

CRDS-FY2010-CR-01

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTC GCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC  
TGA C CTA ACT CTCAGACC

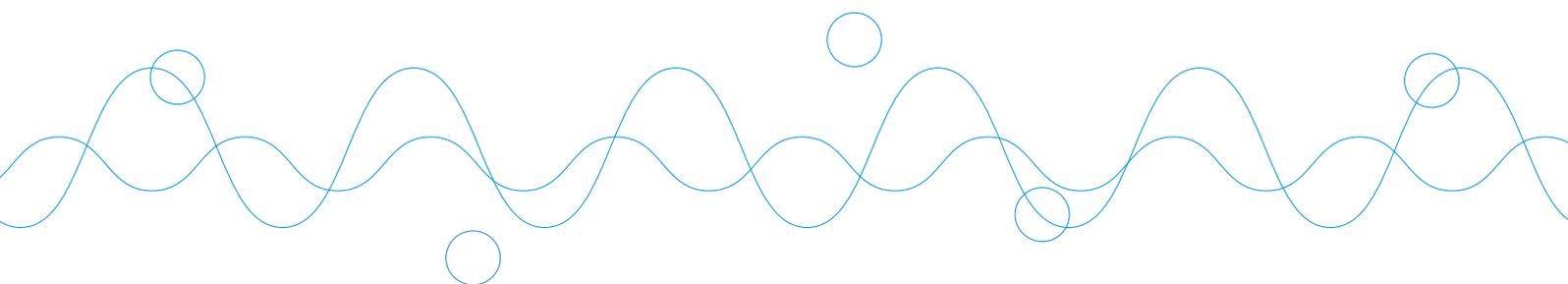
## G-TeC報告書

# 課題解決型研究と新興・融合領域への展開

## G-TeC Report

### “Use-Inspired Researches” toward Emerging & Interdisciplinary Areas

1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1  
1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0  
0 1 0 1 1 1  
0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1  
0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0  
0 1 0 1 1 1  
0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1



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（2011年～2015年）に向け、「科学技術基本政策策定の基本方針（第91回総合科学技術会議、資料3-2、2010年7月）」の中で二つの注目すべき方向が示されている。

第一が、「課題解決を志向した研究開発の強化」である。基本理念に掲げられた「日本及び世界の将来像を見据えた上で我が国が取り組むべき大きな課題を設定し、それを解決・実現するための戦略を策定する一連の流れの中で、実効性ある研究開発を実施し、その成果を課題解決に活かしていくこと」などが該当の記述になる。

その上で、第二に「領域横断的な科学技術の強化」が必要となることが示され、課題解決型研究開発を支える共通基盤として明確に位置付けられた。

社会課題の解決を目指した研究を強化する、そのために分野を横断した研究に取り組んでいくことが、これからの大きな流れになる。

「課題解決型の研究」及び「分野を横断した研究」の重要性は、第3期科学技術基本計画（2006年～2010年）で既に提示されている。具体的には、「第2章 科学技術の戦略的重点化」の中で、社会的な重要課題に対し迅速・的確な解決策を提供するため、明確な目標の下で専門化・細分化された知を人文・社会科学も含め横断的に統合し、課題解決のための分野横断的研究開発に取り組むことが示された。

さらに、優先的資源配分を行う対象として「重点推進4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）」及び「推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）」を掲げる一方で、分野間の知的な触発や融合を促す環境を整え、「新興領域」や「融合領域」へ機動的に対応することが取り上げられている。

第3期及び第4期科学技術基本計画でのこれらの検討は、第一に「多くの要因や現象が複雑に絡み合った社会課題を解決するために、異分野を結びつけた“新興領域や融合領域の研究”が重要な役割を果たすこと」、第二に「その際には、“社会課題を研究に結びつける仕組み”が必要になること」を意味している。

実際に今、世界では気候変動、資源枯渇、感染症などの様々な問題を対象に、こうした取り組みの重みが増大している。最も代表的なケースが「地球環境問題」であり、「低炭素社会の構築」という社会課題の解決に向け、「エネルギー・環境」の研究を強化する動きが広がっている。そして、これらと連動する形で「課題解決に必要な研究の抽出」や「研究を推進するための新興・融合」の動きが展開されている。

したがって、エネルギー・環境を中心とする「各国・地域での課題解決や新興・融合の動き」を把握できれば、第4期科学技術基本計画のために有効となるエビデンス獲得に繋がる。

そこで、上記の背景に応えるため、「課題解決型研究と新興・融合領域への展開」をテーマとする「G-T e C (Global Technology Comparison)」を行った。G-T e C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、米英での海外現地会合などの手法を用いた。「エネルギー・環境」に加え「ナノテク・材料」「数理科学・情報」を対象に取り上げ、注目研究拠点の状況などを分析した。さらに、これらの分析をもとに「課題解決や新興・融合に関わる注目動向」を抽出した。その上で、抽出した動きの詳細を考察することで「社会課題を研究に結びつけていく仕組み」の特徴や要件を把握した。

得られた結果をまとめると、次のようになる。

- 1) エネルギー・環境などの社会問題を対象に、課題解決のための共通基盤として「分野を横断した研究」に取り組む動きが強まっている。
- 2) 社会的関心の高まりを受け、米英の大学がエネルギー・環境の研究拠点設立に動いており、これらの拠点で「大学の知的資源を融合する」「複数の自然科学を融合する」、さらには「自然科学と人文・社会科学を融合する」ための取り組みが展開されている。
- 3) インペリアル・カレッジ・ロンドンの「エネルギー未来研究所（2005年設立）」、マサチューセッツ工科大学の「MITエネルギーイニシアチブ（2007年設立）」、ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの「UCLエネルギー研究所（2009年設立）」、スタンフォード大学の「プリコートエネルギー研究所（2009年設立）」などが代表として挙げられる。
- 4) エネルギー・環境を巡るこうした流れの中で、「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国の「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが特に注目される。
- 5) エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標とする。
- 6) 2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、これらのセンターに5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。
- 7) 上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「“制御科学（Control Science）”と呼ばれる新興・融合領域」の開拓に挑んでいる。
- 8) この制御科学は、未来の安定したエネルギー保証に役立つ「材料」や「プロセス」を生み出すための科学基盤として位置付けられる。
- 9) エネルギーシステムの革新には、材料やプロセスの制御レベルを飛躍的に向上する必要がある。エネルギーに関わる事象はナノスケールの原子・電子の非平衡状態などを反映し、常に変化する。したがって、制御レベルの革新を図るには、対象とする事象

を従来は不可能だった高い精度で（例えば、極微細な領域を超高速で探査しながら）観察していく新たな科学が求められる。

- 10) 制御科学とは、20 世紀に大きな進歩を見せた「観察科学（Observational Science）」を一層発展させ、「材料挙動」や「化学現象」などを人工的に設計・創出・制御するために必要となる異分野のナレッジと融合することで新興する新たな科学領域を意味する。
- 11) 米国エネルギー省は、「課題解決型研究」や「新興・融合領域」を見つけ出すために、ワークショップの仕組みを活用している。具体的には、8 年間に渡る一連のワークショップ等での検討（検討成果を 12 種類のレポートとして発表）をもとに、「未来の安定したエネルギー保証」という課題を解決するための「78 の基礎研究群」と「5 つの科学原理」を特定していった。その上で、これらの研究がもたらす新たな領域として「制御科学」という新興・融合領域を提示している。
- 12) こうしたエネルギー省の取り組みを詳細に分析すると、「課題解決型研究を抽出する仕組み」や「新興・融合領域を特定する仕組み」が備えるべき要件と特徴が浮かび上がってくる。
- 13) 第一に、「社会課題を、最初に“システムの視点”で捉える」ことが必要になる。課題解決型研究を抽出する前提として、「課題が生ずる場となる“対象システム”を具体的に描き出す」ことが求められるためである。エネルギー省のケースでは、目指すべき未来を「“十年～百年単位のエネルギー戦略”の基盤となるシステム」として構造化したことが、議論の起点となった。そのための役割は、「科学技術政策部門であるエネルギー省」と「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が担っている。
- 14) システムを描いた後は、第二に、対象システムの中で社会課題を解決するための「研究方向」や「研究対象」を明らかにする段階に入る。エネルギー省のケースでは、ワークショップに参加した 100 人を超える研究者等が討議を重ね、課題解決に向けた「37 の研究方向」を導き出していった。その上で、これらの方向に対応した「10 の研究対象」を提示している。ここでは、「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たした。
- 15) 対象範囲が定まると、第三に、課題解決に向けて取り組んでいく「重点領域」を指定することが可能になる。エネルギー省のケースでは、研究コミュニティが提示した 10 の研究対象を基本とし、これらに政策的見地に基づく追加、修正を加えながら、「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」などの形に区分した「10 の重点領域」を設定していった。こうした重点領域の設定については、「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が再びその役割を担っている。

- 16) その上で、第四に、設定した個々の重点領域において「課題解決に求められる研究や科学原理」の探索を行う。エネルギー省のケースでは、10回に渡り開催されたワークショップに延べ1500人を超える研究者等が招聘され、討議を通じ「10の重点領域」をカバーする「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。異分野のナレッジを集めることが重要になるため、ここでも「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たしている。
- 17) 上記の検討を経て、特定した78の基礎研究群と5つの科学原理に基づくエネルギー省の公募が行われ、46のエネルギーフロンティア研究センターが設置された。現在、これらのセンターが「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目指し、基礎研究や科学原理の解明に取り組んでいる。
- 18) 以上にまとめた米国エネルギー省の取り組みを考察すると、社会課題を研究に結びつけるための要件として、二つの重要な特徴が導き出される。
- 19) 第一に、「社会課題が発生する場をシステムとして描き出す」ことが求められる。システムを特定することが、取り組むべき基礎研究や科学原理を見つけ出す動きにつながっていく。すなわち、最初にシステムの視点で捉えることが、課題を研究に結びつける具体的流れを生み出す。
- 20) 第二に、「二つのエキスパート・ジャッジメント」の組み合わせが効果を発揮する。「政策担当者やトップクラス研究者による“トップダウン型”の判断」と「研究コミュニティを主役とする“ボトムアップ型”の判断」を交互に取り入れることが、研究を特定していく力になる。社会ニーズと研究シーズに基づく双方向の判断が、課題と研究をつなぐ有効な方策となる。
- 21) 世界は、地球環境問題などの「多くの要因や現象が複雑に絡み合った社会課題」と直面する時代に入った。これらに対処するために、これからは課題解決を目指した研究を強化していく大きな流れが生まれてくる。各国・地域においては、そのための仕組み作りが求められる。先進事例である米国エネルギー省の取り組みを踏まえると、社会課題をシステムの視点で捉えることが、その際の一歩目の鍵を握る。

## Executive Summary

G-TeC (Global Technology Comparison) was done on the theme of “use-inspired researches”.

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 use-inspired researches, globally. And second, based on these investigations, we considered effective methodologies to identify use-inspired researches for solving targeted social problems.

Main results are as follows.

- 1) Use-inspired researches have been enhanced in various fields, especially for solving social problems in energy & environment.
- 2) U.S. and U.K. universities have created new research institutes for energy & environment, such as Energy Future Laboratory (established by Imperial College London in 2005), MIT Energy Initiative (established by Massachusetts Institute of Technology in 2007), UCL Energy Institute (established by University College London in 2009), and Precourt Institute for Energy (established by Stanford University in 2009).
- 3) To utilize these institutes as “research umbrellas”, they have promoted use-inspired researches for energy & environment, through integration of different knowledge-bases, co-operation among multiple departments, and combination of natural sciences with social sciences & humanities, all over their campuses.

- 4) Together with these research umbrellas, movements of “Energy Frontier Research Centers” are outstanding in U.S., on the viewpoint of use-inspired researches.
- 5) Energy Frontier Research Centers were created by U.S. Department of Energy as the new research initiative for energy, corresponding to science & technology policies under President Obama called “Green New Deal”.
- 6) In April of 2009, Department of Energy announced to establish 46 centers all over the U.S., trying to make big waves of use-inspired researches for energy, with the budget of approximately 777 million dollars covering 5 years.
- 7) These centers hold the research goal in common, that is “New Science for A Secure and Sustainable Energy Future”. Toward this goal, they are challenging to emerge new science areas, called “Control Science”.
- 8) Control Science is defined as the scientific basis to promote innovation of energy systems, for realizing “A Secure and Sustainable Energy Future”.
- 9) That is because, various phenomena related to energy are showing rapid changes all the time, reflecting non-equilibrium status of atoms and/or electrons. Therefore, in order to achieve innovation of energy systems, new science should be requested for controlling material properties and their processes.
- 10) For controlling materials and processes, at first, observational science (the scientific basis to observe energy phenomena) should be advanced both at observational precision and probing speed, up to much higher than existent levels.
- 11) After that, advanced observational science should be integrated with interdisciplinary knowledge, that enable to design, to create and to control “material behaviors” and “chemical phenomena”. This is the strategy for emerging Control Science.
- 12) In the case of Energy Frontier Research Centers, U.S. Department of Energy had utilized “workshops” to identify use-inspired researches.
- 13) They had held a series of workshops for the duration of 8 years, and had extracted “78 clusters of use-inspired researches” and “5 grand challenges toward new scientific principles”, for realizing “A Secure and Sustainable Energy Future”.
- 14) To analyze these movements in details, “effective methodologies for identifying use-inspired researches” can be specified, about key factors and their characteristics.

- 15) Key factors and their characteristics are; Firstly, it is important to consider social problems from the viewpoint of systems. If we can define structures of systems where problems are generated, it should become good premises to identify use-inspired researches. In the case of Department of Energy, they had illustrated structures of future energy systems in U.S., based on their "a decades-to-century energy strategy". At this step, "policy sides (Department of Energy)" and "top-class researches (such as committee members and workshop chairs)" had taken main roles.
- 16) Secondly, within defined systems, "research directions & areas for solving problems" are specified by comparison with their necessities. In the case of Department of Energy, over 100 members (mainly researchers) had been gathered to the workshop, 38 research directions and 10 research areas are extracted through discussions. At this step, "research communities (a variety of researchers representing different research fields)" had taken main roles.
- 17) Thirdly, based on directions & areas specified above, "research areas with higher priority" are decided. In the case of Department of Energy, 10 prior areas had been selected, such as "Hydrogen Economy" and "Solar Energy Utilization" . On this selection, "mission importance at policy sides" had been considered additionally, for their final judgments. At this step, again, "policy sides" and "top-class researches" had taken main roles.
- 18) And fourthly, at each prior area, "use-inspired researches" and "scientific principles" are identified, by comparison with their importance for solving targeted social problems. In the case of Department of Energy, over 1500 members (mainly researchers) had been invited to 10 workshops totally (a series of workshops for 10 prior areas). Through these workshops, "78 clusters of use-inspired researches" and "5 grand challenges toward new scientific principles" had been selected. At this step, "research communities" had taken main roles again, integrating various knowledge-bases in interdisciplinary and/or multidisciplinary ways.
- 19) Based on these steps, Department of Energy has established 46 Energy Frontier Research Centers. Now, these centers have been engaging use-inspired researches toward "A Secure and Sustainable Energy Future". Besides, they also have been exploring new scientific principles in order to emerge Control Science.
- 20) To summarize main results of this survey, two essential points are extracted, necessary for identification of use-inspired researches.

- 21) First, it is important to consider social problems from the viewpoint of systems. If we can define structure of systems where problem are generated, it should become good premises to identify use-inspired researches.
  
- 22) Second, it is effective to utilize two types of judgments by different experts. One is “top-down judgments” by experts of “policy sides” and “top-class researches”. And another is “bottom-up judgments” by experts of “research communities”. Best mixes of “top-down” and “bottom-up” can promote to identify use-inspired researches.

# 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 .....	3
2.1 「課題解決」と「新興・融合」を巡る動き .....	4
2.1.1 研究現場での課題解決と新興・融合 .....	8
2.1.2 米国エネルギー省による注目動向 .....	16
2.2 エネルギーフロンティア研究センターの事例分析 .....	18
2.2.1 米国のエネルギー研究戦略 .....	20
a) 米国エネルギー省の3つのイニシアチブ .....	21
b) イニシアチブに基づくファンディング状況 .....	24
c) 米国エネルギー革新評議会による提言 .....	28
2.2.2 ファンディングに見られる特徴 .....	30
2.2.3 研究センターが設立された経緯 .....	37
2.2.4 社会課題を研究に結びつける仕組み .....	42
a) 社会課題をシステムの視点で捉える .....	43
b) 課題解決のための重点領域を定める .....	47
c) 基礎研究と科学原理を特定する .....	53
2.2.5 課題解決型研究による新興・融合 .....	60
3. 調査結果の総括 .....	69

## 1. 目的及び方法

第4期科学技術基本計画（2011年～2015年）に向け、「科学技術基本政策策定の基本方針（第91回総合科学技術会議、資料3-2、2010年7月）」の中で二つの注目すべき方向が示されている。

第一が、「課題解決を志向した研究開発の強化」である。基本理念に掲げられた「日本及び世界の将来像を見据えた上で我が国が取り組むべき大きな課題を設定し、それを解決・実現するための戦略を策定する一連の流れの中で、実効性ある研究開発を実施し、その成果を課題解決に活かしていくこと」などが該当の記述になる。

その上で、第二に「領域横断的な科学技術の強化」が必要となることが示され、課題解決型研究開発を支える共通基盤として明確に位置付けられた。

社会課題の解決を目指した研究を強化する、そのために分野を横断した研究に取り組んでいくことが、これからの大きな流れになる。

「課題解決型の研究」及び「分野を横断した研究」の重要性は、第3期科学技術基本計画（2006年～2010年）で既に提示されている。具体的には、「第2章 科学技術の戦略的重点化」の中で、社会的な重要課題に対し迅速・的確な解決策を提供するため、明確な目標の下で専門化・細分化された知を人文・社会科学も含め横断的に統合し、課題解決のための分野横断的研究開発に取り組むことが示された。

さらに、優先的資源配分を行う対象として「重点推進4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）」及び「推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）」を掲げる一方で、分野間の知的な触発や融合を促す環境を整え、「新興領域」や「融合領域」へ機動的に対応することが取り上げられている。

第3期及び第4期科学技術基本計画でのこれらの検討は、第一に「多くの要因や現象が複雑に絡み合った社会課題を解決するために、異分野を結びつけた“新興領域や融合領域の研究”が重要な役割を果たすこと」、第二に「その際には、“社会課題を研究に結びつける仕組み”が必要になること」を意味している。

実際に今、世界では気候変動、資源枯渇、感染症などの様々な問題を対象に、こうした取り組みの重みが増大している。最も代表的なケースが「地球環境問題」であり、「低炭素社会の構築」という社会課題の解決に向け、「エネルギー・環境」の研究を強化する動きが広がっている。そして、これらと連動する形で「課題解決に必要な研究の抽出」や「研究を推進するための新興・融合」の動きが展開されている。

したがって、エネルギー・環境を中心とする「各国・地域での課題解決や新興・融合の動き」を把握できれば、第4期科学技術基本計画のために有効となるエビデンス獲得に繋がる。

そこで、上記の背景に 대응するため、「課題解決型研究と新興・融合領域への展開」をテーマとする「G-T e C (Global Technology Comparison)」を行った。G-T e C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-T e Cの目的を次のように定めた。

- ・ 各国・地域における「課題解決型研究」と「新興・融合領域」を巡る全体動向の分析
- ・ 個々の研究拠点における「課題解決型研究」や「新興・融合領域」の注目動向の分析
- ・ これらに基づく「社会課題を研究に結びつけていく仕組み」の要件や特徴の検討

調査方法については、「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（米英における注目研究拠点のリーダー等との討議）」を手法として用いた。

調査範囲については、課題解決や新興・融合の取り組みが重みを増している「エネルギー・環境」での動きを中心とし、分野横断的な特徴を持つ「ナノテク・材料」や「数理学・情報」における動向も対象に加えた。

海外現地会合を持った主な機関として、次の大学キャンパス内に設置された研究拠点が挙げられる。

#### ▽米国

- ・ マサチューセッツ工科大学
- ・ カリフォルニア大学バークレー校
- ・ カリフォルニア大学サンフランシスコ校
- ・ スタンフォード大学
- ・ カリフォルニア工科大学
- ・ 南カリフォルニア大学
- ・ アリゾナ州立大学

#### ▽英国

- ・ ケンブリッジ大学
- ・ ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドン
- ・ インペリアル・カレッジ・ロンドン

得られた調査結果を、以下にまとめる。

## 2. 調査結果

最初に、各国・地域における「課題解決型研究」や「新興・融合領域」の巡る全体動向を調べた。その結果、エネルギー・環境を中心に、課題解決のための共通基盤として「分野を横断した研究」に取り組む動きが強まっていることが分かった。

具体的には、米英の大学がエネルギー・環境の研究拠点設立に動いており、これらの拠点で「大学の知的資源を融合する」「複数の自然科学を融合する」、さらには「自然科学と人文・社会科学を融合する」ための取り組みが展開されている。

インペリアル・カレッジ・ロンドンの「エネルギー未来研究所(2005年設立)」、マサチューセッツ工科大学の「MIT エネルギーイニシアチブ(2007年設立)」、ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの「UCL エネルギー研究所(2009年設立)」、スタンフォード大学の「プリコトエネルギー研究所(2009年設立)」などが代表として挙げられる。

次に、これらのポイントを踏まえ、個々の研究拠点での「課題解決」や「新興・融合」の動きを調べた。その結果、エネルギー・環境を巡るこうした動きの中で、「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国の「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが特に注目されることが分かった。

エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標とする。2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、これらのセンターに5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。

上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「“制御科学(Control Science)”と呼ばれる新興・融合領域」の開拓に挑んでいる。

その上で、上記検討に基づき、先進事例であるエネルギーフロンティア研究センターの取り組みを詳細に分析することで、「社会課題を研究に結びつけていく仕組み」の要件や特徴を調べた。その結果、仕組みに求められる要件として、二つの特徴が導き出されることが分かった。

第一に、「課題をシステムの視点で捉えること」が必要になる。社会課題を研究に結びつけていくには、「最初に、課題が発生する場をシステムとして描き出す」ことが重要となるためである。

第二に、「二つのエキスパート・ジャッジメント」が必要になる。米国エネルギー省のケースでは、「政策担当者やトップクラス研究者による“トップダウン型”の判断」と「研究コミュニティを主役とする“ボトムアップ型”の判断」を交互に取り入れることで、社会課題を具体的研究に結びつけている。

以下に、実施した調査内容及び得られた結果を、項目毎にまとめて示す。

## 2.1 「課題解決」と「新興・融合」を巡る動き

「社会課題の解決を目指した研究」及び「分野を横断した研究」を重視する動きは、2000年代の日米欧において様々な形で見られる。

日本では、第3期科学技術基本計画（2006年～2010年）において、これらの重要性が打ち出された。「第2章 科学技術の戦略的重点化」の中で、社会的な重要課題に対し迅速・的確な解決策を提供するため、明確な目標の下で専門化・細分化された知を人文・社会科学も含め横断的に統合し、課題解決のための分野横断的研究開発に取り組むことが示されている。

さらに、優先的資源配分を行う対象として「重点推進4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）」及び「推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）」を掲げる一方で、分野間の知的な触発や融合を促す環境を整え、「新興領域」や「融合領域」へ機動的に対応することが取り上げられた。

第4期科学技術基本計画（2011年～2015年）に向けた検討でも、「科学技術基本政策策定の基本方針（第91回総合科学技術会議、資料3-2、2010年7月）」の中で、引き続きこれらの重要性が打ち出されている。

具体的には、第一に「課題解決を志向した研究開発の強化」を挙げている。基本理念として掲げられた「日本及び世界の将来像を見据えた上で我が国が取り組むべき大きな課題を設定し、それを解決・実現するための戦略を策定する一連の流れの中で、実効性ある研究開発を実施し、その成果を課題解決に活かしていくこと」などが該当の記述になる。

その上で、第二に「領域横断的な科学技術の強化」が必要となることを示し、課題解決型研究開発を支える共通基盤として明確に位置付けている。

課題解決型研究を強化する、そのために研究分野の新興・融合に取り組む動きが、日本の中で大きく広がっていく事態が想定される。

米国の場合、課題解決型の特徴を持つ仕組みとして「高等研究計画局」の存在が挙げられる。社会課題の解決に役立つハイリスク研究への支援を行うことを主目的とする。軍事・防衛のための「国防高等研究計画局（DARPA；Defense Advanced Research Projects Agency、1958年から活動開始）」に加え、2000年代に入り、国土安全保障を目的とする「国土安全保障高等研究計画局（HSARPA；Homeland Security Advanced Research Projects Agency、2002年に設立）」、エネルギー・環境をターゲットとする「エネルギー高等研究計画局（ARPA-E；Advanced Research Projects Agency-Energy、2009年に設立）」が活動を展開している。

また、ライフサイエンスについても、2002年から国立衛生研究所が「医学研究ロードマップ（NIH Roadmap for Medical Research）」の策定に着手し、その後、本ロードマップに対応した課題解決型研究への支援が行われるようになっていく。

新興・融合については、米国科学財団の2つの報告書を巡る動きが注目される。第一が2002年に発表された「Converging Technologies for Improving Human Performance」であり、本報告書で米国科学財団は、ナノテク、バイオ、情報通信、認知科学を融合することで新たな科学領域を新興する「コンバージング・テクノロジー」というビジョンを提示し、これらの研究に取り組むことの重要性を示した。

さらに2007年には「Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation」という報告書をまとめ、革新的アプローチにより新たなパラダイムや科学領域を新興する「トランスフォーメティブ・リサーチ」への取り組みを強化することを提唱している。

米国が、エネルギー・環境、ライフサイエンスなどの複数の研究分野を対象に、課題解決や新興・融合を目指した活動を展開してきた経緯が見て取れる。

欧州では、各国の動きに加え、課題解決の特徴を持つ仕組みとして、欧州全体を対象とした「欧州テクノロジー・プラットフォーム」が活動を行っている。欧州委員会の奨励を受けて、2001年から産業界が主導する形で、特定課題の解決を目指した産学官の連携組織が構築されるようになった。「欧州の成長、競争力、持続性を高める」ことを共通の目標としている。

これまでに30を超えるプラットフォームが形成されており、個々のプラットフォームが独自のビジョンを掲げ、ビジョン達成の研究戦略を策定し、参加メンバーが連携して戦略を遂行していく。例えば、2005年に設立された「ゼロエミッション火力発電所のための欧州テクノロジー・プラットフォーム (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants)」には、産業界25機関、学术界8機関を含む38機関が参加している。2020年までに欧州の火力発電所からの二酸化炭素排出量をゼロにすることを目標に掲げ、二酸化炭素の回収&貯蔵を対象とした研究活動に取り組んでいる。

新興・融合の面でも、各国での動きに加え、第6次研究枠組み計画(2002年～2006年)として「NEST; New and Emerging Science and Technologies (総予算は2億1500万ユーロ)」という仕組みに基づく支援が行われてきた。

上記仕組みでは、「冒険的プロジェクト; Adventure Projects (研究者が独自に提示した新たな検討課題への取り組み)」「洞察的プロジェクト; Insight Projects (社会のリスクや問題に関わる新たな現象の発見や発明)」「探索的イニシアチブ; Pathfinder Initiatives (新たな科学領域の創出を目指した挑戦的取り組み)」の三つを対象とした支援が実施されている。

このほかにも、第6次及び第7次研究枠組み計画(2007年～2013年)を通じ、情報社会技術 (Information Society Technologies) を対象とした「FET; Future and Emerging Technologies」という制度の中で、新たな科学領域の新興を目指したプロジェクトが展開されている。

欧州についても、課題解決や新興・融合を目指した活動が展開されてきた状況を確認できる。

このように日米欧で様々な動きが見られる一方で、実際に各国の研究現場に入ると「課題解決や新興・融合への取り組みの難しさ」を指摘する声が多い。「課題解決のための研究を見つける難しさ」や「新興・融合のための体制を構築する難しさ」などが主因となっているものと推定される。

そこで、上記の想定を踏まえ、本調査では「社会課題を研究に結びつける仕組み」や「新興・融合の体制を構築する仕組み」に求められる要件や特徴を明らかにすることを大きな目標として定めた。その上で、目標を達成するため、各国・地域での先進事例や注目事例

に焦点を当て、これらの実態を詳細に調べた。

調査では、課題解決や新興・融合の取り組みが展開される場となる「研究拠点」の動向に着目した。対象分野については、社会課題解決の要請が強い「エネルギー・環境」、分野横断的特徴を持つ「ナノテク・材料」及び「数理科学・情報」の3分野を取り上げた。

その上で、米英の注目研究拠点との現地会合を実施した。分野毎の研究拠点の構成を、図表1にまとめて示した。

これらの会合などを通じ把握した研究現場での課題解決と新興・融合の動向を、以下にまとめる。

図表1 「課題解決と新興・融合の動向」について現地会合を実施した研究拠点

区分	会合機関		対象者	役職	訪問者
	地域	名称/英語等			
ナノテクノロジー・材料	米国	University of California, Berkeley / Center of Integrated Nanomechanical Systems	Dr. William Mickelson	Executive Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
	米国	Stanford University / Center for Probing The Nanoscale	Prof. Kathryn Moler	Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
	米国	University of California, San Francisco / Cell Propulsion Laboratory	Dr. James Onuffer	Associate Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
	米国	Massachusetts Institute of Technology / Institute for Soldier Nanotechnologies	Prof. William Peters	Executive Director	JST-CRDS チー・エー・エー
	英国	University College London / London Center for Nanotechnology	Prof. Des McMorrow	Deputy Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
英国	University of Cambridge / Nanoscience Centre / Interdisciplinary Research Collaboration in Nanotechnology / Nanoscience Research Group	Dr. Colin Durkan	Head	JST-CRDS チー・エー・ビー	
数値科学・情報	米国	University of California, Berkeley / Mathematical Sciences Research Institute	Prof. Robert Bryant	Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
	米国	Stanford University / Center for The Study of Language and Informator	Prof. Stanley Peters	Director	JST-CRDS チー・エー・エー
	米国	Massachusetts Institute of Technology / Center for Collective Intelligence	Prof. Thomas Malone	Director	JST-CRDS チー・エー・エー

区分	会合機関		対象者	役職	訪問者
	地域	名称/英語等			
エネルギー・環境	米国	Massachusetts Institute of Technology / MIT Center for Energy and Environmental Policy Research	Dr. John Parsons	Executive Director	JST-CRDS チー・エー・エー
	米国	University of California, Berkeley / Energy and Resources Group	Dr. Daniel Farbar	Chair Professor	JST-CRDS チー・エー・エー
	米国	Stanford University / Precourt Institute for Energy	Prof. Franklin On Director	Director	JST-CRDS チー・エー・エー
	英国	University College London / UCL Energy Institute	Prof. Tadi Orestczyn	Director	JST-CRDS チー・エー・ビー
	英国	Imperial College London / Energy Future Lab	Prof. Nigel Brandon	Director	JST-CRDS チー・エー・ビー

### 2.1.1 研究現場での課題解決と新興・融合

米英で現地会合を持ったエネルギー・環境の5機関、ナノテク・材料の6機関、数理科学・情報の3機関、合わせて14の注目研究拠点(図表1)との討議結果などをもとに、研究現場での「課題解決型研究」や「新興・融合領域」を巡る動向を整理すると、次のような傾向が確認できる。

第一に、エネルギー・環境分野では「課題解決のための科学領域の融合」が活発化している。具体的には、米英の大学がエネルギー・環境の研究拠点設立に動いており、これらの拠点で「大学の知的資源を融合する」「複数の自然科学を融合する」、さらには「自然科学と人文・社会科学を融合する」ための取り組みが展開されている。

インペリアル・カレッジ・ロンドンの「エネルギー未来研究所(2005年設立)」、マサチューセッツ工科大学の「MIT エネルギーイニシアチブ(2007年設立)」、ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの「UCL エネルギー研究所(2009年設立)」、スタンフォード大学の「プリコートエネルギー研究所(2009年設立)」などが代表として挙げられる。

この内、英国のエネルギー未来研究所(Energy Future Laboratory)では、次のような活動が展開されている。

- ・インペリアル・カレッジ・ロンドンが、エネルギーを共通テーマとして立ち上げた学際拠点。エネルギー分野における「大学のブランド力」を高める仕組みとして位置付けられている。
- ・インペリアル・カレッジ・ロンドンのキャンパスには数百のエネルギー関連プロジェクトが存在するが、多くのプロジェクトは個々の研究者単位での取り組みとなっている。
- ・本拠点は上記とは異なり、課題解決型研究(use-inspired research)を対象とするプラットフォームになる。複数の領域を融合することで、学際分野の新たな活動機会を創出していく。
- ・多様な自然科学系部門に加え、人文・社会学系の「Center for Energy Policy and Technology(拠点でのエネルギー政策研究をリード)」が参画している。大学全体のエネルギー研究をカバーするアンブレラ組織として機能している。
- ・産業界の動向も視野に入れながら、短期的課題ではなく、部門を横断した研究チームの組成が必要となるような中長期の課題を探索していく。本方針の下、シェルからの研究助成を受けて、「二酸化炭素の回収&貯蔵」をテーマとするプロジェクトが進められている。

課題解決に向け、自然科学と人文・社会科学の融合に取り組んでいることが分かる。

また、UCL エネルギー研究所(UCL Energy Institute)では、次のような活動が展開されている。

- ・ユニバーシティ・カレッジ・ロンドンが、「需要サイドからのエネルギー研究」をテーマに設立した学際拠点。供給サイドに比べ、需要サイドの動向は社会学的要素を強く持つため、これまであまり研究が行われてこなかったとの認識に立つ。
- ・需要サイドの課題を総合的視点で捉えるために、「最初に、対象となるエネルギーシステムを描き出す」ことを重視している。その上で、課題解決に向け、自然科学系部門と経済学、社会学、心理学などの人文・社会学系部門を連携していく。
- ・課題解決型の研究拠点であり、エネルギー保証や低炭素化などの地球規模の課題を対象に、個々の学部で生まれた革新的成果を現実の課題解決に結びつけることを狙っている。

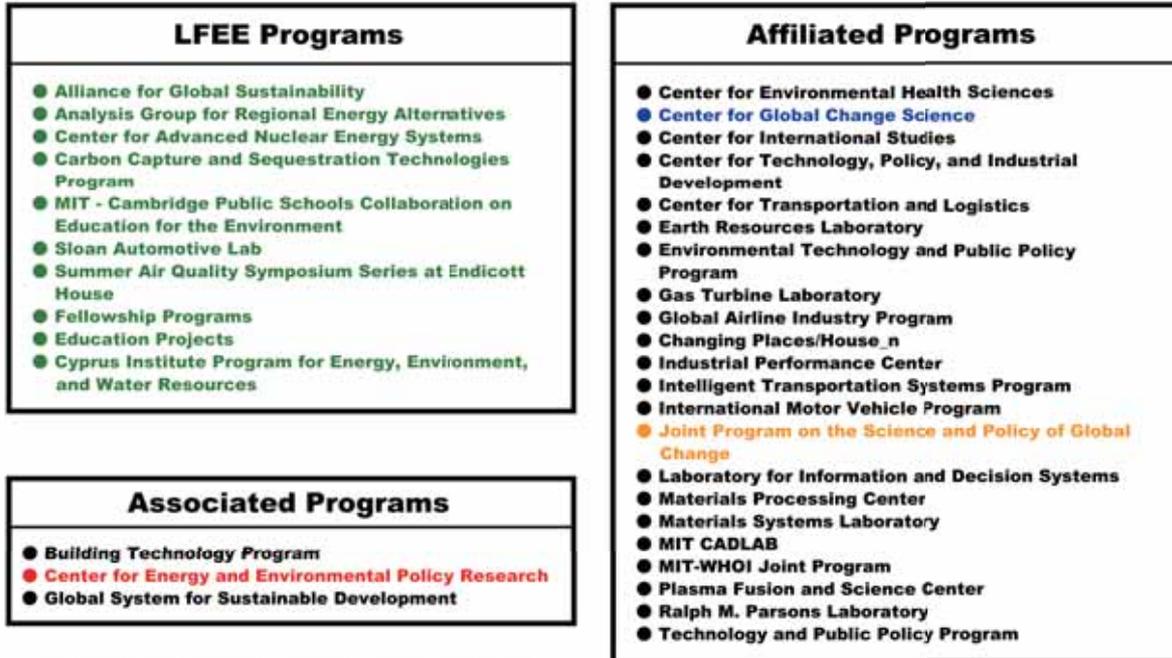
ここでも、課題解決のための文理融合の動きが見られることが分かる。

一方、米国の MIT エネルギーイニシアチブ (MIT Energy Initiative) では、次のような活動が展開されている。

- ・マサチューセッツ工科大学が、エネルギーを共通テーマとして立ち上げた学際拠点。大学全体の知的資源を融合するための活動基盤が構築されている。
- ・この中で、自然科学系の「Center for Global Change Science」、人文・社会科学系の「Center for Energy and Environmental Policy Research」、及びこれらが連携した「Joint Program on the Science and Policy of Global Change」などの機関が活動している (図表 2)。
- ・自然科学系の「Center for Global Change Science」は、「理学 (School of Science)」と「工学 (School of Engineering)」の知的資源を融合する仕組みとして機能している。
- ・人文・社会科学系の「Center for Energy and Environment Policy Research」は、「経営 (Sloan School of Management)」と「経済 (Department of Economics)」の知的資源を融合する仕組みとして機能している。
- ・その上で「Joint Program on the Science and Policy of Global Change」が、これらの 2 つを連携する「文理融合の場」として機能している (図表 3)。
- ・「Joint Program on the Science and Policy of Global Change」では、自然科学系部門と人文・社会学系部門が一緒になり、気候変動などの地球規模の課題を解決するための研究を展開していく。
- ・こうした連携は、科学領域だけでなく、外部ネットワークの融合にもつながっていく。本ケースでは、人文・社会学系部門が構築した石油会社や銀行などの産業界とのネットワークが自然科学系部門へと広がっていく効果をもたらしている。

図表2 MITエネルギーイニシアチブの組織構成

- MITエネルギーイニシアチブは、「LFEE (Laboratory for Energy and the Environment) Program」「Associated Program」「Affiliated Program」などの研究基盤から成り立っている。



(出典) マサチューセッツ工科大学のウェブ公開情報等に基づきJST-CRDSが作成

図表3 MITエネルギーイニシアチブでの文理融合の動き

- 自然科学系の「Center for Global Change Science」は、「理学 (School of Science)」と「工学 (School of Engineering)」の知的資源を連携する仕組みとして機能している。
- 人文・社会科学系の「Center for Energy and Environment Policy Research」は、「経営 (Sloan School of Management)」と「経済 (Department of Economics)」の知的資源を連携する仕組みとして機能している。
- その上で「Joint Program on the Science and Policy of Global Change」が、これらの知的資源を連携する「文理融合の場」として機能している。



(出典) マサチューセッツ工科大学のウェブ公開情報等に基づきJST-CRDSが作成

前述の英国 2 拠点と同様に、ここでも課題解決のための文理融合の取り組みが進められている。

さらに、スタンフォード大学が設立したプリコートエネルギー研究所 (Precourt Institute for Energy) のケースでも、エネルギーの学際研究に取り組むために、20 を超える部門を連携する動きが展開されていることを確認できた。

第二に、ナノテク・材料の動向に着目すると、本分野でも課題解決を志向した研究拠点の取り組みが見つかる。具体例として、ナノテク・材料とライフサイエンスの融合を目指したカリフォルニア大学サンフランシスコ校の細胞増進研究所 (Cell Propulsion Laboratory) の動きが挙げられる。

- ・細胞増進研究所は、米国国立衛生研究所 (NIH; National Institutes of Health) のファンドである「ナノ医療開発センター (Nanomedicine Development Centers)」における採択案件の一つとして、2006 年に設立された。
- ・「21 世紀医療研究のための NIH ロードマップ (NIH Roadmap for Medical Research in the 21st Century)」で示された 9 つのイニチアチブの内、「ナノ医療の課題 (Nanomedicine Initiative)」に取り組むことをミッションとする。
- ・このため、NIH の通常の枠組みとは異なり、課題解決型研究としての特徴を有しており、ライフサイエンス分野での象徴的取り組みとなっている。

さらに、カリフォルニア大学バークレー校の研究拠点である「集積型ナノ機械システムセンター (Center of Integrated Nanomechanical Systems)」では、次のような活動が展開されている。

- ・集積型ナノ機械システムセンターは、米国科学財団のファンドである「ナノスケール科学&工学センター (Nanoscale Science and Engineering Centers)」における採択案件の一つとして、2004 年に設立された。
- ・公募に際し、「ナノテクを実際の装置やシステムに応用する」、つまり「ナノのデバイス化&システム化」への展開が重視されたため、採択された案件は、通常の「原理探求型研究」の特徴に加え、装置やシステムを意識した「課題解決型研究」としての特徴を合わせ持ったものになっている。
- ・このため当初は研究拠点に対し、かつてのベル研究所のような役割、すなわち「大学が企業の研究所のような役割」を担うことを期待する傾向が見られたが、その後の経緯を経て方針転換が図られ、現在のファンドは「課題解決型の特徴を持った基礎研究に対する支援枠」として機能している。
- ・カリフォルニア大学バークレー校を中核に、スタンフォード大学、カリフォルニア工

科大学、カリフォルニア大学マース校との連携が構築されており、エレクトロニクス、エネルギー、無線、センシング、移動の5つの領域で未踏科学の新興に取り組んでいる。

米国科学財団による基礎研究へのファンディングの中にも、課題解決を志向した動きが含まれていることが分かる。

第三に、数理科学・情報分野では、米国科学財団のファンドに基づく「数理科学研究機構 (Mathematical Sciences Research Institutes)」の動きが注目される。

これまでに、数理科学を核とした7つの研究拠点が設立されており (図表 4-1、図表 4-2)、この内、カリフォルニア州バークレーの数理科学研究所 (Mathematical Sciences Research Institute) では、次のような活動が展開されている。

- ・バークレーの数理科学研究所は、1982年の設立以降、主要な活動資金源として米国科学財団からの継続したファンディングを受けている。これまでの活動成果に対する高い評価をもとに、引き続き米国科学財団からのファンディングを獲得できる見通しを持っている (図表 5)。
- ・産業界とのネットワークを有しており、主な連携相手として、グーグル、マイクロソフト、IBM、テキサス・インスツルメンツなどが挙げられる。企業による拠点への支援形態については、「個別研究への資金助成」「研究機器等の提供」などの様々な形が見られる。
- ・数理科学研究所のケースでは、企業が拠点との連携を求めるインセンティブは「特定課題の解決方策を見つける」ことよりも、「新たな原理・手法の探索」や「人材の教育・育成」にあると捉えられている。
- ・数理科学研究所の体制は、「拠点運営を担う少数の内部人材」と「研究プログラム推進のために招聘される多くの外部人材」によって構成されている。個々の研究プログラム実施期間は概ね2ヶ月～6ヶ月に設定されており、高い競争率の下で国内外から優れた研究者が選抜される。
- ・拠点に優れた人材を引きつける求心力となる研究プログラムの選定においては、トップクラス有識者等から構成される外部組織 (Scientific Advisory Committee) が大きな役割を果たしている。

他分野での状況とは異なるが、「拠点が新興する未踏科学領域」と「産業界の課題を熟知した企業」をつなぐ形で、課題と研究を結びつける流れが構築されている。

7拠点的比較では、ミネアポリスの数理応用研究所 (Institute for Mathematics and its Applications) が、より課題解決を志向した研究活動を展開していると認識されている。

以上のように、「課題解決」や「新興・融合」について各国・地域の動きを追うと、「エネルギー・環境」「ナノテク・材料」「数理科学・情報」のそれぞれにおいて、分野の状況を反映した特徴的な取り組みが見つかる。

特に、エネルギー・環境での関心の高まりが見られ、米英の大学において「学内の知的資源を連携し、科学領域の融合を図る」ための試みが展開されている。

エネルギー・環境を巡るこうした流れの中で、「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国における「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが最も注目される。

エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標とする。2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、これらのセンターに5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。

上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「制御科学 (Control Science)」と呼ばれる新興・融合領域の開拓に挑んでいる。

エネルギーフロンティア研究センターは、課題解決に取り組む「研究者のインセンティブ」の面からも、大いに注目される。研究コミュニティ、特に若手研究者の間では「課題解決型研究の場合、新たな科学原理の発見や未踏領域を探索する機会が得にくく、したがって求める研究成果が得られても、その成果が研究者としてのキャリアアップにつながりにくい」という認識が存在する。

これに対し、エネルギーフロンティア研究センターのケースでは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を掲げる一方で、ここでの研究が「最終的に、制御科学という未踏領域の新興をもたらす」ことを謳っている。つまり、「課題解決の取り組み」と「科学的フロンティアの創出」を両立させる方向を示している。実際に、米国エネルギー省のステーブン・チュウ長官は、2009年5月に開催されたアメリカ科学振興協会の科学技術政策フォーラム (2009 AAAS Forum on Science and Technology Policy) の中で、「エネルギーフロンティア研究センターでの課題解決の取り組みは、科学的フロンティアへの挑戦である。したがって、ここには優れた若手研究者達が集まってくる」ことを強調している。

そこで上記分析に基づき、エネルギーフロンティア研究センターを課題解決や新興・融合を検討していくグッドプラクティスとして位置付けた上で、以下にその設立経緯や取り組みの詳細を調べた。

図表4-1 「米国科学財団・数理科学研究機構」の活動概要

拠点名	設置場所	設立時期	概要
数理科学研究所 (MSRI:Mathematical Sciences Research Institute)	カリフォルニア州バークレー	1982年	<ul style="list-style-type: none"> <li>カリフォルニア大学バークレー校のキャンパスを拠点に、1982年から研究活動を開始。研究開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>講義やワークショップなどの様々な形態を通じ、数理科学を「環境・エネルギー」「ライフサイエンス」「経済」などの学際領域に展開していくための活動に取り組んでいる。</li> </ul>
数学応用研究所 (IMA:Institute for Mathematics and its Applications)	ミネソタ州ミネアポリス	1982年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミネソタ大学を母体に、1982年から研究活動を開始。研究開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>「数学」と「他分野や産業界の課題」を融合するための研究を重点ミッションとして掲げ、「数学と情報」「数学と化学」「数学と生物学」などの領域を対象とした研究プログラムに取り組んでいる。</li> </ul>
純粋応用数学研究所 (IPAM:Institute for Pure and Applied Mathematics)	カリフォルニア州ロサンゼルス	2000年	<ul style="list-style-type: none"> <li>カリフォルニア大学ロサンゼルス校を母体に、2000年から研究活動を開始。研究開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>「他の科学領域における課題」と「最先端の数学」との融合を志向しており、「ライフサイエンス」や「経済」などの領域を対象とした研究に取り組んでいる。</li> </ul>
高等研究所 (IAS:Institute for Advanced Study)	ニュージャージー州プリンストン	1930年	<ul style="list-style-type: none"> <li>高等研究所は1930年に設立された機関。「数学」「自然科学」「社会科学」「歴史学」の四学科を保有。</li> <li>「米国科学財団・数理科学機構／高等研究所」は、この内の「高等研究所 数学科」を母体に研究活動を推進。米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> </ul>

(出典) 各機関のウェブ公開情報に基づきJST・CRDSが作成

図表4-2 「米国科学財団・数理科学研究機構」の活動概要

拠点名	設置場所	設立時期	概要
統計応用数理科学研究所 (SAMSI:Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute)	ノースカロライナ州リサーチトライアングルパーク	2002年	<ul style="list-style-type: none"> <li>デューク大学などを母体に、2002年から研究活動を開始。研究開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>「統計科学」と「データやモデルなどに基づく応用数学」の融合研究に取り組んでいる。</li> </ul>
数理生物科学研究所 (MBI:Mathematical Biosciences Institute)	オハイオ州コロンバス	2002年	<ul style="list-style-type: none"> <li>オハイオ州立大学を母体に、2002年から研究活動を開始。研究開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>「数学」「統計科学」「計算科学」を「生物学の課題解決」に用いるための研究に取り組んでいる。</li> </ul>
アメリカ数学研究所 (AIM:American Institute of Mathematics)	カリフォルニア州パロアルト	1994年	<ul style="list-style-type: none"> <li>アメリカ数学研究所、1994年に、シリコンバレーの実業家であるジョン・フライ氏、スティーブ・ソレンソン氏などにより設立された非営利機関。</li> <li>「米国科学財団・数理科学機構／アメリカ数学研究所」は、上記非営利機関を母体に、2002年から活動を開始。活動開始以来、一貫して米国科学財団から、活動基盤となるファンディングを受けている。</li> <li>数理科学の基礎領域や学際領域を対象としたワークショップの開催などを通じ、数理科学のためのコンファレンスセンターとしての活動に取り組んでいる。</li> </ul>

(出典) 各機関のウェブ公開情報に基づきJST・CRDSが作成

図表5 米国科学財団による長期的ファンディングの仕組み

- 「Mathematical Sciences Infrastructure Program」及び「Mathematical Sciences Research Institutes」の2つの資金枠を中核としたファンディングが継続されている。
- 「Mathematical Sciences Infrastructure Program」は、個別分野の研究プロジェクトを対象とした資金枠とは異なり、コンファレンスやシンポジウムなどの活動、教育などの人材育成も支援対象とする枠組みとなっている。
- 「Mathematical Sciences Research Institutes」は5年を基本単位とする枠組みであり、3年目に活動評価が行われる。一定レベル以上の評価が得られた場合は、さらに5年間の資金獲得が可能になる。ただし、支援期間が10年を超える段階（つまり、3回目の支援期間）に至ると、あらためて競争的公募への参加が課される。

項目	ファンディング						
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目
金額	150,000 ドル	9,486,281 ドル	12,685,757 ドル	15,273,374 ドル	10,194,700 ドル	17,049,379 ドル	18,941,782 ドル
期間	1981年 5月 ～ 1982年 5月	1981年10月 ～ 1988年 9月	1986年12月 ～ 1993年 9月	1992年 8月 ～ 1998年 1月	1997年 7月 ～ 2001年 6月	2000年 7月 ～ 2006年 6月	2005年 7月 ～ 2010年 6月
資金枠	・Mathematical Sciences Infrastructure Program	・Mathematical Sciences Infrastructure Program ・他2プログラム	・Mathematical Sciences Infrastructure Program ・他1プログラム	・Mathematical Sciences Infrastructure Program ・他2プログラム	・Mathematical Sciences Infrastructure Program ・他2プログラム	・Mathematical Sciences Research Institutes ・Mathematical Sciences Infrastructure Program ・他1プログラム	・Mathematical Sciences Research Institutes ・他5プログラム

(出典) 米国科学財団「Award Search」での検索情報に基づき JST-CRDSが作成

## 2.1.2 米国エネルギー省による注目動向

前項までに記載したように、「課題解決」や「新興・融合」を重視する動きは、日米欧において様々な形で見られる。さらに分野毎の動きを追うと、「エネルギー・環境」「ナノテク・材料」「数理科学・情報」のそれぞれにおいて、分野の状況を反映した特徴的取り組みが見つかる。

全体として捉えると、エネルギー・環境での関心が高まっており、低炭素社会構築という地球規模の課題解決に向け、各国・地域において研究を強化する流れが広がっている。中でも「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国の「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが特に注目されることが分かった。

エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標としている。

2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターが「未来の安定したエネルギー保証」を実現するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「制御科学 (Control Science)」と呼ばれる新興・融合領域の開拓に挑んでいる。

エネルギーフロンティア研究センターの誕生は、米国における研究戦略の転換を背景としている。米国ではこれまで、軍事・防衛に関するエネルギー研究が重視されてきた。グリーン・ニューディールがこうした状況を変え、これからは軍事・防衛以外の研究が拡大していく。具体的には、化石から非化石への転換やエネルギーのクリーン化を柱とした大きな流れが生まれてくる。そのために現在、エネルギー省による新たな研究イニシアチブの導入が進められている。

本調査では、最初にこれらの活動実態を把握するため、カリフォルニア工科大学や南カリフォルニア大学などに設置された5つのセンターにおいて拠点リーダーとの現地会合を持った。その結果、エネルギーフロンティア研究センターはその設立経緯において、次のような特徴を持つことが分かった。

- ・従来の制度と比較し、エネルギーフロンティア研究センターのファンディングには大きな違いが見られる。具体的には、最初に「未来のエネルギーシステム」を描き出し、その後で「描いたシステムを実現するための基礎研究」にファンドを行っている。
- ・そのために、エネルギー省はファンド創設前に一連のワークショップを実施している。目指すべき社会課題を描いた上で、必要な解決策を導き出すことを目的としたもので、「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」などの複数のワークショップに分けて、課題を解決するための基礎研究を特定していった。

上記から、エネルギーフロンティア研究センターは課題解決型としての特徴を強く有しており、「課題を研究に結びつける仕組み」を把握するためのグッドプラクティスである

ことが確認できる。

そこで以下、センターの設立経緯や取り組みを詳細に分析することで、課題解決型研究や新興・融合領域を特定していくために必要となる基本要件の抽出を図った。

## 2.2 エネルギーフロンティア研究センターの事例分析

「課題を研究に結びつける仕組み」の要件を把握するため、グッドプラクティスであるエネルギーフロンティア研究センターについて、その設立経緯を詳細に調べた。

その結果、エネルギーフロンティア研究センターは、2001年からスタートした8年間にわたる検討をもとに、下記経緯にて設立されたことが明らかになった。

- 1) 米国エネルギー省・基礎エネルギー科学諮問委員会において、基礎エネルギー科学局が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していく (reduced environmental impacts of energy production and use)」ために克服すべき課題を検討。
- 2) 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。「Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future」という報告書にまとめ、発表。
- 3) 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”について、取り組むべき基礎研究群を抽出。具体的には、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」を開催。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1500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。
- 4) 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 (Subcommittee on Grand Challenges for Basic Energy Sciences)」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。2007年12月に「Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination」という報告書にまとめ、発表。
- 5) 以上の12の報告書で示した検討成果をもとに、エネルギーフロンティア研究センターを立ち上げ。2008年4月からファンディングのための公募活動を開始。2009年4月に、最終公募に残った約260件の提案の中から46の研究センターを選定。
- 6) その間、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、46の研究センターが目指すゴールを「制御科学 (Control Science) の新興」という新たなビジョンの形で提示。2008年12月に「New Science for A Secure and Sustainable Energy Future」という報告書にまとめ、発表。
- 7) こうして設立された46のセンターは、全て、未来のエネルギーシステム構築に有効

な「次の2つの要件を満たした研究組織」となっている。

- ・センターの研究プログラムが、「基礎研究ニーズワークショップ」で取り上げられた“10の重点研究領域”の内、一つまたは複数を対象としている。
- ・センターの研究プログラムが、「Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination」で提示された“挑戦すべき5つの科学原理”の内、一つまたは複数カバーしている。

米国エネルギー省は、社会課題を基礎研究につなげるためにワークショップの仕組みを活用している。具体的には、8年間に渡る一連のワークショップ等での検討（検討成果を12種類のレポートとして発表）をもとに、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。

センター設立に関わる分析内容の詳細、及び分析をもとに「課題を研究に結びつける仕組み」の要件や特徴を考察した結果を、以下にまとめて整理する。

### 2.2.1 米国のエネルギー研究戦略

エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標としている。

2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターが「未来の安定したエネルギー保証」を実現するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「制御科学 (Control Science)」と呼ばれる新興・融合領域」の開拓に挑んでいる。

上記の研究センター誕生は、米国における研究戦略の転換を背景としている。米国ではこれまで、軍事・防衛に関するエネルギー研究が重視されてきた。グリーン・ニューディールがこうした状況を変え、これからは軍事・防衛以外の研究が拡大していく。具体的には、化石から非化石への転換やエネルギーのクリーン化を柱とした大きな流れが生まれてくる。そのために現在、エネルギー省による新たな研究イニシアチブの導入が進められている。

そこで「課題を研究に結びつける仕組み」のグッドプラクティスであるエネルギーフロンティア研究センターについて、最初に、設立の背景となった「米国のエネルギー研究戦略」の特徴を詳細に調べた。具体的には、「エネルギー省の研究イニシアチブ」及び「イニシアチブに基づくファンディング」に分けて動向を整理した上で、産業界の動きとして「米国エネルギー革新評議会の提言」に注目し、その内容を分析した。

### a) 米国エネルギー省の3つのイニシアチブ

エネルギーフロンティア研究センターが設立された背景として、米国では研究戦略の大転換が進んでいる。機軸を成す3つのイニシアチブの内容をまとめると、次のようになる。

- 1) 米国のエネルギー研究は大きな転換点を迎えている。オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて、戦略の抜本的見直しが進められている。
- 2) 研究現場に入ると、こうした認識が高まっているのがよく分かる。米国のトップクラス研究者達は、新政権が掲げるエネルギー戦略に呼応し、新たな研究の流れを創り出そうとしている。
- 3) 米国はこれまで軍事・防衛に関するエネルギー研究を重視してきた。グリーン・ニューディールがこうした状況を変え、今後は軍事・防衛以外のエネルギー研究が拡大していくことになる。
- 4) そこでは「化石から非化石への転換」、そして「エネルギーのクリーン化」を柱とした大きな流れが生まれてくる。そのために現在、エネルギー省による新たなイニシアチブの導入が進められている。
- 5) エネルギー省のスティーブン・チュウ長官は2009年5月に開催された次年度予算の上院公聴会において、エネルギー戦略を展開する基盤となる「3つの研究イニシアチブ」を示した。
- 6) 第一が、「エネルギーフロンティア研究センター (EFRC ; Energy Frontier Research Centers)」である。米国内に46の研究拠点を整備するもので、5年間で7億7700万ドルの資金が投じられる。
- 7) 「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ない。そのために、大学を中心とした研究体制を組む。
- 8) 米国再生・再投資法から2億7700万ドルが充当され、残りは各年度歳出予算として手当する。
- 9) 第二が、「エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E ; Advanced Research Projects Agency-Energy)」である。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な「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。
- 10) 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。

- 11) そして第三のイニシアチブが、「エネルギーイノベーション・ハブ」になる。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。
- 12) 一つの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す。
- 13) 8つのハブ創設が計画されており、対象テーマは次のようになっている（8つのハブ全てが実現するか否かは、現時点では未定）。
  - ・太陽光発電（Solar Electricity）
  - ・太陽光からの燃料（Fuel from Sunlight）
  - ・バッテリー、及びエネルギーの貯蔵（Batteries and Energy Storage）
  - ・二酸化炭素の回収、及び貯蔵（Carbon Capture and Storage）
  - ・グリッド材料、装置、及びシステム（Grid Materials, Devices and Systems）
  - ・エネルギー高効率ビルディングシステム（Energy Efficient Building Systems Design）
  - ・極限材料（Extreme Materials）
  - ・モデリング、及びシミュレーション（Modeling and Simulation）
- 14) 個々のハブに対し、1年目は3500万ドル、2年目以降は2500万ドル／年の規模で投資を行うことを基本構想とする。
- 15) 3つのイニシアチブの特徴を比較すると、次のように整理できる。
  - a) 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。
  - b) 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（産業界は数百億円／年・拠点を要望）」の規模に設定されている。

- c) 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。
- d) エネルギーイノベーション・ハブは、理学系や工学系の人材に加え、エネルギー政策、経済、市場分析などを専門とする人文・社会学系の人材を集めた「文理融合型」の拠点構築を志向している。

研究イニシアチブの政策的位置付けを、図表 6 にまとめて示した。

## b) イニシアチブに基づくファンディング状況

米国のエネルギー研究戦略を支える3つのイニシアチブの下で、2009年4月以降、連続したファンディングが展開されている。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（5年間の総額）にて、46のセンターが選定されている。
- 2) また、2009年10月に、1億5100万ドルの予算総額にて、エネルギー高等研究計画局の第一回公募結果が発表された。37のプロジェクトが選定され、この内の24プロジェクトは企業等（系列の研究機関を含む）が主導する研究となっている。
- 3) さらに、2010年4月に、1億600万ドルの予算総額にて、エネルギー高等研究計画局の第二回公募結果が発表された。37のプロジェクトが選定され、この内の12プロジェクトは企業等（系列の研究機関を含む）が主導する研究となっている。
- 4) 加えて、2010年7月に、9200万ドルの予算総額にて、エネルギー高等研究計画局の第三回公募結果が発表された。43のプロジェクトが選定され、この内の24プロジェクトは企業等（系列の研究機関を含む）が主導する研究となっている。
- 5) 一方、2009年12月に、構想として提示された8つのエネルギーイノベーション・ハブの内、1億2200万ドルの予算総額（5年間の総額）にて「太陽光からの燃料生成 (Fuels from Sunlight)」をテーマとするハブの公募（採択予定件数は1件）が開始された。
- 6) また、2010年2月に、1億2200万ドルの予算総額にて「エネルギー高効率ビルディングシステム (Energy Efficient Building Systems)」をテーマとするハブの公募が開始されている。
- 7) その後、2010年5月には、「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)」をテーマとする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」が採択されている。構成機関は、次のようになっている。

- ・ 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）
- 8) 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」となっている。
- 9) さらに、2010年7月には「太陽光からの燃料生成」をテーマとするハブの公募結果が発表され、「カリフォルニア工科大学をリーダーとする提案」が採択されている。構成機関は、次のようになっている。
- ・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）
  - ・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）
- 10) ハブの設置場所は、「カリフォルニア工科大学」及び「ローレンスバークレー国立研究所」に分かれた形となっている。これらのハブは、「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」の下で運営される。
- 11) リーダーのルイス教授に加え、カリフォルニア工科大学のブルース・ブランシュウィッグ教授、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のペイ

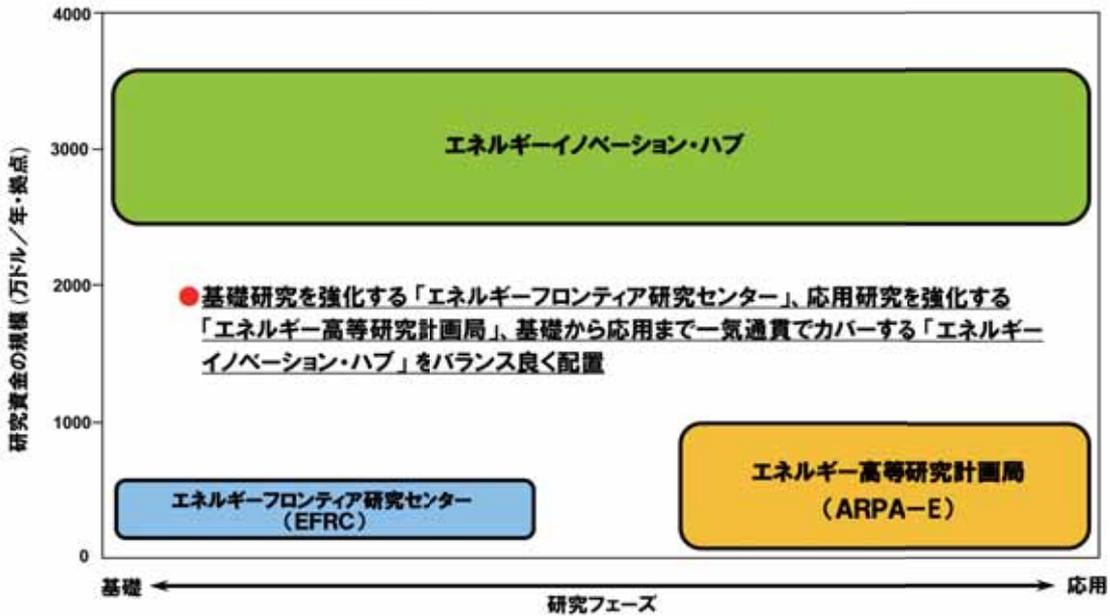
ドン・ヤン教授、カリフォルニア工科大学のハリー・アトウォーター教授がマネジメントチームを形成する。

12) エネルギーフロンティア研究センターなどの最先端の研究成果を取り入れながら、太陽光を化学燃料に転換するためのシステムを開発し、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展開する。

13) これらに加え、4000万ドルの予算要求（2011年度の充当予定額）をもとに、エネルギーフロンティア研究センターの追加公募の検討も進められている。

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、図表7にまとめて示した。

図表6 “3つの研究イニシアチブ”の政策的な位置付け

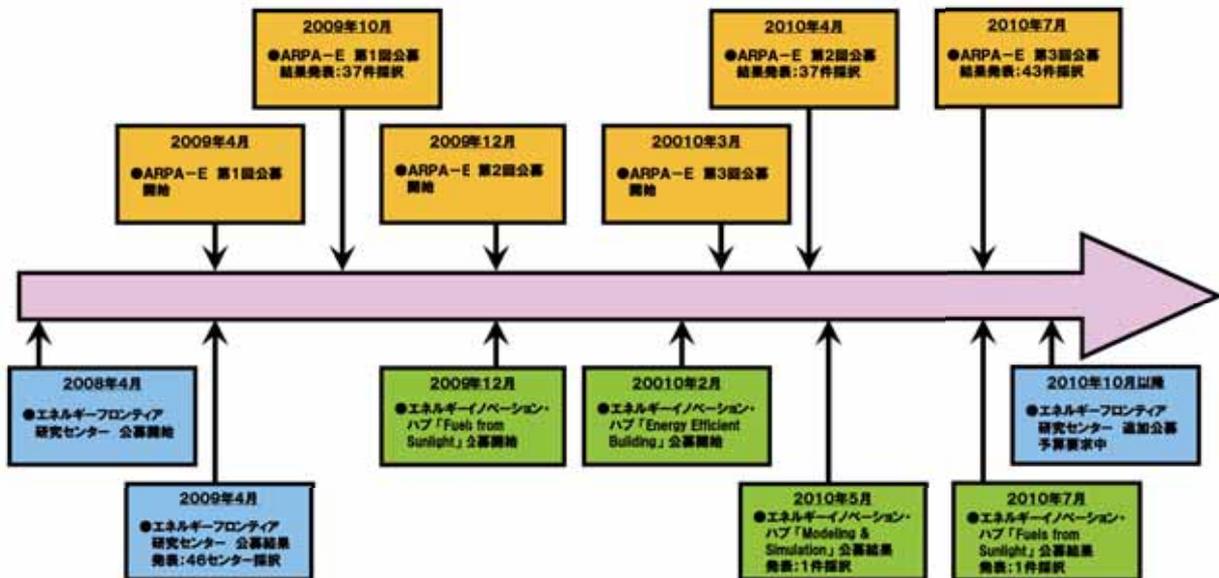


・縦軸を「研究資金の規模」、横軸を「研究フェーズ」とし、米国エネルギー省が掲げた3つの研究イニシアチブの関係を示した。  
 ・エネルギーフロンティア研究センターは全米46ヶ所に設置されており、5年間の研究投資総額として7億7700万ドルが予定されている。  
 ・エネルギーイノベーション・ハブは8つのハブを設置することが検討されており、全て整備された場合、5年間の研究投資総額は10億ドル規模となることが見込まれる。

(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7 “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

### c) 米国エネルギー革新評議会による提言

3つのイニシアチブに基づくファンディングの動きに応えるように、2010年6月に「米国エネルギー革新評議会 (American Energy Innovation Council)」が、産業界からの米国エネルギー戦略に関する提言として「A Business Plan for America's Energy Future」を公表している。ポイントをまとめると、以下のようになる。

1) 米国エネルギー革新評議会の概要は、次の通り。

a) 2010年4月に設立された組織であり、以下の各氏がメンバーとして参画している。

▽ノーマン・オーガスティン；元ロッキード・マーティンの会長

▽アースラ・バーンズ；ゼロックスの会長

▽ジョン・ドーア；クライナー・パークインス・コフィールド&バイヤーズのパートナー

▽ビル・ゲーツ；元マイクロソフトの会長

▽チャールズ・ホリデー；バンク・オブ・アメリカの会長、元デュポンの会長

▽ジェフリー・イメルト；ゼネラル・エレクトリックの会長

▽ティム・サルソ；カミンズの会長

b) 評議会のスタッフは、「Bipartisan Policy Center (ワシントン DC、2007年にハワード・ベーカー、トム・ダシエル、ボブ・ドール、ジョージ・ミッチェルの各氏が設立)」及び「ClimateWorks Foundation (サンフランシスコ、2008年にヒューレット財団、パッカード財団、マクナイト財団の支援をもとに設立)」と共同の形で置いている。

c) 検討のために、エネルギー&イノベーションのトップクラス有識者で構成される「技術レビューパネル」からの助言を得ている。

2) 提言の中で、米国政府が導入・強化すべき5つの方策を提示。

a) 「国家エネルギー戦略会議 (National Energy Strategy Board)」を創設する。  
「米国はこれまで国家としてのエネルギー戦略を有していなかった」という認識をもとに、「議会承認に基づく連邦政府から独立した組織」の設立を提言している。

b) 現行の50億ドル規模を三倍強に増大し、年間160億ドル以上の資金を「クリーンエネルギーのための革新」に投ずる。

年間投入資金の内訳として、以下を提示している。

- |            |         |
|------------|---------|
| ・基礎エネルギー科学 | ； 26億ドル |
| ・核分裂エネルギー  | ； 10億ドル |
| ・核融合エネルギー  | ； 4億ドル  |
| ・エネルギー効率   | ； 21億ドル |

- ・再生可能エネルギー ; 24 億ドル
- ・化石エネルギー ; 13 億ドル
- ・エネルギー伝送／分散 ; 12 億ドル
- ・エネルギー高等研究計画局 ; 10 億ドル
- ・New Energy Challenge Program ; 20 億ドル
- ・Clean Energy Deployment Administration ; 20 億ドル

c) 「国家的センター・オブ・エクセレンス」を創設する。

この中で、「Modeling and Simulation for Nuclear Reactors (オークリッジ国立研究所をリーダーとする提案を採択)」「Fuels from Sunlight (カリフォルニア工科大学をリーダーとする提案を採択)」などのテーマを対象に設立が進められているエネルギーイノベーション・ハブの予算額を、「1 億 5000 万ドル～2 億 5000 万ドル／年の規模 (現行の公募要綱では約 2500 万ドル／年)」に増額することを求めている。

d) エネルギー高等研究計画局に年間 10 億ドルの資金を投ずる。

e) 新たな支援枠として「New Energy Challenge Program」を創設する。

「New Energy Challenge Program」は、連邦政府と産業界の連携の下で、政府外部の独立した仕組みとして運営される。現行の支援枠に欠けている「先端研究のプロトタイプでの成果などを商用施設に展開していく」ことを主目的とする。そのために「プログラム開始段階で、年間 20 億ドル規模の公的支援を 10 年以上継続するための予算枠を確保する必要がある」としている。

## 2.2.2 ファンディングに見られる特徴

前項の調査で、エネルギーフロンティア研究センターが「オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて、米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブ」の一つであることを整理した。誕生の背景として研究戦略の大転換が進められており、そのためのファンディングも着実に実施されている。また、こうした動きへの産業界の関心も高い。

米国では、これから非化石エネルギーやクリーン化を柱とした大きな研究の流れが生まれてくる。その中で、設立された46のセンターが中核拠点としての役割を果たす。個々のセンターが平均で4以上の外部機関と連携しており、全米をカバーするネットワークの下で約700名のシニア研究者と約1100名の若手研究者や技術支援者が一体となり、エネルギー研究に取り組んでいく（図表8）。

そこで、これらの整理結果を踏まえ、以下に「米国が掲げた新たなイニシアチブに対する研究現場の反応」を把握するため、下記5つの研究センターとの現地会合を持ち、その動向を調べた。

▽拠点名；カリフォルニア工科大学「Light-Material Interactions in Energy Conversion」  
／リーダー；Prof. Harry Atwater

「光&熱の流れ制御」をターゲットに設定。ローレンスバークレー国立研究所、イリノイ大学と連携して研究。

▽拠点名；南カリフォルニア大学「Emerging Material for Solar Energy Conversion and Solid State Lighting」  
／リーダー；Prof. Daniel Dapkus

「光から電気、電気から光への変換」をターゲットに設定。イリノイ大学、ミシガン大学、バージニア大学と連携して研究。

▽拠点名；カリフォルニア大学バークレー校「Center for Gas Separations Relevant to Clean Energy Technologies」  
／リーダー；Prof. Berend Smit

「ガス分離」をターゲットに設定。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、ノルウェー科学技術大学と連携して研究。

▽拠点名；マサチューセッツ工科大学「Solid-State Solar-Thermal Conversion Center」  
／リーダー；Prof. Gang Chen

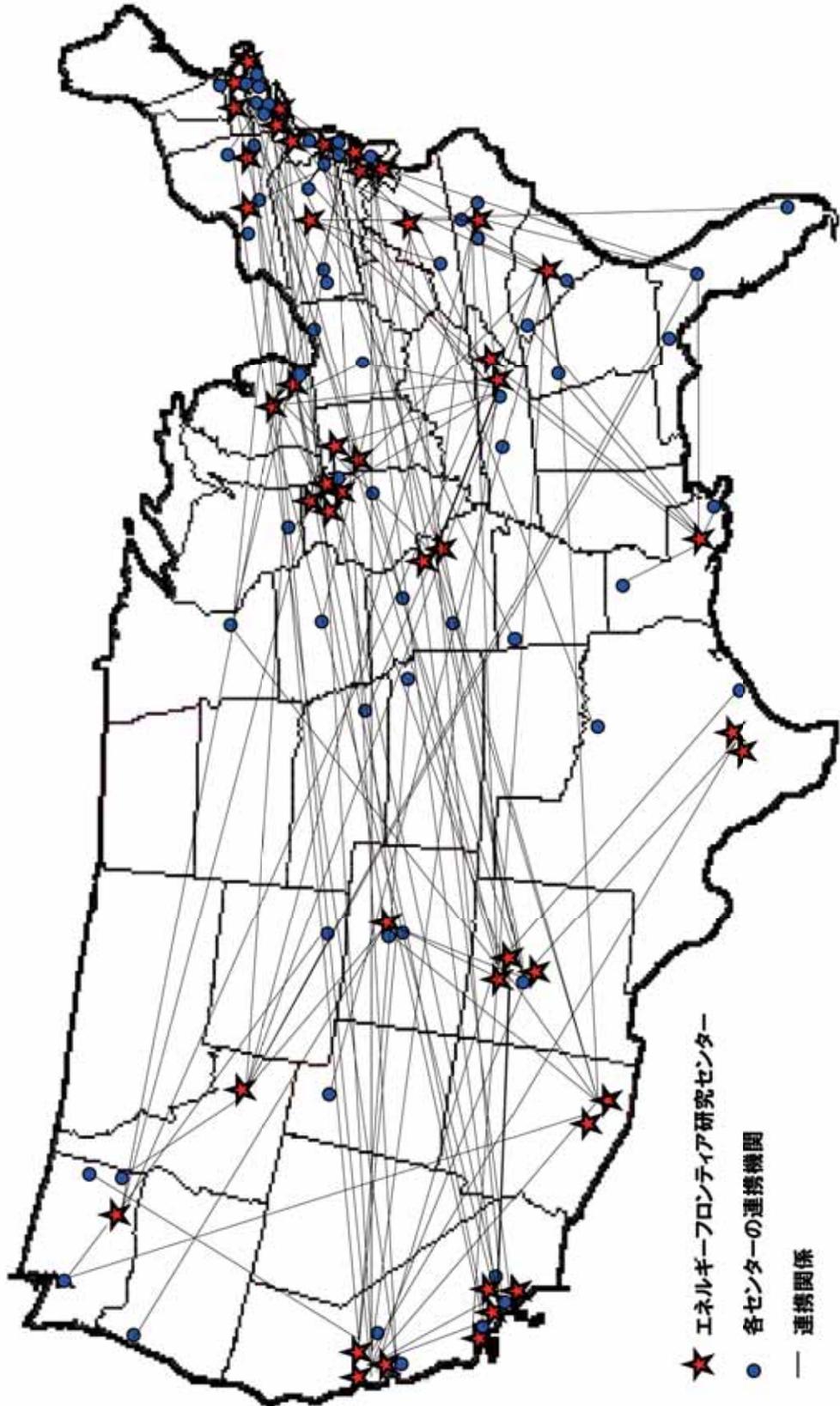
「光&熱から電気への変換」をターゲットに設定。ボストンカレッジ、オークリッジ国立研究所と連携して研究。

▽拠点名；アリゾナ州立大学「Center for Bio-Inspired Solar Fuel Production」  
／リーダー；Prof. Devons Gust

「人工光合成」を研究ターゲットに設定。

### 図表8 エネルギーフロンティア研究センターの分布

●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名の中に研究者と約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。



(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

その結果、実際の研究現場においても「米国が掲げたイニシアチブに呼応し、研究者達が新たなエネルギー研究の流れを創り出そうとする動き」が見られることが分かった。現地会合を通じ把握した主な事項をまとめると、次のようになる。

- 1) 従来のファンディングと比較し、エネルギーフロンティア研究センターへのファンディングは大きな特徴を持つ。具体的には、最初に「未来のエネルギーシステム」を描き出し、その後で「描いたシステムを実現するための基礎研究」にファンドを行っている。
- 2) エネルギー省はファンド創設前に、一連のワークショップを実施している。目的は、目指すべきゴールを描いた上で、必要なソリューションを導き出すこと。「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」など、未来のエネルギーシステムを10のテーマ別ワークショップに分けて、システムを実現するために必要な基礎研究を議論していった。
- 3) これらのワークショップを率いた中心人物が、基礎エネルギー科学局の局長（当時。現在は、基礎科学局の次長に昇進）を務めたパトリア・ダーマー博士である。
- 4) ダーマー博士は、これまでエネルギー省が支援してきた基礎研究では、ネイチャーなどのトップジャーナルに掲載される論文は輩出されるものの、エネルギー分野のイノベーションを促すような研究成果が生まれにくいことに疑問を抱いていた。検討の末、その理由を「目指すべきゴールを示さずに、いわゆる“原理探求先行型”の基礎研究を推進したことにある」と捉えたダーマー博士は、これまでとは全く逆のアプローチを試みた。つまり、最初にシステムを描き、その後で、求められる研究を特定する方法を取った。
- 5) ダーマー博士は、エネルギー省内の専門家との議論などを通じ、米国全体のエネルギーシステムを描き出すことから始めた。その上で、描いたシステムを「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」などの10のテーマ別ワークショップへと展開した。そして、個々のワークショップに米国のトップクラス研究者を集め、詳細な議論を行っていった。
- 6) ワorkshopでは、最初に未来のエネルギーシステムを提示した上で、基礎側と応用側の研究者により、システム実現のための横断的議論が交わされた。
- 7) その結果、「複雑で巨大なエネルギー問題には、特定の科学グループだけでは取り組めないこと」「問題解決には、新たな科学基盤の構築が求められること」、具体的には「“素子”レベルではなく、“原子”レベルの探求が必要になること」、したがって「エネルギー分野のナノテク研究を強化することが、問題の本質的解決につながること」など、エネルギー分野にイノベーションをもたらすための基本要件が明らかになっていった。

- 8) こうして導出された要件をもとに生まれた新たなファンディングスキームが、「エネルギーフロンティア研究センター」になる。ファンド立ち上げのために実施した上記ワークショップで得られた結論が、研究でナノテクを重視する基盤になっている。
- 9) 実際に、46のセンターの多くでナノテクが研究対象として取り上げられているが、これらは「ナノテクで解決可能なエネルギー問題を見つけ出そうとした」結果ではなく、「エネルギー問題を解決する方策として、ナノテクが選り出された」結果であることが分かる。
- 10) このように「課題解決型ワークショップ」を活用する手法は、ニーズ志向が強い「国防高等研究計画局 (DARPA ; Defense Advanced Research Projects Agency)」が取るアプローチと類似している。国防高等研究計画局が新たなファンドを構築する場合も、より小規模ではあるが、設定領域毎に「課題解決に有効なソリューションを抽出するためのワークショップ」が実施されている。

これらの現地会合結果から、エネルギーフロンティア研究センターへのファンディングについて、以下の事項が明らかになった。

- ・エネルギーフロンティア研究センターへのファンディングは、従来の制度と大きく異なる。具体的には、最初に「未来のエネルギーシステム」を描き出し、その後で「描いたシステムを実現するための基礎研究」にファンドを行っている。
- ・そのために、エネルギー省はファンド創設前に一連のワークショップを実施している。目指すべき社会課題を描いた上で、必要な解決策を導き出すことを目的としたもので、「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」などの複数のテーマ別ワークショップに分けて、課題を解決するための基礎研究を特定していった。

上記のように、エネルギーフロンティア研究センターへのファンディングは、課題解決型としての特徴を強く有している。したがって、ここでの取り組みが「課題を研究に結びつける仕組み」を解明していくためのグッドプラクティスになる。

参考として、特に注目すべき情報が得られたカリフォルニア工科大学と南カリフォルニア大学での現地会合結果を、項末に記載した。

### ・現地会合結果／カリフォルニア工科大学

カリフォルニア工科大学には、「光や熱の流れを制御するための研究拠点（名称；Light-Material Interactions in Energy Conversion）」が設置された。ナノテクを基盤にプラズモンやメタマテリアルなどを用い、光や熱の流れを高精度に制御する研究を行う。ローレンスバークレー国立研究所、イリノイ大学との連携が構築されている。

このセンターを率いるハリー・アトウォーター（Harry Atwater）教授との現地会合を持った。会合を通じ把握した主な事項をまとめると、次のようになる。

- 1) 選定されたエネルギーフロンティア研究センターの多くが、ナノテクを基盤とした研究に取り組んでいる。
- 2) すでにナノテクが十分に応用されているエレクトロニクス分野などと異なり、エネルギー分野では、これまではナノテクではなく、マイクロテクが主として使われてきた。したがって、ナノテクをエネルギーに展開するために探求すべき事項は多い。
- 3) 例えば、現状では、エネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの割合はまだ少ない。したがって今後、再生可能エネルギーの割合が増大していけば、当然、そのための材料が大量に必要となる事態が生ずる。
- 4) その際、システムとしての効率性や経済性を高めるために、材料使用量の最小化が求められるようになってくる。機能発現に必要な材料は、少なければ少ないほど良い。ナノテクを活かし材料使用量を削減する、「エネルギー分野のレスマテリアル（less material）」を実現することが大きなポイントになってくる。
- 5) このセンターは、将来のターゲットとして、再生可能エネルギーのコストを化石燃料並に引き下げることを目指している。ナノテクによるレスマテリアルを実現するため、例えば、エネルギー用途で使用されている希少元素をナノテク材料で置き換えていくことなどを狙っている。
- 6) オバマ政権では、エネルギー分野の基礎研究が重視されている。大きな背景として、エネルギー省のトップマネジメントによる理解が挙げられる。
- 7) 現在のエネルギー省は、長官のスティーブン・チュー（Steven Chu）博士、次官のスティーブン・クーニン（Steven Koonin）博士、そしてクリスティーナ・ジョンソン（Kristina Johnson）博士のいずれも理工系出身であり、研究現場を熟知している。これらのトップが基礎研究の価値を十分に理解していることが、現場の活力を大いに高めている。
- 8) エネルギーフロンティア研究センターに関する検討は、ブッシュ前政権の時代に始まっている。設立のための活動において中心的役割を果たしたのが、エネルギー省のパトリシア・ダーマー博士（科学局傘下の基礎エネルギー科学局の当時の局長。

2008年に科学局の次長に昇進)になる。センター設立の論拠となる検討が行われた一連のワークショップについても、ダーマー博士が組織している。

- 9) ワークショップで得られた結論として「複雑で巨大なエネルギー問題には、一つの科学グループだけでは取り組めないこと」を政府に示したことが、センター設立の合意形成において大きな効果をもたらした。
- 10) センターの設立及び予算支出に対する最終決断はオバマ大統領が下しているが、ワークショップの成果として「エネルギー分野における基礎研究の重要性」が明示されていなければ、大統領の決断を得ることは困難となった事態が想起される。
- 11) ダーマー博士が一連のワークショップを行った理由は、「従来の基礎研究からは、ネイチャーなどのトップジャーナルに掲載される論文は輩出されるものの、エネルギーに関する新たな科学、さらにはイノベーションを促すような研究成果が生まれにくかった」ことにある。
- 12) そのためワークショップでは、最初に「目指すべき未来のエネルギーシステム」を提示し、その上で「システム（例えば、化石から非化石への転換など）の実現に必要な基礎研究」を抽出していくアプローチを取った。具体的には、エネルギー省内の専門家との議論などを通じ、まず米国が目指すトータルシステムを描き出し、その上でワークショップでの議論を展開していった。

エネルギーフロンティア研究センターに関する指摘として、「パトリシア・ダーマー博士を中心に、一連のワークショップを通じ、未来のエネルギーシステムを実現するための基礎研究を抽出していった動き」などが特に注目される。

### ・現地会合結果／南カリフォルニア大学

南カリフォルニア大学には、「光の吸収と放散を高めるための研究拠点（名称；Emerging Materials for Solar Energy Conversion and Solid State Lighting）」が設置された。有機と無機を複合した新たなハイブリッド材料を用い、「光から電気」そして「電気から光」への二つの変換を対象とした研究に取り組む。イリノイ大学、ミシガン大学、バージニア大学との連携が構築されている。

このセンターを率いるダニエル・ダプカス（Daniel Dapkus）教授との現地会合を持った。会合を通じ把握した主な事項をまとめると、次のようになる。

- 1) エネルギーフロンティア研究センターの設立に向け、エネルギー省が一連のワークショップを実施し、非常に質の高い検討が行われた。基礎と応用の両分野に渡る研究者が参加し、横断的議論が交わされている。
- 2) その結果、「エネルギーの課題解決には新たな科学基盤の構築が求められること」、具体的には「“素子”レベルではなく、“原子”レベルの探求が必要になること」など、研究センターとして備えるべき基本要件が明らかになった。
- 3) このように、ワークショップで展開された議論は「ナノテクで解決可能なエネルギーの課題を見つけ出そうとした」ものではなく、「エネルギーの課題解決方策を探求する中で、結果としてナノテクが選出された」ものとなっている。
- 4) こうした「課題解決型ワークショップ」を活用する手法は、ニーズ志向が強い「国防高等研究計画局（DARPA；Defense Advanced Research Projects Agency）」が取るアプローチと類似している。
- 5) 国防高等研究計画局が新たなファンドなどを構築する場合も、より小規模ではあるが、設定領域毎に「課題解決に有効なソリューションを抽出するためのワークショップ」が実施されている。
- 6) このセンターは、「光を電気に換えること」と「電気を光（照明）に換えること」を同一領域として位置付けた研究を進めている。それぞれ用いる材料は異なるが、取り組むべき基礎研究は共通していることが大きな理由である。
- 7) 「再生可能エネルギーのコストを化石燃料並みに引き下げること」をターゲットに掲げ、「5年間の研究で、コストを十分の一にするための基本原理や革新技术を見つけること」を狙っている。

エネルギーフロンティア研究センターに関する指摘として、「一連のワークショップを通じ、エネルギーの課題を解決するための基礎研究を抽出していった動き」などが特に注目される。

### 2.2.3 研究センターが設立された経緯

前項で明らかにしたように、エネルギーフロンティア研究センターは課題解決型としての特徴を強く有しており、ここでの取り組みが「課題を研究に結びつける仕組み」を解明していくためのグッドプラクティスになる。そこで以下、センターの設立経緯や取り組みを詳細に分析することで、課題解決型研究や新興・融合領域を特定するために必要となる基本要件の抽出を図った。

エネルギーフロンティア研究センターの設立経緯は、センターを率いるリーダーとの現地会合及びエネルギー省関連資料の分析などから、次のように整理することができる。

- 1) エネルギーフロンティア研究センターは、米国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、次のようなプロセスを経て立ち上げたものである。
- 2) 米国エネルギー省「基礎エネルギー科学諮問委員会 (Basic Energy Sciences Advisory Committee)」において、基礎エネルギー科学局が、まず、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していく (reduced environmental impacts of energy production and use)」ために克服すべき課題を検討。
- 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。「Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future」という報告書にまとめ、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”について、“取り組むべき78の基礎研究群”を抽出。具体的には、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 (Subcommittee on Grand Challenges for Basic Energy Sciences)」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。2007年12月に、「Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination」という報告書にまとめ、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) 以上の12の報告書で示した検討成果をもとに、エネルギーフロンティア研究センターを立ち上げ。2008年4月からファンディングのための公募活動を開始。2009年4月に、最終公募に残った約260件の提案の中から46のエネルギーフロンティア研究センターを選定。
- 8) その間、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、46の研究センターが目指すゴールを「制御科学 (Control Science) の新興」という新たなビジョンの形で提示。2008年12月に「New Science for A Secure and Sustainable Energy Future」という報告書にまとめ、発表。提示された「制御科学」の内容は、以下の通り。
- a) 「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。
  - b) 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。
  - c) 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。
  - d) 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。
- 9) 本経緯にて設立された46のセンターは、全て、未来のエネルギーシステム構築に有効な「次の2つの要件を満たした研究組織」となっている。

- a) センターの研究プログラムが、「基礎研究ニーズワークショップ」で取り上げられた“10の重点研究領域”の内、一つまたは複数を対象としている。
- b) センターの研究プログラムが、「Directing Matter and Energy : Five Challenges for Science and The Imagination」で提示された“挑戦すべき5つの科学原理”の内、一つまたは複数をカバーしている。

上記に整理したように、米国エネルギー省は、社会課題を基礎研究につなげるためにワークショップの仕組みを活用している。具体的には、8年間に渡る一連のワークショップ等での検討（検討成果を12種類のレポートとして発表）をもとに、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。関連す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://www.er.doe.gov/bes/reports/files/SEF\\_rpt.pdf](http://www.er.doe.gov/bes/reports/files/SEF_rpt.pdf)

▽ “10の重点研究領域”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://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/NHE\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/NHE_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Solar Energy Utilization  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Superconductivity  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SC\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SC_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Solid-State Lighting  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SSL\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SSL_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Advanced Nuclear Energy Systems  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/ANES\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/ANES_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Clean and Efficient Combustion of 21st Century Transportation Fuels  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/CTF\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/CTF_rpt.pdf)
- Basic Research Needs for Geosciences : Facilitating 21st Century Energy Systems  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/GEO\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/GEO_rpt.pdf)

- Basic Research Needs for Electrical Energy Storage  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/EES\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/EES_rpt.pdf)
  - Basic Research Needs for Materials under Extreme Environments  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/MUEE\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/MUEE_rpt.pdf)
  - Basic Research Needs : Catalysis for Energy  
[http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/CAT\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/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://www.er.doe.gov/bes/reports/files/GC\\_rpt.pdf](http://www.er.doe.gov/bes/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://www.er.doe.gov/bes/reports/files/NSSSEF\\_rpt.pdf](http://www.er.doe.gov/bes/reports/files/NSSSEF_rpt.pdf)

以上、エネルギーフロンティア研究センターの設立経緯を上記の形に整理した上で、この流れに基づき「課題を研究に結びつける仕組み」が備えるべき要件や特徴を調べた。

## 2.2.4 社会課題を研究に結びつける仕組み

前項までの検討により、エネルギーフロンティア研究センターに関わる以下のポイントが明らかになった。

- a) エネルギーフロンティア研究センターは、課題解決型としての特徴を強く有しており、ここでの取り組みが「課題を研究に結びつける仕組み」を解明するためのグッドプラクティスになる。
- b) 米国エネルギー省は、センターを立ち上げるためにワークショップの仕組みを活用している。具体的には、8年間に渡る一連のワークショップ等での検討をもとに、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。
- c) したがって、センターの設立経緯を詳細に分析することが「課題を研究に結びつける仕組み」の要件や特徴を明らかにすることにつながる。

該当報告書などを参考にすると、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を立ち上げたプロセスは、次の9ステップで整理される。

- ・ステップⅠ；「未来の安定したエネルギー保証という社会課題」の提示
- ・ステップⅡ；提示した社会課題が生ずる場となる「対象システム」の構造化
- ・ステップⅢ；対象システムで課題解決のために目指すべき「37の研究方向」の抽出
- ・ステップⅣ；抽出した37の研究方向に対応した「10の研究対象」の設定
- ・ステップⅤ；設定した10の研究対象に対応した「10の重点領域」の選定
- ・ステップⅥ；選定した10の重点領域において取り組むべき「78の基礎研究群」の抽出
- ・ステップⅦ；抽出した78の基礎研究群に対応した挑戦すべき「5つの科学原理」の特定
- ・ステップⅧ；特定した5つの科学原理に対応した開拓すべき「1つの新興領域」の提示
- ・ステップⅨ；78の基礎研究群、5つの科学原理、1つの新興領域に対応した「46のエネルギーフロンティア研究センター」の設立

そこで以下、上記ステップに従い、取り組みの詳細を調べた。

### a) 社会課題をシステムの視点で捉える

先にまとめた5つの研究センターとの現地会合の中で、エネルギーフロンティア研究センターへのファンディングは従来と大きく異なり、最初に未来のエネルギーシステムを描いた上で、システムを実現するための基礎研究にファンドを行っていることが明らかになった。

拠点リーダーによる上記指摘は、「社会課題をシステムの視点で捉える」ことが、課題を研究に結びつける重要なポイントとなることを意味する。

実際に関連動向の詳細を調べると、米国エネルギー省が以下のアプローチを取っていることが確認できる。

まず、2001年に検討を開始して以降、本検討が「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を対象としたものであることを、一貫して明確に位置付けている。

こうした動きを説明した資料として、例えばエネルギーフロンティア研究センターの冊子「Energy Frontier Research Center, Tackling Our Energy Challenges in A New Era of Science」における以下の記述が挙げられる。

---

#### Background Information

In 2001, the Basic Energy Sciences Advisory Committee (BESAC) conducted a far reaching study to assess the scope of fundamental scientific research that must be considered to address the DOE missions in energy efficiency, renewable energy resources, improved use of fossil fuels, safe and publicly acceptable nuclear energy, future energy sources, and reduced environmental impacts of energy production and use.

The scientific community enthusiastically responded to this BESAC study through participation in a week-long workshop and results were published in early 2003 in the report, Basic Research Needs to Assure a Secure Energy Future.

---

その上で、最初に開催したワークショップ「Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future (2002年10月、2003年1月)」において、「社会課題が生ずる場を対象システムとして構造化」している。具体的には、基礎エネルギー科学諮問委員会が“ワークショップのパネル”を設定する形で、システムの構成要素を選び出している。

本ワークショップでは9つのパネルによる討議が展開された。この内、エネルギーシステムの構成要素に該当するのが、以下の7パネルとなる。

- ・パネルI ; 化石エネルギー (Fossil Energy)
- ・パネルII ; 再生可能&太陽エネルギー (Renewable and Solar Energy)
- ・パネルIII ; 核分裂エネルギー (Nuclear Fission Energy)
- ・パネルIV ; 核融合エネルギー (Fusion Energy)
- ・パネルV ; エネルギー伝送&燃料電池&水素 (Distributed Energy, Fuel Cells, and Hydrogen)

- ・ パネルVI ; 輸送分野のエネルギー消費 (Transportation Energy Consumption)
- ・ パネルVII ; 住宅&商業&産業分野のエネルギー消費 (Residential, Commercial, and Industrial Energy Consumption)

なお、上記に加え、横断的テーマとして次の2パネルによる討議も行われた。

- ・ パネルVIII ; エネルギーのための生物科学 (Energy Biosciences Research)
- ・ パネルIX ; 横断的研究及び教育 (Cross-Cutting Research and Education)

これらの動きは、ワークショップ報告書「Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future」に以下の形で記載されている。

---

## APPENDIX C : CHARGE AND ORGANIZATIONAL DETAILS

### Introduction

The Basic Energy Sciences Advisory Committee appointed this subpanel to help identify the basic research needed to resolve key issues in the development of a secure energy future for the United States.

To focus the discussions, eight major energy areas, or topical areas, were identified:

- ・ Fossil Energy
- ・ Renewable and Solar Energy
- ・ Nuclear Fission Energy
- ・ Fusion Energy
- ・ Distributed Energy, Fuel Cells, and Hydrogen
- ・ Transportation Energy Consumption
- ・ Residential, Commercial and Industrial Energy Consumption
- ・ Energy Biosciences Research
- ・ Cross-Cutting Research and Education

---

その後、9パネルの討議を通じ「37の研究方向」と「10の研究対象」が明らかになった段階で、システムに関する再検討を実施している。構成要素について必要な追加・修正を加えた上で、対象システム（該当英文中では「a decades-to-century energy strategy」などの表現を使用）を最終的に図表9の形で構造化した。「重点領域選定」などの以降の検討では、本システムが基盤として用いられている。

これらの動きは、基礎エネルギー科学局の報告書「The “Basic Research Needs” Workshop Series (April, 2007)」の中で、以下のように説明されている。

---

The 2002 BESAC workshop inspired the comprehensive decades-to-century energy plan shown schematically below. BES has since held (and is holding) a series of workshops, referred to as the Basic Research Needs (BRN) workshops and modeled after the 2002 BESAC meeting, to examine in detail the research directions necessary for a decades-to-

century energy strategy. Top scientists from around the world have come together to identify areas of scientific opportunity relevant to energy technologies. By effectively linking discovery and use-inspired sciences with energy technology goals, the reports from these workshops have generated great interest in the science and technology research communities.

一方、未来の安定したエネルギー保証の実現が「エネルギーの自立」「環境の持続性」及び「経済機会の創出」につながることを、基礎エネルギー科学局の報告書「New Science for A Secure and Sustainable Energy Future (December, 2008)」の中で説明している。

- ・ エネルギーの自立；米国は、国内生産能力を超える一日当り 1600 万バレルの石油を過剰に消費している。不足分は石油やガスの輸入によって賄われており、不足量は 1970 年以降、概ね 3 倍になっている。
- ・ 環境の持続性；米国は、二酸化炭素などの温暖化ガス排出量の削減に取り組まなければならない。主な排出源は、米国全体のエネルギー供給の約 85% を占める化石燃料の燃焼である。
- ・ 経済機会の創出；米国経済はエネルギー輸入コストの高騰に脅かされている。直近の高騰時には、年間 7000 億ドルもの費用を要している。次世代クリーンエネルギー技術を創出することが、米国内だけに留まらぬグローバルな経済機会の創出につながる。

該当の英文箇所を、以下に抜粋して示した。

## Foreword

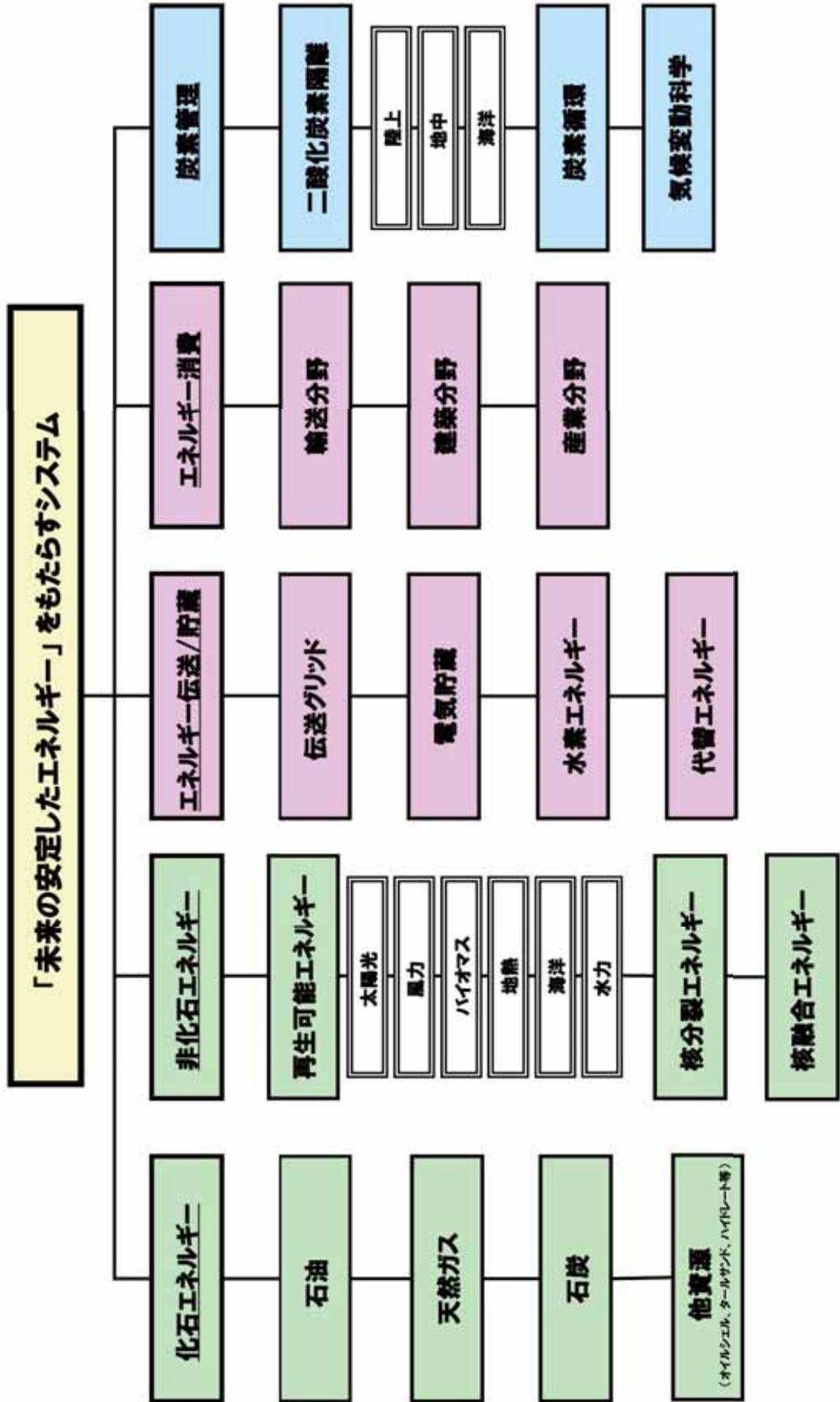
The United States faces a three-fold energy challenge:

- ・ Energy Independence ; U.S. energy use exceeds domestic production capacity by the equivalent of 16 million barrels of oil per day, a deficit made up primarily by importing oil and natural gas. This deficit has nearly tripled since 1970.
- ・ Environmental Sustainability ; The United States must reduce its emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases that accelerate climate change. The primary source of these emissions is combustion of fossil fuel, comprising about 85% of U.S. national energy supply.
- ・ Economic Opportunity ; The U.S. economy is threatened by the high cost of imported energy—as much as \$700 billion per year at recent peak prices. We need to create next-generation clean energy technologies that do not depend on imported oil. U.S. leadership would not only provide solutions at home but also create global economic opportunity.

以上から、米国が「エネルギーの自立」「環境の持続性」「経済機会の創出」の 3 つを目標に掲げ、未来の安定したエネルギー保証という社会課題をシステムとして構造化することで、課題を研究に結びつける流れを生み出していった経緯が見て取れる。

# 図表9 “十年～百年単位のエネルギー戦略”の基盤となるシステムの構成要素

● 最初に9つの構成要素を示し、「ワークショップ;Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future (2002年10月、2003年1月)」での議論を経て、以下のように設定。



(出典)米工エネルギー省「The “Basic Research Needs” Workshop Series (April, 2007)」に基づきJST-CRDSが作成

## b) 課題解決のための重点領域を定める

前項に記載した社会課題をシステムとして構造化することが、その後の「研究方向」「研究対象」そして「重点領域」へと展開する流れを促す。

米国エネルギー省のケースでは、次のような流れを経て、未来の安定したエネルギー保証という課題を解決するための重点領域を選定していった。

### ▽社会課題が生ずる場となる対象システムの構造化

まず、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を提示した上で、提示した課題が生ずる場を「9つの要素から成るシステム」として捉え、構造化している。

この内の7つがエネルギーに直接関わる構成要素、残りの2つが生物科学や教育などのシステム全体を横断する構成要素となっている。

#### a) エネルギーに直接関わる構成要素

- ・化石エネルギー (Fossil Energy)
- ・再生可能&太陽エネルギー (Renewable and Solar Energy)
- ・核分裂エネルギー (Nuclear Fission Energy)
- ・核融合エネルギー (Fusion Energy)
- ・エネルギー伝送&燃料電池&水素 (Distributed Energy, Fuel Cells, and Hydrogen)
- ・輸送分野のエネルギー消費 (Transportation Energy Consumption)
- ・住宅&商業&産業分野のエネルギー消費 (Residential, Commercial, and Industrial Energy Consumption)

#### b) システム全体を横断する構成要素

- ・エネルギーのための生物科学 (Energy Biosciences Research)
- ・横断的研究及び教育 (Cross-Cutting Research and Education)

「科学技術政策部門であるエネルギー省」が社会課題を提示し、課題が生ずる場をシステムとして構造化する役割は「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が担っている。

### ▽対象システムでの目指すべき研究方向の抽出

上記構造化を図った上で、次に、システムを構成する9つの要素を検討するためのパネルを設置し、ワークショップを開催している。具体的には、2002年10月、2003年1月の2回に渡り「ワークショップ; Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future」を実施し、個々の要素の中で「課題解決のために目指すべき研究方向」を議論していった。

議論を通じ抽出された研究方向は、以下のようになっている。

#### ・パネル I ; 化石エネルギー

下記4つの研究方向が抽出されている。

- ①Reaction Pathways of Inorganic Solid Materials: Synthesis, Reactivity, Stability
- ②Advanced Subsurface Imaging and Alteration of Fluid-Rock Interactions
- ③Development of an Atomistic Understanding of High-Temperature Hydrogen Conductors
- ④Fundamental Combustion Science Towards Predictive Modeling of Combustion Technologies

・ パネルⅡ ; 再生可能&太陽エネルギー  
下記 5 つの研究方向が抽出されている。

- ①To Displace Imported Petroleum by Increasing the Cost-Competitive Production of Fuels and Chemicals from Renewable Biomass by a Hundred Fold
- ②Develop Methods for Solar Energy Conversion that Result in a Ten-to-Fifty Fold Decrease in the Cost-to-Efficiency Ratio for the Production of Fuels and Electricity
- ③Develop the Knowledge Base to Enable Widespread Creation of Geothermal Reservoirs
- ④Conversion of Solar, Wind, or Geothermal Energy Into Stored Chemical Fuels
- ⑤Advanced Materials for Renewable Energy Applications

・ パネルⅢ ; 核分裂エネルギー  
下記 4 つの研究方向が抽出されている。

- ①Materials Degradation
- ②Advanced Actinide and Fission Product Separations and Extraction
- ③Fuels Research
- ④Fundamental Research in Heat Transfer and Fluid Flow

・ パネルⅣ ; 核融合エネルギー  
下記 5 つの研究方向が抽出されている。

①Multiscale Modeling of Microstructural Stability of Irradiated Materials

②Deformation and Fracture Modeling

③Plasma-Surface Interactions

④Thermofluids and “Smart Liquids”

⑤Plasma Aerodynamics

- ・ パネルV ; エネルギー伝送&燃料電池&水素  
下記 4 つの研究方向が抽出されている。

①Advanced Hydrogen Synthesis

②High-Capacity Hydrogen Storage for Distributed Energy of the Future

③Novel Membrane Assemblies

④Designed Interfaces

- ・ パネルVI ; 輸送分野のエネルギー消費  
下記 6 つの研究方向が抽出されている。

①Integrated Quantitative Knowledge Base for Joining of Lightweight Structural Materials for Transportation Applications

②Vehicular Energy Storage

③ Fundamental Challenges in Fuel Cell Stack Materials

④ Integrated Heterogeneous Catalysis

⑤Thermoelectric Materials and Energy Conversion Cycles for Mobile Applications

⑥Complex Systems Science for Sustainable Transportation

- ・ パネルVII ; 住宅&商業&産業分野のエネルギー消費  
下記 4 つの研究方向が抽出されている。

## ①Sensors

## ②Solid State Lighting

## ③Innovative Materials for New Energy Technologies

## ④Multilayer Thin Film Materials and Deposition Processes

- ・パネルⅧ；エネルギーのための生物学  
下記 3 つの研究方向が抽出されている。

## ①Energy Biotechnology: Metabolic Engineering of Plants and Microbes for Renewable Production of Fuels and Chemicals

## ②Genomic Tools for the Development of Designer Energy and Chemical Crops

## ③Nanoscale Hybrid Assemblies for the Photo-Induced Generation of Fuels and Chemicals

- ・パネルⅨ；横断的研究及び教育  
下記 2 つの研究方向が抽出されている。

## ①Nanomaterials

## ②Preparing Tomorrow's Workforce for the Energy Challenge and Heightening the Public's Awareness

システムを構成する 9 つの要素について、合計で「37 の目指すべき研究方向」が抽出されていることが分かる。

本ワークショップには、大学、産業界、研究所などから 100 人以上が参加した。その上で、集合した「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心となり、目指すべき研究方向を明らかにしていった。

▽目指すべき方向に対応した研究対象の設定

37 の研究方向を明らかにした上で、これらの方向をグループ化し統合することで「課題解決のための研究対象」に変換している。

具体的には、未来の安定したエネルギー保証を実現していく方向として「10 の研究対象」を設定している。

- ・研究対象 I ；エネルギー転換の基盤的アプローチ (Fundamental Approaches to Energy Conversion)

- ・ 研究対象Ⅱ；エネルギー生物科学（Energy Biosciences）
- ・ 研究対象Ⅲ；水素の製造・貯蔵・利用に向けた基礎研究（Basic Research Towards the Hydrogen Economy）
- ・ 研究対象Ⅳ；アクチニド化学及び核燃料サイクル（Actinide Chemistry and Nuclear Fuel Cycles）
- ・ 研究対象Ⅴ；エネルギー的限界を超えた極限材料（Materials Science to Transcend Energy Barriers）
- ・ 研究対象Ⅵ；不均質触媒（Heterogeneous Catalysis）
- ・ 研究対象Ⅶ；新規な膜構造（Novel Membrane Assemblies）
- ・ 研究対象Ⅷ；革新的エネルギー貯蔵（Innovative Energy Storage）
- ・ 研究対象Ⅸ；エネルギー利用効率のための基礎研究（Basic Research for Energy Utilization Efficiency）
- ・ 研究対象Ⅹ；地球科学（Geosciences）

上記の流れが、ワークショップ報告書「Basic Research Needs To Assure A Secure Energy Future」にまとめられている。

#### ▽設定した研究対象に基づく重点領域の選定

「37の研究方向」と「10の研究対象」をもとに、最終的には米国エネルギー省が「課題解決のための“10の重点領域”」を決定している。具体的には下記10テーマを、未来の安定したエネルギー保証を実現するための重点領域に選定した。

先に提示された研究対象の内容と比較すると、政策的見地に基づく追加や修正を図りながら、重点領域を定めていった様子が見て取れる（例えば、研究対象の段階では示されなかった「超伝導」が重点領域に加わっている）。

- ・ 重点領域Ⅰ；太陽エネルギーの利用（Solar Energy Utilization）
- ・ 重点領域Ⅱ；水素の製造・貯蔵・利用（The Hydrogen Economy）
- ・ 重点領域Ⅲ；先端原子力システム（Advanced Nuclear Energy Systems）
- ・ 重点領域Ⅳ；極限環境下の材料（Materials under Extreme Environments）

- ・ 重点領域V ; エネルギーのための触媒 (Catalysis for Energy)
- ・ 重点領域VI ; 超伝導 (Superconductivity)
- ・ 重点領域VII ; 電気エネルギーの貯蔵 (Electrical Energy Storage)
- ・ 重点領域VIII ; 運輸燃料の無公害・高効率燃焼 (Clean and Efficient Combustion of 21st Century Transportation Fuels)
- ・ 重点領域IX ; 固体素子照明 (Solid-State Lighting)
- ・ 重点領域X ; エネルギーシステムのための地球科学 (Geosciences : Facilitating 21st Century Energy Systems)

選定に向けた検討は、「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が行っている。その際の特徴として、「政策的重要度 (mission importance)」と「科学的先進性 (prospects for world-class scientific advances)」の両面からの評価を主要な判断基準としていることが挙げられる。本方針に基づき、研究コミュニティが提示した 10 の研究対象に対し、政策的見地に基づく修正を適宜加えることで、ワークショップで取り上げるべき重点領域が決定されていった。

重点領域を選定するための上記基本方針が、基礎エネルギー科学局の報告書「The“Basic Research Needs” Workshop Series (April, 2007)」に次のように記載されている。

---

### **Workshop Topic Selection and Workshop Planning**

A topic is chosen by BES in the area of an energy technology based on both mission need and scientific opportunity. Mission need is defined by Presidential or DOE initiatives, by BESAC studies, or by BES studies. BES welcomes suggestions for topics from other sources, but the ultimate decision by BES is based on a balance between mission importance and the prospects for world-class scientific advances.

---

以上の経緯にて重点領域を選定した上で、2003年～2007年の5年間に10回に渡るシリーズの形でワークショップを開催し、定めた10の重点領域で取り組む基礎研究を特定していった。

### c) 基礎研究と科学原理を特定する

前項で述べたように、米国エネルギー省は 10 の重点領域を対象とするワークショップをシリーズの形で開催し、各領域で取り組むべき基礎研究を特定している。

これらのワークショップには、大学、産業界、研究所などから延べ 1500 人以上が参加した。議論を重ね、最終的に 78 の基礎研究群を選び出している。

研究方向を抽出した際と同様に、基礎研究の特定においても、招聘された「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たした。

こうした一連の流れが、例えばエネルギーフロンティア研究センターの冊子「Energy Frontier Research Center, Tackling Our Energy Challenges in A New Era of Science」の中に、以下の形で記載されている。

---

#### Background Information

The scientific community enthusiastically responded to this BESAC study through participation in a week-long workshop and results were published in early 2003 in the report, Basic Research Needs to Assure a Secure Energy Future. That report inspired a series of ten follow-up Basic Research Needs workshops over the next five years, which together attracted more than 1,500 participants from universities, industry, and DOE laboratories. Topics included the hydrogen economy, solar energy utilization, superconductivity, solid-state lighting, advanced nuclear energy systems, combustion of 21st century transportation fuels, electrical-energy storage, geosciences as it relates to the storage of energy wastes (the long-term storage of both nuclear waste and carbon dioxide), materials under extreme environments, and catalysis for energy-related processes.

---

10 回に渡るワークショップで特定された 78 の基礎研究群は、以下の構成となっている。

・ ワークショップ I ; 太陽エネルギーの利用

「太陽エネルギーからの電気」「太陽エネルギーからの燃料」「太陽エネルギーの横断領域」の 3 パネルによる討議が行われ、下記 13 の基礎研究群が抽出されている。

① Revolutionary Photovoltaic Devices : 50% Efficient Solar Cells

② Maximum Energy from Solar Photons at Low Cost : Designed Plastic Photovoltaic Structures

③ Nanostructures for Solar Energy Conversion : Low Cost and High Efficiencies

④ Fuels from Water and Sunlight : New Photoelectrodes for Efficient Photoelectrolysis

- ⑤Leveraging Photosynthesis for Sustainable Solar Production of Biofuels
- ⑥Using A Bio-Inspired Smart Matrix to Optimize Energy Landscapes for Solar Fuels Production
- ⑦Solar-Powered Catalysts for Energy-Rich Fuels Formation
- ⑧Bio-Inspired Molecular Assemblies for Integrating Photon-To-Fuels Pathways
- ⑨Achieving Defect-Tolerant and Self-Repairing Solar Conversion Systems
- ⑩Solar Thermochemical Fuel Production
- ⑪New Experimental and Theoretical Tools to Enable Transformational Research
- ⑫Solar Energy Conversion Materials by Design
- ⑬Materials Architectures for Solar Energy : Assembling Complex Structures

・ワークショップⅡ；水素の製造・貯蔵・利用

「水素の製造」「水素の貯蔵・供給」「燃料電池・燃料電池向け先端材料」の3パネルによる討議が行われ、下記11の基礎研究群が抽出されている。

- ①Low-Cost and Efficient Solar Energy Production of Hydrogen
- ②Nanoscale Catalyst Design
- ③Biological, Biomimetic, and Bio-Inspired Materials and Processes
- ④Complex, Hydride Materials for Hydrogen Storage
- ⑤Nanostructured and Other Novel Hydrogen Storage Materials
- ⑥Theory, Modeling, and Simulation of Materials and Molecular Processes
- ⑦Low-Cost, Highly Active, Durable Cathodes for Low-Temperature Fuel Cells
- ⑧Membranes and Separation Processes for Hydrogen Production and Fuel Cells
- ⑨Analytical and Measurement Technologies

## ⑩ Impact of The Hydrogen Economy on The Environment

## ⑪ Safety in The Hydrogen Economy

・ ワークショップⅢ；先端原子力システム

「極限環境下の材料」「極限環境下の化学」「分離科学」「新規のアクチノイド系燃料」「新規の廃棄物形態」「予測モデリング・シミュレーション」の6パネルによる討議が行われ、下記9つの基礎研究群が抽出されている。

## ① Nanoscale Design of Materials and Interfaces that Radically Extend Performance Limits in Extreme Radiation Environments

## ② Physics and Chemistry of Actinide-Bearing Materials and The f-Electron Challenge

## ③ Microstructure and Property Stability under Extreme Conditions

## ④ Mastering Actinide and Fission Product Chemistry under All Chemical Conditions

## ⑤ Exploiting Organization to Achieve Selectivity at Multiple Length Scales

## ⑥ Adaptive Material-Environment Interfaces for Extreme Chemical Conditions

## ⑦ Fundamental Effects of Radiation and Radiolysis in Chemical Processes

## ⑧ Fundamental Thermodynamic and Kinetic Processes in Complex Multi-Component Systems for Fuel Fabrication and Performance

## ⑨ Predictive Multiscale Modeling of Materials and Chemical Phenomena in Multi-Component Systems under Extreme Conditions

・ ワークショップⅣ；極限環境下の材料

「エネルギー流束による極限環境」「化学反応による極限環境」「熱的・機械的な極限環境」「電氣的・磁氣的な極限環境」の4パネルによる討議が行われ、下記8つの基礎研究群が抽出されている。

## ① Design of Materials with Revolutionary Tolerance to Extreme Photon and Particle Fluxes

## ② Nonequilibrium Synthesis and Processing with Energetic Particle and Photon Beams

- ③ Toward Ideal Surface Stability
- ④ Fundamental Reaction Dynamics at Extremes
- ⑤ Novel Materials by Design
- ⑥ Disordered, Nanophase, and Composite Materials
- ⑦ Exploring Thermomechanical Limits of Materials
- ⑧ High-Performance Electric and Magnetic Materials

・ ワークショップV ; エネルギーのための触媒

「触媒のための科学と理論」「重質化石燃料を転換するための触媒」「生物学的転換のための触媒」「二酸化炭素及び水の光学的・電子的転換のための触媒」「横断領域」の5パネルによる討議が行われ、下記3つの基礎研究群が抽出されている。

- ① Selective Catalytic Conversion of Fossil Feedstocks
- ② Chemistry of Lignocellulosic Biomass : Deconstruction and Catalytic Conversion to Fuels
- ③ Photo- and Electro-Driven Conversion of Carbon Dioxide and Water

・ ワークショップVI ; 超伝導

「高度合成技術」「新規超伝導体」「電磁気スペクトル」「熱力学・磁性」「ボルテックス現象」「メカニズム・その他の基盤」「超伝導の理論計算と設計」「超伝導の界面現象／ナノスケールの超伝導体」「超伝導特性」「超伝導体の用途探索」「超伝導体のエネルギー利用」「未踏領域への展開」「材料・現象・理論・応用」の13パネルによる討議が行われ、下記7つの基礎研究群が抽出されている。

- ① Pursue Directed Search and Discovery of New Superconductors
- ② Control Structure and Properties of Superconductors Down to The Atomic Scale
- ③ Maximize Current-Carrying Ability of Superconductors with Scalable Fabrication Techniques
- ④ Understand and Exploit Competing Electronic Phases
- ⑤ Develop A Comprehensive and Predictive Theory of Superconductivity and

## Superconductors

⑥Identify The Essential Interactions that Give Rise to High Tc Superconductivity

⑦Advance The Science of Vortex Matter

・ワークショップVII；電気エネルギーの貯蔵

「化学的貯蔵のための科学」「容量性貯蔵のための科学」「横断領域のための科学」の3パネルによる討議が行われ、下記6つの基礎研究群が抽出されている。

①Novel Designs and Strategies for Chemical Energy Storage

②Solid-Electrolyte Interfaces and Interphases in Chemical Energy Storage

③Capacitive Energy Storage Materials by Design

④Electrolyte Interactions in Capacitive Energy Storage

⑤Multifunctional Materials for Pseudocapacitors and Hybrid Devices

⑥Rational Materials Design Through Theory and Modeling

・ワークショップVIII；運輸燃料の無公害・高効率燃焼

「新規の燃料」「燃料の利用」「横断的科学的」の3パネルによる討議が行われ、下記8つの基礎研究群が抽出されている。

①Combustion Under Extreme Pressure

②Understanding and Exploiting Surface Chemistry in Transportation Systems

③Breakthrough Discovery Tools

④Multiscale Modeling

⑤Smart Engines

⑥Physical and Chemical Properties for Combustion of 21st Century Transportation Fuels

⑦ Automated Discovery of Fuel Chemistry Kinetics

### ⑧ Spray Dynamics and Chemistry for New Fuels

- ・ ワークショップIX ; 固体素子照明

「発光ダイオード等の科学」「有機発光ダイオード等の科学」「横断領域・新規材料／光物理学」の3パネルによる討議が行われ、下記7つの基礎研究群が抽出されている。

#### ① Unconventional Light-Emitting Semiconductors

#### ② Photon Conversion Materials

#### ③ Polar Materials and Heterostructures

#### ④ Luminescence Efficiency of InGaN Structures

#### ⑤ Managing and Exploiting Disorder in Organic Films

#### ⑥ Understanding Purity and Degradation in OLEDs

#### ⑦ Integrated Approach to OLED Design

- ・ ワークショップX ; エネルギーシステムのための地球科学

「地質層における多相間の流体移送」「地質層における化学的移行過程」「副次界面のキャラクタリゼーション」「地質系のモデリング・シミュレーション」の4パネルによる討議が行われ、下記6つの基礎研究群が抽出されている。

#### ① Mineral-Water Interface Complexity and Dynamics

#### ② Nanoparticulate and Colloid Chemistry and Physics

#### ③ Dynamic Imaging of Flow and Transport

#### ④ Transport Properties and In Situ Characterization of Fluid Trapping, Isolation, and Immobilization

#### ⑤ Fluid-Induced Rock Deformation

#### ⑥ Biogeochemistry in Extreme Subsurface Environments

こうして基礎研究群を選び出した後、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 (Subcommittee on Grand Challenges for Basic Energy Sciences) が科学原理を特定している。

具体的には、ワークショップで抽出された 78 の基礎研究群を総合する形で、未来のエネルギーシステム構築に向けて「挑戦すべき 5 つの科学原理」を明らかにしていった。

研究コミュニティによる基礎研究群の抽出を受けて、科学原理の特定については「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が再びその役割を担っている。

- ・ 科学原理 I ; 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)
- ・ 科学原理 II ; 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)
- ・ 科学原理 III ; 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)
- ・ 科学原理 IV ; 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)
- ・ 科学原理 V ; 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)

### 2.2.5 課題解決型研究による新興・融合

エネルギーフロンティア研究センターは課題解決型としての特徴を強く有しており、ここでの取り組みが「課題を研究に結びつける仕組み」を解明していくためのグッドプラクティスになる。

そこで前項までの分析を通じセンターの設立経緯や取り組みを詳細に把握することで、課題解決型研究や新興・融合領域を特定するために必要となる基本要件の抽出を図った。

米国が研究センターを立ち上げる際に取ったアプローチは、まず「社会課題をシステムの視点で捉える」、次にシステムの中で「課題解決のための重点領域を定める」、そして定めた重点領域で「取り組むべき基礎研究と科学原理を特定する」という流れで整理できる。

こうした仕組みの下で、未来の安定したエネルギー保証という社会課題に対応した「37の研究方向」「10の研究対象」及び「10の重点領域」を選び出し、課題解決のための「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を明らかにしていった。

その上で、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、78の基礎研究群と5つの科学原理への挑戦がもたらすゴールを「制御科学 (Control Science)」という新たなビジョンの形で提示している。

2008年12月に発表された報告書「New Science for A Secure and Sustainable Energy Future」をもとに、米国が開拓を図る「制御科学という新興・融合領域」の概要をまとめると、次のようになる。

- 1) エネルギーフロンティア研究センターは、エネルギーを巡る社会課題として「未来の安定したエネルギー保証」に取り組むことをミッションとしている。
- 2) そして、「未来の安定したエネルギー保証」というミッションを達成するため、「制御科学 (Control Science)」という新興・融合領域の開拓に挑んでいる。
- 3) 制御科学は、未来の安定したエネルギー保証に役立つ「材料」や「プロセス」を生み出すための科学基盤として位置付けられる。
- 4) エネルギーシステムの革新には、材料やプロセスの制御レベルを飛躍的に向上する必要がある。エネルギーに関わる事象はナノスケールの原子・電子の非平衡状態などを反映し、常に変化する。したがって、制御レベルの革新を図るには、対象とする事象を従来は不可能だった高い精度で（例えば、極微細な領域を超高速で探査しながら）観察していく新たな科学が求められる。
- 5) 制御科学とは、20世紀に大きな進歩を見せた「観察科学 (Observational Science)」を一層発展させ、「材料挙動」や「化学現象」などを人工的に設計・創出・制御するために必要な異分野のナレッジと融合することで新興していく新たな領域を意味する。

- 6) この制御科学という新興・融合領域を開拓するために、46 のセンターが以下の研究ターゲットに挑んでいる。
- a) 「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。
  - b) 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。
  - c) 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。
  - d) 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。

「2.2.3 研究センターが設立された経緯」及び「2.2.4 社会課題を研究に結びつける仕組み」での検討、さらには「制御科学という新興・融合領域」に関する上記分析を総合すると、米国エネルギー省が「課題解決型研究や新興・融合領域を探索するために用いた仕組み」の特徴が浮かび上がってくる。

- 1) 第一に、「社会課題」が生ずる場として、対象システムの範囲を設定している。エネルギー省のケースでは、目指すべき未来を「“十年～百年単位のエネルギー戦略”の基盤となるシステム」として構造化したことが議論の起点となった（図表 9）。そのための役割は、「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が担っている。
- 2) 第二に、対象システムの中で社会課題を解決する際の「研究方向」や「研究対象」を見出している。ワークショップの形で 100 人を超える研究者等が討議を行い、「37 の研究方向」を導出した上で、これらの方向に対応した「10 の研究領域」を提示した。ここでは、「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たしている。
- 3) 第三に、これらの「研究方向」や「研究対象」を踏まえ、取り上げるべき「重点領域」を定めている。「研究対象」から「重点領域」へと展開する段階では、政策的見地に基づく追加、修正が図られている。こうした重点領域の設定については、「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が再びその役割を担った。

4) その上で第四に、設定された重点領域において課題解決方策を具体化している。10回に渡ったワークショップに1500人を超える研究者等が招聘され、「10の重点領域」をカバーする「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。異分野のナレッジを集めることが重要になるため、ここでも「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たしている。

米国エネルギー省が社会課題を基礎研究に結びつけたプロセスを図表10に、そのための役割を担った主体を図表11に、それぞれまとめて示した。

「政策担当者やトップクラス研究者による“トップダウン型”のエキスパート・ジャッジメント」と「研究コミュニティを主役とする“ボトムアップ型”のエキスパート・ジャッジメント」を交互に繰り返しながら、未来の安定したエネルギー保証という社会課題を「課題解決のための基礎研究や科学原理」、さらには「制御科学という新興・融合領域」に結びつけていった経緯が見て取れる。

こうしたトップダウンとボトムアップの判断を組み合わせる方法は、10の重点領域で78の基礎研究群を特定した一連のワークショップにおいても見られる。

具体的には、基礎エネルギー科学局の報告書「The “Basic Research Needs” Workshop Series (April, 2007)」の「Appendix C ; Workshop Planning Task List with Target Dates」の中に「誰が、何を、いつまでに成すべきか、についての基本的考え方 (sample planning task list)」が記されている。ワークショップの全工程を42のタスクに分けて、下記9主体が果たすべき役割が提示されている。

- ・ 基礎エネルギー科学局の局長 (BES Director)
- ・ 基礎エネルギー科学局のマネジメント部門 (BES Management)
- ・ 基礎エネルギー科学局の技術担当リーダー (BES Technical Lead)
- ・ 基礎エネルギー科学局の支援スタッフ (BES Support Staff)
- ・ 米国エネルギー省の技術オフィス (DOE Technology Offices)
- ・ ワークショップの議長&共同議長 (Chairs & Co-Chairs)
- ・ ワークショップのパネルリーダー (Panel Leads)
- ・ ワークショップのパネリスト (Panelists)
- ・ ワークショップの筆記者 (Writers)

上記の内、エキスパート・ジャッジメントとして特に注目されたタスクと主体を取り上げ、図表 12-1、図表 12-2 に整理した。ポイントをまとめると、次のようになる。

- 1) 最初に、ワークショップで取り上げるスコープを、政策側トップの基礎エネルギー科学局・局長が提示している。このことは、前述の「10 の重点領域の選定で米国エネルギー省が最終判断を下した」ことと合致している。
- 2) 次に、基礎エネルギー科学局のマネジメント部門が窓口となり、ワークショップのリード役として「議長&共同議長」と「基礎エネルギー科学局・技術担当リーダー」の二者を定めている。
- 3) その後、議長と技術担当リーダーが協力し、ワークショップの各パネルを率いる複数のパネルリーダーを選定している。
- 4) パネルリーダーを選んだ後は、議長、技術担当リーダー、パネルリーダーの三者が協力し、ワークショップのメンバーやアジェンダなどを検討していく。その上で、全体計画の最終判断は議長が下す形を取っている。
- 5) 計画が固まった後は、議長とパネルリーダーが中心となり事前準備、ワークショップの開催、成果報告の取りまとめなどを進めていく。
- 6) その後、成果報告書の最終案を議長が統括してまとめ終えた段階で、報告書を完成し公表していくプロセスについては、統括役を技術担当リーダーに移す。
- 7) その上で、報告書の完成を受けて、局長、議長、技術担当リーダーの三者が政府や議会等へのブリーフィングを行う。一方、学会等を通じ研究コミュニティへの周知を図る役割は、議長、技術担当リーダー、パネルリーダーの三者が担う形を取っている。

タスクの目的や特徴に応じ、トップダウンとボトムアップの視点を多様に組み合わせた検討体制が取られていることが分かる。参考として、10 の重点領域を対象としたワークショップの議長構成を図表 13 に記載した。

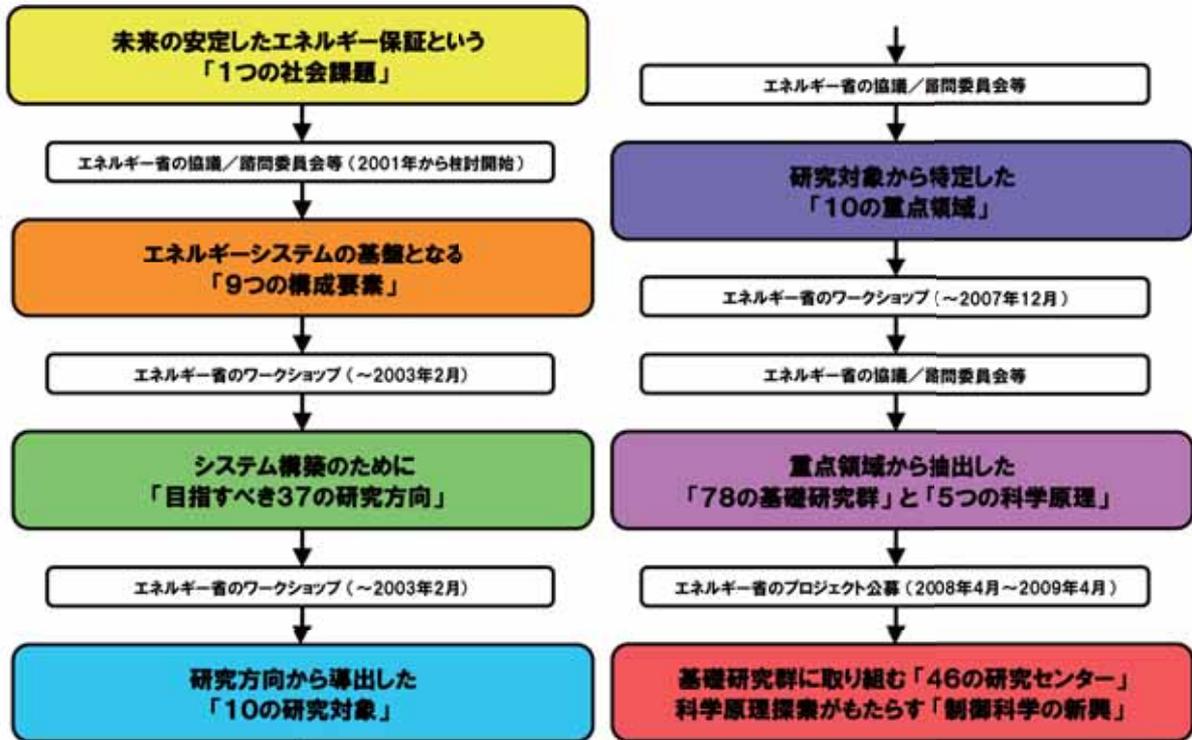
以上にまとめた米国エネルギー省の取り組みを考察すると、社会課題を研究に結びつけるための要件として、二つの重要な特徴が導き出される。

第一に、「社会課題が発生する場をシステムとして描き出す」ことが求められる。システムを特定することが、取り組むべき基礎研究や科学原理を見つけ出す動きにつながっていく。すなわち、最初にシステムの視点で捉えることが、課題を研究に結びつける具体的流れを生み出す。

第二に、「二つのエキスパート・ジャッジメント」の組み合わせが効果を発揮する。「政策担当者やトップクラス研究者による“トップダウン型”の判断」と「研究コミュニティを主役とする“ボトムアップ型”の判断」を交互に取り入れることが、研究を特定してい

く力になる。社会ニーズと研究シーズに基づく双方向の判断が、課題と研究をつなぐ有効な方策となる。

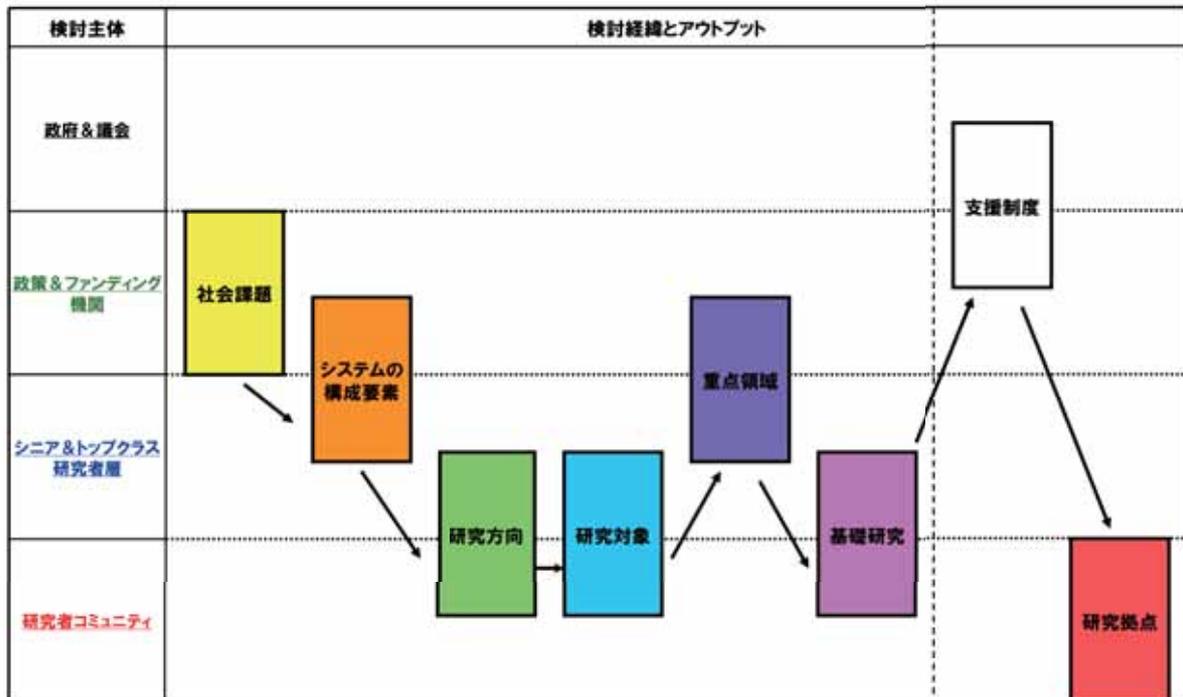
図表10 エネルギー省が「社会課題」を「基礎研究」に結びつけたプロセス



(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

図表11 「社会課題」を「基礎研究」に結びつけていった主体

●「政策&ファンディング機関」「シニア&トップクラス研究者層」「研究コミュニティ」がそれぞれ役割を担い、社会課題を基礎研究へと繋げている。



(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

図表12-1 重点領域を対象としたワークショップの標準的推進フロー

タスク	実施主体					実施時期 (ワークショップ 開催月が基準)
	基礎エネルギー 科学局・局長	基礎エネルギー 科学局・マネジ メント部門	基礎エネルギー 科学局・技術 担当リーダー	議長 & 共同 議長	パネルリーダー	
ワークショップのスコープを 提示する	●					6ヶ月前
ワークショップの議長、共同 議長を確定する		●				6ヶ月前
基礎エネルギー科学局の 技術担当リーダーを任命する		●				6ヶ月前
主要なパネルリーダーを 確定する			●	●		5ヶ月前
全てのパネリスト、招聘者を 確定する			●	●	●	3ヶ月前
ブレイクアウトセッションの アジェンダを確定する			●	●	●	3ヶ月前
ワークショップ全体の アジェンダを確定する				●		3ヶ月前

(出典) 米国エネルギー省「The "Basic Research Needs" Workshop Series (April,2007)」に基づきJST・CRDSが作成

図表12-2 重点領域を対象としたワークショップの標準的推進フロー

タスク	実施主体					実施時期 (ワークショップ 開催月が基準)
	基礎エネルギー 科学局・局長	基礎エネルギー 科学局・マネジ メント部門	基礎エネルギー 科学局・技術 担当リーダー	議長 & 共同 議長	パネルリーダー	
技術備忘資料を完成する				●	●	6週間前
目指すべき研究方向に 関する報告資料を完成する				●	●	3週間後
ブレイクアウトセッションに 関する報告資料を完成する				●	●	4週間後
全ての報告資料を編集・ 構成し、ワークショップ 報告書案をまとめる				●		7週間後
ワークショップ報告書を 完成し、公表する			●			2ヵ月後
政府、議会等に対し、 ワークショップ報告書の ブリーフィングを行う	●		●	●		2.5ヵ月後
学会等を通じ、ワークショップ 報告書を研究コミュニティー に周知する			●	●	●	2.5ヵ月後

(出典) 米国エネルギー省「The "Basic Research Needs" Workshop Series (April,2007)」に基づきJST・CRDSが作成

図表13 “10の重点領域”を対象としたワークショップの議長構成

<p><b>水素の製造・貯蔵・利用</b></p> <p>・マサチューセッツ工科大学 ミルドレッド・ドレッセルハウス博士</p>	<p><b>太陽エネルギーの利用</b></p> <p>・カリフォルニア工科大学 ネーサン・ルイス博士 ・アルゴンヌ国立研究所 ジョージ・クラブツリー博士</p>
<p><b>超伝導</b></p> <p>・ロスアラモス国立研究所 ジョン・サラオ博士 ・アルゴンヌ国立研究所 ワイクォン・クウォ博士</p>	<p><b>固体素子照明</b></p> <p>・サンディア国立研究所 ジュリア・フィリップス博士 ・パシフィックノースウェスト国立研究所 ポール・バロウス博士</p>
<p><b>先端原子力システム</b></p> <p>・オークリッジ国立研究所 ジム・ロベルト博士 ・ローレンスリバモア国立研究所 トーマス・ルビア博士</p>	<p><b>運輸燃料の無公害・高効率燃焼</b></p> <p>・サンディア国立研究所 アンドリュー・マクロー博士 ・マサチューセッツ工科大学 グレック・マクロー博士</p>
<p><b>エネルギーシステムのための地球科学</b></p> <p>・カリフォルニア大学バークレー校 ドナルド・デバオ博士 ・スタンフォード大学 フランクリン・オール博士</p>	<p><b>電気エネルギーの貯蔵</b></p> <p>・テキサス大学オースチン校 ジョン・グッドイナフ博士 ・コーネル大学 ヘクター・アブルナ博士 ・オークリッジ国立研究所 マイケル・ブキャナン博士</p>
<p><b>極限環境下の材料</b></p> <p>・オークリッジ国立研究所 ジェフリー・ワッスワース博士 ・アルゴンヌ国立研究所 ジョージ・クラブツリー博士 ・ワシントン・カーネギー協会 ラッセル・ヘムレー博士</p>	<p><b>エネルギーのための触媒</b></p> <p>・カリフォルニア大学バークレー校 アレクシス・ベル博士 ・カリフォルニア大学デービス校 ブルース・ゲーツ博士 ・パシフィックノースウェスト国立研究所 ダグラス・レイ博士</p>

(出典) 米国エネルギー省「The “Basic Research Needs” Workshop Series (April, 2007)」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（2011年～2015年）に向け、「科学技術基本政策策定の基本方針（第91回総合科学技術会議、資料3-2、2010年7月）」の中で二つの注目すべき方向が示されている。

第一が、「課題解決を志向した研究開発の強化」である。基本理念に掲げられた「日本及び世界の将来像を見据えた上で我が国が取り組むべき大きな課題を設定し、それを解決・実現するための戦略を策定する一連の流れの中で、実効性ある研究開発を実施し、その成果を課題解決に活かしていくこと」などが該当の記述になる。

その上で、第二に「領域横断的な科学技術の強化」が必要となることが示され、課題解決型研究開発を支える共通基盤として明確に位置付けられた。社会課題の解決を目指した研究を強化する、そのために分野を横断した研究に取り組んでいくことが、これからの大きな流れになる。

「課題解決型の研究」及び「分野を横断した研究」の重要性は、第3期科学技術基本計画（2006年～2010年）で既に提示されている。具体的には、「第2章 科学技術の戦略的重点化」の中で、社会的な重要課題に対し迅速・的確な解決策を提供するため、明確な目標の下で専門化・細分化された知を人文・社会科学も含め横断的に統合し、課題解決のための分野横断的研究開発に取り組むことが示された。

さらに、優先的資源配分を行う対象として「重点推進4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）」及び「推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）」を掲げる一方で、分野間の知的な触発や融合を促す環境を整え、「新興領域」や「融合領域」へ機動的に対応することが取り上げられている。

第3期及び第4期科学技術基本計画でのこれらの検討は、第一に「多くの要因や現象が複雑に絡み合った社会課題を解決するために、異分野を結びつけた“新興領域や融合領域の研究”が重要な役割を果たすこと」、第二に「その際には、“社会課題を研究に結びつける仕組み”が必要になること」を意味している。

実際に今、世界では気候変動、資源枯渇、感染症などの様々な問題を対象に、こうした取り組みの重みが増大している。最も代表的なケースが「地球環境問題」であり、「低炭素社会の構築」という社会課題の解決に向け、「エネルギー・環境」の研究を強化する動きが広がっている。

そして、これらと連動する形で「課題解決に必要となる研究の抽出」や「研究を推進するための新興・融合」の動きが展開されている。

したがって、エネルギー・環境を中心とする「各国・地域での課題解決や新興・融合の動き」を把握できれば、第4期科学技術基本計画のために有効となるエビデンス獲得に繋がる。

そこで、上記の背景に応えるため、「課題解決型研究と新興・融合領域への展開」をテーマとする「G-T e C (Global Technology Comparison)」を行った。G-T e C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、米英での海外現地会合などの手法を用いた。「エネルギー・環境」に加え「ナノテク・材料」「数理科学・情報」を対象に取り上げ、注目研究拠点の状況などを分析した。さらに、これらの分析をもとに「課題解決や新興・融合に関わる注目動向」を抽出した。

その上で、抽出した動きの詳細を考察することで「社会課題を研究に結びつけていく仕組み」の特徴や要件を把握した。

### a) 課題解決と新興・融合を巡る動き

最初に国内外の動向を概括した結果、「社会課題の解決を目指した研究」及び「分野を横断した研究」を重視する動きは、2000年代の日米欧において様々な形で見られることが分かった。

前述のように、日本では、第3期科学技術基本計画の段階で既にその重要性が打ち出され、「社会的な重要課題に対し迅速・的確な解決策を提供するため、課題解決のための分野横断的研究に取り組む」ことが示されている。

米国の場合、課題解決型の特徴を持つ仕組みとして「高等研究計画局」の存在が挙げられる。社会課題の解決に役立つハイリスク研究への支援を行うことを主目的としており、軍事・防衛のための「国防高等研究計画局（1958年から活動開始）」に加え、2000年代に入り、国土安全保障を目的とする「国土安全保障高等研究計画局（2002年に設立）」、エネルギー・環境をターゲットとする「エネルギー高等研究計画局（2009年に設立）」が活動を展開している。

また、ライフサイエンスについても、2002年から国立衛生研究所が「医学研究ロードマップ」の策定に着手し、その後、本ロードマップに対応した課題解決型研究への支援が行われるようになった。

新興・融合については、米国科学財団が2002年に、ナノテク、バイオ、情報通信、認知科学を融合することで新たな科学領域を新興する「コンバージング・テクノロジー」というビジョンを提示し、これらの研究に取り組むことの重要性を示している。さらに2007年には、革新的アプローチにより新たなパラダイムや科学領域を新興する「トランスフォーマティブ・リサーチ」への取り組みを強化することを提唱している。

欧州では、各国の動きに加え、課題解決の特徴を持つ仕組みとして、欧州全体を対象とした「欧州テクノロジー・プラットフォーム」が活動を行っている。欧州委員会の奨励を受けて、2001年から産業界が主導する形で、特定課題の解決を目指した産学官の連携組織が構築されるようになった。「欧州の成長、競争力、持続性を高める」ことを共通の目標としている。

新興・融合の面でも、各国での動きに加え、第6次研究枠組み計画（2002年～2006年）として「New and Emerging Science and Technologies」という仕組みに基づく支援が行われてきた。

このほかにも、第6次及び第7次研究枠組み計画（2007年～2013年）を通じ、情報社会技術を対象とした「Future and Emerging Technologies」という制度の中で、新た

な科学領域の新興を目指したプロジェクトが展開されている。

### b) 米国エネルギー省による注目動向

このように日米欧で様々な動きが見られる一方で、実際に各国の研究現場に入ると「課題解決や新興・融合への取り組みの難しさ」を指摘する声が多い。「課題解決のための研究を見つける難しさ」や「新興・融合のための体制を構築する難しさ」などが主因となっているものと推定される。

そこで、本調査では「社会課題を研究に結びつける仕組み」や「新興・融合の体制を構築する仕組み」に求められる要件や特徴を明らかにするため、各国・地域の先進事例や注目事例に焦点を当て、各分野での実態を詳細に調べた。

その結果、エネルギー・環境分野の動きが大きな高まりを見せており、中でも「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国の「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが特に注目されることが分かった。

エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標とする。2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、これらのセンターに5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための研究に取り組んでいる。

エネルギーフロンティア研究センターの動きは、課題解決に取り組む「研究者のインセンティブ」の面からも注目される。

研究コミュニティ、特に若手研究者の間では「課題解決型研究の場合、新たな科学原理の発見や未踏領域を探索する機会が得にくく、したがって求める研究成果が得られても、その成果が研究者としてのキャリアアップにつながりにくい」という認識が存在する。こうした認識を克服し、研究者のインセンティブを高めるために、エネルギーフロンティア研究センターのケースでは「課題解決の取り組み」と「科学的フロンティアの創出」を両立させる方向が示された。

米国エネルギー省のスティーブン・チュウ長官は、2009年5月に開催されたアメリカ科学振興協会の科学技術政策フォーラムの中で、「エネルギーフロンティア研究センターでの課題解決の取り組みは、科学的フロンティアへの挑戦である。したがって、ここには優れた若手研究者達が集まってくる」ことを強調している。

### c) 社会課題を研究に結びつける仕組み

以上の経緯にて、「課題解決と新興・融合を巡る各国・地域の状況」、その中で最も注目された「米国のエネルギーフロンティア研究センターの設立経緯や取り組み」を詳細に分析した。

これらの分析結果を総合することで、「社会課題を研究に結びつけていく仕組み」や「新興・融合の体制を構築する仕組み」について把握した事項をまとめると、次のようになる。

- 1) エネルギー・環境などの社会問題を対象に、課題解決のための共通基盤として「分野を横断した研究」に取り組む動きが強まっている。
- 2) 社会的関心の高まりを受け、米英の大学がエネルギー・環境の研究拠点設立に動いており、これらの拠点で「大学の知的資源を融合する」「複数の自然科学を融合する」、さらには「自然科学と人文・社会科学を融合する」ための取り組みが展開されている。
- 3) インペリアル・カレッジ・ロンドンの「エネルギー未来研究所（2005年設立）」、マサチューセッツ工科大学の「MITエネルギーイニシアチブ（2007年設立）」、ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの「UCLエネルギー研究所（2009年設立）」、スタンフォード大学の「プリコートエネルギー研究所（2009年設立）」などが代表として挙げられる。
- 4) エネルギー・環境を巡るこうした流れの中で、「課題解決に向けた新興・融合」の動きが顕著であることから、米国の「エネルギーフロンティア研究センター」の取り組みが特に注目される。
- 5) エネルギーフロンティア研究センターは、オバマ大統領のグリーン・ニューディール政策を受けて米国エネルギー省が立ち上げた研究イニシアチブであり、「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目標とする。
- 6) 2009年4月、全米46ヶ所に研究センターを設置することが発表され、これらのセンターに5年間で総額7億7700万ドルの資金を投ずる研究がスタートした。
- 7) 上記投資に応え、46のエネルギーフロンティア研究センターは「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題を解決するための研究に取り組んでいる。そして、これらの活動を通じ「制御科学（Control Science）」と呼ばれる新興・融合領域の開拓に挑んでいる。
- 8) この制御科学は、未来の安定したエネルギー保証に役立つ「材料」や「プロセス」を生み出すための科学基盤として位置付けられる。
- 9) エネルギーシステムの革新には、材料やプロセスの制御レベルを飛躍的に向上する必要がある。エネルギーに関わる事象はナノスケールの原子・電子の非平衡状態などを反映し、常に変化する。したがって、制御レベルの革新を図るには、対象とする事象を従来は不可能だった高い精度で（例えば、極微細な領域を超高速で探査しながら）観察していく新たな科学が求められる。
- 10) 制御科学とは、20世紀に大きな進歩を見せた「観察科学（Observational Science）」を一層発展させ、「材料挙動」や「化学現象」などを人工的に設計・創出・制御するために必要となる異分野のナレッジと融合することで新興する新たな科学領域を意味する。

- 11) 米国エネルギー省は、「課題解決型研究」や「新興・融合領域」を見つけ出すために、ワークショップの仕組みを活用している。具体的には、8年間に渡る一連のワークショップ等での検討（検討成果を12種類のレポートとして発表）をもとに、「未来の安定したエネルギー保証」という課題を解決するための「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。その上で、これらの研究がもたらす新たな領域として「制御科学」という新興・融合領域を提示している。
- 12) こうしたエネルギー省の取り組みを詳細に分析すると、「課題解決型研究を抽出する仕組み」や「新興・融合領域を特定する仕組み」が備えるべき要件と特徴が浮かび上がってくる。
- 13) 第一に、「社会課題を、最初に“システムの視点”で捉える」ことが必要になる。課題解決型研究を抽出する前提として、「課題が生ずる場となる“対象システム”を具体的に描き出す」ことが求められるためである。エネルギー省のケースでは、目指すべき未来を「“十年～百年単位のエネルギー戦略”の基盤となるシステム」として構造化したことが、議論の起点となった。そのための役割は、「科学技術政策部門であるエネルギー省」と「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が担っている。
- 14) システムを描いた後は、第二に、対象システムの中で社会課題を解決するための「研究方向」や「研究対象」を明らかにする段階に入る。エネルギー省のケースでは、ワークショップに参加した100人を超える研究者等が討議を重ね、課題解決に向けた「37の研究方向」を導き出していった。その上で、これらの方向に対応した「10の研究対象」を提示している。ここでは、「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たした。
- 15) 対象範囲が定まると、第三に、課題解決に向けて取り組んでいく「重点領域」を指定することが可能になる。エネルギー省のケースでは、研究コミュニティが提示した10の研究対象を基本とし、これらに政策的見地に基づく追加、修正を加えながら、「水素の製造・貯蔵・利用」「太陽エネルギーの利用」などの形に区分した「10の重点領域」を設定していった。こうした重点領域の設定については、「科学技術政策部門であるエネルギー省」及び「関連諮問委員会等のトップクラス研究者」が再びその役割を担っている。
- 16) その上で、第四に、設定した個々の重点領域において「課題解決に求められる研究や科学原理」の探索を行う。エネルギー省のケースでは、10回に渡り開催されたワークショップに延べ1500人を超える研究者等が招聘され、討議を通じ「10の重点領域」をカバーする「78の基礎研究群」と「5つの科学原理」を特定していった。異分野のナレッジを集めることが重要になるため、ここでも「研究コミュニティを代表する多様な研究者」が中心的役割を果たしている。
- 17) 上記の検討を経て、特定した78の基礎研究群と5つの科学原理に基づくエネルギー

省の公募が行われ、46のエネルギーフロンティア研究センターが設置された。現在、これらのセンターが「未来の安定したエネルギー保証」という社会課題の解決を目指し、基礎研究や科学原理の解明に取り組んでいる。

- 18) 以上にまとめた米国エネルギー省の取り組みを考察すると、社会課題を研究に結びつけるための要件として、二つの重要な特徴が導き出される。
- 19) 第一に、「社会課題が発生する場をシステムとして描き出す」ことが求められる。システムを特定することが、取り組むべき基礎研究や科学原理を見つけ出す動きにつながっていく。すなわち、最初にシステムの視点で捉えることが、課題を研究に結びつける具体的流れを生み出す。
- 20) 第二に、「二つのエキスパート・ジャッジメント」の組み合わせが効果を発揮する。「政策担当者やトップクラス研究者による“トップダウン型”の判断」と「研究コミュニティを主役とする“ボトムアップ型”の判断」を交互に取り入れることが、研究を特定していく力になる。社会ニーズと研究シーズに基づく双方向の判断が、課題と研究をつなぐ有効な方策となる。
- 21) 世界は、地球環境問題などの「多くの要因や現象が複雑に絡み合った社会課題」と直面する時代に入った。これらに対処するために、これからは課題解決を目指した研究を強化していく大きな流れが生まれてくる。各国・地域においては、そのための仕組み作りが求められる。先進事例である米国エネルギー省の取り組みを踏まえると、社会課題をシステムの視点で捉えることが、その際の一番目の鍵を握る。

CRDS-FY2010-CR-01

**G-TeC 報告書**

## 課題解決型研究と新興・融合領域への展開

**G-TeC Report**

**“Use-Inspired Researches” toward Emerging & Interdisciplinary Areas**

平成 22 年 9 月 September 2010

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 政策システム・G-TeC ユニット  
Policy, System and G-TeC Unit, Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7487

ファックス 03-5214-7385

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

© 2010 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 C CTA ACT 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 C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
CTCGCC AATTAATA  
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC  
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT  
ATTAATC A AAGA C CT  
GA C CTA ACT CTCAGACC  
0011 1110 000  
00 11 001010 1  
0011 1110 000  
0100 11100 11100 101010000111  
001100 110010  
0001 0011 11110 000101

