

2008.6.4

BIWEEKLY

1023

NEDO 海外レポート

I. テーマ特集 — 再生可能エネルギー特集(2) —

- | | |
|--|----|
| 1. 再生可能エネルギー(太陽・バイオ)につながる基礎研究(米国) | 1 |
| 2. 欧米における地熱エネルギー利用の新技术開発状況 | 10 |
| 3. 欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最新動向 | 18 |
| 4. 米国エネルギー省は先進集光型太陽熱エネルギー技術に 6000 万ドル投資へ | 26 |
| 5. 2030 年までに風力発電のシェアを 20 パーセントに(米国) | 28 |
| 6. バイオ燃料研究開発への取り組み(EU) | |
| ～欧州バイオ燃料テクノロジープラットフォーム～ | 31 |
| 7. 英国におけるバイオ燃料をめぐる注視すべき議論 | 42 |
| 8. ドイツにおけるバイオ燃料の現状 | 45 |
| 9. セルロース系エタノールの商業生産(ブラジル) | 47 |
| 10. 石油企業や大学が模索するバイオ燃料研究開発の別の道筋(米国) | 49 |
| 11. フィリピンの再生可能エネルギー政策の動き | 51 |

II. 個別特集

- | | |
|---------------------------|----|
| 1. 超電導機器における技術開発状況調査(韓国) | |
| (NEDO 技術開発機構 新エネルギー技術開発部) | 59 |

III. 一般記事

- | | |
|---|----|
| 1. エネルギー | |
| ドイツにおける水素・燃料電池技術開発の取り組みゴミのエネルギー源としての再利用 | 64 |
| 米アルゴンヌ国立研究所が GREET 最新モデルを発表 | 66 |
| 2. 環境 | |
| 太陽活動周期の気候変動に与える影響を NASA が測定(米国) | 68 |
| 3. 産業技術 | |
| ナノ製造:ナノテクノロジーの見込みの実現(米国) -第 1 回- | 72 |
| ドイツにおける航空宇宙技術開発の取り組み | 83 |

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、掲載ご希望のテーマ、ご意見、ご要望など下記宛お寄せ下さい。》

NEDO 技術開発機構 研究評価広報部 E-mail : g-nkr@nedo.go.jp Tel.044-520-5150 Fax.044-520-5162

NEDO 技術開発機構は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【再生可能エネルギー特集】

太陽エネルギー

バイオエネルギー

再生可能エネルギー（太陽・バイオ）につながる基礎研究(米国)

米国エネルギー省(DOE) 科学局長である Raymond L. Orbach 博士は 2008 年 4 月、モアハウス大学（ジョージア州、アトランタ）において、「米国の未来のエネルギーのための基礎科学」と題する講演を行った。NEDO 海外レポートでは「再生可能エネルギー特集」として、この講演の概要を紹介する。

世界の人口は急激に増加しており、そのエネルギー需要を満たすために、環境負荷の少ないエネルギー源の十分な供給が必要とされている。エネルギーが安価でいつでも手に入り、無尽蔵なものであるかのように思われていたのはそんなに昔のことではない。しかし、そのような世界がもし実在していたとしても、それは間違いなく過去の話である。今日我々は化石燃料と石油の輸入に大きく依存しており、この問題は米国の経済および安全保障、また環境問題におけるリスクを増大させている。

エネルギーの問題は、当然のことながら地球全体の問題である。世界のエネルギー消費量は今世紀末には現在の 2 倍になる。あるいは 3 倍になるという意見もある。そして、これだけの量のエネルギーを化石燃料で供給しようとした場合、温室効果ガスの環境への排出量は膨大なものとなる。温室効果ガスを大幅に増やすことなく、増大するエネルギー需要を満たす方法を見つけることが、我々にとっての課題である。

今日のエネルギー技術やその設備は、19 世紀に生まれた発見を基礎とした 20 世紀の技術に固く根ざしている。内燃機関が 1870 年代に発明されたことにより、輸送に利用されるエネルギーの種類は大きく変化した。現在使われている混合燃料や利用されている設備は、これらの関連技術によって作り出されたものである。しかしこれらの技術では、現在直面しているエネルギーの問題に対処することができず、また、技術の漸進的な変化では不十分である。我々が現在必要としているのは、基礎科学の研究を通じたエネルギー技術に転換をもたらす発見から生まれるディスラプティブな技術¹である。

21 世紀以降の技術では、物体を分子や原子、あるいは量子レベルにまで遡って制御することが基本となる。言い換えれば、この世界を形成する生物学および非生物学的物質をその構成単位のレベルで制御することにより、広範囲の基幹技術を実現する機会が作られる。

¹ ディスラプティブ技術：disruptive technology（破壊性技術）。技術的革新のことで、市場(マーケット market))において、最終的に現在の最有力の技術や生産を征服してしまう生産、サービスを指す。

エネルギーに関する世界的な課題

・どのようにしてエネルギー需要を満たすか？

急激な人口増によるエネルギー需要の増大に対応するために、環境負荷の少ないエネルギー源の十分な供給が必要とされている。これは、今までに社会が直面してきた諸問題の中でも特に緊急性の高いものである。

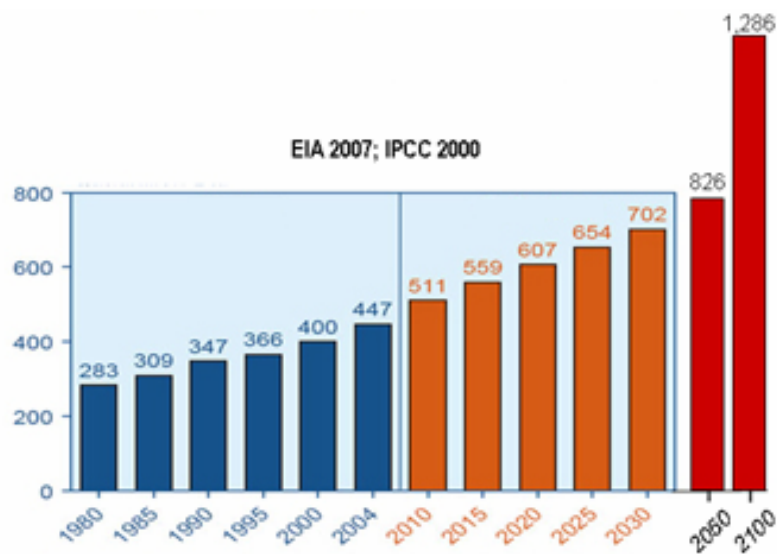


図 1 - 1 世界の一次エネルギー消費量(Quads*)

*クォード。10 の 15 乗(1,000 兆)Btu

出典：DOE

- ・かつてエネルギーは安価で無限だと考えられていた一もはやそうではない。
- ・化石燃料と石油の輸入に対する依存は、経済、環境、および安全保障におけるリスクの増大をもたらす。
- ・世界のエネルギー消費量は、今世紀末までに少なくとも現在の 2 倍になる。

・どのようにして脱炭素化を実現するか？

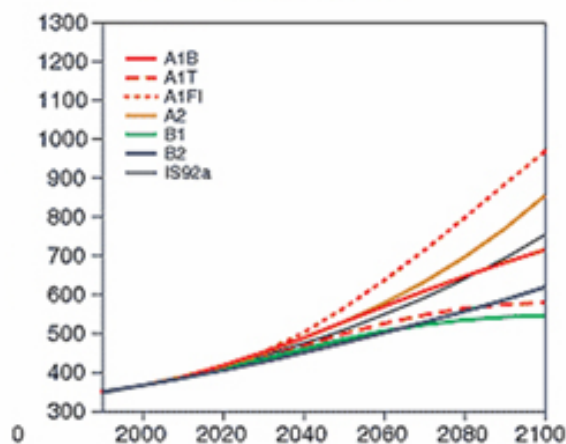


図 1 - 2 二酸化炭素濃度

環境変動に関する政府間パネル*による
「様々な排出シナリオに関する特別報告書
(Special Report on Emissions Scenarios :
SRES)(2000 年)」および「第 4 次評価報告
書(Fourth Assessment Report)(2007 年)」

*Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC
出典：DOE

2002 年、米国エネルギー省(DOE)の基礎エネルギー科学局はエネルギー技術に対する基礎研究の必要性を評価する「基礎研究の必要性(Basic Research Needs)」と題する 12 回シリーズのワークショップの第 1 回目を実施した。一連のワークショップでは、産官学の科学技術の専門家を国内外から招き、科学における障壁の特定や、基礎研究の重点分野の決定が行われた。これらの重点分野への取り組みは、エネルギー技術の革命的な進歩を可能にするような基礎科学の躍進をもたらす可能性が高い。ワークショップでは、太陽エネルギーの利用、水素経済、超伝導、固体素子照明、高度なエネルギーシステム、21 世紀の輸送用燃料の燃焼、地球科学、電気エネルギーの貯蔵、エネルギー適用の触媒、および厳しい環境下で利用する材料などといった問題に焦点が当てられた。

一連のワークショップは 5 年間かけて終了した。ワークショップでは、たとえば新しい材料（特に厳しい環境下でもうまく機能する材料）の設計・開発・加工、材料内の光子・電子・スピン²・フォノン（音量子）・イオン輸送の制御、ナノスケールの科学、構造と機能の関連、生物材料と生体界面など、いくつかのテーマが繰り返し取り上げられた。

これらの研究のすべての土台となっているのは、DOE の基礎エネルギー科学諮問委員会(Basic Energy Sciences Advisory Committee : BESAC)による最近の報告書³の中で示されている 5 つの大課題(Grand Science Challenges)である。これらの課題は自然の原理に対する理解を促すものである。

- ・ 電子の量子力学的振る舞いに基づいた材料加工の制御
- ・ 必要な性質を持たせた新しい形態の物質の原子効率およびエネルギー効率の高い合成
- ・ 原子的構成要素と電子的構成要素の間の複雑な相互関係に由来して物質に新しく生じる特性
- ・ 生物と同レベルの能力を持つ人工のナノスケール物体
- ・ 非常に不均衡な状態にある物質の制御

これら 5 つの課題では、今後のエネルギー供給量に直接影響を与える技術範囲が対象とされている。どの課題においても、自然がそのもっとも基本的なレベルでどのように働くのかを理解する必要がある。これらの重要分野で現状を打破し、今後への期待と現在の実状との差を縮めることは、基礎研究を通してのみ可能である。転換的変化への取り組みを開始する準備ができている分野として、ここでは 2 つの例をあげる。

² 電子や陽子が持つ固有の角運動量（たとえば粒子の自転など）のこと。

³ “Directing Matter and Energy: Five Challenges for Science and the Imagination”
http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/GC_rpt.pdf

1. 太陽エネルギー

1 つめは太陽エネルギーである。

太陽エネルギー

科学の力で変化しつつあるエネルギー技術

今後への期待：

- ・ 熱効率の限界を超えた太陽光発電
- ・ 太陽光の化学燃料への直接の変換

- ・ 太陽光から得られるエネルギー量は、カーボンニュートラルな全てのエネルギー源の中で突出している。1 時間に降り注ぐ太陽光のエネルギー(4.6×10^{20} ジュール)は、地球全体で 1 年間に消費されるエネルギー量を上回る。
- ・ 太陽光は豊富なエネルギー源であるにもかかわらず、我々の利用する一次エネルギーのうちの 0.1% を占めているに過ぎない。
- ・ 太陽エネルギーは、電力、燃料、熱という 3 種類の形態に変換されて利用されているが、それぞれエネルギーの収集、変換、および貯蔵という機能段階に対する取り組みが進められている。また、これらの取り組みでは、それぞれエネルギーの利用方法は異なっても、共通の電気的・分子的メカニズムを数多く活用している。
- ・ 課題：コストの削減と、貯蔵・輸送のために太陽光を電気や燃料（太陽電気、太陽燃料、太陽熱システム）に変換する能力の向上。
- ・ シリコン：市販の太陽電池（単結晶シリコン）の変換効率は 18% に達し、フレネルレンズによる集光技術を使った三接合電池では 40% 近い変換効率が実現されている。高いコスト効果を実現しつつ効率を向上させるには、物質の現象をナノスケールで理解、制御する能力が必要である。
- ・ 光合成：太陽光を収集する自然のシステム。生物学からヒントを得た構造を使って水と二酸化炭素から燃料を生産する。



さまざまな太陽光子を吸収するように設計された多層構造の三接合太陽電池



太陽エネルギーを使って 2 つの水分子を 1 つの酸素分子と 4 つの水素イオンに分解し、電子を放出することによりその他の反応を促進する光化学系 II

1 時間に地球上に降り注ぐ太陽エネルギーが地球全体で 1 年間に消費されるエネルギーよりも多いという話は、おそらく誰もが耳にしたことがあるだろう。しかしながら、この

ように豊富なエネルギー源であるにもかかわらず、現在エネルギーとして利用されている太陽光は、世界中の一次エネルギーのうちの 0.1%を占めるに過ぎない。我々は、この豊富でカーボンニュートラル⁴な資源をより有効に活用していく必要がある。太陽エネルギーは、電力、燃料、熱という 3 種類の形態に変換されて利用されるが、それぞれエネルギーの収集、変換、および貯蔵という機能段階に対する取り組みが進められている。また、これらの取り組みでは、それぞれエネルギーの利用方法は異なっても、共通の電氣的・分子的メカニズムを数多く活用している。この分野における課題は、コストの削減と、貯蔵・輸送のために太陽光を電気や燃料に変換する能力の向上である。

単結晶シリコン基板太陽電池の変換効率は 18%に達した。また、フレネルレンズによる集光技術を使った三接合電池では、40%近い変換効率が実現されている。熱効率の限界を超えた太陽光発電が実現できる日を想像してみしてほしい。あるいは、自然の設計を借りて太陽光を収集し（光合成）、これらのエネルギーを直接化学燃料に変換できるようになる日のことを想像してみしてほしい。

DOE 科学局では、これらの期待を実現するために、太陽の利用に関する基礎研究を推し進めている。これには、搬送媒体の熱の上昇を抑えながら太陽光からエネルギーを得るための新しいコンセプト、たとえば単一の光子から複数のエキサイトン（励起子）を生成する取り組みなどが含まれる。その他、柔軟で低価格な絶縁設計の電力システムを実現できる、分子、ポリマー（重合体）、あるいはナノ粒子をベースとした構造のプラスチックの太陽電池などもある。また、太陽光発電で利用される材料の欠陥生成や、光合成における自己修復メカニズムなどに対する理解を深める取り組みも進められている。このような取り組みは、太陽エネルギー変換装置の欠陥許容値の決定や自己修復機能の開発に役立ち、これらの装置のより幅広い運転を可能にする。

現在、人工光合成についての掘り下げた研究が進められている。この研究には、自己秩序化機能と自己集合性を持ち、統合的な機能ユニットを自律的に構成する、集光・光変換を行う触媒モジュール（生物学からヒントを得た分子集合体）の設計および開発などが含まれる。これらのモジュールは、太陽燃料を効率よく生産できる人工光合成システムを実現するために必要となる。ただし、植物の光合成反応中心⁵は非常に効率よく機能するものの、この反応メカニズムの詳細についてはまだ分かっていない点が多い。また最近になって、自然界に存在する集光分子の数や種類も発見され始めている。

⁴ カーボンニュートラル：Carbon Neutral. 二酸化炭素の排出量と吸収量が同じで、大気中の二酸化炭素量の増減に影響を与えないこと。

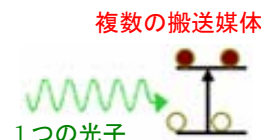
⁵ 光合成反応中心：タンパク質と有機色素からなる複合体であり、太陽光を電子の流れ（電荷移動のエネルギー）に変換する。

太陽エネルギー利用のための基礎研究の必要性

太陽エネルギーの物理的、化学的、および生物学的なエネルギー変換経路は、すべてナノスケールのレベルに集中している。高度な特性解析、理論、計算ツールを備えたナノスケールの構造物を作れるようになったことにより、太陽エネルギーの効率的な変換に対する理解とその制御が手に届くものになってきた。

・熱効率の限界を超えた太陽光発電

Shockley-Queisser の限界効率(32%)*を超えるために、搬送媒体の熱の上昇を抑えながら太陽光からエネルギーを得るための新しいコンセプト、構造、および方法が必要とされている。これらの一例として、単一の光子からの複数のエキサイトン（励起子）の生成などがある。



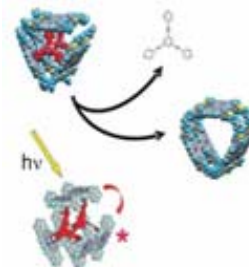
シリコンナノ結晶
(直径 7nm**)

・簡単に生産できて低価格なポリマー（重合体）およびナノ粒子による太陽光発電構造

分子、ポリマー、あるいはナノ粒子をベースとした構造の「プラスチックの」太陽電池により、柔軟で低価格な絶縁設計の電力システムを実現できる。

・効率の良い光電気分解

太陽燃料を生産するには、光を使った単電子の制御と、燃料形成および多電子プロセスを組み合わせる必要がある。人工のシステムで天然の酵素に匹敵する機能を持つものは存在しない。実用的な太陽燃料生産を実現するには、水から水素と酸素を作りだし、大気から効率よく二酸化炭素を減らすための新しい触媒システムを構築する必要がある。



3つのポルフィリン分子によって形成されたブリズム状の集合体。優れた集光能力を示す。

・欠陥許容値および自己修復システム

太陽光発電で利用される材料の欠陥生成や、光合成における自己修復メカニズムを理解することにより、太陽エネルギー変換装置の欠陥許容値の決定や自己修復機能の開発が促進され、20年以上の運転が可能になる。

・生物学の影響を受けた分子集合システム

自己秩序化機能と自己集合性を持ち、統合的な機能ユニットを自律的に構成する、集光・光変換を行う触媒モジュールの設計および開発。これらのモジュールは、太陽燃料を効率よく生産する人工光合成システムを実現するために必要となる。

・新しい実験ツールと理論ツール

最適に機能する構造を理論的に予測することを可能にする実験ツールおよび理論ツールの開発。

*ウィリアム・ショックレーとハンス・クワイサーの予測による太陽電池変換効率の理論的上限。

**ナノメートル。

2. バイオエネルギー

基礎科学の進歩によりエネルギーのバランスが変化することが期待されているもう1つの分野にバイオ燃料がある。バイオ燃料、特にリグノセルロースを原料とする燃料の開発

は、地球環境を保護しつつ米国のエネルギー安全保障を強化することを可能にする。燃料、食料、輸出などの需要と競合することなく、米国の輸送燃料ニーズの30%以上を満たすことのできる、持続可能でカーボンニュートラルなバイオ燃料経済が実現される日を想像してみたい。

バイオエネルギー

科学がもたらすエネルギー技術の転換

今後への期待： ・ 燃料、食料、輸出などの需要と競合することなく、米国における輸送燃料（乗用車およびトラック）のエネルギーニーズを30%以上満たすことのできる持続可能でカーボンニュートラルなバイオ燃料経済

- ・ バイオ燃料、特にリグノセルロースを原料とする燃料の開発は、地球環境を保護しつつ米国のエネルギー安全保障を強化することを可能にする。
- ・ 植物由来の燃料の場合、燃焼時に二酸化炭素が排出されても、その二酸化炭素を植物が再度吸収して根に貯蔵することから、バイオ燃料は基本的に二酸化炭素を増やさない（カーボンニュートラル）、あるいは減らす場合さえある（カーボンネガティブ**）エネルギー源だといえる。
- ・ リグノセルロースを原料とするバイオ燃料、あるいは植物繊維由来のバイオ燃料をコスト効率よく商業規模で生産するには、植物と微生物の両方に関する基礎科学と加工技術に変化をもたらす飛躍的な進歩が必要となる。
- ・ 植物の細胞壁の持つ「recalcitrance（取扱困難性）」が課題となっている
 - ー 植物繊維は数千年かけて進化し、生物学的あるいは自然の力で極めて分解されにくい構造を手に入れた。
- ・ リグノセルロースを原料とする液体燃料のコスト効果の高い生産技術を短中期的に開発するには突破口となる進歩が必要であるが、このような進歩は既に手の届く範囲にあると多くの科学者が考えている。
- ・ 水、土壌の質、土地利用、遺伝子組み換え植物、炭素収支など、作物由来のバイオエネルギーに関連した環境維持の問題に対する積極的な取り組みが必要である。



*植物は、空気中の二酸化炭素に含まれる炭素原子を取り込んで根から吸い上げた水と結合させてブドウ糖を作り、このブドウ糖を多数結合（重合）させて「でんぷん」の形にして根、茎、種子などに保存する。

**Carbon Negative. 二酸化炭素排出量が吸収量よりも少ない(negative)こと。これに対して排出量＝吸収量の場合がカーボンニュートラル、排出量が吸収量よりも多い(positive)場合をカーボンポジティブという。わが国の文献の中ではカーボンネガティブを正反対の「カーボンポジティブ」の意味で使用しているものもあるが、正しい使用方法ではない。

植物繊維やセルロースの持つエネルギーをうまく引き出せれば、このような全国規模のバイオ燃料経済を実現するのに十分なバイオ燃料を生産できるようになる。セルロースや

植物繊維を燃料に変換する現行の方法は、変換効率もコスト効果も低い。これは困難な問題である。植物繊維は数千年かけて進化を遂げ、生物や自然の力では極めて分解されにくい構造を手に入れた。植物の細胞壁にはリグニンと呼ばれる成分がセルロースと強固に結合された状態で含まれており、この物質により「柔軟性のあるコンクリート」とも呼べる信じられないほどの強度が実現されている。現在手に入れることのできる酵素では、植物繊維に浸透してセルロースに到達し、燃料を生産するためにセルロースを糖あるいはほかの代謝物に分解することが難しい。これは、「recalcitrance（取扱困難性）」と呼ばれるバイオマスの特性である。

DOE のバイオエネルギー研究センター

Grand Science Challenges（科学における大課題）：

- ・ システム生物学の手法を用いて生物系（植物および微生物）の構造や機能設計の土台となる原則への理解を深める。
- ・ 酵素、微生物、および植物のモデル化、予測、設計技術の開発 — バイオエネルギーおよび環境問題への適用。

セルロース系エタノール（およびその他のバイオ燃料）生産のための「基礎研究の必要性」：

システム生物学ではさまざまなツールが新たに登場しており、セルロース原料からバイオプロセス* によってエタノールなどのバイオ燃料を製造する際の障害を克服するために利用されている — メタゲノミクス、合成生物学、ハイスループット・スクリーニング、高度な画像技術、コンピュータによる高度なモデル化など。

- ・ DOE Bioenergy Science Center（DOE バイオエネルギー科学センター） — オークリッジ国立研究所を中心として、その他 9 つの組織が参加している。植物繊維の持つ糖への分解に対する抵抗性に焦点を当てて、エネルギー作物として利用できる可能性のあるポプラとスイッチグラスについての研究が実施されている。
- ・ DOE Great Lakes Bioenergy Research Center（DOE 五大湖バイオエネルギー研究センター） — ウィスコンシン大学マディソン校とミシガン州立大学を中心として、その他 6 つの組織が参加している。さまざまな植物を研究し、植物繊維の分解、ならびに植物からより多くのでんぷんと油を生産する方法を探っている。でんぷんと油は植物繊維よりも簡単に燃料に変換することができる。同センターはまた、バイオ燃料経済への移行による環境的・社会経済的影響を調査することにより、持続可能性の問題にも力を注いでいる。
- ・ DOE Joint Bioenergy Institute（DOE バイオエネルギー共同研究所） — ローレンスパークレー国立研究所を中心として、その他 5 つの組織が参加している。基礎科学の進展のためにイネおよびシロイヌナズナの「モデル」作物の研究を実施し、微生物を利用したエタノールを超える燃料の合成に取り組んでいる。



*微生物や動植物など、生物の機能を利用した生産技術。

しかしながら、自然界にはこの問題に対する解決方法が存在している。たとえばシロアリは、恐ろしく効率的にセルロースおよびヘミセルロースをエネルギーに変換することができる。彼らは驚くべきスピードで木を食べ、木に含まれるセルロースをエネルギーに変える。DOE 科学局の助成する基礎研究では、システム生物学の手法を用いて生物系の構造や機能設計の土台となる原則への理解を深めることにより、バイオエネルギーと環境対策に向けて最適化された酵素、微生物、および植物のモデル化、予測、設計技術の開発に力を注いでいる。DOE 生物学・環境研究局(Office of Biological and Environmental Research)による一連のワークショップでは、このような取り組みにおいて必要となる基礎研究が特定された。

システム生物学ではさまざまなツールが新たに登場しており、セルロース原料からバイオプロセスによってエタノールなどのバイオ燃料を製造する上での障壁を克服するために利用されている。このような研究ツールには、たとえばメタゲノミクス、合成生物学、ハイスループット・スクリーニング、高度な画像技術、コンピュータによる高度なモデル化などを行うものがある。

2007 年、DOE は 3 カ所のバイオエネルギー研究センターを新しく設立した。設立されてから最初の 5 年間、これらの施設には毎年 2,500 万ドルの予算が投じられ、このような研究が進められる。コスト効果の高いバイオ燃料の変換の実現に向けて、これらのセンターでは自然界の暗号が解読されていくことになるだろう。

太陽エネルギーを収集する研究や、コスト効果の高いバイオ燃料を開発する研究、またエネルギーの生産方法や利用方法を変えていくための研究は、現代科学における最先端に位置するものである。これらは真に学際的で、過去には存在しなかったここ 10 年の課題であり、現代の科学者や技術者が初めて直面することになる試練である。

以上

翻訳：桑原 未知子

出典：

http://www.sc.doe.gov/News_Information/speeches/speeches/08/Morehouse/index.htm

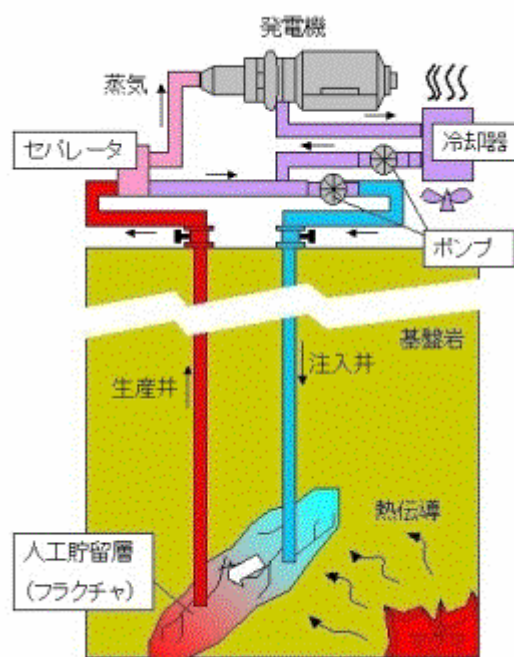
【再生可能エネルギー特集】地熱エネルギー

欧米における地熱エネルギー利用新技術の開発状況

本稿では二つの地熱発電技術、**高温岩体(HDR¹)**：深部の地熱資源を開発する技術)、および**バイナリーサイクル発電**（低温の地熱エネルギーを電気に変換するために用いるための設備設計）の開発状況、特に欧米における商用化を視野に入れた研究開発状況を紹介する。本テーマについては、約1年前の1001号（2007年6月6日発行）²で報告しているが、その後の最新情報を中心に報告する。

技術的状況

HDR システムは、火山地帯だけでなく地球の至るところに賦存している高温岩体に到達するために、従来の掘削システムよりも深く(5～8km)掘削する。HDR システムは未だ実験段階にある。「EGS (enhanced geothermal system: 地熱井涵養) システム」は、深部にある地熱資源を開発するための一連の技術（既存の地熱貯留層の性能改善から HDR まで）を指す。EGS 技術は一般的に、高い圧力を加えて地下層に水を注入し、地下層の透水性を強化する。EGS 資源は従来の熱水資源の特性（高い平均地温勾配³、岩盤の高い透水性および多孔性、貯留層での十分な液体量など）のうち、少なくとも1つ以上の特性が欠けている。



(出典：NEDO 資料)

図1 高温岩体発電のイメージ図例

現在 HDR と EGS の開発が活発に行われているのはフランスとオーストラリアであり、米国（後述参照）では新たな研究開発が始まっている。オーストラリアでは、最近 Geodynamics 社⁴（クイーンズランド州、ミルトン）が、同国では初めての実用的な HDR 貯留の確立に関して、進展があったと報告した。現在、同社はクーパー盆地の生産井の掘削を完了した。これは画期的かつ重要な出来事である。その後制御フローテストが開始された。他のオーストラリア企業数社も HDR システムの開発に取り組んでいる。

¹ hot dry rock

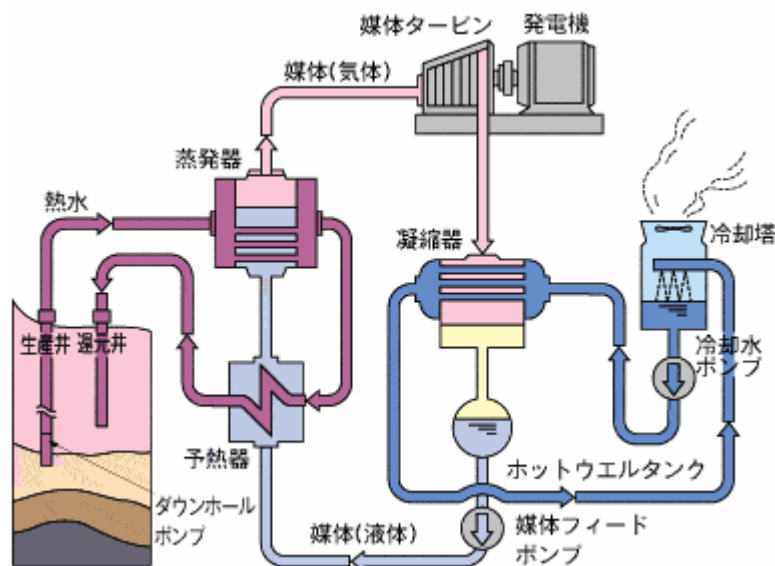
² <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1001/1001-03.pdf>

³ 地下温度が深さとともに増加する割合のこと。

⁴ <http://www.geodynamics.com.au>

バイナリーサイクルプラントは、高温資源よりもはるかに多く賦存する低温の地熱水（一般的に $90^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）から発電を行うために開発された。バイナリー発電は一般的にランキンサイクルを使用する。ランキンサイクルでは、閉ループの熱交換器を通して地熱流体を移動させ、その熱で低沸点の作動流体（ブタンなど）を加熱する。地熱流体によって作動流体がガスに変換され、そのガスによってタービンで発電が行われる。

（出典：NEDO 資料）
**図 2 バイナリーサイクル
 発電のイメージ図例**



米国の地熱研究開発プログラム

米国は地熱発電設備容量で世界のリーダーであり、発電と成長の見通しは良好である。現在、米国西部の 5 つの州（アラスカ州、カリフォルニア州、ハワイ州、ネバダ州、ユタ州）で設置されている容量は 2,850MW である。中でもカリフォルニア州は群を抜いており、現在の設備容量は 2,500MW 近い。同州では地熱発電による電力の割合が全体の約 5% を占めている。米国の商用地熱発電部門は、政府の支援策、特に、州の再生可能エネルギー使用基準(RPS: renewable portfolio standards)と連邦政府の再生可能エネルギー生産税額控除(PTC: production tax credit)のおかげで盛りかえしている。2007 年 5 月、地熱エネルギー協会⁵（ワシントン DC）は、米国の地熱発電と地熱開発の最新の調査結果を発表した⁶。この調査により、米国で開発が進められている新しい地熱発電プラントの容量が最大 2,900MW であることが明らかとなった（74 プロジェクトの合計。初期開発段階にあるプロジェクトを含む）。これらのプロジェクトのうち何件のプロジェクトが建設段階に入るかは、政府の継続的な支援と、時宜を得た税控除の延長などに依るだろう。2007 年 12 月、税控除の 4 年間延長の提案は否決された。

⁵ GEA (the Geothermal Energy Association): <http://www.geo-energy.org>

⁶ “UPDATE ON US GEOTHERMAL POWER PRODUCTION AND DEVELOPMENT”
http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal_Production_and_Development_Update_January_16_2008.pdf

EGS の研究開発

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)は地熱エネルギーの研究開発費として年間 2,300 万ドルを拠出する同省のプログラムを段階的に廃止した。しかし一方で、米国連邦議会は 2007 年 12 月に新しいエネルギー法案「2007 年エネルギー自給・安全保障法(the Energy Independence and Security Act of 2007)」を承認し、成立させた。この法律では地熱エネルギーの利用拡大のために、研究開発、実証、及び商業的利用の支援を目的として、DOE に年間 9,500 万ドルの拠出を認めている。この法律は、マサチューセッツ工科大学(MIT: Massachusetts Institute of Technology)と国立再生可能エネルギー研究所(NREL: National Renewable Energy Laboratory)による最新の報告書を踏まえ、米国の地熱研究の活性化を図るものである。2006 年後期、MIT の報告書「地熱の未来：21 世紀の米国の EGS システム」⁷が発表され、地熱エネルギーが 2050 年までに 100GW の発電容量に達する可能性が高いことが示されている。この報告書では、その目標を達成するためには研究開発に対して、最大 10 億ドルの投資が 15 年間にわたって必要と見積もられている。新しい法律で対象となった研究開発分野は以下のとおりである：

- ・ 異常高圧貯留層(geopressured system)、及び、石油井、ガス井から副生される資源の利用。
- ・ 産業界と連携した掘削の実施。連邦政府が地熱開発者と連携して、掘削リスクを減らし、掘削の精度を改善する。一般的に、探査と掘削は新しい地熱プロジェクトにおいてリスクが高いため、多額の費用が必要となる。
- ・ 地熱井涵養システム (EGS)。
- ・ 地熱技術移転センター。このようなセンターを設立することにより、開発者達に、地熱の展望や技術促進についての情報が提供される。
- ・ 地熱に関する国際的連携。DOE と米国国際開発庁(USAID: United States Agency for International Development)は、特に、アフリカ地溝・地熱開発機構(ARGeo: African Rift Geothermal Development Facility)、オーストラリア、中国、フランス、アイスランド共和国、インド、日本及び英国のために、国際的な地熱開発を支援する予定。

米国連邦議会はまだ正式な予算をほとんど計上していないが、DOE はネバダ州の商用地熱発電施設で実施する事業パートナーとの EGS の新しい研究開発に対して、160 万ドルを提供することを 2008 年 2 月に発表した。この研究プロジェクトは DOE、Ormat Technologies 社 (ネバダ州、リーノー)、及び GeothermEx 社 (カリフォルニア州、リッチモンド) が主導しており、連携パートナーは、ユタ大学、TerraTek 社、Pinnacle Technologies 社、米国地質調査所、アイダホ国立研究所、ローレンス・バークレー国立研究所、及びサンディア国立研究所である。このプロジェクトの参加者は、EGS 技術を用いて Ormat 社のデザートピーク施設にある商業化までに至らない(subcommercial)地熱井からの地熱発電量を

⁷ “The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century”

増大させる。このプロジェクトの目標は、追加出力 2～5MW の発電を行うことができる大規模な地熱システムを開発することである。また研究者達は、デザートピークの EGS 設備を、将来の技術開発のためのテストサイトとしても利用する予定である⁸。

地熱エネルギー協会は、地熱エネルギー技術の現況を評価した、二章から成る報告書「地熱技術の現況(The State of Geothermal Technology)」を発表した。第一章(2007年11月発行)は「地下地熱技術(Subsurface Technology)」⁸であり、企業がどのようにして地下の地熱の探査・利用を試みているかについて説明されている。第一章の結論では、原始資源量(resource base)の多大な可能性を開発する鍵が、地下地熱技術(地下の探査・掘削)の改良にあると記述されている。さらにこの報告書では、新しい地熱技術(例えば EGS や、通例油井とガス井から副生される熱流体、火山深部の資源や超臨界資源、天然ガスや地熱流体を生産できる異常高圧貯留層など)についても論じられている。

マサチューセッツ工科大学の Jefferson Tester (2006 年の報告書の主導者) は、EGS システムの新しい掘削技術を開発している。彼の研究チームは、熱破碎技術を開発中であり、それは、従来の掘削ビットを噴流火炎で置き換えるものである。岩石は、砕けたり欠け落ちが始まる約 500°C に加熱される。同研究チームは、EGS の試錐孔の底部を模擬した 2000 °C 以上の温度と圧力で研究を行っている。この技術によって掘削用ビットの磨耗の問題が回避されるため、従来の二倍の掘削速度が可能になるかもしれない¹⁰。

Atlantic Geothermal 社(マサチューセッツ州、フローレンス)は、革新的な EGS 技術アプローチを考えている。同社の創始者 J. David Reynolds は、地熱資源として深部熱水路を通して海水を運ぶ地熱発電プラント(1,600MW)を設計し、独自の戦略を開発した。同社は、岩石のトンネル掘削技術を利用して、長さ 80～100 マイル、深さ 3～4 マイル、直径 16 フィートのトンネルを建設する計画である。このプラントの計画としては、熱の抽出域を拡大するために 1,500 フィートの試錐孔(横方向)を利用するが、地上の発電設備は大変小規模になる。同社はこの発電プラントを建設するために、科学界、産業界、政府のパートナーらと連携を行う。このプロジェクトには 80 億ドルの投資が必要である。Atlantic Geothermal 社は、マサチューセッツ工科大学の Jefferson Tester などの地熱産業支持者達の関心を集めている。

探査の研究開発

⁸ 参考: Ormat 社のプレスリリース

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=181999&p=irol-newsArticle&ID=1108498&highlight=>

⁹ The State of Geothermal Technology Part I: Subsurface Technology

[http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20Part%20I%20-%20Subsurface%20Technology%20\(Nov%202007\).pdf](http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20Part%20I%20-%20Subsurface%20Technology%20(Nov%202007).pdf)

¹⁰ <http://www.technologyreview.com/article/19216/>

地熱エネルギーの探査における課題は、透水性と熱がバランス良く兼ね備わった岩石の位置を精度良く特定することである。ローレンス・バークレー国立研究所とアリゾナ州立大学の2人の地熱研究者達は、サイエンス誌 2007 年 11 月 30 日号で、質量分析計を用いて微量のヘリウム同位体を超高感度に検出することにより、地球の過熱マントル (superheated mantle) まで到達できるような透水性の高い場所を特定できる (溶岩が地上に流れていない地域でさえ特定できる) ことを発表した。この論文の要旨は、ウェブから入手できる¹¹⁾。

バイナリープラントの研究開発及び技術の商業化について

GEA の報告書「地熱技術の現況」の第二章「地上地熱技術(Surface Technology)」(2008 年 1 月発行)¹²⁾では、発電プラントの原理・効率性から改良型 EGS 技術まで、地熱資源を利用した発電技術の現況について報告されている。例えば、Ormat 社はモジュール式のバイナリー・ランキン発電プラントのリーダーである。同社は、エネルギー変換器を世界に計 800MW 以上供給している。各変換器の容量は 250kW~130MW まで様々である。さらに Ormat 社は、フラッシュ技術¹³⁾とバイナリー技術の利点を活かすために、双方を複合した技術を開発した。

新しいバイナリープラント技術は開発が続いている。UTC Power 社 (コネティカット州イーストハートフォードにある United Technologies 社の一組織) と米国エネルギー省は、「PureCycle」を開発した。PureCycle は 200kW のモジュール式の有機ランキンサイクル¹⁴⁾装置であり、165°F (74°C) の低温で地熱資源から発電できる。簡素な気化システムによりプロセスが動作する。アラスカのチェナ温泉(Chena Hot Springs)リゾートでは 2006 年以降、二つの小型装置(225kW)が運用されてきた (雑誌(R&D Magazine)は、PureCycle が、一年間で技術的に最も重要な新製品ベスト 100 のうちの一つであると評している)。有機ランキンサイクル技術は、石油井・ガス井から発生した廃温水から発電する際に特に有用である。Ormat 社はエネルギー省とこのような利用法について研究している。

米国における稼働中のバイナリープラントに関する更新情報を以下の表にまとめた。この表は産業界のプレス発表、及び 2007 年 7 月付けの地熱エネルギー協会のバイナリープラントのリスト (所有者名 (プラント名)、立地点、操業開始日、公称出力¹⁵⁾) に基づいている。

¹¹⁾ <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/318/5855/1433?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=geothermal+helium+&searchid=1&FIRSTINDEX=0&resourcetype=HWCIT>

¹²⁾ “The State of Geothermal Technology Part II: Surface Technology”
[http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20\(Surface\).pdf](http://www.geo-energy.org/publications/reports/Geothermal%20Technology%20-%20Part%20II%20(Surface).pdf)

¹³⁾ 地熱蒸気を直接タービンに導入する方式。

¹⁴⁾ 作動流体に、ノルマルペンタンなどの有機媒体を使用する。

¹⁵⁾ 参照 : <http://www.geo-energy.org/information/plants.asp>

表1 米国で稼働中のバイナリープラント (2007 年以降の新規／更新情報は太字・紫色)

州	所有者 (プラント名)	立地点	開始年	出力 (MW)
アラスカ	Chena Hot Springs	Near Fairbanks	2006	0.45
カリフォルニア	Amedee Geothermal Venture (AMEDEE)	Amadee	1988	1.6
	Constellation Power and ORMAT (MAMMOTH PACIFIC I)	Sierra Nevada Mountains/Mono	1984	24
	Constellation Power and ORMAT (MAMMOTH PACIFIC II)	Sierra Nevada Mountains/Mono	1990	15
	Ormat (GEM RESOURCES II)	Imperial	1986	18
	Ormat (ORMESA I, IE, IH)	Imperial	不明	44
	Ormat (ORMESA II)	Imperial	1986	18
	Ormat (SIGC BINARY)	Imperial Valley	1992	42
ハワイ	Puna Geothermal Venture	Pahoa	1993	10※
アイダホ	U.S. Geothermal (RAFT RIVER UNIT)	southern Idaho	2008	13
ネバダ	Ormat Group/Brady Power Partners	Churchill	1992	27
	Constellation Energy (SODA LAKE I)	Fallon	1987	5.1
	Constellation Energy (SODA LAKE II)	Fallon	1990	18
	Ormat (RICHARD BURDETT)	Reno	2005	26
	Home Stretch Geothermal (WABUSKA)	Wabuska	1984	2.2
	U.S. Geothermal (SAN EMIDIO)	San Emidio	1987	4.8
	Steamboat Development Corp. (STEAMBOAT II)	Washoe	1992	29
	Steamboat Development Corp. (STEAMBOAT III)	Washoe	1992	24
	Ormat (STEAMBOAT I)	Washoe	1986	8.4
	Ormat (STEAMBOAT IA)	Washoe	1988	2.95
ユタ	Enel North America (COVE FORT II)	Cove Fort	1990	6.5

※このプラントはシングルフラッシュとバイナリーのハイブリッド方式

これまでに多数の企業が米国での大規模な投資計画を発表してきた。これは、2007 年中期にカリフォルニア州とネバダ州で米国土地管理局(BLM)が開催した地熱のリース区画の競争入札が成功したことにも表れている。

ネバダ州では、土地管理局が 123,000 エーカー近い公有地を提供した。産業界のリーダー、Ormat 社は約半分近くの土地を 820 万ドルで求めた。その他の主な入札者には、Sierra Geothermal Power 社 (カナダ、バンクーバー) や Raser Power Systems 社 (ユタ州、プロボ) などがある。カリフォルニア州の入札案件には、希少な高温蒸気資源のある米国ガイゼース(The Geysers)地域の 6 区画が含まれている。

欧州地熱研究開発プログラム

欧州地熱エネルギー協会(The European Geothermal Energy Council)¹⁶は、欧州における地熱利用分野の研究開発の促進、および地熱エネルギーの最大限の利用に焦点を当てている。欧州の地熱エネルギー利用及び資源の状況についての最新の報告書¹⁷では、2007年の地熱発電の総設備容量は1,060MWであったと記述されている。現在欧州の地熱発電を主導している国は、アイスランド、イタリア、トルコ、ポルトガル、及びフランスである。欧州における新しい大きな地熱発電開発には以下のようなものが含まれる：

- ・ バイナリーサイクル技術だけでなく従来の技術においても、地熱貯留層の温度に対応してエネルギー変換効率を改善する
- ・ ソルツ(Soultz-sous-Forêts)サイトにおける HDR/EGS の実証の成功、及び他の場所・地域への技術の普及（次節参照）
- ・ 地熱コジェネレーション（熱電併給：CHP）の総合効率の改善
- ・ 探査手法、設置技術、及びシステム構成設備の改良

EGS/HDR の研究開発

欧州では実証段階の HDR の研究が続いているが、多少問題のある地域もある。HDR の地熱プロジェクトが最も進んでいるのはフランスである。フランスでは、幾つかの欧州の国やエネルギー関連事業者がソルツ HDR サイトの開発を行っている。現在の開発フェーズの期間は 2005 年～2008 年であり、5～6MW のパイロットプラントの建設を支援する計画である。2008 年初頭、ソルツの研究者達は、地熱ループシステムと発電プラントの導入計画を発表した。もしこの計画が成功すれば、開発者達は 2010 年頃までに 25MW の商業用試作機（プロトタイプ）を建設する予定である。詳細な情報については欧州 HDR プロジェクトのウェブサイト参照されたい¹⁸。

ドイツのポツダムにある国立地球科学研究センター(National Research Centre of Geosciences)の研究者達も HDR の開発に取り組んでいる。科学者達はドイツのグロス・シェーネベック(Gross Schönebeck)で 4.4km の深さまで井戸を掘削した。しかし、スイスのバーゼルの HDR プロジェクトについては、井戸の掘削によってマグニチュード 3.4 の地震が発生したために、2007 年初頭に終了した。バーゼルは地震地帯として知られている。

2008 年 1 月に開催された、欧州の技術・市場・政策面から見た地熱開発についての EGEC 会議報告¹⁹によると、オーストラリアの新興 HDR 事業者が、欧州で活動を広げている。Petratherm 社（オーストラリア、ノーウッド）はスペインのマドリッド近郊で地熱探査を行うためのライセンスを獲得した。目標掘削深度は 3.5km である。このマドリッドのプロジェクトでは、既に 3.1～3.5km の深さに掘られた 3 つの抗井があり、そこから臨界温

¹⁶ EGEC、<http://www.egec.org/>

¹⁷ “Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe”
<http://www.egec.org/target/final%20paper%20country%20update%20overview.pdf>

¹⁸ <http://www.soultz.net/version-en.htm>

¹⁹ “European Developments and Deep Geothermal Energy” <http://www.egec.org/>

度、温水流量、地質に関するデータを得ることができる。これらのデータにより、近い将来プロジェクトは大きく進展するだろう²⁰。

バイナリープラントの研究開発と技術の商業化

稼働中のプラントの情報を次表に挙げる。

表 2 稼働中のバイナリープラント

(新規／更新情報は太字・紫色)

国名	概要
オーストリア	• Altheim (2002 年)、1 MWe • Blumau (2001 年)、0.2 MWe
ドイツ	• Neustadt-Glewe、2003 年、0.2MWe パイロットプラント • 現在計画・建設段階にあるのは、主にバイエルン地方において、4～5 基の発電プラントで新たに 20MW の発電を目指すプロジェクトである。最も進んでいるプロジェクトは Unterhaching にある 41MW のコジェネレーションプラント。
ポルトガル	• Ribera Grande プラント、サン・ミゲル島。4 基のバイナリユニットが 1998 年に建設完了：計 13MW。
トルコ	• Aydin-Salavatli プラント (2007 年)、10 MWe

翻訳・編集：NEDO 研究評価広報部

(出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program)

²⁰ <http://www.petratherm.com.au/projects/index.htm>

【再生可能エネルギー特集】潮力・波力発電

欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最新動向

NEDO 海外レポートでは、約 1 年前の 1001 号（2007 年 6 月 6 日発行）¹で「潮力・波力発電の技術開発の最新動向」を報告しているが、本号ではその後のプロジェクトの最新情報に焦点を当てて報告する。

1. 欧州

欧州（特に英国）は海洋エネルギー技術で世界を先導している。欧州の海洋エネルギー技術の開発を支えている大きな要因は、再生可能エネルギーを支援することにより世界の気候変動の脅威に取り組もうとする政府の積極的な政策と、クリーン技術の主導的地位を得て経済成長の機会をもたらそうとする意欲である。研究開発の取組みの多くは、欧州海洋エネルギーセンター(EMEC)²（スコットランドのオークニー諸島にある試験センター）や、潮力エネルギーセンター³（ポルトガル）で行われている。欧州海洋エネルギー協会⁴は、海流資源やコスト、技術についての情報を提供している。様々な企業が実際の海洋条件のもとで、大規模な波力・潮力エネルギー試作機（プロトタイプ）の建設・テストを行っている。

①英国

・Pelamis Wave Power 社（旧 Ocean Power Delivery 社、スコットランド、エジンバラ）は 2006 年、商業規模のペラミス(Pelamis)波力発電装置 3 基（1 基 750kW）をポルトガル北部沿岸の Aguçadoura 試験場に出荷した。この Aguçadoura プロジェクトを主導しているのは欧州最大の独立した再生可能エネルギー事業者の一つ、Enersis SGPS S.A.社であるが、同社は 22MW 潮力ファームの第一段階としてペラミス装置の導入を目指している。2007 年 10 月時点では、気候や装置の問題のため導入の遅れが報告されており、Pelamis Wave Power 社のウェブサイトでは、ペラミス装置がいまだに試運転段階であると発表されている。



図1：Pelamis波力発電装置

出典：© 2007 Electric Power Research Institute, Inc.
All rights reserved.

¹ <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1001/1001-01.pdf>

² EMEC (European Marine Energy Centre): <http://www.emec.org.uk/>

³ Wave Energy Centre: <http://wave-energy-centre.org/pages/index.html>

⁴ European Ocean Energy Association: <http://www.eu-oea.com/>

・潮力エネルギー分野では、Marine Current Turbines 社 (MCT 社、イングランド、ブリストル) が世界で初めて商業規模の潮力エネルギータービンを導入し、第一段階を完了した。2008 年 4 月、MCT 社はアイルランド北部のストランフォード海峡に同社の SeaGen 潮力システム (1.2MW) を設置した。この 1,000 トンの構造物は、海岸線から約 400 メートルの海底に設置された。2008 年夏に完全稼動すると、直径 16m の 2 つのローターが一日最大 18~20 時間稼動して、地域の配電網に電力を供給する予定である。MCT 社は ESB Independent Energy (アイルランドの国立電力会社である ESB 社の電力小売子会社) との電力受給契約 (PPA: Power Purchase Agreement) に署名した⁵。MCT 社は、英国、ウェールズ地方、カナダ、そしてその他の地域においてもプロジェクトを開発中である。

・2007 年 9 月、イングランド南西地域開発局は、同局の 2,800 万ユーロ (5,500 万ドル) のウェーブハブ (Wave Hub) ・波力ファームプロジェクト⁶について、政府から認可を受けた。このプロジェクトは 2009 年に配電網への接続が計画されている。これにより波力発電の技術開発者達がウェーブハブに接続し、商業生産段階に移行する前に自らの装置の大規模試験が実施できることになる。ウェーブハブは海中ケーブルを通じて英国の国内送配電網に接続され、約 20MW を発電する予定である (これはコーンウォール州の電力需要の 3% に相当する)。2007 年、このプロジェクトへの参加事業者として、4 つの波力装置開発事業者が選ばれた。

- ① Ocean Prospect 社 (英国ブリストル、Wind Prospect グループの子会社) と電力会社である E.On UK のコンソーシアム (合弁企業) である WestWave 社。同社は Pelamis Wave Power 社のペラミス装置を最大 10 基テストする予定である。
- ② Ocean Power Technologies 社 (英国、ウォリック) は、緩く繋がれたパワーブイ (PowerBuoy) の波力変換機をベースとした、5MW プロジェクトを計画している。
- ③ Fred. Olsen 社 (ノルウェー、オスロ) は、浮遊構造プラットフォームに浮遊ブイを装着した、多重式ポイント・アブソーバーシステムを保有している。
- ④ OceanLinx 社 (旧 Energetech 社、オーストラリア、ボタニー) は、同社が独自開発したタービン技術と周期振動水柱⁷ (OWC) 装置を使用する予定である。

・2007 年 9 月、英国政府は潮の干満のあるセバーン川の河口に、大規模な堰を建設する実現性を再び研究することを発表した。このようなイングランド沿岸からウェールズ沿岸の 1km にわたるプロジェクトは何年もの間検討されてきたのだが、見込まれるコストと環境への影響について懸念があり、保留となっていた。2008 年 1 月、英国政府は 2 年間

⁵ http://www.marineturbines.com/3/news/article/7/seagen_the_world_s_first_commercial_scale_tidal_energy_turbine_deployed_in_northern_ireland/

⁶ <http://www.wavehub.co.uk/>

⁷ Oscillating Water Column (OWC) systems

の実現可能性調査に関する調査事項を公表した。このプロジェクトは英国の電力需要の約5%を発電できる可能性がある⁸。

・2008年4月、スコットランド政府は、海洋再生可能エネルギーの革新的技術に対して、賞金1,000万ポンド（2,000万ドル）を提供することを発表した⁹。この「Saltire Prize」という賞は海洋エネルギーの革新的技術を促進することを目的としている。このコンテストは国際的コンテストだが、参加者はスコットランドにおける技術革新を実証しなければならない。この賞の詳細については、2008年11月30日に発表される。スコットランド政府は、2020年までにスコットランドのエネルギー需要のうち再生可能エネルギーの割合を50%とする目標を設定した（現在は16%）。

②アイルランド

・アイルランドは海洋エネルギーの潜在的可能性が大きい。Ocean Energy 社¹⁰（アイルランド、コーク）はOE Buoy（周期振動水柱式）の波力エネルギー技術を開発中である。同社は2006年後期から2007年早期にかけて、ゴールウェー湾に係留した4分の1サイズの試作機をテストした。最終的な実物サイズのテストベッドは2008年後期に開始される予定である。容量は最大2MWで、アイルランドの国営の配電網に接続される。その他の企業では、Wavebob 社（アイルランド、メイヌース）もゴールウェー湾に波力エネルギーの試作機を導入した。Wavebob 社の装置は2006年から詳細なテストが行われ、現在はアイルランド海洋持続可能エネルギー協会(Marine Institute and Sustainable Energy Ireland)の波力エネルギー試験場に設置されている。2007年10月、Wavebob 社はこの装置で現在発電を行っていることを発表した。

・2007年3月、OpenHydro グループ（アイルランド、ダブリン）は、チャネル諸島（フランスのノルマンディ沖にある英国の保護領）で潮力エネルギープロジェクトを開発することを発表した。OpenHydro グループは、Alderney Renewable Energy 社と2009年までに完了予定のプロジェクトの契約に署名した。OpenHydro グループのOpen-Centre タービン技術は、元々Florida Hydro and Power 社が開発したものである。2006年にOpenHydro グループはFlorida Hydro and Power 社を買収している。同社は欧州海洋エネルギーセンターでOpen-Centre タービンをテストしている。

③その他

・その他の欧州の幾つかの国でも、欧州海洋エネルギーセンターやウェーブハブのように、海洋エネルギー技術の試験・開発を促進するプロジェクトを計画中である。スペイン北部のバスク政府は、ウェーブハブのようなインフラプロジェクトを、バスク地域の沖合で20MWの設置容量で計画している。バスク政府は2010年までに潮力発電を

⁸ <http://ecologyandpolicy.blogspot.com/2008/01/details-of-severn-estuary-feasibility.html>

⁹ <http://www.scotland.gov.uk/News/Releases/2008/04/02151533>

¹⁰ <http://www.oceanenergy.ie/index.html>

5MW 導入する目標を立てており、そのために 1,500 万ユーロ (2,400 万ドル) を予算配分した。デンマークは北西部の Nissum Bredning に、配電網に接続した潮力発電の試験場を建設した。ノルウェーとフランスも試験場とパイロット地域の建設計画を発表した。

・Nereida Mowc プロジェクトは、スペインのバスク地方沿岸 Mutriku の港にあるロックフィル式¹¹の防波堤で、Wells タービンと周期振動水柱システムを統合する実証プロジェクトである。このプロジェクトにより発電される電力は直接配電網に供給される予定である。この設備は 16 個の周期振動水柱から構成され、コレクター (集電装置) の総長は約 100m、Wells タービン 16 基となる予定である。各タービンの容量は 18.5 kW であり、総設置容量は 0.3MW である。この技術は、Voith Siemens Hydro Power Generationグループ¹²の完全な子会社である Wavegen 社 (スコットランド、インバーネス) によって開発中である。この Mutriku プロジェクトは、革新的な実証プロジェクトのために出資される欧州委員会開発ファンドから資金提供を受けている。

2. 米国

米国の海洋エネルギー関連の研究開発と商業化活動は増加している。資源調査では、米国の海岸線に波力・潮力エネルギー開発の大きな潜在的可能性があることが指摘されているが、米国の商業化活動は依然として、欧州、とりわけ英国に遅れをとっている。米国は配電網に接続された海洋エネルギープロジェクトの実証をまだ行っていない。この理由として大きいのは、認可プロセスに時間と費用がかかることと、政府の研究開発費が不足していることである。

規制環境については改善されはじめている。2 つの連邦政府機関—米国連邦エネルギー規制委員会(FERC)と米国内務省鉱物資源管理部(MMS)—が、沖合の再生可能エネルギー開発を監視している。両機関は最近、海洋エネルギー開発プロジェクトのための限定ライセンスの発行やリース契約が行えるように、規制環境の完全な見直しを終えた。2007 年 11 月、連邦エネルギー規制委員会は米国に多く存在する 5MW 以下のパイロットプロジェクトのために、条件付きライセンスを発行すると発表した。このライセンスによって、開発者達はプロジェクトの資金援助を獲得することができる。条件付きライセンスの下では、連邦法と州法 (水質汚染防止法、沿岸域管理法、絶滅危惧種保護法など) が定める必要な全ての認可を得た後にのみ、建設を開始することができる。

¹¹ 岩石や土砂を積み上げて建設する形式。

¹² http://www.voithsiemens.com/index_en.php

電力研究所（EPRI、カリフォルニア州、パロアルト）は、海洋エネルギー開発についての報告資料を提供している¹³。その中では例えば、米国の海洋波力・潮力エネルギー技術と課題のレビューが提供されている¹⁴。海洋エネルギー協議会(Ocean Energy Council)はワシントン DC にある海洋エネルギー支持団体であり、業界の最新情報と、海洋エネルギーを積極的に推進している民間企業名や政府機関名が載ったオンライン・ライブラリーを提供している¹⁵。官民ともに支援が増えているため、米国の様々な海洋エネルギープロジェクト（特に波力エネルギー）は発展している。

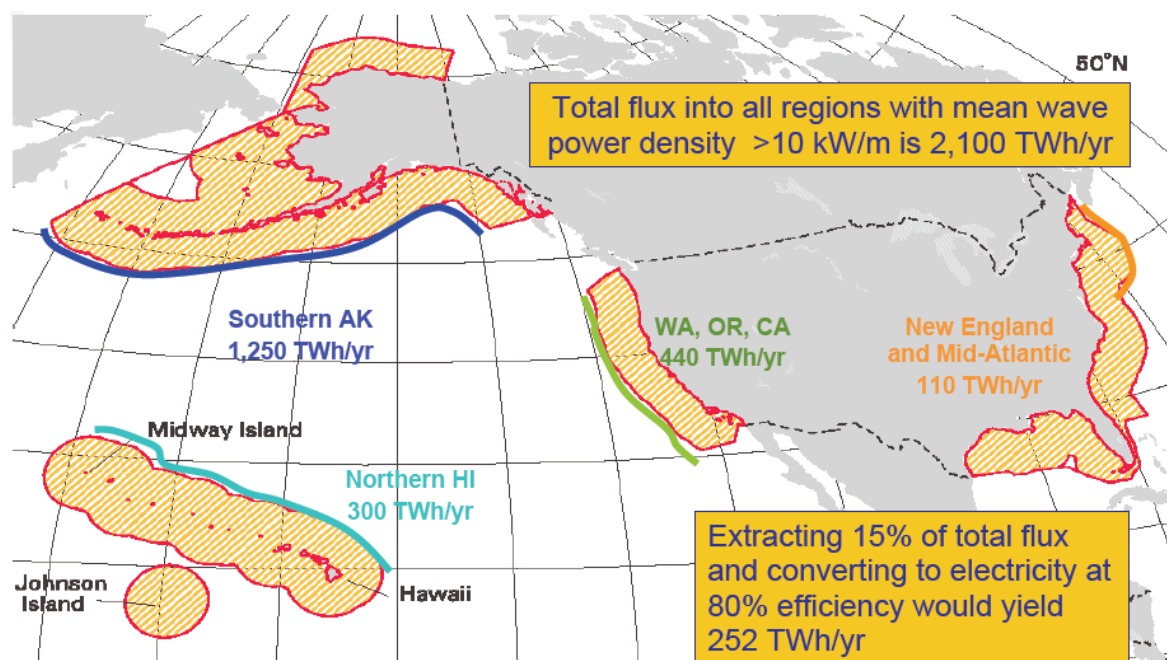


図 2：米国の沖合波力エネルギー資源

出典：© 2007 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

（注釈）

*全地域のフラックス（流量）合計（平均密度波 10kW/m 以上）は 2,100TWh/年。

*全フラックスの 15%を抽出し、80%の効率で電力に変換した場合、総発電量は 252TWh/年。

①西海岸

- ・ 2007 年 12 月 Finavera Renewables 社（カナダ、バンクーバー）は、海洋エネルギー会社としては初めて、連邦エネルギー規制委員会から沖合波力エネルギーについてのライセンスを獲得した。連邦エネルギー規制委員会は、ワシントン州沿岸沖で行われる予定の、米国で最も進んだ波力エネルギープロジェクトの一つ「マカ湾沖波力エネルギー

¹³ <http://www.epri.com/oceanenergy/oceanenergy.html>

¹⁴ http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/EWTEC_Bedard_Sep_11.pdf

¹⁵ <http://www.oceanenergycouncil.com/library.html>

パイロットプロジェクト」について、5年間の期限付きライセンスを発行した。このライセンスでは、1MW プロジェクトに必要な全ての連邦政府の許可を取得することが Finavera 社に求められている。このテストプロジェクトは、海中伝送ケーブル（全長 3.7 マイル）で海岸に接続される 4 つの 250kW の浮遊ブイで構成される予定であり、Waatch Point 海岸の沖合 1.9 海里で実施される予定である。Finavera 社はライセンス発行日から 3 年以内に建設を完了しなければならない。¹⁶

さらに 2007 年 12 月、Finavera 社はカリフォルニア州の PG&E 社（Pacific Gas and Electric 社）と、カリフォルニア州北部で計画されている 2MW 波力プロジェクトの電力を購入する契約に署名した。Finavera 社は波力資源が最も大きい 2.5 マイルほどの沖合にフンボルト沖合波力発電プラントの建設を予定している。発電は 2012 年に開始される予定である。Finavera 社の技術であるアクアブイ(AquaBuOY)は、加圧水を水中ホースを通して強力に送り込むために波の動きを使用する繫留ブイである。その後その加圧水によってタービンが動かされ、発電が行われる。プロセス認可にかかるこの先 2～3 年の間、このプロジェクトは、地域、州、及び連邦政府の規制機関とステークホルダー（利害関係者）によって評価（例えば、魚類の生息環境、海洋哺乳類の移動経路、漁業水域への影響評価など¹⁷）が実施される予定である。このプロジェクトはカリフォルニア州の再生可能エネルギー使用基準(RPS)プログラムによって、PG&E 社に対して再生可能エネルギー源の条件が付けられている。PG&E 社は 2010 年までに電力供給のうちの 20%を再生可能エネルギー源から行わなければならない（現在の供給率は 14%）。



図3：AquaBuOY

出典：© 2007 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

2007 年 9 月、Finavera 社は、オレゴン州ニューポート沖合約 2.5 マイルにアクアブイの試作機を設置したと発表した。この試作機はソーラーパネルと小さな風力タービンを備えており、変換機をモニターする装置に電力を安定提供する。しかし、送水ポンプの損壊により、一ヵ月後にブイが沈んだと報告されている。

- ・ 2008 年 3 月、連邦エネルギー規制委員会とオレゴン州は、オレゴン州の海岸線沿いの波力エネルギープロジェクトの見直しを調整するため、覚書(MOU: memorandum of understanding)に署名をした。この覚書では実験的なパイロットプロジェクトのための

¹⁶ <http://www.finavera.com/files/2007-12-21%20Finavera%20Renewables%20secures%20FERC%20licence%20for%20Makah%20Bay.pdf>

¹⁷ <http://www.finavera.com/files/2007-12-18%20Finavera%20Renewables%20signs%20power%20purchase%20agreement%20with%20PG&E.pdf>

短期ライセンスに関する連邦エネルギー規制委員会の手続きについて、オレゴン州が支援を行うことが規定されている¹⁸。オレゴン州は波力エネルギープロジェクトを海中に設置するための包括的な計画を準備しており、波力エネルギープロジェクトの推進的リーダーとなることを目指している。

オレゴン州の **Finavera** プロジェクト（上記参照）に加えて、オーシャン・パワー・テクノロジー社（**OPT** 社、ニュージャージー州、ペニンソン）はオレゴン州のリーズポート沖合に波力エネルギープロジェクトを計画している。**OPT** 社のパワーブイ（**PowerBuoy**）は **Finavera** 社のアクアブイと似て、ピストンのような構造を使用している。2007 年 8 月、**OPT** 社は **PNGC Power** 社（オレゴン州、ポートランド）との提携に署名した。この提携によって、150kW の試作機の建設・設置のために、**OPT** 社に 50 万ドルが提供される。**OPT** 社はその後、リーズポートで 2MW の波力発電システムを計画している。連邦エネルギー規制委員会は **OPT** 社に対して、リーズポートで最大 50MW の試験を行える仮認可を与えた¹⁹

- ・2007 年半ば、**Oceana Energy** 社（ワシントン DC）の子会社である **Golden Gate Energy** 社は、**PG&E** 社、サンフランシスコ市、及びサンフランシスコ郡との共同で、サンフランシスコ湾（米国の主要な潮力エネルギー場）で潮力発電プロジェクトの開発を促進する協定に署名した。このグループは、潮力エネルギー資源の研究を行い、技術の選択肢を評価し、ステークホルダーと連携を行う予定である。これらの活動は、**Golden Gate Energy** 社が連邦エネルギー規制委員会から 2005 年に受け取った仮認可のもとでこれまで行われてきた取組みを礎としている。

- ・2007 年中期、**SRI International** 社（カリフォルニア州、メンロパーク）の研究者達は波力発電に「人工筋肉材料」を用いたシステムの最初の海洋テスト（フロリダ州沖合）を完了した。ポリマーを基盤としたこのシステムは、膨張・収縮する時に発電することができる。まだ研究の初期段階ではあるが、開発者達はこのシステムが、海の力に対抗する上で、他の設計よりも弾力性があることを実証する可能性があると考えている。

②ハワイ

- ・2008 年 2 月、**Oceanlinx** 社（旧 **Energetech** 社、オーストラリア、ボタニー）は、ハワイのマウイ北東沿岸沖に、2.7MW の波力エネルギープロジェクトを導入する計画を発表した²⁰。**Oceanlinx** 社は **Renewable Hawaii** 社（ハワイ電力会社の子会社）との覚書に署名した。その内容は、2,000 万ドルのプロジェクトで 2009 年末までに操業を目指すものである。このプロジェクトには 3 件の波力プラットフォームが含まれ、それぞれに **Oceanlinx** 社の周期振動水柱技術（可変ピッチのブレード付きタービン、可変速発電機、

¹⁸ <http://www.ferc.gov/news/news-releases/2008/2008-1/03-27-08.asp>

¹⁹ <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=155437&p=irol-newsArticle&ID=1042194&highlight=>

²⁰ <http://www.oceanlinx.com/uploads/OCEANLINXSIGNSMOUWITHRHL.pdf>

および複雑な制御システム) が用いられている。ハワイ州は最近、米国エネルギー省(DOE)とクリーンエネルギーイニシアティブの協定に署名した。これは、2030年までにハワイ州のエネルギー需要の70%を再生可能エネルギーで供給することを目標としている²¹。Oceanlinx社は最近、オーストラリアのケンブラ港に試験導入された同社の技術の実物規模の試運転を、成功裏に完了した。さらに同社は、英国のウェーブハブ・プロジェクトにも参加している(上記参照)。しかし同社は最近、オレゴン州フローレンス沿岸に波力エネルギーパークを建設するための連邦エネルギー規制委員会への認可申請を取り下げた。

③東海岸

- ・2007年12月、Ocean Renewable Power社(ORPC社、マサチューセッツ州、フォーリバー)は、メイン州イーストポート沖合に、同社の初めての試作機であるタービン発電装置を設置し、データ収集のために3週間テストを行った。設置場所は、潮力エネルギーには世界でも最も良い場所の一つと考えられているファンデー湾の入江である。この発電モジュールの構成は、25フィートのチューブ(直径4フィート)と、中心部に発電機1台、タービン2基が格納されている。ORPC社はこのモジュールを、イーストポートからカナダのニューブランズウィック州ディア・アイランドに流れる水路の中に係留されている荷船(barge)の30フィート下に水中設置した。この試作機は、6ノットの海流で最大25kWまで発電することができる。このOCGenモジュールという技術の開発に資金援助をするために、ORPC社は2008年3月、メイン技術研究所(MTI: Maine Technology Institute)から追加で20万ドル調達し、2008年1月にカリフォルニアに拠点を置くQuercus Trust社から追加で100万ドルの資金提供を受けた。また、カナダのノバスコシア州政府は、ファンデー湾にも公的な潮流実証インフラを建設することを発表した。
- ・Verdant Power社(ニューヨーク州、ニューヨーク)は、2007年ニューヨークのイーストリバー・プロジェクト²²(マンハッタンとクイーンズの上に2つの水中タービンを設置)を開始した。同社は予測していた以上に激しい潮流によって被害を受け、最初のタービンを水中から撤去しなければならなかった。それにもかかわらず、2008年4月、カナダのオンタリオ州はVerdant Power社との実証プロジェクト(15MW)に220万ドルを投資する計画を発表した。タービンはセント・ローレンス川の川底に設置される予定である。

翻訳・編集：NEDO 研究評価広報部

(出典：SRI Consulting Business Intelligence Explorer Program)

²¹ 参照 NEDO海外レポート1017号「米国DOE とハワイ州がクリーンエネルギー技術の推進で合意」：<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1017/1017-13.pdf>

²² East River Project: <http://www.verdantpower.com/what-initiative>

【再生可能エネルギー特集】太陽熱エネルギー

米国エネルギー省は先進集光型太陽熱エネルギー技術に 6,000 万ドル投資へ

米国エネルギー省(DOE)は、廉価な集光型太陽熱エネルギー(CSP: Concentrating Solar Power)技術の開発を支援するために、5 年間(2008-2012 年度)にわたり最大 6,000 万ドルの太陽エネルギー技術資金提供公募(FOA: Funding Opportunity Announcement)を発表した。この中には 2008 年度歳出予算分 1,000 万ドルおよび 2009 年度予算要求 1,000 万ドルを含んでいる。

太陽エネルギーの利用を増加させることは、温室効果ガス排出量を削減し、米国のエネルギー安全保障を向上させるために国家のエネルギー源を多様化させるという、政府の取り組みにおける重要な要素である。

「太陽の自然で豊富なエネルギーを利用し、それをよりコスト効率良く我々が利用するエネルギーに変換することは、先進的でクリーンな代替エネルギー技術を商業化し展開させるという我々の包括的戦略の重要な要素であり、米国が外国石油に頼る必要性を減らすことを可能にする」と DOE のオルブライト次官は述べる。「エネルギー省の太陽技術への投資は、イノベーションを増強するだけでなく、次の 7 年にわたって太陽エネルギーを従来の電力源と価格的に競争力があるようにするという大統領の目標達成を支援する。」

FOA は、集光型太陽熱発電所の効率をさらに増加させるために、先進的な蓄熱概念および熱伝導流体を開発する産業界および学界のプロジェクトへの資金提供を可能にする。DOE は、この競争公募によって 10~25 件の助成を与えることを予定している。

民間部門によるコスト負担率は、研究開発段階においては最小 20 パーセント、また最終的な実証段階では最小 50 パーセントとなる。この公募による先進太陽技術への研究投資は合計 7,500 万ドルを超過すると予測される。

CSP システムは、太陽エネルギーを集光し吸収することにより発生した熱を使用して、熱エネルギーを生産する。このタイプの太陽エネルギーは、蒸気タービンや熱機関を通して直ちに発電用に使用することができ、また、後の使用のために熱エネルギーを貯蔵することもできる。

このような太陽エネルギーの貯蔵は、太陽光の間欠性を取り除き、熱エネルギーの移動を可能にし、従って、CSP システムが昼でも夜でも電力を提供することを可能にする。

この投資は、2015 年までに太陽エネルギーを従来型の電力対して価格競争力を持つよう

にさせるという、ブッシュ大統領のソーラアメリカイニシアチブを補完するものである。さらに、先進太陽エネルギー技術の開発は、クリーンな再生可能エネルギー技術の使用を増加させることにより我々の家庭、オフィスおよび自動車にエネルギーを供給する方法を抜本的に変更するための投資を増大させようという、大統領の先進エネルギーイニシアティブにとって不可欠である。

大統領のソーラアメリカと先進エネルギーイニシアティブおよび DOE の商業化取り組みに関する詳細情報は、エネルギー効率・再生可能エネルギー局のウェブサイトを読みたい。この FOA についてより詳細は、Financial Opportunities ページ (<http://www1.eere.energy.gov/financing/business.html>)、あるいは Grants.gov (<http://www.grants.gov/>)を訪問されたい。

(出典 : <http://www.energy.gov/news/6189.htm>)

【再生可能エネルギー特集】風力発電

2030 年までに風力発電のシェアを 20 パーセントに（米国）

－DOE が米国の風力資源、技術要件および送電線の障害を分析－

米国エネルギー省(DOE)は、2030 年までに米国の全電力需要の 20 パーセントを風力エネルギーの利用で提供する技術的可能性を検討した初めての報告書を発表した。「2030 年までに 20 パーセントの風力エネルギーを」とタイトルがつけられた、この報告書*は、風力技術のコスト削減、新しい送電インフラの設置および米国内の生産能力向上を含む目標を達成するための要件を特定している。

とりわけ、この報告書は、もし風力エネルギーが米国の電力供給で 20 パーセントのシェアを達成するならば、2030 年までに累積 76 億トンの CO₂ を削減し、2030 年以降も毎年 8 億 2,500 万トンの CO₂ を削減する可能性があると確認している。

米国の家庭や事業所に電力を供給する方法を抜本的に変更し、かつ 2025 年までに温室効果ガス排出の増加にブレーキをかけるのを支援するためには、今日投資を行うべきだというブッシュ政権の長期エネルギー戦略の中で、2006 年に発表されたブッシュ大統領の「先進エネルギーイニシアティブ」の一部として、クリーンで安全で持続可能な風力エネルギーは、ますます重要な役割を果たす可能性を持っている。

「DOE のこの風力報告書は、米国の風力資源、産業の能力および将来のエネルギー価格を詳細に調査したものであり、現在と将来の米国のエネルギー需要への重要な貢献者としての風力の実行可能性と市場の成熟を確認している。劇的に温室効果ガス排出量を削減し、かつ我々のエネルギー安全保障を向上させるために、ギガワット(GW)規模でのクリーン発電が必要になり、再生可能な風力エネルギーを拡大し、立地や許可プロセスを合理化し、国内の風力製造基盤の拡張に対して、包括的アプローチを取ることを我々に求めている」と DOE エネルギー効率・再生可能エネルギー担当次官補は語った。

国立再生可能エネルギー研究所(ゴールデン、コロラド州)、ローレンス・バークレー国立研究所(バークレー、カリフォルニア州)およびサンディア国立研究所(アルバカーキ、ニューメキシコ州)の 3 つの国立研究所をはじめ、産業界、政界にまたがる横断的で広い階層の利害関係者と DOE によってこの報告書は作成された。報告書は、米国の風力エネルギーの可能性の詳細な分析を提供し、風力エネルギー発電を、現在の発電量 16.8GW から 2030 年までに 304GW まで押上げるための潜在的なシナリオを概説している。

この技術報告書に関しては、DOE は、米国風力協会(AWEA)とブラックアンドビーテック(Black and Veatch)技術コンサルタント社の専門技術を利用すると共に、報告書には、

50 社を超えるエネルギー団体および企業からの情報を反映している。

その解析では、風力エネルギーのシェアが 20 パーセントに達するためには、向上した送電インフラ、合理化された立地と許可制度、そして風力システムの信頼性および運転性能の向上ならびに米国の風力関連設備製造能力の増加が必要と結論を下している。

この報告書に含まれる主要な内容は、

1. 毎年の設置数は 3 倍以上に増加させる必要がある。

風力シェア 20 パーセントの達成には、毎年のタービン設置数を 2006 年のおよそ 2,000 基から 2017 年には約 7,000 基までに増加させる必要がある。

2. 断続的な風力パワーをグリッド（電力系統）へ結合するコストは高くない。

風力シェア 20 パーセントならば、1 キロワット時当たり 0.5 セント未満で信頼性を持ってグリッドへ結合することができる。

3. 材料の制限は現在存在していない。

銅、グラスファイバーおよび他の材料の需要は増加するが、風力シェア 20 パーセントの達成は、材料の入手可能性によっては制限されない。

4. 送電の課題に取り組む必要がある。

米国最良の風力資源にアクセスするための、新しい送電線の立地と経費割当に関係する課題が、風力シェア 20 パーセントを達成するために解決される必要がある。

「グリッド（電力系統）に、風力のような再生可能エネルギー資源が大きく浸透するためには、先進的統合技術のみならず新しい送電線が組み合わせられなければならないことを、この報告書は正確にも強調している。多くの場合、再生可能資源の最も確固とした資源は、遠隔な地域に位置している。そして、もし人口集中地域へこれらの新しいクリーンで豊富なエネルギー源を送ることを望むならば、我々は追加の送電線を必要とする」と DOE 電力配送・エネルギー信頼性担当次官補は語った。

DOE のこの報告書は、米国が風力発電設備の新設容量で世界をリードし、2010 年までには総容量でも世界一になる可能性があるという、風力開発における重要な時期に発表された。昨年、2007 年には 5,000MW（メガワット）以上の風力設備容量が設置され、米国の累積風力設備容量は 16,818MW に達している。

風力は、2007 年に米国で新設された発電容量の 30 パーセント以上を占め、天然ガスに次いで米国の新設発電容量で 2 番目になった。米国の風力エネルギー産業は、2007 年に

新しい発電設備におよそ 90 億ドルを投資し、過去 5 年に 30 パーセントの年間平均成長率を経験している。

DOE の風力プログラムに関する詳細情報は、<http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/>

* "20 Percent Wind Energy By 2030"「2030 年までに 20 パーセントの風力エネルギーを」
<http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/pdfs/41869.pdf>

(出典 : <http://www.energy.gov/news/6253.htm>)

【再生可能エネルギー特集】 バイオ燃料

バイオ燃料研究開発への取り組み（EU） ～ 欧州バイオ燃料テクノロジープラットフォーム ～

1. はじめに

欧州委員会のバイオ燃料研究諮問委員会（BIOFRAC¹）は、2006年6月に「欧州連合におけるバイオ燃料－2030年及びそれ以降に向けたビジョン」と題する報告書²を公表した。同報告書では、長期的な視点からバイオ燃料の導入の意義や目標を示し、それを実現するためのテクノロジーロードマップの提示や政策の提言を行っている。また、ビジョンを展開し実施するための組織として、欧州バイオ燃料テクノロジープラットフォーム³（以下、バイオ燃料TP）の設立が提案されている。

このような背景の下で、バイオ燃料TPが設立された⁴。本稿では、バイオ燃料TPの「戦略的研究行動計画及び戦略的配備文書⁵（以下SRA）」を元に、EUのバイオ燃料研究への取り組みについて紹介する。

2. テクノロジープラットフォームの組織構成

産官学から構成されるバイオ燃料TPの組織構成を図1に示す。

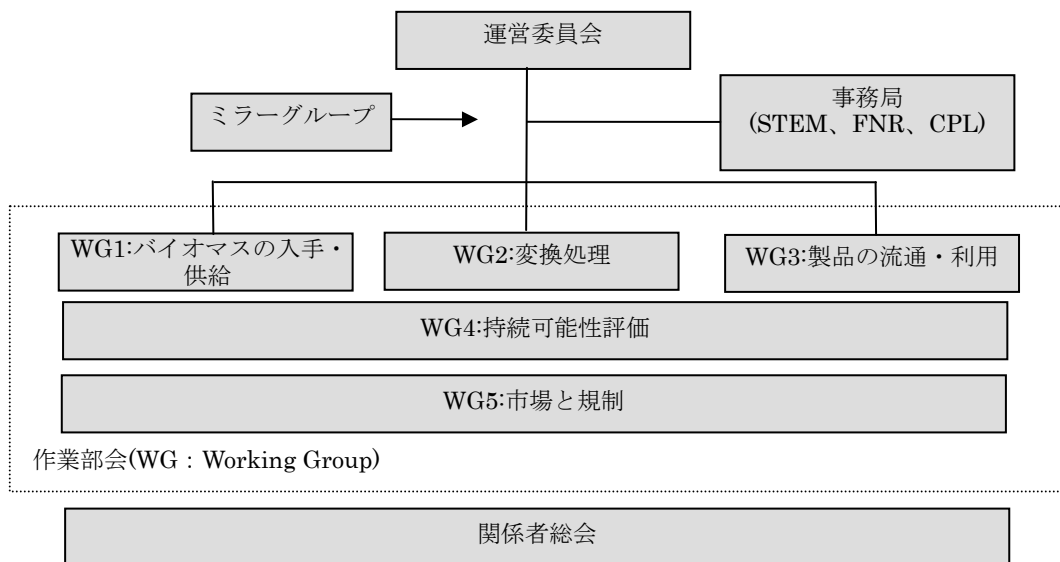


図1 欧州バイオテクノロジープラットフォームの組織構成

出典：バイオ燃料TP SRA

¹ Biofuels Research Advisory Council

² Biofuels in the European Union – a Vision for 2030 and beyond –
この報告書については、下記のNEDO海外レポート984号で紹介している。
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/984/984-01.pdf>

³ European Biofuels Technology Platform

⁴ 設立時期は2006年6月となっている。

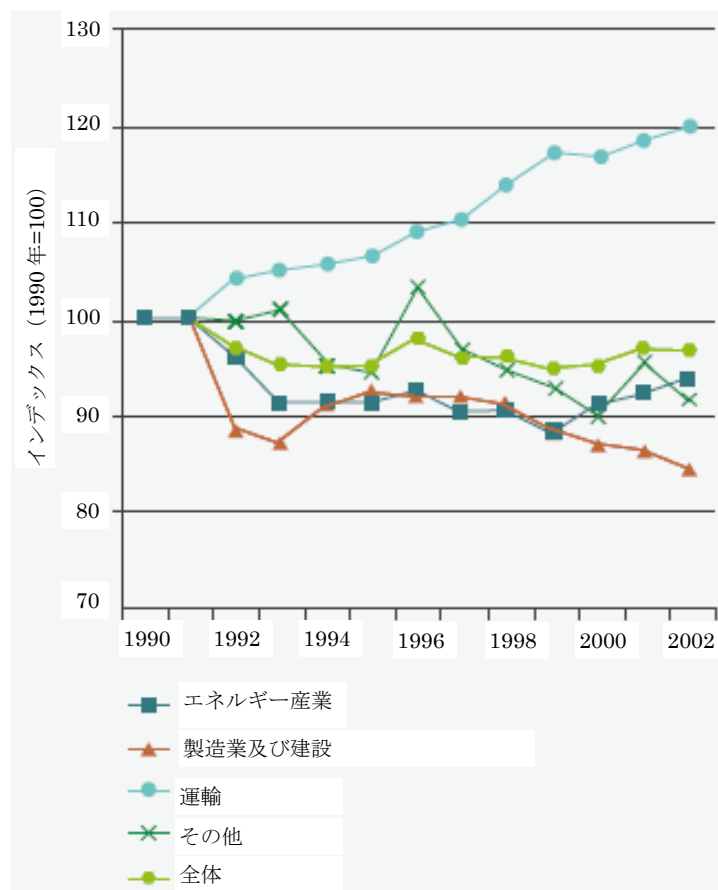
⁵ Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document

ここでミラーグループとは、EU加盟国によって指名された専門家達であり、プラットフォームの活動と加盟国の活動の協調を図ることを目的としている。事務局の運営は、スウェーデンエネルギー庁(STEM)、ドイツ再生可能資源委員会(FNR)が担当する。ウェブサイトの運営と広報担当は、英国の出版社(CPL)である。

また5つの作業部会があり、「バイオマスの入手・供給～市場と規制」にいたるまでの幅広い領域で、プロジェクトが進められる⁶。この活動内容については、次章以降で説明する。

3. BIOFRAC のビジョン、バイオ燃料 TP 設立の背景

欧州のエネルギー消費は化石燃料に大きく依存しており、大量の石油やガスが輸入されている。EU域内のエネルギー総消費量のうち80%を輸入燃料が占め、中でも石油への依存度



は非常に高い。欧州の道路運輸部門ではエネルギー消費量の98%を石油に頼っているが、石油は有限な資源であることからエネルギー供給の安全保障という意味で懸念が高まっている。運輸部門は、過去15年間でCO₂排出量が大幅に増加した唯一の産業部門である(図2)。この傾向は今後も続く見通しであり、京都議定書の目標値の達成を妨げているほか、EUの主導する気候変動への取り組みにも悪影響を与えている。

図2 EU25カ国のセクター別燃料燃焼による温室効果ガス排出量 出所 Eurostat(SEC(2007)12)

⁶ EUにはバイオ燃料TP以外にも様々なTPがある。TPの種類や目的、組織構成についての詳細は、NEDO海外レポート997号の下記記事を参照。

欧州テクノロジー・プラットフォーム <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/997/997-02.pdf>

運輸部門においてバイオ燃料利用を推進することは、輸入石油・製品に対する依存を軽減する手段のひとつであり、エネルギーの中長期的な安定供給の実現につながる。また、EUがCO₂削減約定に従い、政策目標を達成するために必要とされる方法の中でも、重要な位置を占めている（図3）。

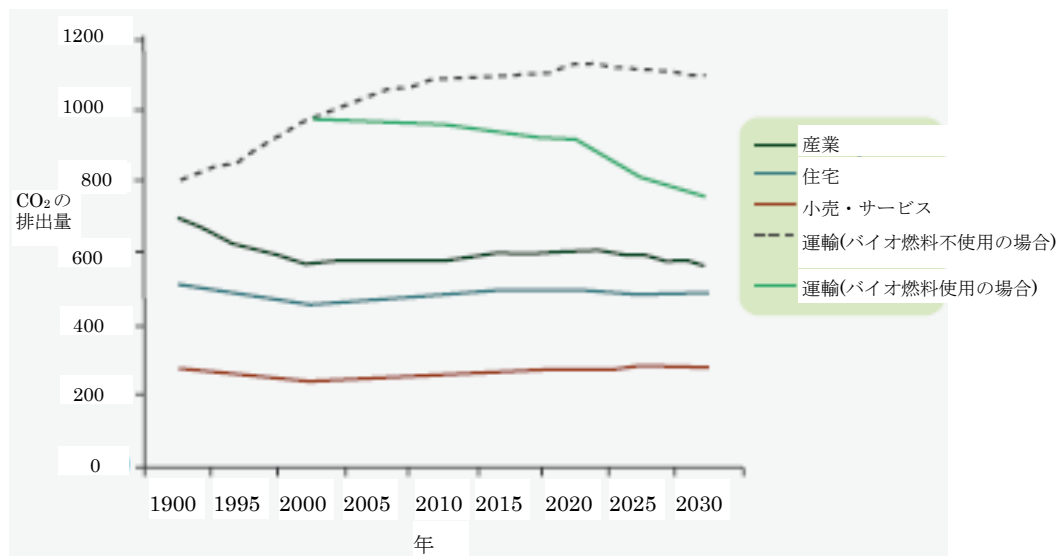


図3 CO₂排出量（EU25 カ国、百万トン）

出典：presentation by Hillka Summa, October 2006

今日、欧州では非常に限られた量のバイオ燃料しか生産されていない。また原料が食料などと競合していて高価格であることから、現時点ではバイオ燃料が十分に持続可能なエネルギー源だとは言えない状況にある。バイオ燃料は今後、環境面から見た全般的な持続可能性という意味で、化石燃料よりも優れた能力を発揮するものとなる必要がある。また、欧州委員会の定めている野心的な目標を達成するには、膨大な量のエネルギーを生産するためにバイオマス変換の新しい方法の開発が必要である。この新しい技術は、高いロバスト性を持ち、地域レベルでも世界レベルでも社会的に受け入れられるものでなければならない。

4. バイオ燃料 TP の活動⁸

4.1 重要な分野

バイオ燃料 TP のワーキング・グループ（作業部会）は、持続可能で競争力のあるバイオ燃料を実現するために技術開発が必要とされる重要分野を次のように特定している。

⁷ ロバスト(robust)とは「頑丈な」という意味であり、ばらつきや変化に対して強い状態を意味する。

⁸ バイオ燃料 TP の活動は、原料、変換技術、最終用途技術（道路輸送）他に跨る。そこで下記の各欧州テクノロジープラットフォームとも連携をとりつつ、プロジェクトが進められる。

未来の植物：Plants for the Future、森林関連分野：Forest-Based Sector、持続可能な化学：Sustainable Chemistry、道路輸送研究諮問委員会：Road Transport Research Advisory Council

原料：

- ・ 限りある土地資源（食物および家畜飼料 vs. バイオエネルギー）およびバイオマスの利用用途（交通用燃料、熱、電力、工業用原料）間の競合の管理。
- ・ 土地面積あたりの生産量増加と、穀物および残渣の効率的な物流システムの構築。

変換技術：

- ・ さまざまな原料が利用可能で高品質な燃料を生産できる、エネルギー効率がよく信頼性の高いバイオマス・燃料変換技術の開発。

最終用途技術：

- ・ 燃料と自動車エンジンの環境的・エネルギー的パフォーマンスの最適化。既存および将来のインフラと自動車で確実に利用できるようにする必要がある。

これらの取り組みを成功させるためには、戦略的な目標と持続可能性に関する目標の両方に対して、最も的確に、取り組む選択肢（土地、原料、変換、最終製品の組み合わせ）を決定する必要がある。

- ・ 地球温暖化ガスの大幅な削減と、環境に関連するその他の重要なテーマ（生物多様性、水利用、地域における排出量など）の健全な管理。
- ・ 道路運輸におけるエネルギー供給の確保とエネルギー源の多様化。
- ・ 経済的競争力と社会的受容。

戦略的な必要性和持続可能性の両方の側面から、必要となる研究、技術開発、実証試験を特定する作業が進められた。新しい技術では、研究、技術開発、実証試験の取り組みを一体化していく必要があり、また従来よりも成熟した技術では、非常に早い段階から、さらなる開発と実証に重点的に取り組んでいかなければならない。次節では、各分野に対する優先事項を示す。

4.2 優先事項

4.2.1 原料

- ・ さまざまなバイオマス原料（エネルギー作物、林業・農業残渣、廃棄物）と地理的位置に関して、入手可能な量とコストの関係（availability-cost curve）を明らかにする。
- ・ バイオ燃料の生産用に最適化された農作物や樹木の育成を通じた、新しい多生産・低投入型の農業システムおよび林業システムの開発。
- ・ さまざまな規模の多様な変換方法に対応できる効率のよいバイオマス物流システム（収穫、収集、保管）の開発。

4.2.2 変換技術

- ・各技術（バイオディーゼル、でんぷん・糖からのバイオエタノールの生産）の可能性を最大限に引き出すための既存の変換技術の改善。利用できる原料の幅を広げ、より低価格で、温室効果ガスをより多く削減できる技術を実現する。
- ・原料として、様々なリグノセルロース系バイオマスを利用できる熱化学的および生化学的な変換技術の開発（BTL⁹、リグノセルロース系バイオエタノール）。
- ・様々なバイオマス原料を十分に活用し、多種多様な高価値バイオ製品を生産するための、統合的なバイオリファイナリーの概念開発。
- ・新しい技術の信頼性および性能を、パイロット及び工業規模の両方で実証する。

図4は、液体輸送燃料生産全体の中で、バイオマスからの生産が占める位置を示すものである。バイオマスからの生産方法は、さらに大きく3つに分類される。

図5は、現在の植物油からのバイオディーゼル生産方法を示す。図6は酵素及び発酵プロセスを利用したエタノールと副生物を生産する生化学的方法を示している。エタノールの糖及びデンプンからの生産は成熟した技術で、年間何百万トンもの生産が行われている。しかし、これに加え、もっと広範に利用が可能な原料（リグノセルロース）から費用効率が高い方法で糖を生産する技術の開発が必要である。

リグノセルロースを原料とする生化学的方法に加え、熱化学的方法にも大きな可能性がある。図7は熱化学的方法によるバイオ燃料生産方法を示したものである。この方法は、高温（500～1500℃）変換処理（熱分解、ガス化）を行うことを特徴とする。どのようなリグノセルロースでも原料に利用することができる。必要な手順は既知であるが、変換プロセス全体の実証とコスト削減が必要である。

⁹ biomass to liquid. バイオマス液体燃料。

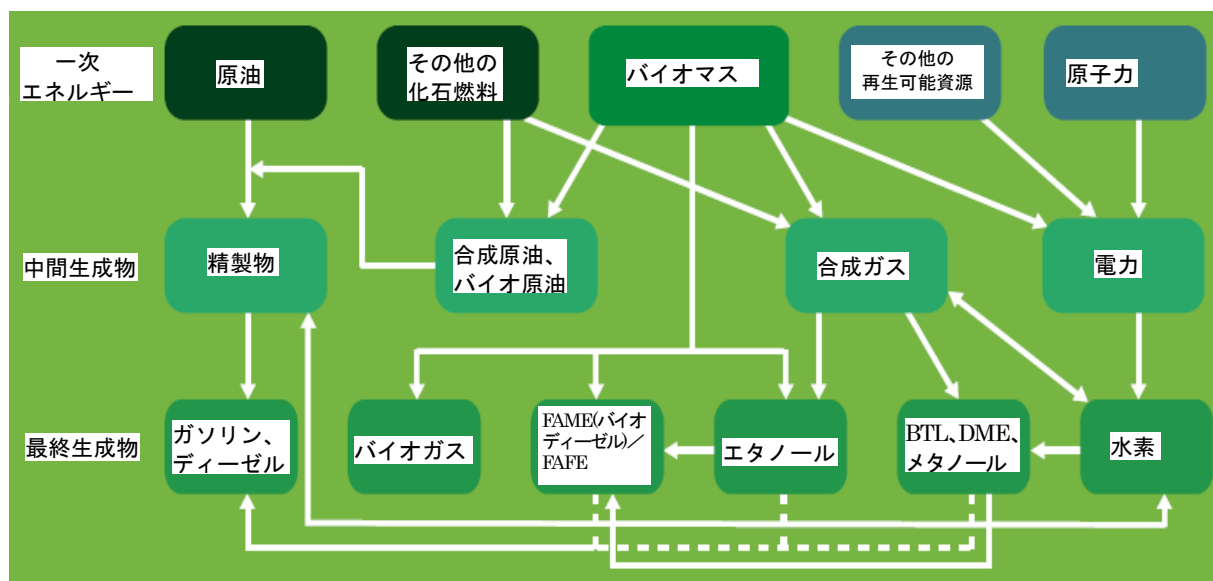


図4 バイオマスからバイオ燃料を生産する変換プロセス

出典：Vision Report,2006(BIOFRAC)

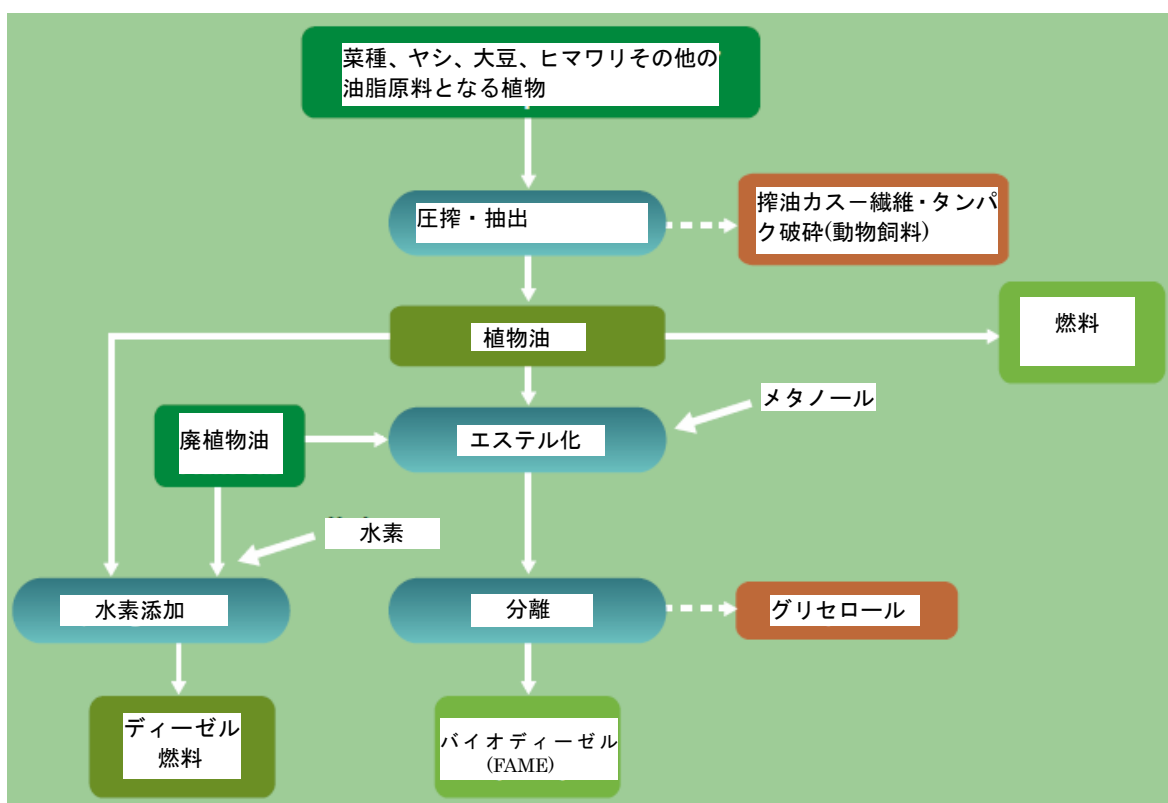
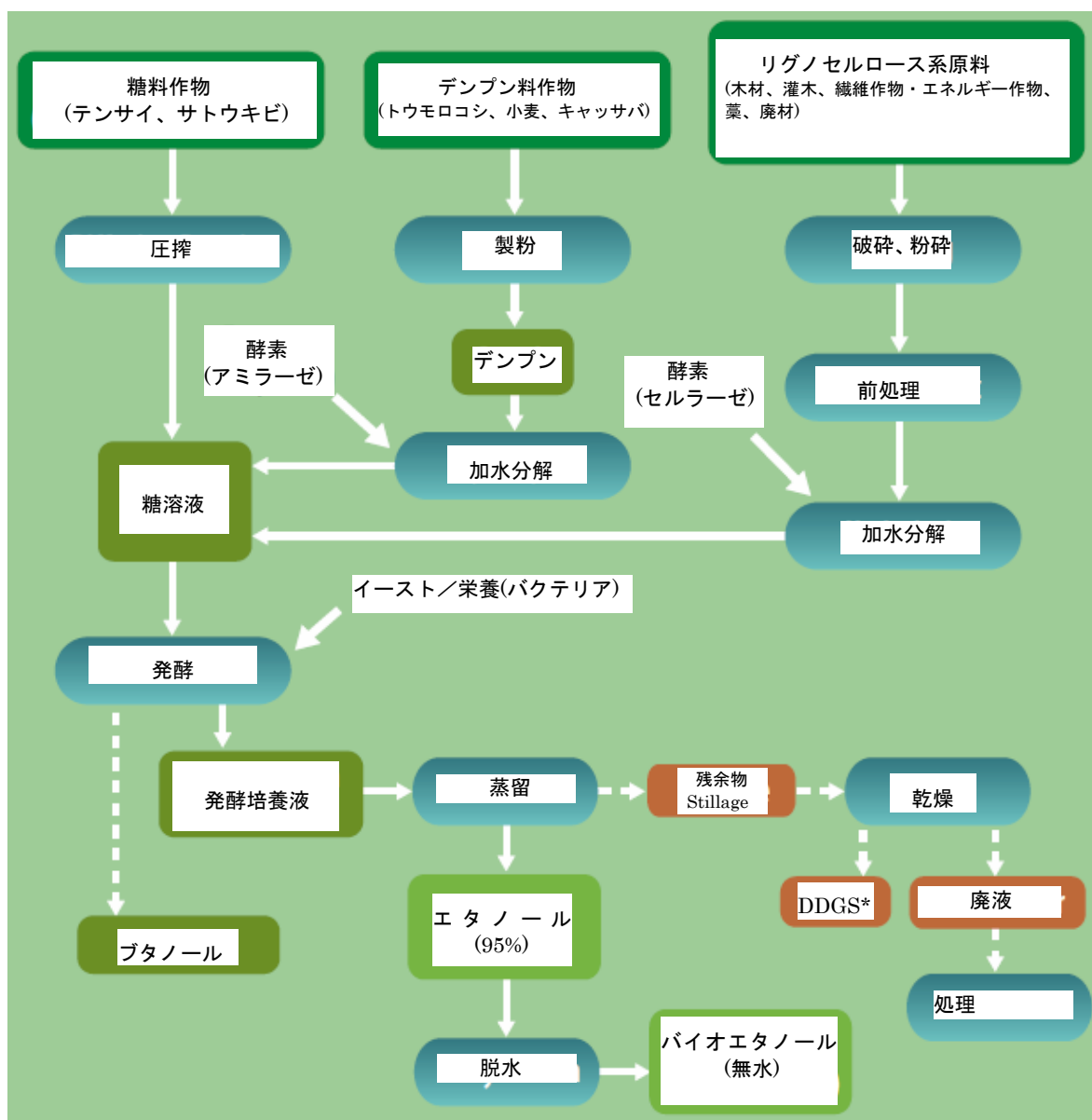


図5 植物油からのバイオディーゼル生産



*穀類蒸留粕

図6 生化学的方法によるバイオエタノール生産

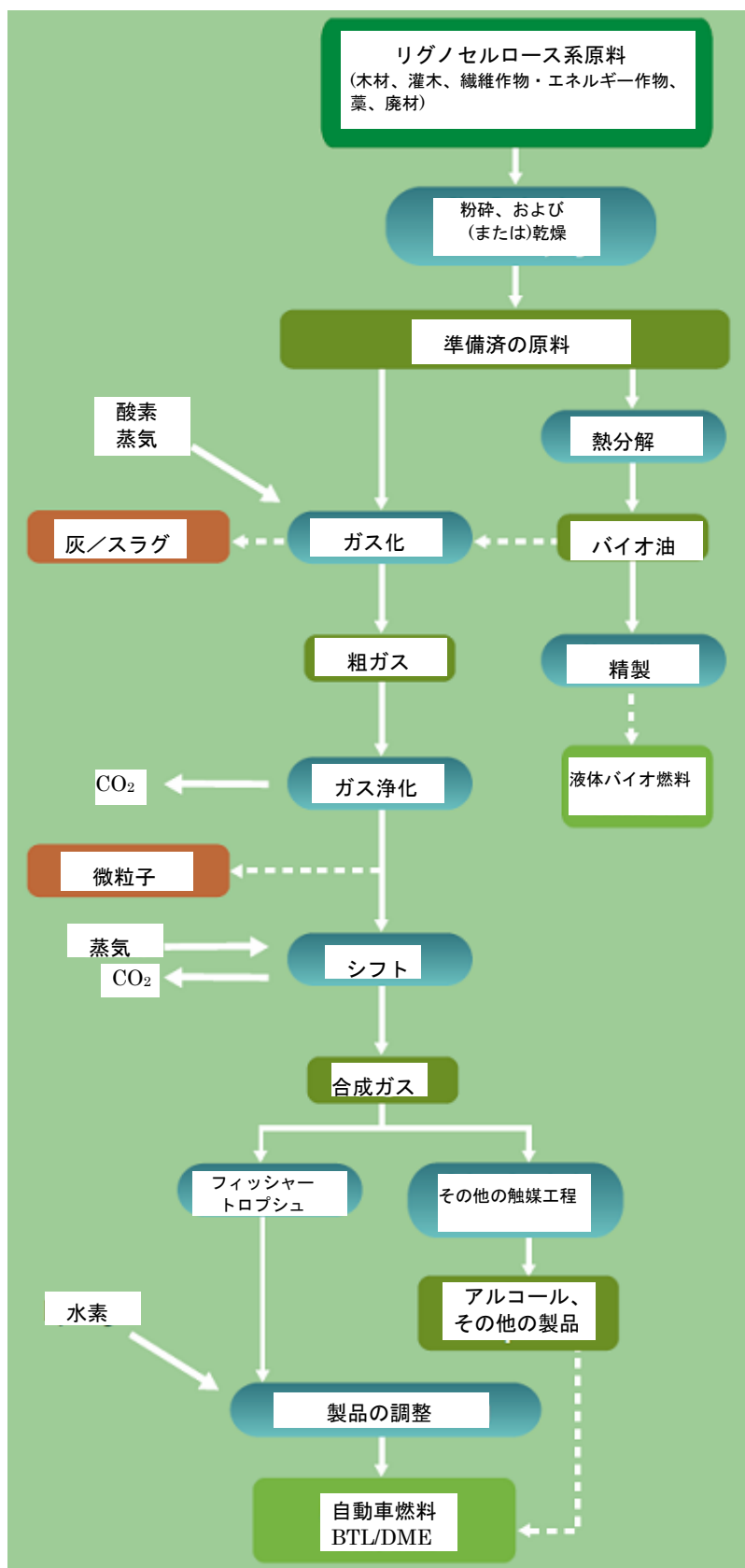


図 7 熱化学的方法による液体バイオ燃料生産

4.2.3 燃料とエンジンの最適化

- ・既存の物流システムやパワートレイン¹⁰および新しいパワートレインで利用できるものにするための、バイオ燃料およびバイオ混合燃料に対する条件の策定。また、特殊な需要を満たすために、100%あるいは高い混合率のバイオ燃料を利用できるように車を改造する方法の開発。
- ・エンジンおよび車両のテストデータの生成と、バイオ燃料に対する適切な品質基準の策定。
- ・バイオ燃料の品質とエンジン性能の関係についての理解の向上。高度なパフォーマンスを実現できる燃料システムとパワートレインシステムの組み合わせの研究。

図8に乗用車および軽商業車（6t未満）の新車に関するEUの見通しを示す。2030年までは、ガソリンおよびディーゼルエンジンが主要なパワートレインである。統合型の新しい燃焼方式¹¹は次第にシェアを増す。図9は、商業車（トラックやバス、6t以上）の新車に関するEUの見通しである。商業車では、今後もディーゼルエンジンが主流である。

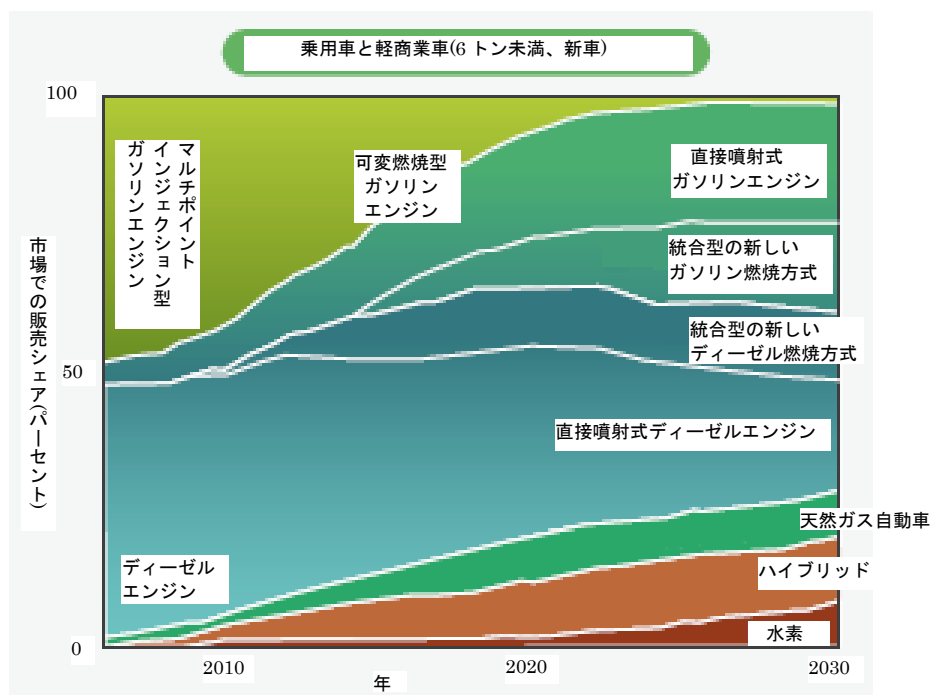


図8 乗用車と軽商業車（6トン未満、新車）における各種パワートレインのシェア
— 2030年までの予想 —

出典：EUCAR に依る

¹⁰ 自動車の動力および動力伝達システムの総称。具体的には、エンジンと、エンジンで生まれたエネルギーをタイヤに伝える一連の装置のこと。

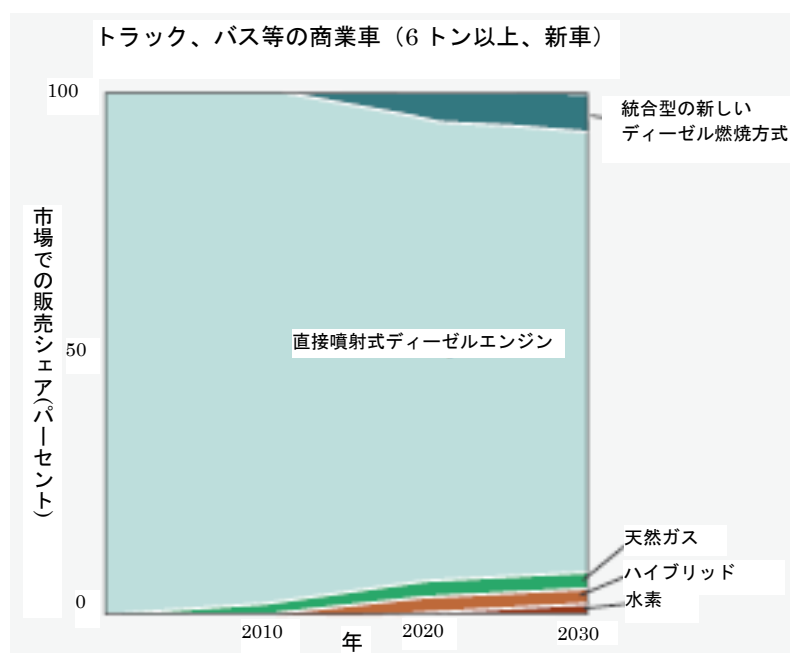


図9 欧州の商業車における主な技術動向とエンジンの市場シェア（～2030年）

出典：MAN

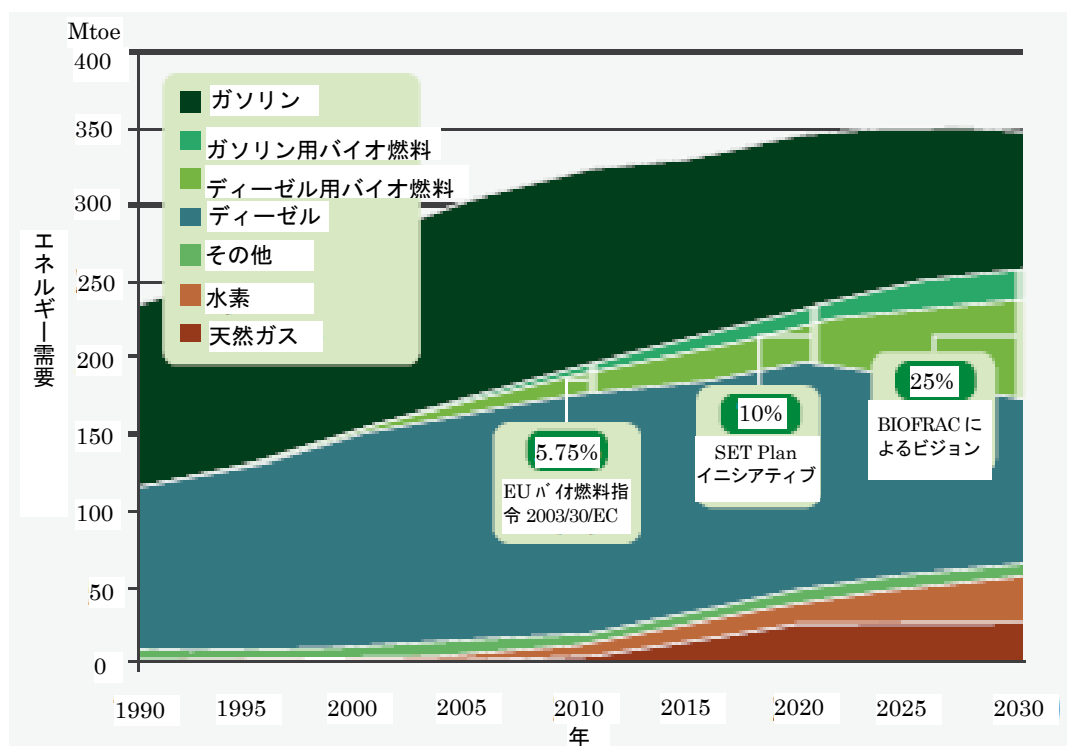


図10 運輸分野における燃料ロードマップ（～2030年）

出典：バイオ燃料TP - WG3

¹¹ 予混合圧縮自己着火（HCCI:Homogeneous Charge Compression Ignition）など

図 10 に、EU の輸送分野向け燃料ロードマップを示す。これは、バイオ燃料テクノロジープラットフォームの WG3 が作成したものである。作成にあたっては、EU 指令 2003/30/EC、SET Plan イニシアティブ¹²、および BIOFRAC のビジョンが考慮されている。また、パワートレインの見通しでも示されたようにディーゼルエンジンの需要が高いと予測されていることから、これに従い、バイオ燃料の大部分をバイオディーゼルが占めるという予測となっている。

4.2.4 システムの全般的な持続可能性

- ・経済、環境、社会という 3 つの側面を評価・観察するための指標と、一貫性のあるわかりやすい評価・観察手法の開発。
- ・必要なデータの生成・収集と、既存の、および今後導入が見込まれる生産チェーン（土地、原料、プロセス、燃料の利用）の持続可能性に対する評価の実施。

欧州におけるバイオ燃料の潜在能力を最大限に引き出すには、目標指向型の組織的な取り組みの下で、バイオ燃料の展開に向けた非技術的な対策も数多く必要となる。

- ・多くの資金を必要とする革新技术開発に対する投資家の信頼を確保するための、明解かつ長期的で調和のとれた政治と一般市場の枠組み。
- ・バイオ燃料の生産ルートおよび最終用途をターゲットとした研究開発と実証試験に対する官民による協調的な資金助成。
- ・リスクの高い大規模な実証設備への公的資金による追加助成。
- ・科学を基盤としたバイオ燃料の品質基準。バイオ燃料の導入普及に対する不必要な障壁とならないものである必要がある。
- ・バイオ燃料の生産チェーンの環境上の持続可能性を確保するための、単純明解な地球規模の認証システム。
- ・バイオ燃料による利益とその潜在的な問題点に関してオープンな情報交換を行うことにより、社会意識および社会的受容を向上させる必要性。

出典：

欧州バイオ燃料テクノロジープラットフォームホーム：

<http://www.biofuelstp.eu/>

SRA：

http://www.biofuelstp.eu/srasdd/080111_sra_sdd_web_res.pdf

編集・翻訳： NEDO 研究評価広報部 久我 健二郎、桑原 未知子

¹² 2007 年 11 月 22 日、欧州委員会が発表した戦略計画。低炭素技術開発とその実用化を促進させることを目標としている。詳細は、NEDO 海外レポート 1018 号「低炭素社会にむけて(EU)」を参照。
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1018/1018-06.pdf>

【再生可能エネルギー特集】バイオ燃料

英国におけるバイオ燃料をめぐる注視すべき議論

バイオ燃料の導入については、欧州委員会が 2007 年 2 月に 2020 年までの導入目標¹を掲げたのを始め、地球温暖化対策の一つとして積極的に推進してきている。かかる中、バイオ燃料をめぐるはその効果について否定的な見解が示されていることもあり、欧州委員会では 2008 年 1 月 23 日、バイオ燃料の導入目標を維持しつつも、環境持続性基準を導入することを発表した。

英国では、政府がこの欧州委員会の発表について支持する見解を表明しているが、こうした欧州委員会の動きに先立ち、バイオ燃料のもたらす悪影響に関し王立協会や英国議会からも公式見解が発表されるなど議論が活発化してきた。

このような状況で、2008 年 2 月 21 日には英国政府が 2010 年以降の欧州委員会の目標の検討の裏付けとなることを視野に入れてバイオ燃料の間接的な影響の検討を行うと発表している。ここでは、こうした英国における最近のバイオ燃料をめぐる議論の動向について紹介する。

<1 月 14 日、王立協会が政府に警告>

英国の科学学術団体である英国王立協会（Royal Society）は 2008 年 1 月 14 日、「持続可能なバイオ燃料（Sustainable Biofuels）」という報告書を発表し、英国政府及び欧州委員会に対し、より高い温室効果ガス排出削減効果を有するバイオ燃料に限定した政策に変更するよう求めた。

同報告書によれば、政府が 2008 年 4 月に開始する再生可能輸送燃料義務制度（RTFO：Renewable Transport Fuel Obligation）は、必ずしも温室効果ガス排出削減効果が最も大くなる形でのバイオ燃料利用促進にはならない。そして、バイオ燃料は運輸部門の温室効果ガスの排出削減にならないだけでなく、間接的にも環境に悪影響を及ぼす可能性があり、バイオ燃料の社会及び環境に及ぼすプラスとマイナスの影響とともに、温室効果ガス排出削減効果についての評価・認証がなされるべきである、と警告した。

同報告書の調査のとりまとめを行った John Pickett 教授は、「英国政府は、RTFO が、例えば温室効果ガス削減目標の設定により、最も温室効果ガス排出の少ない燃料を推進する制度であることをことを確実にしなければならない」「こうした目標が無ければ、悪化の一途を辿る運輸部門の温室効果ガス排出の削減に寄与する画期的なイノベーションを起こす重要な機会を逸することとなる」「我々は、気候変動に対処する際に、新たな環境や社会

¹ 2020 年までに EU 加盟国の輸送燃料の 10%以上をバイオ燃料にするという目標。

的問題を引き起こしてはならない」と述べた。

＜バイオ燃料導入目標の一時停止を求める英国下院環境監査委員会＞

英国下院環境監査委員会 (Environmental Audit Committee) は 2008 年 1 月 21 日、「バイオ燃料は持続可能か? (Are biofuels sustainable?)」との報告書を発表し、政府に対しバイオ燃料に関する導入目標の一時停止を要求した。

同報告書は、植物由来の第一世代のバイオ燃料は、温室効果ガスの削減及び費用対効果のどちらの観点から見ても、概して環境に有害な影響があり、政策の支援対象から外すべきであるとし、公式に従来型のバイオ燃料に対して相当強く否定的な見解を明確に述べている。そして、代わりに将来持続可能な役割を持つかもしれない²バイオ燃料技術（第二世代バイオ燃料等）に英国政府は集中するべきであると述べている。

そして、欧州委員会が後日（1 月 23 日）バイオ燃料の悪影響を解決するとして導入を発表した環境持続性基準（environmental sustainability criteria）でさえも不十分であると指摘し、バイオ燃料における技術が改良され、土地利用変化による被害を防ぐ堅固なメカニズムが発達し、国際的に持続可能な基準が同意されるまで、バイオ燃料導入目標を一時停止すべきとの強いメッセージを発している。

＜英国政府 2010 年以降を見据えたバイオ燃料の間接影響の検証開始を発表＞

運輸省は 2008 年 2 月 21 日、昨年新設した再生可能燃料機構（RFA）³に対し、さまざまな形態のバイオ燃料が間接的に及ぼす広範囲に渡る経済及び環境への影響に関する調査を行うよう要請し、英国政府として公式にバイオ燃料の有用性を検討する姿勢を明らかにした。政府はこの研究結果を英国及び欧州委員会のバイオ燃料政策の開発に役立て、2010 年以後のバイオ燃料目標検討の裏付けになるものとしている。

Ruth Kelly 運輸相は「英国政府は最近のバイオ燃料をめぐる議論を非常に深刻に受け止めている。バイオ燃料の持続可能性について確信できるまで、現在の英国のバイオ燃料目標の水準を超えた取組みを行うつもりはない。」と述べている。しかしながら、この調査結果を 2010 年以降の政策形成にあたり考慮に入れるにとどまり、直ちに現行目標を見直すといった見解は示されなかった。

なお、2008 年 4 月に開始する再生可能輸送燃料義務制度（RTFO）については、英国政府が将来のバイオ燃料支援の度合いを決定するにあたり考慮するための豊富なデータ収集

² 原文では、more efficient biofuel technologies that might have a sustainable role in the future. となっており、might という表現を用いている。このことから、こうした次世代バイオ燃料の実現可能性に関してもやや低いのではないかというスタンスであることが窺える。

³ 再生可能燃料機構（The Renewable Fuels Agency）。英国政府による再生可能輸送燃料義務制度（RTFO）の監督及びその影響を大臣、議会へ報告するため 2007 年に設立された非政府公共団体。

を可能にするとの見解を示している。

＜政府発表に対する英国王立協会の反応＞

王立協会は上記の政府発表に関して正式な見解は表明していないものの、王立協会の担当者に聴収したところ、「政府が行おうとしている今回の検証がバイオ燃料を取りまく問題の複雑さを認識し、こうした複雑さを反映した提言がなされることが期待される。もし検証の結果が RFTO 自体、あるいは有効に機能しうる持続可能性基準を開発しようとする RFTO の試みを危うくするのであればそれは問題である」「また、バイオ燃料の間接的な影響に関しての測定方法を検討し始める必要性についても支持する」といったコメントが得られた。

また、「バイオ燃料の間接的に及ぼす影響を評価するためには何年もの調査期間、そして現状よりもはるかに多くのデータが必要である」と述べている。こうしたことから、王立協会は、今回の政府の動きを基本的には評価するスタンスにあり、政府の公式検証が 2010 年以降を見据えたものとなっている点についても否定的ではないことが伺える。

また、王立協会は欧州委員会の動きについても「欧州のこの問題にかかる動き、特にバイオ燃料の開発・生産で何が許容可能であり何が許容不可能かを示す明確な境界を設けようという再生可能エネルギー指令草案も注目に値する」と述べている。

そして、真に意味のあるバイオ燃料の開発・導入に関する実質的な論点として、「持続可能性のあるバイオ燃料開発を確実にするために、新たな技術開発に対し十分柔軟に呼応し、迅速に取り入れていくことのできるバイオ燃料開発のフレームワークが可及的速やかに実行に移されることが重要である」と強調している。

【再生可能エネルギー特集】 バイオ燃料

ドイツにおけるバイオ燃料の現状 ーエタノール混合比率のアップを見送りー

ドイツ連邦環境省は、本年4月4日、ガソリンへのバイオエタノールの混合比率を現在の5%から2009年には10%に引き上げる計画を中止すると発表した。ガブリエル環境大臣が、公共放送のインタビューに答え、バイオエタノール10%混合ガソリン(E10)に対応できない車両の数が、当初の予想をはるかに上回ることが判明したため、本措置の導入を断念すると発表した。

当初、ドイツ自動車工業会は、E10導入に対応できない車両は37万5千台と予想していた。ところが、この試算にはドイツ国外で生産された輸入車が含まれておらず、輸入車を含む最近の調査で当初試算の約10倍の300万台以上に上ることが明らかになった。

E10導入に対応できない車両は、バイオエタノールの10%混合が義務付けられていない「Super Plus」（超ハイオクガソリン）を利用することになるが、同燃料はE10と比較してリッター価格が15セントユーロ割高となる。E10導入に対応できない車両は、型式の古い車両が多く、これらのドライバーには低所得層が多い。ガブリエル大臣は、こうした低所得者層に価格の高いガソリンの使用を強要することで、何百万人ものドライバーがしわ寄せを受ける措置は導入できないと説明した。

E10導入は、CO₂排出削減に向けた重要な措置の一つだっただけに、その導入中止は、2020年までの国内CO₂排出量40%削減を目標とするドイツ政府、また、2012年までに走行1キロメートルあたりのCO₂排出量を平均120グラムに抑制することが義務付けられる自動車メーカーにとって痛手となる。

E10を始めとするバイオ混合燃料の普及に向け、ドイツでは関係する連邦環境省、連邦農業省、自動車業界団体、石油業界団体、農業業界団体、バイオ燃料業界団体が2007年1月と7月に協議し、2007年11月21日に、バイオ燃料分野における気候変動エネルギー政策戦略として共同で「バイオ燃料・ロードマップ」を発表していた。

ロードマップは、

- ・動力燃料におけるバイオディーゼル、バイオエタノール／ETBEの混合比を引き上げる
- ・それによって、バイオ燃料のシェアを引き上げる
- ・バイオ燃料の持続性を確保する
- ・第二世代バイオ燃料を促進する

ことを目的とし、具体的な目標として、バイオ燃料の混合比を2010年までに現在の5%から10%に倍増させ、さらに2020年までに20%に引き上げることを目指していた。今回の

E10 導入の中止は、今後、ロードマップの見直し、新たな代替措置の導入を迫ることになる。

こうした E10 導入の躓きと合わせ、バイオ燃料導入への逆風となっているのが、食糧との競合問題である。バイオ燃料の生産では、バイオ燃料が食品の原料となる菜種、サトウキビなどと競合するほか、植物の栽培に起因して発生する CO₂ の排出量も多い。そのため、最近になってバイオ燃料に対する批判が強まっているのも事実である。

この問題を解決する方法として、藁や木屑、植物の茎や葉、実などいわゆる植物栽培から発生する“ゴミ”を原料として合成ガスを発生させ、それを液化させて燃料とする BTL に対する期待が強まっている。ただ、BTL は第二世代バイオスプリットともいわれ、まだ開発中の技術。たとえば、ドイツ南東部ザクセン州フライベルクのコーレン社は、独自に開発した BTL「サンディーゼル」を商用生産するはじめてのプラントをドイツ北東部シュヴェート（ブランデンブルク州）の石油精製工場内に設置することを計画している。だが、計画が順調に進んでも、工事が開始されるのは 2010 年以降だと見られる。

実際には、第二世代バイオ燃料 BTL が市場で普及してくるのはまだまだ先の話で、コーレン社に出資している石油大手のシェルでさえ、2020 年時点でも BTL シェアはわずかだろうと推測している。

略語：

= ETBE : Ethyl Tertiary-Butyl Ether。エタノールとイソブテン（石油精製の副製ガス等のプロセスで生産される）を合成したもの。

= BTL : Biomass to Liquids。第二世代バイオディーゼルと位置づけられている。FAME（脂肪酸メチルエステル）を成分とする第一世代と比べて性状も安定している。

参考資料：

= Roadmap Biokraftstoffe : ロードマップ

【再生可能エネルギー特集】 バイオ燃料**セルロース系エタノールの商業生産(ブラジル)****ーブラジルと米国の開発競争が過熱ー**

原油価格の高騰、世界的な温室効果ガス(GHG)排出削減の取り組みなどにより、バイオマスを原料とした燃料用エタノールの需要が高まっている。世界一の生産国は、トウモロコシから燃料用だけで年間 2,000 万 kl を生産する米国だが、最大の輸出国は、原料となる広大なサトウキビ畑を持つブラジルだ。生産コストも、米国がリッター当たり 30 セントであるのに対し、ブラジルは同 22 セントと高い競争力を有している。

エタノールに関するブラジルと米国の競争は、生産量に加え技術面にも展開している。バイオマスをより活用してエタノールを生産するため、ブラジル、米国などの研究者は、スイッチグラスなどの草、トウモロコシの葉、木片などを原料とするセルロース系エタノールの開発を進めてきた。ブラジルで、サトウキビの葉とバガス(絞りかす)を全量エタノール生産に使用することができれば、生産量は倍増するとされている。しかし、セルロース系エタノール生産の取り組みはパイロット・プラントでの実験段階にとどまっており、経済的に採算のとれる、商業ベースでの生産には至っていない。

多額の研究開発投資を行う米国

研究開発(R&D)への投資額では、米国がブラジルの先を行く。2007 年はセルロース系エタノールの R&D に約 15 億ドルが投じられ、ブリティッシュ・ペトロリアム(BP)などの企業が出資者となっている。同社は、約 5 億ドルをカリフォルニア大学バークレー校に寄付し、セルロースのより効率的な糖化と燃料化の手法に関する研究を進めている。同分野で最も高い技術を持つのは、カナダに本社を持つアイオージェン・バイオリファイナリー(Iogen)だ。同社は、シェル、ペトロカナダとパートナー契約を締結し、年間 4,500kl の生産規模を持つパイロット・プラントを建設した。2010 年までに、年間 205,000kl まで生産能力を高める計画である。

米国政府もセルロース系エタノールの重要性を認識しており、ブッシュ大統領は最優先事項の一つに掲げている。同大統領は 2008 年初、2017 年までに米国で 1 億 3,000 万 kl のバイオ燃料を生産すると発言、エネルギー省(DOE)は、木の葉と木片を原料としたエタノールの商業ベースでの生産実現に向け、3 億 8,500 万ドルを投じたところだ。米国がセルロース系も含むエタノールの生産増を目指すのは、60%を中東からの輸入に依存する原油の消費量を減らすというねらいがある。原油価格が 100 ドル・ラインを大きく突破した現在、米国はエタノールの増産を急ピッチで進めているが、目標からは程遠いのが現実だ。米国でエタノール生産が思う様に進まないのは、原料がトウモロコシであり、増産が食糧価格の高騰につながってしまうことが大きい。専門家によると、米国のエタノール生産の

限界量は 5,500 万 kl で、これはブッシュ政権の目標の 3 分の 1 程度である。

セルロース系エタノールでもコスト優位なブラジル

ブラジルでは、政府もセルロース系エタノール生産に関心を持っているものの、財政面などの理由から企業の取り組みに依存する部分が多い。ブラジルのセルロース系エタノール R&D で先頭を走るのは、セメント生産のボトランチン・グループが 2008 年に入って設立したバイオセル(Biocell)である。バイオセルは、同社の最初のセルロース系エタノール・プラントを 5,000 万リアル(約 2,900 万ドル)を投じて建設する予定で、2011 年までに稼動を始める。バイオセルは米国で特許登録をした技術を使い、商業ベース開発の成功に自信をみせている。同社の事業が予定通り進めば、ブラジルのエタノール生産量は 3 倍に増加する見込みだ。エタノール生産設備で国内最大手のデジーニ(Dedini)も、セルロース系エタノールの R&D に注力しており、2007 年はセルロース系エタノール開発に 1 億リアル(約 5,900 万ドル)を投じた。デジーニはサンパウロ州ピラスヌンガ市にパイロット・プラントを持っており、同社技術部門副社長のジョゼ・ルイス・オリヴェイラ氏は、「順調に進めば、2011 年から“セミ・コマーシャル”プラントが稼動する」としている。国営石油公社のペトロbrasもセルロース系エタノールの開発競争に参戦しており、2007 年 10 月にはリオデジャネイロの研究施設内にパイロット・プラントを完成させた。今後、ブラジルにおけるバイオ燃料関連の投資額は 5 億リアル(約 2 億 9,000 万ドル)に達するとみられている。

現時点では、エタノールは原油の代替燃料の最有力候補といえよう。世界での消費も伸びていくとみられ、2012 年には現在の年間 5,000 万 kl から同 1 億 1,300 万 kl に拡大すると予測されている。ブラジルには、この需要増に一国で対応できる潜在生産力があるとされており、牧草地の 20%をサトウキビ栽培に活用するだけで、全世界で消費されるガソリンの 10%の代替が可能だ。

ブラジルの研究者は、30 年に及ぶバイオ燃料の開発の歴史と原料の違いにより、セルロース系エタノール開発競争では、米国よりも自国に分があるとみる。ブラジルでは、低価格で、通常の砂糖・エタノール生産工程で入手できるサトウキビのバガスを主原料とすることが、大きなアドバンテージとなっている。ボトランチン・ニュー・ビジネス社のフェルナンド・ヘイナッキ部長は、「多額の投資により、世界で最初のセルロース系エタノールの商業プラントを完成させるのは米国かもしれない」とするものの、「価格競争力で優位にあるため、最後にこの競争を征するのはブラジルだ」と、自信を見せている。

参考資料 : “ANUÁRIO EXAME 2007・2008 infra-estrutura”

【再生可能エネルギー特集】 バイオ燃料

石油企業や大学が模索するバイオ燃料研究開発の別の道筋(米国)

英・蘭ロイヤル・ダッチ・シェル社と米バイレント・エナジーシステムズ社は、バイオ燃料の研究開発を共同で行っていることを発表した¹。現行のバイオリファイナリー²では原料を発酵させてエタノールを生産しているが、この新しい方法では、発酵の工程を省き、植物中の糖質を直接「バイオガソリン」に変換するという。バイレント社はバイオ燃料の企業であり、触媒を用いて糖質を石油の主成分である炭化水素分子に変換する技術をこれまでに開発している。この技術は「バイオフィョーミング(BioForming)」と呼ばれるもので、エタノールよりもエネルギー含有量の多いバイオガソリンを生産し、より高い燃料効率を実現することができる。この共同研究は開始されてから既に1年が経過しており、バイオフィョーミング技術の急速な進歩によって、生産量、製品組成、コストのそれぞれの目標が既に達成されているという。しかし両社は、商業化に向けて規模を拡大する前に、さらなる技術の向上を図る予定である。バイレント社によれば、このバイオガソリンは機能も性能も石油由来のガソリンに匹敵するものだという。

シェル社とバイレント社によれば、このバイオガソリンは、英BP社と米デュポン社が共同開発したバイオ燃料の「ブタノール」よりもエネルギー含有量が多いという。BP社とデュポン社は今年2月、両社の開発したブタノール（バイオブタノール）は10%以上の濃度でガソリンと混合しても燃料としての性能が落ちないと発表した³。ブタノール分子は、4つの炭素原子とそれらに結合した水素原子、および1つのアルコール基（酸素原子1個+水素原子1個(-OH)）によって構成される⁴。両社は1-ブタノール（4つの炭素鎖と1つのアルコール基から成り、アルコール基が一方の末端に位置する⁵）、2-ブタノール（4つの炭素鎖と1つのアルコール基から成り、アルコール基が中央の炭素原子に結合している⁶）、およびイソブタノール（枝分かれした炭素鎖と1つのアルコール基から成り、アルコール基が一方の末端に位置する⁷）を生産する触媒の開発を進めている。イソブタノールと2-ブタノールはオクタン価⁸の高いより優れた燃料であり、このオクタン価の高いブ

¹ シェル社のプレスリリース

http://www.shell.com/home/content/media-en/news_and_library/press_releases/2008/biofuels_virent_26032008.html

² バイオマスを原料とした大規模な化学品やエネルギーの生産プロセスおよびそのための設備。

³ デュポン社のプレスリリース

http://vocuspr.vocus.com/VocusPR30/Newsroom/Query.aspx?SiteName=DupontNew&Entity=PRAsset&SF_PRAsset_PRAssetID_EQ=109149&XSL=PressRelease

⁴ 化学式「C₄H₉OH」で表される。

⁵ 1-ブタノールの構造：CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-OH

⁶ 2-ブタノールの構造：CH₃-CH₂-CH(OH)-CH₃

⁷ イソブタノールの構造：CH₃-CH(CH₃)-CH₂-OH

⁸ エンジン内での耐ノック性を示す数値であり、オクタン価が高いほどノッキングが起これにくい。このオクタン価の高いガソリンのことを、ハイオクタンガソリンあるいはハイオクガソリンなどと呼ぶ。

タノールをガソリンに 16%混合するとエタノール 10%混合ガソリン(E10)と同等の性能を発揮することが分かっている。また両社によれば、16%バイオブタノール混合燃料には、これ以外にも E10 よりも優れた特性があるという。

一方、大学の研究室においてもまた、シェル社とバイレント社の研究と類似した方法で植物原料をバイオ燃料に変換する触媒法が発見されている。2008 年 4 月 7 日、マサチューセッツ州立大学アムハースト校の技術者らが、木材などのバイオマスを単一工程でガソリン代替品に変換する技術を発表した⁹。この技術では、触媒存在下でバイオマスを急速に加熱・冷却することにより、ガソリンと同程度の炭素数の炭化水素を 1 分以内で生産することができる。研究チームはこの技術の開発に対する助成金として 3 万ドルを大学から、40 万ドルを米国国立科学財団(NSF)から得ている。また、ウィスコンシン大学マディソン校の研究チームも、ジェット燃料の化学成分を生産する方法として、これと類似した技術の開発を進めているという¹⁰。

以上

翻訳：桑原 未知子

出典：Oil Companies, Universities Investigate Alternate Paths to Biofuels

http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/news/news_detail.html?news_id=11710

⁹ マサチューセッツ州立大学アムハースト校のプレスリリース

<http://www.umass.edu/newsoffice/newsreleases/articles/73832.php>

¹⁰ ウィスコンシン大学マディソン校のプレスリリース

<http://www.news.wisc.edu/releases/14390>

【再生可能エネルギー特集】

フィリピンの再生可能エネルギー政策の動き

1. 再生可能エネルギーに関する政策の概要

再生可能及び従来型エネルギーに関する政策は、アロヨ政権がエネルギー事業と電化事業を最優先課題に指定している「2005～2014 年中期開発計画」及び「10 項目アジェンダ」に含まれている。特に再生可能エネルギー政策に関しては、2007 年 1 月に発行された省令第 2007-05-2006 号（別称：バイオ燃料法施行規則）の第 2 節からうかがい知ることができる。

- 国産の再生可能及び持続可能なクリーンエネルギーを開発及び利用し、輸入石油への依存を減らす
- 有害ガスや温室効果ガスの排出を削減する
- 地方の雇用創出と歳入確保
- 国内の自然生態系、生物多様性、食物確保への損害を生じさせない、再生可能なクリーンエネルギー供給を確保する

政策決定に関連するその他主要な動きは、エネルギー省(Department of Energy)のトップ交代である。2007 年 8 月、ラファエル・ロティリヤ氏に代わり、環境天然資源省(Department of Environment and Natural Resources)の前長官アンヘロ・レイエス氏が、エネルギー省新長官に就任した。レイエス新長官は就任演説で、電気料金の引き下げを公約し、そのためには 2001 年電力産業改革法(EPIRA 法)の改正が必要であるとの考えを表明した。また新長官は「バイオ燃料プログラムを早期に実施させるとともに、天然ガス、太陽光、風力などの代替エネルギー源の開発も促進する」と公言した。

(1) 電力

2007 年 8 月 20 日に開かれたエネルギー産業会議で、アロヨ大統領は、国家電力公社(NPC)の発電施設、国家送電公社の権益、フィリピン国家石油公社・エネルギー開発公社(PNOC-EDC)の政府保有株 40%など、エネルギー資産の民間への売却を迅速に実施するよう命じた。また大統領は、再生可能エネルギー開発の最前線に立ち、上院で審議中の再生可能エネルギー法を優先法案に指定しているほか、海外への公式訪問においては、必ずエネルギー問題を議題に挙げている。2007 年 5 月に行われた日本公式訪問では、日本国際協力銀行(JBIC)の篠沢恭助総裁と会談し、フィリピンの電力エネルギー分野など優先セクターの開発計画に対する継続的な支援表明を取り付けた。なお JBIC は、フィリピン各地の丸紅の電力事業を支援している。

(2) バイオ燃料

車両用燃料にバイオ燃料の混合を義務付けるバイオ燃料法（共和国法第 9367 号）の施行（2007 年 1 月）により、運輸業界は代替燃料の生産と利用において、政府の強力な後押しを受けることになった。2007 年 5 月、エネルギー省がバイオ燃料法施行規則を示し、同法の実効性に弾みがついた。ただ、バイオ燃料の利用への国民の反応は、大統領もフィリピン大学でのエネルギー研修開発委員会で言及した通り、それほど積極的なものではなかった。大統領は、「自動車の所有者は、バイオ燃料と輸入燃料の混合製品の安全性に確信が持てないようであり、実際の使用に関しさらに国民の支持を得ていかねばならない」としている（2007 年 3 月 16 日付けフィリピン・デイリー・インクワイラー紙より）。

代替燃料の生産という面では、投資委員会(BOD)が国内のバイオエタノール燃料製造企業に優遇措置を付与する規定を設けており、フィリピン企業バイオフューエルズ 88 によるバターン州での、サトウキビまたはモラス（糖液）を原料とする燃料用無水エタノールの生産事業（事業規模 7 億ペソ¹）を承認した（2007 年 3 月 21 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙）。これに関連するものとして、エネルギー省では、代替燃料車両(AFV: Alternative Fuel Vehicles)の課税引き下げまたは化石燃料の排除レベルを基に物品税を引き下げる法律の制定を明言した。これらの減税策は、フィリピンの消費者に対してエタノール（E10² またはそれ以上のブレンド）またはガソリンを使用するフレキシブル燃料車の使用拡大を促すために検討されている方策の一つである（2007 年 7 月 10 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙）。またバイオ燃料生産に関連して、エネルギー省のアンヘロ・レイエス新長官は、電力セクターのみならず、運輸、商業、工業各セクター向けの、代替燃料である天然ガスの開発に注力していくということを確認している（2007 年 8 月 14 日付ビジネスワールド紙）。

フィリピン政府がエネルギー及び電力関連の 2 つのセクターをいかに重視しているかは、エネルギー自給自足に向けた関連法規や各種プログラム、また電力産業改編プログラムの数と内容にも現れている。

(3) 石油価格高騰を受けた新たな措置

だが 2007 年下半期になると、政府のエネルギー問題への関心は、消費者及びフィリピン経済全体に多大な負担を強いる、世界的な石油価格の高騰に向けられた。上昇し続ける燃料価格と同時に、国内の政情不安もあり、再生可能エネルギー事業の進展がさほど見られない結果となっている。エネルギーサミットは開催されたものの、燃料価格は引き続き上昇しており、再生可能エネルギーへの関心は脇に押しやられてしまっている。しかしながら、1 バレル 100 ドルとなる石油価格問題は、負担軽減策になりうる再生可能エネルギー及び代替エネルギーの役割を強調することに変わりはない。エネルギー省は原子力の使

¹ 1 フィリピンペソ=約 2.5 円

² エタノールを 10%混合したガソリン

用検討にも言及したが、その莫大な建設コストだけではなく、チェルノブイリ原発事故や柏崎原発事故などを引き合いに出し、危険性を強調するグリーンピースなどの環境団体から強硬な抗議を受けた（2007年9月13日付ビジネスワールド紙より）。

民間セクターからは、ガソリン価格引き下げのため減税の声が上がったが、国家財政が逼迫していることもあり却下されている。（2007年11月7日付ビジネスワールド紙より）
エネルギー省は代替案として下記を提案している。

- a. 2006年バイオ燃料法の実施計画の前倒し。計画では2008年中にバイオディーゼルの混合率を1%に、2009年には2%、また、ガソリンへのバイオエタノール混合を2009年2月から開始するとなっている。
- b. 再生可能エネルギー法案の成立推進
- c. 電力産業改革法(EPIRA)の再検討。オープンアクセスを推進するため、あるいは電力事業間の競争を推進するため、電力資産民営化の条件緩和の必要性を検討する。

（2007年11月7日付ビジネスワールド紙より）

(4) 2つの長期目標

エネルギー産業に押し寄せる緊急問題はさておき、エネルギー省が毎年発行する「フィリピンエネルギー計画アップデート（2007年度）」でも言及されているように、エネルギー及び電力に関する政府の最終目標は「エネルギー自立」と「電力セクター改革」である。

エネルギー自立に関し、エネルギー省では「再生可能エネルギー政策フレームワーク(REPF)」を作成し、2つの長期目標を掲げている。

- 1) 再生可能エネルギーの増産 – 向こう10年間で能力を100%増強する
- 2) 向こう10年間で石油1,000万バレル相当の再生可能エネルギーの貢献度を高める

2007年フィリピンソーラーカー除幕式でエネルギー省のレイエス長官は演説を行ない、2つの長期目標に賛同し、政府は

- 1) 世界一の地熱発電国となること
 - 2) 南アジア一の風力発電国となること
 - 3) 2013年までに水力発電容量を2倍にすること
 - 4) バイオマス、太陽熱、海水発電の容量を131MWまで引き上げること
- を目指していると述べた。

上記の通り、政府の目標は非常に壮大なものである。エネルギー省の政策とプログラムは大統領及び議会から全面的に支持を受けている。しかしながら、実施のペースが遅い理由には、主に財政上の問題が挙げられる。外国の民間セクターからの投資及び財政援助は上記の目標実現のために欠かせない。再生可能エネルギー法が可決したあかつきには、投資が呼び込まれることが期待される。

(5) 税制優遇措置

立法面では、大統領は再生可能エネルギー法案を優先法案に位置付けている。同法が目立った点として、再生可能エネルギーへの投資に免税措置を付与していることが挙げられる。

この再生可能エネルギー法案では、財政面及び非財政面での優遇措置が、再生エネルギー事業に付与される。(1) 再生可能エネルギー装置の開発業者、製造業者、加工業者、原料供給業者は、部品、原料等の輸入関税無税、(2) 国産の資本財、部品、原材料の税額控除、(3) 所得税免税期間の付与。開発業者への追加優遇措置としては、装置及び機器の特別不動産税率、加速償却、ユニバーサル・チャージ免除と、VAT ゼロレートが付与される。さらに、操業開始から 3 年間に発生した営業損失を、損失が発生した年から 5 年間繰越、純所得から控除できるという営業損失繰越(NOLCO)も付与される(2007 年 11 月 28 日付ビジネスワールド紙より)。

投資家をさらに呼び込むため、税務優遇措置の調整となる投資優先計画の見直しの頻度を、毎年 3 年毎に軽減することを検討している。その理由として(1) 投資傾向は毎年変化するものでないゆえ、3 ヶ年計画が有効であろう、(2) 3 ヶ年投資優先計画は企業の投資計画立案に役立つであろう、(3) 3 ヶ年投資優先計画は継続性がある、という点を挙げている(2007 年 11 月 8 日付フィリピンスター紙より)。

国家バイオ燃料委員会は、投資及び生産業者へのさらなる優遇措置を求めている。これには、「バイオ燃料投資地域」を「経済特区」に指定すること、生産業者に保証を与えること、国産の準備が整った段階で、輸入バイオエタノールの関税を引き上げることなどがある。事実、「バイオ燃料蒸留用地」を「経済特区」に指定する提案が上院で検討されているが、現存のフィリピン経済特区庁(PEZA)の下、そうした用地を「農業経済特区」に認定しているという現状がある(2008 年 1 月 9 日付ビジネスワールド紙より)。

2. 再生可能エネルギーに関する政府キャンペーンと個別プログラム

(1) 風力発電

南アジア地域で最初に実施された風力発電がイロコスノルテ州バンギ町のバランガイ・バルヤンにあり、現在も周辺地域に安定した電力を供給している。ノースウィンド・デベロプメント社が建設を手掛けた 25MW の同風力発電所は、第 1 期で 15 基のウィンドタワーを完成させた。現在第 2 期に入り、さらに 5 基を建設し、発電能力は 8MW 引き上げられる予定である。エネルギー省の再生可能エネルギー部のレイ・リガノル氏によると、ノースウィンド社は、カガヤン州およびイサベラ州でも風力発電事業を検討している一方、政府系企業フィリピン国家石油公社(PNOC)も、ミンダナオ、ミンドロ、マスバテ、ロンブロ

ンの各州で事業を検討しているという。2006年のフィリピンエネルギー計画(PEP)アップデートでは、注目すべき発電事業として、周辺地域の電力安定化を目指したバタネス州バスコのベルニエ 60kW の風力タービンと、5kW のディーゼル発電を挙げている。

また、エネルギー省は風力発電に適した 16 の地域を公表し、計 345MW の発電事業に民間セクターを誘致している。

さらに、エネルギー省再生可能エネルギー管理局の 2007 年報告書によると、フィリピン政府は 2007 年 10 月 2 日、ノースウィンド・バングイ・ベイ・風力発電事業へのローンを獲得した。貸付銀行は ABN-Amro コペンハーゲンと Nordea 銀行デンマークで、事業者は Vestas 社である。ローン額は 1,310 万ドルで、8.25MW を発電することが期待されているプロジェクトフェーズ 2 に充当される。

(2) 太陽光発電

アロヨ政権が 10 項目政策の一つに掲げている全国バランガイ（「バランガイ」はフィリピン独特の行政単位で、町や市の下に位置する）の 100%電化プログラムは、主に太陽発電の導入によりこれまで 90%達成している。太陽発電は特に送電が届かない遠隔地で、石油燃料の代用として効果を上げてきた。2006 年 PEP アップデートの報告によると、PNOC のソーラー・ホーム・システム(SHS)配給プロジェクトにより、遠隔地に 15,100 の太陽発電を導入したという。ソーラー・ハイブリッド事業は、米国際開発庁(USAID)やベルギー政府など海外から資金提供を受けている。また民間投資家も国内の太陽発電に関心を示している。2007 年 6 月 13 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙によると、中国の発電会社である四川電力会社(Sichuan Electric Power Company)が、フィリピン国内で太陽光発電事業を実施したいとの意向を表明した。

この分野で特筆すべきことは、太陽電池を利用したソーラーカー「シナッグ」が開発されたことである。デラサール大学が企業との連携で誕生させたもので、フィリピン初のソーラーカーは、2007 年 10 月 24 日にオーストラリア・アデレードで開催された「ワールド・ソーラー・チャレンジ」に出場し、世界から 40 団体が参加する中、11 位につけた。

また、地方電化事業も民間セクターからの支援を集めており、全国のバランガイを 100%電化することに貢献している。例えば、米国カリフォルニア州に本社を置く Sunnyvale 社が、ミンダナオの遠隔地の電化事業を支援しているとの報告が、ミンダナオ遠隔地再生可能エネルギー同盟(AMORE)から寄せられている（2007 年 12 月 6 日付フィリピンスター紙より）。

さらに、政府ホームページでは、2008 年 1 月現在、全国 42,000 のバランガイの 3%を除く、全てに電気が供給されているとのことである。これは特に遠隔地の場合、太陽発電により可能になっている。

(3) 水力発電

政府が掲げる水力発電能力の目標は、2013 年までに、現在の 2,518MW から 2 倍の 5,468MW に引き上げるというものである。フィリピンには 134 の水力発電所があり、うち 21 件は大型水力発電、52 件は小規模水力発電、61 件はマイクロ水力発電となっている。

2006 年 PEP アップデートでは、エネルギー省の監督下で実施されている下記のミニ水力発電事業が紹介されている。

- 0.96-MW in San Fernando, Sibuyan Island, Romblon
- 0.50 MW in Loreto, Dinagat Island, Surigao del Norte
- 2.5 MW in Sevilla, Bohol
- 0.75 MW in San Luis, Aurora
- 1.0 MW in Surigao del Sur

(4) 海洋発電

国内の海洋発電は未開の分野であるが、フィリピンは海洋温度差発電(OTEC)に適している可能性が高いと言われている。エネルギー省は、ヒナトアン・パッセージ、カマリネス・スール、北西サマール、スリガオ、バタン島、カタンドアネス、タクロバン、サンベルナルディノ海峡、バブヤン島、イロコスノルテ、シャルガオ島、ダバオオリエンタルなどに優良の候補地があるとしている。事業コストが高いことや、見本・先例が少ないことで投資家が不足しており、これが海洋電力開発の主な障害となっている。

(5) 地熱発電

フィリピンは依然として世界最大の地熱発電国の地位を保持しており、向こう 10 年の最大発電能力は 1,200MW となっている。エネルギー省の報告によると、フィリピン国家石油公社－エネルギー開発公社(PNOC-EDC)は現在、北部ネグロス地熱発電事業(53.8MW)、ナスロ地熱発電事業(28MW)の 2 つのプロジェクトを進めており、それぞれ 2007 年、2008 年に始動する予定である。

また 2007 年 9 月に、アロヨ大統領は行政命令第 661 号を発行し、国内既存の 7 つの地熱発電地域をフィリピン経済特区庁 (PEZA) 管轄下の経済特区に認定した。同年 11 月には、さらにネグロスオキシデンタルのムルシアが追加された。

(6) バイオ燃料／バイオマス発電

再生可能エネルギーの中で最も活発なのがバイオ燃料やバイオマスの分野であり、これがバイオ燃料法の成立と、世界的な傾向として穀類の燃料利用活性化に寄与している。バイオ燃料法第 5 条では、同法施行から 2 年以内に、国内のガソリン燃料製品のバイオエタノール含有率を 5%以上とすることを石油各社に義務付けている。この規定により、政府や民間投資家の、穀物やその他バイオマス源の生産に対する関心が一気に高まった。2007 年 3 月 1 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙によれば、フィリピン国家石油公社

ー代替燃料公社(PNOC-AFC)に国から付与された 2007 年度予算は 12 億 5,700 万ペソであり、うち 6 億 8,000 万ペソはバイオディーゼル燃料の主要な原料となるヤトロファの苗木農場の建設に充てられると報じた。エネルギー省によれば、国内におけるバイオマスの潜在的供給源として、木材の廃材、バガス（サトウキビの絞り粕）、ココナツやコメの余剰物、家畜糞尿、都市固形廃棄物などがあるという。また PNOC-AFC は先ごろ、バイオディーゼルの原料として藻類を利用することも検討していると発表した。米国のデータによると、1 ヘクタール分の藻で年間 1,600~2,000 トンのオイルが生産できるという（2007 年 3 月 29 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙より）。

バイオマス発電への民間セクターの参入は、ヤトロファやキャッサバ生産への関心が高まるなど、少しずつであるが活発になってきている。イースタン・ペトロリアム(EPC)社は現在、中国企業と国内の複数の地域でエタノール製造工場を建設する方向で交渉中であり、この工場ではサトウキビの代わりにキャッサバを原料とするとしている（2007 年 4 月 16 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙より）。

従来型燃料とバイオエタノールを燃料にするハイブリッド車に対して、国際的な関心が高まっている中、フォード・モーターズは 2007 年 6 月、アロヨ大統領が出席する中、国内初のフレキシブル燃料車両を発表した（フィリピン 6 月 17 日付けフィリピン・デイリー・インクワイラー紙より）。フォードはフレキシブル燃料エンジン製造施設をラグナ州サンペドロに所有しており、ガソリンとバイオエタノールの混合燃料を使用する車両を製造している。

フィリピン企業バイオフューエルズ 88 は現在、バタアン州マリベレスにモラス（サトウキビの糖液）を原料とする無水エタノール製造工場（1 日の生産能力 6 万リットル）を建設している。前述の通り、バイオフューエルズ 88 は、投資委員会(BOI)から「非パイオニア事業」の認定を受け、4 年間の免税措置を受ける（2007 年 3 月 21 日付フィリピン・デイリー・インクワイラー紙より）。

この再生可能エネルギー源に関しては 2008 年初旬、文学賞受賞者 Harmut Michel 氏が、食糧生産に使用する農業地域が減少するため、国家の国民への食料供給能力が危険に晒されるとの発言をした。これに対し、バイオ燃料法の立案者である Miguel Zubiri 上院議員が反論し、バイオ燃料及びバイオディーゼルの製造には食品を使用しないと述べた。

バイオ燃料プログラムの反対、反論はあるものの、大多数はバイオ燃料及びバイオディーゼル製造への関心を表明している。2008 年 1 月 16 日付マニラタイムズ紙によれば、スペインの投資家はヤトロファ生産のため、パラワン島の 1 万 ha に関心を寄せているとのことである。

投資委員会(BOI)は Bukidnon にあるバイオエタノール生産工場に財政優遇措置を付与した。この事業は Bronzeoak Philippines 社と Green Renewable Holdings 社のジョイントベンチャ South Bukidnon Bioenergy.社のものである(2007年10月19日付ビジネスワールド紙より)。バイオ燃料法では、バイオ燃料への投資には6年間の所得税免税期間を含むパイオニアステータスが付与される。潜在的な投資家は、Cagayan、Pampanga、Batangas、Southern Leyte、Negros、Panay にエタノール工場を建設することを検討中であるとのことである。

【個別特集】 海外出張報告 超電導

超電導機器における技術開発状況調査（韓国）

NEDO 技術開発機構 新エネルギー技術開発部
三木 義弘

1. はじめに

超電導分野においては、超電導線材開発の著しい進展に伴い、超電導機器の実用化を視野に入れた技術開発が各国で進められている。特に、米国、ヨーロッパ、韓国、中国で技術開発が進められている。この度、「超電導分野における技術開発状況に関する調査」の一環として超電導機器の技術開発を活発に進めている韓国の超電導機器技術開発状況について情報収集したので、その概要について報告する。

2. 訪問先及び概要

今回の訪問先は以下の2機関である。

- (1) KEPRI (Korean Electric Power Corporation) 研究所(高敞)
- (2) KERI (Korea Electrotechnology Research Institute) 研究所(昌原)

2.1 KEPRI 研究所

KEPRI (Korea Electric Power Research Institute) は、韓国国内唯一の送電・配電会社である KEPCO (Korean Electric Power Corporation) の研究機関で、韓国の5大都市の一つ光州（ソウルの西南部にあり、ソウルから飛行機で約1時間）の北西60キロの海岸沿いにある、光州から車で約1時間である。韓国では、発電会社は6社あるが、送電・配電会社は1社（KEPCO）で、KEPCOの株式は、51%が政府、49%が公開されている。

今回訪問したKEPRI研究所（高敞）は、超電導、遮断器、超高压架空送電等の研究開発を行っている試験場である。この試験場では、2つの超電導ケーブルプロジェクトの試験が進められている。ひとつは、KEPRIプロジェクト（住友電気工業（以下、住友電工）社製の100mケーブル）で、もうひとつは、LSケーブルプロジェクト（LSケーブル社製の100mケーブル）である。それぞれのケーブルプロジェクトの開発目的、実施組織は全く異なっており、それぞれ独立したものである。KEPRIプロジェクトは、KEPCO/KEPRIが進める研究開発であり、資金もKEPRIと政府が分担している。試験目的は、超電導ケーブルの運用を実用性の立場から検証するものである。一方、LSケーブルプロジェクトは、KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)が進めるDAPASプログラムの第2フェーズにあり、超電導ケーブル自身の開発を目的としており、KERIとLSケーブルが進める研究開発である。

(1)KEPRI プロジェクト

試験に使用している超電導ケーブルの仕様は 22.9kV、1,250A、50MVA、長さ 100m (地中部 55m 長)、低温絶縁方式の 3 芯一括型で、住友電工が製造している。線材は、住友電工社製の Bi2223 銀シース線材を用いている。22.9kV の電圧階級は韓国の配電系統で、その上位の電圧階級は 154kV である。2006 年 4 月から試験を開始しており、来年の 9 月まで実施する予定とのことである。

KEPRI が超電導ケーブルを開発している理由は、大電力送電、低コスト、コンパクトということで将来の地中送電線と位置づけている。特に、韓国は電力需要が年 6%増加していること、ソウルには特に電力消費が集中していることで、配電系統への超電導ケーブルの期待が高いとのことである。

KEPRI プロジェクトの試験設備（冷凍機室、ケーブル終端、洞道）を見学した。

	
課電側気中終端 (住友電工社製 100m 超電導ケーブル)	洞道内の状況 上のケーブル：LS 社製ケーブル 下のケーブル：住友電工社製ケーブル

(2)LS ケーブルプロジェクト

試験に使用している LS ケーブルの仕様は 22.9kV、1,250A、50MVA、長さ 100m、ケーブルの一部は、住友電工社製 100m ケーブルと同じ洞道に布設されている。洞道内で、住友電工社製超電導ケーブルと、LS 社製超電導ケーブルを比較すると、住友電工社製超電導ケーブルの仕上がり外径 135mm に対して、LS 社製超電導ケーブルは一回り大きいサイズである。その理由としては、住友電工社製超電導ケーブルは断熱管として薄肉のステンレスコルゲート管を使用しているのに対して、LS 社製超電導ケーブルはアルミコルゲ

ートを用いているために、管の肉厚分、ケーブルサイズが大きくなっているとのことである。また、このケーブルの熱収縮対策としては、洞道内部の直線部については、ケーブルがスネーク布設¹されている。また、地上部においては直径 10m で U 字に曲げられており、この部分も熱収縮を吸収する挙動をするそうである。ケーブル付属品については、終端接続部がケーブル両端に取り付けられているが、住友電工社製終端接続部に比べて一回り小さいものである。また、このケーブルは地上部に中間接続部を有している。

冷凍システムについては、冷凍機を利用したクローズドループの冷却システムで、ケーブルを冷却するために循環する液体窒素を冷却するために、1kW のスターリング冷凍機と 600W 2 台の GM 冷凍機が取り付けられている。ケーブルの運転時の熱負荷が 1.8kW であることから、冷却容量としては 2.2kW（絶対温度 80K）冷凍機で冷却が行われている。これら冷凍システムは、LS ケーブル社が自ら設計・組み合わせを行ったものである。

超電導ケーブルの運転は、KEPRI プロジェクトのコントロール室とは別のところから行われ、そこにはパソコンが 1 台設置されており、ケーブルや冷凍システムなどのモニターと運転の管理を行っている。

LS ケーブルプロジェクトの試験は、受入検査をすでに終え、長期試験も無事に完了している。

	
LS 社製ケーブル 説明ボード 後ろが、100m ケーブルの地上布設部分	LS 社製ケーブル 地上部 10mU 字部 熱収縮で、ケーブルは内側に移動する。
	
LS 社製ケーブル 終端接続部	LS 社製ケーブル 中間接続部

¹ ケーブルは熱により伸び縮みするため、余長を持たせて布設する。余長部分がスネークのようにくねった布設となるため、スネーク布設と呼ばれる。

2-2. KERI 研究所

KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)は、韓国の電力技術の開発と、電力機器の試験を行うために設立された研究機関で、釜山（ソウルの南東部、ソウルから飛行機で約1時間）から車で約30分のところにある。KERI 研究所の概要は以下のとおりである。

- ・1976年、電力・通信の研究所として設立。
- ・1985年に電力と通信が分割され、現在の KERI となる。
- ・トータル予算は、2007年度で約100億円。

R&Dのうち政府の資金援助は50億円、そのうち35億円が MOCIE（産業資源部：Ministry of Commerce, Industry and Energy）、10億円が MOST（科学技術部：Ministry of Science and Technology）からのサポートである。

- ・研究従事者は、517人。
- ・9つの研究機関に分類されて、Advanced Materials and Application Research Division の中に、超電導グループがある。

KERI の超電導研究は、DAPAS プログラムの中で実施されている。

DAPAS (応用超電導技術による先端電力システム開発)² プログラムは、21世紀フロンティア技術開発の一環として行われている。21世紀フロンティア研究開発では、情報・通信、バイオ、ナノ、電気技術、宇宙航空技術の分野で23のプログラムが1999年にスタートしている。

DAPAS プログラムは、2001年に MOST によって採用され、超電導機器を含めた基礎研究開発を進めている。2001年～2003年までの第1期、2004年～2006年の第2期、2007年～2010年までの第3期となっている。開発ターゲットは、ケーブル、変圧器、限流器、モータ、2G（第二世代）ワイヤーである。DAPAS プログラムは MOST の所管で行われている。一方で、SMES（超電導電力貯蔵）の研究も韓国では行われているが、SMES プロジェクトは、MOCIE の所管で行われているために DAPAS プログラムの一環ではなくて、独立した研究となっている。

DAPAS プログラムの機器の市場性は、現在韓国では電力需要の伸びが年6%と大きく、特にソウル市街は、全人口の40%が集まっていることから電力消費の40%近くを占め、効率、機器のコンパクトさにより、導入可能性があるとのことである。

DAPAS プログラムについては、第3期のプログラムがスタートしており、このプログラムの目標と参加機関は、次頁表の通りである。

² Development of Advanced Power System by Applied Superconductivity Technologies

機器	開発仕様	参加機関	試験場所	予算 (百万ドル)
ケーブル	154kV, 1GVA, 3 相, 200m	KERI, LS cable, CVE, KEPCO	Goachang test site (KEPRI)	18 (9)
変圧器	154kV, 33MVA, 1 相	Korea Politec Univ.	KERI	4 (4)
限流器	1) 22.9kV 3kA 2) 154kV 4kA	KEPCO, LS IS, YU	Goachang test site	9 (5)
モータ	5MW	Doose HI	Doose HI	9 (4.5)
2G ワイヤ	500A 1km	KERI, SuNan		18 (13)

予算の()内は国の負担金



DAPAS プログラムのパネル

3. おわりに

今回の韓国出張は、韓国では超電導機器開発が積極的に行われているという情報はあ
ものの、情報公開されているものが少ないため、現地で情報収集するためKERI、
KEPCO/KEPRIを訪問したものでDAPASプログラムは10年間の計画で長期的な視野に立
った基礎研究が行われており、韓国においても着実に実用化に向けた技術開発が進められ
ている。DAPASプログラムの第3期は、商業化を目指した開発という位置づけで行われて
いるということである。どのように商業化していくのかということについては、今回の出
張では十分につかみきれなかったが、韓国では、ソウルが人口稠密であるため電力の大消
費地域となっており、大電力を輸送・供給する手段として超電導電力機器に期待している
ということが背景にあるようである。今回の現地訪問では、研究開発にたずさわる技術者
の方から直接お話を伺うことができ、たいへん有意義なものであった。

【エネルギー】 **燃料電池自動車** **発電**

ドイツにおける水素・燃料電池技術開発の取り組み

ダイムラーの燃料電池車開発

2008年3月、ドイツ自動車メーカーのダイムラーは、2010年からの実用化を目指している燃料電池車について、マイナス25度の屋外環境での走行実験に成功したと発表した。極寒のスウェーデン北部で実施した冬季テストで、メルセデスベンツBクラスをベースとした燃料電池車「F-Cell」の走行試験を実施し、燃料電池の始動性能について、徹底的に検証を行った結果、これまで実験室で証明されていた性能が実際の屋外低温条件の下でも確認できたと発表した。

CO₂を排出しない水素・燃料電池車への期待が高まる中、ダイムラーは、2010年夏にも、初の燃料電池量産車となる「F-Cell」を導入する方針で、2010年初めからの生産開始を計画している。搭載する燃料電池はマンガン系リチウムイオン電池で、これまでのAクラス用電池と比較して、出力は30%、燃費は16%改善され、通常の2リッターガソリンエンジンモデルを上回る優れた走行性能を実現するという。

ただし、燃料電池は、化学反応で水を生成するため、氷点下の環境下では、エンジンルーム内での凍結の問題が課題とされていた。ダイムラーは、氷点下の始動についても、エンジン停止時にエンジン内の水分を蒸発させる風を供給するターボチャージャーや加・除湿システムなどの改良によって、これを解決したという。

ヴェーバー取締役・開発部門統括は、「今回の走行試験の結果、ダイムラーは燃料電池車の量産化に向けてまた一歩大きく前進した」、と語った。

発電システムへの応用

自動車などの運輸部門のほか、水素・燃料電池の実用化が期待されている分野として、エネルギー貯蔵への応用が上げられる。風力発電や太陽光発電では、気象環境による変動が大きい発電量をどう調整するかが重要な課題となる。その一つの方法は、再生可能エネルギーで発電された電力を他のエネルギーに変換して貯蔵することである。

特に、ドイツでは、今後、大型の洋上風力発電パークが建設されていくものと見られるだけに、エネルギー貯蔵技術に対する期待が大きい。洋上風力発電の拡大とともに、沿岸地域での送電線網の整備も必要不可欠となることから、洋上風力発電とエネルギー貯蔵技術を組み合わせれば、発電量の変動に効率よく対応できるばかりでなく、送電線網の整備状況に応じて発電量を調整していくという利点も生まれる。

そのエネルギー貯蔵法の一つとして考えられているのが、発電された電力で水素を製造して貯蔵しておく方法で、その水素を使って電力の需要に応じて燃料電池で発電するというものである。

現在、ドイツには、再生可能エネルギーと水素・燃料電池技術を組み合わせた設備として、リューベック専門大学水素燃料電池技術能力センターが開発、設置した実証設備がある。同設備は、大学構内の多機能センターの屋上に設置された 12 基の小型風車（発電容量約 10kW）で発電し、その電力を使って水の電気分解装置で水素を製造し、その水素を圧力タンクに貯蔵した後、燃料電池で発電している。それによって、0kW から 10kW に変動する発電容量を 0.7kW から 4kW に変動幅を縮小して、常時発電できる状態にしている。

また、EU プロジェクトである HyWindBalance プロジェクトでは、小型の風車と出力 5kW の電気分解装置、出力 1.2kW の燃料電池を組み合わせた研究設備で、電力会社の EWE 社、Overspeed 社、オルデンプルク大学などが共同で、水素・燃料電池技術を将来の大型洋上風力発電設備と組み合わせる技術の可能性を研究、開発している。

ドイツ初の商用設備は、2008 年にも設置される見込みである。ドイツ北東部で 70 基の風力発電設備（発電容量は全体で 120MW）を有する Enertrag 社が、シュトラールズント専門大、ブラウンシュヴァイク工科大などと共同で、ドイツ北東部のプレントラウの近くに水電気分解装置（500kW）と水素貯蔵装置、PEM 燃料電池を設置することを計画している。同設備では、送電線網に売電できなかった風力発電からの余剰電力で水素を製造し、インテリジェント制御システムを使って、ライプツィヒ電力取引市場で電力が最も高い価格で取引されている時に、貯蔵されている水素を使って燃料電池で発電し、より経済的に売電する計画である。

略語：

PEM 燃料電池 = 固体高分子型燃料電池

【エネルギー】研究開発モデル

米アルゴンヌ国立研究所がGREET最新モデルを発表

－輸送燃料と車両技術の最新の環境影響を評価－

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)傘下のアルゴンヌ国立研究所(ANL)は、GREET¹モデル（輸送における温室効果ガス、規制排出物、およびエネルギー使用量のモデル）の最新バージョンを発表した。この最新GREETモデルは、研究者達が新しい輸送燃料と改良型車両技術の環境影響を評価、比較するためのより優れたツールとなるだろう。

アルゴンヌ国立研究所のMichael Wang博士が主導する輸送部門のグループは、燃料経路と車両技術の新しい研究開発を基にして、GREETモデルの主要なパラメーター（媒介変数）と前提条件を定期的に更新している。現在GREETモデルは100種類以上の燃料生産経路と、80種類以上の車両・燃料システムをシミュレートできる。GREETモデルには世界中で4,000以上の登録ユーザーがいる。

今回発表された最新版によって研究者達は色々なシミュレートが可能になる。例えば、ブラジルのサトウキビから製造されて米国の自動車で消費されるエタノールの燃焼や、輸送燃料としての見込みがあるバイオブタノール²の生産・消費、水素化精製(hydrogenation)を通したバイオディーゼルと再生可能ディーゼルの生産・消費。さらに、石炭／バイオマスの双方を用いたフィッシャー・トロプシュ法³によるディーゼルの生産や、トウモロコシ原料の各種エタノールプラントにおける異なった製造用燃料についてもシミュレートできる。

それに加えて、GREETの既存の燃料経路シミュレーションの大部分が更新されている。一例では、石油精製にかかるエネルギー効率がエネルギー情報局(EIA: Energy Information Administration)の最新の調査データとともに更新された。今回機能が強化された経路には、以下のものが含まれる：大豆原料のバイオディーゼルの副産物を処理する手法3件、熱力学第一法則で計算する天然ガス及び水素ガスの圧縮エネルギーの効率性、ならびに、燃料補給所に水素ガスを供給するためのチューブトレーラー（ガスタンクローリー）の運送オプション。

¹ Greenhouse gases, Regulated Emissions and Energy use in Transportation

² ブタノールは分子中の炭素数が4のアルコール（化学式 C_4H_9OH ）。エタノールは炭素数が2（化学式 C_2H_5OH ）。

³ 石炭等をガス化して、そのガスを合成して炭化水素を製造する方法。

旧版のGREETモデルに一つの機能を追加

燃料サイクルのGREETモジュールに加えて、車両サイクルのGREETモジュールも追加システムに組み込まれている。これにより、研究者達は乗用車と軽トラックだけでなくスポーツ用多目的車もシミュレーションすることができる。今回のバージョンは、自動車のシャシで使われているアルミニウムを生産するのに必要なエネルギーの消費量を評価するのに適している。

GREETを用いて、今後考えられる燃料の温室効果ガス規制の検討に役立ててきた州機関・連邦政府機関もある。例えば、米国環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)は再生可能燃料と代替燃料の利用が拡大された場合にもたらされる温室効果ガスの排出削減量についての分析を行う際に、GREETモデルの特定の前提条件を使用している。カリフォルニア大気資源局(CARB: California Air Resources Board)は低炭素燃料基準(LCFS: Low Carbon Fuel Standard)の策定のためにGREETを使用した。

GREETプロジェクトの開発・メンテナンスに対する資金援助は、米国エネルギー省と、エネルギー効率・再生可能エネルギー局(車両技術プログラム、バイオマスプログラム、及び水素燃料電池・インフラ技術プログラム)によって行われた。

GREETのソフトウェアは無料で入手できる。GREETの機能についての詳細は、GREETのウェブサイトから参照されたい⁴。

アルゴンヌ国立研究所は、科学・技術分野の国家の緊急の課題に対して建設的な新しい解決策を発見するために、世界の最も優秀な科学者と技術者を集めている。米国の最初の国立研究所であるアルゴンヌは、実質全ての科学専門分野において、最先端の基礎・応用研究を実施している。アルゴンヌの研究者達は、科学的な課題を解決し、国の科学的リーダーシップを推進させ、より良い国の未来を築くために、企業、学術機関および連邦・州・地方自治体機関からの何百人もの研究者達と緊密に連携を行っている。60カ国以上の国籍の雇用者からなるアルゴンヌは、米国エネルギー省科学局の委託を受けて UChicago Argonne, LLC⁵が運用している。

翻訳：NEDO 研究評価広報部

出典：http://www.anl.gov/Media_Center/News/2008/news080508.pdf

⁴ <http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html>

⁵ シカゴ大学関係の有限責任会社。

【環境】気候変動

太陽活動周期が気候変動に与える影響を NASA が測定（米国）

－最近の気候変動は人間の活動による影響のほうが大－

生命が誕生して以来、太陽は、気候を含め地球上のほとんどすべてのものにパワーを与えてきた。太陽はまた年に一度、季節的な影響を与え、1 年を通じて地球の向きが変化するのに応じて各半球の特徴を変えているのである。しかし、産業革命以来、新しい力が地球の気候に重大な影響を及ぼし始めた。

「過去 20～30 年、われわれは温室効果ガスが最近の気候変動に影響を与える主要因だと考えていた。」とメリーランド州グリーンベルトにある NASA ゴダード宇宙飛行センターの気象学者ロバート・キャハラン氏は述べている。

この 30 年、NASA の科学者たちは太陽と地球とのユニークな関係について調査してきた。科学者たちは、太陽放射線・気象実験衛星(Solar Radiation and Climate Experiment: **SORCE**)¹といった宇宙環境にある手段を使って、どの程度太陽エネルギーが地球に照射されるか、また太陽エネルギーが大気圏を通過するとその太陽エネルギーがどうなるかについて研究してきた。地球の大気圏最外部に到達するエネルギーの量は太陽放射量 (total solar irradiance: **TSI**) と呼ばれる。太陽活動は変化することから、太陽放射量は秒単位から世紀単位といった様々な異なる時間区分によって変わる。

大まかにいって太陽は 11 年周期で、嵐から静寂、また嵐へと活動する。太陽活動はしばしば太陽黒点、すなわち磁場が集中することでもたらされる太陽上の暗いエリア近辺で起こる。太陽放射照度の測定値は、太陽活動極大期（黒点周期により太陽活動が大きくなる）には、太陽活動極小期（太陽活動が鎮まり黒点が通常みられなくなる）と比べてずっと高くなる。

太陽活動周期の変動は地球全体の温度を約 0.1℃変化させる。太陽活動極大期には若干暑く、太陽活動極小期には若干寒くなる。ボールダーにあるコロラド大学の太陽学者トーマス・ウッズ氏はこう述べている。「現在太陽は活動極小期にあり、次の活動極大期は 2012 年になると考えられている。」

SORCE を使った研究から、太陽活動が最も低下しているとき、太陽エネルギーは 1,361

¹ 2003 年 1 月 25 日に NASA がペガサス XL ロケットで打ち上げた衛星で、太陽の放射エネルギーを正確に測定することを目的とする。SORCE については、NEDO 海外レポート 903 号（2003 年 3 月 24 日）、「NASA が衛星で太陽放射を観測、地球が判る？（米国）」参照。
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/903/903-10.pdf>

ワット/m² で地球の大気圏最外部に到達していることがわかった。しかし太陽活動が活発なときには、1m² あたり 1.3 ワット(0.1%) 余分に太陽エネルギーが地球に到達しているという。「TSI 測定は、地球起源の力が気候変動に与える影響を評価しようとする気候モデルにとって、とても重要である。」とキャハラン氏は言う。

この 100 年で、地球の平均気温はおよそ 0.6℃上昇した。NASA ゴダード宇宙研究所のデビッド・リンド研究員による 2004 年のコンピューター・モデリングによれば、太陽熱の影響はこのうち 0.15℃分、あるいは 25%である。地球の気候は、太陽からの放射線、宇宙への熱放射、および地球大気の組成の微妙なバランスの上に成り立っている。これらのパラメータにほんの少しでも変化があれば、気候に影響を与え得る。地球に照射される太陽エネルギーの約 30%は宇宙に反射される。雲、大気エアロゾル²、雪、氷原、砂、海洋表面、さらに屋根でさえ入ってくる光線を屈折させる役目を果たしている。残り 70%の太陽エネルギーは、陸地、海洋、大気に吸収される。

「温室効果ガスが、地球から出て行く放射熱のうち 40%を阻害している。」とウッズ氏は述べている。地球に入ってくる太陽放射と地球から出て行く放射熱とのバランスが崩れたことにより、今後 100 年、地球が暑くなり、極地の氷床が溶けるのを加速し、海面の上昇を招き、より凶暴な地球規模の天候パターンがもたらされる可能性が増大するのである。

気候変動に与える非人的要因の影響

産業革命前は、太陽と火山の噴火が地球の気候に影響を与える主な要因であった。地球は周期的に温暖化あるいは寒冷化した。主な寒冷期間は氷河期で、直近のものは 1 万 1,000 年ほど前に終わった。

「現在我々は、氷河期と氷河期の間、つまり完新世(Holocene)と呼ばれる時期にいる。」とキャハラン氏は述べている。「しかしここ数十年、誰かが人類世(Anthropocene)と名付けた人間主導の気候変動に移行した。地球の気候の主要な変化は、今では人間の活動によってもたらされるようになった。これは、だれも経験したことがない現象である。」

他の星に比べれば、太陽は比較的穏和な恒星である。「今から 100 年後に太陽がどのように活動するかはわからない。」とゴダードの太陽物理学者ダグ・ラビン氏は言う。「もともとずっと活動が活発になって、地球の気候により大きな影響を与える可能性もある。」

あるいは、活動がさらに弱まり、17 世紀後半のように寒くなるかもしれない。1650 年

² エアロゾルとは、大気中に浮遊している個体あるいは液体の微細な粒子を指す。自然発生するものと、人間の活動により発生するものがある。火山灰、土壌粒子、海塩粒子、ディーゼル黒煙、タバコ煙等。エアロゾルに関するこれまでの研究結果については、NEDO 海外レポート 998 号(2007 年 4 月 11 日)、「エアロゾル粒子による地球の「日覆い」が薄くなる傾向に(米国)」参照。
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/998/998-13.pdf>

から 1715 年まで、太陽の表面には黒点がほとんど観察されなかった。この長期的な太陽活動の停滞は、ヨーロッパに小氷河期が起こったことと部分的に関係する可能性があり、数百年にわたって太陽放射に周期的あるいは不規則な変化がみられたことを反映しているかもしれない。この間、ヨーロッパの冬は今日より長く、約 1℃寒かった。

そのとき以降、太陽活動は平均すると徐々に活発化したようである。化石燃料の燃焼により出る二酸化炭素など、温室効果ガスの大気への排出量を削減する方法を見つけない限り、太陽の影響が気候変動を主導するようになることは考えられない。しかし太陽の多様な活動は、温暖化傾向と寒冷化傾向を 0.1～0.2℃のレベルで長期間にわたり調整し続けると考えられる。

将来的な太陽の変動測定

過去 30 年、NASA と欧州宇宙機関の衛星 1 基ずつから、重要な太陽放射量の測定値が送られている。NASA の **SORCE** ミッションの一環として、**TIM** 装置としても知られる総放射照度モニター (Total Irradiance Monitor) が 2003 年に打ち上げられ、最先端の技術を用いた正確な放射照度の測定値を提供している。**TIM** は 2009 年に打ち上げられることになっている **Glory** ミッション³の一部として再構築されたものである。**Glory** の **TIM** 装置は、30 年の記録を引き継いで太陽放射照度測定値を提供し、気候に対する太陽の直接的、間接的な影響をより深く理解する助けとなる。**Glory** は、気候変動というパズルにおいて最も理解が進んでいないピースのひとつであるエアロゾルのデータも集めることになる。

³ **Glory** は低軌道周回用の科学衛星で、2つの主目的がある。1つは、大気圏に漂うエアロゾルや黒色炭素の性質に関するデータと、気候システムに関するデータを収集すること。これには、エアロゾル偏光測定センサー (Aerosol Polarimetry Sensor) を使用する。もう1つは、太陽照射の地球の気候に対する長期的な影響を分析するために、総放射照度モニター (Total Irradiance Monitor) を使用して、太陽照射に関するデータを収集することである。**Glory** ミッションについては、“The Glory Mission Will Help Increase Our Understanding Of The Earth’s Energy Balance” (<http://glory.gsfc.nasa.gov/>)および Brian Berger, “Reversing Course, NASA Moves Ahead With Glory Mission” (www.space.com/spacenews/businessmonday_050725.html)参照。

リンク

NASA ゴダード宇宙飛行センターの SORCE に関して

<http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0106sorce.html>

コロラド大学の SORCE 研究に関して

<http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>

コロラド大学大気宇宙物理学研究所に関して

<http://lasp.colorado.edu/>

翻訳：吉野 晴美

出典：

<http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NasaNews/2008/2008050726747.html>

【産業技術】 ナノテク

ナノ製造：ナノテクノロジーの見込みの実現（米国）

－第1回－

米国の将来の3つの重要な先端技術製造領域である、「水素エネルギー技術」、「ナノ製造」および「知能統合化製造」についての研究開発優先順位を識別し記述した報告書「未来を作る：製造の研究開発に関する連邦政府の優先事項」が新しく報告された。この報告書は、全米科学技術評議会(NSTC：National Science and Technology Council)技術小委員会の「製造の研究開発」に関する省庁間作業グループ(IWG：Interagency Working Group)によって作成された。

NEDO 海外レポートでは本報告書について、本号と次号の2回に分けて連載する。

目次

1. 定義と範囲
2. 米国連邦政府の研究開発と調整活動
3. IWG の調整活動
4. 研究課題と機会
5. IWG への提案と次段階

－以上本号－

－以下次号－

ナノテクノロジーは、将来の経済成長の重要な駆動力であり、航空宇宙やエネルギーから健康管理および農業までのすべての産業に潜在的に影響する、と予測される。ナノ製造は、ナノスケール(およそ1～100 ナノメートル¹)での設計から、そのユニークな特性が派生するナノスケール構成要素による、材料、構造、装置およびシステムの工業規模生産を包含する。ナノ材料が信頼性を持って手頃に大量生産されるためには、科学者とエンジニアは、装置や構造をできるだけ小さな寸法へ小型化するトップダウン処理、および、小さな構築ブロックの使用により基礎からナノ構造およびナノ装置を構築するボトムアップアプローチの開発に関連する困難さを克服しなければならない。

1. 定義と範囲

全米科学技術評議会(NSTC)の省庁間作業グループ(IWG：Interagency Working Group)は、ナノ製造を、ナノスケールで見られる特質を利用する生産物やシステムを実現する目的で、ナノスケールの要素や機能を、設計、生産、制御、修正、操作、組み立てるための、具体的なアプローチを集散的に支援するすべての製造活動として定義している。

ナノテクノロジーは、およそ1～100 ナノメートルの長さの材料についての理解や制御

¹ 10 億分の1メートル

と関係する科学、工学および技術である。ナノスケール材料の斬新な特性は、実質的にすべての産業界に影響を与え、また同時に、国家の健康、安全性および資産を向上させる広範囲の生産物に対して大きな革新の見込みを提示する。

ナノ製造は、国家がナノテクノロジーの利益を実現する手段である。この利益は、航空宇宙、自動車、通信、エネルギー、環境復旧、情報、医学、医薬品そして電力を含む広範囲の産業での生産物の性能向上を通して生じる。同時に、実際の製造法の開発を通したナノテクノロジーの見込みの実現は、いまだ想像できない産業や生産物へと導くであろう。

1.1 基礎研究

将来のナノ製造企業は、知識と材料を社会にとって価値ある生産物とシステムに変える。しかしながら、商業化が達成可能になる前に、重要な科学技術の課題に取り組まなければならない。その知識を入手し、また生産物やシステムへ変換をするために必要とされるプロセスやツールを開発するための研究が要求される。収益性の目標設定には、ナノ製造企業、そのプロセス、システムおよび供給や流通網と同様に、製品の性能とライフサイクルの予測可能性が必要である。

ナノ製造は、素晴らしい先端技術領域として広く認められている。この領域では、米国の製造業は、多くの根本的に新しい材料、プロセスおよび生産物への準備をするに際し、国際的な指導的役割をする機会を持っている。ナノテクノロジーは、国家の長期にわたる製造競争力を保持する多くの機会を提供する。

1.2 ナノ製造用ツール

ナノ粒子、ナノチューブ、フラーレン、ナノ構造化材料、ナノ複合材料などのナノスケール要素に関する現在の材料研究は、プロセスやツールの開発に関して同時並行の製造研究の取り組みを必要とする。ナノ製造研究への1つのアプローチは、概念を生み出すことを助け、そして産業を開発する基礎となるツール作成を支援するために、走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡のような今日のナノ科学ツールを使用することである。別のアプローチは、ナノスケールで感知し操作するための新しいアプローチを使用するナノ製造に特有のツールを設計することである。

1.3 技術を越える社会問題

ナノスケールのプロセスおよび材料についての理解の進歩は、広範囲の社会が関係する新技術へと結びつくであろう。この意味合いは、ナノスケール科学技術に焦点を置いた研究開発の取り組みと平行して考慮されるべきである：

- － 新しいナノ製造企業はどのように見えるか。また、どんなステップがそれらを作り出すために必要か。どのような新産業が現れるか。
- － これらの新しいプロセス、システムおよび産業は、我々の現在の産業基盤にどのような影響を持つか。
- － 技術的に洗練された労働力に必要な技術セットおよび教育のための対応社会基盤は何か。

- － 典型的なナノ製造企業の規模はどのくらいか。また、そのような企業はどのように広がるか。
- － 生産物は、大量で低価格か、それとも少量で高価格か、又はその混合か？ そして、新しい産業は変化する力があるか。
- － ナノテクノロジーとナノ製造の潜在的な環境への関与とは何か。また、それらの関わり合いはどのように投資に影響するか。
- － 新しい産業の潜在的な創造とともに、経済、健康、安全性、国家安全保障および持続可能性の問題については、何を予測すべきであるか、また、それらの問題を取り扱うために、どのような未然防止策を取らなければならないか。
- － そして、最終的に、新しい産業を創造する利益とは何か。また、予期される利益はどのように最適化することができるか。

2. 米国連邦政府の研究開発と調整活動

IWG は、ナノテクノロジーの問題および機会に関係する幅広い範囲の既存ならびに展開中の連邦政府研究プロジェクト内で、特に製造技術への集中を維持し支援することを目指している。これらの連邦政府の活動は、ナノ材料、ナノ構造、ナノ装置やナノシステムの拡張性、信頼性、コスト効率的な設計・製造を可能にすることを目指している。これらの取り組みの多くは機関特定ニーズに合致することに集中してきた。しかしながら IWG は、2001 年の設立以来、米国家ナノテクノロジーイニシアティブ(NNI)のもとに、全米ナノテクノロジー調整局(NNCO : National Nanotechnology Coordinating Office)の管理と技術的支援と共に、NSTC のナノスケール科学、工学および技術小委員会(NSET : Nanoscale Science, Engineering, and Technology)によって先導されて、これらの活動を調整する取り組みを強力に行ってきた。NNI の目標は、社会へ向けてナノテクノロジーの全潜在能力を実現することを目指した、世界一流の研究開発プログラムを維持することである。IWG は、NSET 小委員会のもとにその取り組みを調整している。

2.1 NNI のナノ製造取り組み

NNI の主要な機能は、ナノテクノロジー研究開発に関係する連邦政府研究開発投資に優先順位をつけることである。そのプロセスの初期段階は、NNI の目標遂行に重要な投資の主要領域について記述するプログラムコンポーネント領域(PCA : Program Component Areas)を定義することであった。

NNI ナノ製造プログラムコンポーネント領域(PCA)の焦点

ナノ製造研究開発は、ナノスケールの材料、構造、デバイスならびにシステムの、拡張性があり、信頼性のある、費用効果の高い製造を可能にすることを目指している。これは、超微小化する「トップダウン」プロセス、および、次第に複雑化する「ボトムアップ」プロセス、あるいは自己組み立てプロセス、の研究開発と統合を含んでいる。

－ NNI ウェブサイト <http://nano.gov> より

ナノ製造は、物質を、－ バルク形体から、あるいは個々の原子、分子および超分子構造から－、希望する特性や性能特性を持ったナノスケール材料あるいはナノ構造化材料、デバイスあるいはシステムへ、典型的に多量に、再現性を持って変形する能力を持つすべての手段に取り組むことからなる。－ 大統領 2007 年度予算への NNI 補遺より

NNI 支援ナノ製造研究開発活動は、大統領の NNI 予算要求の年刊補遺と、そして、特にナノ製造に注目した「ナノスケール製造」と題する 2007 年 NNI 報告書で報告されている²。

ナノ製造に関連した研究開発の連邦政府資金提供を要求した NNI 機関は、米保健社会福祉省/国立衛生研究所(DHHS/NIH)、米商務省/国立標準技術研究所(DOC/NIST)、国防総省(DOD)、米航空宇宙局(NASA)、全米科学財団(NSF)および農務省(USDA)である。ナノ製造に関心を持つ他の NNI 機関には、米国エネルギー省(DOE)、米運輸省(DOT)および環境保護庁(EPA)などがある。

ナノ製造 PCA と関係するこれらの省庁の戦略的研究開発の優先順位は 2006 年度、2007 年度および 2008 年度の大統領の NNI 予算要求への補遺に示されている：

- － ナノスケールで物質をコントロールするための、自己集合、指示自己集合、プログラム自己集合、生物学的駆動自己集合ならびに走査プローブ基盤技術の使用についての研究(生物示唆プロセスおよび技術を含む)、また、より大きな応用構造へ製造ナノスケール生産物を統合する方法の研究、
- － 追跡計測学に基づいたナノスケール製造のプロセス制御および品質管理の開発、
- － ナノ製造プロセスの拡張性および再現性のような競争以前のナノ製造問題についての研究開発、
- － 既存の連邦機関やプログラムならびに製造に興味を持つ省庁間の共同取り組みによる、ナノ製造研究に注目した 1 つ以上のセンターの設立、
- － 雇用や他の経済的利益を提供して米国製造基盤を向上させるための、連邦政府の他期間の取り組みとの調整、
- － 連邦政府プログラムを強化するために、エレクトロニクス、化学および他の産業からのアドバイスを求めて利用する取り組み、
- － 無毒な成分の組込み、より少ないエネルギー、水および他の資源を使用する製造プロセスの開発

ナノ製造に注目した研究センターの設立と同様に計測学と計測機器の研究開発に基い

² 全米科学技術協議会(NSTC) 技術、ナノスケール科学、工学および技術小委員会(NSET)の委員会。関連資料は、以下の NNI ウェブサイト出版物のページで探せる。
<http://nano.gov/html/res/pubs.html>

「ナノスケール製造"Manufacturing at the Nanoscale"」は以下から入手可能である。

[www.nano.gov/ NNI_Manufacturing_at_the_Nanoscale.pdf](http://www.nano.gov/NNI_Manufacturing_at_the_Nanoscale.pdf)

た製造プロセスと品質管理の開発に関係する、NNI ナノ製造優先領域の2つは、IWG にとり特別に興味のある領域であり、以下に詳述する。

2.2 計測学と計測機器の研究開発

計測機器と計測学は製造の重要な側面であり、また、ナノ製造研究開発社会が計測機器および計測学社会で緊密に作業することが重要である。ナノテクノロジーのための計測機器研究、計測学および標準は、また NNI の PCA である。この PCA は、材料、構造、デバイスおよびシステムの特性評価、測定、合成および設計のための次世代計測といった領域があり、ナノテクノロジー研究および商業化を進めるために必要とされるツールに関連する研究開発を促進するように意図されている。NNI の「計測機器、計測学および標準」PCA の中には、用語、材料、特性評価と試験および製造のための標準を含む研究開発ならびに標準開発に関係する他の活動が含まれている。

2004年1月に開催されたNNI計測機器と計測学グランドチャレンジワークショップは、ナノ製造セッションを含めるようにスケジュールされた³。また、2006年10月に、IWG は、NIST、全米科学財団および海軍研究局によって主催された「ナノテクノロジーのための計測機器、計測学および標準」に特に焦点を置いた会議を計画した。これらおよび他のワークショップにおいて、特に標準の設立に関して、また研究開発の成功裡の商業化支援へ、ナノテクノロジー計測基盤設備開発のための強い省庁間の支援があることは明らかであった。IWG は、ナノ製造に関連するニーズおよび問題をさらに明確に表現することにより、この領域の NNI 基盤研究に基礎を置くことを計画している。これらの IWG 計画の詳細は、次回の提言の章に含まれている。

2.3 基盤設備：センターと利用者施設

NNI は、最先端技術の高価な計測機器をすべての研究者に利用可能とする利用者施設を設立する必要性を認識している。さらに、ナノ製造用を含む大規模で学際的な研究の支援のために、NNI は多くの研究センターに資金提供をしてきている。設立された基盤設備は地理的に分散され、利用者施設の場合には、広範囲の研究社会からの利用が可能である。IWG 機関のナノ製造関連研究センターと利用者施設活動を、以下に記述する。

NIST ナノスケール科学技術センター(CNST)

NIST で展開中の CNST は、連邦政府や産業界が必要とする広範囲のナノスケール測定と計測機器の推進に取り組むことを目指している。CNST は、ナノテクノロジーを組み込んだ生産物の製造を可能にするという主な目標を持っている。発見から生産までのナノテクノロジーの全ての開発段階を支援するために欠くことのできない測定法、計測機器およ

³ NSET 小委員会、NSTC 技術委員会、「計測機器とナノテクノロジー計測学：NNI ワークショップ報告書(2004年1月)」は、全米ナノテクノロジー調整局から、あるいは <http://www.nano.gov> からダウンロードによって利用可能。

び標準を提供するために、CNST は、産業界、学界および他の政府機関と緊密に連携する。ナノスケールの測定とプロセスに関する CNST の集中的な取り組みにより、このセンターは全米のナノテクノロジー基盤設備の重要な拠点となった。

CNST は、NIST の先端計測研究所(AML)で運営されている。AML は世界で技術的に最も進んだビルディングの 1 つであり、ナノスケール生産物の実現に重要な標準と測定に関して、産業界のニーズに効率的に対応するのに必要な環境を NIST の研究者に提供している。この AML は、厳密な温度・湿度の調節、振動防止、高い空気清浄性および高品質の電力を研究者とエンジニアに提供することを可能にしている。NIST の研究者とエンジニアは、研究所成果が実用化レベルに進むことを可能にするツールおよび方法を開発する。

DOE ナノスケール科学研究センター(NSRC)

DOE の国立研究所で運営されている NSRC は、材料化学、材料挙動および材料性能を理解する際の問題に取り組む。ここでは世界のトップレベルの特性評価機器と合成能力を結びつけたユニークな機会が提供される。NSRC は全米利用者施設として運営されている。この設備には、最先端計算施設と結びついた最新の原子モデル化に関連する多くの領域の主要なグループがある。例えば、試験用の標準化チップセット、あるいは、再現可能で比較可能な材料堆積やパタン化プロトコルから構成されている、これらのセンターのナノ製造開発の技術プラットフォームの可能性は、多くの分野のナノ製造に関する比較と競争前段階の研究の機会を提供する。これらの施設の場所は、科学工学機関が産業界と結びつくに当たって地理的に分散した可能性を提供し、プロセス研究、プロセス設計およびプロセスモデル化での難問を解決するのを支援する。

全米科学財団 全米ナノ製造ネットワーク(NNN)

この全米ナノ製造ネットワークは、ナノ製造研究、教育および開発分野での協力を促進し、情報を普及する共同推進体としてのオープンアクセス・ネットワークである。このネットワークは、米国のナノ製造の新しいアプローチを進展させる触媒として設計されている。NNN には、NNI の一部として、全米科学財団によるマサチューセッツ大学への助成金が提供されている。NNN は、学术界、産業界および政府機関から、ナノ製造センター、プロジェクトおよび専門家をつなげるネットワークである。NNN には、専門知識と技術のネットワーク、現存するナノ製造方法に関するワークショップ、ナノ製造の教育の機会およびウェブ基盤ナノ製造情報交換センターなどの計画がある。NNN ナノ製造情報交換センターは、ナノ製造センター、専門家と資源、ナノ製造プロセス、ナノ構造化材料、成功事例、イベントに関する情報およびナノ製造研究情報データベースを提供する。NNN は、全米科学財団(NSF)、米国立標準技術研究所(NIST)、国防総省、エネルギー省、国立衛生研究所(NIH)、米国立労働安全衛生研究所(NIOSH)および他の多くの機関の利害関係者によって資金提供され調整されている。

全米科学財団 ナノスケール科学技術センター(NSEC)

全米科学財団の NSEC は、個人あるいは小グループの研究者が自分自身で取り組むには複雑すぎる多面的な状況を取り扱う。このセンター（複数）は、複雑で学際的な問題に取り組むために、他の民間や公共部門の組織と協力して、多様な専門技術を持った研究者を集める。センターは、内部活動と様々な協力活動の両方により研究と教育を統合する。各々の NSEC は、一つの基盤機関による場合であれ、多くの機関横断的な組織である場合であれ、包括的な研究や教育のテーマ、よく統合された計画および明解で効果的な管理計画を持っている。NSEC は全体として、探索的研究から発見に注目し、技術革新への範囲に及び、工学、数学とコンピューターサイエンス、物理、生物、環境、社会そして行動の科学ならびに人文科学分野のような専門分野の広いスペクトルを含んでいる。

各々の NSEC ミッションの重要要素は、米国および世界でのナノ製造技術を進めるために、教育関係者、科学者、エンジニアおよび技術者からなる多様な米国の労働力を開発することである。これらのセンターの教育プログラムは、革新的で多様な労働力を開発することを目指し、大学進学前訓練を進め、各センターの研究課題と関係する社会の関わり合いに取り組むこと、また科学技術についての国民の理解を進めることである。これは、センターに関連する学生の構成員の多様性を増加させることに向けた広範囲の人的資源開発活動を含み、K-12⁴ および大学生レベルに教育の機会を提供し、大学院学生にこの新興分野のユニークな研究や教職の経験を提供する。個々の NSEC の範囲や専門性は、変化しているが、この先に横たわる困難な問題に向かい合うためのユニークで強力な社会基盤を提供する。ナノスケール製造に関して設立された全米科学財団の NSEC は、工学理事会によって運営されている。さらに、全米科学財団は、マサチューセッツ大学アマースト校によって先導される全米ナノ製造ネットワーク(NNN)を最近設立した。NNN は国防総省と NIST のナノ製造プログラムの下で資金提供された研究者と協力を行う。

全米科学財団ナノ製造 NSEC は、研究所の科学技術を素晴らしい新しい応用へ、また産業へと転換するために、基礎科学とナノ製造の技術を組合せた新しい生産パラダイムの展望を持つ。これらのセンターは、製作性、拡張性および信頼性に重きをおいた強いシステム集中によって運営され、またコスト効率の良いナノ製造を可能にする次世代のナノツールおよびシステムの創造に注目する。それぞれのセンターは、さらに製造の研究と教育の統合により学際的な科学技術の新しい教育基盤を構築しなければならない。ナノ製造センターと他の NSEC との提携や協力を通じて、これらの共通要素は、ナノテクノロジー社会全体を強化し、かつ、ナノテクノロジーによって可能になる思いもよらない機能を持った生産物を可能にする役目をする。

以下に、4 箇所のナノスケール科学技術センター(NSEC)のナノ製造の目標と焦点の概要を示す。

⁴ K-12 とは、幼稚園から高校卒業までの 13 年間（無料）の教育期間の総称を指す。（K は kindergarden – 幼稚園 – の K）

① UCLA 拡張可能統合ナノ製造センター(SINAM : Scalable and Integrated NanoManufacturing) : UCLA の SINAM は、20nm 未満のナノデバイスの製造、3D の複雑なナノ構造の組み立ておよび異種混合の多重機能性の統合のような、いくつかの重要な課題に取り組んでいる。SINAM は、高次構造やデバイスへの異種混合ナノスケール要素の大量の並列集積化を達成するために重要な 1~50nm の分解能やハイブリッド・トップダウンおよびボトムアップ技術を目指して、プラズモン画像リソグラフィおよび超成型インプリントリソグラフィを含んで、多くの新しいナノ製造技術を統合する新しい生産パラダイムを展開させるという目標を設定している。SINAM で開発された新しい製造技術は、コンピュータ、遠隔通信、フォトニクス、バイオテクノロジーおよび医療応用への道筋を開く。SINAM は、UCLA、UC バークレー校、スタンフォード大学、UC サンディエゴ校、ノースカロライナ大学およびヒューレット・パカード研究所の 6 つの機関の科学者およびエンジニアから構成されている。

② イリノイ大学アーバナ・シャンペン校ナノスケール化学-電気-機械製造システムセンター (Nano-CEMMS : Nanoscale Chemical-Electrical-Mechanical Manufacturing Systems) : Nano-CEMMS の研究計画の目標は、超高密度で複雑なナノ構造を作り上げることが可能で、商業ベースにのった製造技術および科学基盤を作ることである。この目標を達成するために、センターは、多数の材料からナノ構造を作るために、信頼でき、強健で、コスト効率の良いナノ製造システムを開発することを計画する。このセンターは、マイクロ/ナノ流体ドリル、ナノスケール検知器とアプローチおよび製造システムの開発に関する研究をしている。それらの開発は、コンビナトリアル・ケミストリー (組合せ化学)、化学/生物センサーおよびエレクトロニクス装置の領域に集中する一連の応用によって誘導される。Nano-CEMMS センターのメンバーは、イリノイ大学、カリフォルニア工科大学およびノースカロライナ農業・技術州立大学の 3 つの機関の科学者およびエンジニアを含む。

③ ノースイースタン大学 高速ナノ製造センター : このセンターの目標は、製品へのナノ要素の大量、高速、統合組み立てを支援する領域の研究を実施する。センターは、この目標を追求して、大量、室温、均一なナノチューブ合成、フラーレンナノワイヤーの製作、そして、ナノ要素の誘導自己集合用および高速パタン化ポリマー混合用のナノ鋳型、のような斬新な科学を導入する。この取り組みは、さらにナノ要素の位置、配向および相互接続性を制御することを含んでいる。このセンターのメンバーは、ノースイースタン大学、マサチューセッツ大学ローウェル校、ニューハンプシャー大学、ミシガン州立大学およびボストン科学館を含んでいる。

④ マサチューセッツ大学アマスート校 階層製造センター(CHM : Center for Hierarchical Manufacturing) : CHM のミッションは、ナノテクノロジーにおける

主要な研究を実施し、研究所革新から製造可能な部品やデバイスまで、新しい進歩の展開を促進することである。階層製造は、所定サイズ、形態および組成の機能性ナノ構造を作り上げて、その後、ナノ構造をデバイス要素へ統合し、最後にその構成要素をシステムと生産物へ統合する、逐次処理のことである。CHMの研究焦点は、ツールとプロセス開発の両方を含んでいる。また、その研究ポートフォリオは、6つの実現技術領域を含む。(1)ブロック共重合体の大面積の規則配列、(2)新しい材料のインプリントリソグラフィ、(3)安定した3Dナノ多孔質構造、(4)ブロック共重合体再生医療足場、(5)機能性表面、粒子およびデバイス層、そして、(6)ナノスケールデバイス設計。CHMは、IWGマサチューセッツの最重要公共研究大学における、ナノテクノロジー研究の10年間にわたる投資と成果の最新例である。マサチューセッツ大学アマースト校の8部門の50を越える学部が、MassNanoTech研究所キャンパス全体に渡るイニシアティブによって統合されて、ナノテクノロジーについての研究を行う。

3. IWGの調整活動

IWGのナノ製造への取り組みは、NNIの下に組織された継続的なナノ製造活動を補完している。IWGは、他の連邦機関の製造プログラムのナノ製造活動と提携し、ナノ製造の共同プログラム計画フォーラムとして機能している。IWGはまた、企業レベル製造研究および多くの製造業に共通な他の先進的開発専門技術を利用している。この専門技術は、サプライ・チェーンから統合生産物を設計する方法とツール、ナノスケール生産物の生産性および予測性を確実にするインフラストラクチャー、およびナノ製造プロセスと企業の生産性にまでに及ぶ。

NNIの年間予算付属書に報告されている活動に加えて、IWGはナノ製造に関連する研究開発活動に関して2004年の形成直後からメンバー機関からの情報を収集している。これらの出所からの情報を表1で要約する。

表1：連邦ナノ製造研究開発取り組み概要(省庁、応用分野別)

IWG 機関	基盤応用	生産物/プロセスに特有の応用
DHHS 米保健社会福祉省	- ー 環境安全性および健康 - ー ナノ粒子の物理的特性評価および生体外分析 - ー 予測のための情報科学ツール - ー 生物物理的特性と相互作用、データ共有の促進 - ー 労働力教育と訓練	ー ナノスケール診断・治療装置

DOC/NIST 米商務省/国立標準 技術研究所	－ 国家安全保障および環境保護のよう なミッションの促進にナノテクノロジー を開発する連邦機関の取り組み、な らびに、ナノテクノロジー基盤生産物 の民間産業の開発の両方に重要な測 定、標準およびデータ － 発見から生産まで、ナノテクノロジー 開発の段階すべてを支援するために、 不可欠な測定法、計測および標準を提 供することにより、科学と産業に可能 性をもたらす。	
DOD 米国防総省		－ 国防用装置、システムおよび材 料のためのナノ構造 － 材料表面処理と被膜
DOE 米エネルギー省	－ ナノ材料の基礎研究：合成と特性評価	－ 製造技術プラットフォーム開発の 可能性
DOL 米労働省	－ 労働力訓練と教育	
DOT 米運輸省		－ 向上した輸送社会基盤(道路、橋、 パイプラインなど)に使用するナノ 材料
ED 米教育省	－ 雇用者および中等教育修了後教育認 証カリキュラム基準に沿った職業意 識と準備進路 － 学生に製造と科学、技術、工学、数学 の職業クラスターの職業準備をさせ るために、厳格な学習プログラムを提 供する職業進路。	
EPA 米環境保護庁	－ 生態系と人間の安全性および健康評 価 － ライフサイクル評価	－ 環境の処置、復旧および感知のた めのナノ装置 － 有毒物質代替としてのナノ材料 － ナノテクノロジーにより実現され るライフサイクル材料とエネルギ ー効率
NASA 米航空宇宙局		－ 宇宙探査用の小型センサー － 軽量で高性能な多機能の構造
NSF 全米科学財団	－ 高速生産とナノ製造の信頼性、頑健 性、収量、効率ならびにコスト効果へ	

	の障害についての研究 － 労働力訓練および教育	
USDA 米農務省	－ 材料と装置の生物基盤ナノスケール製造 － 農業と食物システム関連のナノバイオテクノロジーの大学レベル教育	－ 食物病原菌および毒素のナノスケール検出 － 食品安全性関与の機能性ナノ粒子 － 食品中の栄養補助食品のナノスケールデリバリー

IWG の連邦政府ナノ製造研究開発 2004－2005 の簡潔な説明は、機関ニーズに特有のプロセスや生産物応用ならびに基盤設備応用に注目して、メンバー機関はそれぞれのミッションに沿った種々様々の活動を実施していることを示す。機関の研究取り組みの中には以下に示すようなナノ製造の問題に挑戦するツール、プロセスおよび研究がある。

- － ナノ要素あるいはナノスケール構築ブロックの合成と処理(ナノチューブ、ナノ粒子、ナノファイバーおよび量子ドット)
- － ナノエレクトロニクス用のナノ複合材料および原子層堆積中のナノチューブ分散
- － ポリマーや生物分子システムのパターン化と鋳型
- － 2D、3D 構造および装置の指示組み立て
- － ナノスケール分解位置決め、画像化および測定
- － ナノ、マイクロ、メソそしてマクロスケールでの物質とエネルギーの相互作用および製造プロセスのモデル化とシミュレーション

出典：「未来を作る：製造の研究開発に関する連邦政府の優先事項」報告書

Manufacturing the Future Federal Priorities for Manufacturing R&D :

Report of the Interagency Working Group on Manufacturing R&D Committee on Technology, National Science and Technology Council

http://www.manufacturing.gov/pdf/NSTCIWGMFGRD_March2008_Report.pdf, pp31－43

参考：「将来の製造に関する 3 つの重要な研究開発優先事項識別報告書・概要(米国)」

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1020/1020-14.pdf>

【産業技術】 航空・宇宙**ドイツにおける航空宇宙技術開発の取り組み**

欧州宇宙機関（ESA）の開発した欧州実験棟「コロンバス」は2008年2月12日、スペースシャトル「アトランティス号」によって輸送され、国際宇宙ステーション（ISS）に結合された。コロンバスは、独ブレーメンにある EADS Space Transportation 社が最終組み立てを行い、2006年5月に ESA に引き渡されていた。

欧州実験棟「コロンバス」での実験

2008年2月のISS組立ミッションでは、宇宙において生命科学実験を行う生物学実験ラック、宇宙において流体科学実験を行う流体科学実験ラック、長期間の宇宙飛行が人体に与える影響について調べる欧州生理学実験ラックなど5つのラックがコロンバスとともに宇宙に輸送された。コロンバスは全体で16のラック（そのうち実験ラックは10台）を搭載できるようになっているが、コロンバスでの実験作業を監督、調整するドイツ航空宇宙センター（DLR）によると、すぐにでも自動制御で実験を開始できる状態だという。同センターでは、約75人の科学者、技術者がコロンバスにおけるすべての活動を管理するほか、実験装置の各システムを制御して、実験プログラムの調整を行っている。

例えば、流体科学実験ラックでは、まず Geoflow という実験が開始され、地球外核内における液体金属の流動がシミュレーションされる。実験では、ドイツ東部にあるコッتبス工科大学の宇宙力学流動学講座によって開発された地球をモデル化したガラス球の周辺で、液体金属の代わりにシリコンオイルを回転させる。そこに、ガラス表面を通してレーザー光線を照射すると同時に、シリコンオイルの回転速度と実験温度を変化させながら、それによって変化するガラス球から得られる反射光のデータが観測される。データは、まず米国ヒューストンにある NASA のコントロールセンターに送信され、そこから DLR 経由でコッتبス工科大学のコンピュータに転送される予定となっている。

無人補給機(ATV)の役割

コロンバスでは今後約10年間様々な実験が行われる予定だが、今後のコロンバスでの活動で重要な役割を果たすのが、無人補給船の欧州補給機（ATV）である。ATVは、独ブレーメンにある EADS Astrium 社で製造される。ATVの開発には、独仏などESA加盟国10カ国のほか、米国、ロシアから30社が参加して、14億ユーロが投資された。そのうちの4分の1は、ドイツから資金提供されたものである。

ATV は、無人で燃料や食料、水、空気、実験装置などを ISS に供給する輸送船で、輸送ミッションが終わると、ISS で発生したゴミを満載して ISS から切り離され、完全焼却されるように急角度で大気圏に再突入させて廃棄処分される。

ATV はまず、アリアン 5 ロケットで打ち上げられる。ATV がアリアン 5 から切り離されると、誘導装置が起動し、GPS で正確な位置決めを行いながら ISS に向かい、完全自動で ISS にドッキングされる。ATV はさらに、ISS の軌道が下がって大気との摩擦を避けるために、リブーストすることによって ISS の軌道を押上げる役割も担うことになっている。

ATV の輸送能力は 9.5 トンで、ロシアの補給船プログレスの約 3.5 倍の輸送能力を誇る。これまでのところ、ESA は ATV を 6 機発注しているにすぎない。ただし、米国 NASA がスペースシャトルの運用を 2010 年で終了させる予定であり、その代替となる宇宙船オリオンが早くても 2014 年にならないと使える見込みがないだけに、欧州では今後さらに ATV に対する関心が高まるものと期待されている。

ATV の 1 号機「ジュール・ベルヌ (Jules Verne)」はすでに、クールー (仏領ギアナ) にある ESA のギアナ宇宙センターに運ばれており、2008 年 1 年には燃料の充填作業も開始された。

略語：

ATV = Automated Transfer Vehicle

DLR = Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

ESA = European Space Agency

EADS = European Aeronautic Defence and Space Company

GPS = Global Positioning System

ISS = International Space Station

NASA = National Aeronautics and Space Administration

参考資料：

- = ベルリン新聞 2007 年 7 月 4 日、Lastfahrzeug für höchste Ansprüche
- = ターゲスシュピーゲル紙 2007 年 7 月 24 日、Europa füttert Astronauten durch
- = ハンデルスブラット紙 2007 年 12 月 3 日、Weltraumlabor fertig zum Abflug
- = ベルリン新聞 2007 年 12 月 5 日、Drei Jahre auf der Warteliste
- = ハンデルスブラット紙 2007 年 12 月 6 日、Europas All-Star
- = ハンデルスブラット紙 2008 年 1 月 16 日、Raumtransporter entsorgt ISS-Müll
- = ハンデルスブラット紙 2008 年 2 月 6 日、Europa vor Comeback im All
- = ハンデルスブラット紙 2008 年 2 月 13 日、Columbus dockt an die ISS an