3つの研究方向が示された。

### ① Fundamental Properties of Photovoltaic Interfaces

### ② Advanced Photovoltaic Analysis and Computational Modeling for Scale-Up

### ③ Photovoltaic Lifetime and Degradation Science

## ・研究領域 II ; 電気エネルギー貯蔵 (Electrical Energy Storage)

電池性能向上のための新材料に関する研究など、下記3つの研究方向が示された。

### ① New Materials for Enhanced Battery Performance

### ② New Architectures for Electric Energy Storage

### ③ Understanding and Controlling Heterogeneous Interfaces

- ・ 研究領域Ⅲ；固体照明素子（Advanced Solid State Lighting）  
高電流密度、高温環境下での発光に関する研究など、下記 3 つの研究方向が示された。
  - ① High-Efficiency, Visible, Solid-State Emission at High Current Density and Temperature
  - ② White Emission through Wavelength Conversion
  - ③ OLED Materials and Structures for Reliable, Color-Consistent, High-Luminance Emission
  
- ・ 研究領域Ⅳ；エネルギー効率／建物、燃料電池、風力（Energy Efficiency：Buildings, Fuel Cells and Wind Power）  
建物外壁の光学特性及び熱特性の動態変化に関する研究など、下記 3 つの研究方向が示された。
  - ① Technologies and Dynamic Optical and Thermal Properties of Building Envelopes
  - ② Fuel Cell Materials Understanding and Discovery
  - ③ Enabling Material Technologies for Next-Generation Wind Power
  
- ・ 研究領域Ⅴ；グリッド技術（Electric Power Grid Technologies）  
パワーエレクトロニクス材料の信頼性に関する研究など、下記 4 つの研究方向が示された。
  - ① High Performance and Reliability of Power Electronic Materials
  - ② High-Temperature Superconductors for the Grid
  - ③ Electrical Insulation Materials for Power Cables
  - ④ New Materials for Overhead Conductors
  
- ・ 研究領域Ⅵ；バイオ燃料（Biofuels）  
バイオ燃料プロセスの多様化に関する研究など、下記 3 つの研究方向が示された。
  - ① Diversity of Biomass and Its Intermediates in Biofuel Processing
  - ② Influence of Transport Phenomena on Biomass Conversion

### ③ Catalyst Discovery, Characterization, and Performance Optimization

- ・ 研究領域VII；炭素隔離（Carbon Sequestration）  
界面のイメージング&モデリングに関する研究など、下記3つの研究方向が示された。

#### ① Extracting High Resolution Information from Subsurface Imaging and Modeling

#### ② Understanding Multiscale Dynamics of Flow and Plume Migration

#### ③ Control Science and Tools to Handle Very Low Rate Processes

- ・ 研究領域VIII；原子力エネルギー（Advanced Nuclear Energy）  
材料劣化メカニズムに関する研究など、下記3つの研究方向が示された。

#### ① Materials Degradation Mechanisms

#### ② Scaling of Advanced Irradiation Effects

#### ③ Back End of Fuel Cycle

特定された25の研究方向は、先に選定した78の基礎研究群と多くの一致を示している。その一方で、新たな研究方向として、産業界は革新材料やプロセス探索などの長期の基礎研究に加え、より短期の研究、具体的には「実用段階に入ったエネルギー技術の性能限界を克服する研究」などを求めていることが明らかになった。

これらの方向を示した上で、本報告書は第二に、「量子ビーム、ナノテク、電子顕微鏡などの先端研究基盤が担うべき役割」を特定している。具体的には、25の研究方向の中で研究基盤が重要な役割を果たす事象として、以下の26用途を抽出した。

- ・ 研究領域I；太陽光発電  
不均質界面の光学、電気、機械、及び化学特性の評価ツールなど、下記6つの用途が示された。

#### ① Tools to understand the optical, electrical, mechanical, and chemical properties of heterogeneous interfaces

#### ② Methods to characterize interfaces and then to compare results to computational models

#### ③ Studies of photochemistry and photochemical degradation

#### ④ Analytic tools for failure analyses

- ⑤ Studies of stoichiometry and defect chemistry control of multinary inorganic semiconductors
  - ⑥ Atomic and micro-scale structural studies of large scale systems (solar modules): how do we characterize materials; how do we handle the data?
- ・ 研究領域Ⅱ；電気エネルギー貯蔵  
界面探査ツールなど、下記 2 つの用途が示された。
- ① Forefront in-situ and ex-situ tools to probe interfaces
  - ② Novel energy storage architectures with tunable energy density/power performance via structure-property relationships, with understanding of these relationships at all length scales
- ・ 研究領域Ⅲ；固体照明素子  
下記 1 つの用途が示された。
- ① Fundamentals of molecular interactions between organic light-emitting diode hosts, guests, interfaces, impurities, contacts, and environment that limit reliability
- ・ 研究領域Ⅳ；エネルギー効率／建物、燃料電池、風力  
陽イオン、陰イオンドーピングの評価など、下記 4 つの用途が示された。
- ① Understanding anion/cation doping, e.g., in zirconates, titanates
  - ② Studies of perovskites and spinels that promote O<sub>2</sub> exchange and reduction at gas and oxide interface
  - ③ Studies of oxidation-reduction reaction performance and degradation over various catalysts in acid systems
  - ④ New materials directions: core/shell materials, preferentially faceted nanostructures
- ・ 研究領域Ⅴ；グリッド技術  
高温超電導薄膜の微細構造の原子レベル制御など、下記 3 つの用途が示された。
- ① Atomic level control of the microstructure of high-temperature superconductor films on textured substrates for higher pinning and reduced grain boundary

limiting

② Atomic level control of nanoparticle fillers, dispersions, and interfaces

③ Improvement of power electronic materials such as SiC

・ 研究領域VI ; バイオ燃料

内部及び表面拡散の評価法など、下記 4 つの用途が示された。

① Methods of imaging and spectroscopy to characterize bulk and surface diffusion (e.g., of enzymes on lignocellulose) under realistic processing conditions

② Relation of catalyst/enzyme properties to performance for catalyst development

③ Atomic-level control of catalyst/enzyme structure

④ Approaches to anchoring or tethering metals to supports to minimize leaching

・ 研究領域VII ; 炭素隔離

下記 1 つの用途が示された。

① Studies of CO<sub>2</sub>-water-rock interactions, and use of geochemistry and/or biogeochemistry to accelerate plume stabilization and trapping mechanisms

・ 研究領域VIII ; 原子力エネルギー

多様な環境下での材料制御に関する実験手法など、下記 5 つの用途が示された。

① Experimental characterization, irradiation, and modeling of a prioritized set of controlled materials in multiple environments

② Studies of actinide and fission product behavior (research that transcends technology choices/policy decisions)

③ Studies of f-element electronic structure and bonding

④ Synchrotron beamline experiment with environmental capabilities (e.g., high-temperature water)

⑤ New facility to perform nanoscale testing and characterization of irradiated materials

その上で第三に、“先端研究基盤”自体についても、産業ニーズに基づく新たな検討課題を提示している。具体的には、下記5つの課題に応えた研究基盤が求められていることを示した。

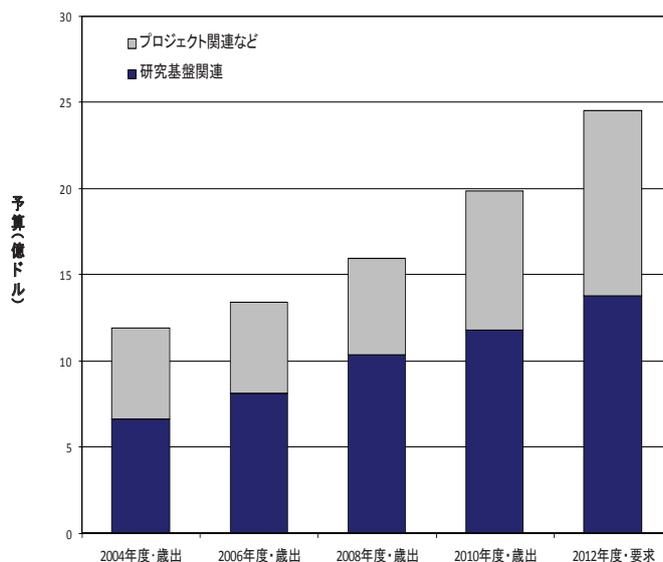
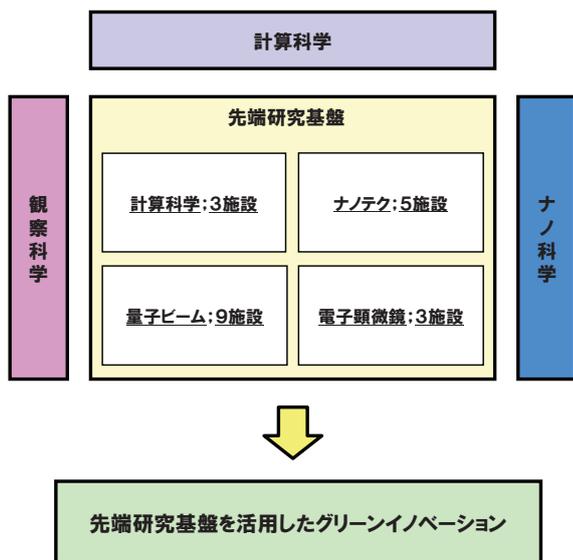
- 実使用環境下での“その場観察” (Experimentation at scale on materials/devices under real world conditions)
- 新材料が発現する未踏機能の評価 (Tools for characterization of new materials with high-throughput capabilities)
- 相界面&相界面現象のマルチスケール解析 (Studying and imaging of interfaces and interfacial phenomena at all length scales)
- 空間、光、時間をパラメータとする高解像度分析 (Techniques for high spatial, spectral and temporal resolution)
- 理論解析&モデリング&シミュレーションに適合したデータ取得 (High-quality experimental input for theory, modeling and simulation)

以上を総合すると、量子ビーム、ナノテク、電子顕微鏡などの先端研究基盤が産業ニーズと基礎研究を結びつける上でも大きな役割を果たすことが明らかになる。これらの役割を担うために、研究基盤のさらなる革新が求められている。

参考として、図表21に、米国エネルギー省・基礎エネルギー科学局による主な研究基盤への投資状況をまとめて示した。“基礎エネルギー科学”の枠組みで「量子ビーム；9施設等」「ナノテク；5施設等」及び「電子顕微鏡；3施設等」、 “計算科学”の枠組みで「計算科学；3施設等」への投資が行われており、これらを対象とする2004年度以降の投資額（2004年度、2006年度、2008年度及び2010年度の歳出額を集計、2004年度は電子顕微鏡関連の歳出を含まず）は、6億5900万ドル、8億900万ドル、10億300万ドル、11億7700万ドルの形で推移している。

図表 21 研究基盤への投資状況／エネルギー省・基礎エネルギー科学局

- エネルギー省・基礎エネルギー科学局が、“基礎エネルギー科学”の枠組みで「量子ビーム；9施設等」「ナノテク；5施設等」「電子顕微鏡；3施設等」への、“計算科学”の枠組みで「計算科学；3施設等」への継続的投資を行っている。
- 2004年度以降の研究基盤関連の歳出額推移（2年毎、2004年度は電子顕微鏡関連を含まず）を分析すると、6億5900万ドル、8億900万ドル、10億300万ドル、11億7700万ドルとなっていることが分かる。



(出典) 米国エネルギー省「Congressional Budget Report」の情報に基づき JST・CRDS が作成

### 3. 調査結果の総括

第4期科学技術基本計画の中で、成長をもたらす原動力として「グリーンイノベーション」及び「ライフイノベーション」という二つの柱が定められた。エネルギー・環境を対象とするグリーンイノベーション、医療・介護・健康を対象とするライフイノベーションが、震災からの復興と並び、5年間(2011年～2015年)の目標として明確に位置付けられている。科学技術によるイノベーションを重視する動きは、米欧にも共通して見られる。地球温暖化やグローバルな競争の激化など、高度で複雑な課題が顕在化し、その解決には従来の延長線上に無い新たな取り組みが必要となることが背景にある。社会課題の本質的解決に向け、未踏の科学原理や革新技術の創出が求められている。

イノベーションにつながる新たな科学原理や革新技術を創出する場合、未踏領域での挑戦を可能にする先端研究基盤が重要な役割を果たす。これまで観察できなかった微細な変化を検知する量子ビーム、仮想物質の機能をシミュレーションする超高速計算機などが代表として挙げられる。このため、日本では第4期科学技術基本計画において、重要課題達成に向けた施策として「科学技術の共通基盤の充実、強化」が掲げられ、「広範かつ多様な研究開発に活用される共通的、基盤的な施設や設備について、より一層の充実、強化を図る」ことが謳われた。米欧でも、研究基盤を構築・強化するための固有の方策が展開されている。

しかしながら一方で、イノベーションを促す先端研究基盤の整備には、継続した投資が必要になる。逼迫する財政状況は各国共通しており、こうした中で一定規模の投資を確保するために、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する取り組み」が強く求められるようになってきた。

実際に各国・地域の状況を概観すると、米国、英国及び欧州において特徴的な動きが見つかる。米国では国立科学財団、エネルギー省、国立衛生研究所などが基盤整備を行う中で、エネルギー省が「グリーンイノベーションのために先端研究基盤が果たす役割」を明らかにしている。英国では、基盤整備の中核を担う英国研究会議が、ロードマップの形で研究基盤の重要度を評価している。さらに、欧州全体では欧州研究基盤戦略フォーラムを母体とする基盤整備が展開されており、ここでも研究基盤の優先度を表す指標としてロードマップが用いられている。

したがって、これらの動きを詳細に分析すれば、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する」、さらには「先端研究基盤とイノベーションをつなぐジョン&戦略を策定する」ための有効なエビデンスが得られることになる。

そこで上記想定に基づき、「先端研究基盤とイノベーション」をテーマとする「G-TeC (Global Technology Comparison)」を行った。G-TeCは、重要な科学技術動向に焦点を当て、各国・地域の状況を分析することで日本のポジションを確認し、今後取るべき戦略の立案に貢献することをミッションとする。

調査には、公開情報に基づく基礎調査、米欧での海外現地会合などの手法を用いた。第一に、各国動向を概観することで、先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、米国、英国、欧州を選定した。第二に、基盤整備を推進している中核機関を特定し、

各機関が主導する研究基盤の整備状況を把握した。第三に、その中から、先端研究基盤を活用したイノベーションの取り組みを抽出した。その上で、第四に、これらの動きを詳細に分析することで、研究基盤への投資効果を高めるための要件を検討した。

### a) 先端研究基盤を巡る注目地域の動向

最初に、各国動向を概観し、先端研究基盤について特徴的動きが見られる地域として、米国、英国、欧州を選定した。その上で、これらの地域における「先端研究基盤整備に関わる中核機関」や「先端研究基盤に関わる整備方策」の状況を分析した。

把握した事項をまとめると、次のようになる。

- 1) イノベーションを促す科学技術の創出に向け、未踏領域での挑戦を可能にする先端研究基盤の役割が重要になっている。日本では第4期科学技術基本計画で「共通基盤の充実、強化」が掲げられ、米欧でも研究基盤を構築・強化する方策が打ち出されている。
- 2) 一方、逼迫する財政状況は各国共通しており、この中で一定規模の投資を確保するために、「研究基盤の重要度を評価し、適正な投資規模を定め、得られる効果を最大化する方策」が強く求められるようになってきた。上記に 대응するように、米国、英国及び欧州において特徴的な基盤整備が展開されている。
- 3) 米国では、国立科学財団の「“科学全般”を対象とした基盤整備」に加え、エネルギー省の「“エネルギー”を重点とした基盤整備」、国立衛生研究所の「“ライフサイエンス”を重点とした基盤整備」が進められている。
- 4) 2010年度の実績を見ると、科学全般を対象とした基盤整備に年間17億ドル、エネルギーを重点とした基盤整備に年間22億ドル、ライフサイエンスを重点とした基盤整備に年間12億ドルの資金が投入されている。
- 5) これらの取り組みの中で、研究基盤への投資効果を高める動きとして、エネルギー省がワークショップを活用しながら「グリーンイノベーションのために先端研究基盤が果たす役割」を明らかにしていった流れが注目される。
- 6) この他にも注目すべき動きが見つかる。英国では、研究基盤への投資効果を高める仕組みとしてロードマップが活用されている。そのために、英国研究会議が主要な役割を担っている。
- 7) 英国の場合、予算枠として、各研究会議の活動費に加え、「大型施設投資基金」が用意されている。2011年度の計画ではこれらの合計で、科学技術施設会議が2億8600万ポンド、工学物理科学研究会議が5700万ポンド、自然環境研究会議が6400万ポンド、医学研究会議が1億2800万ポンド、バイオテクノロジー生物科学研究会議が9700万ポンドを研究基盤に投ずる形となっている。

- 8) この内の大型施設投資基金について、英国研究会議が対象となる研究基盤の重要度を評価し、政府への助言を行っている。そのためにロードマップを策定しており、基金を提供する研究基盤は、原則として、英国研究会議が策定したロードマップに含まれることが要件となっている。
- 9) 欧州全体でも、研究基盤の優先度を評価する指標としてロードマップが用いられている。第7次研究枠組み計画で18億5000万ユーロを超える予算にて研究基盤への支援を行うことが定められ、この中で欧州研究基盤戦略フォーラムが策定したロードマップに基づく基盤整備が展開されている。
- 10) 欧州研究基盤戦略フォーラムは2002年に設立された組織であり、「欧州全体としての研究基盤のビジョン&戦略」を支援することをミッションとする。これまで3回に渡りロードマップを提示しており、2010年の最新ロードマップでは48の研究基盤が取り上げられた。これらに対し、第7次研究枠組み計画からの資金援助が行われている。

#### b) 先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション

次に、研究基盤への投資効果を高めるこれらの動きの中から、イノベーションとの関わりが強く見られる取り組みとして、前述の米国エネルギー省が主導する「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーション」に着目した。

その上で、本事例を詳細に分析することで、「先端研究基盤とイノベーションをつなぐ要件」について検討した。

得られた結果をまとめると、次のようになる。

- 1) 米国は、未来の安定したエネルギー保障を実現するため、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションに取り組んでいる。具体的には、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用しながら、グリーンイノベーションの原動力となる「制御科学 (Control Science)」の新興を図っている。
- 2) 制御科学とは、エネルギーの物理又は化学的変換を支配している複雑な物質構造を設計・作製・制御するための科学基盤のことであり、「エネルギー現象の実態を明らかにする“観察科学”」と「求めるエネルギー現象を創り出す“ナノ科学”」、さらに「観察科学とナノ科学を理論で結びつける“計算科学”」を融合した新たな科学領域を意味する。
- 3) この制御科学の新興に向け、観察科学、ナノ科学、計算科学の3つを融合していく研究インフラとして、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤が重要な役割を果たすことになる。
- 4) 米国エネルギー省は、先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオを描き出すために、2001年以降の10年をかけてビジョン&戦略を取りまとめた。そのために、研究サイドと政策サイドの双方から1600名を超える有識者が関与している。

- 5) 検討成果が「未来の安定したエネルギー保障を実現する基礎研究 (2003年2月)」から「基礎研究と産業を結びつけるエネルギー科学 (2010年8月)」に至る14の報告書として発表されており、これらの中に、米国が掲げる「エネルギー研究のビジョン」、「制御科学の戦略的位置付け」及び「先端研究基盤の重要性」が明示されている。
- 6) この米国が展開するグリーンイノベーションのシナリオは、「イノベーションにつながる基礎研究」及び「基礎研究を支える先端研究基盤」を重視しているという大きな特徴を持つ。具体的には、次のような特徴を持っている。
- 第一に、最初にイノベーションを達成するための「社会課題 (ここでは、“未来の安定したエネルギー保障”）」を掲げた上で、課題解決に必要となる「基礎研究 (ここでは、“制御科学” の新興)」を特定している。
  - 第二に、特定した基礎研究に対する「先端研究基盤の重要性」を明示している。つまり、「基礎研究の中で先端研究基盤が果たすべき役割」を設定している。
  - 第三に、これらのビジョン&戦略が14の報告書として発表されており、その策定に、研究サイドと政策サイドの双方から1600名を超える有識者が関与している。
  - 第四に、これらの取り組みの結果として、「先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションのシナリオ」が構築、共有されている。

米国はその後、シナリオを実現する仕組みとして「3つの研究イニシアチブ (エネルギーフロンティア研究センター、エネルギー高等研究計画局、エネルギーイノベーション・ハブ)」を立ち上げた。

この内、エネルギーフロンティア研究センターは基礎研究が対象で、応用研究は対象にしていない。逆に、エネルギー高等研究計画局は応用研究の枠組みであり、基礎研究は含まない。一方、エネルギーイノベーション・ハブには両者が含まれ、基礎研究、応用研究、商業化に必要な工学開発などの活動が行われる。基礎から応用までカバーした一体的研究体制となってる。

イニシアチブで設立された拠点が中核となり、量子ビームやナノテクなどの先端研究基盤を活用したグリーンイノベーションを展開しており、その中で、先端基盤が研究ネットワークを構築する求心力の役割を果たしている。

各国共通の目標である「研究基盤への投資効果の最大化」を図るため、米国の今後の動向が注目される。

CRDS-FY2011-CR-03

**G-TeC 報告書**

## 先端研究基盤とグリーンイノベーション

**G-TeC Report**

Advanced Research Infrastructures and Their Utilization toward Green Innovation

平成 24 年 3 月 March 2012

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 海外動向ユニット

Overseas 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 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2011 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](mailto: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

