

NEDO 海外レポート

. テーマ特集 - 燃料電池・水素 -

- | | |
|---|----|
| 1. 米国エネルギー省の燃料電池に関するポリシーと研究開発成果
(NEDO 燃料電池・水素部) | 1 |
| 2. 欧州の水素・燃料電池テクノロジープラットフォーム実施計画 | 7 |
| 3. 米エネルギー省「水素プログラム」での取組状況
DOE 水素プログラム 2007 年次成果評価会議より - (NEDO 燃料電池・水素部等) | 18 |
| 4. 実証段階に入った水素・燃料電池開発(ドイツ) | 30 |
| 5. 水素ハイウェイを中心に広がる水素・燃料電池技術(カナダ) | 32 |
| 6. 燃料電池で稼働するガラスのビル(スウェーデン) | 34 |
| 7. 燃料電池の航空機への適用研究(EU、米国) | 37 |
| 8. HyICE プロジェクト:内燃機関で水素を(EU) | 40 |
| 9. 24 面体白金ナノ結晶が燃料酸化や水素生産の触媒能力を促進(米国) | 42 |
| 10. バイオマス中の多糖類から水素を製造する新手法(米国) | 45 |

. 個別特集

- | | |
|---|----|
| 1. 「カーボンエキスポ 2007」カンファレンス出張報告(ドイツ)
(NEDO 京都メカニズム推進部) | 48 |
| 2. 米国エネルギー省による風力発電年次報告(第 2 回) - 発電事業者のタイプ別状況 | 52 |

. 一般記事

- | | |
|---|----|
| 1. エネルギー(エネルギー政策、電力、ガス)
欧州のエネルギー市場自由化に関する Q&A (EU) | 60 |
| 2. 産業技術
(ライフサイエンス)
肥満と分子の関連が発見される (EU) | 65 |
| (ナノテクノロジー)
可視光で動くメタ材料を発見(米国) | 67 |

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 情報・システム部 E-mail : q-nkr@nedo.go.jp Tel.044 - 520 - 5150 Fax.044 - 520 - 5155
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。

【燃料電池・水素特集】 研究開発政策

米国エネルギー省の燃料電池に関するポリシーと研究開発成果

NEDO技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部

シニアプログラムマネージャー

宮田 清蔵

1. はじめに

米国エネルギー省（Department of Energy：DOE）は NEDO 技術開発機構（以下 NEDO）と同様に、大学、国立研究所及び企業に研究開発資金を提供し、エネルギー関連の技術開発を行っている。しかし、NEDO と大きく異なる点は、政策立案とその実行を同一組織内で行っているところである。また DOE は原子力、火力発電などを含むのに対して、NEDO は太陽光発電などの新エネルギーに限定されている一方、一般の産業技術の高度化を支援してイノベーション創出を目標にしている点などが相違点である。

筆者は今年 2 月及び 6 月に米国カリフォルニア州モントレイで開催された燃料電池に関するアシロマー会議及びニューヨークポリテクニク大学で開催された IUMACRO'07 会議に出席した。両会議ともに DOE の研究者から DOE の燃料電池に関するポリシーと成果が発表された。本稿ではそれらをまとめて報告する。

2. 米国のエネルギー政策

“20 in 10”ポリシー

これは今年から 10 年後の 2017 年までに米国で使用されるガソリンを 20%削減する政策である。その内訳は、再生可能及び代替燃料の供給を増やし、2017 年には 350 億ガロンとする。この値は 2012 年の目標の約 5 倍に相当し年間ガソリン使用量の 15%である。乗用車や軽トラックの性能を向上（例えば軽量化など）させて 85 億ガロンを削除する。これは 5%に相当し、トータルで 20%削減する。

大統領の先進エネルギーイニシアティブ

これはエネルギー源を多様化する研究開発を促進する政策であり、DOE に対して 22%の予算増となっている。その内容は石炭研究イニシアティブ、ソーラーアメリカイニシアティブ、風力エネルギー、グローバル核エネルギーパートナーシップなどが中心である。天然ガス需要の削減とエネルギーコストの低減をはかることを目的としている。

もう一方では外国産石油依存からの脱却及び温暖化ガス排出や汚染物質の削減などの研究を加速する。その為にはセルロースからのエタノール生成と他のバイオ燃料の生産法、プラグインハイブリット自動車を含むハイブリット電気自動車用バッ

テリーの開発、燃料電池自動車などの研究を行う。

3. 水素燃料イニシアティブ

5年間で12億ドルを配分する。2008年には2007年より増加させ、3.09億ドル(370億円。但し120円/ドルとして)。今後4年以内に燃料電池のコストを現在の50%以下にする、などが内容である。2015年を目標として、水素燃料コスト2~3ドル/gge、燃料電池コスト30ドル/kW以下、走行距離300マイル以上を可能とする水素タンクの開発などである。(gge = gallon gasoline equivalent)

これらの目標を達成するために以下のようなプロジェクトが実行されている。

水素製造及び輸送技術開発
水素貯蔵に関するR&Dの加速
燃料電池の耐久性の向上とコスト低減のR&D
燃料電池の応用拡大すなわち持ち運び容易なものや建物電源などへ
標準値や法規などの整備

などである。これらに対してDOE予算としては2006年2.32億ドル、2007年2.74億ドル、2008年予定として3.09億ドルである。

この他に運輸省(Department of Transportation)で毎年142万ドル程度が加わる。更に国防省でも燃料電池の研究を行っているので、我国の予算よりかなり多額の研究開発費が執行されていると思われる。

4. 製造コスト

現在のコスト分析では80kWの燃料電池が年間50万台製造されるとして、MEA(膜・電極。白金触媒含まず)\$1,200、白金触媒\$2,876、スタック作製及びそのバランス\$1,105、加湿システム\$467、クーリングシステム\$383、エアシステム\$1,055、組立て及びテスト\$979、その他\$888の計\$9,412と試算されている。従ってkW当たりのコストは\$118となる。これを4年以内に半額とする目標を立てている。

5. 触媒

国立バークレイ研究所では白金とニッケルの合金Pt₃Niが白金の触媒性能を大きく上廻ることを発見した。それぞれの結晶面について活性度が測定されており(110)面ではPtの2.3倍、Pt(110)面の活性度は他面と比較して最大である。(111)面ではPtの同一面に対して実に9.5倍もの活性を示している。しかしNiの溶出など長期耐久性や一酸化炭素被毒性に関しては言及しなかった。

アルゴン国立研究所の報告として、電圧を1V以上まで増加させるサイクルテストでは白金が溶出し、また凝集して粒径が大きくなると共に表面積が減少すること

が示された。これに関しては NEDO プロジェクトでも詳細に検討され、また対策もとられつつある。

ロスアラモス国立研究所の成果として H₂S ガス 1ppm で陰極が被毒して出力が急激に低下するが、一晩空気を流せば完全に回復するとのこと。これに関しても NEDO プロジェクトで検討されている。

オークリッジ国立研究所の成果として、カーボン担持体上の白金触媒は MEA 作成中にかなりカーボン上から離れてアイオノマー上に移行してしまうことを電子顕微鏡で示した。本件について我が国の電顕の専門家に聞いたところ、同様な現象は見出していたがそれには触れずにカーボン上の白金だけに集中していたとのことであった。

6. プロトン導電膜

自動車用技術目標を表 1 に示す。この表にあげられている数値は極めて詳細で具体的である。

表 1 技術目標、自動車用イオン導電膜

技術目標、自動車用イオン導電膜					
Characteristic	Units	2005 Status		Stack Targets	
		Cell	Stack	2010	2015
Platinum group metal total content (both electrodes)	g/kW rated	0.6	1.1	0.3	0.2
Platinum group metal total loading	mg PGM/cm ² electrode area	0.45	0.8	0.3	0.2
Cost	\$/kW	9	55	5	3
Durability with cycling					
Operating temp -80°C Operating temp $+80^{\circ}\text{C}$	hours	>2,000	$-2,000$	5,000	5,000
	hours	na	na	2,000	5,000
Electrochemical area loss	%	90	90	-40	-40
Electrocatalyst support loss	mV after 100 hours @ 1.2V	>30	na	-30	-30
Mass activity	A/mgPt @900mV _{OHSE}	0.28	0.11	0.44	0.44
Specific activity	μA/cm ² @900mV _{OHSE}	550	180	720	720
Non-Pt catalyst activity per volume of supported catalyst	A/cm ³ @600mV _{OHSE}	0	na	>130	300

* Dr. Nancy Garland, Acting Fuel Cell Team Lead DOE Hydrogen Program

デュポンが新しい膜の開発を行っており、NafionNRE211 の 10 倍以上の耐久性を有しているとのこと。プロトン導電性膜の開発についてアリゾナ州立大(ASU)、ケースウエスタンリザーブ大(CWRU)、クレムソン大、コロラドスクールオブマインズ(CSM)、ペンシルバニア州立大、テネシー大(UT)、バージニアポリテクニク大、

セントラルフロリダ大(UCF)等の他に、Fuel Cell Energy 社、GE グローバル研究所、Giner 社などにフッ素系、炭化水素系、非水系、新水性物質の添加剤などの研究を委託している。

例えばエンジニアリングプラスチックにスルホン酸基を導入し、その割合を制御してプロトン導電性と適度な強度を有する材料に改質した。またフォスフォタングステン酸を 15wt%導入した複合系膜も作製した。他の例としてテフロンをホスト材料にしてヘテロポリ酸を加えてプロトン導電性材料とした (UCF、FSEC)。

低い EW 値を有し克つ寸法安定性の良い膜 poly(perfluoro-sulfonic acid)の開発などが紹介された。(Giner 社)

ポリフェニレンは硬くて溶媒もないポリマーであるが、これにシクロヘキサンユニットを共重合するとフレキシブルで溶媒可溶となった。ここにスルホン酸基を導入してプロトン導電性を期待している(UT)。アロマティック hidrocarbon ポリマーに酸を側鎖として導入、ほぼナフィオン 117 と同様なプロトン導電性を示している (GE グローバル研究所)。120 で安定な高分子に低い EW 値を有し、高いプロトン導電性を有するアイオノマーとの複合系材料。この膜は 400mA/cm²、120、35%RH においてセル電圧が 450mV から 380mV へと変化する時間は 2000hr 以上であった。高温低加湿でも安定性が良いことが示された。(Fuel Cell Energy 社)

7. DOE の支援研究テーマ

以下に DOE で支援している主な研究テーマ及び研究場所を示す。

膜及びイオン導電性

燃料電池膜におけるプロトン輸送のコンピューターシミュレーション (ユタ大)
 新しいプロトン導電性フルオロポリマー (Clemson 大)
 水素製造用 3 種合金の高速アブイニシオ計算法 (カーネギーメロン大)
 ゴルゲル法によるポリベンズイミダソール膜の作成 (RPI)
 水蒸気中の電気分解用ナノコンポジット電極の開発 (U.Penn)
 アイオノマー中のイオン伝導性理論、モデリング及びそのシミュレーション (CWRU)
 電極及び電解質界面におけるプロトン移動の計算、理論及び実験的な検討(UT)
 中間温度域 (< 299) の燃料電池のためのポリマーで機能化されたゼオライト
 プロトン導電性膜 (Cal Tech)
 次世代燃料電池用プロトン交換膜 (UNC)
 PEM 膜耐久性向上のための新しい金属間触媒 (コーネル大)
 燃料電池及び電解膜用 OH⁻ 伝導システムの基礎 (LANL)
 複雑な分子環境における電荷移動輸送及び反応性に関する研究 (PNNL)
 ポリ沸化ビニリデンとスルホン化ポリエレクトロライトとの半相互浸入ネッ

トワーク (SemiIPN) (Arkema)

スルホン基や水素イオン放出可能性原子団などを有するフッ素系及び非フッ素系ポリマー膜 (3M)

電解質高分子中に限界まで加えられたイミダゾール及びイミダゾリウムカチオン (LBNL)

水輸送

PEM 燃料電池中における水輸送の先進モデル (CFD)

数回-40 環境にあった PEMFC スタックの発電性能のデモンストレーション (Nuvera)

膜中の触媒、ガス拡散及びマイクロポラス層が水漏れ、乾燥又は凍結、解氷された時の過渡的モデル (LANL)

触媒

耐久性・低価格・高性能正極 (3M)

設計された空孔を有するエアロゲルカーボン上の 3 元合金の設計 (UFCFC)

超低量貴金属を有するナノ触媒及び非貴金属/ヘテロアトムクポリマーナノ複合体 (LANL)

非白金カソード触媒 (ANL)

耐久性及び高性能カソード担体 - グラファイト化カーボン及びカーボン表面をタングステンカーバイドで被ふくした担体 - セルハードウェア (PNNL)

2000hr 以上の耐久性のある PEM 用シール材 (UTCFC)

表面を窒化された鉄クロム合金セパレーター (ORNL)

8. おわりに

DOE と NEDO 技術開発機構両者とも、ほぼ同様な研究開発テーマについて支援している。しかし、NEDO ではプロジェクトリーダー (PL) がいくつかの大学や企業を取りまとめて共同研究を行っているが、米国の場合それぞれの機関が単独で研究開発をしている。従って研究手法が少し相違している。予算は 1 件当たり 100 万 ~ 900 万 \$ 位と米国の方が大きいようである。一般的に言えば我が国のように垂直連携的な集団で研究開発を行った方が良いと思う。いかにお互いに補完的になり自由に意見が述べられるかなどの雰囲気を作成する PL の腕次第といえよう。NEDO では家庭用燃料電池システムの大規模実証試験を行っており、今年中には累積で約 2200 台が稼働する。この点の実務経験では米国より格段に進んでいると感じた。

また最近、非白金触媒でも我国では有望な材料が見つかっており、この点も進んでいる。しかし本稿では触れなかった新しいアイデアによる分析法なども他の研

究者から提案されており、全面的に我国の方が進展しているともいえない。お互いに良い意味で刺激し合い実用的な製品を生み出すべく我々もより一層努力したいと考えている。

今年 11 月には日米のワークショップがお台場で開催される。是非読者の皆様には参加して頂きたい。

(経歴)

高分子学会副会長

繊維学会長

東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所長

東京農工大学長等を経て

2005 年 5 月より現職

【燃料電池・水素特集】 研究開発政策

欧州の水素・燃料電池テクノロジープラットフォーム実施計画

はじめに

「欧州水素・燃料電池テクノロジープラットフォーム」は、欧州におけるこの分野の研究・開発戦略の策定、実施において中心的な役割を果たしている。本稿ではプラットフォームの実施委員会にて作成された 2007 年～2015 年の研究開発実施計画 (Implementation Plan) の概要を紹介する。

目次	
1.	概要
1.1	実施計画の枠組み
1.2	計画全体の目標
1.3	スナップショット 2020 の目標
1.4	資金計画
2.	各 IDA における実施内容
2.1	IDA-1
2.2	IDA-2
2.3	IDA-3
2.4	IDA-4
2.5	IDA 間の分野横断的な課題

1. 概要

1.1 実施計画の枠組み

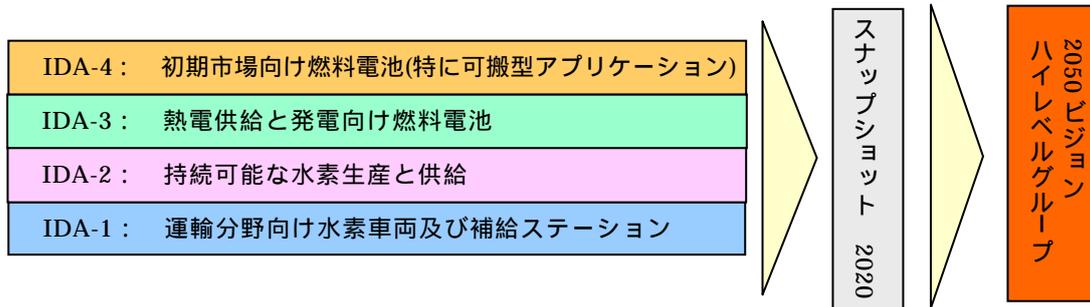
欧州の水素・燃料電池テクノロジープラットフォーム (HFP: European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform) の実施委員会 (IP: Implementation Panel) は、水素と燃料電池の研究開発と実証を目指す HFP の戦略を実施段階に移行させることを目的として 2006 年に設置された。HFP の戦略は、「戦略的研究行動計画 (SRA: Strategic Research Agenda)」と「配備戦略 (DS: Deployment Strategy)」に詳述されている。

実施委員会の作業部会には 100 を超える欧州の関係者が参加している。これらは、研究機関、産業界、協会、政府機関、NGO および欧州委員会から構成されている。関係者の協力と幅広い公開協議により、この分野における欧州の計画が策定されている。

この計画は、欧州域内で世界に通用する安価な水素・燃料電池技術の開発と配備を促進することを目指している。また、この計画は欧州の強みに基づいて策定されており、今後 10 年で輸送用、定置用および携帯用の電源として普及させることを見込んでいる。

また、これまで EU、加盟国および地域レベルで行われてきたイニシアティブとその成果を活用し、研究界と産業界を統一的な共同活動に結集させるために必要な総合的で一貫した作業計画を提示している。

計画は 4 つの「イノベーションと開発のための活動 (IDA: Innovation and Development Action)」から構成されている。



- (1) IDA-1 の水素車両とは幅広くあらゆる輸送手段(航空、海運、鉄道、道路)を指している。
- (2) IDA-4 の初期市場とは、2007 年から 2013 年までに商業的な配備が可能な商品群を対象とした短期的な市場」を意味する。

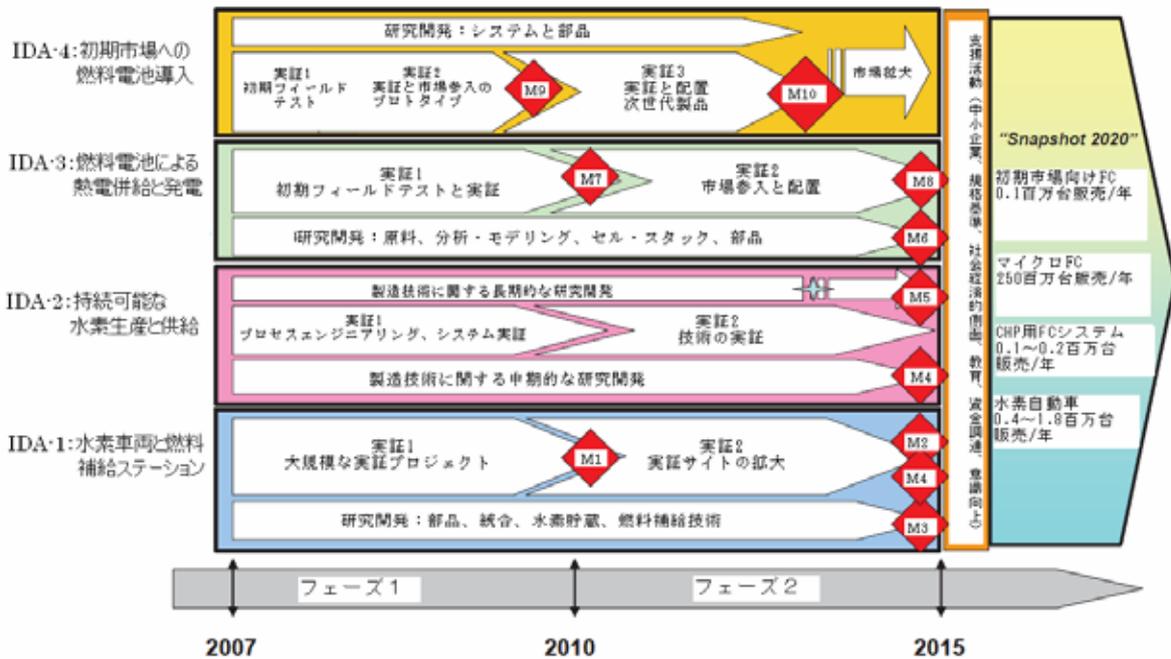
図 1 欧州の水素及び燃料電池研究開発・実証プログラムの枠組み

各 IDA には欧州の優先課題が詳しく述べられている。また、2010 年から 2015 年までに輸送用、定置用および携帯用の水素燃料電池を普及させ、HFP が掲げる「スナップショット 2020(2020 年に向けた目標)」を達成するために開発しなければならない技術を明らかにしている。なお、「スナップショット 2020」以降の長期目標として、「ハイレベルグループ¹ 2050 ビジョン(2050 年に向けた目標)」がある。

1.2 計画全体の目標

この計画の主な構成要素とスケジュールを図 2 に示す。図には主要なマイルストーン(M1 ~ M10)が含まれており、2020 年までに市場への普及を目に見える形で実現させるために、性能と発電容量を適切な時期に段階的に高めていく構想が示されている。この計画の実施にあたり重視されていることは、中小企業の成長の促進、関連する教育と研修の提供、買い手や共同調達の枠組みを明確にして組織化することを通しての初期需要の喚起、初期市場で持続的に製品を展開するために地域のパートナーシップと規制措置の整備等である。

¹ 編集部注：HFP の全般にわたる戦略的な開発を主導する最上位の機関。欧州委員会、テーマに関係する他のテクノロジープラットフォームとのリンクを提供する。



M1	道路車両の実証サイト 13 ヲ所、車両 200 台、燃料補給ステーション 9 ヲ所
M2	実証サイト 30 ヲ所、車両 3,000 台、燃料補給所での水素コスト < 2.5 ヲロ/kg ⁽¹⁾
M3	コスト 100 ヲロ/kW、耐久時間 5,000 時間 ⁽²⁾
M4	水素エネルギー需要の 10% ~ 20%を、CO ₂ ゼロまたは CO ₂ の少ない水素(製造方法)でまかなう
M5	水素生産コスト 2 ~ 5 ヲロ/kg ⁽³⁾
M6	6,000 ヲロ/kW(マイクロ熱電供給燃料電池)、1,000 ~ 1,500 ヲロ/kW(産業用熱電供給)
M7	100MW 設置
M8	1GW 設置
M9	市場流通 3,000 ヲユニット
M10	新規導入 17,000 ヲユニット

(1)燃料補給所での水素コスト(集中型および分散型、税は除く)

(2)自動車推進力用 FC システム

(3)持続可能な水素を長期的に供給する際の製造コスト

図 2 水素と燃料電池の技術開発と配備に関する欧州のロードマップ

1.3 スナップショット 2020 の目標

2020 年に向けての目標であり、HFP の「配備戦略」に詳述され、実施計画の参照シナリオとして、実施委員会に承認されている基盤計画である。

表1 “Snapshot 2020”: 2020年を視野に入れた水素・燃料電池の普及シナリオ

	携 帯 型 FC(ハンド ヘルド電 子機器用)	携 帯 型 発 電 機 と 初 期 市 場	定 置 型 FC (熱電供給)	道 路 輸 送
域内における 2020 年の FC 年間販売ユニット数	~ 250 百万	~ 100,000 /年 (~ 1GWe)	100,000 ~ 200,000/年 (2 ~ 4GWe)	0.4 ~ 1.8 百万
域内における 2020 年まで の FC 累計販売数		~ 600,000 (~ 6GWe)	400,000 ~ 800,000 (8 ~ 16GWe)	1 ~ 5 百万
2020 年の域内市場の状態	確立	確立	拡大	大 衆 市 場 へ の 普 及
FC システムの平均出力	15W	10Kw	<100kW(マイクロ FC) >100kW(産業用 FC)	80kW
FC システムの目標コスト	1 ~ 2 ユー ロ/W	500 ユー ロ/kW	2,000 ユーロ/kW(マイクロ) 1,000 ~ 1,500 ユーロ/kW(産 業用)	<100 ユーロ /kW(150,000 ユニット/年)

幾つかの仮定の下で、このシナリオから欧州における 2020 年までの水素需要の概算を出すことができる。実施委員会は、高シナリオと低シナリオに基づいて道路輸送、携帯型発電機、携帯型マイクロFCの試算²を作成している(表2)。高シナリオでは、運輸部門における市場への普及がより大きい他、マイクロFC1台あたりの出力がより大きく、携帯型発電機の運転時間もより長い。2020年までに導入される定置型燃料電池の大部分は水素以外のエネルギー源に頼ることになる見通しである。

表2 “スナップショット 2020”の目標達成を視野に入れた水素需要の予測

適用分野	水素需要(トン) ³	
	低シナリオ	高シナリオ
道路輸送	58,500	750,000
携帯型発電機	720,000	1,150,000
携帯型マイクロFC	82,000	620,000
合計	860,500	2,520,000

HFPの「戦略的研究行動計画」に詳述されている意欲的な性能とコストの目標を2015年までに達成することは可能である。明確な焦点を定めた長期的な研究開発、実証および配備計画を推進するために、強力な官民パートナーシップを構築し、適切な投資を行うことができれば、EUは「スナップショット2020」を実現することができるだろう。

² EUのプロジェクト“HYWAYS”で行われているような詳細な需要を予測するためにはより踏み込んだ分析を行う必要がある。(参照: www.hyways.de)

³ 水素 1kg=120MJ=33.33kWh=ガソリン 2.75kg

1.4 資金計画

この計画案が2007年から2015年までに必要とする資金の合計は、政府と民間を合わせて74億ユーロである。これは、政府と民間から水素と燃料電池の技術に投入されている既存の資金と一致しており、政府と民間から拠出されている現在の資金と検討されている資金のうち、達成可能な増加分だけを含んでいる。欧州の資金拠出は特に重要な役割を担っているが、計画の目標を達成するためには様々な公的資金源の調整が必要である。加盟国と地域の大きな貢献がなければ、この実施計画の共通目標を達成することはできないだろう。

一方、この計画は市場を非常に重視しており、資金の3分の2を実証活動に充てることを想定している。また、2050年までに水素と燃料電池を広く普及させるために研究開発が重要であるとしている。検討されている資金拠出の3分の1は、研究開発と分野横断的な活動に充当される。

この計画を実施していく上での水素と燃料電池の技術的な課題に対処するために、この計画は、初期段階においてはより多くの資金を研究開発に投入する。段階を経るに従って取り組みの重点は実証と商業化に先立つ配備へと徐々に移行し、市場参入に向けた準備を進め、これに弾みをつけることになる。

計画は、二つの段階からなる。2010年までがフェーズ1、2015年までがフェーズ2である。フェーズ2が終了する前に、持続可能な水素供給のための長期的な技術開発活動用に、比較的小規模ではあるが資金が配分される見通しである。これは、2015年から始まるフェーズ3として検討されている。

この計画で提案されている資金配分を図3、図4に示す。

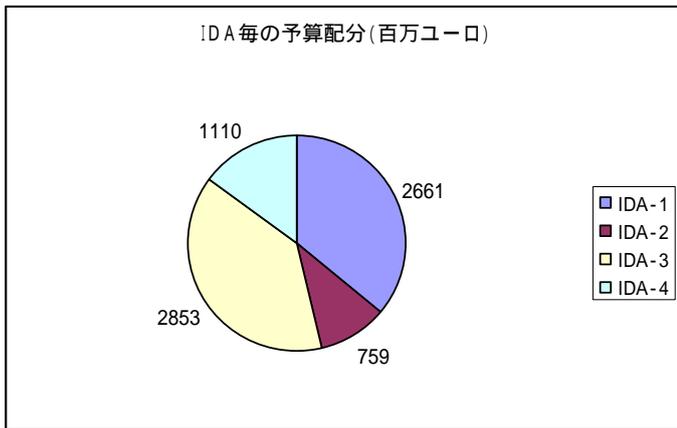
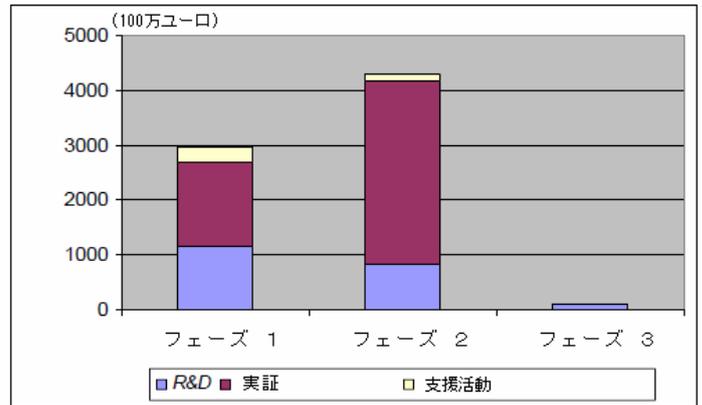


図3 IDA 毎の予算配分



R&D: 研究開発

図4 フェーズ毎の内訳(研究開発、実証、支援活動)

計画の実施にあたり、水素・燃料電池技術に関する堅固で長期の公民パートナーシップ(JTI: ジョイントテクノロジーイニシアティブ)が必要である。JTIでは、技術のスピーディな進歩を確実にし、明確な商業化の意図を持って、整合性のある研究・配備活動に務める。また、投資が断片化することを避ける。具体的には、2010年には

初期市場向けのアプリケーションを、2015 年には定置型アプリケーションを、2020 年までには輸送アプリケーションを広く普及させる。

2. 各 IDA における実施内容・資金内訳

2.1 IDA-1(水素車両及び燃料補給ステーション)

「IDA-1」は、輸送分野に取り組む。特に道路輸送に重点が置かれているが、その他の輸送分野も含まれており(航空、海運、鉄道)、競争力と持続可能な輸送に関する EU 目標の達成を目的としている。最重要課題は、部品の性能と信頼性の改善によって競争力のある水素燃料電池車両を開発することである。これと並行して、水素補給のためのインフラの構築、支援活動を実施し、市場への配備と産業界の能力構築に繋げる。

2.1.1 研究開発・実証試験内容

内容	区分	詳細
自動車輸送・水素の補給技術の実証試験	実証	自動車輸送では、内燃エンジン、燃料電池、補助電源を備えた乗用車、特にバスで実証試験を行う。 水素補給ステーション
	実証	航空機 ・ 緊急時用ユニット(H ₂ /O ₂ with PEFC) ・ 改質器付き燃料電池電源装置(PEFC/SOFC)
	実証	海運 MCFC/SOFC システム補助電源、推進 - フェーズ 2、(短距離ならば PEFC は選択肢)
	実証	鉄道 PEFC ベースの推進
輸送の研究開発	基礎 応用	PEFC(バイポーラプレート、膜、触媒、輸送プロセス、高温膜)
	応用	周辺システム(空気の供給、バルブ/配管、電気動力伝達装置、水素の循環、パワーエレクトロニクス、冷却)
	応用	水素内燃エンジン
	基礎 応用	燃料処理
	基礎 応用	貯蔵(圧縮水素ガス、液体水素、代替燃料)
水素補給技術の研究開発	応用 実証	水素補給ステーション及びコンポーネント(圧縮水素ガス及び液体水素補給技術)
	基礎 応用	オフボード水素貯蔵(圧縮水素ガス、液体水素)
支援活動		研究から市場へ - 欧州の水素・燃料電池の健全な発展を図る(中小企業の支援・育成を含む)
		人的資源の制約の解決(大学院生の育成、専門的な開発能力を養うための訓練)
		法規・規約・規格(欧州全体で調和の取れた戦略)
		市場の創設を進展させる活動(融資の枠組み、啓蒙活動)
		リサイクル(技術、法規の枠組み)

2.1.2 資金配分

IDA-1 の資金総額は、2,661 (百万ユーロ) である。この内訳を下記に示す。

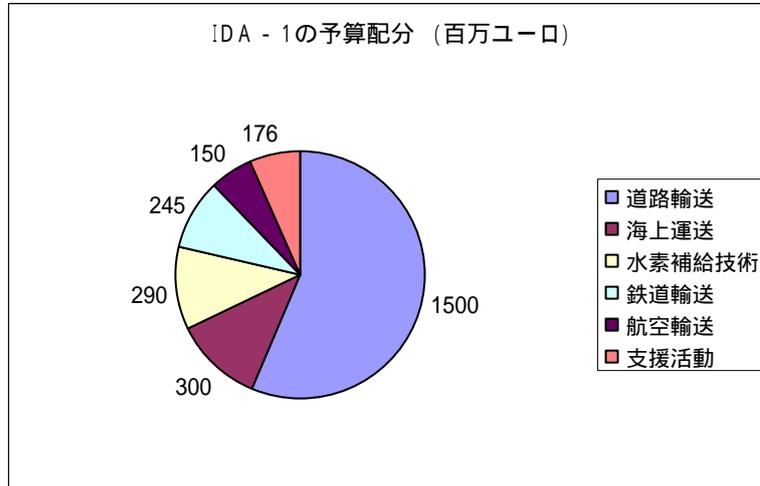


図5 IDA-1の予算配分

2.2 IDA-2 (持続可能な水素の生産と供給)

「IDA2」は、環境とエネルギー安定供給に関するEU目標の達成のための重要な要素である。最重要課題は、低温電気分解である。これは、再生可能エネルギー源の統合を可能にするモジュラー技術である。水素の需要が高まるにつれて、「バイオマスからの水素製造⁴」や「CO₂回収・貯蔵⁵」を取り入れた化石燃料技術が水素供給網の中で比重を増すことが予想される。より長期的には、持続可能な供給インフラを実現するための重要な要素として、高度な水素生産技術と、従来とは異なる水素貯蔵技術の開発に重点が置かれる。

水素の価値連鎖(バリューチェーン)全域の総合的な分析に役立つ政策決定の支援ツールを開発することは極めて重要である。本格的な水素経済の実現には大規模な投資が必要であり、このような分析は計画の初期段階で高い優先順位をつけられている。

2.2.1 研究開発・実証試験内容

内容	区分	詳細	計画期間	
			中期	長期
持続可能な水素の供給	応用基礎	改質/部分酸化/石炭ガス化(燃料処理触媒、ガス精製)		
	基礎応用実証	低温電気分解(低コストで効率的な低温電解槽の開発)		
	基礎応用	バイオマスからの水素生成(先端技術の研究開発、スタンドアロン熱分解/ガス化ユニットのデモ、複合ガス化のデモ)		
	応用	水素補給ステーション及びコンポーネント(水素の地下貯蔵、生産、		

⁴ BTH : Biomass to Hydrogen (Fischer-Tropsch fuel from biomass)

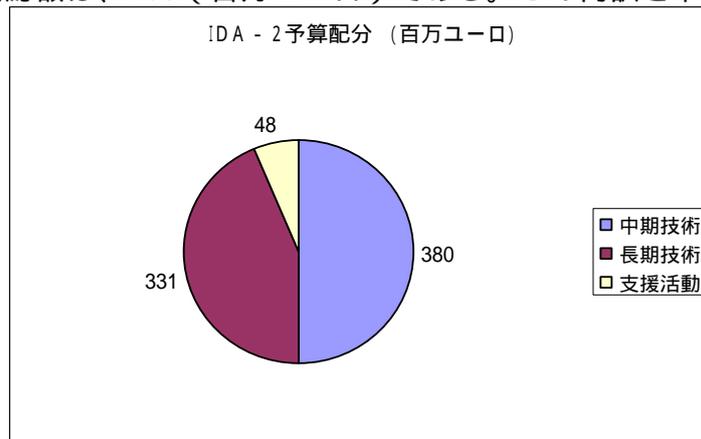
⁵ CCS: CO₂ Capture and Storage

	実証	水素の臭気化)		
	応用 実証	水素の液化		
	基礎 応用	高温電気分解(新世代高温電解槽の開発)		
	基礎 応用 実証	下記 の先端技術 太陽熱/原子力熱を利用した熱、電気、化学的プロセスによる水分解 低温プロセス 光電気分解及び光生物学的発酵,光を利用したバイオ水素の生成、 暗反応(発酵)による水素の生成		
	基礎 応用	固体オフボード水素貯蔵		
	応用 実証	パイプライン(フィールドテスト設備、リスクと安全性の解析)		
支援活動		社会経済学モデリングとツール(統合データベース、市場分析、計 画用ツール、法規分析、持続可能なエネルギーシステムの中で水素 が果たす役割)		

計画期間：中期 2007～2015年 長期 2007～2020年

2.2.2 資金配分

IDA-2の資金総額は、759(百万ユーロ)である。この内訳を下記に記す。



中期技術、長期技術の区分については、2.2.1の表を参照。

図6 IDA-2の予算配分

2.3 IDA-3 (燃料電池による熱電供給と発電)

2015年までに燃料電池による分散発電容量を1GWまで高める事を目標に、3つの技術を全て配備する必要があるとしている。

これらは、PEFC、SOFC、MCFCであり、それぞれ異なる開発段階にある。MCFCは商業化に近づいているが、SOFCはまだ開発の初期段階にある。現状では、いずれも競争市場へ配備できる十分な完成段階に到達しているとは言えない。このIDAでは、これら3つの燃料電池技術に取り組むための総合的なアプローチを実施する。この中には、基礎研究、応用研究および産業界の能力に基づいた施策が含まれている。それぞれの技術への取り組みは、各技術の成熟度合いの他、計画の期間内でどの程度の発展が予想されるかを考慮して決められる。特に重点が置かれているのはSOFCであり、住宅市場と

産業市場の双方における適用可能性と EU の産業基盤の強さを踏まえたものである。

2.3.1 研究開発・実証試験内容

内容	区分	詳細	燃料電池種別		
			SOFC	PEFC	MCFC
研究開発	基礎	燃料電池技術一般			
	基礎	解析とモデリング			
	応用	産業関連のセルとスタック			
	応用	システムコンポーネントの開発			
実証	実証	製造の拡大			
	実証	技術検証 - 家庭用アプリケーション			
		技術検証 - 産業用アプリケーション			
	実証	市場参入 - 家庭用アプリケーション			
市場参入 - 産業用アプリケーション					
支援活動		・調和の取れた法規・規約・規格の開発と実施 (電力系統に接続する際の法規・規約・規格)			
		・市場の創設を促進し初期需要を満たす事(公的調達の仕組み、製品価格の逡減を図る奨励制度のしくみを開発する)			

2.3.2 資金配分

IDA-3 の資金総額は、2,853 (百万ユーロ) である。この内訳を下記に示す。

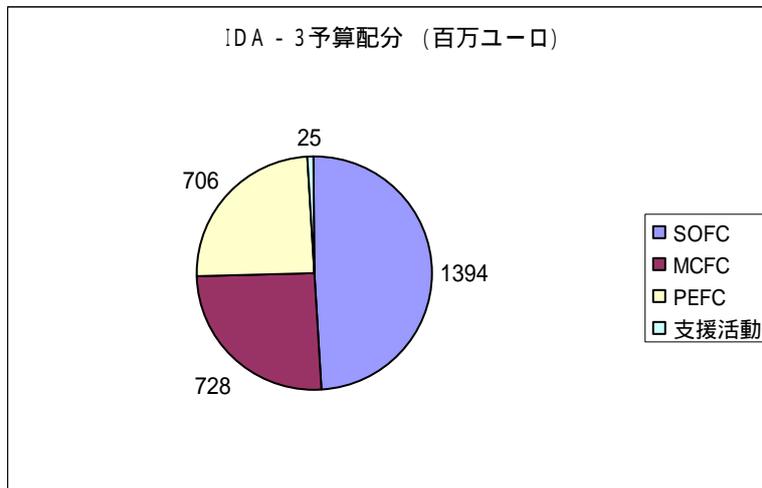


図 7 IDA-3 の予算配分

2.4 IDA-4 (初期市場への燃料電池導入)

「水素経済」への移行における初期市場の重要性を考慮し、この計画は幾つかの短期的な実証計画、燃料電池のパワーモジュールの開発、および産業界の能力を創成することに重点を置いている。対象部門は、携帯型発電装置、専用車両、副生水素を利用した発電およびマイクロ燃料電池である。

この IDA では、開発と実証の反復プロセスによって運転経験を積み、製造技術への

フィードバックを行い、潜在的なユーザに対して技術を提示する。

2.4.1 研究開発・実証試験内容

内容	区分	詳細
可搬型マイクロFC	応用実証	先端技術
	基礎応用	システム開発(スタックシステム、診断ツール、システムモデリング、システムの簡素化、改質器、性能向上)
	実証	実証(テスト、商業化前製品開発と実証)
可搬型発電機 予備電源 無停電電源装置	応用実証	先端技術
	基礎応用	システム開発(スタックシステム、診断ツール、システムモデリング、システムの簡素化、改質器、性能向上)
	実証	実証(テスト、商業化前製品開発と実証)
専用車両	応用実証	先端技術
	応用	システム開発(スタックシステム、診断ツール、システムモデリング、システムの簡素化、性能向上)
	実証	実証(テスト、商業化前製品開発と実証)
副生水素を利用した発電	応用実証	先端技術
	応用	システム開発(スタックシステム、診断ツール、システムモデリング、システムの簡素化、性能向上)
	実証	実証(パイロット、 テスト、商業化前製品開発と実証)
支援活動	支援	研究から市場へ - ヨーロッパの水素・燃料電池の健全な環境の開発(振興企業、中小企業、向け融資、中小企業の振興活動)
	支援	市場の創設を促進し初期需要を満たす事(必要な構造条件の創造 - 地域、産業クラスター、公私の連携)
	支援	調和の取れた法規・規約・規格の開発と実施(水素と燃料電池デバイスの屋内使用)
	支援	社会経済学モデリングとツール(欧州の水素・燃料電池ビジネス観測所を主導する事)

2.4.2 資金配分

IDA-4 の資金総額は、1,109 (百万ユーロ) である。この内訳を下記に記す。

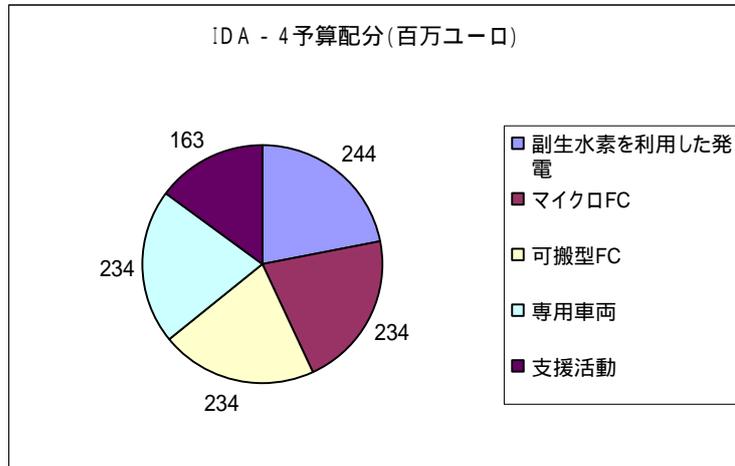


図 8 IDA-4 の予算配分

2.5 IDA 間の分野横断的な課題

以上に述べた 4 つの IDA を実施していく上で、水素及び燃料電池に関する他のイニシアティブ、他のテクノロジープラットフォーム、国レベル、地域レベル、欧州レベル、国際レベルの法規・規約・規格制定機関との連携・調整を行っていく必要がある。国際レベルの制定機関としては、例えば、ISO、IEC、UN/ECE などが考慮される。

編集者注：本稿の図 1、3、5、6、7 は原典の記述内容を元に、NEDO 情報・システム部が作成したものである。

出典：European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform “IMPLEMENTATION PLAN – Status 2006”

https://www.hfpeurope.org/uploads/2097/HFP_IP06_FINAL_20APR2007.pdf

編集・翻訳： NEDO 情報・システム部 久我 健二郎、山本 かおり

【燃料電池・水素特集】 研究開発政策 国際会議出張報告

米国エネルギー省「水素プログラム」での取組状況

- DOE水素プログラム 2007年次成果評価会議より -

NEDO技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部
情報・システム部

はじめに

本稿では、5月に開催された DOE 水素プログラムの年次成果評価会議(Annual Merit Review)でのプレゼンテーション資料をもとに、米国エネルギー省(DOE)の「水素プログラム」における水素製造・貯蔵・輸送や燃料電池などの研究開発への取組状況について紹介する。

1. DOE水素プログラム 年次成果評価会議の概要

(1)DOE水素プログラム

DOE水素プログラムとは、DOEが実施している燃料電池および水素に関する研究開発の総称である¹。2003年1月にブッシュ大統領が水素イニシアティブの声明を行って以降、水素プログラムとして活発に取り組みられてきている。

DOE水素プログラムは、産業界、学会、国立研究機関、連邦及び国際機関とのパートナーシップのもとで取り組まれている。対象とする範囲は、水素の製造・輸送・貯蔵技術、輸送用および分散型定置式発電、携帯用機器の電源のための燃料電池技術の開発である。また、安全性問題や標準化、実使用環境下での水素や燃料電池技術の実証、重要なステイクホルダー達への教育にも取り組んでいる。

(2)年次成果評価会議の位置づけ

本会議は、水素プログラムの成果・進捗の報告会であり、またピアレビュー（専門家による評価。“peer”は同僚の意）を受ける場であり、毎年開催されている²。

この会議の場で、それぞれのプロジェクトの研究責任者は、プロジェクトの現状と成果をスライドやポスターセッションで報告する。評価者はプロジェクトの評価を行い、助言を行う³。これらの評価を受け、DOEは次年度の研究開発計画や資金の決定を行うこととなっている。

昨年の2006年の会議では約250プロジェクトの報告が行われ、この3分の2が、約170人の専門家によりピアレビューされている。

¹ DOE内の関連部局は4つ（後出）あり、それぞれがプログラム計画を作成している。

² DOEのwebサイトによると、現在の方式の報告・評価会議は2003年以降毎年開催されている。

³ 通常、評価者のコメントについては、その年の9～10月頃に、正式な文書「Annual Merit Review and Peer Evaluation Report」として公表される。報告内容をまとめたものは11月に「DOE Hydrogen Program Annual Progress Report」として公表される。

(3)2007年年次成果評価会議の概要

2007年の会議では、全体会議でDOEの担当者からプログラム全体の進捗報告が行われ、その後分科会に分かれて、各プロジェクトの報告が行われた⁴。

開催日時等

日時：2007年5月15日～18日

場所：米国バージニア州アーリントン Crystal Gateway Marriott Hotel

全体会議での報告（プレゼンテーション）内容

DOEの担当者から以下のテーマで報告がなされた。

- | |
|--------------------------|
| 1. DOEによる水素の基礎研究 |
| 2. 水素プログラムの概観（本稿2章参照） |
| 3. 燃料電池サブプログラムの概観（同3章参照） |
| 4. 水素貯蔵（"） |
| 5. 水素製造および輸送（"） |
| 6. 原子力水素イニシアティブ |
| 7. 石炭からの水素プログラム |
| 8. 技術の検証 |
| 9. システム分析 |
| 10. 分野横断的活動（安全性、基準など） |

（注）プレゼン資料は右記を参照。http://www.hydrogen.energy.gov/annual_review07_plenary.html

分科会のテーマと報告件数

全体会議の後、各分科会で個別のプロジェクトの進捗報告が行われた⁵。分科会名・テーマ、それぞれの報告件数は下表の通りである。分科会は8あるが、報告件数が多いのは水素貯蔵、燃料電池、水素製造・輸送の3分科会である。個別技術テーマでは、金属水素化合物貯蔵や、燃料電池の「膜」に関する報告などが多い。

表1 分科会テーマおよび報告件数（口頭発表とポスターセッションの計）

	分科会テーマ	件数	計
1)	水素製造および輸送		60
	A.分散型の改質反応による水素製造（天然ガス、バイオ由来液体燃料、分離・精製）	12	
	B.電気分解とバイオマスガス化	9	
	C.長期テーマ（太陽光高温熱化学、生物学的、光電気分解）	12	
	D.石炭からの集中型水素製造及び関連プロジェクト（水素分離、水成	7	

⁴ ビアレビュー結果の報告書は現段階では未発行。

⁵ DOEのwebによると、報告件数は約300件（ポスターセッションを含む）。

	ガスシフト反応と水素分離、革新的コンセプト等)		
	E.原子力水素(高温熱化学、高温電解、システムインターフェース(サポートシステム))	14	
	F.水素輸送(分析、液化、圧縮、パイプライン)	6	
2)	水素貯蔵		70
	A. 水素吸着COE(Center of Excellence : 中核的研究拠点)	15	
	B. 炭素/吸着 独立プロジェクト	2	
	C. 金属水素化物 独立プロジェクト	3	
	D. 金属水素化物COE	19	
	E. 化学的水素貯蔵 独立プロジェクト	3	
	F. 化学的水素貯蔵COE	14	
	G. 新たな材料/概念	3	
	H. 貯蔵試験、安全性、分析	5	
	I.分野横断的プロジェクト	6	
3)	燃料電池		66
	A. 分析と特性付け	11	
	B. 触媒	9	
	C. 膜	21	
	D. その他	25	
4)	技術の検証(車両デモンストレーション、システム分析など)		16
5)	システム分析		12
6)	安全性、標準、基準		9
7)	教育		4
8)	基礎エネルギー科学		45
	A. 膜	20	
	B. 触媒	25	

(注)分科会のトップ頁

http://www.hydrogen.energy.gov/annual_review07_proceedings.html

2. DOE水素プログラムの概観

DOEの水素プログラムの全体像について、全体会議のプレゼン資料(2.水素プログラムの概要)を基に紹介する。

(1)DOEの水素プログラムの使命

DOEのプロジェクト・マネージャーのパトリック・デービスは基調報告を次のように始めた。「水素プログラムの使命は、運輸部門における石油への依存度を低下させ、定置式及び可搬式の発電用のクリーンで信頼性のあるエネルギーを可能するために、水素の生産、貯蔵及び燃料電池の技術を、研究、開発及び検証することである。」

(2)水素燃料イニシアティブ⁶予算

ブッシュ大統領は、2015年までに技術的な準備が可能ないように、研究開発を加速するために、2004～2008年の5年間で12億ドルの予算を投入することを約束した。各年度の予算は下記の通りで、大統領の約束通り累計12億ドルになった。

水素燃料イニシアティブの資金（単位：百万ドル）

2004 (実績)	2005 (実績)	2006 (実績)	2007 (予算)	2008 (概算要求)
157	222	232	274	309

部局別の予算推移

水素燃料イニシアティブに基づく予算のうち、2005年からの4年分について、政府組織別にみると次の通りであり、ほとんどがDOEである。

政府組織別の水素燃料イニシアティブの資金（単位：千ドル）

	2005 (実績)	2006 (実績)	2007 (予算)	2008 (概算要求)
DOE EERE*	166,772	153,451	193,551	213,000
DOE 化石燃料局	16,518	21,036	23,611	12,450
DOE 原子力エネルギー局	8,682	24,057	18,665	22,600
DOE 基礎エネルギー科学局	29,183	32,500	36,500	59,500
エネルギー省(DOE) 計	221,155	231,044	272,327	307,550
運輸省	549	1,411	1,420	1,425
合計	221,704	232,455	273,747	308,975

* Energy Efficiency and Renewable Energy：エネルギー効率・再生可能エネルギー局

2008年度の概算要求は全体として前年度比+13%の伸びである。一番ウェイトの大きいのは応用研究、開発及び実証を担当するEEREで+10%と堅調な伸びである。特徴的なのは、基礎研究⁷を行う基礎エネルギー科学局関係の予算が+63%と大幅に伸びていることである。なお、化石燃料局は石炭を原料とする水素の製造について、原子力エネルギー局は原子力による水素の製造に関する研究開発を担当する。運輸省は水素を動力源とする車両の安全基準制定を担当するほか、燃料電池バスの実証試験を行っている（後述）。

⁶ 水素燃料電池自動車や基盤技術の開発促進を行う5ヵ年計画。

⁷ ナノ素材による水素貯蔵、燃料電池のための触媒作用、バイオ及び太陽エネルギーによる水素製造等の基礎研究。また、ナノ構造の設計、新規の合成法、及び水素と材料との物理的・化学的相互作用の理論化など。

EERE の予算

応用研究、開発及び実証の中心である EERE の予算の細目の推移は次のとおりである。

水素関連予算推移(EERE)

単位：千ドル

	2005 (実績)	2006 (実績)	2007 (予算)	2008 (概算要求)
水素製造 * 1 及び配送	13,303	8,391	34,594	40,000
水素貯蔵の研究開発	22,418	26,040	34,620	43,900
燃料電池スタック部品 * 2 の 研究開発	31,702	30,710	38,082	44,000
技術の検証 * 3	26,098	33,301	39,566	30,000
輸送用燃料電池システム	7,300	1,050	7,518	8,000
分散型エネルギー燃料電池シ ステム	6,753	939	7,419	7,700
燃料処理装置 * 4 の研究開発	9,469	637	4,056	3,000
安全、規範及び基準	5,801	4,595	13,848	16,000
教育	0	481	1,978	3,900
システム分析 * 5	3,157	4,787	9,892	11,500
製造 * 6 の研究開発	0	0	1,978	5,000
技術 / プログラムマネジメン トの支援	535	0	0	0
議会指定活動 * 7	40,236	42,520	0	0
合計	166,772	153,451	193,551	213,000

* 1 : 天然ガスや再生可能エネルギー (バイオマスを含む) を原料とするもの。

* 2 : 定置式用のものを含む。

* 3 : 主に実車走行による試験。

* 4 : 定置式燃料電池の改質器等。

* 5 : 水素の配送にかかわるインフラのマクロモデルの開発。

* 6 : 水素や燃料電池の製造過程でのコストダウン、重要部品の信頼性の増強等。

* 7 : 米国の予算制度の下では、行政府が作成して毎年2月初め頃に提案する大統領予算教書に含まれているものとは別に、議会が別途留保した財源の中から、議員がプロジェクトを指定して予算を交付する部分があり、“earmark”とも呼ばれる。多くは、議員が地元州へ連邦政府の資金を配分するためのプロジェクトである。NEDOワシントン事務所の調べによれば、2005年度のプロジェクトには次のようなものがあった。

-ネバダ大学ラスベガス校内に再生可能資源利用の水素燃料補給ポンプを設置するプロジェクトに500万ドル。

-カリフォルニア水素基盤整備プロジェクトに500万ドル。

-サウスフロリダ大学の燃料電池研究に300万ドル。

2008年度の概算要求では、水素の製造、配送、貯蔵、燃料電池のスタック部品といった基本的な部分が増額になっているほか、「安全・規範」「教育」など実用化に向けて製造者段階だけでなく、消費者への啓蒙を目的としたプログラムが増額されている。また、マクロでのインフラ整備、実用化に向けた製造コストダウンに向けたプログラムも増加になっている。

(3) FreedomCAR and Fuel パートナーシップ

FreedomCAR and Fuel パートナーシップ⁸ は、DOE、自動車業界、エネルギー業界の協同の下、未だ各社が競争する段階ではない、ハイリスクな状況にある燃料電池車の市場参入に向けた技術やインフラの開発を目的としたものである。官民双方の研究者が参加するが、インフォーマルなもので法的根拠をもった組織ではない。

図 1 FreedomCAR and Fuel パートナーシップの組織

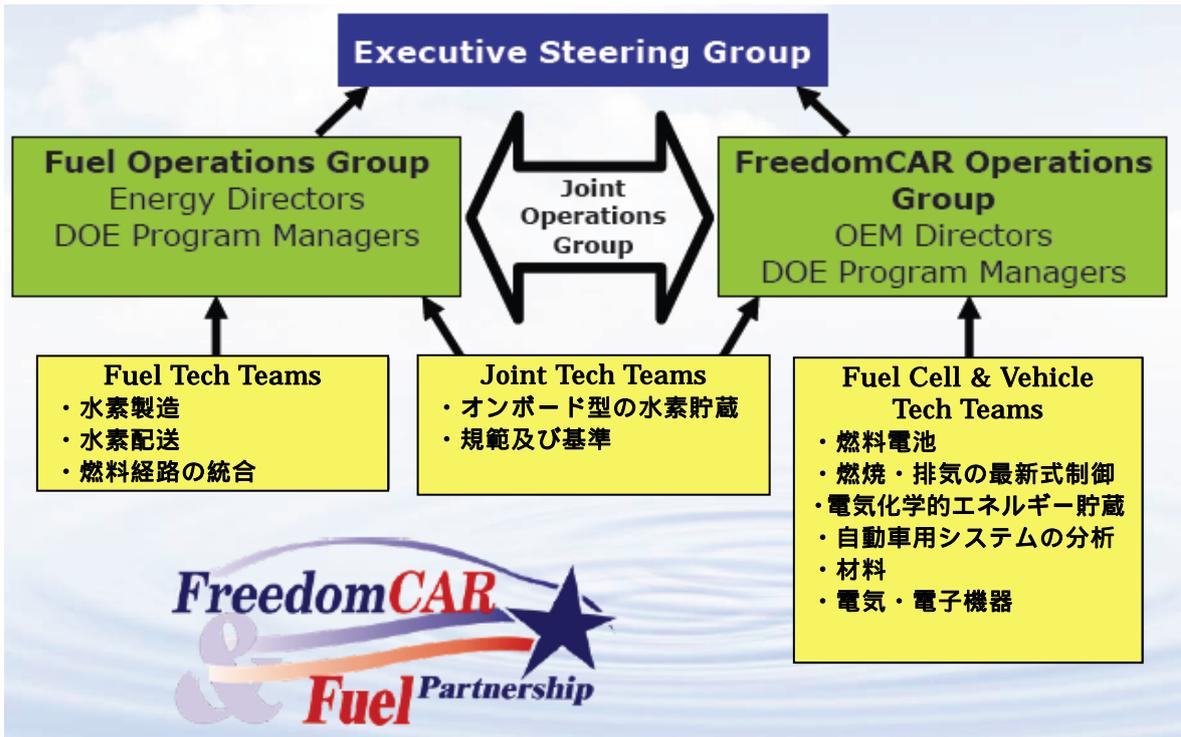
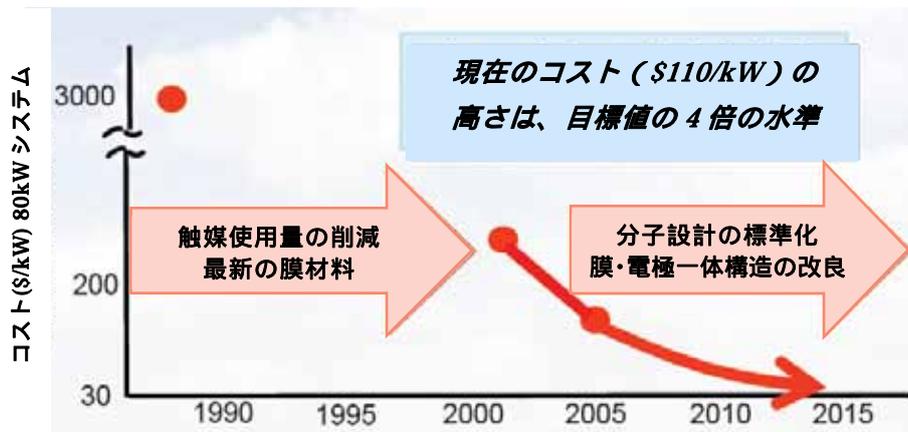


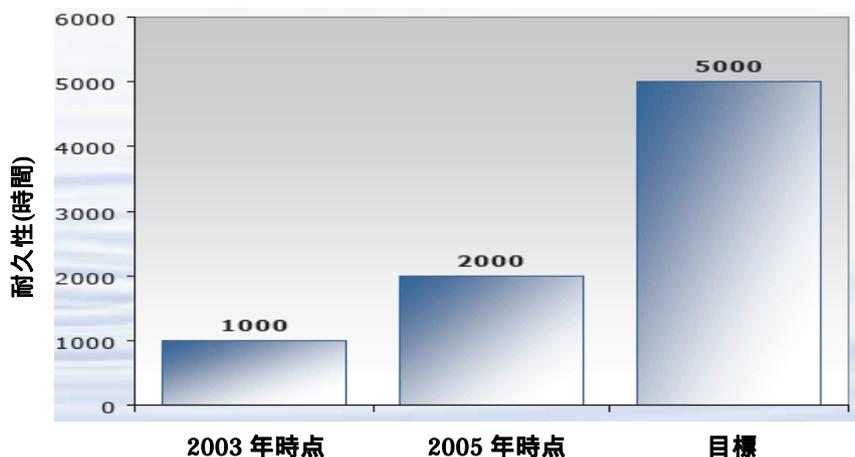
図 2 燃料電池のコスト



⁸ 当初 2002 年に DOE と自動車業界との間で FreedomCAR パートナーシップとして発足。2003 年にブッシュ大統領の水素燃料イニシアティブが発表された後、石油会社などを加えて FreedomCAR and Fuel パートナーシップに発展した。

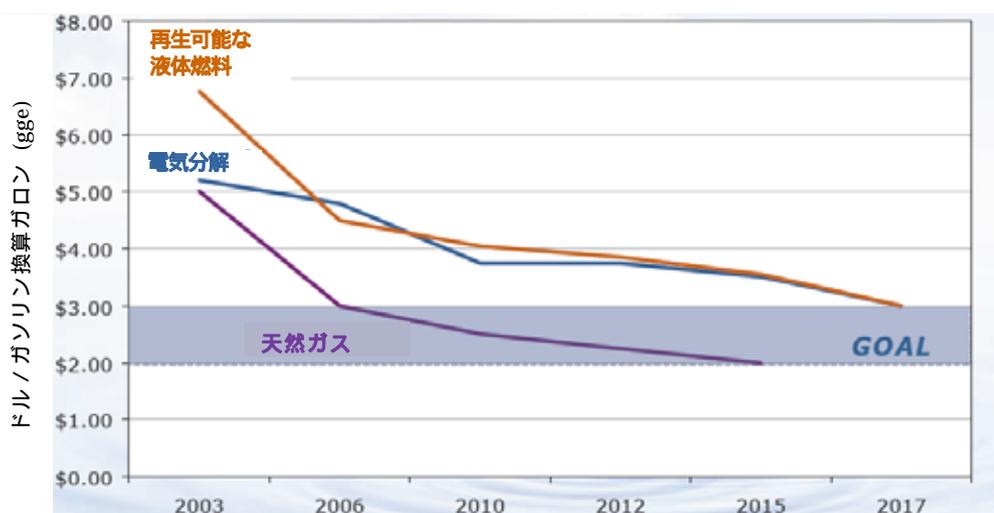
またスタック（セルの集合体）の耐久性を高めて行かねばならない。2003年当時1,000時間であったスタックの耐久時間は、2005年には2,000時間へと倍増したが、なお目標の5,000時間にはかなりの距離がある。

図3 スタック（単体）の耐久性



(5)進捗状況（水素製造）

水素の製造コストについては、2003年から2006年までの3年間で、着実な低下を実現し、特に天然ガスを原料としたものでは長期的な目標である\$2.00～\$3.00/gge⁹（“Gallon Gasoline Equivalent”の略で、水素1kgのエネルギーにほぼ等しい）の上限域に到達するところまで来た。2015年には目標域の下限値である\$2.00/ggeを目指す。また、再生可能燃料を原料とした水素製造及び電気分解による水素製造のコストは、2017年に目標域の上限値である\$3.00/ggeを目標にしている。



⁹ レギュラーガソリンの小売価格は\$2.15～\$3.22/ガロン（2005年7月～2007年6月）で推移している（EIA:Petroleum Navigator）。

(6)進捗状況 (DOE 他部局のプロジェクト)

原子力エネルギー局

- ・ 水素製造の基準技術のベンチスケール試験完了
 - ・ 熱化学及び高温電気分解双方の総合的室内実験を 2007 年 9 月に開始予定
- 基礎エネルギー科学局
- ・ 新規の構造と組成をもった合金が特定され、実験による検証を待機中
- 化石燃料局
- ・ 最初の水素分離膜のベンチスケール試験完了、2008 年のゴールが早まった

(7)進捗状況 (技術検証)

燃料電池に関して DOE では車両やインフラでの実証試験を行っている。DOE とコストを 50/50 で負担した 4 つのグループ (GM/シェル、フォード/BP、現代/シエブロン、ダイムラークライスラー/BP) による実証試験の現在のところの状況とデータは以下の通りである。

- ・ 燃料電池車 77 台
- ・ 水素ステーション 10 カ所
- ・ 燃料電池効率 53 ~ 58%
- ・ 走行可能距離 103 ~ 190 マイル (165 ~ 304km)
- ・ 耐久性 1200 時間 (~ 36,000 マイル)

また、運輸省(DOT)においては、8 台の燃料電池バスによる実証試験行い、分析のためのデータを DOE に提供している。

3. 主要なサブプログラムの概要

DOE水素プログラムの内、3つの主なサブプログラム (燃料電池、水素貯蔵、水素製造・輸送) について、目標や予算などについて、前出の全体会議資料 (3. ~ 5.) を基により詳しく紹介する。

(1)燃料電池サブプログラム

目標

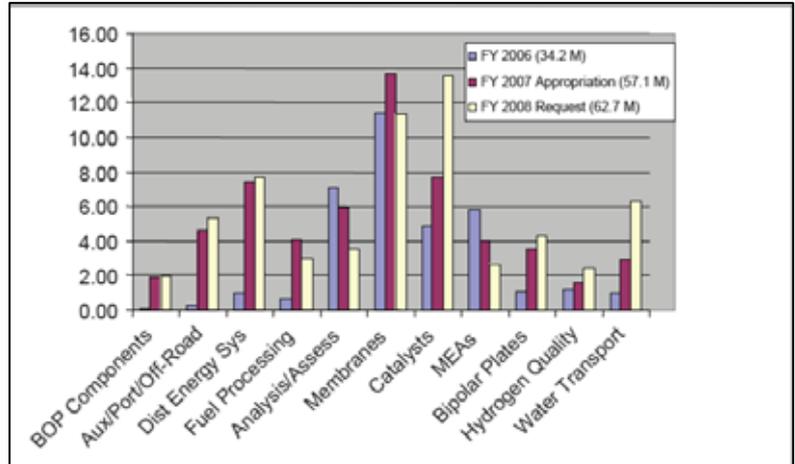
- ・ 目的： 輸送、定置式、携帯用電源のための燃料電池発電システムの開発と実証
- ・ 目標値：
(輸送用) 2010年までにコスト45ドル/kWに (ピーク効率60%のダイレクト水素燃料電池システム、寿命5,000時間(80))。2015年までにコストを30ドル/kWに。
(定置式など)
- ・ 2011年までに、天然ガスかLPGを燃料とする分散型PEM(固体高分子形)燃料電池システムで、発電効率40%、40,000時間の寿命、コスト750ドル/kWの達成。
- ・ 2010年までに、小型電子機器 (50W未満) 用の燃料電池システムで、エネルギー

密度1,000Wh/Lの達成。

- ・ 2010年までに、補助電源装置（3～50kW）用の燃料電池システムで、エネルギー密度1,000Wh/L、比出力100W/kgの達成。

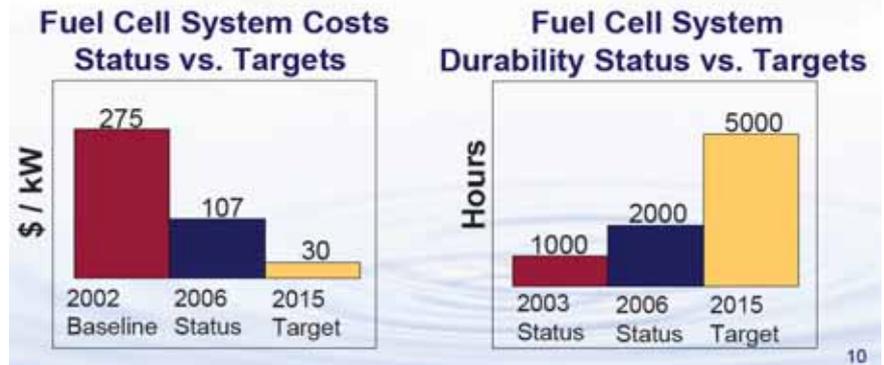
テーマ別予算（2008年度要求のハイライト）（右図）

- ・ 膜(Membranes)の予算が多いが、触媒(Catalysis)の予算が増えてきている。
- ・ 他に予算が増加しているものは、船舶用(Water Transport)、分散型エネルギーシステム用(Dist Energy Sys)など。



技術の進展状況（コスト、耐久性のグラフ）

- ・ コストおよび耐久性の双方で、目標達成に向けて成果を上げている。



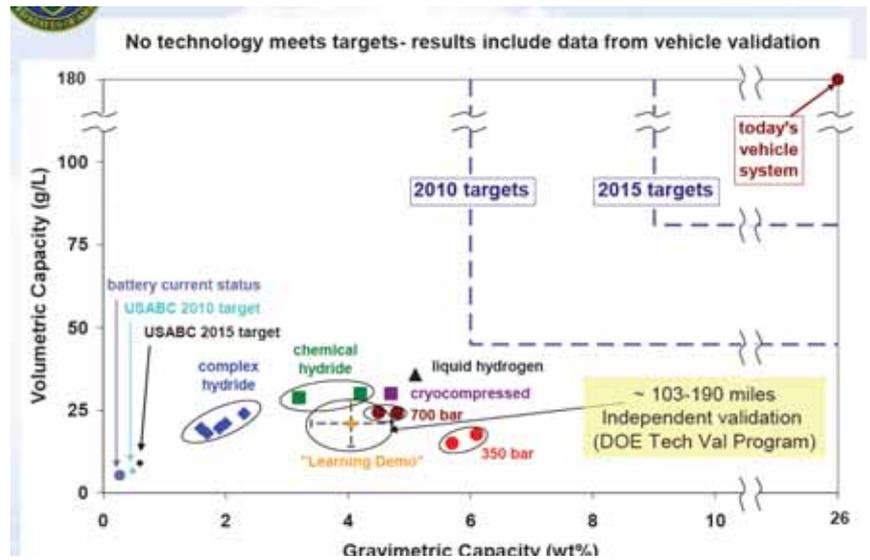
(2)水素貯蔵サブプログラム

目標値（車載用、300マイル以上の走行に必要な仕様）

目標値例	2010年	2015年
システム重量あたり貯蔵量	6wt.%(2.0kWh/kg)	9wt.%(3.0kWh/kg)
システム容積あたり貯蔵量	1.5kWh/L(45g/L)	2.7kWh/L(81g/L)
貯蔵コスト	\$4/kWh(～\$133/kg H ₂)	\$2/kWh(\$67/kg H ₂)
流速(Min.Full Flow Rate)	0.02g/s/kW	0.02g/s/kW
再充填時間（5kg の）	3分	2.5分
サイクル寿命（耐久性）	1,000サイクル	1,500サイクル

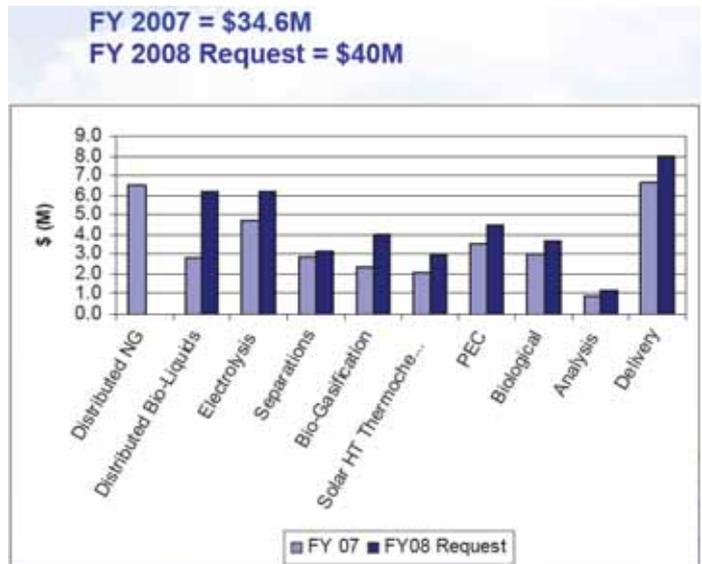
単位あたりの貯蔵量の現状と目標値 (右図)

- ・ 上表の目標値のうち、重量当たりの貯蔵量(横軸)と容積当たりの貯蔵量(縦軸)を图示したもの。左下の点群が種々の貯蔵方式による実績値を表す。



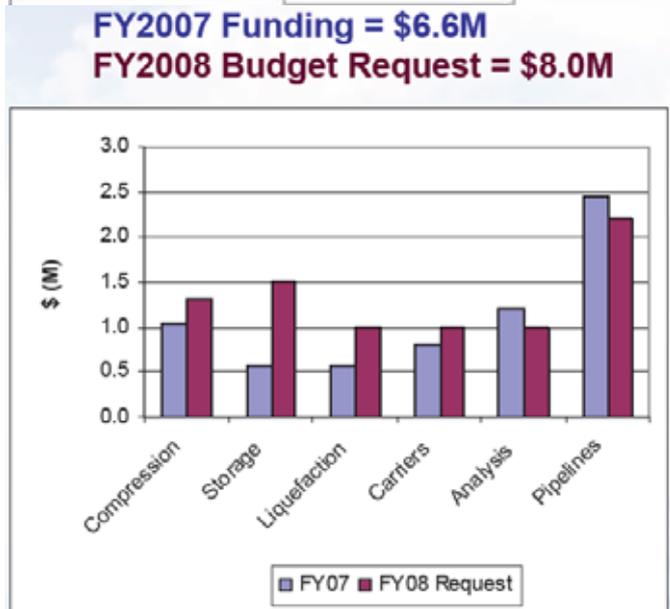
**(3)水素製造および輸送サブプログラム
水素製造 テーマ別予算(2008年度要求のハイライト)**

- ・ 分散型の天然ガス(Dist NG)から、分散型のバイオ液体燃料(Dist Bio-Liquids)などへの移行
- ・ 電気分解(electrolysis)システムへの引き続きの注力
- ・ 長期的な再生可能な技術および水素輸送への研究の継続



**水素輸送 テーマ別予算
(2008年度要求のハイライト)**

- ・ 圧縮(Compression)、非車載貯蔵(off-board storage)、液化(liquefaction)の予算の増加。
- ・ 分析(Analysis)やモデリングの完了。
- ・ 長期的観点での選択肢を残すためにパイプライン(Pipelines)への資金拠出の継続。



4. 所感（会議の出席者のコメント）

本成果評価会議には、NEDO 技術開発機構から職員を派遣し情報収集を行っている。以下に本会議を傍聴しての所感をご紹介します。

DOE 水素プログラムレビュー会議は、DOE の実施する水素・燃料電池関連の技術開発の進捗確認および評価のための会議であり、毎年実施されている。

この会議は、NEDO 燃料電池・水素技術開発部の成果報告会と評価を兼ね合わせた会議のようである。今回の参加登録者は 930 名で、その内発表者約 300 名、評価者 170 名程度（2006 年実績）であり、口頭及びポスターセッション発表合計 320 件の大会議である。

燃料電池に関する発表は 71 件（全体の 22%）であった。大学関連が 6 割を超えていた。また、基礎エネルギー科学（BES）は、昨年はポスターセッションのみであったが、今年度は大学、国立研究所の発表があった。米国においては積極的に基礎研究を進めている印象を受けた。

評価委員には、自動車及び燃料業界を中心とした米国の専門家の他に、欧州・日本からの専門家が多く招かれており、ふところの深さを感じられる。

また、評価を兼ねた会議が毎年実施されるので、開発期間と評価サイクルのバランスを見る必要があるのではないかと感じた。

NEDO 事業と比較した得失は以下の通り。

水素社会実現のために受け入れ可能なコストターゲットを満足する実用化技術の開発が中心であり、技術開発目標が明確なような印象を持った。ただし、例えば水素製造コストのターゲットは示されているが、貯蔵や供給も含めた水素ステーションでの供給水素コストについても設定すべきと感じた（シナリオにあるかもしれない）。また、水素プログラムの基本的な考え方は、水素社会実現に向けた「クリティカルパス」の技術の研究開発である。このため、特に方式（エネルギー源）を特定する目的ではなく、最終的には市場が判断するといった考え方の方である。

上記の考え方により、技術開発の開発ステップでは考え方の確認・検証ができた後に実証機の開発を実施し、最終的に実用機の開発と進むようである。

タイムスケジュールとしては、Hydrogen Posture Plan にあるように 2030～2040 年が市場成熟期と見ており、2015～2017 年頃までに実用技術の市場成立性の可能性を判断すればよいようであり、基本の技術開発は、2010 年頃までではあるが比較的緊急性は低いようである（日本のように具体的な導入目標は示されていないせいかもしれない）。

また、日本同様 Back to Basic による技術開発のブレイクスルーも意図しており、科学(SC)局の事業に力を入れているようである。

このため、再生可能エネルギー（RE）分野、バイオ技術及び原子力利用等広範囲な技術開発を実施している。プッシュ大統領の水素燃料イニシアティブも 2008 年で終了

でありポスト事業が注目される。

課題としては、日本と比較して開発者間の連携や情報の共有化を図る実施者レベルでの委員会等のしくみが無いように思われ、それぞれが目標に向かって技術開発に取り組んでいるイメージである。(政策レベルでは DOE 水素プログラムでは水素・燃料電池技術開発に係わる問題に関して DOE 長官に助言を行う、水素・燃料電池技術諮問委員会 (HTAC=Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee)を設定している。)

米国も、エネルギー安全保障が起爆剤とはいえ、精力的に技術開発プログラムを進めている。日本が先頭を走り続けるためには予算的にも、内容的にも充実した技術開発を産官学の連携のもと推進していく必要があると感じた。

(「4.所感」執筆：NEDO 燃料電池・水素技術開発部 久保田康宏、梅花豊一、横本克己)

出典

Annual Merit Review Highlights 2007 DOE Hydrogen and Fuel Cell Projects

http://www.hydrogen.energy.gov/annual_review07_proceedings.html

DOE スタッフによる基調報告

http://www.hydrogen.energy.gov/annual_review07_plenary.html

Program Overview

http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review07/pl_1_davis.pdf

DOE 水素プログラムの web サイト

<http://www.hydrogen.energy.gov/>

【燃料電池・水素特集】研究開発政策

実証段階に入った水素・燃料電池開発（ドイツ）

国家レベルの開発から産官学共同のプログラムへ

ドイツでは 1974 年から 2003 年までの間、ドイツ連邦教育研究省と経済労働省（当時）がエネルギー研究開発事業の一環として、水素技術と燃料電池技術の開発に約 2 億ユーロを投入して研究開発を進めてきた。その後、国内における水素・燃料電池技術の開発を産業界と協力してより効率的、戦略的に実施するために産官学の代表で構成される水素・燃料電池戦略協議会が結成され、2006 年 5 月には同協議会により水素・燃料電池技術国家技術革新プログラム（NIP）が作成された。

水素・燃料電池技術国家技術革新プログラム（NIP）の特徴

水素・燃料電池技術の開発分野

- 1) 交通
- 2) 家庭用燃料電池
- 3) 産業用燃料電池
- 4) 特殊市場（レジャー、家電、非常電源 / 無停電電源など）の 4 分野

研究開発資金

- ・ 2007 年から 2015 年までに全体で 21 億 1,700 万ユーロを予定。
- ・ 最低半分は産業界が負担。
- ・ 公的補助の部分についてはドイツ連邦政府ばかりでなく、EU と州からも支給の予定。
- ・ 配分は、交通（54%）、家庭用（24%）、産業用（12%）、特殊市場（10%）。
- ・ 教育研究省が基礎研究を、経済技術省が応用研究を、交通建設省が実証プロジェクトを担当。現在は水素・燃料電池の分野の技術開発補助を行っていない環境省も、プログラムの中に組み込まれている。
- ・ 研究開発資金の約 65% を実証プロジェクトに割当。本プログラムの重点が、水素・燃料電池技術の早期市場投入を目的とした実証プロジェクトであるため。

プログラム実施機関

- ・ 2007 年中に水素・燃料電池国家組織（NOW）が有限会社として設置される予定（プログラム調整と実証プロジェクトの実施、管理を担当）
- ・ 基礎研究、応用研究については、これまで通り、ユーリヒ研究センター内のプロジェクト振興機関がプロジェクトを管理する。同機関は、水素・燃料電池の国内調整機関として位置づけられ、水素・燃料電池戦略協議会の事務局も兼務している。

技術開発のロードマップ（国家開発計画）

NIP を具体化するために水素・燃料電池戦略協議会は、技術開発のロードマップ（国家開発計画）を作成した。最新の国家開発計画（第 2.1 版、2007 年 4 月 30 日）によると、開発分野毎に以下の目標が設定されている。

1) 交通

2015 年の商用化を目標に、燃料電池車、水素車の開発のほか、水素製造（バイオマスからの製造も含む）、貯蔵などインフラ設備の開発が行われる。その前の 2010 年の段階で技術の可能性について再検討され、競争力のある技術の開発を目的に技術開発の内容が整理される。

2) 家庭用燃料電池

2010 年までに 450 基（発電効率 30-33%、寿命 1 万時間）、2012 年までに 2250 基（発電効率 33-35%、寿命 2 万 5000 時間）の実証機の設置を目指す。最終的には、2020 年から年間 7 万 2000 基（1kW 当たりのコスト 1700 ユーロ）の製造を目指す。

3) 産業用燃料電池

2010 年までに発電効率 50%、2012 年までに寿命 4 万時間を目指す。

4) 特殊市場

2015 年までにパイロットプロジェクト、フィールド試験を実施する。

現在の到達点は、水素・燃料電池技術国家技術革新プログラム（NIP）を実施するための枠組みが整備された段階であり、今後は国家開発計画に基づき、2007 年から具体的な活動が本格的に始動する。

略語：

NIP = Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW = Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen GmbH

参考資料：

= Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
= Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Workshop des Bundesumweltministeriums „Perspektiven der Brennstoffzelle“
= Nationaler Entwicklungsplan Version 2.1 zum Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
= Stand des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, 3. Vollversammlung Strategierat Wasserstoff Brennstoffzellen

関連サイト：

水素・燃料電池国内調整機関：www.nkj-ptj.de

【燃料電池・水素特集】
燃料電池自動車
携帯用燃料電池

水素ハイウェイを中心に広がる水素・燃料電池技術（カナダ）

世界でトップレベルに位置するカナダの水素・燃料電池市場。しかし 2003 年をピークに同業界における売上高、研究開発（R&D）費用は頭打ちになっており、特にデモンストレーションプロジェクトは減少傾向にある。その中で 2010 年冬季オリンピックに備え整備が進んでいる水素ハイウェイ™ は、連邦・州政府の支援を受け、様々な新技術を巻き込んだ形で注目を集めている。

<水素・燃料電池関連企業は得意分野へシフト>

業界団体である「水素・燃料電池カナダ¹」が税理士法人プライス・ウォーター・ハウス・コーパーズ²と共同で行った調査結果によると、2005 年、カナダにおける水素・燃料電池産業分野の研究開発とデモンストレーション（RD&D）費用は 2 億 1,800 万カナダ・ドル（以下 Cドル：約 290 億円）と 2004 年（18.2%減）に引き続き前年比 8.0%減少した。またデモンストレーションプロジェクトの数は 2004 年の 215 プロジェクトから 2005 年の 142 プロジェクトに減少している。これらは、水素・燃料電池関連企業各社は数々の実証プロジェクトに投資を続けた結果をもとに、より得意分野へシフトしているといえる。例えば、ポータブル燃料電池分野では、携帯型電子機器向けハイブリッドバッテリー Formina™ Power Pack で有名なテキオン社³や、携帯電源用の Micro Hydrogen™ 技術を持つアームストームパワー社⁴等、カナダ企業は革新的な技術を開発している。

民間企業は焦点を絞った研究開発へシフトしているものの、業界団体や政府の間ではデモンストレーションプロジェクトは、最終消費者や投資家を同産業へ引き付けるために必要不可欠なものとして認識されており、2007 年の連邦予算においてもブリティッシュ・コロンビア州（BC州）の燃料電池関連デモンストレーションプロジェクトを有望分野として支援していくこととしている⁵。

<水素ハイウェイ™ に 20 台のバスが運行>

国内のデモンストレーション・プログラムの中で最も有名なものは水素ハイウェイ™ で、既に 5 年間で約 10 億 Cドル（約 1,200 億円）投資されており、現在、4 台の水素供給ステーションが稼働中、3 台が年内に稼働する予定である。連邦政府の予算的支援を受けた BC 州政府も同プロジェクトへの投資を発表、両政府の投資額は約 8,900 万 Cドル（約 105 億円）にのぼり、さらに 8 台の水素供給ステーションの開発

¹ Hydrogen & Fuel Cells Canada

² Price waterhouse Coopers

³ Tekion Inc.

⁴ Angstrom power Inc.

⁵ ecoTrust funding

<http://www.h2fcc.ca/cfm/index.cfm>

<http://www.pwc.com/>

<http://www.tekion.com/main.htm>

<http://www.angstrompower.com/>

と 20 台の水素燃料式公共バス車両開発費用に充当されることになった。この世界最大の燃料式公共バスは 2010 年のバンクーバー冬季オリンピック前に開通する予定である。同計画により、ウィスラーからバンクーバー、サレー、ビクトリア各市が結ばれることになる。同ハイウェイはカリフォルニア水素ハイウェイ™と連結し世界最長の水素ハイウェイ™となる予定だ。

< 化学工場からの副生水素を乗用車に利用 >

水素ハイウェイの中心ターミナルとなる北バンクーバーでは、総費用 1,800 万 C ドル (約 21 億円) をかけた廃水素利用プロジェクト⁶ (以下、IWHUP) がセイカー・デイビー・グループ⁷ を中心に既に始動している。化学処理工場から排出される副生水素を利用するプロジェクトであり、副生水素は 99.999% の純度で 450bar の圧力で供給され、ダイネテック社⁸ の炭素繊維で包まれたアルミニウムライナー (圧縮水素容器) で輸送される。輸送された水素燃料は、

- a. 軽乗用車用水素燃料ステーションにおいて水素自動車に 350bar で供給されるか、
- b. 大型車両用水素燃料ステーションに水素 20% と圧縮天然ガス 80% の混合ガス (以下、HCNG) 状態で供給されるか、
- c. 洗車用への熱量、電力量に利用される。

現在、同プロジェクトで供給源としている北バンクーバー化学工場から排出される副生水素により、年間 2 万台の乗用車の燃料がまかなえるという。世界中には副生水素の供給源は 1,000 以上あり、年間 2,000 万台の乗用車燃料の供給源になる可能性があるとして今後の動向が注目されている。

参考文献

Hydrogen Highway™

<http://www.hydrogenhighway.ca/code/navigate.asp?Id=265>

各社ホームページ、連邦政府インタビュー

⁶ Integrated Waste Hydrogen Utilization Project (I.W.H.U.P)

⁷ sacre-davey group <http://www.sacre-davey.com/>

⁸ Dynetik Inc. <http://www.dynetik.com/>

【燃料電池・水素特集】**固体高分子形燃料電池(PEFC)****燃料電池で稼動するガラスのビル(スウェーデン)****最先端新興住宅地域**

ストックホルム市内のハンマルビー・シェースタード地区は、スウェーデンの誇る最先端の環境技術が縦横無尽に活用されている新興大住宅地域である。1993年に建設が開始され、2017年の完成予定で、完成時には住居10,000戸、住民25,000人の規模を想定している(2007年現在の住民は10,000人)。たとえば同地区のゴミはすべて地下にめぐらされたバキューム・システムで近接の大規模廃棄物処理場に送られ、バイオガスとなって地域暖房や市バスの燃料に還元される。ストックホルムのウオーターフロントにある同地区への交通は環境にやさしい路面電車や運河を結ぶ小さな連絡船などが使用されている。住民用のカー・シェア(車を共同で使う)システムもある。

ガラスの家プロジェクト

同地区の真ん中に変った外見の小さな建物がある。壁のほとんどがガラスになっているこの建物は「ガラスの家(グラスヒューセット、Glashuset)」とよばれ、同地区に使用されている各種の環境・エネルギー技術の展示や住民の環境意識の向上を図る広報活動のための施設であるが、実は建物全体が環境・エネルギー新技術の試験場になっている(参考資料2に概略図あり)。

ガラスの家プロジェクトはABB社(重電、エネルギー・インフラ)、フォットウム社(Fortum、エネルギー供給)、ストックホルム水道公社(Stockholm Vatten)の三社が主体となって進めてきたもので、ストックホルム地域投資資金、国立エネルギー庁資金なども受けている。ガラスの家で実際に使用されている主な環境・エネルギー技術としては屋上に設置した太陽電池、電気分解装置、地域で製造したバイオガスおよび水素ガスの貯蔵、低エネルギー電灯と外壁を透明ガラス窓にすることによる節電・省エネ、**地下に設置した燃料電池**などがあげられる。

3年間の評価最終報告書

このガラスの家の環境エネルギー技術に関する3年間(2002~2005年)の評価の最終報告書が最近公表された(参考資料3)。同報告書によるプロジェクトの技術的評価のまとめは以下の通りである。

- ・ 再生可能エネルギーシステムは大きな技術的価値があるものであり、ガラスの家はこのシステムの宣伝に貢献できた。
- ・ 燃料電池その他のシステムにおいて部品の安定供給が肝要であるということがわかった。
- ・ 太陽電池(3kW)および水素貯蔵は良く機能した。

- ・ **2つの異なるシステムの燃料電池**がテストされた。最初のものはリフォーマー（改質器）付きでバイオガスと水素ガスを使用するものであった（4kW 規模）。諸般の事情から（後述）2004年にリフォーマー無し、水素ガスのみで稼動するシステムに替わった（1kW 規模）。
- ・ 燃料電池および電気分解装置（electrolyser）に関しては問題が生じた際のサプライヤーとのコンタクトが非常に重要であるということがわかった。
- ・ 日照時間等が平年ベースであった2003年は、太陽電池は2,200 kWhの発電をした。
- ・ 同年、燃料電池は2,600 kWhの電気、5,500 kWhの熱を供給し、平均発電効果は13%（AC）であった。バイオガスを用いた際の平均発熱効果は56%であった。
- ・ 水素による二番目の燃料電池の平均発電効果は31%（AC）であった。
- ・ 電気分解装置は期待ほどには機能しなかった。
- ・ 全体の補完システム、制御システムはよく機能した。

燃料電池が一番の問題

上記のまとめにもあるように、ガラスの家プロジェクトで使用された各種新技術のうち**一番問題があったのは燃料電池**であった。燃料電池はABB社が、定置用燃料電池が現場でどのような働きをするかをテストする目的で、ガラスの家のテレビスクリーンや、暖房などへのエネルギー供給などに使用されていたものである。

最初および二番目の燃料電池は両方ともPEFC（Polymer Electrolyte Fuel Cell）タイプのものであった（固体高分子形 Proton Exchange Membrane に分類される）。

最初のモデル

カナダのH Power社製 RCU 4500-2（2002年5月から2004年5月まで使用）はバイオガスあるいは水素ガスのどちらも使用可能だったが、一度に両方は使用できなかった。つまりバイオガス（メタン）をリフォーマーによって水素ガスに換えて使用する場合には、圧力が異なるため、水素ガスボンベからの水素ガスと混合はできなかった。

2003年2月～8月の結果では、最大発電効率は予想より低く2.5～3.5kW、最大発熱効率は予想より高く8.5kW、稼働時間900時間、エネルギー供給量2,400 kWhであった。

2003年11月に燃料電池から水素が漏れていることが確認されたため、2004年1月に修理のために燃料電池をPlug Power社（USA）*に送ったが、交換する部品が無かったため、壊れた部分を取り除いた状態で2004年5月に再びグラスヒューセットに設置した。しかし稼動50時間後に再び同じ問題が起こったため新しい燃料電池を購入することとなった。

* H Power社を2003年春に買収した。

二番目のモデル

予算の制限により、燃料電池はより単純で規模の小さいAvista Independence 1000

(現在は ReliOn と改称)が選ばれ、2004 年秋に設置された。リフォーマー無しのタイプなので水素ガスのみが使用可能であった。冷却装置付きのタイプであったため、最初の燃料電池の場合に可能であった熱の再利用はできなかった。

使用結果は、稼動 450 時間、電気生産量 320 kWh、効率(DC)36 ~ 40%、効率(AC、500 W) 31%であった。

新たな燃料電池

ガラスの家プロジェクトはその後エネルギー庁の「技術購入プロジェクト」と合体し、その結果、新たに SOFC (Solid Oxide Fuel Cell : 固体酸化物形) システムの燃料電池がこれまでのものに替わって設置されることになり、2007 年春に設置された。新燃料電池はこれまでのところ問題なく機能しているとのことである。

* 参考資料 *

1 . 「ハンマルビー・シェースタード (海の街ハンマルビー、という意味) 」ホームページの GlashusEtt の説明 (英語)

<http://www.hammarbysjostad.se/glashusett/>

2 . ABB 社による GlashusEtt の説明 (英語)

<http://www.abb.se/cawp/seabb361/311353f0002e00fd41257251002e90d6.aspx>

3 . ABB 社、Fortum 社およびスウェーデン・エネルギー庁による GlashusEtt プロジェクトの技術的評価最終レポート(スウェーデン語。7-8 ページに英語のサマリーあり)

[http://www.energimyndigheten.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC12572CA00535B79/\\$file/G1%20Slutrapport%20normal.pdf](http://www.energimyndigheten.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC12572CA00535B79/$file/G1%20Slutrapport%20normal.pdf)

【燃料電池・水素特集】 航空機への適用**燃料電池の航空機への適用研究 (EU、米国)**

燃料電池を航空機に搭載するという研究が、欧州連合(EU)および米国でそれぞれ個別に行われている。以下では、最近発表された両者のプレスリリース資料を紹介する。

1. 燃料電池を動力源とする航空機の開発 (EU)

EUの強力な支援により、都市を結ぶ燃料電池を動力源とした航空機が開発されている。EUはこの開発を行う「ENFINCA-FC¹」プロジェクトに 290 万ユーロを提供している。このプロジェクトは、トリノ工科大学航空機設計・宇宙構造学部のGiulio Romeo 教授が主導しており、第 6 次研究開発フレームワーク計画 (FP6) の航空・宇宙分野の一環として行われている。この取り組みは、欧州の優れた技術力を世界に示すことに貢献している。

Giulio 教授は声明の中で次のように述べる。「今や、水素燃料電池技術は軽航空機や小型コンピューター航空機用の推進システムを開発するための新たな段階に到達している。」プロジェクト資金の 3 分の 2 は、燃料電池技術と化石燃料の代替エネルギーの開発に取り組む欧州委員会から拠出される予定である。このプロジェクトの主な目的は、軽量・小型のコンピューター航空機の推進システムに用いる燃料電池技術の開発と実証である。将来的には、この研究で開発された技術をより大型の航空機に応用し、全て或いは大部分を電気で駆動させることを目指している。

この燃料電池システムは、選定された航空機に設置され、将来的な機能性と適用性を調査するために飛行試験と性能試験にかけられる。プロジェクト結果は、3 年の研究期間の終了時に地上と機内で行われるイベントで公表される。一方、ボーイング社と欧州のパートナー企業は、20kW の燃料電池とリチウム電池パックを動力源とする軽航空機の設計に取り組んでおり、2 人乗りの航空機を使った飛行試験を今年中に開始する予定である。

燃料電池技術を採用する最大の利点の 2 つは、低騒音と低排出である。これらの特徴は、コンピューター航空機の離着陸および都市部や人口密集地での着陸に最も重要な要素である。都市周辺の小規模な飛行場を対象とした騒音防止規制に触れることなく離着陸できれば、最も規制が厳しい深夜の運航が可能になるだろう。

¹ Environmentally Friendly Inter-City Aircraft powered by Fuel-Cells
参照：<http://www.enfica-fc.polito.it/en>

このプロジェクトのコンソーシアムは 11 のパートナーで構成されており、都市間を運航する航空機の設計、開発および実証に関わる産業界と学界の第一人者の他、燃料電池の専門家が集結している。この研究は、低騒音・低排出を実現するための手法を提示することに加え、燃料電池の適用によって可能となる、従来型システムより優れた技術・性能面に重点をおいている。

この研究は、航空機の CO₂ 排出削減を求める声が次第に強まる中で開始された。「欧州委員会が資金拠出するプロジェクトでこのような野心的な結果を約束しているものは他にない」と Giulio 教授は強調する。

2. 燃料電池を予備電源とする航空機の開発（米国）

サンディア国立研究所とボーイング社は、航空機用予備電源としての燃料電池の可能性を調査するプロジェクトに共同で取り組んでいる。

民間機および軍用機は、重要なサブシステムに対して非常時の予備電力を供給する為に様々な技術を用いている。専用バッテリー、飛行中の補助電源装置の利用、ラムエア・タービンなど、利用される技術は航空機によって異なる。

このプロジェクトは、2002 年に署名された包括的な共同研究開発の合意に基づく新しい取り組みである。

サンディア国立研究所は、国家核安全保障局（NNSA）が管轄する研究所である。

このプロジェクトは、予備電源に固体高分子形（PEM）燃料電池を利用することに重点を置いている。サンディア国立研究所は、電気・環境の要件、貯蔵上の課題および効率性に留意しながら研究を主導している。

「ボーイング・システムズ・コンセプト・センター」の技術研究員でプロジェクト・マネージャーを務める Joe Breit は次のように述べる。「航空機用の電力を代替エネルギー源で賄っていく上で、燃料電池は簡単で革新的なアプローチだ。ボーイング民間航空機会社（Boeing Commercial Airplanes）における取り組みの大部分は、石油を使った動力への依存を軽減する環境面に優れた技術に重点を置いている。サンディア国立研究所との共同研究はこれに貢献している。」

「このプロジェクトは、サンディア国立研究所が 60 年にわたり蓄積してきた軍事用の水素貯蔵技術の他、DOE が出資する金属水素化物中核的研究拠点（Metal Hydride

Center of Excellence)における材料科学と水素貯蔵工学に関する最近の研究開発成果を活用している」とカリフォルニア州リバモアにあるサンディア国立研究所の施設でプロジェクト・マネージャーを務める Lennie Klebanoff は述べる。

サンディア国立研究所で PEM 燃料電池の研究を行う Chris Cornelius は、燃料電池の要件、実装および効率性の評価を行う予定である。また、Klebanoff は水素貯蔵の選択肢と課題を分析することになっている。

出典：

1. 燃料電池を動力源とする航空機の開発 (EU)
Fuel-cell powered aircraft take to the skies
http://ec.europa.eu/research/headlines/news/article_07_06_27_en.html
2. 燃料電池を予備電源とする航空機の開発 (米国)
Sandia/Boeing collaboration targets aircraft fuel cell application
<http://www.sandia.gov/news/resources/releases/2007/boeing.html>

編集：NEDO 情報・システム部、翻訳：山本 かおり

【燃料電池・水素特集】 水素エンジン

HyICE プロジェクト：内燃機関で水素を(EU)

欧州委員会は2004年1月、「化石燃料を基盤とする社会」から「水素を基盤とする社会」への移行を目指し、欧州水素・燃料電池技術開発プラットフォーム（HFP：European Hydrogen & Fuel Cell Platform）を設立するなど、水素・燃料電池分野の研究開発に積極的に取り組んでいる（HFPのより詳細については、本特集の別記事を参照）。

欧州委員会はHFPを通じ、加盟国で分散して行われがちな水素・燃料電池技術の開発を、EUレベルのパートナーシップに発展させ、水素・燃料電池技術の実用化で米国や日本に遅れをとることがないようにする。また、価格競争力が高い、世界レベルの水素や燃料電池をベースとする輸送手段、定置型並びに携帯型燃料電池に適用するためのエネルギー・システムなどの開発、インフラ整備を加速させる。

こうした取り組みの1つとして、2004年1月5日に第6次研究開発フレームワーク計画（FP6）の枠内で開始されたHyICE（Hydrogen Internal Combustion Engine）プロジェクトを挙げることができる。HyICEは3ヵ年の研究開発プロジェクトで、**水素を燃料とするクリーンで経済的な自動車エンジンの開発**を目的としている。総コストは772万ユーロで、欧州連合（EU）が500万ユーロ余りを拠出した。

HyICEは、FP6で導入された「統合プロジェクト（IP）」の1つで、2007年1月4日に終了し、第7次研究開発フレームワーク計画（FP7）に引き継がれた。BMW Forschung und Technik（ドイツ）がプロジェクトのコーディネータを務め、ANSYS（ドイツ）、Irion Management Consulting（ドイツ）、MECEL（スウェーデン）、Bundeswehr 大学（ドイツ）、グラーツ工科大学（オーストリア）、MAN Nutzfahrzeuge（ドイツ）、フランス石油研究所、Volvo Technology Corporation（スウェーデン）、Hoerbiger（オーストリア）が参加したほか、米国のFordがFord Forschungszentrum（ドイツ）を通じて協力している。

水素を燃料とする場合、燃料電池を搭載した車両を使用する方法もあるが、HyICEでは、エンドユーザーに従来と同様の車両を提供できることから、内燃機関（Internal Combustion Engine、ICE）が一般的な用途に適していると判断された。水素を燃料とする内燃機関の方が燃料電池よりも安価で、早期に使用が可能となるという点も考慮された。また、水素ICEは、過渡的な技術としてではなく、長期的な解決策とみなされており、大型車のみならず小型車や中型車を含む大きな市場が想定されている。

プロジェクトでは、新しい燃料噴射システムや点火装置のような部品の開発、混合・燃焼プロセスの最適化のためのコンピュータ流体力学（CFD）の適用に関する研究などが行われた。また、このプロジェクトでは、「極低温水素ガスと燃焼空気の混合」、「燃焼室への水素直接噴射」という2つのアプローチが試みられた。

また、現在使用されているディーゼルエンジン並みの性能を有する水素エンジンの試験も行われたが、欧州委員会のポトチュニック委員（科学・研究担当）は、「HyICE プロジェクトは、化石燃料への依存度の削減に果たす EU レベルの研究の役割を明確に示した。この種の技術の開発は、環境保護だけでなく、世界的な競争における欧州の強固なポジションを確保するのに役立つ」としている。

なお、BMW グループは2006年11月、ベルリンで水素 ICE 車の新モデル「Hydrogen 7」を公開した。この車は、BMW760Li をベースとしたもので、水素とガソリンを燃料として使用できる。約 8kg の液体水素と 74 リットルのガソリンの貯蔵が可能で、水素だけで 200km 以上走行できる。

「Hydrogen 7」は 100 台あまりしか生産されておらず、プロモーションのため、俳優のブラッド・ピットのような著名人に貸し出されているが、欧州委員会にも試運転のため2台の「Hydrogen 7」が提供された。ブリュッセルには水素供給ステーションが存在しなかったが、この2台の水素自動車への燃料供給のため、Total 社がブリュッセル市内に水素供給ステーションを開設した。これは暫定的なものではないが、Total 社はこれを恒久的なものとして申請を行っている。公式な許可があれば、Total 社は液状水素のほか、バス用のガス状水素の供給も行う予定。同社は、水素分野で BMW と協力しており、2006年3月には、ベルリンに最初の水素供給ステーションを設置した。2つ目は2006年11月ミュンヘンに設置され、ブリュッセルは、同社の3つ目の水素供給ステーションとなる。

出典

欧州委員会：

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/254&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=ja>

http://www.ec.europa.eu/research/transport/news/article_5199_en.html

http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_PROJ&ACTION=D&DOC=1&CAT=PROJ&QUERY=1182090344309&RCN=74300

BMW:

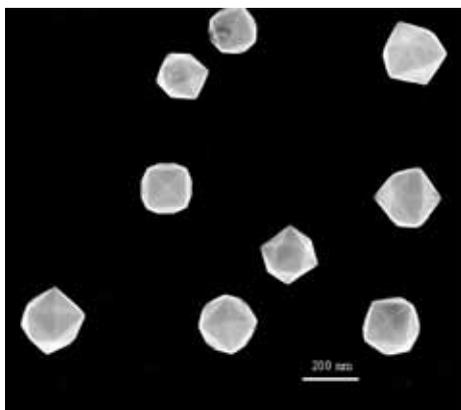
http://www.bmwgroup.com/e/nav/index.html?..../0_0_www_bmwgroup_com/home/home.html&source=overview

【燃料電池・水素特集】触 媒 水素製造

24 面体白金ナノ結晶が燃料酸化や水素生産の触媒能力を促進（米国）

米国と中国の電気化学者と材料科学者で構成される研究チームにより、新しい形状の白金が開発された。白金は産業部門で重要な金属である。この白金は 24 面体のナノ結晶で、単位面積あたりの触媒能力は既存の商業用白金触媒の 4 倍に達する。

この新しい白金ナノ結晶は、24 面体から構成される。このような構造を持つ金属は過去に報告例がなく、燃料の酸化触媒や燃料電池用の水素生産などに使われる化学プロセスの効率を高める可能性を持っている。



走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて低倍率で撮影した成長時間 60 分の 24 面体白金ナノ結晶

ジョージア工科大学の材料化学工学部で指導教授を務める Zhong Lin Wang は次のように述べる。「水素経済が到来すれば、より優れた触媒が必要になるだろう。この新しい形の白金ナノ粒子は、従来のものと比べて触媒活性が著しく高い。また、この取り組みは高エネルギー面を持つ金属ナノ結晶の新しい生産方法を示している。」

この新しいナノ結晶は、炭素基質上の白金ナノ粒子から電気化学的に生産され、高温下でも安定した状態を保つ。ナノ結晶の大きさは、これらに加える方形波電圧の周波数を変えることによって調整することができる。

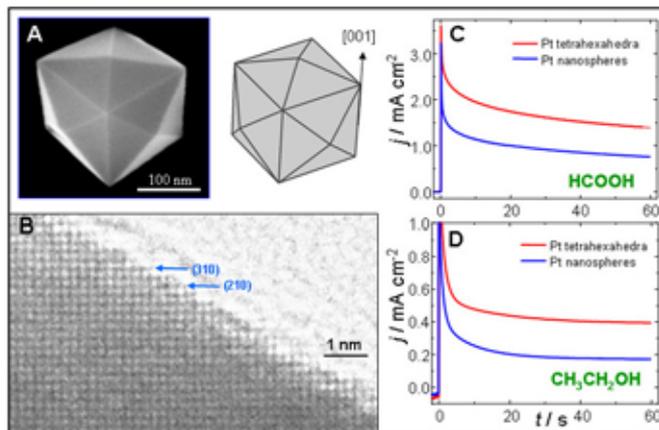
中国のアモイ大学で化学・化学工学部の教授を務める Shi-Gang Sun は次のように述べる。「この電気化学的手法は、このような 24 面体の白金ナノ結晶の生産に不可欠だ。新しい白金ナノ構造の生産に使われるこの技術は、他の金属触媒にも応用できる可能性がある。」

この研究は、中国の国家自然科学基金、中国の“ Special Funds for Major State Basic

Research Project ” および米国立科学財団の資金提供で行われた。詳しい研究内容は 5 月 4 日発行のサイエンス誌に掲載されている。

白金は多くの重要な反応を促進させる触媒として極めて大きな役割を果たしており、工業化学プロセス、排ガス汚染を軽減する自動車の触媒コンバーター、燃料電池、センサーなどに利用されている。商業化されている白金ナノ結晶（立方体、4 面体、8 面体）は、{100} または{111}で特徴づけられる低指数面（low-index facet）を持っている。高指数面（high-index facet）の方が高い触媒作用を持つので望ましいが、現時点でこのような表面を持つ白金ナノ結晶は開発されていないため、産業部門での実用化には至っていない。

このナノ結晶は、化学反応を促進する多数の「ダングリング・ボンド」や「原子ステップ(atomic step)」などの高エネルギー面を持っている。これらの構造は、{210}、{730}または{520}面(facet)を特徴としており、これまでの実験では最大 800 の高温で安定した状態を保つことが分かっている。「この安定性によって触媒反応でのリサイクルや再生使用が可能になる」と Wang は言う。



(A)低倍率で撮影した 24 面体白金ナノ結晶の SEM 画像とその幾何学モデル
 (B)高解像度の透過電子顕微鏡で撮影した 24 面体白金ナノ結晶。{210} と{310}サブ面（sub-facet）からなる領域に原子ステップが見られる。

まだプロセスの微調整が必要だが、処理条件を変えることで粒子の大きさを調節できるようになった結果、目標サイズより大きい粒子と小さい粒子をナノ結晶全体の僅か 4.5%にすることが可能となった。

Wang は次のように述べる。「ナノ粒子の研究には 2 つの重要なポイントがある。1 つは大きさの調整で、もう 1 つは形の調整だ。私達は、純度が高く実に驚くべき形のナノ結晶を大量に得ることに成功した。」

条件にもよるが、この新しいナノ結晶は既存の商業用触媒と比べて単位面積あたりの触媒活性が4倍にもなる。しかし、このナノ結晶は既存の白金触媒と比べて20倍以上の大きさを持つため、より多くの金属を必要とする。したがって、単位重量あたりの触媒活性は既存のものより低くなる。

Wangは次のように指摘する。「ナノ結晶の形を維持しながらより小さくする方法を見つける必要がある。処理条件をより細かく調整することで大きさを縮小することができれば、より効率的な水素生産を可能にする触媒システムができるだろう。」

この新しいナノ結晶は、直径およそ750ナノメートルの多結晶質の白金粒子から生産される。まず、これらを非晶質（ガラス質）炭素基質に電着させる。そして、これらの粒子をアスコルビン酸と硫酸からなる電気化学セルに中に置く。次に粒子は、方形波電圧（バイポーラ、10~20Hz）にさらされる。

電気化学的な酸化還元反応により、これらの粒子は10~60分の時間をかけてより小さなナノ結晶になる。炭素基質の役割は完全には解明されていないが、ナノ結晶の均一性を高めることが分かっている。

Sunは次のように指摘する。「この形を作り出す鍵は、電圧と時間の調節にある。実験の条件を変えることで、大きさを制御しながら高い均一性を保つことができる。」

走査型電子顕微鏡検査の結果、大きさの平均は直径81ナノメートルで、最も小さいものは僅か20ナノメートルであった。また、走査型電子顕微鏡検査により、これらが転位のない単結晶からなる構造であることも明らかになった。

Sunは次のように付け加える。「この研究では、このような美しい形が初めて観察されただけでなく、極めて貴重な触媒を発見することができた。また、ナノ結晶が持つ安定性により触媒反応の後も形が保持されるため、同じナノ結晶を繰り返し利用することができる。」

研究チームには、SunとWangの他にアモイ大学化学工学部のNa TianとZhi-You Zhou、ジョージア工科大学材料科学工学部のYong Dingが含まれる。

出典：Catalyst Efficiency: Platinum Nanocrystals Boost Catalytic Activity for Fuel Oxidation, Hydrogen Production and Other Key Reactions
<http://gtresearchnews.gatech.edu/newsrelease/platinum.htm>
Copyright 2007, Georgia Institute of Technology. All rights reserved. Used with Permission.

翻訳：山本 かおり

【燃料電池・水素特集】水素製造 バイオマス

バイオマス中の多糖類から水素を製造する新手法（米国）

水素経済は遠い未来の話ではない。2006年に発表された米国エネルギー省（DOE）の先進エネルギーイニシアティブ（Advance Energy Initiative）は、2012年までに安価なバイオエタノールを生産し、2020年までに水素で走る燃料電池車を普及させることを目指している。

バージニア工科大学、オークリッジ国立研究所（ORNL）およびジョージア大学の研究者達は、これから始まる水素経済を見据え、バイオマス中の多糖類（糖分を多く含む炭水化物）から安価な水素を直接生産することを提案している。

DOEは、水素燃料を輸送部門で経済的に利用するためには4つの領域で前進が必要であると述べている。4つの領域とは、生産、貯蔵、流通および燃料電池である。現在、工業用水素の大部分は天然ガスから生産されており、価格が高くなっている。水素の貯蔵と輸送は、原料が何であれ、高コストで扱いが難しく危険も伴う。また、自動車に燃料を補給するためのインフラも殆ど整備されていない。

バージニア工科大学の生物システム工学部で助教授を務める Y.H. Percival Zhang は次のように述べる。「水素エネルギーを簡単に貯蔵・輸送する方法と水素を簡単に生産するプロセスが必要である。」

Zhangと共同研究者のBarbara R. Evans、ORNLのJonathan R. Mielenz、ジョージア大学のRobert C. HopkinsおよびMichael W.W. Adamsは、合成生物学の手法を用いて自然界では共存しない13種類の酵素を組み合わせた。これらの働きで多糖類（ $C_6H_{10}O_5$ ）と水が水素に完全に変換され、必要な時に必要な場所でエネルギーとして利用できる。この「合成酵素経路（synthetic enzymatic pathway）」に関する研究は、5月23日に発行されたオープンアクセスの電子ジャーナル“*PLoS ONE*”で発表された¹。

デンプンやセルロースなどの多糖類は植物のエネルギー貯蔵に使用され、また構成要素である。また、酵素に晒されない限り非常に高い安定性を持つ。「デンプンと水の混合液に酵素を加えると、酵素がデンプン中のエネルギーを使って水を二酸化炭素と水素に分解する」とZhangは説明する。

二酸化炭素は膜に取り込まれて徐々に減少し、水素は燃料電池の発電に利用される。

¹ <http://www.plosone.org/article/fetchArticle.action;jsessionid=A7F667801109EE9706ED8484D45F6437?articleURI=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0000456>

燃料電池の発電過程で生成される水は、デンプンと水の分解装置で再利用される。研究室の実験により、全ての過程を低温（およそ華氏 86 度）および常圧の条件下で行えることが確認されている。

この研究は、自動車の燃料タンク内で原料を混合することを想定している。例えば、約 12 ガロンの容量を持つタンクには 27kg のデンプンを入れることができる。これは水素 4kg に相当する。Zhang は、1 回分の燃料で走行できる距離を 300 マイル以上と見積もっている。デンプン 1kg から生産されるエネルギーは、ガソリン 1.12kg (0.38 ガロン) から生産されるエネルギーに相当する。

水素は気体である。このため、貯蔵は水素燃料の大規模な利用を進める上で最大の障壁である。「DOE は、長期的な水素貯蔵目標を 12mass% (貯蔵容器または貯蔵材料 1kg につき水素 0.12kg) としている。しかし、現時点でこのような技術は実用化されていない」と Zhang は言う。“*PLoS ONE*” に掲載された研究論文の中で、研究チームは「水素貯蔵担体として多糖類を使用することにより、水素の貯蔵容量を 14.8mass% まで高めることに成功した」と報告している。

この構想は、理論から始まった。この研究は、Zhang が以前行ったセルロース系エタノールの製造に関する研究と ORNL とジョージア大学の研究チームが行った酵素を利用した水素製造の研究に基づいている。酵素を利用した水素製造については、1996 年に “*Nature Biotechnology*” の紙上で最初の研究論文が発表されている。ジョージア大学の著名な教授である Adams は、この論文の執筆者の一人である。研究チームは、プロセスを一つに統合することが可能であると確信していた。彼らは ORNL の水素検出装置を使ってこの理論を検証し、彼らの予測どおりに水素が生成されることを実証した。

ORNL の生物科学部門でバイオ変換グループの責任者を務める Mielenz は「この研究が成功したのは、研究者、研究所の各部門、大学の素晴らしい協力体制のおかげだ」と述べている。

Mielenz は次のように述べる。「研究所の化学サイエンス部門が持つ再生可能水素製造設備を使用できたことは、私達が開発したバイオマス変換技術の可能性を検証する上で極めて重要であった。このこともまた、バージニア工科大学やジョージア大学などの大学間の連携が如何に重要であったかを示している。」

Zhang は次のように述べる。「これは、複数の酵素を触媒として水と炭水化物から水素を取り出そうとする新しいプロセスだ。自然界では、ほとんどの水素が嫌気性発酵によって生成される。しかし、水素は酢酸と同じく副産物であり、得られる水素はグ

ルコース 1 分子あたり僅か 4 分子と少ない。私達が開発したプロセスでは、水素は主要な生成物であり、3~4 倍の水素を得ることができる。また、予想される製造コストは低く、水素 1 ポンドあたり約 1 ドルになることが見込まれている。」

Zhang は次のように説明する。「長い間、多くの物質が水素担体として提案されてきた。例えば、メタノール、エタノール、炭化水素、アンモニアなどがそうだ。しかし、これらは全て貯蔵と輸送に特別な注意を要する。また、熱化学改質システムは高温で作動させる必要があり、複雑で大きすぎる。一方、デンプンは食料品店で販売することができる。つまり、環境に優しく、エネルギー効率が良く、特別なインフラを必要とせず、そして極めて安全である。まさに一石三鳥だ。この方法であれば、穏やかな反応で費用をかけずに水素を製造することができる。水素はデンプンまたはシロップ状で貯蔵・輸送され、特別なインフラは必要としない。研究開発の次の段階は、反応速度の改善と酵素のコスト削減だ。将来的に、私達は炭水化物または固体の炭水化物に含まれるエネルギーで走る自動車を運転するようになるだろう。そして、炭水化物と水から水素を生産し、水素燃料電池で発電を行うようになるだろう。」

Zhang は次のように続ける。「さらに重要なことは、糖分から取り出した水素を利用した燃料電池システムのエネルギー変換効率は極めて高く、糖分から生産したエタノールを燃料とする内燃エンジンの 3 倍以上である。DOE が提案するように輸送用燃料の約 30%をバイオエタノールに置き換えられるとすれば、それに必要なバイオマスと同じ量のバイオマスがあればこの技術によって自動車燃料を 100%供給することができるだろう。さらに、バイオマスから生産した炭水化物を輸送用燃料に利用すれば、二酸化炭素の排出は実質的にゼロになり、米国のエネルギー安全保障と経済に恩恵がもたらされるだろう。」

出典 : Novel sugar-to-hydrogen technology promises transportation fuel independence

<http://www.vtnews.vt.edu/story.php?relyear=2007&itemno=300>

Copyright © 2007 Virginia Polytechnic Institute and State University

Used with permission from Virginia Tech.

翻訳 : 山本 かおり

【個別特集】国際会議参加報告

「カーボンエキスポ 2007」カンファレンス出張報告(ドイツ)

NEDO 技術開発機構 京都メカニズム事業推進部
塩原 正勝 八木 武人

1. はじめに

NEDO 技術開発機構(以下、NEDO)では、昨年度より政府(経済産業省、環境省)からの委託を受け、京都メカニズムクレジット取得事業を開始し、本年度も公募を開始したところである。このたびドイツで毎年開催されているカーボンエキスポ(CARBON EXPO)に参加できる機会を得たため、世界中から集まるカーボンマーケット関係者に関する情報を入手してきた。

京都議定書における第1約束期間の開始年が来年の2008年1月1日に迫っている。世界のカーボンマーケットは、既に東欧諸国を含む全EU加盟国において排出権取引の市場、すなわちEU-ETS(European Union-Emission Trading Scheme)が成立しており、ついにCO₂排出権が金融商品化として活発に取引される時期にきたとの所感である。ここでは、この市場の概要と個人的に興味を引いた事項について雑感を含め報告する。

2. 概要

会議日程：2007年5月2日(火)～5月4日(金)

場 所：ドイツ連邦共和国ケルン市ケルンメッセ

参加者数：約2,300名



会場最寄り駅のケルン中央駅

(看板もオーデコロン4711:「ケルンの水」)



サマータイムで21時まで明るい。

カンファレンスでは、世界銀行をはじめとした金融機関による排出権市場の予測に関する報告がなされ、展示会においては、CO₂排出権の金融商品化への転機を覗かせた投資会社のブースが目立った。また、昨年まで多くの出展があったアジア圏のホス

ト国に変わり、アフリカ圏からの出展者が相対的に多くなってきている。なお、カンファレンス最終日に主催者側から参考データとして最新の PIN(プロジェクト概要書) および PDD(プロジェクト設計書)のリストが配布された。リスト記載国は主にアフリカと南米が中心で、中には「バンブープロジェクト」等の非常にユニークな名称のものが羅列されていた。ちなみにこのときのリストには 229 案件のテーマが記載されている。

3. 排出権取引市場

京都メカニズムにおける排出権取引の手法には、具体的な開発プロジェクトを通して排出権(クレジット)を取得する CDM(Clean Development Mechanism: クリーン開発メカニズム)および JI(Joint Implementation: 共同実施)と、後述する EU-ETS のようにプロジェクトとは直接的には関係なく排出権自体を取引する ET(Emission Trading)がある。以下に概要を示す。

(1) 市場規模

EU-ETS および京都メカニズム(CDM、JI など)を含めた世界の排出権取引市場の規模は、世界銀行の発表データを整理すると、表 1 のように 2006 年は 2005 年に比べ、取引量合計で 2.3 倍、取引額合計で 2.8 倍になっている。また、平均単価は 1.2 倍で推移している。しかしながら、この平均単価は二極化しており、20 \$/ton 以上の高値を付ける EU-ETS クレジット(EUA)と 10 \$/ton 程度の CDM クレジット(CER)とに大別される。2006 年の取引総量における割合は、EU-ETS によるものが 67%、CDM および JI によるものが 30%となっていた。

この排出権市場は、取引量および取引額ともに年々増加傾向にあり、取引総額 1,000 億 \$ に達する市場へ成長する可能性があると思われる。

表 1 排出権取引市場規模の動向 (引用: 世界銀行発表資料)

排出権取引	2006 年			2005 年		
	取引量	取引額	平均単価	取引量	取引額	平均単価
EU-ETS	11.0 億 ton	243.6 億 \$	22.1 \$/ton	3.2 億 ton	79.1 億 \$	24.6 \$/ton
その他	0.3 億 ton	2.6 億 \$	8.8 \$/ton	0.1 億 ton	0.1 億 \$	9.0 \$/ton
プロジェクトベースの取引	取引量	取引額	平均単価	取引量	取引額	平均単価
CDM	4.8 億 ton	52.6 億 \$	11.1 \$/ton ^{*1}	3.5 億 ton	26.4 億 \$	7.5 \$/ton
JI	0.2 億 ton	1.4 億 \$	8.8 \$/ton	0.1 億 ton	0.7 億 \$	6.2 \$/ton
その他	0.1 億 ton	0.8 億 \$	4.6 \$/ton	0.2 億 ton	1.9 億 \$	9.4 \$/ton
合計 (前年比)	16.4 億 ton (230%)	301 億 \$ (280%)	18.4 \$/ton (120%)	7.1 億 ton	108.6 億 \$	15.3 \$/ton

*1: CDM の価格帯は 8 ~ 14 \$/ton

(2) EU-ETS 制度

この制度は、2005年1月から取引を開始し、現在EU加盟25カ国が参加している。本制度が対象としているものは、発電所、石油精製、製鉄、セメント等のエネルギー多消費施設(約12,000施設)であり、EUのCO₂排出量の約45%をカバーしている。各加盟国は、排出枠の国家配分計画(NAP: National Allocation Plan、第1フェーズ: 2005年~2007年)を作成し、EU委員会の承認を受けた上で、対象施設に排出枠の交付を受ける仕組みになっている。ここで、この排出枠を超える操業をする場合、別の対象施設で排出枠の余剰があるところから、排出権を購入しなければならない取り決めであり、これがEU-ETSにおける排出権取引の原動力となっている。

現在は、来年からはじまる第2フェーズ(2008年~2012年)に向け、2007年4月までにEU委員会が19カ国のNAPの審査を終了している。その審査結果は、各国提案を全体で9%カットしており、2005年排出量の比で6%下回る数値を公表している。注目すべきは、現在までの産業部門設備から範囲を広げ、EUにおける総排出量の約3%(2004年は1990年比87%増)を占める民間航空機からのCO₂排出についても規制の対象とする提案がなされていることである。しかしながら、審査結果に不平を申し立てる国々が続出しており、次回の第3フェーズ(2013年以降)にあたっては、EU-ETSの制度見直しに向けた議論が活発になされ、審査の透明性向上、割当方法の検討(現行の過去排出量に基づく割当に対し、排出原単位に基づく割当への関心)、割当期間長期化の必要性等が議論されている。

(3) 需給バランス(2008~2012予測)

排出権の需給バランスは、図2に示すように、カナダ(本年4月に先進国としては初めて京都議定書の約束期間における削減約束の達成が困難との表明)の要求量を考慮しない場合、GIS(Green Investment Scheme: グリーン投資スキーム)の潜在量を除くと、ほぼ均衡するとされている。従って、GISを想定した場合、需要サイドが有利になると思われる。しかしながら、このGISの潜在量およびCDM/JIにおける未契約分のクレジットについては、今後、慎重に見極める必要があると思われる。

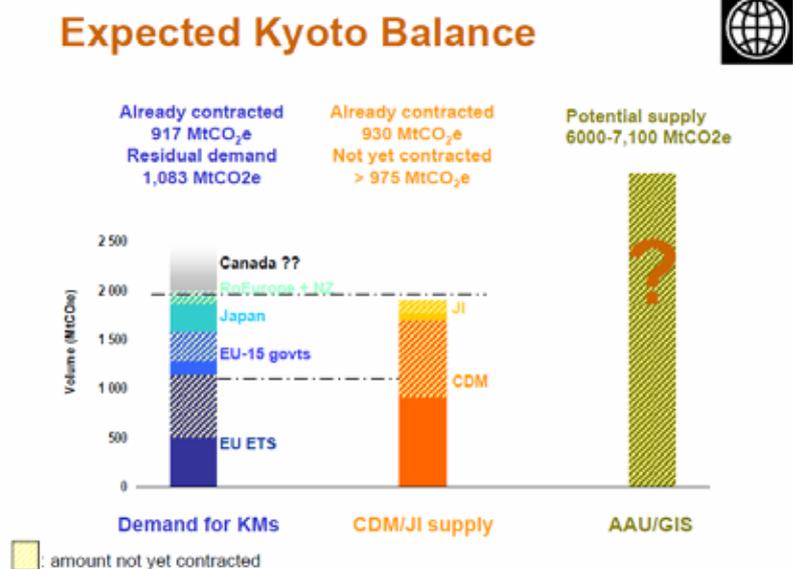


図2 排出権の需給比較(出展:世界銀行発表資料)

4. その他の情報

今回のカンファレンスにおいては、次のセッションに注目が集まっていた。

(1) Programmatic CDM

セッション分割後においても参加者数が多く、関心の高さが覗えた。CDM の分類の仕方に工夫をし、基本部分の基準を取り決めることにより、標準 PDD を作成、効率的にプロジェクトの創出を図るもの。メインスピーカーは CDM 理事会の Christoph Sutter さんで、各国熱心に聴講しており、今後しばらくの間は注目を浴びそうなテーマであった。

(2) Carbon Capture and Storage (CCS)

こちらにも参加者が多数のセッション。近年、効果的な CO₂ 排出削減の手法が見られない状況において、大規模な CO₂ 固定化が謳われている技術である。日本企業も取り組んでおり、今後拡大が図られる可能性がある。しかしながら、リーケージの問題が課題であり、やっと基準等が整備される状況にある。日本では、海外での事業参加や海底における検討が中心となると見られる。

【個別特集】風力発電

米国エネルギー省による風力発電年次報告（第2回）

発電事業者のタイプ別状況

米国エネルギー省(DOE)のエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)は5月31日、米国の風力発電の設置、費用および実績動向に関する初めての年次報告書を公表した。NEDO海外レポートでは、本報告のポイントを連載で紹介する。第2回目の今回は、下記目次(当編集部による)の2.「発電事業者のタイプ別の状況」について紹介する¹。

なお、米国の発電事業者は、我が国と比べ非常に多様であり、本文中の記述だけでは理解しづらい面がある。それについては、本稿の**末尾編集部注：米国の電気事業の企業形態**を適宜参照されたい。

目次

1. 風力発電の開発と設置の動向
 - 発電能力の増加
 - タービン製造の現状
2. **発電事業者のタイプ別の状況**
 - 風力発電の事業者統合が加速**
 - 非電気²事業者の競合による資金調達構造の改革**
 - 風力資産への関心の高まりと地域密着型風力発電の堅調な伸び**
 - マーチャントプラント²とパワーメーカー²の著しい成長**
3. 風力発電の価格（電力卸売市場価格との対比）
4. プロジェクトのコスト
 - タービン価格の影響
 - 利用率の上昇
 - 運転およびメンテナンス費用
5. 風力発電市場に影響を与えるその他の要素
 - 系統への接続問題
 - 各種の支援政策

2. 発電事業者のタイプ別の状況

風力発電の事業者統合が加速

国内の風力産業が成長・成熟し、風力分野の国際化が進むにつれて、風力タービンの

¹ 本報告のカバーする範囲（原注より）

この報告の対象は、原則として「個別のタービンまたはプロジェクトが50kWを越えるもの」である。米国の風力発電の中には、特定の建物、農場、事業所等に必要だけの発電を行う小規模なものもある。こうした用途のデータは、50kW以下であればこの報告には含まれない。この報告に含まれる多くのデータは、バークレー研究所（Berkeley Lab）によって収集されたものであるが、このデータベースに含まれる情報源は様々であるので、データは必ずしも総合的ではなく、また同質のものではないことに注意されたい。

² NEDO海外レポートの前号に掲載した本稿（第1回）の目次では別の訳語を充てていたが、米国の電気市場に特有な用語として理解するために、これを訂正または英語をそのまま使用することにした。

供給不足に対処するために多額の資金が必要になった。この結果、事業の開発部門の統合が強力に推進されてきた。これは 2005 年に多数の大規模な買収、合併、投資として始まったものである。表 4 は 2002 年から 2006 年の風力開発業者間の買収および投資のリストであるが、2006 年には開発中のプロジェクトについて 13 件の取引が発表され、その合計発電能力は約 35,000MW に達した。2005 年は 9 件で 12,000MW、2002 年から 2004 年までは 4 件で合計 4,000MW 未満にすぎなかったので著しい増加である³。

表 4 米国における風力開発業者間の合併・買収の一覧

投資企業	取引形態	開発業者	発表時期
EDF(SIIF Energies)	買収	enXco	02 年 5 月
Gamesa	投資	Navitas	02 年 10 月
AES	投資	US Wind Force	04 年 9 月
PPM Energy	買収	Atlantic Renewable Energy Corp.	04 年 12 月
AES	買収	SeaWest	05 年 1 月
Goldman Sachs	買収	Zilkha(Horizon)	05 年 3 月
JP Morgan Partners	投資	Noble Power	05 年 3 月
Arclight Capital	投資	CPV Wind	05 年 7 月
Diamond Castle	買収	Catamount	05 年 10 月
Pacific Hydro	投資	Western Wind Energy	05 年 10 月
Greenlight	買収	Coastal Wind Energy LLC	05 年 11 月
EIF U.S.Power Fund	投資	Tierra Energy, LLC	05 年 12 月
Airtricity	買収	Renewable Generation Inc.	05 年 12 月
Babcock & Brown	買収	G3 Energy LLC	06 年 1 月
Iberdrola	買収	Community Energy Inc.	06 年 4 月
Shaw/Madison Dearborn	投資	UPC Wind	06 年 5 月
NRG	買収	Padoma	06 年 6 月
CPV Wind	買収	Disgen	06 年 7 月
BP	投資	Clipper	06 年 7 月
BP	買収	Greenlight	06 年 8 月
Babcock & Brown	買収	Superior	06 年 8 月
Enel	投資	TradeWind	06 年 9 月
Iberdrola	買収	Midwest Renewable Energy Corp.	06 年 10 月
Iberdrola	買収	Gamesa's U.S. project pipeline	06 年 10 月
Iberdrola	買収	PPM (Scottish Power)	06 年 12 月
BP	買収	Orion Energy	06 年 12 月

注記：公表された取引の一覧。共同開発活動は除外する。

出典：Berkeley Lab and Black & Veatch.

³ 統合と投資は 2007 年も続いている。5 月現在、さらに 4 件 15,000MW 以上の風力プロジェクトの取引が発表された。

近年では数多くの大企業が風力開発事業に参入しており、その中には AES、ゴールドマン・サックス、シェル、BP そして John Deere が含まれる。買収によるもの、自ら開発に乗り出すもの、あるいは他社との合併による開発協定などである。

非電気事業者の競合による資金調達構造の改革

連邦政府の優遇税制（再生可能エネルギー生産税控除）を自己投資にフルに適用するため、米国の風力産業では近年、革新的な所有形態や資金調達構造を次々と生み出してきた。2006年に利用された最も一般的な仕組みは、コーポレート・バランスシート・ファイナンス^{*1}と、tax-equity投資家^{*2}の関与するいわゆる「フリップ」構造^{*3}の二つとなっている⁴。どちらの仕組みも通常はプロジェクトのレベルでは全く負債を含んでいないが、フリップに関与している開発者は、プロジェクトにおける自身の株式保有を借入調達に変換するためにいわゆる「バック・レバレッジ^{*4}」をだんだんと採用しつつある。2006年には、これら全自己資本のプロジェクト構造が市場で支配的ではあったが、期限付き負債（借入金）も、いくつかの新しいプロジェクト融資、及び、既存プロジェクトや既存ポートフォリオの再資金調達に役立った。資金提供者はまた、タービン供給のためのより短期のローン、建設債券及びバック・レバレッジを申し出た。

2006年には風力プロジェクトに対して、多くの自己資本投資と負債提供の拡大が継続した。少なくとも12のtax-equity投資家が2006年のプロジェクトに参入した（数年前はわずか3件）。また11の銀行が融資を行った（数年前には2、3行）。こうした意欲的な資本投入の持続は、自己資本と負債の双方で資金調達コストを低下させた。tax-equityによる調達コストは、過去4年間で約3%（利率換算）低下した。一方、同じ期間で、負債取引による調達コストは約0.5%（利率換算）低下した。資金調達コストが安くなるこの傾向は、最近の風力タービンのコスト上昇が風力発電価格に与える影響を緩和してきた。

編集部注

*1：大企業がプロジェクトの資金調達をする場合に、そのプロジェクトを企業のバランスシート（貸借対照表）に加えるやり方で、内部資金を中心に行うファイナンスの方法。プロジェクト単独ではなく、企業そのものの信用力があるので、資金調達コストは低い場合が多い。これに対して、プロジェクトをバランスシートに載せない（簿外）で資金を調達する方法をオフ・バランスシート・ファイナンスと言う。

*2：tax-equityは、より正確にはtax credit equityということで、風力発電プロジェクト（発電施設等）の所有権を持つ出資者に対しては一定額（1.9¢/kWh）の連邦生産税が税額控除される。例えば年間2億 kWh（20万MWh）を発電する風力発

⁴ これら2つの仕組みは、現在米国の風力発電産業で使われている他の5つの仕組みと共に近く発表されるパークレー研究所のレポートで考察されている。

電所には380万ドルの税額控除が認められることになる。そこで投資家Aは、プロジェクト開発者（発電事業者）Bの単なる株主になるのではなく、Bと共同で発電設備の所有者となり税額控除を受ける。事業からのリターンだけでなく、税額控除というリターンも目的とする投資家をtax-equity投資家という。

* 3: 上記の場合AとBは共同出資関係である。投資家Aは税制優遇制度が続く限り⁵、事業からの収益も受け取り、生産税の税額控除、さらに早期の減価償却による税制メリットも受けることが出来る。そして予定していたリターンに達したところで、所有権を事業者であるBにフリップ（入れ替え）する。

もし、あらかじめ決めておいた時点で、見返りがないと判断したならば、期日を定めて、キャッシュフローのすべてを投資家に flip over（ひっくり返）して、出資を引き上げる。

* 4: 従来の期限付き融資とは違って、借り手が自己資本でプロジェクト事業に投資した自己資本株式のみを担保とする融資。通常自己資本株式評価額の80%ほどの上限が設けられる。

風力資産への関心の高まりと地域密着型風力発電の堅調な伸び

もう1つ、風力分野がますます成熟し受け入れられるようになったことを示すものを挙げるとすれば、電気事業者が風力発電設備を所有することに興味を持ち始めたことである。図7に示すように、私営の独立系発電事業者(IPP: Independent Power Producer)は2006年の新設能力の71%分を保有しており引き続き主要な地位にある。一方、2006年の風力発電能力増加のうち25%は地域の電気事業者の所有によるもので、その大部分は私営（投資家所有。IOU: Investor-owned Utilities)によるもので、公営(POU: Publicly Owned Utilities)は少数であった。また、コミュニティによる風力発電のプロジェクトが、2006年では残り4%を占めた。これは町、学校、商業用の顧客そして農場であるが、公営のものは除かれる。2006年末の風力発電設備の累計設置能力11,575MWのうち、IPPが85%(9,817MW)、電気事業者が13%(IOU 1,190MW、POU 309MW)でコミュニティ所有⁶はわずか2%(258MW)であった。

全体としてはまだわずかなものではあるが、コミュニティによる風力発電のプロジェクトは、2001年では米国の累積能力の0.2%でしかなかったものが、2006年末には2.2%にまで成長した。この成長は、タービン不足という現状の中で小型タービンの納入を確保しなければならない等の大きな障害にも関わらず達成されたものである。コミュニティによる風力発電のプロジェクトを特別に支援するという州および連邦双方の政策（これには農務省の農業法9006条に定める助成を含む）に助けられて、コミュニティ規模の風力発電はミネソタやアイオワを含むいくつかの州で順調に推移している。

⁵ 風力発電施設が連邦生産税控除（Production Tax Credit = PTC）を享受できる期間は、2005年エネルギー包括法によって10年間と定められている。

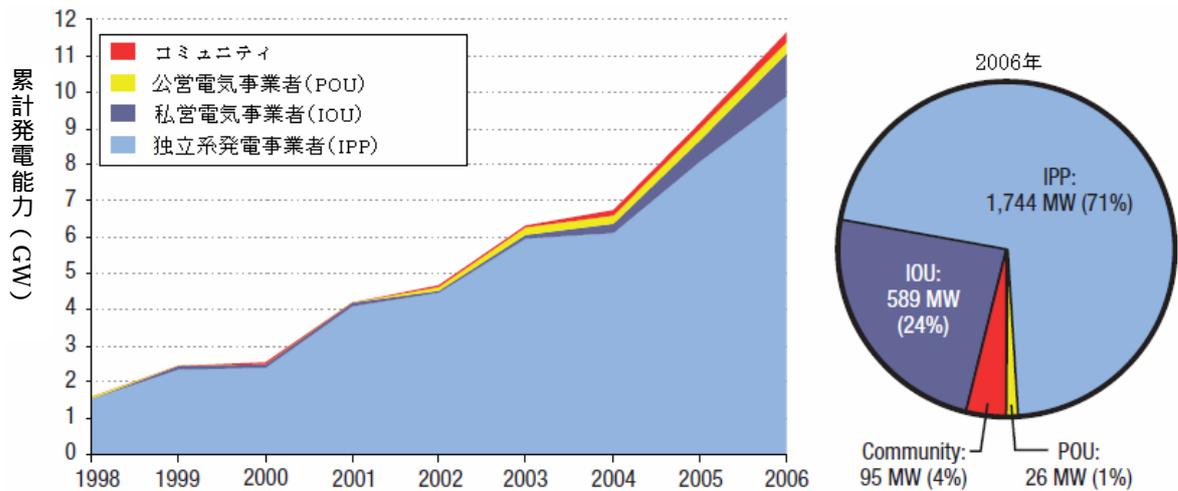


図7 所有者の形態別風力発電能力 (累計および2006年)

出典: Berkeley Lab estimates based on AWEA/GEC wind project database.

マーチャントプラントとパワーマーケットの著しい成長

風力発電による電力の購入は、IOU(私営電気事業者)によるものが一番多く、2006年の新規能力の47%、累計能力の58%であった(図8参照)。POU(公営電気事業者)の役割も積極的で2006年の新規能力および累計能力の双方について14%の電力を購入した。

パワーマーケット(電力取引業者。ここでは、契約に基づいて電力を購入し、その電力を他者に再販売する仲介業者で、商業上のリスクを負うこともある者、と定義する)の風力発電市場における役割は、2000年以降劇的に高まっている。2006年末時点で、パワーマーケットは米国に設置された風力発電能力の16%に相当する設備から電力を購入していたが、発電量ベースでは2006年の新規プロジェクトによる発電量のわずか7%しか購入しなかった。

風力プロジェクトの所有者は、商業上のリスクをますます負いつつある。というのは、彼らの電力販売の収入のうち一定の部分は、短期契約あるいはスポット市場⁷に結びついているからである。例えば2006年の新規風力発電能力の32%に相当するプロジェクトの所有者は、こうしたリスクを受け入れており、米国の風力発電の総能力の11%が商業・準商業の所有形態⁸になっている。こうした営業形態の大多数はテキサス州とニューヨーク州にみられるもので、両州とも卸電力販売のスポット市場が存在している。ここでは風力発電とこれらのスポット価格の競争が可能であり、再生可能エネルギー証書(REC: Renewable Energy Certificates)⁹の販売による追加収入を得ることもできる。

⁶ 本稿末の編集部注の中で「協同組合営電気事業者」とあるのが、ほぼこれに相当する。

⁷ その場合、リスクを緩和するためヘッジ取引手法がよく使用される。

⁸ 長期的・安定的な契約に基づいた電力販売を行わない、こうした所有者によって設置された発電設備のことをマーチャントプラント(商業プラント)と呼んでいる。

⁹ 再生可能エネルギーからの発電量を公的機関が認定した証書。再生可能エネルギー源使用義務と結び

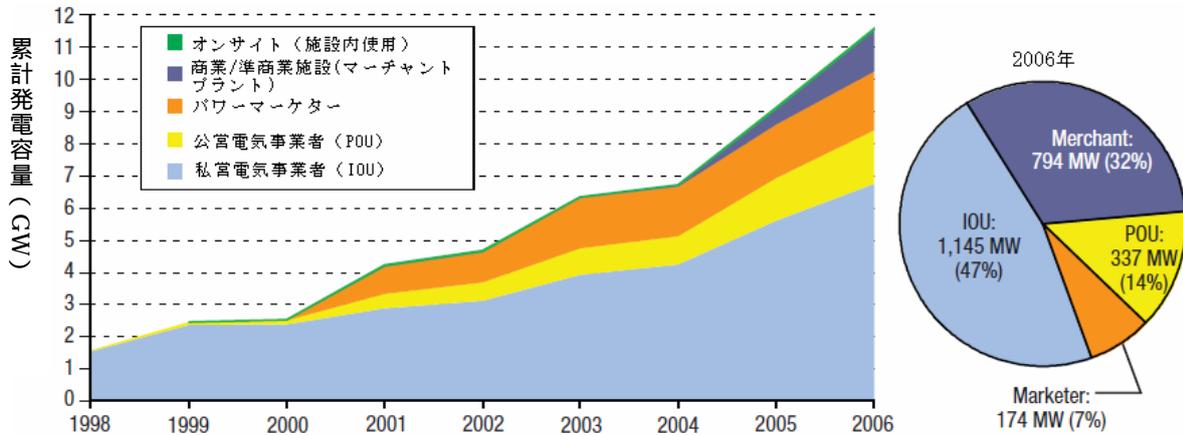


図 8 電力購入者の形態別風力発電能力 (累計および 2006 年)

出典 : Berkeley Lab estimates based on AWEA/GEC wind project database.

編集部注：米国の電気事業の企業形態

この EERE のレポートの中には、日本では一般になじみのない企業形態に関する用語が出てくるので解説する。

米国における発電から送電、配電（消費者への販売）に至るまでの電気事業に従事する事業者は、電気事業者 (Utilities) と非電気事業者 (Non-Utilities) に大別される。

(1) 電気事業者 (Utilities)

伝統的電気事業者は、一般に発電、送電、配電事業の全部あるいはその一部に従事する。発送配電一貫運営の垂直統合形態をとる事業者は、特定の地理範囲をカバーする営業特権を地元自治体から付与されるかわりに諸規制を受ける。しかし、米国電気事業は現在、規制緩和に伴いこうした独占事業形態から機能を分離した競争市場形態に移行しつつある。所有形態別には次のものがある。

1) 私営電気事業者 (Investor owned)

- ・ 州及び連邦当局による規制を受け、電気料金には適正な投資報酬率が認められる。
- ・ 大部分の事業者は発電、送電、配電の基本サービスを提供しているが、電力再編により機能の分離または分社化を実施している。

2) 地方公営電気事業者 (Publicly owned)

ついており、州によっては、義務量以上に再生可能エネルギー源による発電を行った発電事業者が義務量を超過した分の証書を、義務量未達事業者に売却出来る。

- ・ 州及び地方自治体所有で非営利事業者。大部分は配電専業であるが、一部大手は発電及び送電も実施。
 - ・ 事業資金は自治体の基金及び歳入債券(免税債券)により調達。
- 3) 連邦営電気事業者(Federally owned)
- ・ 主として発電及び卸電力販売
 - ・ テネシー渓谷開発公社(TVA)は一部直接小売も行っている。
- 4) 協同組合営電気事業者(Cooperatively owned)
- ・ 農村部の農民やコミュニティーが組合員となって所有。大部分は組合員を対象に電力供給を行う。

別表 米国の所有形態別の電気事業者の構成(2000年)

	事業者数 (構成比%)	販売電力量 (%)
私営	240 (8)	74
地方公営	2,009 (64)	16
連邦営	9 (-)	1
協同組合営	894 (28)	9
合計	3,152 (100)	100

[出所]DOE/EIA Electric Power Annual 2000 Volume II, November 2002

このほか、新たな電気事業者として自由化された卸電力市場で電力を売買する「パワーメーカー」が存在する。彼らは連邦エネルギー規制委員会に登録するが、発電・送電・配電設備を所有したり運転したりせず、特定の供給区域も持たない。

(2)非電気事業者(Non-Utilities)

自家消費用または電気事業者その他への販売用、あるいはその両方を目的として発電を行う私企業のことをいう。一般に「独立系発電事業者」(IPP: Independent Power Producer)と呼ばれるが、連邦エネルギー規制委員会(FERC)による分類や採用している発電技術に基づき、次のように分類される。

- 1) コージェネ事業者(QF)
 - ・ 1978年公益事業規制政策法(PURPA)により定められた特定の基準を満たす認定施設(Qualifying Facilities)を所有運転する者。
- 2) 小規模発電事業者
 - ・ PURPAにより定められた特定の基準を満たす QF を所有運転する再生可能エネルギー等小規模発電事業者(投入エネルギーの少なくとも75%が再生可能エネルギー)。
- 3) 適用除外卸発電事業者
 - ・ 1992年エネルギー政策法(EPACT)により認定され、公益企業持株会社法

の会社組織及び地理的活動範囲に関する制約が適用除外される卸発電事業者（小売は行わない）。

- 4) コジェネ事業者（QF を持たない）
- 5) 非コジェネ事業者（QF を持たない）

このうち 1) 及び 2) については発生電力を電力会社が購入することが保証されているが、3) 4) 5) その保証がないので、電力会社と電力販売契約を締結するか、卸電力市場に売電する。

（編集部注参考資料：「海外諸国の電気事業(2003 年)」社団法人海外電力調査会）

出典：Annual Report on U.S. Wind Power Installation, Cost, and Performance
Trends: 2006
<http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41435.pdf>

翻訳・編集：NEDO 情報・システム部

【エネルギー】 エネルギー政策 電力 ガス

欧州のエネルギー市場自由化に関する Q&A

欧州委員会の「電力及びガスに関する指令」(2003/54/EC 及び 2003/55/EC)に基づき、欧州では 2007 年 7 月 1 日より、原則として電力・ガス市場が自由化されることになった。これに伴い、欧州委員会は消費者保護のための「憲章」制定に動き出した。この問題に関する欧州委員会の見解が Q&A の形で示されたので全文を紹介する。

エネルギー市場の自由化と憲章に関する質問

1. EU のエネルギー市場が個々の消費者に開放されるまでのスケジュールは？

2003 年に制定された域内エネルギー市場に関する法律は、2007 年 7 月 1 日を全ての消費者への市場開放の期限としている。すでに 13 カ国がこの期限に先だって電力および（または）ガスの市場を開放している。その他の国々は 7 月 1 日に市場を開放する。さらに、特別な事情を持つ数カ国は欧州委員会の特例を受けて今後数年間で市場を自由化する予定である。次の表はエネルギー市場の自由化の概要を示している。

・ 電気とガスの市場が 2007 年 7 月 1 日以前に自由化された国（13 カ国）	
電気、ガス双方 オーストリア、ベルギー、チェコ共和国、デンマーク、ドイツ、スペイン、オランダ、アイルランド、英国（注：北アイルランドのガス市場は 2007 年 1 月 1 日に自由化、電気市場は 2007 年 11 月 1 日に自由化）	
電気のみ：フィンランド、ポルトガル、スウェーデン	
ガスのみ：イタリア	
・ 電気とガスの市場が 2007 年 7 月 1 日に自由化された国（9 カ国）	
フランス、ブルガリア、ハンガリー、ポーランド、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、リトアニア、ルクセンブルグ	
・ 電気市場が 2007 年 7 月 1 日に自由化された国	・ ガス市場が 2007 年 7 月 1 日に自由化された国
イタリア（ガスと合わせて双方自由化）	スウェーデン（電気と合わせて双方自由化）
ラトビア（電気のみ）	エストニア（ガスのみ）
ギリシャ（電気のみ）	
・ 電気市場の自由化で特例を受けている国	・ ガス市場の自由化で特例を受けている国
マルタ	フィンランド
キプロス（2013 年まで）	ラトビア（2010 年まで）
エストニア（2013 年まで）	ギリシャ
注：キプロスとマルタは当面ガス市場を持たない。	ポルトガル（2010 年まで）

2. エネルギー市場の自由化には何が含まれるのか？

エネルギー市場の自由化は、法律または行政上の障壁を減らすことによって、企業が市場に参入して電力やガスを人々に供給できるようにするものである。2007年7月以降は、競合する幾つかの企業が市場に参入して消費者に売り込みをする機会を持つ見通しである。消費者は最も有利な条件を提示する企業を自由に選ぶことができる。しかし、EUの電力消費市場の27%を占める個人の消費者¹はエネルギー市場に対して大きな影響力を持たないため、電力とガスに関する指令は政府機関に消費者の権利を守るよう求めている。特に求められているのは、手頃な価格で電力を得られること、価格の仕組みが透明で容易かつ明確に比較できること、そして消費者が自信を持って市場で最も良い条件を提示する企業を選ぶことのできる環境を整えることである。また、エネルギー市場の自由化は企業利益の保護も必要とする。企業の利益は、EUの域内市場を適切に機能させ、競争、革新および経済発展に弾みをつけるために極めて重要である。

また、7月1日以降は地域の電力・ガス販売会社も法的な分社化（いわゆる法的アンバンドリング²）が義務づけられる。この措置は、販売会社の親会社からの独立性を高め、全ての供給業者が配電網に公平にアクセスできるようにすることを目的としている。送電部門に関しては、2003年に企業の法的分離が義務化されている。

3. エネルギー市場自由化の特徴は？

エネルギー市場の自由化は、欧州に真の競争力を持った電力とガスの市場を構築することに貢献する。価格は供給業者間の真の競争によって決定され、消費者が供給業者を選ぶ権利（変更を含む）が保護される。また、エネルギー市場の自由化は、エネルギーの安定供給を促進する。さらに、企業は環境に優しい再生可能エネルギー分野での技術革新を求められるため、環境保護にもつながる。

4. なぜエネルギー市場の自由化に保護措置が必要なのか？

電気とガスの供給は、欧州の住民が誰でも利用することのできる公共サービスであると認識されている。全ての住民は、代金を支払って定期的に安全で安定した電気とガスの供給を受ける権利を持っている。各加盟国は、全ての消費者（特に弱い立場の人々）がこれらのサービスを手頃で簡単に比較できる透明性のある価格で利用できるよう適切な措置をとる。

¹ IEA – Energy statistics – Electricity consumption in EU 25 (2003)のデータに基づく。全体の電力需要/消費に占める家庭の比率は2005年には平均27%で、市場全体の4分の1を僅かに上回っている。この比率は安定して推移しているが、2010年以降は若干低下する可能性がある。

² 電力事業で言えば、発電、送電、配電（販売）の各部門を法的に分離・独立した事業体とすること。

5. 社会的に弱い立場にある消費者はどのようにして自由化の恩恵を享受できるか？

EC 法は、社会的に弱い立場にある住民を特定するよう求めている。各加盟国で経済的な流動性やその他の基準が設けられる見通しである。低い流動性、低収入、農村地域での居住といった固有の特徴により、社会的弱者は自由競争に基づくエネルギー市場の影響に晒されやすく、誤解を招くような強引な勧誘の被害者になりやすいと考えられている。これらの人々の保護は、社会的な枠組みを特別に構築することで行うことができる。例えば、社会的な支援や料金の割引により、これらの人々が常に電気とガスを利用できるようにし、健康と快適さの確保に十分な暖かさを提供することができる。

6. エネルギー市場自由化の恩恵を受けるにはどうすれば良いか？

市場の中から最も適切で条件の良いサービスを積極的に探すことは、全ての消費者の利益に適うことである。消費者は、費用をかけずに電気またはガスの供給業者を変える権利を持つ。消費者が供給業者を選択する権利を行使することにより、競争が促進され、新たな再生可能エネルギーが開発されるだろう。その結果、消費者は市場の自由化の恩恵を最大限に享受し、エネルギー消費者としての権利を自由に行使できるようになるだろう。欧州委員会は、EU 全域で啓蒙活動と情報提供を行うことでこれを支援する。

7. どうすれば自分の権利を確保することができるか？

EU は各国がエネルギー市場を自由化する際の規則・基準を定めている。これは、国内法と共に、契約前に適切な情報提供が確実になされることを保証するものである。提供されるべき情報には、契約書の署名後に生じた新たな条件を消費者が受け入れない場合には、契約を取り下げることができる権利等が含まれる。また、消費者は誤解を招くような強引な販売活動からも保護される。2007 年 12 月 12 日には不公正な商慣習に関する指令が全加盟国に適用される予定である。これ以降、契約変更に際して過剰な事務手続きや待機を強いられるなど、契約でカバーされない障壁が禁止されることになる。

欧州委員会は、欧州エネルギー消費者憲章(European Energy Consumers' Charter)の原理の提案を通じて消費者の権利強化に取り組んでいく。この憲章は、消費者権利の効果的な行使と実効性の強化に取り組むものであり、行政機関、エネルギー産業、消費者団体およびその他の利害関係者による同憲章の採択・承認を目指している。欧州委員会は、エネルギー消費者が効果的に権利を行使できるようガイドラインを作成する予定である。また、エネルギー市場における消費者の状況を監視し、必要に応じて調停を行う考えである。

8. 欧州エネルギー消費者憲章とは何か？

消費者権利の保護に関する情報を提供するため、欧州委員会は将来の欧州エネルギー消費者憲章の原理を提唱した。欧州委員会は、エネルギー消費者の権利を明確にし、それらを一つの文書に取り纏める予定である。こうした憲章の原理に関する協議が2007年7月5日に開始されており、欧州全域のエネルギー関係者が将来の憲章の内容について意見交換を行っている。

この協議は、合意された最終的な文書が利害関係者によって署名・承認されることを目指している。

9. 供給業者を選ぶ際にどのような情報が必要か？

欧州の法律は、電気またはガスの供給業者は契約書に次の情報を盛り込まなければならないとしている。

- ・ 供給業者の身元と住所
- ・ 提供されるサービスの内容と質、最初の取引に要する時間
- ・ 料金とそれに付随する条件。例えば料金を算出するためのパラメーター(媒介変数)や指数メカニズム(インフレスライド制など)等³
- ・ 利用可能な支払い方法と決済機関
- ・ 提供される保守サービスの種類
- ・ 適用される料金と維持費に関する最新情報を入手する方法
- ・ 契約期間、サービスと契約の更新および終了の条件、解約の条件
- ・ 契約で決められたサービスの質が提供されない場合の補償と払い戻しに関する取り決め、和解の手続きを開始する方法

10. どうすれば消費者としての利益を示すことができるか？

欧州の住民として、また消費者として、全ての住民は自分の権利を守る権利を持っている。自国の管轄機関(多くの場合、行政当局)は、消費者の居住国での利益を代表する責任を負っている。また、各加盟国の消費者団体や欧州消費者センターに問い合わせ、エネルギー消費者の権利に関する情報を得られる他、権利が侵害された場合には提訴を申し込むこともできる。

11. より詳しい情報はどこで得られるか？

エネルギー消費者の権利とエネルギー市場の自由化に関するより詳しい情報は、次に示す欧州委員会のウェブサイトを参照されたい。

www.agathepower.eu

³ 石油や天然ガスの価格変化の何%かを料金に反映させるとか、物価や賃金水準によって価格を変動させる、などはよくある契約の形態。

エネルギー消費者の権利に関する欧州憲章 (European Charter on the Rights of Energy Consumers) に取り組む欧州委員会のエネルギー・運輸総局 (Directorate-General for Energy and Transport) のウェブサイト。
http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/consumers/index_en.htm

消費者の権利に関する詳細は次のウェブサイトを参照されたい。
http://ec.europa.eu/consumers/cons_int/safe_shop/acquis/qa_en.htm

次のウェブサイトから “ Europe Direct ” への照会が可能である。
http://ec.europa.eu/europedirect/index_en.htm

出典 : Questions on the opening of the energy markets and the Charter
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/279&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

翻訳 : 山本 かおり

【産業技術】ライフサイエンス

肥満と分子の関連が発見される (EU)

食べ物の摂取によって体重が増加する人がいる一方で、体重にわずかな変化しかない人や、全く変化のない人がいるのはどうしてだろうか？研究者達は何年もの間、この難問の見つからない手がかりの発見に打ち込んできた。欧州分子生物学研究所 (EMBL)、ドイツ・ポツダム栄養学研究所(DIFE)、およびシンシナティ大学 (米国) の研究者達によると、その答えは、“Bsx”¹ と呼ばれる分子にあるかもしれない。この研究者達は、マウスの自発的身体活動 (無意識で行っている動作など) と食物摂取にBsxが関係していることを発見した。この発見は雑誌 *Cell Metabolism* の 2007 年 6 月 6 日発刊号で報告された²。

この研究の中で研究者達は、正常なマウスと比較した場合、Bsx 分子が欠損したマウスは自発的身体活動 (spontaneous physical activity) が少ないことや、空腹信号を異なって知覚してしまうこと、そして、脳内の摂食ホルモン濃度がより低いことを発見した。自発的身体活動とは、意識しないで行われる動作や活動のことである。例えば、仕事の中に椅子の上で身体をもぞもぞさせたり動かしたりすることや、歩いたり立ったりといった動きをしている時などがそれにあたる。

この研究者達は、自発的身体活動と食物摂取は、体重を調節する二つの主要な要素だと考えている。自律神経系を支配している間脳の基底部に在る視床下部は特定の代謝プロセスの調節を行っており、特に、空腹や喉の渇きを制御している。自発的身体活動と食物摂取とを関連づけているのは視床下部である。

「この分子は Bsx と呼ばれ、自発的活動に必要なものです」と、EMBL の研究者、Mathias Treier 博士は説明する。自発的活動は、人が空腹に襲われた時に増え、人に食べ物を探させる。「視床下部内の Bsx が欠損したマウスは、正常なマウスよりも大変怠惰である」と同研究チームのリーダーは話す。「Bsx 欠損マウスは自発的活動がより少なく、また、移所運動 (locomotor activity) に基づく食物探索行動もより少ないことが分かった。」マウスの移所運動と食物摂取とを結びつけているのは Bsx である。

研究者達は、視床下部の摂食(促進)ホルモンである NPY(神経ペプチド Y) と AgRP(アグーチ関連ペプチド) の発現の調節に、Bsx が影響していると説明している。Bsx が欠損している場合、ホルモンの生成はより少なくなる。Bsx 欠損マウスは、たとえ何日

¹ Bsx : 脳特異的ホメオボックス転写因子 (brain-specific homeobox transcription factor)。

² *Cell Metabolism* (Volume 5, Issue 6, 6 June 2007, Pages 450-463)

“A Role for Brain-Specific Homeobox Factor Bsx in the Control of Hyperphagia and Locomotory Behavior”

も食べていなかったとしても、まれにしか食物を探さないという結果が出た。同研究チームは、Bsx は、脳細胞が身体からの特定の空腹信号の感知・対応を行うためにも必要だと述べている。もし Bsx を欠損していると、マウスは空腹を感じない。

「Bsx は種(species)を超えて保存されており、ヒトにおいても体重を制御する上で似たような役割を果たしている可能性が高い」と、研究チームの一人、Maria Sakkou は解説する。「Bsx の働きの個体差は、なぜ他の人よりも生まれつき活動的な人がいるのか、食餌性肥満への感受性がより低い人があるのかについて説明するのに役立つだろう」と Sakkou は話す。「Bsx は、なぜ同じ食事をしていても体重に影響がない人がある一方で太る人もいるのかという疑問の、手がかりである可能性がある」

この最近の進展は、特にマウスにおいて分子機構がどのように体重に影響を与えているか、そして、どのように肥満やその関連疾患（糖尿病や心血管疾患など）の治療に影響を与えられるかについて、より深い理解を研究界にもたらした。

出典：http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?id=/research/headlines/news/article_07_06_20_en.html&item=Infocentre&artid=4333

翻訳：NEDO・情報システム部

【産業技術】 ナノテク

可視光で働くメタ材料を発見（米国）

米国エネルギー省エームズ国立研究所の研究者が、これまで初めて可視光領域で負屈折率を持った材料を開発した。エームズ研究所の上級物理学者のコスタス・ソウコウリスは、ドイツのカールスルーエの同僚と研究して、銀基盤のメッシュ状材料を設計し、急速に発展しているメタ材料分野で最新の進展を記録した。

メタ材料は、超高分解能の画像処理システムや透明マント装置として多様で広範囲の新しい応用に導くことができる材料である。サイエンス誌の1月5日号および光学レター誌の1月1日号に報告し、またネイチャー誌でも注目された、この発見は、非可視の電子レンジや遠赤外光の波長領域で作動する既存のメタ材料からの大きな前進を達成した。

これらの材料は、この夏透明マント作成の第一歩として発表され、歓迎された。左手系材料としても知られているメタ材料は、天然の材料には見つからない光学的性質を提供する新種の人工で作成された材料である。天然材料は、光あるいは電磁波放射を、異なる角度と速度で入射光線の右へ屈折させる。

しかしながら、メタ材料は、光を左へあるいは負の角度へ屈折させることを可能にする。この後方へ曲る性質は、科学者に、電気を制御するために半導体を使用する方法と類似して、光を制御する能力を提供する。このことは広範囲の潜在的な応用をもたらす。

「左手系の材料は、ある日、可視スペクトルで作動する平坦な形式のスーパーレンズの開発に結びつくかもしれない。そのようなレンズは、従来の技術以上の優れた分解能を提供し、光の一波長より非常に微細な詳細を捕えて、材料応用や生物医学応用の画像を向上させ、研究者にヒト細胞の内部を見たり、あるいは子宮内の赤ん坊の疾病を診断したりする能力を与えるであろう」とアイオワ州立大学の教養課程と科学課程の著名な教授を兼務するソウコウリスが述べた。

メタ材料を研究するソウコウリスおよび他の科学者が直面している難問は、それを出来るだけ短い波長で光を屈折させるように作り上げることである。ソウコウリスのグループによって開発されて、カールスルーエ大学の研究者のステファン・リンデンとマーティン・ウェグナーによって製作された"フィッシュネット"設計は、ガラス基板上の銀と弗化マグネシウムの層に多くの孔をエッチングすることにより作られた。

孔の幅はおよそ 100 ナノメートルである。見方を替えると、人間の毛は直径がおよそ 100,000 ナノメートルである。「我々は、可視スペクトルの赤色の終端(波長 780nm)に、初めて-0.6 の屈折率を持った負屈折率メタ材料を作り上げた。これは、これまで得られた最小の波長である」とソウコウリスは語った。

電磁放射にさらされた時、フィッシュネット材料で使用された銀は、初期の材料で使用された金よりも、低い抵抗値をもたらすが、エネルギー損失はいまだ大きな制限因子である。そのような小さな規模の材料を製造する際の困難さは、同時により短い波長の光を利用する試みを制限している。

「現在、我々が THz や光波長で構築することができる材料は、単に一方向でのみ作動する。しかし、負屈折率材料が最初に実証されて以来、我々は 6 年間ずっと進歩してきた」とソウコウリスは語った。

「しかしながら、応用が手の届くところにやってきたので、いくつかの目標を達成する必要がある。まず第一に、結晶金属の使用と光増幅材料の導入による損失の減少、平面構造ではなく三次元の等方設計の開発、そして、大面積構造の大量生産法を探ることである」と彼は付け加えた

(出典 : <http://www.external.ameslab.gov/final/News/2007rel/metamaterials.htm>)