

NEDO 海外レポート

I. テーマ特集 — 燃料電池・水素特集 —

1. 燃料電池用白金代替触媒の研究開発動向 (NEDO 燃料電池・水素技術開発部)	1
2. EU と近隣諸国をむすぶ「水素エネルギー経路」の評価 —ENCOURAGED プロジェクトの概略成果報告書より—	10
3. アイスランドの水素社会計画	18
4. イタリアの水素燃料電池プロジェクト	22
5. 水素燃料電池自動車及びインフラ技術の検証(米国)	26
6. EU、水素自動車の開発に官民のパートナーシップを活用	32
7. 燃料電池水性ガスシフト触媒の予期しない活性を明らかに(米国)	34
8. 化合物の新しい結晶形が、水素貯蔵物質の研究を推進(EU)	36
9. 米国エネルギー省エームズ国立研究所で燃料電池膜の構造を解明 —並列円筒水ナノチャンネルの新モデルを提案—	39
10. 燃料電池は騒々しい高温の発電機を過去のものに(米国) —燃料の脱硫化と改質器の進歩が軍用燃料使用の移動用燃料電池システムを実証—	41

II. 個別特集

1. 「ポリュテック・オリゾン」エネルギー・環境展示会報告(フランス)(NEDO 総務部広報室)	43
2. 多結晶シリコンへの集中投資で活路を求める中国の太陽光産業(NEDO 北京事務所)	48
3. 開発途上国におけるエアコンのエネルギー効率と CDM の役割(IEA レポート第 3 回)	52

III. 一般記事

1. エネルギー (エネルギー政策) 「2007 年エネルギー自給・安全保障法」ファクトシート(米国) —燃費向上と石油依存低減のためのエネルギー法にブッシュ大統領が署名—	58
(再生可能エネルギー) 動き始めた英国エネルギー技術機構 —洋上風力、海洋・波力・潮力エネルギーの 2 分野のプログラム公募開始—	61
2. 産業技術 (ライフサイエンス) 米国衛生研究所(NIH)がヒト微生物群ゲノム解析プロジェクトを開始 —ゲノム解析技術を利用し、体内微生物群が健康や疾患に果たす役割を探求—	63
(情報技術) 32 ナノ・フォトソングラフ工程のナノスケール詳細(米国) ゼロ熱膨張を示すハイブリッド半導体(米国) —より丈夫なエレクトロニクスやオプトエレクトロニクスへ向けて—	66 68

IV. ニュースフラッシュ :

米国—今週の動き: i 科学技術 ii エネルギー・環境 iii 政府・議会等	70
---	----

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 : g-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】 白金代替触媒

燃料電池用白金代替触媒の研究開発動向

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 清藏

1. はじめに

人間の経済活動が巨大化した結果、海洋や森林が吸収できる以上の CO₂ が排出され、今やグローバルな気候に大きな影響を与えるようになった。このままでは、今世紀末には最高 6.4℃ の温度上昇が起こると予測されている。この状況では海水面の上昇、巨大な暴風雨の襲来、砂漠化の拡大、温度変化に適応できなかった生物種の消滅などが招来され人類生存の危機になると考えられる。

現在、CO₂ 削減のために数多くの技術開発が行われているが、その中でも燃料電池の技術開発はニューパラダイムをもたらす水素経済社会の中心的技術を形成するものとして大いに期待されている。

燃料電池はその発電機構に起因する以下の 4 種に大別される。すなわちリン酸塩形、熔融炭酸塩形、固体酸化物形、及び固体高分子形である。とりわけ固体高分子形は、他のシステムと異なり低温での発電が可能、単位体積及び重さ当たりの出力が大きい、安価になる可能性大などの長所を有している。そのため、自動車などの運輸交通関連や家庭用などで使用されれば、CO₂ 排出削減に大きく寄与すると考えられている。家庭用定置形燃料電池では、平成 17 年度に開始した定置用燃料電池大規模実証研究において、東京ガス、大阪ガス、新日本石油などのエネルギー供給事業者が、システムメーカーである三洋電機、エバラバロード、東芝燃料電池システム、松下電器産業、トヨタ自動車と連携して全国に約 2,200 台を設置（平成 19 年度末までの累計）して、実環境における運転データを取得している。一方、燃料電池自動車に関してもトヨタ、日産、ホンダの各社が精力的に技術開発に取り組むとともに、経済産業省の燃料電池システム等、実証研究においても燃料電池自動車の実証走行が行われている。

このように、我が国のレベルは世界のトップを形成していると言っても過言ではない。それでは何も問題がないかといえば、コストと耐久性に関してはまだ克服すべき課題が数多くある。すなわち、定置形燃料電池では耐久性 9 万時間、単価 50 万円、自動車では現在のコストを 1/100 にした上で起動停止回数 6 万回、耐久性 5,000 時間以上がそれぞれ 2015 年頃の目標である。この目標を達成するためには燃料電池を構成している各部材の劣化メカニズムを基礎的に解明した上で、新材料の開発とトータルシステムの構築、更には

大量生産方式の確立など多くのブレイクスルーが必要である。

紙面の都合ですべての部材及びシステムの問題点とその開発状況を述べることは出来ない。その中で最も重要な白金触媒の問題点及び代替触媒の研究開発状況について解説する。

2. 白金触媒の現状と問題点

固体高分子形燃料電池は、低温発電が可能であるため耐高温用断熱材などを使わなくても良いメリットがあるものの、高い触媒機能を有する白金を使用しなければならないデメリットがある。白金は燃料電池の正極及び負極の両極で使用されている。現在、自動車は全世界で毎年約3,500万台が生産され、存在する全ての数はおよそ9億台と推定されている。燃料電池車1台に使用される白金量は、小形車(80 kW)で1台当たり32g、中形車(150 kW)で60g、大形車(250 kW)で150gである。もし、1台当たり平均50gの白金を使用するとすれば、7,000万台/年では3,500t必要となる。しかしながら現在の白金生産量は180t/年であり、10%以下の自動車生産に対応できるだけである。さらに白金の推定埋蔵量は36,000tとされており、リサイクルをするにしても自動車に十分対応出来ないことは明らかである。

また、昨年1年間の白金価格は5,300~5,500円/gであり、50gの白金の原材料費だけで25万円以上になる。更に白金を錯体化し、これを熱分解などを行って2~3nmの超微粒子に加工するのであるから、白金触媒の形にするだけでも大幅なコスト増となることが容易にわかる。また一般に、白金は安定であると思われているが、正極触媒として用いられた白金は、酸性酸化雰囲気中でイオンとなって溶解する。この白金イオンは、ポリマー電解質の中で還元され白金微粒子となり析出する。それは帯状に存在するため、白金バンドと称されている。従って白金量を少なくすると電池寿命そのものが短くなる問題がある。燃料電池のコストダウン・寿命の増大をはかるためには、白金に代わる高い酸素還元特性と安定性を有する新触媒の開発が必要不可欠である。

3. 白金代替触媒研究開発状況

負極の白金は、ルテニウムとの合金やその微粒子化による表面積の拡大などをはかることにより使用量は年々少なくなっている。したがって白金が多量に使用されるのは正極触媒としてである。表1に最近の非白金及び負正極触媒の研究者物質名及びその機能を示す。各々の文献の出典については末尾に記した。

表1 非白金触媒の性能比較表

文献	研究者	所属	材料名	開放端 電圧 (V)	最大 出力 電流 (mA/cm ²)	出力 (mW/cm ²) /(W/g-cat)	備考 ¹
1	太田健一郎	横浜国大	TaCNO+CB	0.91	1000 (0.2V)	240	Cathode(Cell)
2	尾崎純一	群大・工	B.Ndoped Carbon ナノシェル構造	0.8	800	210	Cathode (Cell)
3	中村潤児	筑波大	NCTに担持した MoC	0.85	600	180	Anode (Cell)
4	太田健一郎	横浜国大	ZrCNO+CB	0.93	0.5	1×10 ⁻¹	Cathode (Cell)
5	堂免一成	東大・大	LaTiO ₂ N BaNbO ₂ N SrNbO ₂ N	0.8	3	1×10 ⁻¹	Cathode (Cell)
6	加納健司	京大・農	マルチ銅 酵素	0.8	3	1	Cathode (Cell)
7	高須芳雄	信州大・繊維	Ir・Sr・O/Ti	0.87	0.0025	1×10 ⁻³	Cathode (Cell)
8	小柳津研一	理科大	ポリチオフェンに 金属ポルフィリン を導入	性能 示さず			Cathode (Cell)
9	永井正敏	農工大	Co0.75Mo0.25	0.85	20	10	Anode (Cell)
10	大坂武男	東工大	CoPc 錯体	0.75	非常に 小さい		アルカリ形 燃料電池
11	C.A.C Sequeira, Y. Chen	FCT, Lisbon, Portugal	Ml(NiCoMnAl) _{5,1} (MI: La-rich 合金)		168 (0.5V)		Anode (Cell)
12	R.Bashyam, P. Zelenay	LANL	Cobalt composite	0.85	100 (0.6V)	60	Cathode (Cell)
13	K. Lee L. Zhang J. Zhang	National Research Council of Canada	Ir-Se	0.7			ORR
14	K.S-Alcantara A.Castellanos R. Dante O.S. Feria	Centro de Investigaci'o n y de Estudios Avanzados del IPN, M'exico	Ru _x Cr _y Se _z	0.75			ORR
					300 (0.35V)	85 / 106	Cathode (Cell)

¹ この覧で ORR と表記されているものは、Oxygen Reduction Reaction (酸素還元反応) の意味である。

文献	研究者	所属	材料名	開放端 電圧 (V)	最大 出力 電流 (mA/cm ²)	出力 (mW/cm ²) /(W/g-cat)	備考 ¹
15	M. Nie P.K. Shen Z. Wei	Chongqing Univ, Sun Yat-Sen Univ	Au-Pd-WC	0.95	1.4 (0.77V)	1.08 / 54	ORR
16	L. Liu J.W. Lee B. N. Popov	Univ of South Carolina	RuFeN _x /C	0.9	650 (0.7V)	180 / 30	Cathode (Cell)
17	A.V.D.Putten, A.Elzing W.Visscher E.Barendrech t	Eindhoven Univ of Tech, Netherland	Cobalt phtalocyanine/C	0.8			ORR
18	J.P. Dodelet	Univ. Catholique de Louvain	Tetracarboxilic cobalt phthalocyanine	1	100 (0.7V)	70	Cathode (Cell)
19	R.G.González- Huerta J.A. Chávez- Carvayar O.Solorza- Feria	UNAM, México	Ru _x Fe _y Se _z	0.88	460 (0.33V)	140 / 350	Cathode (Cell)
20	H.Zhong,H. Zhang,Y.Lian g et al	Chinese Academy of Sciences	Tungsten Carbide/Carbon	0.83	175 (0.22V)	39.2 / 61	Cathode (Cell)
21	N.A. Savastenko V.Brüser Et al.	Institute for Low Temperatur e Plasma Physics, Germany	Plasma-treated CoTMPP/Ti	0.88	30 (0.52V)	16	Cathode (Cell)
22	X. G. Yang C. Y. Wang	Penn State Univ	Tungsten Carbide	0.93	240 (0.5V)	120 / 250	Anode (Cell)
23	P.N. Ross,P. Stonehart	United Technologie s Corp.	Tungsten Carbide		100 (0.15V)		Anode (Cell)
24	H. Liu, J. Zhang	Institute for Fuel Cell Innovation, in Canada	CoTMPP/C	0.85 0.84	210 (0.25V)	53 / 7.6	Anode (Cell)
25	K. Ota	横浜国立大	TiO ₂	0.65 (-0.1 μ			ORR

文献	研究者	所属	材料名	開放端 電圧 (V)	最大 出力 電流 (mA/cm ²)	出力 (mW/cm ²) /(W/g-cat)	備考 ¹
				A/cm ²)			
26	B.R. Limoges, A. M. Herring	Colorado School of Mines, Golden,USA	H ₅ PMo ₁₀ V ₂ O ₄₀	0.61	1.8	0.63 / 1.05	Anode (Cell)
26	B.R. Limoges, A. M. Herring	Colorado School of Mines, Golden,USA	H ₅ PMo ₁₀ V ₂ O ₄₀	0.59	14	2.8 / 4.7	Cathode (Cell)
27	K. Ota	横浜国立大	WC+Ta	0.8			ORR
28	N. Alonso- Vante	Université de Poitiers, France	Ru _x Se _y	0.76			ORR
29	M. Nagai	TUAT	NiWC/C	0.88	19 (0.43V)	8.2 / 8.0	Anode (Cell)
30	M. Nagai	TUAT	CoMoC/C	0.85	29 (0.4V)	11.2 / 11.2	Anode (Cell)
31	C.Delacote	Laboratory of Electrocatal ysis France	Ru _x Fe _(1-x) Se	0.76			ORR
32	K. Ota	Yokohama National University	1000°C TaCN/Ti	0.81			ORR
33	T.S. Olson	University of New Mexico	CoTMPP	0.81	70 (0.6V)	4.2	Cathode (Cell)
34	R. J. Stanis	Colorado school of Mines	H ₆ PMo ₉ V ₃ O ₄₀	0.85	40 (0.5V)	20 / 16.7	Cathode (Cell)
35	R. Yang, J.R. Dahn	Dalhousie University, Canada	Ta _{0.01} Ni _{0.16} C _{0.83}	0.5	1 (0.2V)	0.2	ORR (HClO ₄)
36	E.B. Easton, J.R. Dahn		Fe-CN	0.7			ORR
37	K. Ota et al	横浜国立大	TaOxNy	0.72 (-0.2 μ A/cm ²)	0.082 (0.4V)	0.033	ORR
38	R. Yang et al	Dalhousie University, Canada	Co _{7.2} C _{92.8} N	0.8	1.5 (0.5V)	0.75	ORR (HClO ₄)

文献	研究者	所属	材料名	開放端 電圧 (V)	最大 出力 電流 (mA/cm ²)	出力 (mW/cm ²) /(W/g-cat)	備考 ¹
39	M. Lefevre F. Jaouen A. S. Hay et al	McGill University, INRS Energie	NH ₃ -treated Fe/N/C/VC	0.54			ORR (HClO ₄)
40	B. Popov	University Of South Carolina	K2-Co-ND1/C	0.8 0.8	400 (0.4V) 0.6 (0.65V)	160 0.39	Cathode (cell) ORR (HClO ₄)
41	B. Popov	University of South Carolina	2CN/2CN-X	0.8	0.6 (0.55V)	0.33	ORR (HClO ₄)
42	S. Campbell	BALLARD	CoS ₂	0.82	1 (0.55V)	0.55	ORR (HClO ₄)
43	R. Atanasoski	3M	Fe (or Co) C-N	0.95 0.8	100 (0.7V) 1 (0.6V)	70 0.6	Cathode (cell) ORR (HClO ₄)
44	P. Zelanay	Los Alamos National Laboratory	CoPPY-XC72	0.95	400 (0.35V)	140	Cathode (cell)
45	P. Zelanay	Los Alamos National Laboratory	Se/Ru	0.95	400 (0.55V)	220	Cathode (cell)
46	J.P. Dodelet	INRS-Energie, Materiaux et Telecommunications	Iron acetate adsorbed on PTCDA	0.9	220 (0.6V)	132 / 356	Cathode (cell)
47	G. Lalande et al	INRS-Energie et Materiaux, Canada	Fe(OH) ₂ /C CH ₃ CN H ₂ SO ₄ + Cl ₂	0.93	550 (0.25V)	30 / 81.1	Cathode (cell)

表1を概観すると、無機系では鉄、ニッケル、コバルトなどの鉄族元素と他の遷移金属との合金、ルテニウム系合金、有機錯体系では、コバルトなどを中心金属とするフタロシアン系物質などが正極触媒として用いられている。一方、負極触媒としてはタングステンカーバイド系などが代表的な物質である。正極触媒は低いpH（だいたい1と考えられている）で、しかも酸化的環境下にあるので、多くの金属が溶解してしまい安定性に難がある。従ってなかなか実用化まで到達していない。

この表で特筆すべきは、太田ら（横浜国大）の成果である。早くから燃料電池の正極触媒に目を付け、低いpHにおいても安定で酸素還元能を有する酸化物系物質を探索してき

た(表 1No.32 及び 37)。しかしこれらの物質は電気伝導性が低いために、開放端電圧はある程度高くても電流値が低く大きな出力を得るには至らなかった。しかし最近、部分酸化したタンタル炭窒化物とカーボンブラックなどの導電材を混合することにより、表 1No.1 に示すような大きな出力値 $240\text{mW}/\text{cm}^2$ を示すような成果に至ったのである。この値はまだ最適化されたものではなく、更に向上する可能性がある。また表 1No.4 に示すように、資源量の豊富なジルコニウムでは更に高い開放端電圧を得ている。一方、尾崎(群馬大)はポリビニルコバルトフタロシアニン又は鉄フタロシアニンやポルフィリンなどを原料として高温で炭化した含窒素カーボンに酸素還元性能があることを発見した(表 1No.2)。現時点では、太田らの結果に続くものであるが、焼成条件などによって還元機能や開放端電圧も更に向上する可能性がある。尾崎らはこの物質をカーボンアロイ触媒と命名し、尾嶋(東大)や寺倉(北陸先端大)などと共同で X 線光電子分光による触媒の化学構造やアクティブサイトの研究(尾嶋)、シミュレーションによる理論的な検討(寺倉)など、基礎から応用まで幅広く研究を行っており、それらの成果が大いに期待される。

海外では Zelanay ら(Los Alamos Nat. Lab.)が精力的に非白金触媒の研究を行っている(No44、45)。金属ルテニウム上に金属セレンを担持した触媒は出力 220mW を示す。またカーボン(XC72)表面上に、電解重合を用いてポリピロールをコーティングし、次にコバルトや鉄の錯酸塩を加えた後、還元することにより、金属微粒子をポリピロール上に推積させて触媒を作製した。これは最大出力 $140\text{mW}/\text{cm}^2$ 、その時の電流 400mA を示した。しかし、 80°C 、 0.4V の運転では約 150 時間で初期電流値 $0.22\text{A}/\text{cm}^2$ から $0.06\text{A}/\text{cm}^2$ へ低下した。このようにポリピロールのような導電性高分子を用いる場合は長期安定に難がある。一方、太田ら、尾崎らの触媒は耐久性に秀でている。カーボンは白金の担持材料として一般に用いられているが、白金の酸化機能によって担体カーボンが CO_2 となって減少し、触媒機能の低下を招いている。カーボンアロイ触媒の場合は白金が存在しないので、サイクリックボルタモグラムの評価によれば白金担持カーボンよりもサイクル特性が良いことが明らかになった。

4. おわりに

前節の表 1 に示したように、NEDO から支援された太田ら及び尾崎らの研究成果が卓越していることが明らかである。ジルコニウムやカーボンはいずれもクラーク数²が大きく、涸渇の問題は全く考えなくても良い上に安価である。太田らの成果は最近発見されたばかりなのでまだ欧米に十分な情報が伝わっていないと思われるが、尾崎らと同様なカーボンに窒素をドーピングする研究は、米国エネルギー省がスポンサーとなって多くの大学や企業で研究が開始されており、昨年後半から研究発表が急速に増加しつつある。

カーボンはその前駆体まで考えれば繊維や各種成形物への加工が自由であり、単なる微粒子形態以外にも様々な触媒の形が考えられ、広範囲への応用が可能である。太田らの結

² 地球の地表付近に存在する元素の割合を重量%で表したものの。

果も含め、早急にナショナルプロジェクト化することが望まれる。このような物質が白金代替触媒として使用できるようになれば製造コストが大幅に低下し、一般に普及すると考えられる。すなわち本当の水素経済社会が実現され地球環境の向上に大きな寄与をすることがあろう。

最後に表1の一部のデータ収集にご協力頂いた東京農工大学永井正敏准教授に感謝致します。

(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科長

東京農工大学長等を経て

2005年5月より現職

文献出典

文献	論文リスト
1,4	固体高分子燃料電池実用化技術開発実施報告書及びポスター資料 (2007) 12月26日
2,3,5-10	固体高分子燃料電池実用化技術開発実施報告書 (2006) 12月26日
11	209 ECS Meeting, Abstract #275 (2006)
12	208 ECS Meeting, Abstract #502, 896 (2005)
13	J. Power Sources 165, 108 (2007)
14	J. Power Sources, 157, 114 (2006)
15	J. Power Sources (in press)
16	J. Power Sources, 162, 1099 (2006)
17	J. Electroanal. Chem. 205, 233 (1986)
18	Electrochimica Acta 40, 2635 (1995)
19	J. Power Sources 153, 11 (2006)
20	J. Power Sources 164, 572 (2007)
21	J. Power Sources 165, 24 (2007)
22	Applied Physics Letters, 86, 224104 (2005)
23	J. Catal. 48, 42 (1977)
24	Electrochimica Acta 52, 4532 (2007) Co tetramethoxyphenylporphyrin
25	Electrochimica Acta 52, 2492 (2007)
26	Electrochimica Acta 50, 1169 (2005)
27	Electrochimica Acta 49, 3479 (2004)

文献	論文リスト
28	Electrochimica Acta 45, 4227 (2000)
29	Electrochimica Acta 52, 5430 (2007)
30	6th Int. Symp. New Mat. Electrochem. Syst. #06-88 (2006)
31	211 ECS Meeting, Abstract #229 (2007)
32	211 ECS Meeting, Abstract #238 (2007)
33	211 ECS Meeting, Abstract #234 (2007)
34	211 ECS Meeting, Abstract #232 (2007)
35	210 ECS Meeting, Cancun, Abstract #493 (2006)
36	210 ECS Meeting, Cancun, Abstract #491 (2006)
37	210 ECS Meeting, Cancun, Abstract #494 (2006)
38	210 ECS Meeting, Cancun, Abstract #470 (2006)
39	210 ECS Meeting, Cancun, Abstract #468 (2006)
40	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006)
41	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006)
42	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006)
43	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006)
44	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006) CoPPY = Co Porphyrin
45	2006 DOE Hydrogen Program, USA (2006)
46	Electrochimica Acta 44, 2589 (1999)
47	Electrochimica Acta 43, 1969 (1998)

【燃料電池・水素特集】 水素の供給経路

EU と近隣諸国をむすぶ「水素エネルギー経路」の評価

－ ENCOURAGED プロジェクトの概略成果報告書より －

はじめに

ENCOURAGED プロジェクト (Energy corridor optimisation for European markets of gas, electricity and hydrogen : 欧州のガス、電気、水素市場向けのエネルギー経路の最適化) は、第 6 次研究開発フレームワーク計画(FP6)に基づき、欧州委員会(EC)が資金を拠出するプロジェクトで 2005 年初頭に発足した。プロジェクトは欧州の 10 の研究機関によるコンソーシアムにより実施されている。その目的は、EU と周辺国間の経済的に最適なエネルギー経路の明確化と評価を行うことである。プロジェクトの目標は次の通りである。

- ①EU と近隣諸国を結ぶ、経済的に最適なエネルギー経路 (電気、ガス、水素) 及び関連するインフラの評価を行う。
- ②EU と近隣諸国を結ぶ最適なエネルギー経路を構築する上での、障害と利益を明確にし、計量し、評価する。
- ③投資と地政学的な枠組みに注目し、望ましいエネルギー経路を構築する上で必要な政策を提案する。
- ④プロジェクトの結果や新たな発見について討議・評価し、科学者、利害関係者、NGO のコンセンサスを図るために、関係者間のワークショップやセミナーを開催する。

プロジェクトの成果報告書は 2006 年に執筆されており、それを元に、概略成果報告書 (Energy corridors. European Union and Neighbouring countries : エネルギー経路 － EU と近隣諸国) が翌 2007 年に発表された。

本稿は、概略成果報告書の中から、水素経路に関する部分を紹介する。資源に乏しい我が国も将来、水素社会へと進んでいくことを考えると、このようなアプローチは参考になるだろう。

目次

1. 水素エネルギー経路評価の目的
2. EU 域内の潜在的な水素需要
3. EU 域外の潜在的な水素製造原料
4. 水素の長距離供給の実現性

1. 水素エネルギー経路評価の目的

今日のエネルギーシステムおよび輸送システムは、主に化石燃料を基盤としているが、これらは将来、より持続可能なものへと変わることが求められている。

エネルギーの安定供給、気候変動、地域の大气汚染に対する懸念や、エネルギーサービスの価格高騰が政策決定に与える影響は、世界の至るところで大きくなっている。その点、クリーンエネルギーである水素は、クリーンな原料で製造される限りにおいて、広範なメリットを提供するという見方が強まっている。したがって、大規模な水素マーケットを創出できれば、温室効果ガスの排出削減とエネルギー供給の安定化という、2つの目的を同時に達成できる効果的な策となろう（水素は最終利用の段階で、温室効果ガスをほとんど排出しない。製造するには別の一次エネルギーを必要とする二次エネルギー担体であり、携帯型、定置型、可搬型など、様々な形で応用が可能である）。

EU域内のエネルギー源には限りがあるため、EU域外で水素を製造し、域内の消費者に長距離輸送するという選択肢について、「経済効率性があるか?」「持続可能な方法か?」と問うことは、妥当な問題提起である。

2. EU域内の潜在的な水素需要

欧州の水素に対する長期需要を予測するにあたり、水素エネルギーの普及率が低い場合と高い場合の2つの想定シナリオを用いた（共に期間は2050年まで）。これらのシナリオは、HyWaysプロジェクト（水素に関する欧州のロードマップ作成をめざしたEUの統合事業）¹の研究に基づいている。同プロジェクトでは、6カ国（ドイツ、フランス、イタリア、イギリス、オランダ、ノルウェー）における水素需要を算出している。欧州委員会(EC)の「ENCOURAGEDプロジェクト」の研究では、上記の国々での水素需要を基に、人口比を考慮してEU25カ国²の水素需要を計算した。水素は主に輸送部門で利用されると想定している。

図1は、EU25カ国の2050年までの水素需要予測を、水素普及率の高低に応じた2通りのシナリオに基づき示したものである。比較のため、2030年時点でのEU25カ国の天然ガス需要および電力需要に関するECの公式シナリオ³も示している。この比較により、水素需要の予測は2030年以降、拡大することが明白となった。

むろん、水素が実質的なエネルギーシステムの一部となり得るかどうかは現時点では断定できないため、水素需要の将来予測は不確実性を考慮しなければならない。ECの公式なエネルギーシナリオでは、水素はまだ重要なエネルギー担体と見なされていない。

以上の他に、2050年までの世界のエネルギー展望を予測するプロジェクト（WETO H2⁴

¹ <http://www.hyways.de/>

² 編集部注：EU加盟国は2007年1月にブルガリアとルーマニアが加わって全27カ国となったが、このレポートでは25カ国の統計データを用いている。

³ European Energy and Transport Energy Trends to 2030 (2003) を参照のこと。
http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-kr/gdv/03/trends_2030.pdf

⁴ http://ec.europa.eu/research/fp6/ssp/weto_h2_en.htm を参照のこと。

など) や、IEA発行の「世界エネルギー展望(WEO)」⁵などがあるが、これらの予測では、気候変動に対する厳格な政策があり、石油およびガス価格が高騰し、さらに燃料電池や水素貯蔵の分野で画期的な技術開発があった場合にのみ、水素エネルギーが普及すると推定している。

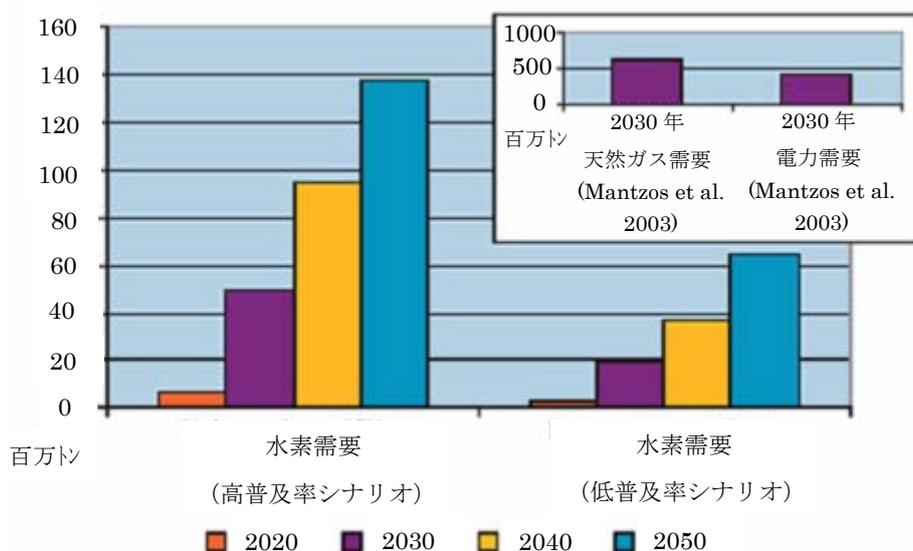


図1 EU25カ国の需要予測（長距離輸送された水素、天然ガス、電力）

3. EU域外の潜在的な水素製造原料

既存の研究分析を基に、様々なステークホルダーや政策立案者の水素に対する見通しを検討した結果、今後の詳細分析の対象として、EU域外の8つの水素製造拠点および6種類の製造原料を選定した。製造原料については、再生可能エネルギー（太陽熱エネルギー、風力、地熱、水力、バイオマス）に焦点を当てる。例外として、褐炭⁶をベースとする水素経路を本研究に含めた。安価な褐炭は賦存量が多く、輸送してもエネルギー担体としての発熱量が低く、代替燃料とはなりえない。ただし、褐炭を水素に転換できれば、欧州のエネルギー供給の多様化や、エネルギー安全保障の強化に結びつくという見方も可能であろう。

今回の検討用に選択した欧州域外の水素製造拠点は、モロッコ、アルジェリア、アイスランド、ノルウェー、ルーマニア、ブルガリア、トルコ、ウクライナである⁷。図2に、それらの供給経路を示す。

⁵ IEA 2004

⁶ 編集部注：不純物や水分が多く、石炭化度の低い低品位な石炭。重くて体積が大きく、輸送コストがかかる割に、発熱エネルギーは得られない。しかし世界の石炭埋蔵量の約半分は、褐炭が占める。これまでは、採掘地付近の火力発電所の燃料などに使用されてきた。

⁷ 編集部注：ルーマニア、ブルガリアは2007年にEUに加盟している。本レポートは2006年に執筆されているため、EUの近隣諸国としての扱いになっている。

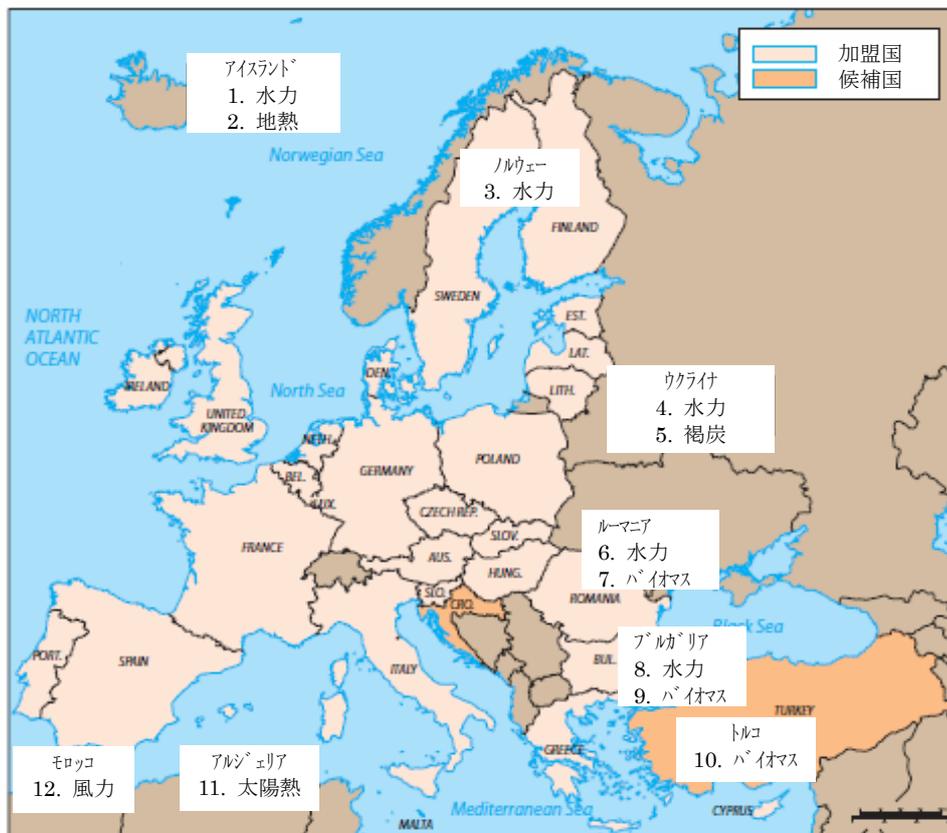


図2 検討用に選択した水素製造拠点

選択したEU域外の12の水素製造オプションについて、当該国で水素を製造する為に必要とされるかもしれない原料や電力の追加ポテンシャル(もし開発された場合)について、詳細な分析を行った。また、水素の年間製造可能量も算出した。

ここで追加ポテンシャルとは、「実用可能なポテンシャル」(現存する全ての障壁が除去され、全ての推進要因が有効だと仮定した場合、ある年における理論上実現可能なポテンシャル)から「達成されたポテンシャル」(当該エネルギー源の今日の内陸総製造量)を減じたものである。追加ポテンシャルが最大な拠点は北アフリカ(風力と太陽熱)で、それにトルコ(バイオマス)とノルウェー(水力)が続く⁸。

図3を見ると、12の水素製造拠点で製造される総ポテンシャルは、水素普及率が低いシナリオでは、2040年に水素総需要量に達し、普及率が高いシナリオでは、需要のほぼ半分に達することがわかる。すなわち、欧州の全車両が燃料電池で走るようになる(高普及率シナリオ)と仮定すると、12拠点の水素製造量は、欧州全体の半数の車両の動力となりうる。

⁸ 編集部注：追加ポテンシャルが高いという事は、エネルギー源としての開発の余地が豊富に残されている事を意味する。

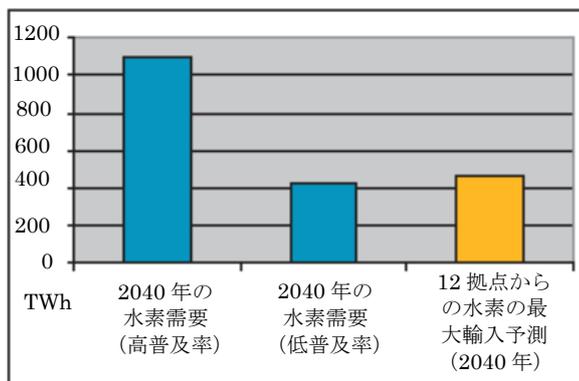
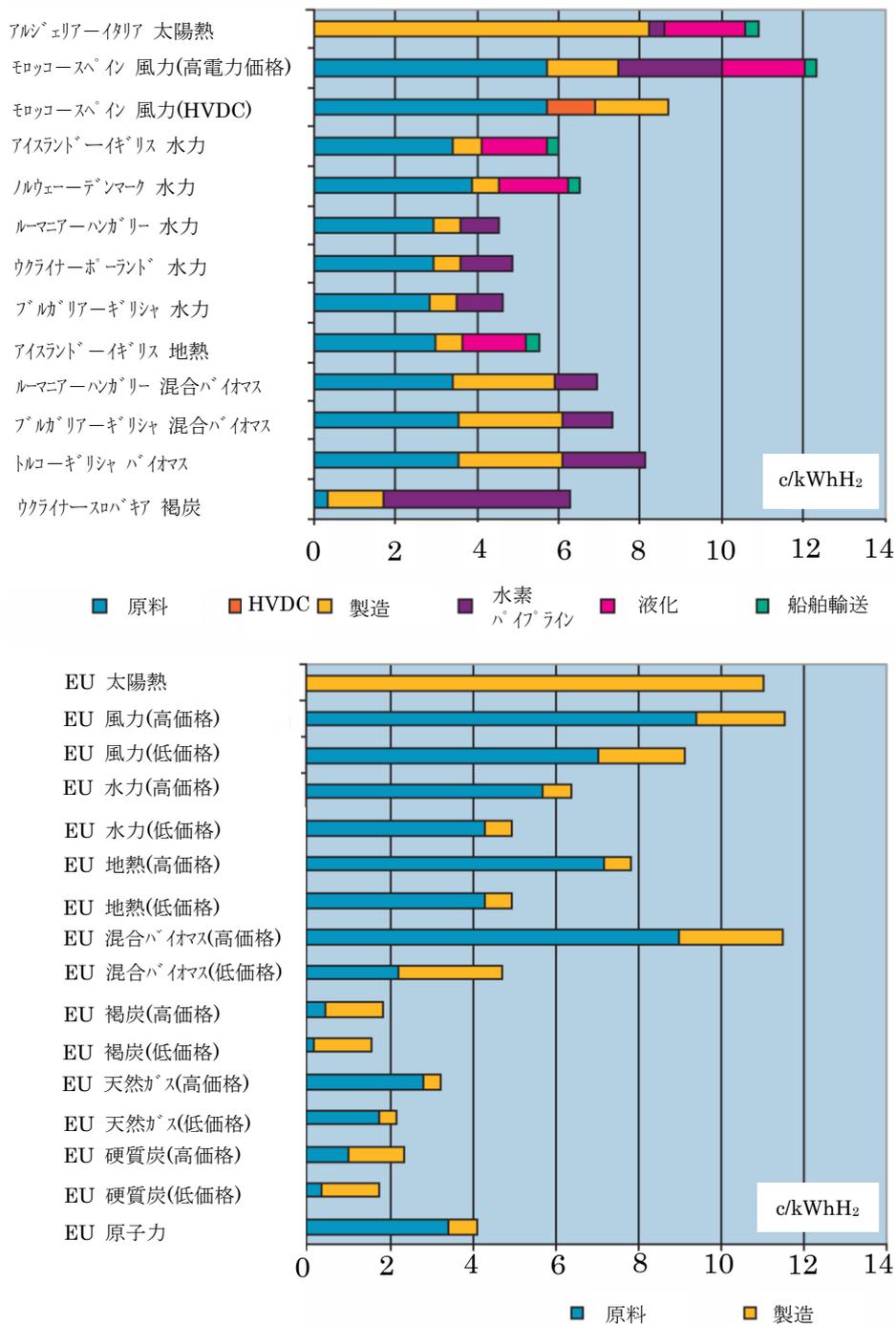


図3 HyWays シナリオに基づく水素需要と12の製造拠点からの最大輸入予測(2040年)

4. 水素の長距離供給の実現性

水素経路の必要性をより正確に把握するために、EU内外における異なる水素製造原料の供給コストを査定し、比較する必要がある。図4は、欧州内の異なる経路による、2040年までの水素供給コストを示したものである。これらのデータは、水素経路の実現可能性のベンチマーク(基準)となる。水素経路の費用には製造コストや長距離輸送コストが含まれる。アルジェリアの水素製造は、太陽熱による水の分解であり、電気分解の際に必要な電力や原料コストは不要である。船舶輸送に関しては、水素の液化コストも含まれている。電力を高圧直流送電(HVDC: High Voltage Direct Current)し、欧州内で電気分解により水素を生産する選択肢も計算した。欧州内で水素を生産する選択肢では、コストに含まれるのは、生産コストのみである。欧州の原材料や電力源のコストにはバラツキが大きい為、高価格と低価格の両方で想定している。欧州での水素の流通や使用場所における圧縮/液化のコストは、含まれていない。というのは、このようなコストは欧州内で水素を製造する場合にも必要なコストであり、今回のエネルギー経路検討ケースに特有のものではないからである。



上: 近隣諸国の水素製造拠点からの水素供給コスト

下: EU内の原料からの水素供給コスト

図4 水素供給コスト比較 (2040年まで)

次に、いくつかの水素経路を選び、そのコストを既存の輸送燃料（すなわちガソリン）と比較したのが図5である。

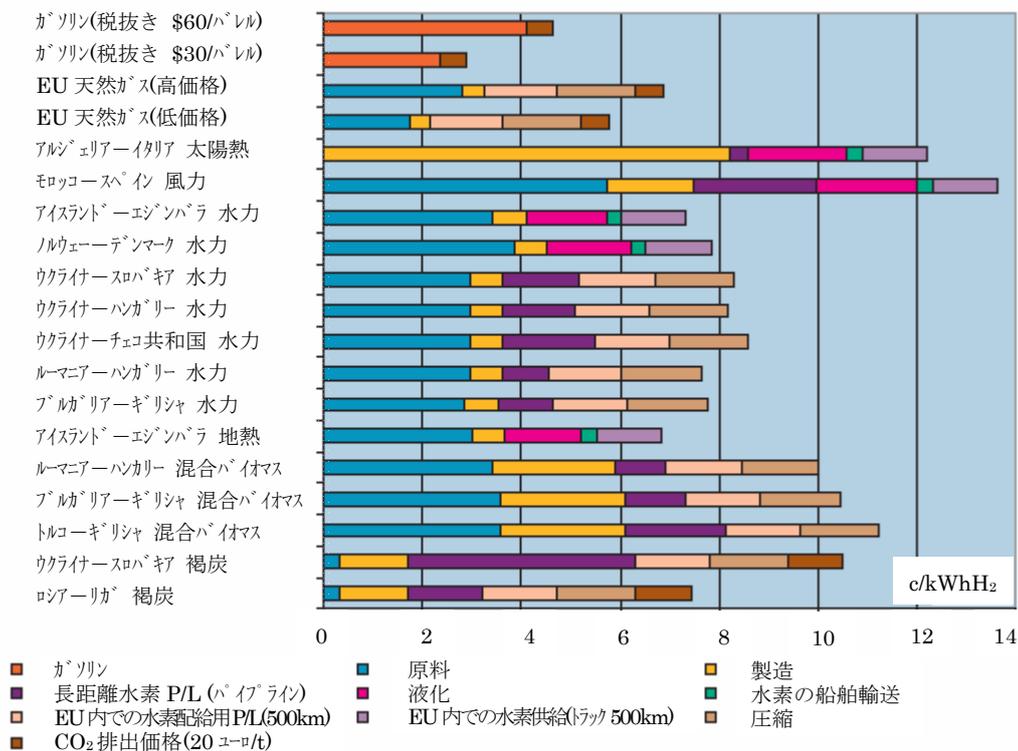


図5 既存燃料と水素の比較—2040年まで

比較のため、欧州内の水素配給費用と水素補給ステーションでの圧縮費用を加えた。さらに、化石燃料ベースの経路については、炭素排出の負の影響を、CO₂1 トンあたり 20 ユーロと仮定して、コストに加えた。現時点では、輸送部門は欧州の排出権取引の対象となっていないが、将来的に排出権取引あるいは他の気候変動の政策ツールの対象となる可能性は排除できないだろう。

エネルギー源を有する近隣諸国の様々な水素経路の可能性、経済的な実現可能性を解析し、また EU 域内で水素を生産した場合とのコスト比較を行った結果により、以下の結論を導き出す事ができよう。

- 水素の輸入供給ルートは、水素が再生可能エネルギー源をベースに製造された場合、特にメリットが大きい。もし持続可能性（サステナビリティ）の追求が主要な目的であるならば、エネルギーの安定供給や温室効果ガスの排出抑制という EC の政策目的に、著しく貢献する。
- 2015 年以降に水素が輸送用燃料として導入された後、再生可能水素の輸入は特定の供給源（ノルウェーやアイスランド）から開始されるだろう。
- 輸送燃料としての水素需要が相当程度に達したら（例えば 2030 年から 2040 年の間

に、全車両に占める水素自動車の割合が10%を超えるなど)、水素の大量供給の具体化も可能(EU域内の水素に加え、ほぼ再生可能な原料をベースとする水素を輸入するなど)。これにより、EUの化石燃料輸入依存の増大傾向が抑制されるだろう。

- たとえ再生可能原料が利用されたとしても、水素の供給コストは現在のガソリンより少なくとも二倍となるため、バイオ燃料に適用されているような刺激策(インセンティブ)が実施された場合においてのみ、経済的に成り立つ。
- 水素のコストには輸送コストが含まれる為、大規模な供給方法に限って検討し、コストの削減を図る事が重要である。
- 分析対象としたエネルギー経路の中で、水力あるいは地熱発電をベースとしたアイスランドからの水素供給が、最も低価格であると同時に、障壁が少ない。次に、ノルウェーおよびルーマニアの水力による水素供給が続く。北アフリカの風力あるいは太陽輻射による水素や、ルーマニア、ブルガリア、トルコからのバイオマス発電による水素も有望だが、限界もある。前者は潜在的可能性は高いがコストも比較的高く、後者は比較的安価だが、競合する選択肢が多数存在する。
- 水素は電力の輸送媒体としては適さない。もし電力が最終製品として求められるのであれば、水素を製造・輸送し、発電(例:燃料電池)するよりも、電気自体を送電した方が、効率的かつ通常は経済的である。
- ガス、核燃料、石炭などの化石燃料を水素生産の原料に使用する場合、水素に変換してから輸送するのではなく、そのままの形で輸送すべきである(核燃料の場合は電気に変換してから)。この理由は、①水素はエネルギー密度が低い事、②ガスと石炭輸送のインフラが既にある事である。
- 原子力を利用して水素を生産し、欧州内で水素を長距離輸送する方法には制約がある。例えば、ウラニウムや濃縮ウランを輸送したり、電力の形で輸送したりする方が安いからである。さらにいくつかの国では、原子力の利用に関して、強い反対がある。

本調査では、異なる水素製造の可能性に関し、そのエネルギー源や電力の選択肢について多岐にわたり分析した。北アフリカの海洋エネルギーや沖合での風力を利用した水素製造については、遠い将来の可能性を否定することはできない。したがって、様々な新しいエネルギー源からの水素製造コストについて、解析を続ける事が望まれる。

全体を通し、EU域外からの水素輸入を考える際、次の事がEUにとって基本的に重要である。

- ① 周辺諸国とのエネルギー対話を深める事。
- ② 水素としてではなく、電力として輸入し、EU域内で(水の電気分解等により)水素に変換する選択肢もある。この為に必要な事は、電力系統の統合である。

出典: EUROPEAN COMMISSION “Energy corridors European Union and Neighbouring countries” 2007 <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2007/b07016.pdf>

翻訳: 京 希伊子

【燃料電池・水素特集】水素社会

アイスランドの水素社会計画

1. 2050年までに再生可能エネルギー100%を達成

アイスランドは、一次エネルギー総供給量の77.4%（2006年）を、地熱と水力を主体とする再生可能エネルギーで賄っており、残りが輸入石油である¹。特に、陸上交通車両燃料と漁船用燃料は全面的に輸入石油に依存している。

アイスランド政府は、1998年に「2050年までに全ての化石燃料を、水の電気分解で得る水素に切り替え、国内で発生する温室効果ガスをゼロにし、世界規模での気候変動対策に貢献する」旨を宣言して、世界の注目を集めた。国土の11%を占める氷河が年々縮小するのを目の当りにしているアイスランド人は人一倍、気候変動に関心を抱いている国民でもある。

水素化計画に付随する目標として、貿易収支改善がある。同国の貿易収支は1990年以降悪化の一途で、2006年はGDP13.6%相当額の赤字となった²。輸入額の8.4%を占める石油製品がなければ赤字幅は20%以上改善される計算である。

欧州連合(EU)の漁獲量割当制度を拒むアイスランドはEUに加盟していないが(同国は漁業国でもあり、2006年の輸出額の51.2%は海産物であった)、**欧州経済領域(EEA)**³の加盟国としてEU単一市場に参加している。また同国は、社会政策や環境問題に関してはEUと類似の法令を制定するなど、EUと協力関係にある。

水素化計画の具体的プロジェクトは2005年に第一ステップが終了し、現在は第二ステップの実施段階にある。その後の具体策は現行プロジェクトの進捗を勘案して打ち出される模様である。以下では現在に至るまでの進展概況を紹介する。

2. 水素教授

石油危機が発生した1970年代、アイスランド大学⁴のブラーギ・アルナソン教授は、国内の豊富な低コスト電力で水を電気分解して製造した水素を、輸入化石燃料に代替する構想を抱いた。水素製造段階でCO₂は排出されず、その水素を燃料電池のエネルギー源と

¹ アイスランドのエネルギー需給、再生可能エネルギー利用状況は下記を参照。

「アイスランドの再生可能エネルギー事情—地熱と水力」

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1011/1011-08.pdf>

² 再生可能エネルギーおよび海産物以外の資源に恵まれない同国経済は、資本財から消費財まで工業製品は軒並み大幅入超である。近年は輸送用機械、とりわけ航空機の輸入増加が著しい。

³ **欧州経済領域(EEA)**： 欧州経済共同体(EEC)と欧州自由貿易連合(EFTA)にまたがる経済領域。1994年1月に発足。具体的にはEU加盟国にアイスランドとノルウェー、リヒテンシュタインを加えた領域。

⁴ **アイスランド大学**： 1911年設立の国立総合大学であり、水素の生産と貯蔵、水素関連システム分析、水素エネルギー使用が社会・経済に及ぼす影響等に関する中枢研究機関の役割を果たしている。

すれば、排出されるのは水蒸気だけで、温室効果ガスとは無縁である。教授は、「夢物語」とみなす周囲の評価にもめげず、30年近い調査・研究を主導し、遂に国家プロジェクト化に成功した（当初、アルナソン氏を揶揄するために使われた「水素教授」の称号は次第に尊敬の称号に変わった）。

国産の再生可能エネルギー資源から水素を製造する点にこのプロジェクトの特色がある。アイスランドは地熱と水資源に恵まれており、経済性を考慮した地熱発電潜在可能量は200億kWh/年、水力発電潜在可能量は300億kWh/年と見積もられている。2006年の電力生産ベースで、地熱が潜在可能量の13.1%、水力が24.5%しか利用されておらず、未利用の再生エネルギーは膨大である。

3. アイスランド新エネルギー(INE)社

1999年、水素プロジェクトを推進する中核体として、アイスランド大学の研究部門が独立し、**アイスランド新エネルギー(INE: Icelandic New Energy)社**が設立された。国内の民・官・学の共同出資体 VistOrka が51%を出資し、残り49%をダイムラー・クライスラー社（水素自動車の製造を分担。1994年以来燃料電池技術開発のパイオニア）、Shell Hydrogen 社（エネルギー流通面を分担。1999年に水素・燃料電池開発会社として設立されたロイヤルダッチシェル・グループの一員。オランダに本社）、Norsk Hydro Electrolysers 社（電気分解による水素製造を分担。水の電気分解設備開発に75年の実績。ノルウェーに本社を置く Norsk Hydro の子会社）の外資系3社が均等出資している。水素技術試験進行役としてスタートした INE 社は次第に、化石燃料からの転換を図る陸上輸送・船舶を含むトータルエネルギーシステムに焦点を移し、水素エンジン（水素あるいは混合ガス使用の内燃機関）の開発も視野に入れている。

4. 第一ステップ、ECTOS プロジェクト

2001年3月～2005年秋、INEは**ECTOS(Ecological City Transport System)プロジェクト**を実施した。これは、水素を燃料として利用する実証試験（デモンストレーション）の第一ステップで、首都レイキャビック市内で水素燃料バス3台を公共輸送手段として試験運行し、社会・経済および環境面から評価するものであった（総コストはおよそ1,000万USドル）。

このプロジェクトは、欧州委員会の第5次研究開発フレームワーク計画（期間：1998～2002年）⁵の対象として認証されて270万ユーロの支援を受け、その後のEUの水素

⁵ **研究開発フレームワーク計画**：1984年にEUの前身である欧州共同体(European Communities)が持続的経済成長・産業競争力強化・雇用創出・社会変化への対応を目的に欧州共同体設立条約に基づく総合的研究開発政策の実施としてスタートしたもの。EUの研究開発活動支援の主要枠組みとして、2007年現在は第7次計画が進行中である。EUの政策を反映したテーマについて欧州委員会がEU加盟国及び候補国から公募し、原則として研究資金の半分以上を上限としてEU予算から助成する。この予算規模は第1次(1984～1987)の33億ユーロから毎次増額され、第7次計画(2007～2013)では505億ユーロとなった。

燃料の広域的プロジェクトのモデルとなった（後述）。アイスランドは人口 30 万余りの小国で、首都レイキャビックとその周辺に 60%以上が居住しているので、比較的小規模のインフラで水素化実験が出来る理想的な環境にあると評価されたのである。

2 年間の準備期間を経て 2003 年 4 月、シエルの既存給油所敷地内に水素ステーションを建設し、ステーション内で水の電気分解により水素の製造を始めた。そして 10 月、ダイムラー・クライスラー社製の水素燃料電池バス 63 台で運行を開始した。2005 年 8 月までの間、①バス燃料としての水素の信頼性・有効性の確認、②コスト効率と水素導入プロセスの研究、③水素ステーションと水素製造サイトの選択および安全対策の確認等を実施した。

5. EU の HyFLEET: CUTE プロジェクト

エネルギー資源の多様化と確保・CO₂等の有害排出物の削減を目指す欧州委員会は、第 6 次研究開発フレームワーク計画（期間：2002～2006 年）の支援下で、ECTOS 等の先行プロジェクトの成果を踏まえ、**HyFLEET: CUTE プロジェクト**を 2006 年からスタートさせた。

HyFLEET: CUTE プロジェクトは、欧州 6・中国 1・オーストラリア 1 の 8 都市にレイキャビックを加えた 9 都市で燃料電池バス 33 台、ドイツのベルリンで（液体）水素内燃機関バス 14 台を運行して燃料効率・燃料電池耐久性等を研究し、2008 年からの改良バス模型試作や水素充填インフラの改良を目指すプロジェクトである。このプロジェクトは ECTOS を含む三つの先行プロジェクト⁷の成果を受けたものである

6. 第二ステップ、SMART-H₂ プロジェクト

ECTOS に続くのは、2007 年 3 月にスタートした **SMART-H₂(Sustainable Marine and Transport, Hydrogen in Iceland)プロジェクト**である。このプロジェクトの道筋は、① ECTOS より規模を拡大した陸上車両の実験（乗用車の参入・水素ステーションの増設）、②船舶へ搭載する予備動力(Auxiliary Power Unit, APU)としての燃料電池の設計・研究、③陸上車両プロジェクト・船舶プロジェクトのデモンストレーションデータに基づく社会経済および環境に及ぼす影響の調査・研究である。総予算は 700～800 万 US ドル、内 357 万ドル以上を VistOrka が提供し、2009 年末には 40 台の水素車両群となって代替燃料資源や代替車両の評価を実施する。INE / Shell Hydrogen は水素充填所をレイキャビック市内の複数地点に設置し、ガソリン車と競合する価格で燃料電池車向けの燃料を供給する。

⁶ 250kW 固体高分子形燃料電池(PEFC)を搭載。最高時速 80km。10 分間で 30kg の水素充填で市内を 200km 走行、乗客定員 70 名。

⁷ ① CUTE (Clean Urban Transport for Europe、欧州委員会が 2003 年央～2006 年末に欧州 9 都市で 27 台の燃料電池バスを運行実験)、②STEP (Sustainable Transport Energy Project、オーストラリア政府が 2004 年 9 月から 2 年間にパースで 3 台の燃料電池バスを運行実験)、③ECTOS (上述)。

実験乗用車の一部として燃料電池車に改造されたメルセデスベンツ 1 台とトヨタ・プリウス 10 台が VistOrka に引き渡されている。プリウスは 2007 年 11 月末にユーザー 3 社による走行を開始したが、3 台はレンタカー会社の Hertz スルーで一般ユーザー向けとしても利用される。

また、3 年間かけて実施する Smart-H₂ Boat プロジェクトは、レイキャビックを母港とする鯨観察船 (125ton トン、150 人乗) にデンマークの H₂logic 社が開発した燃料電池規格をベースとするバラード社の 10~15kW 燃料電池スタックを補助エンジンとして搭載する APU ハイブリッドシステムのデモンストレーションであり、北大西洋を舞台に 2008 年 5 月から 18 ヶ月間の運行テストの予定である。

7. EURO-HYPORT プロジェクト

アイスランドは、国産の水素を欧州大陸へ輸出する場合のインフラ建造コストおよび市場と需要の可能性調査も実施している。輸出方法としては、①海底パイプライン (気体水素) または船舶 (液体水素) によるガス輸送、②海底ケーブルによる送電が検討されている。後者は、送電された電力を用いて大陸側で電気分解による水素を生産するという構想である。**欧州統合水素プロジェクト Phase II (EIHP II)**による海事規制調査や ISO 技術委員会水素技術部門の情報が利用された。**EURO-HYPORT** と命名されたこのプロジェクトの成果は、欧州委員会の **NEW-H-SHIP プロジェクト** に組み込まれた。

NEW-H-SHIP プロジェクトは、欧州委員会支援の **FC-SHIP (Fuel-Cell-Technology-in-Ships : 2002 年 4 月から 2 年間実施された船舶への燃料電池搭載評価プロジェクト)** 及び **EURO-HYPORT** の研究成果を基盤とする机上プロジェクトで、燃料電池や水素を航海燃料とする場合の船舶・地上インフラに関する技術面・運行面の問題点確認を目的とし、2004 年 2 月から 15 ヶ月間実施されたものである。

(参考資料)

- ・ “Towards a Sustainable Hydrogen Economy”、Ministries of Industry and Commerce、November 2003
- ・ “ECTOS reports”、Icelandic New Energy
- ・ “Renewable energy in Iceland”、Wikipedia
- ・ “ENERGY STATISTICS IN ICELAND”、National Energy Authority 2006
- ・ “Statistics Iceland ”、www.statice.is
- ・ VistOrka 公式サイト www.newenergy.is
- ・ IEA 関連インターネット情報など
- ・ 上越商工会議所青年部/JETRO 新潟貿易情報センター「平成 15 年度ミニ Local to Local 産業交流事業実施報告書」(2004 年 4 月)

【燃料電池・水素特集】産業集積地**イタリアの水素燃料電池プロジェクト**

今日イタリアにおいて「水素」という言葉は、未来のゼロエミッションエネルギーと同義語として頻繁に使われる合言葉となっており、新聞紙上やテレビのニュース・環境関連番組においても「未来のエネルギーは水素である」として水素燃料電池のメリットや水素燃料自動車等が度々紹介されている。現在、水素に関する研究開発は、特に合衆国、日本、ドイツにおいて活発に展開されているが、イタリアもこれらの国々と比べ決して引けを取るものではない。

イタリアにおける水素燃料電池研究は、イタリア各地にある大学、公的機関、民間、あるいは官民共同の科学研究所等で行われており、その研究レベルは非常にハイレベルにある。トリノ工科大学やミラノ工科大学をはじめとするイタリア各地の工科大学のエネルギー部門では、今や水素研究に大変力を入れている。また、公的機関では ENEA（エネルギー、技術革新、環境のための公的機関）と CNR（イタリア学術会議）が水素研究を行っている。各地にある工科大学や ENEA、CNR のような公的機関は、低コストでエネルギーを最大に獲得できる水素生産研究を実施しているが、他の研究所では、新発見に専念するのではなく、既に存在している技術を具体的に適合させる適用研究に照準を合わせている。適用研究は有益な戦略であり、また研究資金を獲得できる可能性が高いものである。

イタリアには、既に水素燃料電池を生産している民間企業も存在している。ミラノの Nuvera Fuel Cells Europa 社、イタリア中部テルニ市の Ansaldo Fuel Cells 社、イタリア中北部サッスオーロ市の Acrotronics Fuel Cells 社の 3 社は、正にメイド・イン・イタリアのノウハウをベースにして水素燃料電池を生産している。

現在イタリアでは、大学・州等の地方公共団体や民間企業が一体になって水素産業集積地を創出させるべく水素燃料適用プロジェクトを推し進めている。その中でも際立つ未来の水素産業集積地プロジェクトを 3 つ紹介する。

第 1 番目は、イタリア北西部ピエモンテ州トリノにあるアンヴァイロメント・パーク(株) (Enviroment Park Spa) で、既にエネルギーと環境のための科学技術集積地を形成している。アンヴァイロメント・パークは、1996 年にピエモンテ州、トリノ県、トリノ市、EU のイニシアティブによって設置され、現在約 60 社、総従業員 600 人になる「環境 - 効率 (エコ・エフィシエンシー)」部門企業と IT 企業がパークに進出している。同パークは、「環境 - 効率 (エコ・エフィシエンシー)」だけでなく、ピエモンテ州の IT 技術企業の中核ともなっている。

アンヴァイロメント・パークの使命は、パートナーシップ、特殊プロジェクト、特殊技

術者育成活動、イベントのオーガナイズ等を通じてエネルギーと環境における革新的技術や進歩的解決策を中小企業に移転させることにある。

アンヴァイロメント・パークの活動は数多くあるが、新エネルギーや建築物のエネルギー効率のための活動の1つとして水素システム研究活動がある。そのためのラボラトリー、HySYyLab (Hydrogen System Laboratory)がパーク内に既に設置されており、アンヴァイロメント・パークに設置されているラボラトリーの内でもより進歩的なラボラトリーの1つとなっている。HySYyLabは、2002年にピエモンテ州、トリノ県、トリノ市、EUの支援によってイタリアの代表的水素生産企業であるSAPIO社、GTT社(Gruppo Torinese Trasporti /トリノ市営交通グループ)、トリノ工科大学によって設置された。2003年より実質的活動が開始され、水素燃料による運搬手段と水素燃料供給ステーションに関わる全ての研究がHySYyLabで実施されている。その立ちあげ資金は270万ユーロであった。

HySYyLabの活動は、水素生産(新エネルギー源による電解やバイオマス、化石燃料リフォーミング)、貯蔵(水素貯蔵のためのマテリアルの特徴化、ハイドロメタルをベースにしたユニットテスト)、適用(燃料電池の異なるコンポーネントテスト、スタック、燃料電池個々のテスト、パワーシステムの実現テスト、燃料電池と電気モーターのエネルギーチェーンテスト)、システム統合(電力・熱生産システムとプロトタイプの実現)等の研究開発のほかに、コンポーネントとシステムのためのテスト、水素部門の技術者の育成活動、また他のピエモンテ州企業の参加を促す活動も実施している。

2006年2月にトリノで行われた冬季オリンピック期間中に公開され、一般の人々にも試運転が許された水素スクーターのプロトタイプ、Hysyrider (hybrid hydrogen scooter)や、また冬季オリンピック期間中も含めて2004年11月から2006年7月までトリノの公共バスの定期行路を走行した水素バスは、新世代の燃料電池適用のために現在HySYyLabで研究されている。

なお、トリノにおいて2007年6月5日～9日まで2年毎に行われる「エコ・エフィシエンシー・ピエンナーレ」展が実施されたが、それと併行して6月6日～8日まで水素エネルギー部門で働いている35歳以下の若い科学者達のための第2回世界コンGRESS「HYSYDAYS 2007年」がアンヴァイロメント・パークで実施された。

第2番目の未来の水素集積地は、イタリア北東部のヴェネト州にあるハイドロジェン・パーク (Consorzio Hydrogen Park) である。ハイドロジェン・パーク創出のための組合は、2003年にヴェネト州産業連盟によって、ヴェネト州と環境省の支援を得て設立された。

ハイドロジェン・パークは、古都ヴェネツィアの隣の町で、かつては非常に活気のあった石油化学産業集積地であり、また汚染された町としての汚名もあったマルゲーラ市をクリー

んな水素産業集積地として復活させるプロジェクトであり、マルゲーラ市の石油化学産業から副次生産物として生産される年約 4,500~5,000 トンの水素を利用した「水素集積地 - ハイドロジェン・パーク」をマルゲーラ港エリアに創出させることを目的としている。

ハイドロジェン・パーク創出のための組合メンバーには、イタリアの主要電力生産会社 ENEL、オートバイ・メーカーAprilia 社、化学工業 EuropeanVinyls Corporation Italia 社、Dow Poliuretani Italia 社、Berengo 社、酸素と水素メーカーの SAPIO 社、技術部門の Sae Impianti 社、Venezia Technologie 社、VEGA ヴェネツィア科学技術ディストリクト等がいる。また、ヴェネツィア市、ヴェネツィアの運河を走る定期船ヴァポレット等を運営しているヴェネツィア市営交通会社 (ACTV) も関与している。

ハイドロジェン・パーク研究テーマは、エミッションゼロ水素燃料開発、石炭とバイオマスによる水素・電力生産新技術開発、革新的貯蔵システム開発である。具体的なアクションプロジェクトの 1 つとして ENEL は、マルゲーラ・フジーナエリアに工業サイズの 20MW の電力と熱を生産するコンビナートサイクル水素燃料発電所の設置を目指す。このための 5 カ年計画として ENEL は 4 億ユーロの投資をする見込みである。

他のプロジェクトとしては水素技術研究センターの設置、マルゲーラにある VEGA ヴェネツィア科学技術ディストリクトの水素燃料電池による建物の暖房・冷房システムと電力供給、民間のための水素マイクロコージェネ機、水素燃料で動くヴェネツィアの定期船ヴァポレット実現、水素とメタンの混合による燃料電池バス実現、水素供給ステーションをマルゲーラ市のフジーナに設置する等のプロジェクトが予定されている。

ヴェネト州は、2006 年 12 月 15 日にハイドロジェン・パーク実現のために、総投資額が 2,000 万ユーロとなるプロジェクトの州補助金として総額 870 万ユーロの補助金を関係各社に渡す公文書に署名した。

州の補助金は、ENEL の 3 つのプロジェクト、①石炭とバイオマスによる水素生産研究 (プロジェクトの投資額 280 万ユーロ)、②天然ガスと水素のための環境インパクト縮小システムの開発 (投資額 298 万ユーロ)、③水素の貯蔵技術開発 (投資額 295 万ユーロ) と Sae Impianti 社の燃料電池プロトタイプ実験プロジェクト (投資額 90 万ユーロ)、Venezia Technologie 社の定期船ヴァポレットの水素燃料利用実験 (投資額 185 万ユーロ)、SAPIO 社の 2 つのプロジェクト、①水素貯蔵技術開発 (投資額 249 万 1,000 ユーロ)、②バイオマスによる電力生産設備開発 (投資額 530 万ユーロ) に与えられ、ハイドロジェン・パーク実現は第 2 段階に進んでいる。

第 3 番目に紹介する水素燃料電池研究開発プロジェクトは、イタリア中北部トスカーナ州に属する歴史ある町の「アレツォのための水素研究プロジェクト」である。この水素

プロジェクトは、先に紹介したピエモンテ州とヴェネト州の「水素集積地創出」とはやや性質が異なる。アレツォ市は、古代ローマ以前に存在していたエトルリア文明の中心的町で、その時代から金の装飾品が創られていたという歴史のある町である。現在においてもアレツォ市は、貴金属細工業が盛んな都市であり、まさに「貴金属細工業の集積地」を形成している。貴金属細工師達は、水素、酸素、窒素ガスを使って貴金属を細工しており、アレツォの住民にとって「水素」は大変身近な物質として受け入れられている。同市の「アレツォのための水素研究プロジェクト」誕生のいきさつは大変おもしろい。

2002年4月に ENEA、SAPIO 社、Arcotronics Fuel Cell 社、地方公共団体（トスカナ州、アレツォ県、アレツォ市）、アレツォ工業協会、職人連盟、中小企業連盟、一般住民参加によるセミナー「水素：未来のエネルギー」がコーペラティヴァ・ラ・ファブリカ・デル・ソーレ社 (Coopertiva La Fabbrica del Sole /太陽工場協同組合という意味) オーガナイズによってアレツォ市内の「ラ・トッレコーヒー店」で実施された。そのセミナー実施中に「アレツォのための水素研究プロジェクト」が誕生した。当初のプロジェクト参加者は、セミナー参加者達であった。

「アレツォのための水素研究プロジェクト」を全般的にコーディネートしているのは、コーペラティヴァ・ラ・ファブリカ・デル・ソーレ社である。同社は、1999年に大学を卒業したばかりの若者達によってエコロジー部門で働く非営利団体、アレツォ市地域の廃棄物処理技術会社として誕生し、学校における環境教育や環境のためのイベント等の活動も実施していた。その後同社の会社形態は協同組合となり、ゴミの処理技術、新エネルギー技術、また維持可能な農業プロジェクトを展開している。現在、同社は、ドイツ・中国・合衆国にもメンバーがおり、中国においてはソーラーパネルを製造している。

この「アレツォのための水素研究プロジェクト」は、アレツォの産業に必要な水素や電力と熱を生産するコージェネ燃料電池に供給すべき水素の生産を目的としている。プロジェクト実現のためのアクションは諸々ある。その1つにプロジェクトを展開する場所、新エネルギーと水素技術検証のためのラボラトリー、HydroLab 設置がある。既に HydroLab は、設置コストの50%をトスカナ州が拠出し、市の土地提供によって2006年3月に HydroLab は貴金属細工会社が特に集中しているアレツォ市のサン・ゼーノ地区に完成した。今後、水電解による水素生産のためにラボラトリーの建物の屋根には太陽光発電設備が設置されることになっている。他のアクションとしては水素貯蔵センター、水素地下導管、水素メーター等の実現があるが、第1段階のプロジェクト実験終了後には、バイオマスによるメタンから水素や CO₂ を生産するためのリフォーム設備建設や発電機を250kWにスケールアップさせるプロジェクトの展開を予定している。

参考資料： Enviroment Park サイト (www.enviromentpark.com)、ENVI ニュース、ENEL 公式声明、ヴェネツィア市計画書、La Fabbrica del Sole 社サイト(www.lafabbricadelsol.it)、イルソーレ 24 オーレ紙、他

【燃料電池・水素特集】 燃料電池自動車 実証試験

水素燃料電池自動車及びインフラ技術の検証（米国）

米国エネルギー省（DOE：Department Of Energy）は、2005～2009年にかけて、「水素燃料電池自動車及びインフラ技術」の実証試験を行っている。実証試験の報告は、試験の進捗に従い、これまでに数回発表されているが、本稿で取り上げるものは、2007年11月に発表されたものの抄訳である。この実証試験の対象となる自動車は、「軽量自動車（light-duty vehicle）」と呼ばれる普通乗用車、バン、スポーツ用多目的車(SUV)などである。これ以外の自動車については、別のプロジェクトで実証試験が行われている。

水素燃料電池自動車は、将来の輸送システムにおいて中心的役割を果たす可能性がある。この自動車が運行時に発生するのは電気、熱、そして水のみである。さらにこの自動車は、輸入石油の代わりに、主に米国内の（おそらく再生可能な）エネルギー源を利用し、エネルギー需要の一つを満たすことができる。このため水素は、石油ベースの燃料の代替となる主要な「エネルギー担体」として非常に大きな関心を集めてきた。

大規模に水素や燃料電池を利用するためには、水素の製造・流通・貯蔵、燃料電池技術、車両技術、およびその他のエネルギー・輸送インフラ面における、複合的で大幅な開発・投資が必要となるだろう。米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)は水素・燃料電池技術の研究開発を目的とした重要なプログラムを展開している。研究開発の主なものの一つに、産業界と1億7,500万ドルのコストを分担した5カ年の計画「水素燃料電池車群及びインフラの実証・評価プロジェクト(Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project)」がある。

DOEは2003年の公募において、自動車メーカーとエネルギー事業者から構成されるチームの応募の中から、このプロジェクトに参加する4組を選抜した。それらは以下のチームである。

- ① シェブロン社／現代－起亜自動車グループ
- ② BP社／ダイムラー・クライスラー社
- ③ BP社／フォード社
- ④ シェル社／GM社

DOEは、燃料電池自動車群（フリート）¹の製造と燃料補給ステーション建設のためのコストをこれらのチームと分担し、水素燃料電池自動車の検証を、様々な温湿度条件を網

¹ フリート（fleet）：自動車群、自動車隊、全車両といった意味。

羅した米国の5地域（カリフォルニア州北部、カリフォルニア州南部、ミシガン州南東部、大西洋中部およびフロリダ州中部）で行っている。

全てのチームが固体高分子形燃料電池(PEMFC: polymer-electrolyte membrane fuel cell)を使用している。これらの車両の大半は、350bar (5,000psi)²の圧縮水素貯蔵タンクを使用しているが、700bar(10,000psi)の圧縮水素貯蔵タンクや、極低温液体水素タンクを使用している車両もある。燃料補給方法の種類には、液体や圧縮ガスの形で輸送された水素を用いるものや、補給ステーションで（オンサイトで）天然ガス改質や電気分解を行い製造した水素を用いるものがある（図1～4）。



図1 圧縮ガスとして輸送



図2 ステーションで天然ガスを改質



図3 ステーションで電気分解



図4 極低温で液体水素として輸送

DOEの再生可能エネルギー研究所(NREL: National Renewable Energy Laboratory)は、このプロジェクトチームとともに、データの収集・分析システムを作製した。このシステムにより、実証用のフリートとインフラについての幅広いデータが収集される。NRELの研究者達はこのデータを利用して、DOEの水素・燃料電池技術の目標の達成状況を評価し、将来の研究開発を導く。NRELの検証プロジェクトの大きな特徴の一つは、様々な利害関係者（ステークホルダー）に複合的な検証結果を提供していることである。収集された結果は「複合データ(composite data product)」として一般に公開されている³。各チームの取組みについての詳細なデータは、そのチーム内でのみ報告されている。これは、各チームの知的財産権を侵害しないようにしつつ、有益な実証試験結果を提供するためである。

同プロジェクトの開始から2年経過した2007年時点⁴で、77台の「第一世代」燃料電

² 圧力の単位で、bar（バール）は1.0192kgf/cm²、psi は1 平方インチあたりの圧力（ポンド）。

³ http://www.nrel.gov/hydrogen/cdp_topic.html

⁴ このプロジェクトの参加企業チームの公募が行われたのは2003年である。その後の準備期間を経て、実証

池自動車と 14 ヶ所の燃料供給ステーションがこの計画の下で利用されている。このプロジェクトの車は総計、水素 3 万 kg(66,139 ポンド)を消費し、1,321,000 km (821,000 マイル)を走行した。2005 年と 2006 年に収集された検証データにより明らかになった 2006 年中間目標の進捗状況に基づき、NREL は DOE に対し、「第二世代車両」への資金援助継続、および、目標である車両約 120 台と燃料補給ステーション 20 ヶ所（既存のステーションで燃料補給できる車両もある）の達成を提言した。2009 年のさらに高い目標を達成するために、2007 年末から 2008 年にかけて新しい燃料電池スタック技術を用いた第二世代燃料電池自動車が入手可能となることが期待されている。

2009 年の目標、および消費者が受け入れ可能と考えられる 2015 年の目標を表 1 に示す。

表 1 2009 年、2015 年の目標値

性能測定項目	2009 年の目標	2015 年の目標
燃料電池の耐久性	2,000 時間	5,000 時間
車両の走行距離	402km (250 マイル)	483km (300 マイル)
燃料補給ステーションでの燃料補給コスト (非課税)	3 ドル/gge	2~3 ドル/gge

注 1 gge = gallon gasoline equivalent

注 2 平均的車両の場合、5,000 時間は約 161,000 km (10 万マイル)に相当。

表 1 に挙げた以外で、この検証プロジェクトで調査している重要なパラメータは以下のとおりである。

- ① 燃料補給時間
- ② 動力計測 (dynamometer)
- ③ 路上走行の燃費
- ④ 寒冷期の始動特性
- ⑤ 安全性の問題
- ⑥ 燃料不純物
- ⑦ 貯蔵タンク容量 (燃料の体積・重量当たり)

以下はこのプロジェクトの最初の二年間の評価結果である。

- ・ 実証した燃料電池車フリートは、水素1kg当たり平均68~91km (42~56.5マイル)の走行距離であった。

試験が行われるのは 2005~2009 年の 5 年間である。

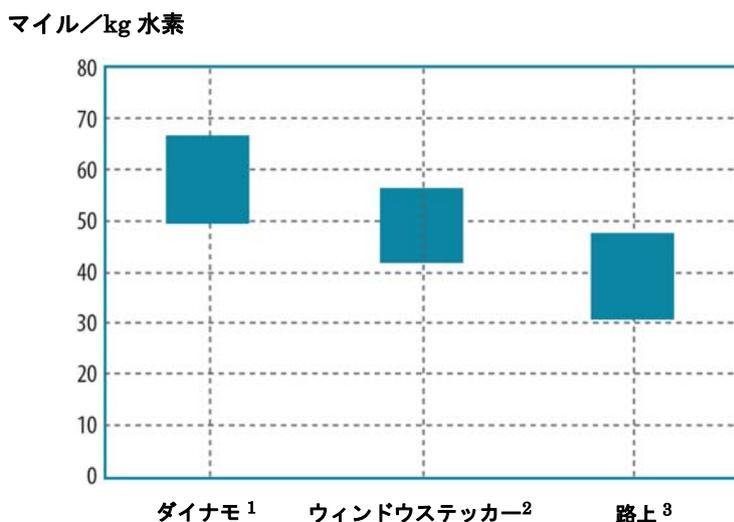


図5 実証車両の燃費

- 1 ドラフト SAE J2572 に則り、City モードと Highway モードの燃費を合わせたもの(米国では市内走行を代表する City モードと高速道路走行を代表する Highway モードに基づいた走行試験が義務付けられている)。
- 2 City モードと Highway モードの燃費を合わせた補正值 (0.78 x Hwy、0.9 x City)。
- 3 1 マイル未満の走行は除く。路上走行の平均値。走行時の燃料電池スタック電流等から計算。

- ・燃費、及び使用可能な水素貯蔵量に基づき計算された車両の走行距離は、161~306km (100~190マイル)である。2009年の目標は402km (250マイル)。大半の実証車両は350bar (5,000psi)の圧縮水素貯蔵タンクを利用しており、700bar (10,000psi)タンクへの移行が期待される。
- ・車両に対する燃料電池システムの効率(約4分の1の出力で計測)は、53% ~58%であり、DOEの燃料電池システムの長期目標にきわめて近い。

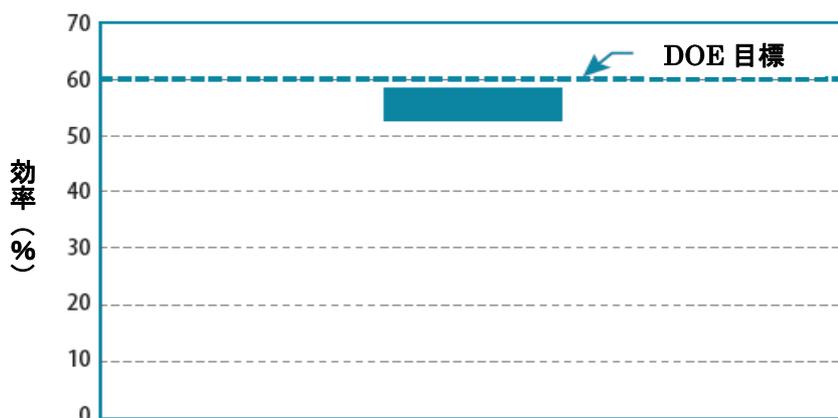


図6 燃料電池システム¹の効率² (25%出力)

- 1 スタック出力合計 - 燃料電池システム補助装置の使用電力。DRAFT SAEJ2615 による。
- 2 供給燃料(水素)の低位発熱量(LHV: Lower Heating Value)に対する直流出力エネルギーの比率。パワーエレクトロニクスと電気駆動装置は除く。

- ・ NRELが推定した、このプロジェクトの車両の燃料電池耐久時間（電圧の10%降下までの時間）は、平均で800時間強であった。ただし、あるチームでは、1,600時間を超えた。これは2006年のDOE目標である1,000時間を遥かに上回っている。第二世代の車両については、2009年の目標である2,000時間と照らし合わせて評価される予定である。

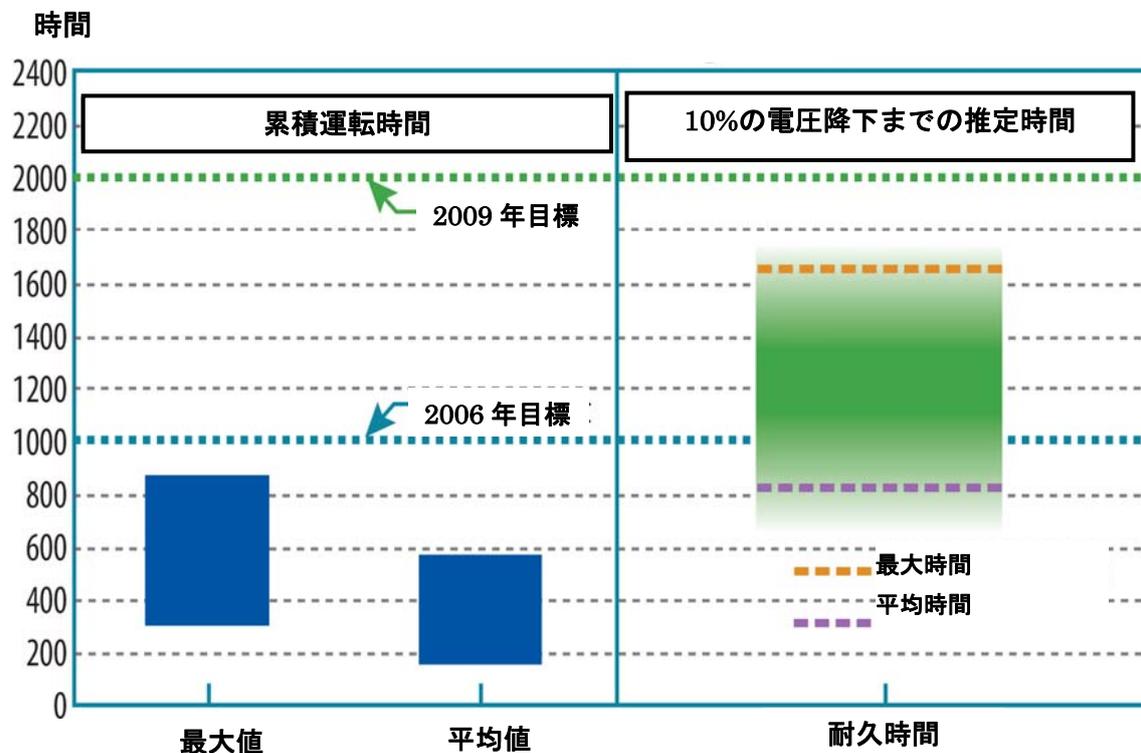


図7 2006年第4四半期のデータに基づく燃料電池スタックの耐久性 検証結果

- ・ 燃料補給ステーションと車両を様々な組合せた燃料補給の結果は、平均補給時間 3.66分、補給速度 0.76kg(1.7ポンド)/分であった。すべての補給（回数）の内の、85%は目標補給時間の5分より短い時間であった。また、23%は2006年の目標補給率の1kg/分（5分間で燃料5kg）を超えていた。

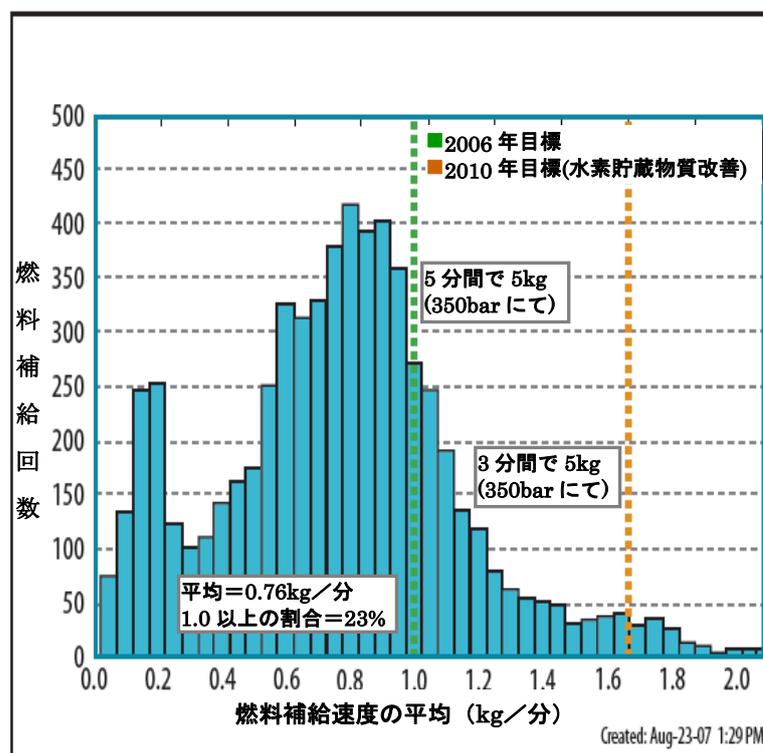


図 8 2006 年第 4 四半期 燃料補給性能

- ・実証試験で使用された水素は純度99.99%という目標をほぼ達成したが、一方、特定の不純物レベルは時折目標値を超えていた。より良い、安価な不純物サンプリング方法が必要である。
- ・大きな安全上の問題は、なかった。事故に分類された安全報告が一件あった。

NRELは実証車両から秒単位のデータの収集を行い、膨大な量の情報を処理している(最初の二年間で、走行結果報告が14万9,000件以上)。NRELのアナリスト達は、各チームのデータ保護に必要なセキュリティーを管理しながら、自動でデータ処理と任意の分析結果の作成を行うことが可能な、高度なデータ処理・分析ツールを開発した。このソフトウェア「フリート分析ツールキット(FAT: Fleet Analysis Toolkit)」によって、アナリスト達は、データへのアクセスと、そのデータからの様々な出力を容易に行うことができる。このウェブサイトでは成果が6ヵ月ごとに更新されている。

出典：

米国 DOE 再生可能エネルギー研究所

<http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42284.pdf>

翻訳：NEDO 情報・システム部

【燃料電池・水素特集】 JTI 型式認証

EU、水素自動車の開発に官民のパートナーシップを活用

欧州委員会は、地球温暖化対策の一環として温室効果ガスを排出しない水素を燃料とする自動車に注目しており、EU 全域で水素自動車の導入を推進しようとしている。このため、欧州委員会は 2007 年 10 月 10 日、水素自動車の開発、販売を促進するための 2 つの提案を採択した。

1 つは、「燃料電池・水素ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ (JTI : Joint Technology Initiative)」に関する提案で、第 7 次研究開発フレームワーク・プログラム (FP7 : Seventh Framework Programme) の枠内で実施される。JTI は、FP7 で新たに導入された民間が主導する官民のパートナーシップであり、欧州委員会は、「燃料電池・水素 JTI」に 2013 年までの 6 年間で、4 億 7,000 万ユーロを拠出する。民間部門も同額の資金を提供する。

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・燃料電池テクノロジープラットフォーム (HFP : European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform)」を設立した。これは、加盟国でばらばらに行われがちな水素・燃料電池技術の開発を、HFP を通じ EU レベルのパートナーシップに発展させ、水素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ために、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や、定置用並びに携帯用燃料電池に適用するためのエネルギー・システム、要素技術の開発、配備を容易にし、加速することがその目標とされた。

JTI では、HFP での成果を基盤とする基礎的な研究や応用研究、実証試験などが行われるが、JTI を活用することで、水素や燃料電池関連の技術や製品の開発から上市¹までの期間が大幅に短縮されることが期待されている。また現在、コストや燃料電池の寿命、水素の持続可能な生産、水素の安全で効率的な流通・貯蔵といった問題が、燃料電池や水素を利用する製品の普及の障害となっているが、欧州委員会は、JTI による官民の協力で、水素関連技術の開発を加速し、これらの製品の大規模な商業化を促進したい意向である。水素自動車に関しては 2015～2020 年、定置用並びに携帯用燃料電池に関しては 2010～2015 年の期間に、メーカーが大規模な商業化に向けた決断を下せるようにすることが目標となる。

2 つ目の提案は、水素自動車の型式認証に関するもので、既存の EU レベルの自動車の型式認証システム「自動車の型式認証に関する欧州議会・理事会指令 2007/46/EC」に水素を燃料とする自動車を統合する形で、水素自動車の型式認証を容易にするとともに、EU

¹ put on the market 製品として市場に出回ること (流通すること)。

域内を走行する水素自動車が、通常の自動車同様、安全なものであることを保証することが目的である。

すでに市場への導入準備の整った水素自動車も存在するが、EU レベルで統一された型式認証システムがなく、水素自動車の型式認証手続きは複雑で高くつくものとなっている。欧州委員会は、「水素で動作する自動車の型式認証、並びに指令 2007/46/EC の修正に関する欧州議会・理事会指令案 COM(2007)593」により、こうした状況を是正し、水素自動車の普及を加速する。欧州委員会は、自動車メーカーは 2017 年から 2025 年の期間に、同指令の導入で型式認証のコストを 1 億 2,400 万ユーロ節約でき、域外の市場での競争力を高めることができるとしている。

欧州委員会のポトチュニック委員（科学・研究担当）は、「EU は、気候変動と戦い、環境を保護すると同時に、競争力も維持した上で、エネルギー供給の安全も保証しなければならないという状況に直面している。燃料電池や水素といった技術は、こうした状況に対処するのに有効なものとなる。燃料電池・水素 JTI は、燃料電池や水素に関する技術を市場に送り出すのに必要な研究開発に向けた大きな一歩となる」と語っている。

<参考>

欧州委員会：

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1468&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=ja>

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/404&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/405&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007PC0593:EN:NOT>

<http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/pagesbackground/pedestrianprotection/index.htm - hydrogen>

【燃料電池・水素特集】**触媒****燃料電池水性ガスシフト触媒の予期しない活性を明らかに(米国)**

米国エネルギー省ブルックヘブン国立研究所の研究者は、燃料電池の性能向上を支援する触媒クラスに関する重要な詳細を明らかにした。燃料電池反应用のクリーン水素を生産する目標を念頭に、なぜ、金、セリウム、チタンおよび酸素のナノ材料を含む2つの次世代触媒が非常に高い触媒活性を示すかを研究者が究明した。この結果はサイエンス誌 2007年12月14日号オンライン版で発表されている。

燃料電池は、電気と水を生産するために、水素と酸素を燃焼せずに結合させる。その高いエネルギー効率、様々な燃料源の使用可能性および温暖化ガスのゼロ排出のために、燃料電池は、輸送応用のための動力源としての魅力を持っている。しかしながら、この技術が直面する大きな問題は、反応に供給する水素の豊富な材料には、一酸化炭素(CO)をしばしば含んでいるということである。COは水素生産の過程で形成される。

燃料電池内でのCOの問題は、水素を電気に変換する高価な白金基盤の触媒を「害する」ことであり、時間と共に触媒の効率を低下させ、取り替えが必要となる。「燃料電池反応は、非常に純粋な水素を要求する厳しい反応である。不純物を除去する方法を見つける必要がある、そして、その場所は水性ガスシフト反応が起こる所である」とブルックヘブン国立研究所化学者のホセ・ロドリゲスは述べる。

水性ガスシフト(WGS)反応は、水とCOを結合し、付加的な水素ガスと二酸化炭素を発生させる。このプロセスは、適切な触媒の作用により、ほぼ100パーセントのCOを二酸化炭素に変えることができる。

ブルックヘブン国立研究所化学部、機能性ナノ材料センター(CFN)、ベネズエラ中央大学の研究者を含んだロドリゲスのグループは、2つの次世代WGSナノスケール触媒、金-酸化セリウムおよび金-酸化チタンを研究している。「これらのナノ材料は、WGS反应用の非常に効率的な触媒として最近発表された。バルクの金もバルクの酸化セリウムや二酸化チタンも触媒として活性ではないので、これは驚くべき発見であった」とブルックヘブンの化学者ジャン・ハーベックは語った。

これらのナノ触媒がどのように動作するのかを究明するために、研究チームはいわゆる「逆モデル触媒」を開発した。WGS触媒は、通常、酸化セリウムまたは二酸化チタンの表面に分散した金のナノ粒子から構成されている。すなわち、安価な酸化物上に置かれた少量の高価な金属から構成されている。しかし、表面の相互作用をよりよく観察するために、研究者は、純粋な金表面に酸化セリウムあるいは二酸化チタンのナノ粒子を配置した。

「純粋な金は WGS 反応には不活性であるが、もし、それに少量の酸化セリウムまたはチタンを置くと、それが非常に活性になることを我々は最初に確認した。この逆モデル触媒は単にモデルであるが、実際の触媒と同程度か、時にははるかに高い触媒能力を持っていた」とロドリゲスが語った。

ブルックヘブン国立研究所全米シンクロトロン光源(NSLS : National Synchrotron Light Source)の X 線光電子分光法と呼ばれる技術と走査型トンネル顕微鏡と計算機を使用して、研究者は、この触媒酸化物が高い活性を持っていることを発見した。

「この酸化物は、ナノスケールでユニークな特性を持っており、また水分子を分割することもできる。これは WGS 反応の最も難しい個所である」とハーベックは語る。「水を分解した後、この反応は CO 除去に続く。しかし、もしナノ規模の酸化物粒子がなければ、この反応のどれもが動作しない」とブルックヘブン物理学者ピン・リウが追加した。

研究者は、これらの触媒に関する反応の仕組みとその性能の最適化をさらに研究するために、NSLS と CFN で研究を継続することを予定している。この研究の資金は、米国エネルギー省科学局基礎エネルギー科学事務局によって提供されている。

CFN は、ナノスケール学際研究のための主要な全米利用者施設である 5 ヶ所の DOE ナノスケール科学研究センター(NSRC)のうちの 1 つである。同時に、NSRC は、ナノスケール材料を、組み立て、処理し、評価し、そしてモデル化するための最先端技術の機能を研究者に提供する補完的な設備一式より構成され、米国家ナノテクノロジーイニシアティブの最大のインフラ投資を構成している。NSRC は、DOE ブルックヘブン、アルゴンヌ、ローレンス・バークレー、オークリッジおよびサンディア・ロスアラモスの各国立研究所に本拠地を置いている。DOE NSRC に関する詳細は、<http://nano.energy.gov/>

(出典 : http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=07-122)

【燃料電池・水素特集】 **水素貯蔵物質**

化合物の新しい結晶形が、水素貯蔵物質の研究を推進 (EU)

水素化物の新しい結晶形¹がヨーロッパ放射光施設 (ESRF: European Synchrotron Radiation Facility) の科学者によって発見された。この結晶形は、水素を燃料とする自動車の水素貯蔵に使用できる可能性がある。

この物質は水酸化ホウ素リチウム (LiBH_4) であり、有望なエネルギー貯蔵物質であると考えられる。その理由は、水酸化ホウ素リチウムは 18 重量パーセントの水素を含んでおり、水素を燃料とする自動車で使用するのに魅力的な物質だからである。

しかし、この物質の欠点は、極めて高温 (300°C以上) においてのみ、水素を放出することである。ESRF の研究チームは、より穏やかな条件で水素を放出する可能性のある、この化合物の新しい形状 (form) を発見した。

理論的には予測できないものであったこの発見は、アンゲヴァンテ・ケミー誌² (Angewandte Chemie) に、非常に重要な論文として発表された。

自動車産業界は水素を有望なエネルギー担体と考えている。もし良い水素貯蔵材料が開発されれば、自動車用ガソリンをクリーンな水素エネルギーで置き換えることができる。走行距離の点で、5kg の水素は 20 リットルのガソリンに相当する。現在、比較的多量の水素を貯蔵し、あるいは容易に放出する、いくつかの興味深い化合物が知られている。しかし、貯蔵と放出の双方を実用的なレベルで実現できる物質は今のところ、無い。

ESRF スイス/ノルウェー実験ステーション (ビームライン) の研究者は、水素を含んだいくつかの化合物と、異なった圧力と温度の下でその化合物がとる様々な形状について研究している。水酸化ホウ素リチウム (LiBH_4) は重量比で 18% の水素を含んでおり、現在研究中の化合物の一つである。科学者はこの化合物の新形状を発見したばかりだが、それは不安定 (unstable) なように思われ、水素貯蔵物質として有望である。今日に至るまで、この物質の形状として知られているものは、全て極めて安定であり、それは水素を容易に放出しないことを意味する。

論文の著者である Yaroslav Filinchuk は、「新しく見つかった結晶形状は、全く予期しなかったものであるが、非常に有望である」と述べている。

¹ 物質には、化学組成は同じだが結晶構造が異なるものが存在する。

² ドイツ化学会誌であり、アメリカ化学会誌などと並び、化学分野における最高レベルの学会誌である。

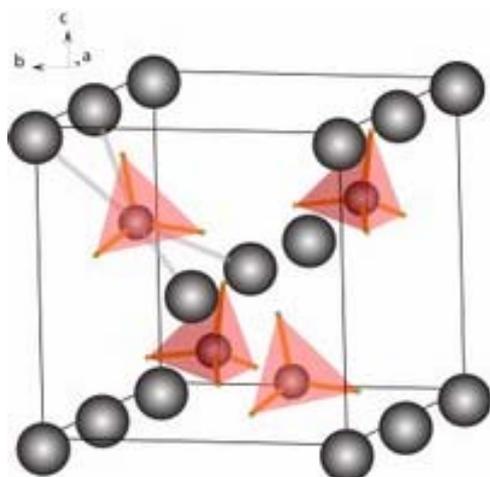


図 1 : LiBH₄ の新しい結晶構造

(Credit: Y. Filinchuk, D. Chernyshov, A. Nevidomskyy, and V. Dmitriev: High-Pressure Polymorphisms a Step towards Destabilization of LiBH₄. *Angew. Chem. Int. Ed.* 46 (2007), DOI: 10.1002/ange.200704777. Copyright Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Reproduced with permission).

水素化ホウ素リチウムの新しい結晶系を得るために、研究チームはサンプルに対して最高 20 万バールまでの圧力を加えた。この圧力の大きさは、エベレスト山の下地の地殻に加わる圧力 (2,500 バール) の 80 倍に達する。(ただし、ESRF の実験施設では、この圧力は記録的なものではない。) また、発見された材料中の原子配置を決定するために、シンクロトロン光の回折が使われた。

以上のような過程を経て、水素化ホウ素リチウムの新しい二つの構造が見つかった。この内の一つは類を見ない斬新なものであり、水素元素間の極めて短いコンタクトを現わしている。実験と理論的考察の結果、水素化ホウ素リチウムの新しい結晶系は、より低い温度で水素を放出できることがわかった。

Filinchuk は語る。「新しい結晶形が既に 10 バールの圧力で現れることを考えると、この物質はさらに魅力的なものになる。10 バールは製薬会社が丸薬を製造する際に加える圧力に相当する。」

本論文の著者は、常圧において化学的置換により、この形状を安定化できると考えている。研究チームの次の目標は、通常的环境下で、この化合物に化学工学的な処理を加えて固定化し、水素貯蔵物質として純粋な水素化ホウ素リチウムよりも好ましい性質を示すかどうかを試験することである。通常、水素はX線では検出できないものだが、この研究に携わった科学者達は ESRF の優れたシンクロトロン光のおかげで、かろうじてその配置を検出することができた。

ESRF スイス／ノルウェー実験ステーション（ビームライン）の研究チームは、一見したところでは予測できなかったこの新しい結晶系の研究開発を続ける予定である。

出典：

<http://www.esrf.eu/news/pressreleases/hydrogen/hydrogen>

(Copyright © 2008 ESRF Used with Permission)

翻訳： NEDO 情報・システム部

【燃料電池・水素特集】 **プロトン交換膜**

米国エネルギー省エームズ国立研究所で燃料電池膜の構造を解明
ー並列円筒水ナノチャンネルの新モデルを提案ー

今日の環境意識の強い社会において、燃料電池自動車は商業化に近づきつつある。しかしその期待にもかかわらず、燃料電池の中心構成部品であるプロトン交換膜が実際にどのように動作しているかさえ、研究者は説明するのに苦労している。

しかしながら、米国エネルギー省エームズ国立研究所の研究者チームは、プロトン交換膜の構造とその機能について、これまでで最良の説明を提供する新しいモデルを提示した。また、その情報により、科学者は、それほど高価でなく、より高い動作温度を持つような、種々の特性を持った燃料電池プロトン交換膜材料を構築することができるようになるであろう。

燃料電池は、プロトン交換膜を介して水素ガスを通すことにより動作する。このプロセスでは、水素は、電気の形で電子を放出し、次に酸素ガスと結合して、副産物として水を形成する。さらに、この反応は逆にも作動することができる、電流が加えられた場合、水はその成分である水素ガスと酸素ガスへ分割される。

エームズ研究所の研究者クラウス・シュミットローとチアン・チェンによって「Nature Materials」誌の12月号に詳述された*、提案モデルは、水とプロトンに対するその高い選択透過性に傑出し、広く使用されているペルフルオロ化ポリマーフィルムのナフィオン(デュポン社 Nafion)に特に注目している。

アイオワ州立大学の化学教授でもあるシュミットローは、ナフィオンが材料中を並列に走るナノスケールの円筒水チャンネルの緊密に詰まったネットワークを持っていることを示唆している。「核磁気共鳴(NMR)から、ナフィオン分子は分子鎖に沿って毛の様な欠陥を持った硬い骨格構造を持っていることを知っていた。しかし、どのように、これらの分子が配列されているのかは解らなかった。ある人は、回転楕円面の水クラスターを提案し、他の人は、水チャンネルのウェブ状ネットワークを提案した」とシュミットローは述べる。

「我々の理論は、これらの疎水性の骨格と一緒にクラスターを構築し、水の詰まったチューブ内部に親水性の毛を持った、直径約 2.5 ナノメートルの長く硬いシリンダーを形成しているということである」と彼は続けた。

「試料の異なった部分のシリンダーは完全には整列していないかもしれないが、シリンダーは結合し、プロトン交換膜材料を通り抜ける厚さ数 10 ミクロンの水チャンネルを作

成する。これが、比較的大きな直径のチャンネルが密に詰まり、材料に沿って殆ど並列に走っているプロトン交換膜の構造である。この構造は、水が水中を通り抜けるように、非常に容易に水とプロトンがナフィオンを通過して非常に容易に拡散できることを良く説明する」とシュミットローは語る。

この構造の秘密を解き明かすために、シュミットローは、X線・中性子小角散乱(SAXS、SANS)の数学的モデル化に取りかかった。X線や中性子線は試料によって散乱され、結果として生じる散乱パターンがナノメートル規模の試料部品の寸法、形および配向に関する情報を提供するために解析される。

多次元フーリエ変換として知られているアルゴリズムを使用して、長い密に詰められたチャンネルを持ったシュミットローのモデルは、ナフィオンの既知の散乱データと非常に良い一致を示すことに成功した。水クラスターが別の形や結合性を持っている、提案された他の構造の数学的モデルは、測定された散乱データと一致しなかった。

「我々のモデルは、さらに、電気伝導度が水の凝固点以下でさえもうまく維持されることも説明できる。すなわち、より大きなチャンネルでは水は凝固し、より小さな直径の細孔に拡散し続けるであろう。シリンダーがプロトン交換膜を通過してどのように結合するかを決定するためには、追加の解析が必要である」とシュミットローは述べている。

"Parallel cylindrical water nanochannels in Nafion fuel-cell membrane"

by Schmidt-Rohr and Chen:

<http://www.nature.com/nmat/journal/v7/n1/abs/nmat2074.html>

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

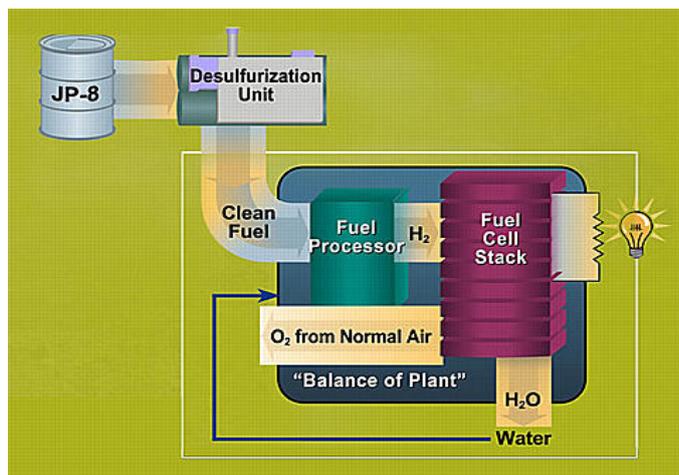
【燃料電池・水素特集】改質器

燃料電池は騒々しい高温の発電機を過去のものに(米国)

—燃料の脱硫化と改質器の進歩が軍用燃料使用の移動用燃料電池システムを実証—

米国エネルギー省(DOE)パシフィックノースウエスト国立研究所(PNNL)で開発された2つの中核技術である燃料脱硫システムおよび燃料改質システムが、軍事作戦で一般に使用される燃料で作動する電力システムの実証において使用された。

移動用燃料電池発電機は、静かで効率的であり、標準のディーゼル発電機より低公害であるが、軍用燃料(JP-8)で使用される時は、その硫黄分のために問題が発生する。PNNLで開発された燃料脱硫化装置(Desulfurization Unit)と改質システム(Fuel processor)は、軍用燃料の硫黄分を削減し、統合型燃料電池で使用可能な水素の流れを生成する。



(Credit: PNNL)

移動用燃料電池で使用される水素変換プロセス

「交戦地帯での騒々しい高温の発電機の運転は、非効率的であり、また敵に位置を知らせてしまう。一方、発電機を運転しないと、通信や他の重要なシステムの電源無しで部隊を放置してしまうことになる」と PNNL のプロジェクトマネージャーのデール・キングは語る。

現在、軍事利用のための開発中であるが、脱硫化と石油改質の技術は、その小規模性と高性能が重要となる、様々な場所において移動用電力を提供するために、種々の液体燃料と共に使用することができる。PNNL の研究者は、この脱硫化技術を、さらに、ディーゼル燃料で使用するために拡張している。

燃料電池が中枢の補助動力源は、モジュール化され広範囲の用途のために再構成するこ

とができる。この技術が長距離商業用トラックに補助電源と熱を供給するために使用される構想を研究者は描いている。このことは、車輻が停止中に非効率的な内燃エンジンを動かす必要性をなくす。

パテル社(DOE のため PNNL を運営)は、2007 年燃料電池セミナーの 3 日間に、この技術を実証する試作システムを運転した。デモンストレーション中に、5 キロワット統合電力システムが、地区の照明や商用冷凍器に電力を成功裡に供給した。

PNNL によって開発された独特な触媒式水素脱硫プロセスは、水素の代りの反応物として合成ガスを使用して、軍用燃料から硫黄を除去する。このプロセスの気相運転は、従来技術と比較して、処理量の大幅な増加と操作圧力の低下を可能とする。また、このプロセスは、消耗品あるいは定期的な更新を必要としない。

このシステムは、「米国陸軍タンク自動車研究・開発・工学センター」の資金提供で開発された。

燃料電池は、水素と酸素を結合して電気エネルギーを生産し、副産物として水と熱をだす。燃料電池のプロセスは、クリーンで、静かで、非常に効率的であり、潜在的に内燃機関より 3 倍以上も効率的である。想定される利益としては、公害の削減、信頼性向上、多種類の燃料への対応能力、耐久性および保守の容易さがある。

(出典 : <http://www.pnl.gov/topstory.asp?id=282>)

【個別特集】 国際展示会参加報告

「ポリュテック・オリゾン」 エネルギー・環境展示会報告(フランス)

NEDO 技術開発機構 総務部広報室
桜井 洋子

1. ポリュテック・オリゾン展の概要

2007年11月27日～30日にフランス・パリで開催されたポリュテック・オリゾン展(エネルギー・環境展示会)において、NEDO 技術開発機構(以下、NEDO)は、エネルギー・環境関連事業の紹介、及び来場者との交流を図る目的での出展を行った。

Pollutec はフランスのパリとリヨンで毎年交互に開催される欧州最大級の環境・エネルギー展で、23回目となる今年は、個々の技術分野をさらに発展させるため、更に先を見つめようという意味を込め、それまでの「Pollutec」から「Pollutec Horizons」(Horizons=地平線)と名称を新たにして開催された。



会場外観



会場全景

会場となったノール見本市会場は総面積約 50,000m²で、エネルギーと気候変動、資源の有効化、水・廃棄物・土壌等の汚染処理、リスク予防・リスク管理、持続的開発、都市と環境、水源管理、運搬・倉庫、分析・対策・管理、規制・コンサルティング、自然環境保護、研究・教育の12の分野に分け、35カ国から1,451の環境関連団体、企業、研究機関、大学、政府機関が出展した。日系企業では、Honda Motor Europe SA、Mitsubishi、Toyota France、Yokogawa France等が名を連ねていた。来場者数は45,397人、2005年のパリ開催時より約3%増となった。このうち外国からの来訪者数は103カ国、5,446名で、2005年のパリ開催時に比べ10%強上回った。出展者数、来場者数ともここ数年増加傾向にあり、地球環境問題、気候変動への関心の高さが伺える。

2. NEDO ブースの概要

NEDOは1993年以來参加を続けており、新エネ・省エネおよび環境技術を中心にNEDOの技術成果の展示を行っている。これまで日本からの出展はNEDOのみであったが、今回は初めての取り組みとして面積60㎡のブースにNEDOと民間企業6社との共同出展を行い、NEDOの技術成果を事業実施者側からも積極的にアピールした。

共同出展企業と出展内容は以下の通り。(企業名は五十音順)

(1) カワサキプラントシステムズ(株)

(流動床セメントキルン焼成技術)

中国で普及している立窯セメント焼成技術の代替となる流動床セメントキルンを適用することにより石炭の効率的利用を図り、NO_x、SO_x、CO₂の排出を抑制する技術(セメント排熱発電設備)

今まで大気へ捨てていた熱を回収・発電するセメント排熱発電設備を導入し、エネルギー消費の効率化、環境改善を図る

(2) シャープ(株) (薄膜太陽電池モジュール)

シリコン使用材料が少なく省資源化を図ったトリプル型薄膜太陽電池(結晶シリコンタイプと比べ約1/100の厚さ)

(3) ゼファー(株) (小型風力発電機)

世界最軽量化(1Wあたり17.5g)、風速2.5m~50mまで無停止運転で設備利用率40%超(世界最高水準)を実現した小型風力発電機



(4) 日本IBM(株) (コンピュータ省エネ技術)

増加するコンピュータ電力消費の省エネ化を図るために低損失光導波路を基本としたボード間光インターコネクト技術を開発し、高速低消費電力の信号電送を実現した技術

(5) (株)日立製作所 (ガスタービン熱電併給システム)

カザフスタン政府との共同プロジェクトにより、既設設備を高効率ガスタービン設備に置き換え、CO₂の削減を達成した日本の最新型熱電併給プラント

(6) 松下電工(株) (ケナフ利用サステナブル建築建材)

成長速度が速く二酸化炭素の吸収能力が高いケナフから繊維を取り出しボード加工する技術により、地球温暖化防止と資源循環型社会の形成に貢献



このほか、NEDO の技術成果として以下のパネル 5 点も出展した。

(1) NEDO の概要 (パネルおよび DVD 上映)

(2) 省エネルギー型廃水処理技術の開発

高濃度オゾンを利用した、余剰汚泥の発生を抑制し、難分解性化学物質の除去を可能とする省エネルギー型の高度廃水処理技術

(3) ペットボトルリサイクル

使用済みペットボトルを樹脂原料に化学的に分解して、異物や色を取り除き、再び重合させてバージン品と差異のない高純度ペット樹脂にリサイクルする技術

(4) バイオマスからのエタノール製造技術

バイオマスからのエタノール燃料製造のために、木材 (セルロース) を原料にし、これを糖化し、エタノール発酵する技術、及び、さとうきびの製造過程で出る廃糖蜜 (糖) をエタノール発酵する技術

(5) 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの開発・実証

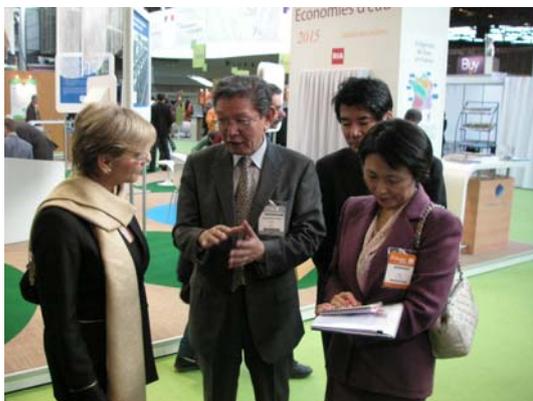
高効率な家庭用燃料電池システムの早期実用化普及を目指した取り組みの紹介



NEDO ブース風景

NEDO ブースは、正面入り口から通じるメインストリートに位置していたこともあり、4日間で約 2,000 人の来場者があった。特にゼファーの小型風力発電機は、実物の展示品があったこともあり、多くの人々の関心を呼んでいた。そのほかの企業についても、プロジェクトの詳細な内容や省エネ効果等を熱心に質問する人が多く訪れ、NEDO ブースは連日盛況であった。

初日には、Pollutec のメインプレイヤーである ADEME（フランス エネルギー・環境管理庁）のミシェル・パパラード長官、また、今回のゲストカントリーであるドイツ ノルトラインヴェストハーレン州の環境大臣が NEDO ブースを来訪し、それぞれ光川特別顧問と会見した。



ADEME パパラード長官(左)と会見
する光川 NEDO 特別顧問



独NRW州経済エネルギー省次官
バーガンツ氏 (右)

3. Pollutec TV への出演 (11月28日 17:15~17:45)

会期中には Pollutec TV と称し、出展者が個々のテーマの中でプレゼンテーションを行うミニセミナーが開催された。NEDO はこの Pollutec TV に出演し、NEDO の事業内容および日本のエネルギー情勢を説明したのち、今回参加いただいた企業の方々より出展内容についての特徴および開発の目標等について紹介を行った。



Pollutec TV に出演した共同出展者及び NEDO メンバー

4. 次回の Pollutec に向けて

今年の日仏交流150周年を迎える。この節目の年に当たる次回のPollutec（リヨンで開催予定）では、日本から今回以上に出席企業を増やしたいと考えている。昨今の原油価格高騰や地球温暖化の影響を受け、さらに各国のエネルギー・環境対策への具体的取り組みが求められている。今年には京都議定書がいよいよ発効となり、この時期に日本の新エネ・省エネおよび環境分野における技術を紹介し、企業レベルでのビジネスチャンスの場を設けることは非常に有益である。NEDOでは経済産業省、在仏日本大使館、JETROパリ事務所等と協力して、またPollutecのメインプレイヤーであるADEMEや主催者であるリード・エグジビション社（Reed Exhibitions）とも連携を図りつつ、次回のPollutecに今回以上の大きな展示ができるよう準備を進めていくことにしている。

【個別特集】太陽光発電

多結晶シリコンへの集中投資で活路を求める中国の太陽光産業

NEDO 技術開発機構 北京事務所
曲 暁光

中国では政府が提唱する「**環境友好型社会**（環境調和型社会）」の構築に向け、環境対策を強化するとともに、バイオマス、風力発電、太陽光発電等を含む「**緑色**」（クリーン）なエネルギーの導入機運が急速に高まりつつある。その中に、自然の恵みで無尽蔵にあると思われている太陽光資源の有効利用に係る太陽光発電技術、太陽熱利用技術はもっともハイテクかつ環境負荷の少ない技術として大いに期待されている。

2005 年末に**無錫尚徳太陽能電力有限公司 (Suntech Power)** がニューヨークでの上場に成功して以来、中国の太陽光発電関連企業は海外での上場を業界におけるステータスと資金調達的主要な手段と捉え、相次いで海外上場を試みている。その中に、一時的に諸般の事情により、上場が見送られた河北省の**保定英利新能源有限公司**は中央政府からの強力な支援をバックに 2007 年にニューヨーク証券取引所の上場に成功し、中国太陽光関連企業の海外上場として 10 社目の成功例となり、あたかも中国太陽光発電産業の「不敗の神話」が続いているかに見える。



中国の多結晶シリコン工場

昨年の海外レポート 995 号『中国における太陽光発電産業の「冬の到来」と今後の見通し（2007 年 2 月 2 日）』で中国の太陽光産業の現状について簡単な分析を試みた。中国の太陽光発電産業では多くの中国企業が参入し、盛んな設備投資により、非常に活気に溢れているかに見えるが、中国企業は 6 ナイン（99.9999%）以上の高純度多結晶シリコン材料の量産技術を有しておらず、価格決定力が弱いため、安い労働力を武器に海外輸出しているのが実情である。しかも、無謀とも言える大規模な新規投資が太陽光発電産業に集中することにより、企業の過当競争が生じる一方、国内需要は短期間に大きく伸びることが

期待できず、海外市場についても、主要輸出先であるヨーロッパ市場で、新たな制限が加えられたため、需要が頭打ちとなり、下降線をたどり始めている。

また、太陽光発電システムの組み立てが大半を占める中国の太陽光発電関係企業は 300 社に上るが、多くは厳しい経営を強いられていると言われる。多結晶シリコン材料の生産能力は中国太陽光発電産業の「アキレス腱」であり、各社とも多結晶シリコン材料の生産向上に向け、材料分野への投資を行ってきた。

本稿では多結晶シリコン材料への集中投資により、果たして太陽光発電産業の弱点が克服され、産業全体の「起死回生」が図られるか等について、簡単な分析を紹介する。

1. 材料価格の高騰による多結晶シリコンプロジェクトの乱立

現在、中国で生産される太陽光発電関連製品はその 90%以上がシリコンを材料としている。ここ数年、シリコン材料は価格が上昇し続け、1t 当たりのシリコン価格が 2 年前の 50 ドル台から現在 200~300 ドルまで急騰し、しかもその供給が非常にタイトとなっている。一方、太陽光発電は通常の火力発電よりコストが 10 倍以上高いと言われ、コスト削減は太陽光発電の普及につながる最大のポイントと言える。

中国の太陽光関連企業は必要な高純度の多結晶シリコンのほとんどを海外から輸入しているため、材料コストが大きなウェイトを占める太陽光発電システムでは組み立て工程だけではコスト削減に限界が見られる。しかし、大量生産に係るコア技術の習得が十分でない中国企業にとって、多結晶シリコンの製造は技術的なハードルが高く、多大なリスクを伴うものの、安定的な供給、コスト削減及び価格決定力の向上を図る観点から、多くの野心的な企業は豊富な資金力と政府の「高技術産業化」政策にリストアップされた**多結晶シリコン材料技術国産化推進策**を追い風に、相次いで多結晶シリコン製造という、太陽光発電産業の「上流分野」にチャレンジしている。

現在、多結晶シリコン材料製造プロジェクトが多数計画されており、その総生産能力は 2 万 t 近い。中国では 2006 年に多結晶シリコンの総消費量が 4,700t に達しており、その内の約 70%相当の 3,500 t 程度が太陽光発電製品の製造に使用されている。今後、太陽光発電システムの普及に伴い、関連製品の需要が伸びることで多結晶シリコン消費の増加にも拍車がかかり、2010 年には多結晶シリコン単独で 10,000t の大幅な消費の増加が見込まれている。

多くの中国企業はもともと安定供給とコスト削減を求めて多結晶シリコンの製造分野に食指を動かしているが、この上流分野への投資が短期的に集中した結果、将来その生産能力は中国の国内需要と輸出需要を大きく上回ると予想される。現在進行中の多結晶シリコン生産プロジェクトが稼動した場合、過当競争により、材料価格の値下げ合戦が避けられないであろう。

2. 生産過程における膨大なエネルギー消費量は代替エネルギー効果を相殺

現状において、生産過程における排ガス回収技術を含む多結晶シリコンの高純度化に関するコア技術は、日本、米国、欧州等先進国の限られた企業のみが有するものとなっている。

このため、効率的な生産プロセスの技術を有していない中国企業では、1トン当たりの高純度な多結晶を生産するためのエネルギー消費原単位は、日本等先進国に比較し、約2倍に相当する300kWh程度と言われる。中国では多結晶シリコン電池を1MW生産する場合、30t以上の多結晶シリコンが利用され、その電気使用量は1000万kWhに達するという試算結果が得られた。

よって、中国で生産される多結晶シリコン太陽電池は寿命が10年以下の場合、発生する電気量はすべて太陽電池の生産過程における電力消費量と相殺されることになる。

各地方政府は太陽光発電がもっともクリーンなエネルギーであると考え、材料となる多結晶シリコン生産を誘致・奨励している。しかし将来、地方政府が、多結晶シリコンがそのクリーンなイメージとは裏腹に、生産過程において多量の電気を消費し、排ガス利用の技術がなく、ほとんどが大気中に放散されてしまい、結果として、地域のエネルギー原単位の増加と環境悪化に繋がる可能性があることに気付いた時点で、中央政府から厳しいエネルギー原単位の改善、及び環境対策のノルマを課されている立場から、政策目標の達成に支障をきたす多結晶シリコンの生産に制限・規制を加える可能性も考えられる。

現在、中国の多くの太陽光発電関係企業は国内外を問わず、この分野の人材集めに躍起となり、激しい人材の争奪戦を繰り広げている。

3. 太陽光発電製品の輸出規制の可能性

中国では現在、省エネルギー、環境対策はその重要性から、あらゆる経済政策に優先する中国政府の最重要課題と位置づけられ、省エネルギー、並びに従来の経済政策はすべて環境対策の観点からレビュー・チェックされている。

また、改革・開放政策により採られていた、外貨獲得を目的とする輸出奨励策も、増大する貿易黒字により、潤沢な外貨が蓄積された等の理由により、現在全面的な見直しが行われている。この一環として、最大の輸出優遇策である輸出時の増値税（注1）還付が撤退され、エネルギー対策上の必要性も含めて、エネルギー多消費製品または資源輸出に対して一部追加的に課税する、輸出規制の動きが出てきた。

先述したとおり、中国では非常に立ち遅れた「ローテク」な生産プロセスによりハイテクな太陽光製品が作られている。エネルギーを多く消費し、環境に大きな負荷を与える工業製品に規制を加える中国政府の方針に照らして、将来太陽光発電の製品は輸出の規制対象になり得ると考える。

実際のところ、2006年に中国では太陽電池が370MW生産されており、その内、全体の97%以上に相当する360MWが輸出されている。仮に輸出規制が実施される場合、全生産量のわずか3%にも満たない年間需要10MW規模の国内市場では、例え将来市場規模が拡大したとしても、膨大な生産量には到底追いつけず、深刻な生産過剰に陥り、過酷な競争により多くの企業が淘汰されると予想される。

2006年、2007年以来、多結晶シリコンに係る材料価格の高騰に起因する材料分野の集中投資は太陽光関連企業の「合従連衡」を加速させ、2008年、2009年頃に勝者と敗者の

明暗が分かれるとの見方がある。

現在、一部実力のある中国企業は非シリコン系次世代薄膜化合物（CIS）太陽電池に目を向けて、海外から生産ラインを導入し CIS 太陽電池を生産する大規模な工場を立ち上げている。また、強力な資金調達能力をフルに活用して国内、米国、ヨーロッパ等海外の優秀な人材を確保し、ネットワークを作ることにより、CIS 太陽電池の転換効率を現在の 5% 台から 10% 以上に高めようと必死に技術開発を行っている。

将来、このような厳しい競争を経て一部の中国企業のみが勝ち残り、中国の太陽光産業における真の王者となり、国際的に十分競争力のある企業まで成長すると見込まれる。

1) 日本語で言う付加価値税のこと。その製品の付加価値分に対する 17%を徴収。

【個別特集】 省エネルギー

開発途上国におけるエアコンのエネルギー効率と CDM の役割
(IEA レポート第 3 回)

目次

1. はじめに
 2. エアコンのエネルギー効率
 - 2.1 途上国におけるエアコンのエネルギー効率
 - 2.2 先進国の場合
 - 2.3 先進国と途上国との比較 —以上 1013 号掲載—
 3. エアコンのエネルギー効率向上による、発電および CO₂ 排出の推定削減量
 - 3.1 発電および CO₂ 排出の推定削減量—ガーナの場合
 - 3.2 発電および CO₂ 排出の予測削減量—中国の場合 —以上 1014 号掲載—
- 本号掲載—
4. エアコンのエネルギー効率向上に対する障壁と対策
 - 4.1 電化製品普及への障壁とそれを克服する方策についての概説
 - 4.2 途上国における省エネ型エアコン普及への障壁
 - 4.2.1 ガーナの障壁
 - 4.2.2 ガーナにおける対策の可能性
 - 以下次号掲載—
 - 4.2.3 中国の潜在的な障壁
 - 4.2.4 中国における対策の可能性
 - 4.3 CDM の財政的貢献
 5. 結論

編集部注：図表の番号は全篇の通し番号である。

4. エアコンのエネルギー効率向上に対する障壁と対策

4.1. 電化製品普及への障壁とそれを克服する方策についての概説

省エネ製品の普及に対する一般的な障壁について、表 3 に示した。この表は省エネ型照明に関する障壁を分析するために作成したものだが、その他の機器にも応用できるものと考えられる。

表3 途上国における省エネ製品普及に対する主な障壁

障壁の種類	内容
政策障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 最終消費者に対する省エネ推進取組みを実施する上で、組織的な能力の欠如（特に国レベル） b) 財政政策に省エネ技術が考慮されていない c) ほとんどの最終消費機器について最低エネルギー性能が（仮にあったとしても）、十分でない d) 原価割れの電力料金および不十分な料金回収
財政障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 電化製品の市場価格に対する過剰反応 b) 製造業者の省エネ投資に対する財政インセンティブの欠如 c) 省エネ製品を市場に普及させるメカニズムや財政インセンティブの欠如 d) 財政支援策のズレやインセンティブ分裂¹（多くの場合、省エネ投資の意志決定者は最終利用者として電気代を支払う人々ではない。）
事業活動・企業経営障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 省エネ製品の市場デマンドに製造業者側が確信を持ってないこと b) 省エネ製品の開発やマーケティングに対する中小製造者のリソース（人的、技術的および資金的）不足
情報障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 家庭で消費される最終電力についての意識が低く、そのため政策決定者や消費者の省エネの可能性に対する意識が低いこと b) 省エネにつながるエネルギー効率向上に関する正確な情報の不足 c) 最新省エネ設計や省エネ型照明の製造に関する情報の不足
技術障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 最新技術に対する製造業者の限られたアクセス b) 政府系研究所や製造業者における省エネをめざす応用研究開発の欠如 c) 省エネ型照明システムをテストする相応な設備と職員を有する独立系試験所の不足 d) 省エネテストに関する技術者の経験不足
慣習障壁	<ul style="list-style-type: none"> a) 新しい機器に対する信頼感の欠如 b) エネルギーを消費する機器の設計、選択、操業において現状維持を図ろうとする地元の慣習や行動

各障壁の影響は、その国の技術、財政、政治状況によって異なる。さらに、国内レベルの障壁もあれば、国家間にまたがる障壁もある²。

電力料金の抑制やインセンティブ分裂といった障壁は、国内の制度的な問題であるため、

¹ 例えば、新築建造物の所有者がエネルギー効率改善のための設備を導入したとしても、省エネの受益者はテナントとなるため、オーナー側への初期投資のインセンティブが足りない、というような、実施者と受益者が一致しない状態をいう。

² Ellis, J. and Kamel, S., 2007, Overcoming Barriers to Clean Development Mechanism Projects, OECD/IEA Information Paper COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2007)3 を参照のこと。

障壁除去政策を立案し対策を実施することは、より困難である。しかし、財政や情報、技術に関する障壁は、市場の変革を促す財政的あるいは技術的な対策を通じて取り除くことは可能だろう。

1991年から2000年にかけて、GEF（地球環境ファシリティ）は開発途上国および経済移行国12カ国において、省エネ製品（照明、冷蔵庫、産業ボイラー、冷却装置）の市場を促進させるプロジェクト8件を承認した。総事業費は5億2,000万ドル（そのうちGEFの拠出金が9,000万ドル、他のドナー、すなわち国際機関、他国政府、民間企業からの資金調達が4億3,000万ドル）だった。これらのプロジェクトでは、省エネ製品の市場を持続させる上で妨げとなる、供給サイドおよび需要サイドの障壁を取り除く複合アプローチが用いられた³。

表4は、GEFの枠内で実施されたいくつかのプロジェクトを示したものである。多くの場合、GEFの資金は政府職員の能力開発やラベリング制度、技術移転に投下され、省エネ製品の市場拡大に貢献した。しかし、中には、先端技術の移転をめざしたものの、資金不足や知的財産の保護が不十分などの理由により、期待したような成果に達しなかったプロジェクトもあった。

表4 家電のエネルギー効率に関する GEF プロジェクト例

プロジェクト (GEF 評議会の承認年)	実施機関 予算	詳細/提案
省エネ照明パイロットプロジェクト、メキシコ (1991)	世界銀行 GEF 資金：770 万ユーロ 総予算：1,780 万ユーロ	DSM 電力プログラム ⁴ を実施し、住居居住者向けに大量調達した CFL（コンパクト蛍光灯）を販売した。
産業ボイラーの効率化、中国 (1996)	世界銀行 GEF 資金：2,550 万ユーロ 総予算：7,820 万ユーロ	入手しやすい価格の産業ボイラー設計を技術移転により開発、大量生産し、中国全土で販売した。
省エネ型ノンフロン冷蔵庫の商業化、中国 (1998)	UNDP GEF 資金：770 万ユーロ 総予算：3,170 万ユーロ	中国メーカーによる省エネ型冷蔵庫の設計、生産、販売を支援すると共に、教育、マーケティング、インセンティブの付与、ラベリング制度を通して需要を喚起した。
電力の効率化、タイ (1991)	世界銀行 GEF 資金：740 万ユーロ 総予算：1 億 4,700 万ユーロ	国営電力会社（EGAT）による DSM ⁵ 5 年電力プログラムを実施した。

(Birnera, S. and Martinot 2005)

³ Birnera, S. and Martinot, E., 2005, Promoting energy-efficient products: GEF experience and lessons for market transformation in developing countries, Energy Policy 33 (2005) 1765-1779 を参照のこと。

⁴ デマンドサイド・マネジメント。電力会社側と需要家側が協力して、社会・需要家にとっても電力会社にとっても望ましい需要（負荷のパターン・大きさ・品質）にしていく仕組み。

4.2 途上国における省エネ型エアコン普及に対する障壁

省エネ型エアコンの普及に対する障壁と対策について、エアコン製造能力のある国（中国）とない国（ガーナ）の2種類の国を調査した。製造能力のある国では、財政面や事業活動、経営面での障壁が、政策や情報技術における障壁よりも省エネ型エアコンの普及を妨げる要因になりがちである。（開発の遅れた国では、後者の方が大きな障壁となる。）

解決へと導く策として、現在の障壁を軽減するにあたってのCDMの役割を研究した。ここでは、CDMを「個々のプロジェクトが創出する排出枠（=CER：Certified Emission Reductions）を売ることによって資金を得るメカニズム」と捉える。こうした収益は、現在はプロジェクト出資者と実施者の手元に渡り、例えば中国では、特定の種類のプロジェクトに税金が課されている。これは、政府がCERの売り上げの一部を受け取っていることを意味する。

本レポートでは、政府がCDMの事業収益（の一部）を受け取ることは変わらないだろうと推定する。したがって、そうした収益が省エネ製品への投資に向けたインセンティブ付与に使われる、といったことも考えられる。

4.2.1 ガーナの障壁

ガーナのように、自国にエアコン製造能力のない国は、他国から製品を輸入しないとならない。このような国では、表3で挙げられた政策や情報技術面での障壁が、省エネ製品普及の阻害要因となる。

第3章ではガーナで省エネ型エアコンが普及する可能性が高いことを浮き彫りにしたが、現在に至るまで、この可能性は具現化していない。「ガーナにおける省エネ型エアコンに関するCDMプロジェクト設計計画」が指摘したところでは、政府側に機器の標準規格制度を導入する能力が欠けていることが、省エネ製品の普及を妨げる要因になっている。これは、政策立案者や様々な政府機関（税関など）の職員、輸入業者、流通業者、消費者が満足に教育を受けていないことが原因である。また、製品の省エネ性能に関する正確な情報はラベリング制度の実施に不可欠であることから、CDMプロジェクトの実施には、最新の省エネ製品をテストする十分な能力も必要不可欠である、と述べられている。ラベリング制度がないと、消費者や小売業者、税関などの政府職員に対し、省エネの有効性に関する適正な情報を届けることができない。ガーナ政府は、標準化やラベリング制度を実施する政策的メリットを承知しているものの、こうした策を実施するには財政資金が足りない。

図15は、ガーナ市場で販売されているエアコンのエネルギー効率性能と価格（USドル）の関係を示したものである。太い縦棒は、最低エネルギー効率値（EER=2.8）を示す。エアコン価格はEERの上昇に従って上がるものではないため、より省エネ性能が高い製品を購入しても、消費者は追加料金を支払う必要はない。しかし、ガーナでは最低EERよりも

低いエアコンが市場の大半を占める。これは、税関職員や一般国民に対する情報提供が依然として不十分なためである。

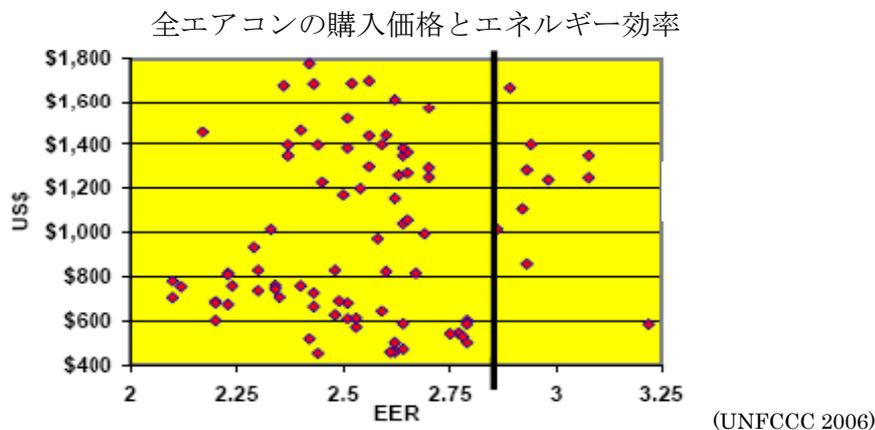


図 15 ガーナで販売されたエアコンのエネルギー効率性能と価格

4.2.2 ガーナにおける対策の可能性

ガーナでは、最低EER(2.8)の強制力を強化するために、設備の充実した試験機関の設立や税関や試験機関などの政府職員の能力開発といった策の導入が提案されている。このような省エネ製品の普及策が実現する可能性は、他の開発途上国で行われているGEFプロジェクトがもたらした効果を評価することで、予想が可能である。

1993年、タイの国営電力会社(EGAT)が包括的なDSM(デマンドサイド・マネジメント)5ヵ年計画を打ち上げた。EGATはまず新たにDSM室を立ち上げ、DSM室がエネルギー効率向上に向け様々な市場介入を考案、実施するのを支援した。DSM室の職員が訓練された後は、同室は本計画の遂行にあたり強い指導力やイニシアティブを発揮し、このことが成功に結びつく大きな要因となった⁵。この計画は、ラベリング制度が政策障壁だけでなく、恐らく技術障壁に対しても有効だったことを証明した。GEFの資金は、省エネ製品の普及に従事する政府職員の技術的な能力強化に、有効に活用された。したがって、ガーナに提案されていたCDMプロジェクト(その収益は公的介入に利用できたと推測される)は、ガーナ政府職員の能力強化、すなわち省エネ製品に関して一般国民を啓蒙する土台づくり、につながったろうと考えられる。

第2の例は、中国で省エネ家電に関する情報を普及させるにあたり、いかにGEFプロジェクトが効果的だったかを示す。このプロジェクトは、消費者が省エネ型冷蔵庫のメリットを理解できるように教育プログラムを実施し、小売業者が省エネ型冷蔵庫の在庫を確保

⁵ Birnera, S. and Martinot, E., 2005, Promoting energy-efficient products: GEF experience and lessons for market transformation in developing countries, Energy Policy 33 (2005) 1765-1779 を参照のこと。

するようにインセンティブを与え、消費者が店頭各モデルについて正確な情報に基づき比較できるように全国統一ラベリング制度を制定し、そして様々なモデルを比較することの出来る国家的基準を創設するものであった⁶。

ガーナのCDMプロジェクトでは、情報は消費者と同時に政府職員にも普及されるべきとされたが、中国の例は、まさにガーナの政策決定者、いくつもの政府機関（税関など）、輸入業者、流通業者、消費者の間に現存する情報面の障壁を緩和させるプロジェクトの有効性を示したものである。

こうした成功事例から、途上国で省エネ製品の普及プロジェクトを実施する上で、支援機関からの資金が必要不可欠な要素だとわかる。これらの資金は、途上国に現存する政策や情報面あるいは技術面での障壁を克服する財源を提供するものである。途上国で以上のような対策を実施するためには、小型だが広く普及するという家電の特徴を考慮すると、CDMの新しいプログラムのアプローチが効果的だろう。

(次号に続く)

出典：http://www.iea.org/Textbase/Papers/2007/Energy_Efficiency_Air_Conditioners.pdf

翻訳：京 希伊子

⁶ 上記注 5 参照。

【エネルギー】 エネルギー政策

「2007年エネルギー自給・安全保障法」ファクトシート（米国）

－燃費向上と石油依存低減のためのエネルギー法にブッシュ大統領が署名－

2007年12月19日、ブッシュ大統領は、自動車の燃費向上と、米国の石油依存の低減を支援する、「2007年エネルギー自給・安全保障法(the Energy Independence and Security Act of 2007)」に署名した。大統領が署名したこの法は、大統領が2007年1月に発表した強力なイニシアティブ、「Twenty in Ten¹」の目標に応じたものである。同法は、再生可能燃料の生産を拡大し、米国の石油依存を減らし、世界の気候変動に取り組む上で、大きな前進を示している。同法によって米国のエネルギー安全保障は高まり、再生可能燃料の生産は拡大し、次世代には米国をより強力で安全かつクリーンな国にするだろう。

「2007年エネルギー自給・安全保障法」は、以下に挙げる事柄により、米国の石油依存低減に貢献する：

1. 2022年時点で燃料生産者が少なくとも360億ガロンのバイオ燃料²を使用することを求めた、義務的な再生可能燃料基準(RFS: Renewable Fuel Standard)を策定することによって、代替の燃料源の供給を増加させる。大統領は一般教書演説の中でより高いレベルの代替燃料基準を提案したが³、今回大統領が署名した同法のRFSは、現行のほぼ5倍⁴のレベルとなっている。
2. 2020年までに1ガロン当たり35マイル(14.9km/l)という国の燃費基準を策定することにより、米国の石油需要を減らす—これは、燃費基準を40%高め、何十億ガロンもの燃料節約となる。2007年1月大統領は、1975年に制定された自動車燃費の基準を、初めて法令で引き上げることを要求した。今回大統領が署名した同法はこの要求に応えるものである。さらに同法では、大統領がこれまで要求してきた、運輸省が「車両属性別の基準」を示すことを可能とする、重要な改正も含まれている。これにより、自動車の安全を犠牲にせずに燃費の向上が保証される。

同法は、21世紀の包括的エネルギー戦略に着手した「2005年エネルギー政策法(the Energy Policy Act of 2005)」でなされた進展を土台として、再生可能燃料と企業平均燃料節約(CAFE: Corporate Average Fuel Economy)基準に取り組む。2005年8月に大統領が

¹ 今後10年間でガソリン消費量を20%削減するというもの。

² さらにこのうち210億ガロンはセルロース系エタノールなど先進的なバイオ燃料であることが求められている。

³ 大統領の「Twenty in Ten」イニシアティブでは2017年に年間350億ガロンという目標であった。

⁴ 2005年エネルギー政策法に基づく2007年基準では2012年に75億ガロンという目標になっている。

署名したエネルギー政策法は、この10数年間で初めて制定された大規模なエネルギー安全保障法であった。この法は、住宅のエネルギー効率向上、電気製品と市販製品のエネルギー効率の増加、連邦政府のエネルギー使用量削減、国内のエネルギーインフラの近代化、再生可能エネルギー源による米国のエネルギー供給の多様化、および、エネルギー効率の良い新世代車両への支援によって、省エネとエネルギー効率の向上を後押ししている。

同法によって大統領の現行の取組みが拡大され、省エネとエネルギー効率が強化されるだろう

同法には、温室効果ガス排出量を低減させるのに役立つ連邦政府関係機関のエネルギー効率と再生可能エネルギー利用についての要件が含まれており、さらに、照明及び電気機器のエネルギー効率向上についての規定も盛り込まれている。以下はその一例である：

- ・ 同法は、2013年度末までに、連邦政府の建物の全ての汎用照明に、エネルギー・スター®に準拠した製品⁵、もしくはエネルギー省の連邦エネルギー管理プログラム(FEMP)下で指定された製品を使用することを求める。
- ・ 同法により、国民の家計とエネルギーの節約になる新しい電気製品の効率基準を策定するため、「エネルギー政策及び省エネ法(EPCA: the Energy Policy and Conservation Act)」が改定される。同法ではEPCAの修正が行われ、以下の項目に関わる基準が規定/改定されている：(1)地域冷暖房の効率、(2)新しい/改正された基準の実施方法、(3)省エネ、(4)家電品へのエネルギー効率ラベルの貼付、(5)住宅のボイラー効率、(6)電子モーターの効率、(7)家庭用電気製品。
- ・ 同法により、米国一般調達局(GSA: General Services Administration)の中に高性能グリーンビルディング部局(OHPGB: Office of High-Performance Green Buildings)が設置される。同部局は、連邦政府の建物におけるグリーンビルディング技術の採用を促進する。

同法は、大統領の「Twenty in ten」ビジョンに応えるものであり、米国の歴史上、最もCO₂排出削減効果の高い法となるだろう

総じて、これらの施策全てを実施することにより、予想されるCO₂排出削減量は何十億トンにもなる可能性がある。

⁵ 環境保護庁(EPA)の定める一定のエネルギー効率基準を満たした製品にはエネルギー・スターのロゴを表示することが出来る。

- ・ 同法による成果は、2007年12月にインドネシアのバリ島で開催された国連気候変動枠組条約の締約国会議において米国が約束した、定量化可能なCO₂排出量削減の追求を推進するのに役立つ。

大統領は議会に対して、エネルギー安全保障の課題の中で、残る提案の決議を要求

私達は、よりクリーンな石炭技術、太陽及び風力エネルギー、クリーンで安全な原子力の利用をさらに拡大することによって、米国の発電方式を変化させ続けていかなければならない。

私達は、賢明で環境に配慮した方法で石油の国内供給を増やさなければならない。大統領は再び議会に対して、連邦管轄大陸棚(OCS: Outer Continental Shelf)や北極圏野生生物保護区(ANWR: Arctic National Wildlife Refuge)など、国内のエネルギー資源へのアクセスを開く法案を通過させるよう求めた。さらに大統領は、石油供給の混乱から米国を守るために、現行の戦略石油備蓄(SPR: Strategic Petroleum Reserve)を積み増しし倍増することも議会に要求した。

翻訳：大釜 みどり

出典：<http://www.whitehouse.gov/news/releases/2007/12/print/20071219-1.html>

【エネルギー】再生可能エネルギー

動き始めた英国エネルギー技術機構

ー洋上風力、海洋・波力・潮力エネルギーの2分野のプログラム公募開始ー

英国の産官共同によるエネルギー技術機構が活動を開始した。2007年9月にジョン・デナム・イノベーション担当大臣がエネルギー技術機構の本部を英国ミッドランドのラフバラに置くことを公表し、併せて、初代の長官として、サリー大学を卒業し、20年以上にわたりロールス・ロイス社にて技術戦略チームを率いてきたデイヴィッド・クラーク博士を指名した。2007年12月17日には、エネルギー技術機構として初めてのプログラムを披露した。

英国エネルギー技術機構は、2006年度予算編成において、当時のブラウン財務大臣（現首相）が10年間で5億5千万ポンドを計上することを表明した。民間からも政府と同額の資金提供を得ることとしており、前年同期には、民間企業からの参加は、BP社、EDF エナジー社、エーオン社、シェル社の4社だったが、その後、キャタピラー社、ロールス・ロイス社が加わった。エネルギー技術機構は、参加を表明した6つの企業を含む最大11社とイノベーション・大学・技能省による有限責任事業組合(Limited Liability Partnership)を構成する。

今後10年間にわたり、年間1億1千万ポンド、総計11億ポンドの資金が官民折半により提供される。それぞれのプログラムは、大学、研究機関、企業その他の団体により構成されるコンソーシアムにより運営される。2007年12月17日には、エネルギー技術機構の最初の活動として、**第一に洋上風力、第二に海洋、波力及び潮力エネルギーの2分野のプログラム**を公募開始した。

エネルギー技術機構によるプログラムの特徴は、単なる技術的な研究開発の段階にとどまらず、技能、標準、法令、経済モデル、市場の発展と理解といった、研究開発された技術の普及を加速する内容も含まれる。英国政府イノベーション・大学・技能省のリッジ博士(Dr Martin I Ridge, DIUS Project Director Energy Technologies Institute)によると、過去の欧州委員会によるエネルギー技術開発が市場からのアプローチを欠いたため、プロジェクトの成果が研究開発の段階から市場に普及しなかったという観察に基づく設計である、とのことである。今回、最初のプログラムの募集に当たり、特定の技術分野のみに戦略的パートナーとして参画できるプログラム・アソシエイツという新たな参加資格を設けたことも特色である。

エネルギー技術機構は、プロジェクトの実施に当たり、工学物理科学研究会議(EPSC)、技術戦略会議(Technology Strategy Board)、カーボントラスト(Carbon Trust) :

www.carbontrust.co.uk) その他の組織と補完的な役割を果たす。エネルギー技術機構は、工学物理科学研究会議、技術戦略会議に対し、資金を提供する立場にあり、既に両組織の理事会に代表者を送り込んでいる。また、機構は、研究開発に関する知的財産権を保有し、新技術の市場普及を加速する。他方、個々のプロジェクトの管理運営、市場普及のための方策は、プログラムや技術分野に応じて柔軟に設計することとしている。

今後の体制について、リッジ博士によると、既にエネルギー技術機構に参加している 6 社は、エネルギー分野の上流、発電事業、製造にそれぞれ 2 社ずつであることから、さらに下流の市場関係、技能関係企業の参加が得られるよう活動しているとのことである。また、ラフバラの本部の体制は、現在の 12 名から、25~30 名になるよう役職員を募集しているとのことである。プログラムについても、将来はさらに 4~5 のプログラムを追加し、合計で 6~7 のプログラムとのことである。

既にエネルギー技術機構に有限事業責任組合の組合員として参加する企業の国籍は、フランス、ドイツ、オランダ、米国といった英国以外の国にもまたがっており、組合員、プログラムのコンソーシアム構成員、アソシエイツとして、英国国外からも参加を期待している。リッジ博士によると、エネルギー技術機構のプロジェクトには含まれないものの、二酸化炭素固定化貯蔵やクリーン化石燃料の分野における英国と中国、インドとの共同研究の枠組みも存在することから、エネルギー技術機構のプログラムに対する日本企業の参加を大いに期待している、とのことであった。

<参考>

- 英国エネルギー技術機構ウェブサイト
<http://www.energytechnologies.co.uk/>
- 英国政府イノベーション・大学・技能省ウェブサイト
<http://www.dius.gov.uk/press/20-09-07a.html>
- 英国政府ビジネス・企業・規制改革省ウェブサイト
<http://www.dti.gov.uk/science/science-funding/eti/index.html>
- ラフバラ大学ウェブサイト
http://www.lboro.ac.uk/service/publicity/news-releases/2007/120_eti.html

【産業技術】 ライフサイエンス

米国立衛生研究所(NIH)がヒト微生物群ゲノム解析プロジェクトを開始 —ゲノム¹解析技術を利用し、体内微生物群が健康や疾患に果たす役割を探求—

人体には数兆個の微生物が生息しており、通常はヒトの細胞と共生している。微生物は非常にサイズが小さいため、それらの微生物全体でヒトの体重の1から2%を占めるに過ぎない。多くの微生物はヒトの健康の維持に役立ち、一部の微生物は疾患を引き起こすことは知られている。しかし、多数の細菌や菌類などの微生物が含まれているこの一団が、ヒトの健康や疾患に対して果たす役割については意外にもほとんど知られていない。これらの相互作用をより深く理解するために、米国の国立衛生研究所(NIH)²はヒトマイクロバイオム(Human Microbiome: ヒト微生物群ゲノム)・プロジェクトを開始することを昨年12月に公式に発表した。ヒトマイクロバイオムは皮膚上を含む人体に生息している全ての微生物の集団的なゲノムのことである。

NIHのZerhouni所長は本プロジェクトに対し次のように述べている。「ヒトマイクロバイオムの殆どは未解明である。微生物が人体とどのように相互作用して、健康や疾患に影響を及しているのかを理解することは非常に重要である。このプロジェクトは、我々が人の健康を理解する方法や、幅広い範囲の疾患の予防・診断・治療の方法を転換させる可能性を秘めている。」

ヒトマイクロバイオム・プロジェクトは、「医学研究のためのNIHのロードマップ³」の一環として取り生まれ、今後5年間で研究者達に対し総額1億1,500万ドルが授与される。最初に、研究者達は600の微生物ゲノムの塩基配列を解析（「シーケンシング」と呼ばれる）する。全体で約1,000の微生物ゲノムの収集を終了させ、ヒト微生物群の探求に興味を持つ研究者達に、研究資源（リソース）として供給される。これ以外の微生物ゲノムは、NIH傘下の個々研究所や国際的に資金提供されプロジェクトによって提供される。国際的なコンソーシアム（共同研究事業体）を作ることを議論するために、国際的なパートナー間での会合が最近開催された。

¹ **ゲノム**： 全遺伝情報。染色体上の遺伝子が持つ情報。

² **国立衛生研究所(NIH)**： National Institutes of Health。医学分野の研究を行う米国の政府機関。NIHは一つの研究所ではなく、後述するNHGRIやNIAIDやNIDCRなどそれぞれの個別のミッションを持った27の研究所・センターの集合体である。各研究所・センターでは自ら研究を行っている（内部活動）が、NIHの研究費の8割以上は、各研究所・センターを通じて外部の大学や医療機関などの研究機関に助成金等として授与（外部活動）されている。

³ 「医学研究のためのNIHのロードマップ」およびNIHの概要については前号の下記の記事を参照。
「『「医学研究のためのNIHロードマップ』の最新状況(米国)—概要、研究予算、取組内容など—」

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1014/1014-02.pdf>

研究者達は、健康なボランティア達から提供されるサンプル中の微生物群の特性を明らかにするために、新しい総合的な実験技術—実験室では成長できない微生物群であることを考慮に入れた実験技術—を使用するであろう。サンプルはヒト微生物群の生息場所として知られている人体の5カ所の部位から収集される。すなわち、1)胃や腸などの消化管、2)口、3)皮膚、4)鼻、5)女性の尿生殖路である。それに引き続き、特定の患者であるボランティア達から提供されるサンプル中の微生物群を解析する実証プロジェクトに対し資金提供が行われる。これにより、研究者達は特定の疾患と、特定の身体部位に存在するマイクロバイオームの変化との関連性を調べることができる。

NIH ロードマップを監督する NIH のポートフォリオ分析・戦略的イニシアティブ部(OPASI)⁴ の Krensky 部長は次のように述べている。「人体にはヒトの細胞数以上の微生物の細胞が存在していることを我々は既に知っている。このプロジェクトは、健康と疾患に関する微生物とヒトとの関係について、我々のこれまでの理解を大きく変える機会を提供する。」

「マイクロバイオーム(microbiome)」という言葉は生物医学研究では比較的新しい言葉かもしれないが、多くの人達は、微生物が我々の健康に—良かれ悪しかれ—何らかの影響を及ぼしていることを知っている。ヒトの最大の微生物貯蔵庫—消化管—を例にとって考えてみる。ヒトの腸内には、多くの有益な微生物—プロバイオティクス（体によい働きをする細菌）と呼ばれる特定の細菌を含む—が存在している。これらのプロバイオティクスが、免疫システムを刺激したり、消化機能を改善したりしていることの証拠は既に得られている。プロバイオティクスは、様々な豆製品に加え、ダイエット用サプリメント、ヨーグルトや他の乳製品中に見いだせる。その一方、これまでの研究では、微生物群の構成の変化が、糖尿病、ぜんそく、肥満性や消化器系疾患などの慢性的な健康条件に影響を及ぼしている可能性が示唆されている。

伝統的に、微生物学では分離した一群（ユニット）としての個々の種の研究に焦点を当ててきた。このことが、人体の全ての微生物の解明や目録（インベントリ）作りを困難にしてきた。微生物の成長は、その微生物が本来生息している特定の自然環境条件に左右されるため、実験室では「微生物—宿主間」の相互作用を再現することが困難である。ここでは、メタゲノミック・シーケンシングと呼ばれるプロセスに基づく次世代 DNA シーケンシング技術が用いられる。分離された個別の微生物ではなく、収集されたサンプル中に含まれる微生物群の全ての DNA の塩基配列の解析（シーケンシング）が行われる。

NIH は最近、本プロジェクトの枠組みとデータ資源の構築を始めるため、4カ所のシーケンシング・センターに 820 万ドルを授与した。ベイラー医科大学のシーケンシング・

⁴ NIH ポートフォリオ分析・戦略的イニシアティブ部： the Office of Portfolio Analysis and Strategic Initiatives (OPASI)。NIH 傘下の研究所・センターに属さず、NIH 所長室直属の部局の一つ。

センター（ヒューストン）とワシントン医科大学（セントルイス）に1年間の資金が与えられた。両者は国立ヒトゲノム研究所(NHGRI)の大規模シーケンシング・リサーチネットワークの一部である。そして、MIT／ハーバード大学のブロード研究所（マサチューセッツ州ケンブリッジ）とJクライブベンチャー研究所（マサチューセッツ州ロックビル）には、国立アレルギー感染症研究所(NIAID)の微生物ゲノムシーケンシングセンター・プログラムを通じて資金提供された。

この最初の取組の目的は、1,000の微生物ゲノムコレクションの一部として、人体から分離されている200の微生物のゲノムの塩基配列の解析を行うことである。研究者達は、さらに5カ所の人体部位からのサンプルを提供してもらうため、健康なボランティア達の募集を始める。NHGRIとNIAIDに加え国立歯科頭顔研究所(NIDCR)がプロジェクトのこの最初のフェーズを主導している。

（翻訳・編集：NEDO 情報・システム部）

（出典）

<http://www.nih.gov/news/pr/dec2007/od-19.htm>

（参考）

・ヒトマイクロバイオーム・プロジェクトのwebサイト

<http://nihroadmap.nih.gov/hmp/>.

【産業技術】 情報技術(IT)

32 ナノ・フォトリソグラフィ工程のナノスケール詳細(米国)

米国立標準技術研究所(NIST)の科学者は、高度な半導体素子製造で使用されるポリマー薄膜の極僅かの量の膨張と崩壊に関する初めての直接測定を行った。膨張は僅か数ナノメートルの問題であるが、次世代チップ製造の性能に影響するには十分な大きさである。新しい論文に詳述されているように*、NISTの測定は、強力な新しい集積回路の大量生産を可能にする錯体化学に対する新しい洞察力を提供する。

メモリやプロセッサ・チップの重要な最も小さな機構には、トランジスタの「ゲート」が含まれている。今日の最も高度なチップでは、ゲート長は約 45 ナノメートルであり、また、産業界では 32 ナノメートルのゲートを目指している。現代のマイクロプロセッサに、ほぼ 10 億個のトランジスタを構築するために、メーカーは最先端印刷技術のナノスケール版であるフォトリソグラフィを使用している。

半導体ウェハは、ポリマーベースの調合物であるフォトレジスト薄膜で覆われ、マスクと短波長の光(193nm)を使用して、希望のパターンを露光する。光はフォトレジストの露光した部分の可溶性を変化させ、その後のプロセスに使用されるパターンを残して、フォトレジストを洗い流すために現像液が使用される。

フォトレジストの露光されたところとされないところの間の界面で起きたことが、まさに 32 ナノメートルのプロセス設計の重要な問題になった。フォトレジストのほとんどの露光面はわずかに膨張し、現像液で洗われた時に溶けて消滅する。

しかしながら、この膨張は、油と水のようにポリマー調合物の分離を誘起し、パターン・エッジの露光されていないレジスト部分を変化させ、エッジを粗くしている。32 ナノメートル特徴に対しては、メーカーは、この粗さをせいぜい約 2~3 ナノメートルに保ちたいと望んでいる。

このプロセスの産業界モデルは、フォトレジストの露光された潜像のエッジ粗さが現像パターンに直接移される、というかなり単純な関係を仮定している。しかし、NISTの測定は、はるかにより複雑なプロセスを明らかにした。

化学反応において重水素基盤の重水に置き換えることによって、NISTのチームは、中性子を使用して全プロセスをナノメートルスケールで観察することを可能にした。露光面のエッジでは、露光されていないレジストへ現像液が数ナノメートル浸透することを可能とするように、フォトレジスト成分が相互作用していることを彼等は発見した。

この界面領域は膨らみ、水洗プロセスの間に引続き膨張し、表面を乾かす時に、崩壊する。膨張の大きさは、レジスト分子より著しく大きく、また、このエッジ効果が、必要とするエッジ分解能を達成するフォトレジストの能力を制限していた。プラスの面では、彼等の測定は膨張を最適水準へ制御するために、どのようにレジスト化学を修正することができるかに関する新しい洞察力を与えてくれている、と研究者は語っている。

SEMATEC によって資金提供されたこの研究は、次世代フォトレジストの必要性を満たすために、フォトレジストの錯体化学をよりよく理解する NIST と産業界の取り組みの一部である。

* V.M. Prabhu, B.D. Vogt, S. Kang , A. Rao , E.K. Lin and S.K. Satija.,
Direct measurement of the spatial extent of the in situ developed latent image by neutron reflectivity. Journal of Vacuum Science and Technology B, 25(6), 2514-2520 (2007).

(出典 : http://www.nist.gov/public_affairs/techbeat/tb2007_1212.htm#photolith)

【産業技術】 情報技術(IT)

ゼロ熱膨張を示すハイブリッド半導体(米国)

ーより丈夫なエレクトロニクスやオプトエレクトロニクスへ向けてー

コンピュータ内部のファンは、マイクロプロセッサ・チップの部品材料が膨張し始め、電流を切断してしまうクラックを引起して、チップを破壊するような温度にまで加熱されないよう冷却するためにある。熱膨張は、さらに基板から半導体材料を離脱させたり、あるいは材料の電子的構造の変化によって性能を低下させたり、またレーザー光線を放射する微妙な構造を歪ませたりする。

米国エネルギー省再生可能エネルギー研究所(NREL)とアルゴンヌ国立研究所および学術機関の研究者により最近発表された研究は、**ゼロ熱膨張(ZTE)**の半導体材料を明らかにしている。この研究は、広範囲の温度に耐えることができる将来の世代のエレクトロニクスおよびオプトエレクトロニクス設計に大きな役割を果たすであろう。

ZTE 材料の従来への関心は、大部分が光学、ヒート・エンジン部品および台所用具のような領域にあった。エレクトロニクスとオプトエレクトロニクスのような非従来の領域の応用を持った ZTE 材料はまれであり、その大部分はガラスから出来ており、電子応用にはうまく動作しなかった。この研究で調べられたハイブリッド無機-有機半導体は、以前に優れた電子・光学的性質を持つと示された多機能半導体である。この研究はさらに、目標の任意の正又は負の熱膨張を持った材料設計という新しい道を示唆している。

「これは無機材料と有機材料を融合したものであり、完全な可干渉性を持った 3 次元配列結晶を形成している。通常、無機材料と有機材料は一緒にはあまりうまく動作しないが、ここでは一緒に働いて、ゼロ熱膨張の注目すべき特性を示している」とアルゴンヌ国立研究所 X 線科学部の物理学者ザヒール・イスラムは述べる。現在研究中の材料は、これらの効果を生ずるためにともに働く有機と無機の交互に重なった層で形成されている。一方が膨張する時に他方が収縮し、ネット効果で熱膨張がゼロとなる。

「この研究は、秩序だった方法でナノスケールユニットを組立てることにより、ナノスケールでゼロを含んで正から負まで、熱膨張を設計する斬新なアプローチを示唆している。このアイデアは、1 次元の熱膨張の調整で実証されており、また、1 つあるいは 2 つの材料に制限して行われた。次の段階で、我々は、このアイデアをより高い次元へ拡張し(すなわち 1 次元以上の ZTE)、より多くの無機-有機の組み合わせを研究する予定である」と NREL 主任研究者のヤング・チャンは語る。

これらのハイブリッド材料は、高効率半導体レーザー、極薄膜で柔軟な太陽電池および

光を放射し検知する装置に可能性を持っている。また、透明導電材料を形成するために、材料に他の化合物を少量加えるドーピングも可能である、とチャンは加える。

ほとんどのハイブリッド材料において化学的・熱的安定性が2つの大きな問題であるが、この研究で調べられたハイブリッド・ナノ構造は、大気中での紫外レーザー光の照射下でさえ、例外的に安定であることが発見されている。「結晶構造が変わらないだけでなく、その電子的・光学的性質は、数年間の大気中暴露の後や、200℃以上への加熱でさえも変化していない。これは構造全体にわたる強い共有結合形成に起因する特徴である」とチャンは語る。

(出典 : http://www.anl.gov/Media_Center/News/2007/news071219.html)

【ニュースフラッシュ】

米国－今週の動き

NEDO ワシントン事務所

I 科学技術

全米科学財団、ナノテクノロジーの環境影響研究センター新設で提案を募集

全米科学財団(NSF)は1月6日、ナノ材料が環境に及ぼしうる影響を研究する国立センター創設公募で、プロジェクト提案を3月17日まで受け付けると発表した。

ナノテクノロジー環境影響研究センターと呼ばれる新センターは、①生物、細胞構成要素、代謝経路網や生体組織とナノ材料との相互作用の理解、②ナノ材料の環境被曝、生態蓄積及び生物系への影響理解、③環境に分散されたナノ材料の生物学的インパクトの判定、④ナノ材料の検出等の方法及び研究機器の開発を主要ミッションとし、生物学、化学、物理学、数学、社会学、行動学を含む学際的アプローチを取ること。

(Nanoweek News, January 6, 2008)

II エネルギー・環境

Hamilton Sundstrand 社、太陽熱を蓄える溶融塩貯蔵技術の市場化を目指す新ベンチャー事業に着手

Hamilton Sundstrand 社が1月2日、集光型太陽発電で生じたエネルギーを蓄える溶融塩貯蔵技術(molten salt storage technology)を市場化するために新ベンチャー事業を立ち上げると発表した。これは太陽光による集熱器で溶融塩を高温に加熱し、その熱でタービンを回して発電するという構造で使用される蓄熱技術であり、2010年後半までに実用化される可能性があるという。

(Greenwire, January 3, 2008)

スミソニアン熱帯研究所の研究論文、バイオ燃料は化石燃料よりも環境に悪いと報告

スミソニアン熱帯研究所(Smithsonian Tropical Research Institute)の研究者が発表した「バイオ燃料は本当にグリーンか?」という研究論文によると、殆どのバイオ燃料は化石燃料よりも深刻な影響を環境にもたらすという。この論文は、二酸化炭素排出量、窒素肥料使用の影響、天然林伐採で生じる二酸化炭素排出等の要素を検討したもの。同研究所の研究者は、政府は補助金や税制優遇で支援するバイオ燃料用作物の選択をより厳格に行うべきであると結論づけている。

(Greenwire, January 7, 2008)

2007年エネルギー法の水資源条項、セルロース系への移行を加速する可能性

先月成立したエネルギー法には、水質の影響を理由に特定燃料の使用を禁止または制限できる権限を環境保護庁に付与する条項が含まれているが、これはトウモロコシ原料エタノールから、水資源への負担の少ないセルロース系エタノールやその他の先進燃料へと移行することを加速する可能性がある。観測筋によると、この文言が法令に盛り込まれたのは、現在数州で使用禁止となっているガソリン添加剤のMTBEが引き起こした水質汚染に関する過去の大論争が原因であるという。

バイオ燃料業界では、トウモロコシ原料のエタノール生産を更に拡大し続けると、水の供給や汚染及び土壌への問題をもたらし、それが業界のサステナビリティの妨げになり得るという認識が深まっている。

(Inside EPA, January 11, 2008)

海洋科学者グループ、地球温暖化対策として海に鉄をまくという海洋肥よく策の危険性を警告

海洋科学者グループが、地球温暖化対策として世界の海に鉄をまくのは予期せぬ結果を招く危険があり、炭素オフセット販売の手段として使用されるべきではないと警告している。このアイデアは、海に鉄をまくことで二酸化炭素を食べるプランクトンの繁殖を刺激し、それが大気中の温室効果ガス削減に繋がるというシンプルなもの、現在までに2社がこの手法を活用したオフセットクレジットの販売計画を発表している。

(Greenwire, January 11, 2008)

III 政府・議会等

America COMPETES 法成立後の2008年度予算の実態

研究予算の長期低迷による国内物理科学部門の悲惨な状況についての訴え、米国競争力の危機への警鐘となる多くの報告書、物理科学研究の連邦予算倍増を目的とする America COMPETES 法成立といった多くのステップを経た上で、大幅な予算増額が期待された物理科学研究であるが、2007年12月17日の州に米国議会で可決された「2008年度総合歳出予算法案」に盛り込まれた物理科学予算は、大きな侮辱としかいえない金額となっている。2008年度総合歳出予算法に盛り込まれた科学研究費増額の殆ど全て

が、科学とは何の関係もない選挙区向け人気取り事業となっている。政治家の間では、研究開発は政府予算の優先事項では最下位のようなのだ。

(Manufacturing & Technology News, December 21, 2007)

エネルギー情報局、「2008年度エネルギー見通し」を改訂中

エネルギー情報局(Energy Information Administration=EIA)では、2030年までの米国エネルギー需給を予測する「2008年エネルギーアウトルック」の早期リリース版を先月発表したばかりだが、2007年12月19日に「エネルギー自立及びエネルギー安全保障法」が成立したことを受け、この新法令が将来のエネルギー消費に及ぼす影響を反映させるよう、2008年エネルギーアウトルックの内容を改訂する予定であるという。今回のエネルギー法では米国のエネルギー生産・消費に大きな影響を及ぼす条項が多々あるが、自動車燃費基準、バイオ燃料使用の大幅拡大、電化製品等の省エネ基準が、特にエネルギー見通しに大きな影響を及ぼすとのことである。

(EIA News Release, January 3, 2008)