

平成 16 年度
燃料電池自動車に関する調査報告書
「海外編」

平成 17 年 3 月

財団法人 日本自動車研究所

はじめに

地球環境の保全は人類共通の課題であり、一方、エネルギーの安定確保、都市環境の改善は、わが国としても大きな課題となっている。

2005年2月16日に京都議定書が正式に発効し、日本の温室効果ガス排出量の1990年比6%削減が国際公約となった。しかしその一方で、2000年度時点でのわが国の温室効果ガスの排出量は1990年よりも約7%増加している。とくに運輸部門からの排出量は23%の増加となり(1999年実績)、産業・民生部門の増加率を上回っている。わが国は京都議定書の目標値を達成するためにも、クリーンエネルギー自動車の開発・普及を積極的に進めていかななくてはならない状況にある。

現在開発が進められているクリーンエネルギー自動車の中でも、燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicles:FCV)は、その低燃費性と低公害性によって「次世代自動車の本命」と位置づけられている。米国カリフォルニア州では2000年11月からカリフォルニア燃料電池パートナーシップ(CaFCP)により燃料電池自動車の実証走行試験が実施されており、日本においても経済産業省の「固体高分子形燃料電池システム等実証研究」補助事業として「燃料電池自動車実証研究」及び「燃料電池自動車用水素供給設備実証研究」(水素・燃料電池実証プロジェクト:JHFCプロジェクト)が2002年度からスタートした。2002年12月にはトヨタ自動車と本田技研工業が、限定された台数ではあるが世界で初めて官庁への燃料電池自動車のリース販売を開始した。なお欧州でも、「CUTEプロジェクト」などの大規模な実証試験が2003年春から開始されている。

燃料電池自動車の開発・普及を進めるためには、個々の要素技術について開発を推進すると同時に、燃料電池(自動車)の開発動向やそのインフラ整備状況を広く把握することが求められている。

このような目的において財団法人自動車研究所では、経済産業省の主導のもと、2004年度は欧米における燃料電池自動車の技術開発動向調査を実施した。具体的には、イタリア、ベルギー、英国、米国の主な燃料電池メーカー、燃料電池関連メーカー、燃料供給会社、政府機関等を訪問するとともに、米国のサンアントニオで開催されたFuel Cell Seminar 2004にも出席して、燃料電池(自動車)の開発動向及び燃料電池(自動車)開発のための施策につき調査を行った。本書はその調査結果を取りまとめたものである。

本報告書が、わが国の燃料電池自動車の開発・普及の一助になれば幸いである。

平成17年3月
財団法人 日本自動車研究所

目次

1.	Nuvera Fuel Cells	1
2.	欧州委員会(EC)	10
3.	BP	38
4.	DOE.....	51
5.	DuPont.....	66
6.	Ford.....	77
7.	Oak Ridge National Laboratory.....	87
8.	ChevronTexaco Technology Ventures	108
9.	Los Alamos National Laboratory (LANL)	123
10.	ビル・リチャードソン ニューメキシコ州知事オフィス.....	149
11.	2004 Fuel Cell Seminar	153
12.	まとめ	175

調査の日程

日付	調査先・移動	宿泊地
10月24日(日)	移動：日本 → ミラノ	ミラノ
10月25日(月)	Nuvera Fuel Cells 移動：ミラノ → ブリュッセル 欧州委員会 (European Commission) 移動：ブリュッセル → ロンドン	ロンドン
10月26日(火)	BP 移動：ロンドン → ワシントン DC	ワシントン DC
10月27日(水)	米国エネルギー省 (Department of Energy) 移動：ワシントン DC → フィラデルフィア	フィラデルフィア
10月28日(木)	DuPont 移動：フィラデルフィア → デトロイト	デトロイト
10月29日(金)	Ford	デトロイト
10月30日(土)	打ち合わせ	デトロイト
10月31日(日)	移動：デトロイト → ノックスビル	ノックスビル
11月1日(月)	Oak Ridge National Laboratory 移動：ノックスビル → ヒューストン	ヒューストン
11月2日(火)	ChevronTexaco Technology Ventures 移動：ヒューストン → サンアントニオ	サンアントニオ
11月3日(水)	Fuel Cell Seminar	サンアントニオ
11月4日(木)	Fuel Cell Seminar 移動：サンアントニオ → アルバカーキー	アルバカーキー
11月5日(金)	Los Alamos National Laboratory リチャードソン ニューメキシコ州知事との会見	アルバカーキー
11月6日(土)	移動：アルバカーキー	機内泊
11月7日(日)	→ 成田	

訪問調査先の概要

訪問先	訪問先の概要と調査項目
Nuvera Fuel Cells	改質技術を有する Epyx と、電極・FC スタックメーカーである De Nora Fuel Cells が 2000 年 4 月に合併してできた会社。傘下に E-Tek を有する。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料電池、特に金属セパレータの開発の現状 ・ 欧州の燃料電池プロジェクトへの参画の現状
欧州委員会 (EC)	第 6 次フレームワーク・プログラム (FP6) において、燃料電池バスのフリートプログラム (CUTE プロジェクト) や燃料電池自動車のデモンストレーション (Zero-Regio プロジェクト) を実施している。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 第 6 次フレームワーク・プログラム (FP6) の現状 ・ 欧州連合の燃料電池関連のデモンストレーションの現状 ・ 国際的な連携への対応
BP	英蘭系石油メジャー。再生可能エネルギーや水素エネルギーの展開に積極的に取り組んでいる。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 水素エネルギー・燃料電池に対する見方 ・ 水素製造及び水素ステーション実証試験への取組み ・ FCV デモンストレーション参画の現状
米国エネルギー省 (DOE)	ブッシュ政権の水素燃料イニシアティブを受け、FreedomCAR プログラム、Hydrogen Fuel Initiatives プログラムを実施し、FCV の開発を支援している。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ FreedomCAR & Fuel プログラムの現状と今後の見通し ・ 水素製造に関するプログラムとコストの見通し ・ DOE の FCV フリートプログラムの現状
DuPont	PEMFC 用膜のリーディングカンパニー。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ DuPont の開発製品とその開発現状 ・ 顧客との関係・共同開発の状況
Ford	Focus などの FCV を開発している。Ballard、DaimlerChrysler と Fuel Cell Alliance を組む。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ FCV 開発体制 ・ クリーンエネルギー自動車の開発の現状 ・ FCV に関わる技術的課題と見通し
Oak Ridge National Lab.	DOE 傘下の国立研究所。耐腐食性の金属セパレータを研究中。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ DOE プログラム下における、バイポーラプレートなど FC コンポーネントの研究開発状況
ChevronTexaco (ChevronTexaco Technology Ventures)	世界第 5 位の石油メジャー。燃料電池には慎重な立場と言われている。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 水素エネルギー・燃料電池に対する考え方 ・ FCV デモンストレーション参画の現状 ・ 水素製造・改質技術の研究の現状
Los Alamos National Lab	DOE 傘下の国立研究所。新規のメンブレンや DMFC の研究を進めている。 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ DOE プログラム下における、バイポーラプレートなど FC コンポーネントの研究開発状況 ・ HyTeP などの共同研究のフレームワークとその現状
Fuel Cell Seminar	燃料電池関連では、世界最大級の展示会・シンポジウム 【調査項目】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料電池に関する最新動向の把握

調査参加者

氏名	会社・団体名
石谷 久 [団長]	慶応義塾大学 大学院 政策・メディア研究科 教授
鈴木 弘	トヨタ自動車株式会社 FC 生技部 燃料電池室 特命グループ
高橋 靖	トヨタ自動車株式会社 FC 開発部 41 グループ
割石 義典	株式会社 本田技術研究所 栃木研究所 第 91 研究室
倉持 竹晴	日産自動車株式会社 パワートレイン技術開発試作部 商品開発グループ
峰尾 徳一	日産自動車株式会社 総合研究所 第二技術研究所
小椋 文昭	田中貴金属工業株式会社 マーケティング部 開発営業セクション チーフマネジャー
丸田 昭輝	株式会社テクノバ 調査・開発研究部 主査
丹下 昭二	(財) 日本自動車研究所 FC・EV センター 技術参与
岩井 信夫	(財) 日本自動車研究所 FC・EV センター 主席研究員

Nuvera Fuel Cells、EC のみの参加者

伊藤 雅彦	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 政策課 燃料電池推進室 研究開発係長
-------	---

Los Alamos National Laboratory のみの参加者

安藤 晴彦	経済産業省 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部 政策課 燃料電池推進室 室長
進藤 秀夫	新エネルギー総合開発機構 ワシントン事務所所長
池谷 智彦	新エネルギー総合開発機構 燃料電池・水素技術開発部主任研究員
多田 智之	田中貴金属工業株式会社 技術開発部門 プロジェクトリーダー
福井 茂雄	株式会社栗本鐵工所 燃料電池部 マネージャー



Ford にて撮影



Los Alamos National Laboratory にて撮影

本報告書の表記

本報告書では以下の略語を使用する。

- APU = Auxiliary Power Unit (補助電源装置)
DMFC = Direct Methanol Fuel Cell (ダイレクトメタノール形燃料電池)
FCV = Fuel Cell Vehicle (燃料電池自動車)
GDL = Gas Diffusion Layer (ガス拡散層)
ICE = Internal Combustion Engine (内燃機関エンジン自動車)
MEA = Membrane Electrode Assemblies (膜電極接合体)
PEFC = Proton Exchange Membrane Fuel Cell (固体高分子型燃料電池)
PEM = Proton Exchange Membrane (固体高分子型燃料電池)
注：特に断りがないかぎり、PEMは「プロトン交換膜」ではなく、「固体高分子形燃料電池」を指すものとする。
SOFC = Solid Oxide Fuel Cell (固体酸化物燃料電池)

出所

本報告書の図表は、とくに断りがない限り、訪問調査時でのプレゼンテーション資料による。それ以外の場合は、出所を明記するものとする。

換算レート

本報告書の換算レートは次のとおりである。

1米ドル	=	105円
1ユーロ	=	135円

本 編

1. Nuvera Fuel Cells

訪問先	Nuvera Fuel Cells 住所：Via Bistolfi 35, 20134 Milano, Italy
訪問日時	2004年10月24日(月) 8:30~10:00
対応者	Michele Tettamanti Senior Vice President Antonio Toro Manager, Engineering
組織の概要	改質技術を有する Epyx と、電極・FC スタックメーカーである De Nora Fuel Cells が 2000 年 4 月に合併してできた会社。傘下に E-Tek を有する。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池、特に金属セパレータの開発の現状 欧州の燃料電池プロジェクトへの参画の現状

(1) Nuvera Fuel Cells の概要

- Nuvera Fuel Cells は、2000 年 4 月 4 日に De Nora Fuel Cells(伊)と Epyx(米) が合併してできた燃料電池システムメーカーである(表 1-1)。
- 現在 Nuvera Fuel Cells の株式は、De Nora が 37%、Amerada HESS¹が 52%、Renault が 10%を所有している²。
- Nuvera Fuel Cells の人員は 150 人で、うち 50 人がミラノ市(旧 De Nora Fuel Cells)で PEM スタックの開発に、100 人がマサチューセッツ州ケンブリッジ市(旧 Epyx)で燃料改質の研究を行っている。

表 1-1 . Nuvera Fuel Cells の設立

De Nora Fuel Cells (1999 年設立：イタリア ミラノ市) ・ アルカリ工業用電極メーカーである De Nora ³ の PEM スタック部門が分社化されて設立。	Nuvera Fuel Cells (2000 年合併)
Epyx (1998 年設立：マサチューセッツ州ケンブリッジ市) ・ Arthur D. Little は DOE の燃料電池開発プログラムに参画、1997 年に世界ではじめてガソリン改質に成功した。産業化のために 1998 年に Epyx を設立した。	

¹ Amerada Hess は米国の準大手石油メジャーで、主に東海岸でガソリンスタンドを展開している。

² Renault は 2004 年に資本参加した(10%の資本参加は増資による)。なお De Nora は、Renault、Peugeot とともに EU の「FEVER プロジェクト」(1994~1998 年)に参画し、液体水素式 FCV を開発した実績がある。

³ De Nora は 1923 年に Oronzio De Nora によって設立された企業で、アルカリ工業用の電極の供給量で世界第一位。1960 年代に、アルカリ工業用に使用されていたグラファイト電極を金属電極に置き換えるため、金属電極の腐蝕の防止技術を確立した。

(2) Nuvera Fuel Cells の燃料電池開発

Nuvera Fuel Cells が開発している燃料電池・改質器

- Nuvera Fuel Cells が開発している燃料電池・改質器を表 1-2に示す。

表 1-2 . Nuvera Fuel Cells が開発している燃料電池・改質器

短期的な開発対象 (2005 ~ 2006 年)		
産業用車両	H₂e (FC スタック) 	出力： 5 ~ 25 kW 用途： フォークリフトなどの産業用車両のバッテリー代替、バックアップ電源 (産業用車両は燃料電池の初期市場として有望)
工場用	Forza (FC スタック) 	出力： 50 ~ 150 kW (組み合わせてメガワット級に拡張可能) 用途： 工場用電源 (定置用) 10,000 時間の稼動を達成 (使用条件を最適化し、膜の劣化を防止した)
中長期的にデモンストレーションを実施		
自動車用	Star (改質器) 	出力： 75 kW _e (改質器) 用途： ガソリン改質 FCV 注： Star = Substrate-based Transportation Autothermal Reformer
	Andromeda (FC スタック) 	出力： 75 kW 用途： FCV (水素、ガソリン改質ガス) FIAT の New Panda に搭載予定 ⁴
中長期的に実用化 (2007 年)		
分散電源	AVANTI(FC スタック) 	出力： 5 kW (天然ガス使用) 用途： 分散電源 米国に 2 台、日本 (ガス協会) に 3 台納めた実績あり ⁵ その他： 発電効率は 30% (ネット) であり、日本で開発されている FC よりも高いとはいえないが、次世代はさらに高効率になる予定。

⁴ Nuvera Fuel Cells はこれまで FIAT と FCV 開発を密に進めてきたという実績がある。

⁵ 2004 年 3 月に、代理店である高木産業 (本社静岡県富士市) を介してガス協会に納入した。

ダイレクト・ウォーター・インジェクション (DWI) 技術

- Nuvera Fuel Cells では冷却方法として、「冷却剤方式」と、「ダイレクト・ウォーター・インジェクション (Direct Water Injection : DWI) 方式」を研究している。

冷却材による冷却方式は、既存の内燃機関自動車で通常で使用されている方式であり、技術的にも成熟している。

ダイレクト・ウォーター・インジェクションはシステムがシンプルになり、マネジメントが容易になるメリットがある (図 1-1)

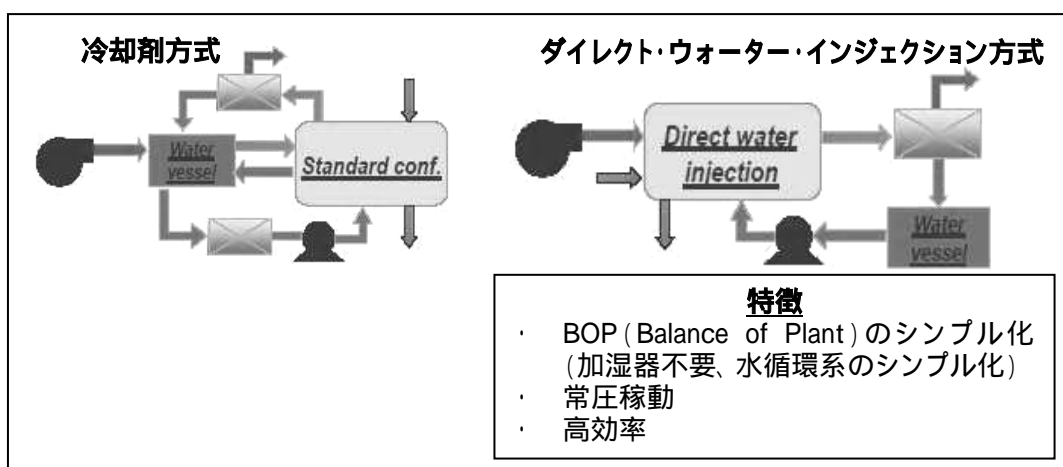


図 1-1 . 冷却剤方式とダイレクト・ウォーター・インジェクション方式

Nuvera Fuel Cells の FCV 用燃料電池スタック

- Nuvera Fuel Cells の考える FCV 用燃料電池スタックの要件を表 1-3に示す。

表 1-3 . Nuvera Fuel Cells の考える FCV 用燃料電池スタックの要件

要件	利点
ドライ条件対応	システムのシンプル化 ウォーターバランスの最適化
ロバスト性	自動車の走行条件・環境への適合 (ハードウェアの金属化の必要性)
高出力密度	小型化 (パッケージ性)
コールドスタート性	凍結防止装置の不要化
低圧作動	周辺装置でのエネルギー消費の低減
負荷変動への対応	ハイブリッド化率の最小化
パフォーマンスの向上	システム効率の向上
高温作動	ラジエータの小型化、CO 耐性の向上

- Nuvera Fuel Cells がこれまでに開発してきた FCV 用燃料電池スタックの性能（出力密度）を図 1-2に示す。

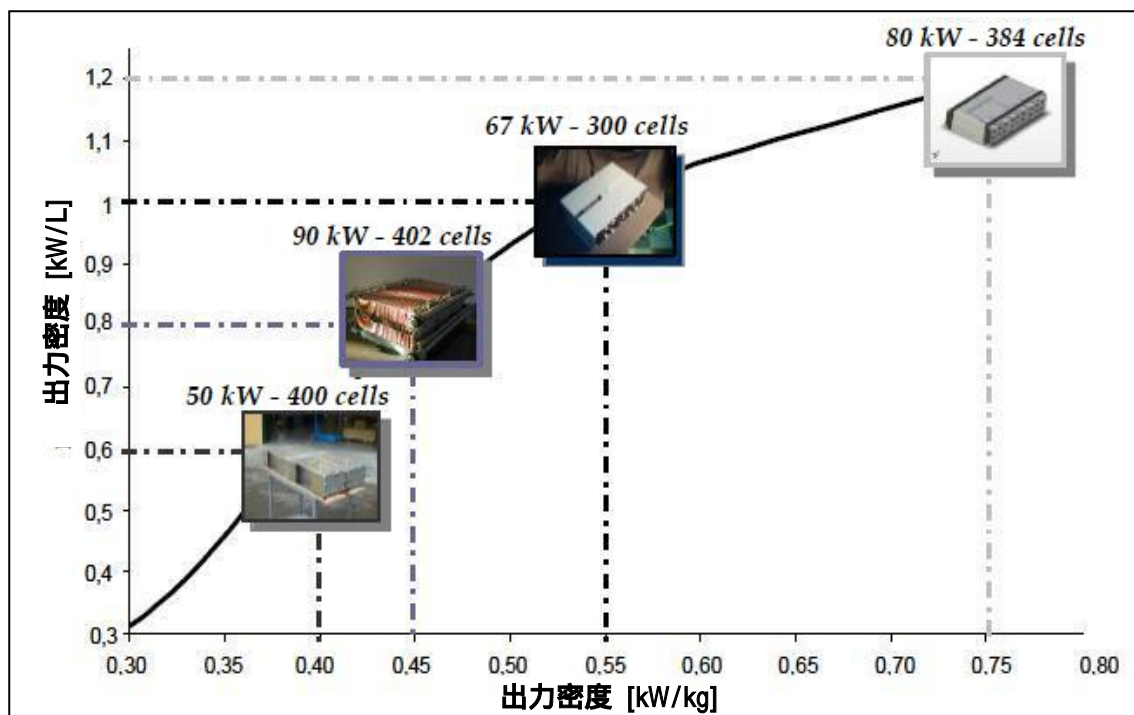


図 1-2 . Nuvera Fuel Cells が開発した FCV 用燃料電池スタック



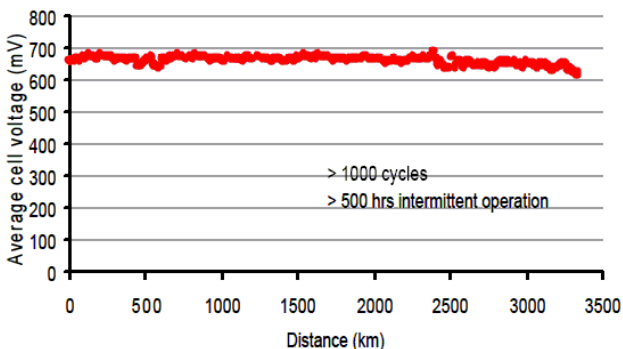


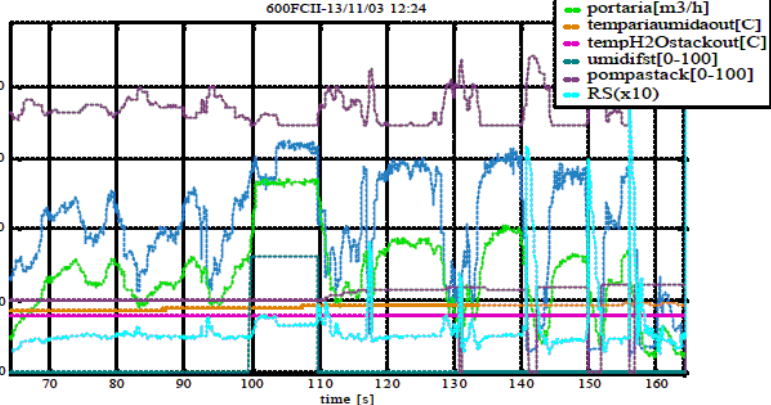


- 現在 Nuvera Fuel Cells が開発中の自動車用燃料電池スタックを表 1-4に示す。

表 1-4 . 現在開発中の自動車用燃料電池スタック

 <p>(モックアップ：訪問時に撮影)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • New Panda 用 FC スタック • ドライコンディショニング • 燃料系圧力：1.6 気圧 • MEA は他社から購入 • 500 時間の耐久テストを実施（劣化なし）。長期耐久テストはこれから実施するが、耐久性は証明されると期待。 • 平均効率 50%
--	---

- Nuvera Fuel Cells では、車両の加減速に対応するために、燃料電池スタックの負荷応答性の研究を進めている（表 1-5）。

表 1-5 . 燃料電池スタックの負荷応答性の向上

<p>第一世代</p>  <p>出力：6.7 kW (50V @ 135A) 体積：17.3 L 圧力：1.1 ~ 1.4 bar abs 温度：50 ~ 70</p>	<p>シリーズハイブリッド用発電機 (7kW 一定出力、バッテリー充電用)</p>  <p>Stack performances on vehicle (recorded at 0,38 A/cm²)</p>  <p>Average cell voltage (mV)</p> <p>Distance (km)</p> <p>> 1000 cycles > 500 hrs intermittent operation</p>
<p>第二世代</p>  <p>出力：45 kW (177V @ 255A) 体積：88 L 圧力：1.05 bar abs. 温度：50 ~ 70</p>	<p>FCV 駆動用 (40kW FC システム、負荷応答性を確保)</p>  <p>600FCII-13/11/03 12:24</p>  <p>time [s]</p> <ul style="list-style-type: none"> correntestack[A] tensionestack[V] portaria[m3/h] tempariaumidaout[C] tempH2Ostackout[C] umidifst[0-100] pompastack[0-100] RS(x10)
<p>第三世代</p>  <p>出力：80kW (240V @ 320A) 出力密度：1.2 kW/L 圧力：1.05 ~ 1.6 bar abs 温度：70 (加湿不要)</p>	<p>FCV 駆動用 (FIAT New Panda に搭載して実験する予定)</p> 

金属バイポーラプレートの開発

- Nuvera Fuel Cells では過去 7 年間、金属バイポーラプレートの開発を行ってきた。

グラファイトプレートは振動に弱いため車載には適していない。特に FCV には、金属バイポーラプレートが適している。

金属バイポーラプレートを実現するには：

- (i) 金コーティング
- (ii) エンジニアリング的なマネジメント

の二つの方法があるが、Nuvera Fuel Cells ではコスト的に有利な (ii) の方法を採用している。

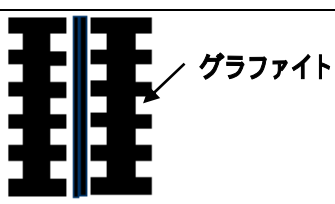
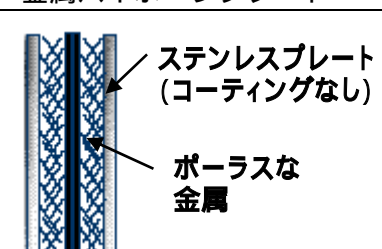
これまでに Nuvera では、主にアルカリ工業のほうで腐食対応のノウハウを積んできている。特に金属電極に関しては、これまでに 10,000 時間の運用を達成した実績がある。

- Nuvera Fuel Cells の金属バイポーラプレートの特徴を表 1-6に示す。

Nuvera Fuel Cells の金属バイポーラプレートは、ステンレスプレート（コーティングなし）と、ポーラスな金属から構成されている⁶。

詳細は機密である（特許を取得）。

表 1-6 . Nuvera Fuel Cells の金属バイポーラプレートの特徴

通常のバイポーラプレート	Nuvera Fuel Cells の金属バイポーラプレート
	
【特徴】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 重い ・ 振動に弱い ・ 高コスト 	【特徴】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 軽い、シンプル ・ 振動に強い ・ 低コスト

⁶ Nuvera Fuel Cells は 2002 年 10 月に、ベルギーの金属加工会社 Bekaert Fibre Technologies と提携し、同社の金属ファイバー技術を PEM スタック開発に取り入れることを発表した。

(3) Nuvera Fuel Cells が参画しているプロジェクト

HyTRAN

- HyTRAN は、欧州連合の第 6 次フレームワーク・プログラム (FP6) に採用された自動車用燃料電池・FC システム開発プログラムであり、Nuvera Fuel Cells も参画している。

HyTRAN は、Volvo を中心とするコンソーシアムが運営している(表 1-7)。自動車メーカーとしては Volvo のほかに、Fiat (Centro Ricerche Fiat)、Renault、Volkswagen、DaimlerChrysler が参画している。

HyTRAN では、水素式 FCV 用 PEM システム (80 kW) と、APU 用 PEM システム (10 kW) を開発する。水素式 FCV 用 PEM システムの目標緒元を表 1-8に示す。

表 1-7 . HyTRAN 参画企業・団体

<ul style="list-style-type: none"> • Volvo (メイン) • Tenneco Automotive • Centro Ricerche Fiat • Renault • Volkswagen • DaimlerChrysler • DAF Trucks • Nuvera Fuel Cells • Johnson Matthey Fuel Cells • Opcon Autorotor • Weidmann Plastics Technology 	<ul style="list-style-type: none"> • Adrop • Institut fur Kraftfahrwesen Aachen • Netherlands Energy Research Centre • Politecnico di Torino • Paul Scherer Institute • Institut fur Mikrotechnik Mainz • Imperial College of Science, Technology and Medicine, London • Environment Park, Torino
---	---

表 1-8 . HyTRAN の水素式 FCV 用 PEM システムの緒元

出力	75 kW	
燃料供給系圧力	1.6 気圧	
最大温度	70	
カソード側	ドライコンディション	
露点	< 65	
出力密度	1.2 kW/L	
高さ	< 210 mm	

Italia-USA Co-operation

- Italia-USA Co-operation は、2002 年 1 月にイタリア政府と米国政府間で締結した共同研究開発の枠組みである⁷。

Italia-USA Co-operation は、「気候変動分析」から「高効率燃料電池の開発」までを含む、15 の研究開発パッケージから構成される。

イタリア側では国立地質火山研究所 (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia : INGV) がコーディネータとなっている。イタリア側からは Nuvera Fuel Cells を含む 13 の企業が、米国側から 30 の企業が参画している。

- Italia-USA Co-operation における燃料電池の開発目標を表 1-9に示す。

表 1-9 . Italia-USA Co-operation における燃料電池の開発目標

出力	45 kW
燃料供給系圧力	最大 1.3 気圧
最大温度	90 以上
加湿	25%以下
出力密度	1 kW/L
高さ	< 210 mm

(4) テストファシリティ

- Nuvera Fuel Cells では、20 台の 50 kW スタック用テストステーションを所有している。
- 最近 SIAD (Società Italiana Acetilene e Derivati : イタリアの産業用ガス会社) と契約し、同社のテスト施設を拡充して FC 用テストファシリティを建設することになった。

⁷ 米国では「US-Italy Co-operation」、あるいは「US-Italy Climate Partnership」と表記される。2001 年 7 月に米国ブッシュ大統領と伊ベルルスコーニ首相が、両国が気候変動と低エミッション技術開発で協力していくことに合意、2002 年 1 月に米国国務省、米国科学技術政策局 (White House Office of Science and Technology Policy)、イタリア環境・国土資源省間で「カーボンサイクル」、「地球・地域気候モデリング」、「低カーボンエミッション技術開発」、「水素燃料電池開発」分野で協力していくことに合意した。また COP9(ミラノ、2003 年 12 月) に先立ち、2003 年 9 月に環境・国土資源省アルテロ・マッテオーリ大臣と、国務省地球問題担当次官ポーラ・J・ドブリアンスキーが、特に「炭素固定」と「水素・燃料電池」を重点研究にすることに合意した。
< <http://www.state.gov/g/oes/rls/or/27108.htm> > 参照。

(5) ディスカッション

- Renault は、Nuvera Fuel Cells の燃料改質技術に関心を持っていたため、資本参加することを決定した。
- 車両用 FC と定置用 FC の技術は基本的に同じところが多いので、Nuvera Fuel Cells では両方を行っている。
- (金属バイポーラプレートの耐久性に対する疑問に対して)
Nuvera Fuel Cells は、電気化学工業の経験と実績に基づき、高耐久性を有する金属バイポーラプレートのエンジニアリング方法を開発した。日本の自動車メーカーは自動車に関して実績を有しており、FCV の性能が高いことは認める。同様に我々も電気化学での実績を有しており、金属バイポーラプレートの性能には自信を持っている。
- Nuvera Fuel Cells (ミラノ) は ISO9001 を取得した⁸。これは Nuvera の製品開発の高い信頼性、高い競争力を示すものである。

⁸ ISO9001:2000 “Research and Development, design, production and servicing of fuel cells stacks and fuel cells systems” (期間：2003年9月～2005年9月)

2. 欧州委員会(EC)

訪問先	欧州委員会 (European Commission : EC) 住所 : Rue Montoyer 75, B-1050, Brussels, Belgium
訪問日時	2004年1月26日(月) 15:00~17:00
対応者	William Borthwick Principal Scientific Officer, Directorate-General for Research Hugues Van Honacker Principal Scientific Officer, Directorate-General for Research Marc Steen Head of Unit, Clean Energies, Institute for Energy, Joint Research Centre Alexandre d'Angelo Expert National Détaché Unité Politique des Entreprises et Environnement Dr. Adolfo Perujo Institute for Environment and Sustainability 他5名
組織の概要	FCVのフリートプログラム(CUTEプロジェクト)を欧州9都市で実施中。昨年「水素・燃料電池に関するハイレベルグループ会議」を開催し、第6次フレームワーク・プログラム(FP6)を推進している。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> 第6次フレームワーク・プログラム(FP6)の現状 欧州連合の燃料電池関連のデモンストレーションの現状 国際的な連携への対応

(1) 欧州連合・欧州委員会の概要

- 欧州連合 (European Union) の概要を表 2-1に示す。

表 2-1 . 欧州連合 (European Union) の概要

加盟国	25 カ国 (詳細は図 2-1参照)
人口	3 億 8000 万人 (世界人口の 6%)
財政 (2004 年)	約 995 億ユーロ (約 13 兆円)
名目 GDP (2002 年)	1. 9 兆 6000 億ユーロ
一人当たり GDP (2002 年)	19,928 ユーロ

出所 : 外務省「各国・地域情勢」 < <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/eu/data.html> >
EU ホームページ「The EU At A Glance」 < http://europa.eu.int/abc/index_en.htm >

- 欧州連合⁹は、2004年5月の第五次拡大によって25カ国体制となった(図2-1)。

現加盟国	ベルギー ドイツ	フランス ルクセンブルク	イタリア オランダ	
第一次拡大(1973年)	デンマーク	アイルランド	英国	
第二次拡大(1981年)	ギリシャ			
第三次拡大(1986年)	スペイン	ポルトガル		
第四次拡大(1995年)	フィンランド	オーストリア	スウェーデン	
第五次拡大(2004年)	ポーランド ハンガリー チェコ スロバキア	スロベニア エストニア ラトビア	キプロス マルタ リトアニア	

図2-1. 欧州連合加盟国
出所：各種資料より作成

- 欧州連合(EU)の組織を(図2-2)に示す。欧州委員会(European Commission)は、欧州の内閣に相当する機関で、全欧州的な政策の立案している。



図2-2. 欧州連合の組織
出所：各種資料より作成

⁹ 欧州共同体(European Community)は、1993年のマーストリヒト条約により、欧州連合(European Union: EU)となった。なおアイスランド、ノルウエー、スイスは欧州連合に加盟していない。

- 欧州委員会（European Commission：EC）は欧州連合の行政府であり、欧州全体の利益に係わる政策立案・行政執行を担当している。

欧州委員会の本部はブリュッセル（一部の組織がルクセンブルクにある）で、スタッフの総数は約 1 万 5000 人である。

欧州委員会には政策部門として 17 の総局（Directorate-General）があり、それぞれが管轄する政策立案・行政執行を担当している（表 2-2）。

- 欧州委員会での政策立案責任者は、欧州連合加盟国から任命された 25 人の委員（Commissioner）である¹⁰。

委員の任期は 5 年。各委員は特定の政策領域について担当を持っているが、政策の決定に関しては、25 人の委員全員が連帯責任を負うことになる。

2004 年 11 月 1 日から、ジョゼ・マヌエル・バローゾ（前ポルトガル首相）を委員長とする新体制が発足した（表 2-3）。新体制では、エネルギー・運輸総局を担当するのはジャック・バロ（運輸担当、フランス出身）とアンドリス・ピエバルグス（エネルギー担当、ラトヴィア出身）であり、研究総局を担当するのはヤネス・ポトチュニック（スロヴェニア出身）である。

表 2-2 . 欧州委員会の組織

総合サービス部門	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事務総局 ・ 統計局 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 報道・コミュニケーション局 ・ 出版局
政策部門	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農業総局 ・ 競争総局 ・ 経済・金融総局 ・ 教育・文化総局 ・ 雇用・社会問題総局 ・ エネルギー・運輸総局 ・ 企業総局 ・ 環境総局 ・ 漁業総局 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保健・消費者保護総局 ・ 情報社会総局 ・ 域内市場総局 ・ 共同研究センター ・ 司法・内務総局 ・ 地域政策総局 ・ 研究総局 ・ 税制・関税同盟総局
対外関係部門	<ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州援助協力局 ・ 対外関係総局 ・ 通商総局 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 開発総局 ・ 人道援助局 ・ 拡大総局
対内サービス部門	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予算総局 ・ 合同通訳・会議局 ・ 欧州不正対策局 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法務局 ・ 人事・総務総局 ・ 翻訳局

出所：駐日欧州委員会代表部ホームページ

< http://jpn.cec.eu.int/union/showpage_jp_union.institutions.1.php >

¹⁰ 委員の割り当ては、従来はフランス、ドイツ、イタリア、スペイン、英国が 2 人で、他の国が 1 人ずつであったが、欧州連合加盟国の拡大に伴い、今回から各国 1 人の計 25 人体制となった。

表 2-3 . 欧州委員会委員 (2004 年 11 月 1 日)

欧州委員会委員	出身国	役職・担当
ジョゼ・マヌエル・バローゾ (José Manuel BARROSO)	ポルトガル (新任)	委員長
マルゴット・ヴァルストレム (Margot WALLSTRÖM)	スウェーデン (再任)	副委員長 / 対 EU 機関関係・コミュニケーション戦略担当
グンター・フェアホイゲン (Günter VERHEUGEN)	ドイツ (再任)	副委員長 / 企業・産業担当
ジャック・パロ (Jacques BARROT)	フランス (再任)	副委員長 / 運輸担当委員
シーム・カラス (Siim KALLAS)	エストニア (再任)	副委員長 / 総務・監査・不正対策担当
フランコ・フラッティーニ (Franco FRATTINI)	イタリア (新任)	司法・自由・安全担当委員
ビビアン・レディング (Viviane REDING)	ルクセンブルグ (再任)	情報社会・メディア担当委員
スタブロス・ディマス (Stavros DIMAS)	ギリシャ (再任)	環境担当委員
ホアキン・アルムニア (Joaquín ALMUNIA)	スペイン (再任)	経済・通貨問題担当委員
ダヌータ・ヒューブナー (Danuta HÜBNER)	ポーランド (再任)	地域政策担当委員
ジョー・ボルグ (Joe BORG)	マルタ (再任)	漁業・海事担当委員
ダリャ・グリバウスカイト (Dalia GRYBAUSKAITĖ)	リトアニア (再任)	財政計画・予算担当委員
ヤネス・ポトチュニク (Janez POTOČNIK)	スロヴェニア (再任)	科学・研究担当委員
ヤーン・フィゲル (Ján FIGEL)	スロヴァキア (再任)	教育・訓練・文化・多言語主義担当委員
マルコス・キプリアヌ (Markos KYPRIANOU)	キプロス (再任)	保健・消費者保護担当委員
オリ・レーン (Olli REHN)	フィンランド (再任)	拡大担当委員
ルイ・ミシェル (Louis MICHEL)	ベルギー (再任)	開発・人道援助担当委員
ラスロー・コヴァーチ (László KOVÁCS)	ハンガリー (新任)	税制・関税同盟担当委員
ネリー・クルース (Neelie KROES)	オランダ (新任)	競争政策担当委員
マリアン・フィッシャー=ボエル (Mariann FISCHER BOEL)	デンマーク (新任)	農業・農村開発担当委員
ベニータ・フェレロ=ヴァルトナー (Benita FERRERO-WALDNER)	オーストリア (新任)	対外関係担当委員
チャーリー・マクリーヴィ (Charlie McCREEVY)	アイルランド (新任)	域内市場・サービス担当委員
ヴラジミール・シュピドラ (Vladimír ŠPIDLA)	チェコ (新任)	雇用・社会問題・機会均等担当委員
ピーター・マンデルソン (Peter MANDELSON)	英国 (新任)	通商担当委員
アンドリス・ピエバルグス (Andris PIEBALGS)	ラトヴィア (新任)	委員 / エネルギー担当委員

出所：駐日欧州委員会代表部ホームページ

< http://jpn.cec.eu.int/union/showpage_jp_union.institutions.2.php >

(2) 第6次フレームワーク・プログラム(FP6)

欧州連合フレームワーク・プログラムの概要

- 欧州連合フレームワーク・プログラム (EU Framework Programme : FP) は、1984年から実施されている5カ年の研究プログラムである。

フレームワーク・プログラムは、欧州委員会が提案し、欧州議会と欧州閣僚理事会の承認を受けて実施される。研究テーマは全欧州的に募集され、テーマの採用においては、国別の割り当てはない。

5カ年の研究期間のうち、最初の1年間は前のフレームワーク・プログラムの最終年に重なっており、プログラムの継続性が保たれている。

- 第6次フレームワーク・プログラム (FP6) の予算は175億ユーロ (2兆4000億円) である (図2-3)。
- 第6次フレームワーク・プログラムの重点研究分野を表2-4に示す。

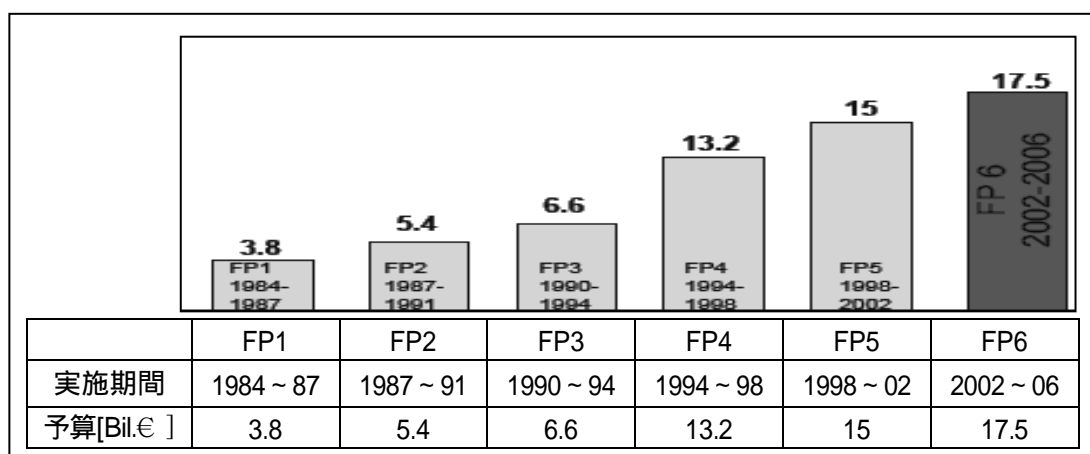


図 2-3 . 欧州連合フレームワーク・プログラムの期間と予算 (第1回～第6回)
出所：財団法人 日本自動車研究所 『燃料電池車の技術開発動向調査』 (2004年3月)

表 2-4 . 第6次フレームワーク・プログラムの重点研究分野

(1) ライフサイエンス・ゲノム・バイオ
(2) 情報社会技術
(3) ナノテク・ナノサイエンス
(4) 航空宇宙
(5) 食品の安全
(6) 持続可能な発展・グローバルな変化・エコシステム
(7) 知識集約型社会における市民とガバナンス

出所：European Commission FP6 < http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.html >

第6次フレームワーク・プログラムにおける水素・燃料電池分野の研究テーマ

- 第6次フレームワーク・プログラムにおける水素・燃料電池分野の研究テーマは、2003年3月18日に第一次公募が締め切られ、2004年1月に採用テーマが発表された（全体：表2-5、水素関連：表2-6、燃料電池関連：表2-7）。

水素・燃料電池分野の研究テーマの総額は103万ユーロ（1億4000万円）である。

燃料電池では自動車用と定置用に注力しており、直接的にはポータブル用途（ノートパソコン・携帯電話用、軍事用）の研究は行っていない。

表2-5. 第6次フレームワーク・プログラムの水素・燃料電池分野テーマ
（第一次公募の採用分）

分野・テーマ		コントラクター数	プロジェクトのタイプ	予算 [万€]
水素	水素製造	5	1 IP / 4 STREP	14.6
	水素貯蔵	2	1 IP / 1 RTN	13.3
	水素の安全、規制、基準・標準	2	1 NoE / 1 SSA	7.5
	水素社会へのパスウェイ（移行）	8	2 IP / 1 STREP / 3 CA / 2 SSA	21.5
	水素の最終使用形態	3	2 IP / 1 SSA	13.5
	小計			70.4
燃料電池	高温型燃料電池	4	1 IP / 3 STREP	15.1
	PEM	5	2 IP / 3 STREP	14.95
	ポータブル用 FC	2	2 STREP	2.85
	小計			32.9
合計				103.3

注： IP = Integrated Project
NoE = Network of Excellence
STREP = Specific Targeted Research Project
CA = Coordination Action
SSA = Specific Support Action
RTN = Research Training Network

表 2-6 . 第 6 次フレームワーク・プログラムの水素分野テーマ

分野	プロジェクト名	タイプ	トピック	EU の資金[M€]	コーディネータ
水素製造	CHRISGAS	IP	バイオマスからの水素リッチガス製造	9.5	Växjö University (スウェーデン)
	SOLREF	STREP	太陽熱を利用した天然ガスのスチーム改質	2.1	DLR (独)
	HYPHEC	STREP	熱化学的化学水素製造	1.9	CEA (仏)
	Hi2H2	STREP	電気分解による水素製造 (Solid Oxide water electrolyser)	0.9	EDF (仏)
	SOLAR-H	STREP	光生物学的な水素製造法	N/A	Lund University (スウェーデン)
H2 storage	STORHY	IP	次世代車載技術の開発	10.7	Magna Steyr Fahrzeugtechnik (オーストリア)
水素社会への移行	HYWAYS	IP	水素社会へのロードマップ	4	LBST (独)
	HYCELL-TPS	SSA	欧州水素・燃料電池技術研究の事務局	1.7	Kellen Europe (ベルギー)
	NATURALHY	IP	水素インフラの研究 (天然ガスインフラの活用)	11	Gasunie (蘭)
	INNOHYP-CA	CA	先端的な水素製造法 (高温製造法) の調査・研究	0.5	CEA (仏)
	HY-CO	CA	欧州の水素・燃料電池研究のコーディネーション (ERA-NET の構築)	2.7	FZJülich (独)
	WETO-H2	CA	世界エネルギーアウトLOOKの提示 (~2050年)	0.39	ENERDATA (仏)
	CASCADE MINTS	STREP	水素社会への移行モデルの比較検討	0.95	ICCS/NTUA (ギリシャ)
水素の安全に関する規制・基準・標準	HYSAFE	NOE	水素の安全性に関する研究	7	Forschungszentrum Karlsruhe (独)
	HARMONHY	SSA	水素の基準・標準に関する問題の特定	0.5	Vrije Universiteit Brussel (ベルギー)
水素の最終用途	ZERO REGIO	IP	水素 FCV のフリートテスト	7,5	INFRASERV (独)
	HYICE	IP	水素内燃エンジンの開発	9	BMW (独)
	PREMIA	SSA	自動車用代替燃料の導入に関する調査・提案	1	VITO (ベルギー)

表 2-7 . 第 6 次フレームワーク・プログラムの燃料電池分野テーマ

分野	プロジェクト名	タイプ	トピック	EU の資金[M・]	コーディネータ
高温型燃料電池	Real-SOFC	IP	次世代平板型 SOFC の開発	9	Research Centre Jülich (FZJ) (独)
	BIOCELLUS	STREP	バイオマスを使った燃料電池システム	2.5	TU Munich (独)
	GREEN-FUEL-CELL	STREP	バイオガスを使った SOFC	3	CCIRAD (仏)
	SOFCSPRAY	STREP	SOFC の運用温度を 650 ~ 700 に下げるための新規材料開発	0.6	NTDA (西)
FC のポータブル利用	MOREPOWER	STREP	コンパクトな直接エタノール (メタノール) FC	2.2	Geesthacht Research Centre, GKSS (独)
	FEMAG	STREP	小型 FC (~1kW) とバッテリー・スーパーキャパシタを組み合わせた非自動車用デバイスの開発	0.65	ADT S.r.l. (伊)
PEM	HYTRAN	IP	自動車用 PEM のシステム・コンポーネント開発	9	Volvo (スウェーデン)
	FURIM	IP	2kW 高温 PEM (120 ~ 220) の開発	4	DTU, Technical University of Denmark (デンマーク)
	PEMTOOL	STREP	中小規模 FC メーカーのための FC モデリング・デザインツールの開発	1	Bertin technologies SA (仏)
	INTELLICON	STREP	先端的な DC/DC コンバータの開発、FC 用パワーレインの開発	0.5	HIL Tech Developments (英)
	DEMAG	STREP	PEM、ウルトラキャパシタ、水素吸蔵合金を組み合わせた非常用電源システムの開発	0.65	Labor s.r.l. (伊)

(3) CUTE プロジェクト

CUTE プロジェクトの概要

- CUTE (Clean Urban Transport for Europe) プロジェクトは、EU が実施している燃料電池バス デモンストレーション・プロジェクトである (図 2-4)。

CUTE は、EU が考える「水素社会へのパスウェイ」のあり方についての知見を提供するものである。

ECTOS (アイスランド) や STEP (オーストラリア パース) などの燃料電池バスプロジェクトや、これから実験は始まる中国の燃料電池バスプロジェクトとも連携し、実験の条件や結果の比較を行う予定である (これらのプロジェクトは、使用する燃料電池バスが DaimlerChrysler の CITARO バスであり、また燃料電池スタックは Ballard 製で共通している)。

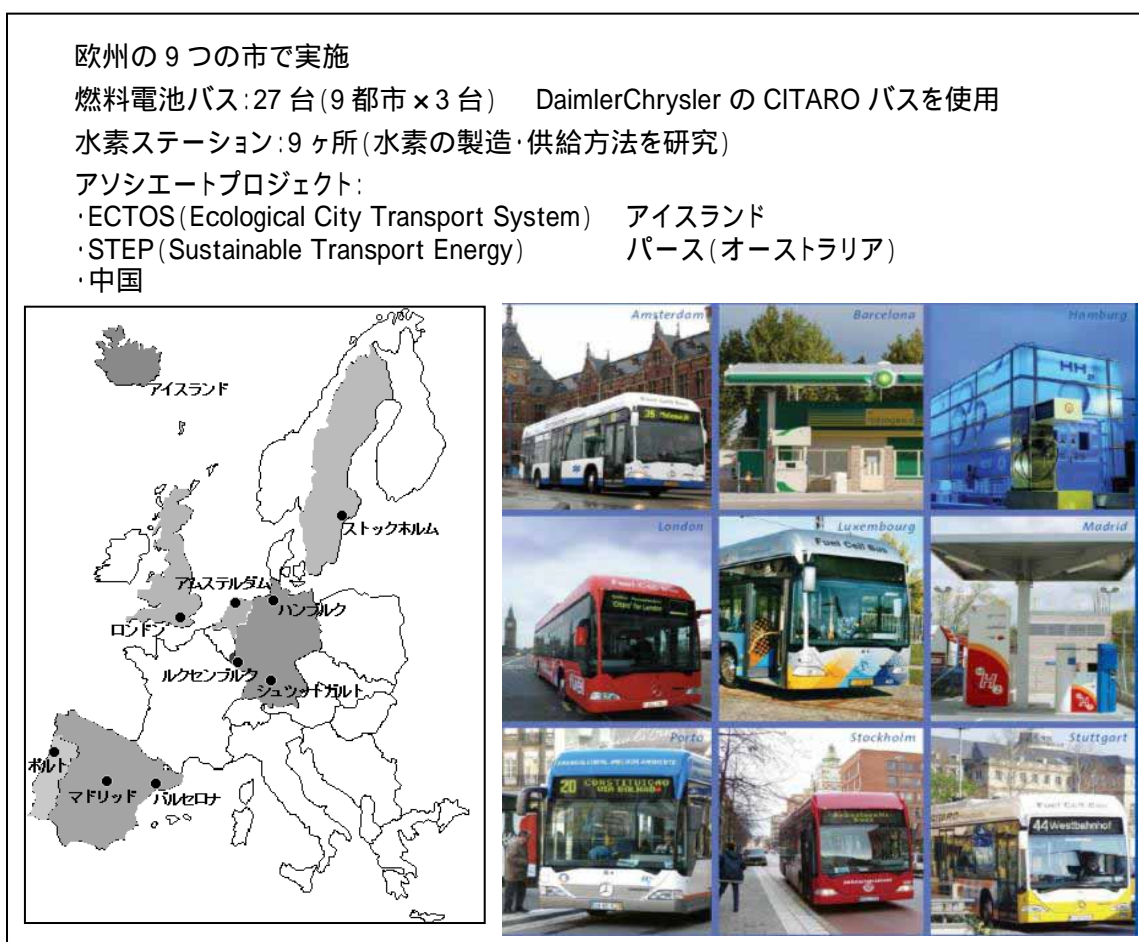


図 2-4 . CUTE プロジェクトの概要

CUTE プロジェクトの目的・スケジュール

- CUTE プロジェクトの目的を表 2-8に示す。また、CUTE プロジェクトのスケジュールを図 2-5に示す。

表 2-8 . CUTE プロジェクトの目的

<ul style="list-style-type: none"> • さまざまな水素製造方法の評価 (実用性、効率、コスト、環境面の効果、安全性) • さまざまな水素の製造・供給方法の比較 • 水素ステーションのデザイン、許認可のあり方、運用の方法 • 水素インフラ(コンポーネント)の技術成熟度の向上 • 水素の製造・取り扱いに関するバス運用者(バス会社)の教育 • さまざまな気候・道路事情・地形における燃料電池バスの運用可能性の評価 • ディーゼルバス、CNGバスとのLCAの比較 • 燃料電池バスのメンテナンスに関するノウハウ • 燃料電池バスの受容度・満足度(運用者、乗客) • 燃料電池バス、水素に対する市民の理解の促進
--

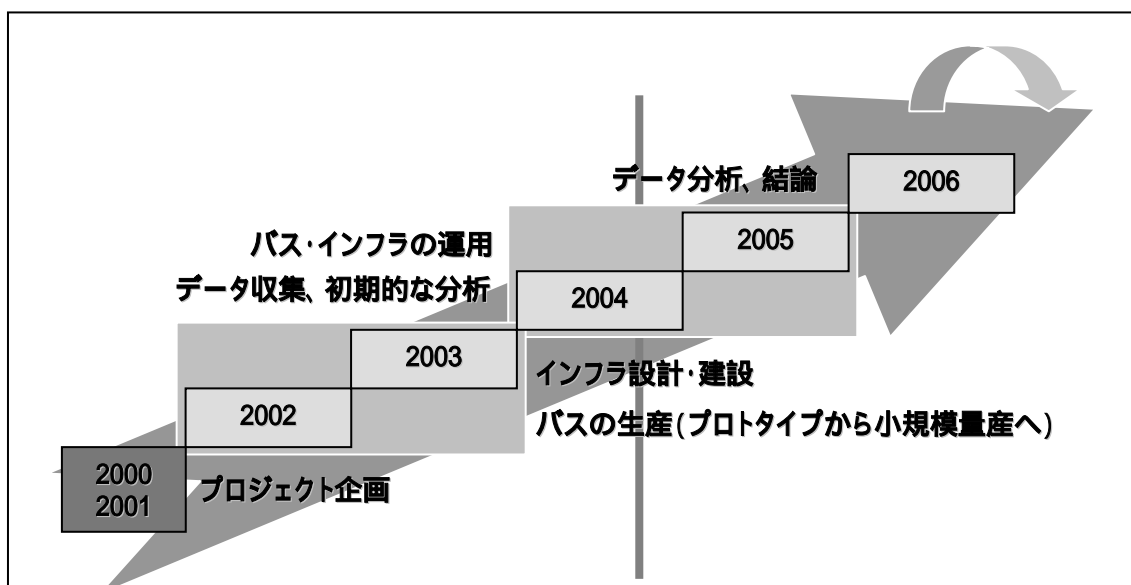


図 2-5 . CUTE プロジェクトのスケジュール

CUTE プロジェクトの結果

- 以下に CUTE プロジェクトの結果を示す。

CUTE における総走行距離は 29 万 km に達している（図 2-6）。

燃料電池バスの運行可能な割合（運用したい場合に、システムが問題なく稼働している割合）は現在 50%程度だが、改善の傾向にある（図 2-7）。

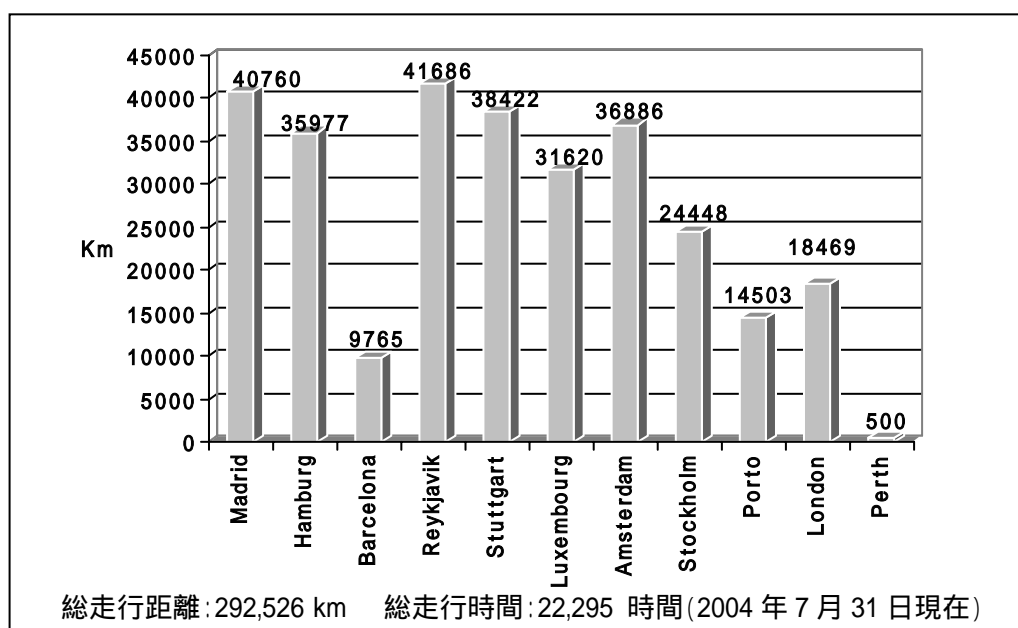


図 2-6 . CUTE プロジェクトの結果：走行距離

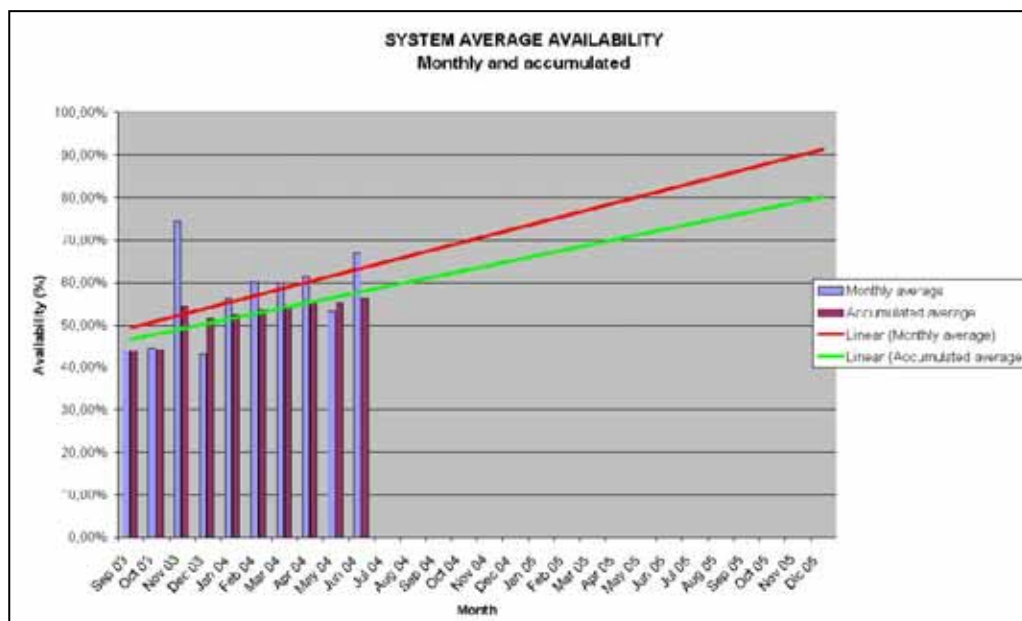


図 2-7 . CUTE プロジェクトの結果：運用可能な割合

- 平均燃費は 25 kg/100km であるが、実験地は気候も地形も、また交通事情も多様であり、分析においては各地の実情をよく勘案する必要がある。
- CUTE プロジェクトの燃料電池バスの燃費（水素消費量）を図 2-8に示す。

平均燃費は 25 kg/100km である。マドリッド、バスセロナの燃費が悪いのは、エアコンを多用しているためである。

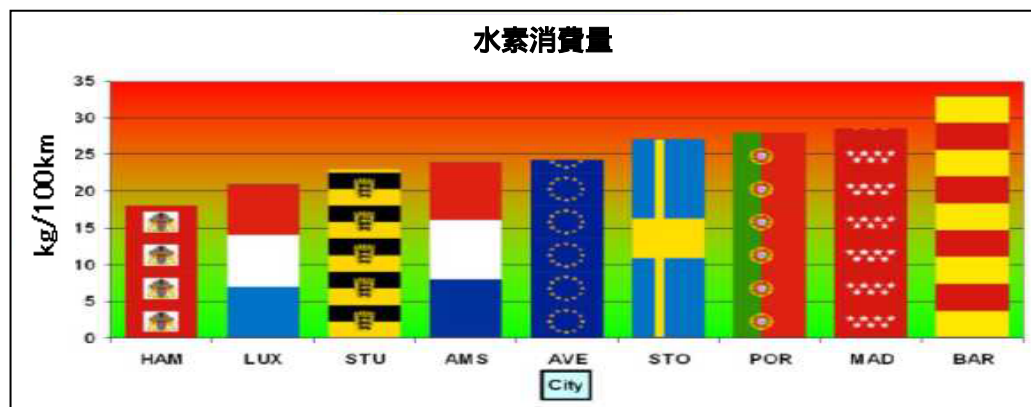


図 2-8 . CUTE プロジェクトの結果：燃費（水素消費量）

CUTE に関するディスカッション

- CUTE に類した燃料電池バスプログラムが世界中で行われており、積極的に連携していきたい（表 2-9）。
- CUTE は 2005 年 6 月で終了するが、現在このプロジェクトの継続を欧州委員会に提案中である。このようなプロジェクトは継続していくことが重要である。継続となった場合、「信頼性向上」と「エネルギー効率の向上」が研究課題となる。

表 2-9 . CUTE の国際的な協力体制

- CUTE と ECTOS は、欧州内協力の見本である。
- CUTE を中心とする「燃料電池バスクラブ (Fuel Cell Bus Club)」は、STEP (オーストラリア)、BC Transit (カナダ)、AC Transit (米国) とともに協力体制を構築する。
- CUTE コンファレンスを 2004 年 6 月にロンドンで実施した。
参加国：日本、オーストラリア、メキシコ、米国、アイスランド、EU
- 「燃料電池バス国際ワークショップ (International Workshop on Fuel Cell Buses)」を、EC、米国エネルギー省・運輸省と共同で実施した (2004 年 11 月 18~21 日、ポルトガル、ポルト)。

(4) Zero-Regio プロジェクト

- Zero-Regio は、第 6 次フレームワーク・プログラムで実施されている FCV（乗用車）のデモンストレーションプログラムである。
- Zero-Regio の概要を表 2-10、表 2-11に示す。また Zero-Regio に参画している企業・団体を表 2-12に、ライン・マイン地区での水素センターと水素充填ステーションを図 2-10に示す。

表 2-10 . Zero-Regio の概要（1）

目的	<ul style="list-style-type: none"> • 欧州における低エミッション交通システムの開発 • 「2020 年までに自動車の 5% を水素燃料で走行する自動車にする」という欧州委員会の目標の達成
個別目標	<ul style="list-style-type: none"> • 自動車用代替燃料としての水素の利用 • 水素のためのインフラ整備（既存ガソリンスタンドへの設置） • 水素充填技術（700 気圧）の採用とデモンストレーション • 都市フリートテスト（ライン・マイン地区、ロンバルディア州）を通じた代替燃料デモンストレーション • 水素エネルギーの市場展開のための支援ツールの開発
戦略	<ul style="list-style-type: none"> • 欧州の既存の水素インフラ会社（独 Infracore Höchst、伊 Sapio）の活用 • 欧州の技術開発力の活用（スウェーデン Uni Lund、伊 JRC-Ispra、デンマーク Roskilde Univ） • 水素駆動自動車の開発メーカーとの連携（独 Daimler-Chrysler、伊 Fiat） • 欧州の水素社会構築に関係する大学、研究所、ベンチャービジネスやプロジェクトとの連携（伊 CRF、伊 Eni-Technologies）
研究開発項目	<ul style="list-style-type: none"> • 700 気圧充填システムの既存ガソリンスタンドへの設置 • 350 気圧充填器の設置 • 液体水素タンクと充填器の設置 • 水素源から充填ステーションまでの水素インフラの最適化 • 汚染物質のエミッションの評価 • 先進的なテスト方法の開発 • データ収集システムの開発と設置 • 先進的な水素需要量のシミュレーション方法の開発 • 自動車用燃料としての水素の経済性・社会的受容性の評価

表 2-11 . Zero-Regio の概要 (2)

<p>デ モ ン ス ト レ イ シ ョ ン 項 目</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存ガソリンスタンドにおける、安全かつ信頼性の高い水素充填の運用 ・ ライン・マイン地区（独）での 5 台の燃料電池自動車のフリートテスト ・ ロンバルディア地区（伊）での 3 台の燃料電池自動車のフリートテスト ・ オンサイト水素製造のための改質技術 ・ 一般ユーザーによる燃料電池自動車の運用と評価 ・ 燃料電池自動車の様々な運用（例．タクシー、郵便配達） ・ ユーザーの受容度に関するデータ収集
<p>ト レ ー ニ ン グ 項 目</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公共のスタンドにおける水素充填装置の使用 ・ オンサイト水素製造装置の運用 ・ フリートテストのためのドライバートレーニング ・ 新しい推進システムと、その安全に関する基本的な教育
<p>ス ケ ジ ュ ー ル</p>	<p><u>Phase I (2004 ~ 2005 年)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ライン・マイン地区（独）での水素インフラの開発・建設 ・ マントヴァ県（伊）におけるオンサイト水素製造、水素輸送システムの開発 ・ フランクフルトにおける 700 気圧充填システムの開発 ・ 水素設備の公共スタンドへの設置に関する安全基準の整備 ・ 車両の開発 <p><u>Phase II (2006 ~ 2008 年)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ フランクフルトとマントヴァにおける車両フリートテスト ・ データ収集と評価 ・ 経済性（競争力）の評価、潜在的ユーザーの特定とその分析 ・ 交通部門における水素利用を促進させる、政策策定者のための戦略の提示
<p>期 待 さ れ る 効 果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 将来の都市交通に寄与する、安全かつ機能的な水素インフラの構築 ・ 水素の社会的受容性の向上 ・ EU の都市部における、水素経済のより広範で速やかな浸透のためのアイデアとモデルの提供 ・ 燃料電池自動車の開発の支援 ・ 2020 年までに交通部門での燃料の 5% を水素で代替するという欧州委員会の政策目標への貢献

表 2-12 . Zero-Regio の参画企業・団体

独	Adam Opel / Daimler Chrysler	Agip Deutschland GmbH
	Infraserv GmbH & Co. Höchst ¹¹	Fraport AG
	Linde AG	TÜV Hessen GmbH
伊	Centro Recerche Fiat	City of Mantova
	Eni Tecnologie S.p.A.	IEFE, Bocconi University
	Regione Lombardia	Sapio
他	JRC, Ispra (E.C)	Roskilde University (デンマーク)
	Lund University (スウェーデン)	Saviko Consultants (デンマーク)

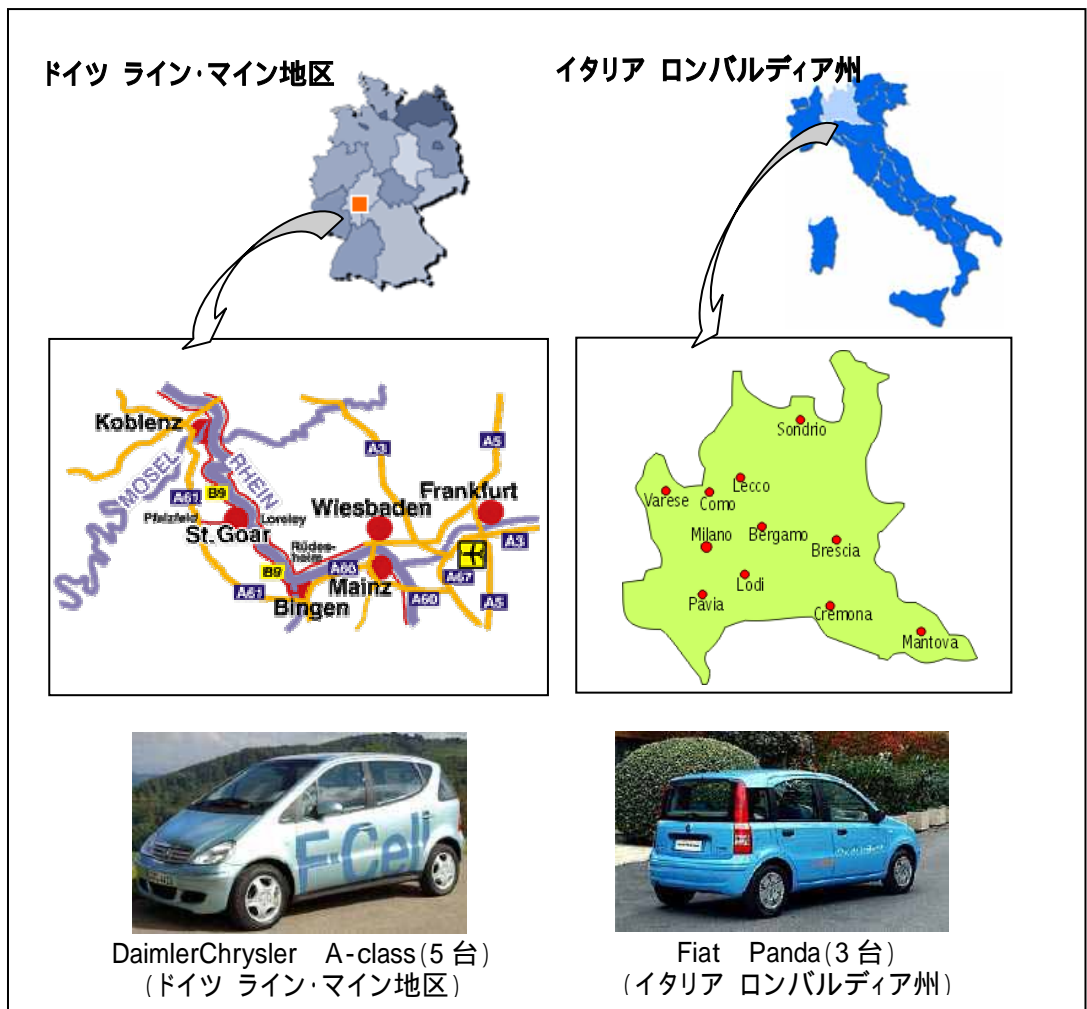
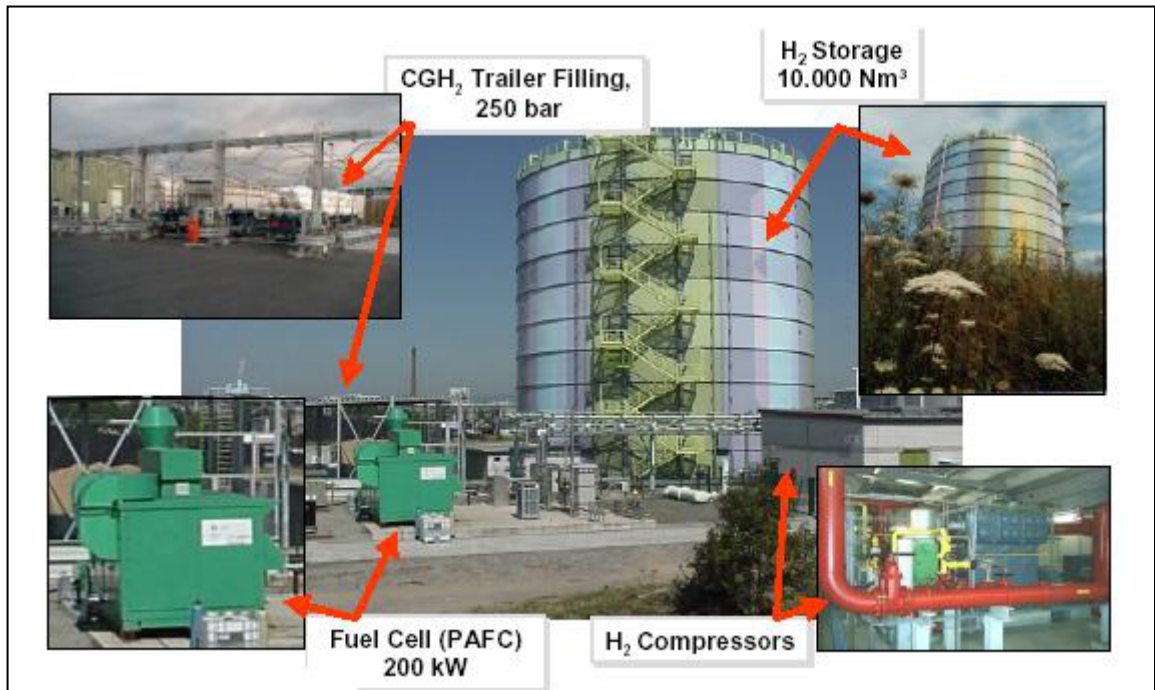


図 2-9 . Zero-Regio 実施地域とデモンストレーション車両
出所：各種資料より作成

¹¹ Infraserv GmbH & Co. Höchst は Höchst からのスピンオフ会社で、化学品、医薬品、エネルギーインフラなどのメーカーである。従業員数は 3,689 人で、2003 年売上は 9 億 3100 万ユーロ (1250 億円) 。 < www.infraserv.com/en > 参照。



水素センター (Infraserv GmbH & Co. Hoechst KG)



ドイツ ライン・マイン地区の水素ステーション

図 2-10 . ライン・マイン地区の水素センターと水素ステーション

- Zero-Regio の予算額を表 2-13に示す。

表 2-13 . Zero-Regio の予算

百万ユーロ	予算	(うち EU からの資金)
研究開発関連	3.974	2.161
デモンストレーション関連	15.409	4.688
トレーニング関連	0.080	0.080
コンソーシアムのマネジメント	0.53	0.53
合計	19.995	7.461

出所：HyNet Workshop - European Hydrogen Competence Centres
 “ZERO REGIO“ (2004年6月8日、ブリュッセル)
 < http://www.hynet.info/hyactiv/mainhyactiv_00.html >

- 他のプロジェクトとの協力体制 (表 2-14) :

CUTE プロジェクトは燃料電池バスが中心なので、Zero-Regio とは対象が異なるが、EU としては「CUTE」と「Zero-Regio」を同時並行で進めて「EU のプレミアムプロジェクト」として展開していきたい。

CEP プロジェクト (ベルリン)¹²とも協力していく。

表 2-14 . 他のプロジェクトとの協力体制

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 参加している EU メンバー4 カ国を通じて、全欧的に連携する。 • 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームとの連携： <ul style="list-style-type: none"> - CUTE (燃料電池バスプロジェクト) - CH2IP (700 気圧システムの実証) - Hyways (欧州水素ロードマップの策定) - DWV-Roadmap (ドイツ水素協会のプロジェクト) • Hynet |
|--|

¹² Clean Energy Partnership。ドイツ連邦政府とドイツ企業がベルリンで実施しているデモンストレーション・プロジェクト。参加企業は DaimlerChrysler、BMW、Ford、Opel (以上、自動車メーカー) BP/Aral、GHV、Verbund、Linde (以上、インフラ関連企業)。導入される FCV・水素内燃自動車は 17 台 (F-Cell 8 台、BMW 7 シリーズ 4 台、Ford Focus FCEV ハイブリッド 4 台、HydroGen3 1 台)。

(5) 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォーム

(European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform:HFP)

欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの設立の経緯

- 「欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォーム(European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform:HFP)」は、2004年1月に設置された、欧州の水素・燃料電池研究開発力強化のための支援組織である。この組織は、「水素・燃料電池に関するハイレベルグループ(High Level Group on Hydrogen and Fuel Cells:HLG)」の提言を受けて設立された(表 2-15)。

表 2-15 . ハイレベルグループの概要と提言の内容

設立	・ 2002年10月(欧州委員会内の特別組織として設立)
目的	・ 欧州委員会に対して、水素・燃料電池に関する政策を提言する
構成	・ 欧州の水素・燃料電池関連企業のトップ19名が個人の立場で参加
報告書	・ 『水素エネルギーと燃料電池：未来へのビジョン(Hydrogen energy and fuel cells - a vision for our future)』(2003年6月) ¹³
提言	・ 「欧州水素燃料電池技術パートナーシップ(European Hydrogen and Fuel Cell Technology Partnership)」の組織 ・ 運輸、エネルギー、環境を包括した政策フレームワークの構築 ・ 研究開発の資金の大幅な増加 ¹⁴ ・ 様々な「ライトハウス・プロジェクト」を通じた、市場開拓のためのデモンストレーションとパイロットプログラムの実施 ・ 技術開発の支援のための「社会経済研究プログラム」の実施 ・ 技術開発のリーダーシップ支援のための、資金提供機関を組織した「ビジネス開発イニシアティブ」の実施 ・ 初等教育から世界レベルの研究機関までを対象とする、欧州全域での教育・トレーニングプログラムの実施 ・ 持続可能性に寄与する技術の早期導入のために、北米、太平洋域の各国、さらに発展途上国との連携を強化 ・ 以上に関して、情報センターの設置

¹³ この報告書は、2003年6月の『水素社会 - 持続可能なエネルギーへの橋がけ(The hydrogen economy - a bridge to sustainable energy)』と題する会議にて発表された。この席上でエイブラム エネルギー省長官は、欧州連合に「水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)」への参画を呼びかけている。

¹⁴ ハイレベルグループでは、日米の水素・燃料電池関連の研究開発の取り組みに比べて、欧州研究総局(DG Research:FPプログラムを管轄する)の取り組みは不十分である、と強調している。

- 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームは、欧州委員会とは独立して設置されている組織である（図 2-11）。

欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームは、欧州委員会の研究開発政策に対する提言を行う組織であり、研究開発を実施するわけではない。また、欧州委員会から研究開発資金を受けているわけではない。

欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの目的を表 2-16に示す。

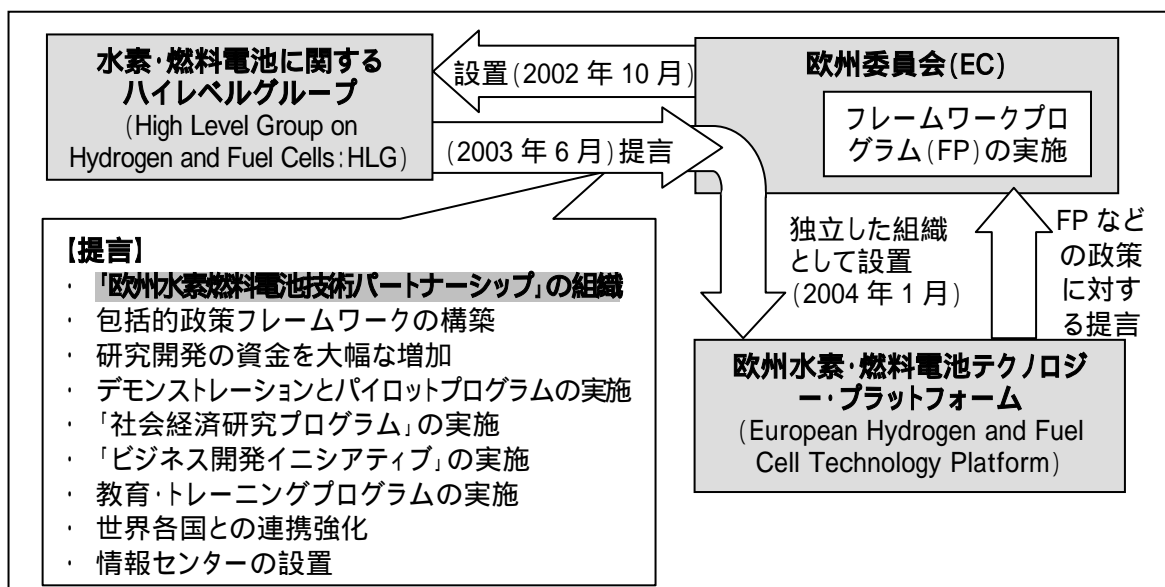


図 2-11 . 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォーム

出所：各種資料から作成

表 2-16 . 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの目的

<p>自動車用、定置用、ポータブル用の水素・燃料電池エネルギーシステムおよびコンポーネントシステム開発において、欧州企業のコスト競争力の強化及び、世界レベルの研究開発のための支援を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発戦略と水素社会へのパスウェイに関して、欧州での合意形成を行う。 ・ 官民パートナーシップを通じて、欧州連合の供給体制の強化し、水素社会発展へのイニシアティブを形成する。 ・ 水素・燃料電池技術に関する欧州研究領域¹⁵の設定を行う。
--

¹⁵ 欧州研究領域は2000年3月のリスボン欧州理事会において決議されたコンセプト。これまでのフレームワーク・プログラムは研究テーマ間・加盟国間の連携が取れていなかったという反省にたち、欧州全体の視点から研究開発を促進することを提案した。 < http://europa.eu.int/comm/research/era/index_en.html > 参照。

欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの概要

- 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの組織を図 2-12に示す。

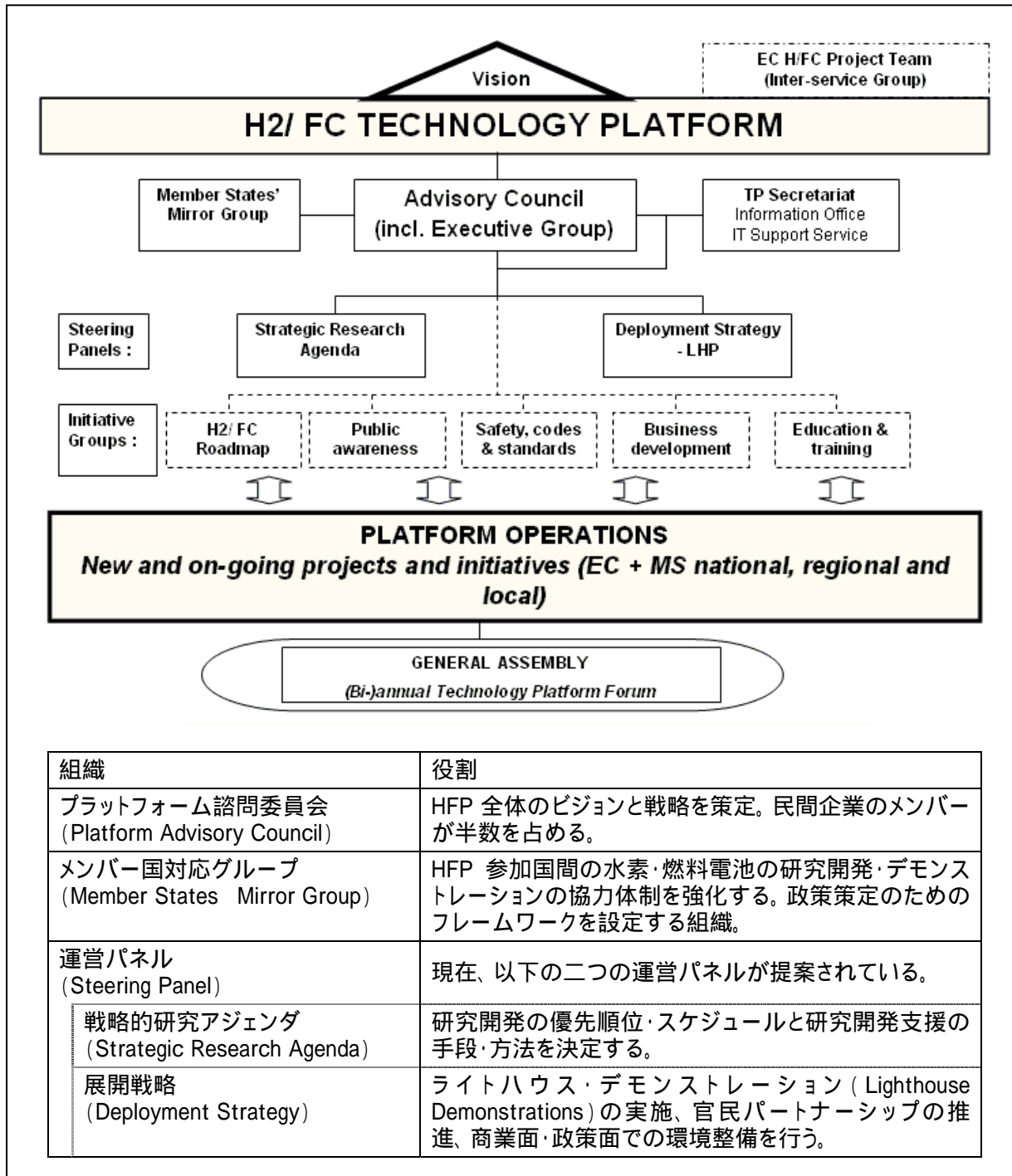


図 2-12 . 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの組織

出所：各種資料から作成

- 欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームに設置されている「戦略的研究アジェンダ (Strategic Research Agenda)」の詳細を表 2-17に示す。

表 2-17．戦略的研究アジェンダ

<p><u>ワーキンググループ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 水素生産 - 水素輸送・貯蔵 - 定置用アプリケーション - 自動車用アプリケーション - ポータブルアプリケーション - 技術・社会経済リサーチ <p><u>スケジュール</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 研究戦略 (Research strategy : 2005 ~ 2015 年) - 中期的見通し (2030 年) - 長期的見通し (2050 年) - 幅広いコンサルテーション - 戦略的研究アジェンダの「コア」を決定 (FP7 と Growth Initiative に反映)
--

ライトハウス・プロジェクト (Lighthouse Projects)

- ライトハウス・プロジェクトは、ハイレベルグループの提言に示されているデモンストレーション プロジェクトの名称である。

ハイレベルグループでは、水素・燃料電池に関するデモンストレーション プロジェクトの重要性を強調している。特に複数のデモンストレーション プロジェクトを実施し、相乗効果を生み出して市場拡大を図ることを提言しており、このような役割を担うデモンストレーション プロジェクトを「灯台 (ライトハウス) プロジェクト」と位置づけている。

ハイレベルグループの提言以降、欧州各地で「ライトハウス・プロジェクト」を称する燃料電池デモンストレーション プロジェクトが企画・提案されているが、欧州委員会として「ライトハウス・プロジェクト」というプロジェクトを実施しているわけではなく、また承認しているわけではない。

(7) 欧州発展イニシアティブ(European Initiative for Growth)

欧州発展イニシアティブ

- 欧州発展イニシアティブは、2000年3月のリスボン欧州理事会と2002年3月のバルセロナ欧州理事会¹⁶で打ち出された、知識集約型社会における欧州の経済発展のためのイニシアティブである。

欧州発展イニシアティブの役割は、欧州の経済発展に必要と思われるプロジェクトの提案と企画であり、発展イニシアティブ自体が研究開発を実施するわけではない。

実際のプロジェクトは、官民パートナーシップ（Public-Private Partnership）の形態となる。欧州委員会のフレームワーク・プログラムやハイレベル会議との直接的な連携はない。

水素クイックスタートプロジェクト（H2 Quick-Start Projects）

- 水素クイックスタートプロジェクト（H2 Quick-Start Projects）は、欧州発展イニシアティブの中心的なプロジェクトで、官民パートナーシッププロジェクト（EUと欧州投資銀行が共同実施）を推進している。

研究開発期間は、2005年～2015年の10年間である。

現在「HYPOGEN」と「HYCOM」の二つのプロジェクトが進められている（表 2-18）。

表 2-18 . 水素クイックスタートプロジェクト

プロジェクト	研究内容	予算
HYPOGEN	炭素固定技術を活用し、化石燃料から水素と電力を生産するプラントを開発する。	13 億€
HYCOM	再生可能エネルギーからの発電、水素の発電利用（コージェネレーション）と水素利用自動車のデモンストレーションを通じた、水素社会の実現を図る。	15 億€

¹⁶ 欧州理事会（European Council）は、欧州連合メンバー国の元首・政府首脳から成る最高意思決定会議である。欧州サミットとも呼ばれる。

(8) 欧州連合の国際協力体制

- 欧州連合はこれまでに、米国、日本、カナダ、ロシア、中国、オーストラリア、ブラジルと、水素エネルギーに関する共同研究の枠組みを締結している。
- また欧州連合は、「水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE)」にも参画している。

(9) 第7次フレームワーク・プログラム

- EU では 2006 年から実施する「第7次フレームワーク・プログラム (FP7)」の進め方について検討を始めている (表 2-19)。

第7次フレームワーク・プログラムは、第6次フレームワーク・プログラムよりも研究資金を大幅に拡大することを予定している。

第7次フレームワーク・プログラムでは、新たに「欧州技術イニシアティブ (European Joint Technological Initiatives : JTI)」を設定する。欧州技術イニシアティブは、欧州水素・燃料電池テクノロジー・プラットフォームの「戦略的研究アジェンダ (Strategic Research Agenda)」と「展開戦略 (Deployment Strategy)」、また欧州発展イニシアティブの「水素クイックスタートプロジェクト」からの提案や個別プロジェクトも取り込んだ、包括的なものとする予定である。

表 2-19 . 第7次フレームワーク・プログラムの進め方

フレームワーク・プログラム (Framework Programme) に関する欧州委員会プロポーザル	2005年春
個別プログラム (Specific Programme) に関する欧州委員会プロポーザル	2005年秋
フレームワーク・プログラムと個別プログラムの内容決定	2006年夏
公募開始	2006年末

(10) エネルギー効率に関する研究(Well-to-Wheels Study)

- 欧州共同研究センターは EUCAR¹⁷と CONCAWE¹⁸と協力し、様々な自動車に関する Well-to-Wheel エネルギー効率と GHG 排出量の研究を行っている(表 2-20)。この研究は、研究総局 (DG Research) が支援している。
- 研究の概要と結果を表 2-20と図 2-13に示す。

表 2-20 . Well-to-Wheel エネルギー効率と GHG 排出量に関する研究

研究の概要	<ul style="list-style-type: none"> • 透明性と客観性を確保しつつ、コンセンサスベースでの Well-to-Wheel エネルギー効率と GHG 排出量の評価を確立する (2010 年以降の欧州における多様な自動車燃料とドライブトレインを想定) • 多様な燃料製造パスと、そのマクロ経済的コストを分析する。 • 研究成果は、すべての利害関係者にとって利用可能な形態とする。 • 対象車両には、共通的な性能を有するバーチャルな車両を想定する。 • 車両は EURO III / EURO IV 適合車とする。
成果	<ul style="list-style-type: none"> • エネルギー効率と GHG 排出量は、エネルギーパスに大きく依存する。 • 欧州の平均電源構成にもとで水素を電気分解で製造した場合の GHG の排出量は、天然ガスから水素を直接製造する場合よりも増加する。 • 非化石燃料 (バイオマス、風力、原子力) を使用した水素製造が、最も少ない GHG 排出量を実現する。 • 近い将来では、再生可能エネルギーの可能性は限定的でコスト高。 • 再生可能エネルギーは、自動車用燃料源とするのではなく、電力として直接使用するのが効率的である。 • 車載改質器による水素製造は、先端的なハイブリッドドライブトレインに比較して、GHG 排出量の点でのメリットが少ない。 • 車載改質技術は、既存インフラを活用した燃料電池自動車の技術開発に寄与する。 • 大規模な水素製造プラント (石炭・天然ガス) の場合は、二酸化炭素の隔離・固定技術を活用できる可能性がある。 • 水素輸送・貯蔵・利用には技術的な課題があり、現状ではコスト高である (高コスト性、複雑性、社会的受容性の問題は過小評価すべきではない)。

¹⁷ EUCAR = European Council for Automobile R&D。1994 年に欧州の主要自動車メーカーによって結成した共同研究開発組織。2001 年に発表されたポジションペーパーでは、「エネルギー・環境・資源」、「安全」、「モビリティ・交通」を主要なテーマと位置づけている。メンバーは、BMW Group、DaimlerChrysler、Fiat、Ford Europe、Opel、Porsche、PSA Peugeot-Citroen、Renault、Volkswagen Group、Volvo。 < www.acea.be/EucarInternet/start.html > 参照。

¹⁸ CONCAWE = Conservation of Clean Air and Water in Western Europe。1963 年に欧州の石油会社を中心となって、環境面での課題を研究するために結成された。現在は燃料、大気質、水質・土壌浄化、廃棄物、健康・安全などについても研究を実施。 < <http://www.concawe.be/> > 参照。

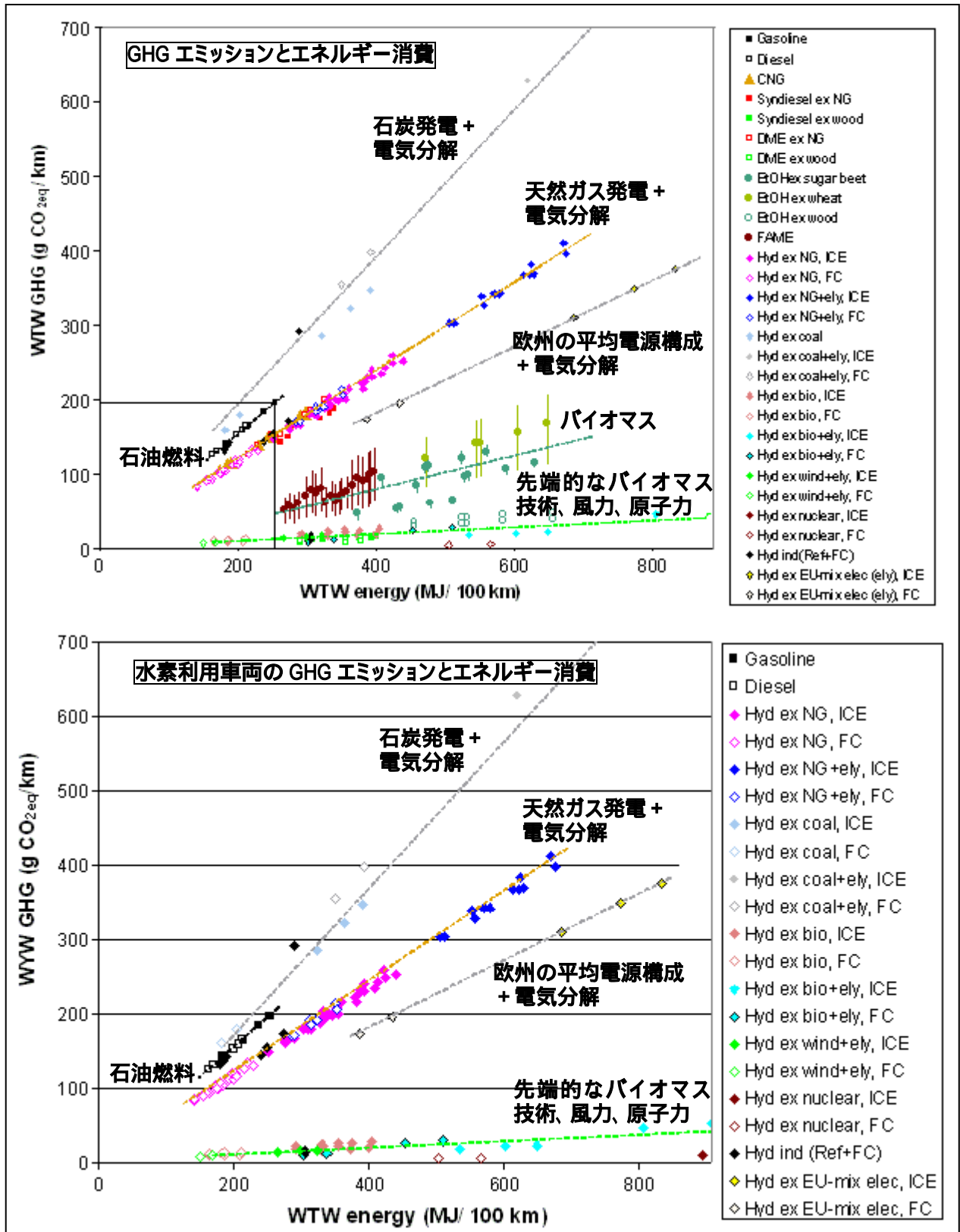


図 2-13 . さまざまな車両のエネルギー効率・GHG 排出量

- 水素を利用する自動車(水素内燃機関自動車、水素燃料電池自動車)に関しても、ドライブトレインの種類ごとに Well-to-Wheel エネルギー効率と GHG 排出量を計算している(図 2-15)。その試算結果を図 2-15に示す。

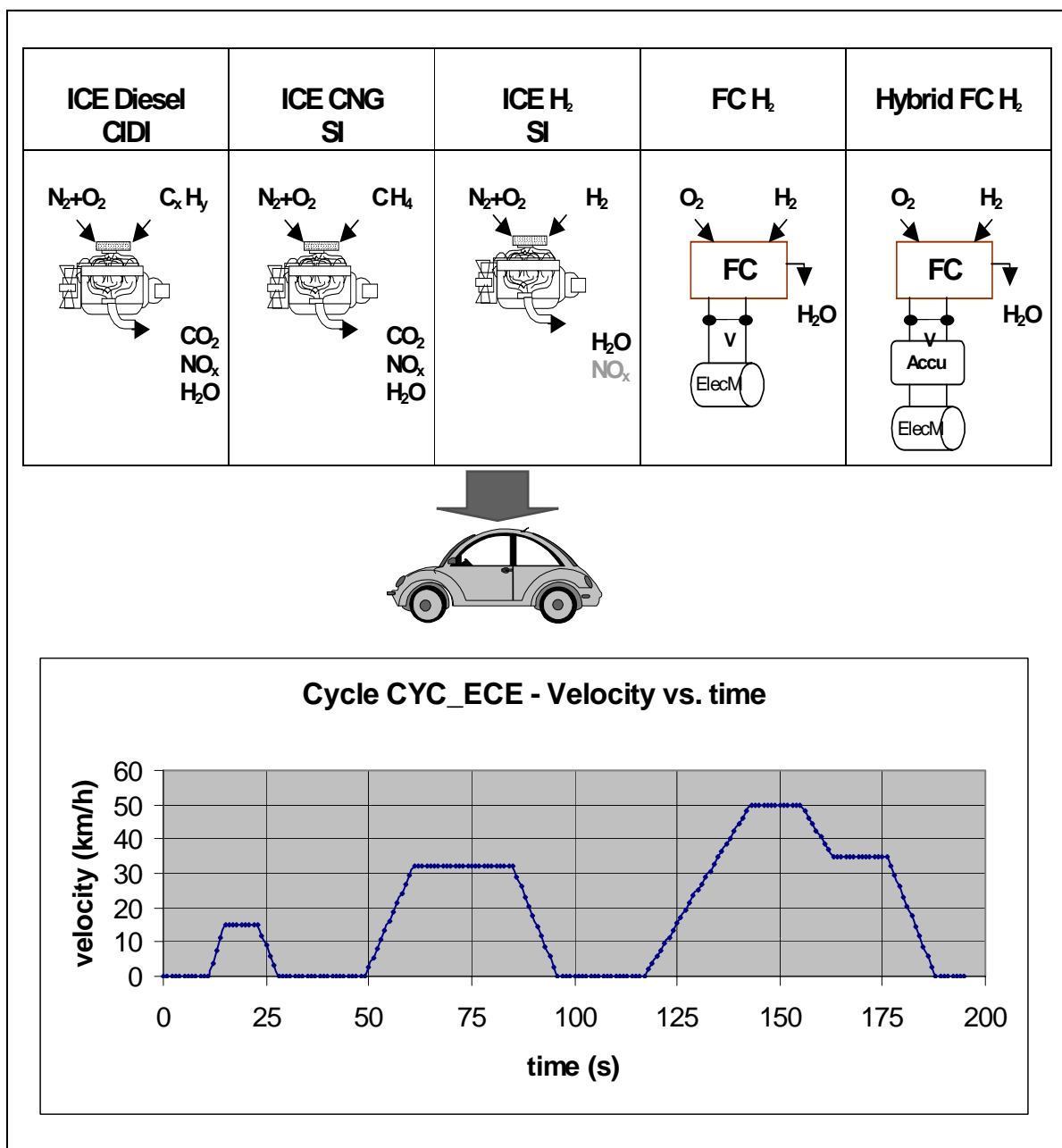


図 2-14 . 水素利用自動車のエネルギー効率と GHG 排出量の比較
(研究対象のドライブトレインとドライビングサイクル)

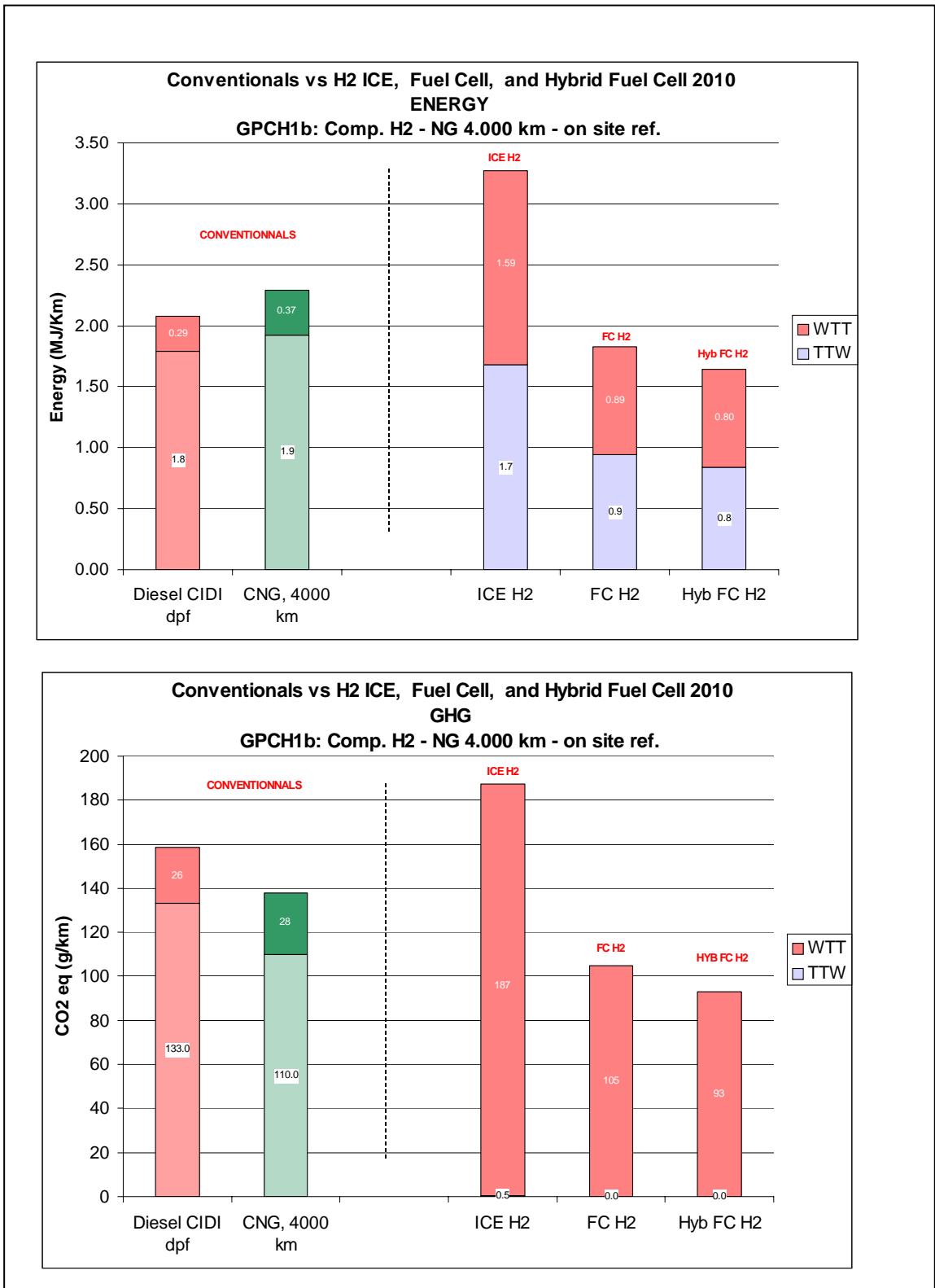


図 2-15 . 水素を利用する自動車のエネルギー効率と GHG 排出量の比較
 (エネルギー効率・GHG 排出量の計算結果)

表 2-21 . 水素を使用する自動車技術に関する分析結果

成 果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天然ガス由来水素を使用する場合、燃料電池自動車の場合のみ Well-to-Wheel エネルギー効率の向上と GHG 排出量の低減が達成可能。ただし、コスト高。 ・ 水素内燃機関自動車のエネルギー効率と GHG 排出量は、通常の内燃機関自動車や CNG 車よりも悪化する。 ・ 水素内燃機関自動車は、短期的には燃料電池自動車よりも安価で実現可能。ただし水素を天然ガスや石炭から製造しているかぎり、GHG 排出量はむしろ増大する。 <p>効率的な水素燃料電池自動車、炭素固定技術の開発が重要</p>
果	<p>【水素利用自動車に関する利点と問題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 利点：ローカルにはエミッションと汚染物質を発生しない。 <p>問題：- 技術的な課題</p> <ul style="list-style-type: none"> - コスト - 車両の入手可能性（生産） - 水素製造パスの選択
研究課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境面でのインパクト エミッション、効率、リサイクル、廃棄、有害物質 ・ 車載の水素貯蔵法 安全性確保（リーク、ダメージ、経年劣化）、素材、充填 ・ 車両安全性 乗員の保護、水素のリリース
継続研究事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギーパスの見直し、アップデートすべき項目の特定 ・ 燃料：JPG、酸素添加燃料、合成燃料、炭素隔離・固定、農残物由来バイオメタン、バイオマス（熱分解、黒液） ・ パワートレイン：ハイブリッド、天然ガス車、LPG 車、ガソリンダイレクトインジェクション車

- ・ この試算は、石油価格を 25 ドル/バレルに設定している。実際問題として、石油価格が 25～40 ドル/バレルの範囲では、分析結果に与える影響は少ないと考えられる。ただし石油価格が 50～60 ドル/バレルに上昇した場合は、試算結果が異なってくる可能性がある。

3. BP

訪問先	BP (旧 British Petroleum) 住所：Chertsey Rd., Sunbury-on-Thames, Middlesex, TW16 7LN, UK
訪問日時	2004年10月26日(火) 9:00～12:00
対応者	Dr. Michael Jones General Manager Hydrogen
組織の概要	英蘭系石油メジャー。再生可能エネルギーや水素エネルギーの展開に積極的に取り組んでいる。
調査項目	・ 水素エネルギー・燃料電池に対する見方 ・ 水素製造及び水素ステーション実証試験への取組み ・ FCV デモンストレーション参画の現状

(1) BP の概要

- BP は世界第 2 位¹⁹の石油・天然ガスメジャーである。
2004 年度売上は 2326 億ドル、従業員数 115,000 人。
2004 年の業績で、BP は石油部門の売上（生産）では ExxonMobil を越すと見られる。
- 1998 年 12 月に、英 BP (British Petroleum) と米 Amoco が合併し、BP-Amoco となった。
合併時の株式時価総額は 1460 億ドル。
1999 年末に米国 ARCO (Atlantic Richfield Co.) の買収を決め、2000 年 9 月にほぼ買収を完了した。BP では、吸収合併による経費削減効果（経費削減効果）を約十億ドルと見込んでいる。
2000 年 7 月から名称を再び「BP」に戻し、米国で「アモコ」ブランドで展開するガソリンスタンドも「BP」ブランドに統一することにした。同時にコーポレートイメージを一新し、緑色の太陽「ヘリオス」を企業ロゴに採用した。

¹⁹ 世界の石油・天然ガスメジャーの順位は、ExxonMobil (米)、BP (英)、Royal Dutch/Shell Group (蘭英)、Total (仏)、ChevronTexaco (米)、ENI (伊)、ConocoPhillips (米)、PetroChina (中)、China Petroleum & Chemical (中)、Gazprom (露) である (2004 年、市場価値ベース)。
< <http://www.forbes.com/2004/03/24/04f2000land.html> > 参照。

(2) BP のクリーンエネルギーに対する取り組み

- BP は、かなり早い時点から地球温暖化対策の必要性を表明している。

BP の前会長の John Browne²⁰は地球温暖化に対して強い関心を持っており、1990 年代から温暖化防止に関する科学者の研究を支援してきた。

BP では 1997 年に、社内における温暖化ガスの削減（2010 年までに 1990 年比で 10%の削減）の方針を打ち出している²¹。
- BP は水素エネルギーの開発に力を入れている。

BP の役割は、顧客にクリーンな燃料を供給することである。

BP はエンドユーズにおける温暖化ガスの排出（例 .自動車からの排気ガス）に対しても責任を有していると認識している。
- BP は水素研究の一環として、炭素隔離や炭素固定の研究も実施している。

北アフリカやインドネシアの油田において、油田から発生する温暖化ガス（メタン）を再度油田に戻すプロジェクトを実施している。

インドネシアの LNG プラント（タンゲー）²²においても、CO₂の分離を行っている。
- BP は米プリンストン大学と共同で炭素分離・固定の研究（Carbon Mitigation Initiative）を行っている。

この研究では、炭素分離技術の実用化と、炭素固定方法の長期的影響（万年単位での影響）の研究を実施している²³。

研究期間は 10 年間で、研究資金の総額は 2000 万ドルである。BP が 1500 万ドル、Ford が 500 万ドルの研究資金を提供している。

地球温暖化防止対策に関する石油会社と大学の共同研究では、Exxon とスタンフォード大学の Global Climate and Energy Project (GCEP)²⁴もあるが、BP = プリンストン大学のほうが先に始められたものである。

²⁰ 最近では John Browne は、Foreign Affairs 誌に「Beyond Kyoto」という論文を寄せ（July/August 2004）、温室効果ガスの削減の必要性和企業の積極的な行動を呼びかけている。（邦訳『京都合意を超えて 温暖化対策と企業、政府の役割』、論座 2004 年 9 月号）

²¹ < www.cleanerandgreener.org/environment/transactions.htm >

²² BP のタンゲーLNG プロジェクトはインドネシア政府との交渉が難航していたが、2005 年 3 月 7 日に最終合意に達した。BP が権益の 37%を有し、中国海洋石油や日本企業も参画する。総投資額は 50 億ドル。2008 年後半に生産を開始、最大 800 万トン/年の LNG を中国、韓国、北米に出荷する。< <http://www.nikkei.co.jp/news/kaigai/media/20050309NTE2IFT0108032005.html> > 参照。

²³ < <http://www.princeton.edu/~cmi/> > 参照。

²⁴ < <http://gcep.stanford.edu/index.html> > 参照。

(3) BP の水素エネルギー開発

BP における水素エネルギー開発

- BP においては、水素エネルギーは再生エネルギー部門が担当している。

BP は太陽電池や風力エネルギーの研究開発も行っている。

太陽電池では、BP は世界第三位の生産シェアを誇っている。太陽電池市場は年率 25% で拡大しているが、BP の生産量は 40% の拡大を示した。ビジネスとしても利益を生み出せるまでに成長している。

水素はさまざまなエネルギーから生産できるが、太陽電池や風力エネルギーで生産した水素は高コストになり、顧客に安価に燃料を提供するという BP の方針に反する。太陽電池はあくまでも家庭用電力として、風力は上流（卸電力）として活用するのが好ましい。

- 水素は将来のエネルギー商品であり、BP は石油と同じように水素も顧客に提供したいと考えている。

BP のロンドンオフィスの役割は、水素ビジネスにおける BP のコンピテンスを見極め、BP グループ内での理解を促進し、将来のビジネスにおける成功のために、さまざまな機会を活用していくことである。

自動車メーカーとでは、今後も Ford と協力していきたい。

- 現在でも BP は、日量 5000 トンの水素を世界中で生産している（図 3-1）。

BP は世界中で、その地域の条件に適した水素の製造方法を研究している。

現状では、分散的に水素を生産するよりも、プラントのような集中形態で水素を生産（天然ガス改質）することが適している。



図 3-1 . BP の水素生産拠点

- 水素はさまざまな原料から生産でき、また生産方法や輸送方法、貯蔵方法も多様である。

水素の生産にはさまざまな経路が考えられるので、BP は技術を固定することはせず、複数の技術をミックス（ポートフォリオ化）して研究開発を行っている。

基本的に水素の生産～利用の経路（図 3-2）は、導入する国、都市、地域の環境エネルギー事情や社会構造・文化的要因に適合した経路を採用すべきである。

例．中国では石炭を、フランスでは原子力による電力を使用して水素を生産することが考えられる。

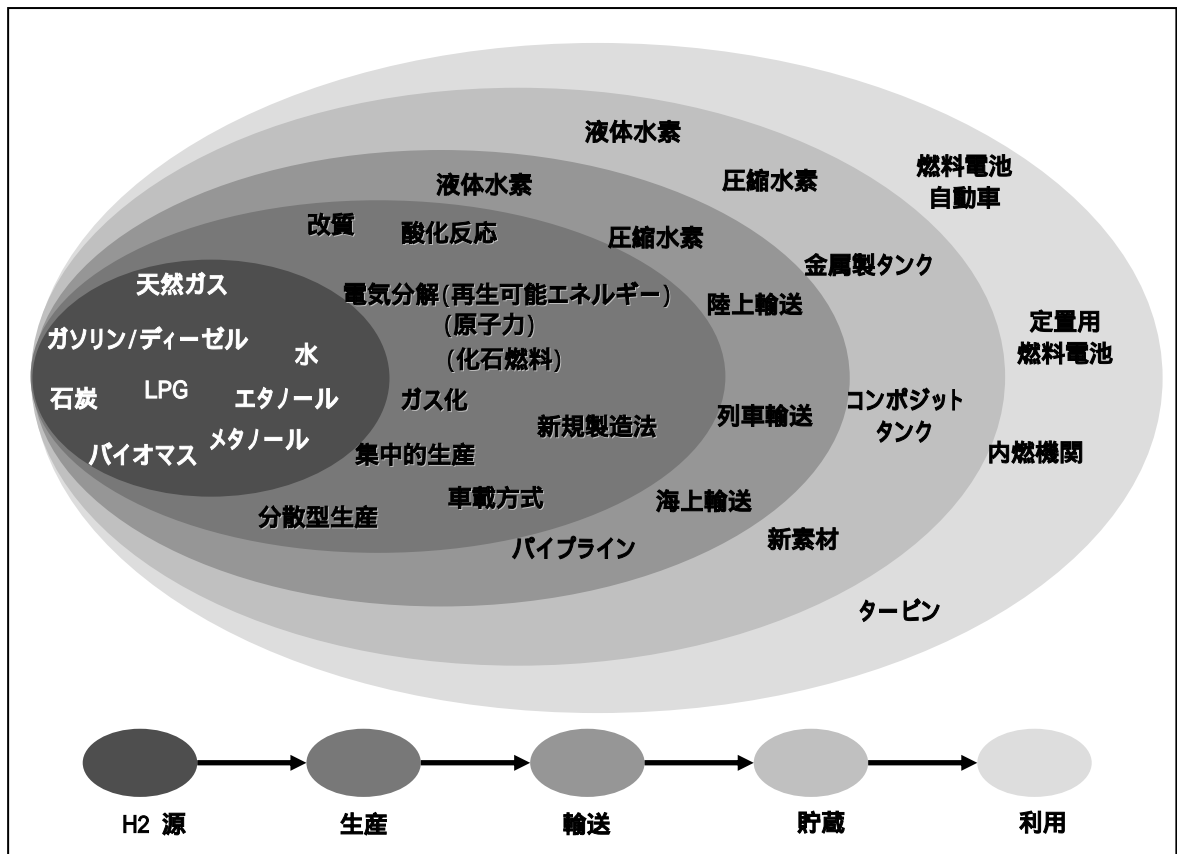


図 3-2 . 水素の生産から利用に至る経路

BP の水素関連プロジェクト

- BP が現在参画している水素関連のプロジェクトを図 3-3に示す。

BP では、世界各地の水素関連のプロジェクトに参画し、実施（doing）を通じて水素について学んで（learning）いる。その結果、

- * 順ずるべき基準・標準の不備
 - * 市民社会の受容度の重要性
 - * 教育・啓蒙の必要
- が明らかになった。

BP はカリフォルニア燃料電池パートナーシップにも参画している。

2004 年 10 月にロサンゼルス空港(LAX)に水素ステーションを新設した。開所式にはシュワルツネッカー カリフォルニア州知事も出席した。

まもなくデトロイトに、DOE のデモンストレーションプログラムの一環として水素ステーションを設置する。

BP は中国政府と覚書（Memorandum of Agreement）を結び、3 年以内に北京と上海に水素ステーションを建設することになった。

シンガポールにも水素ステーションを 1 基建設した²⁵。シンガポールは東京と同じように密集した都市なので、デモンストレーションの結果は日本にも参考になるだろう。

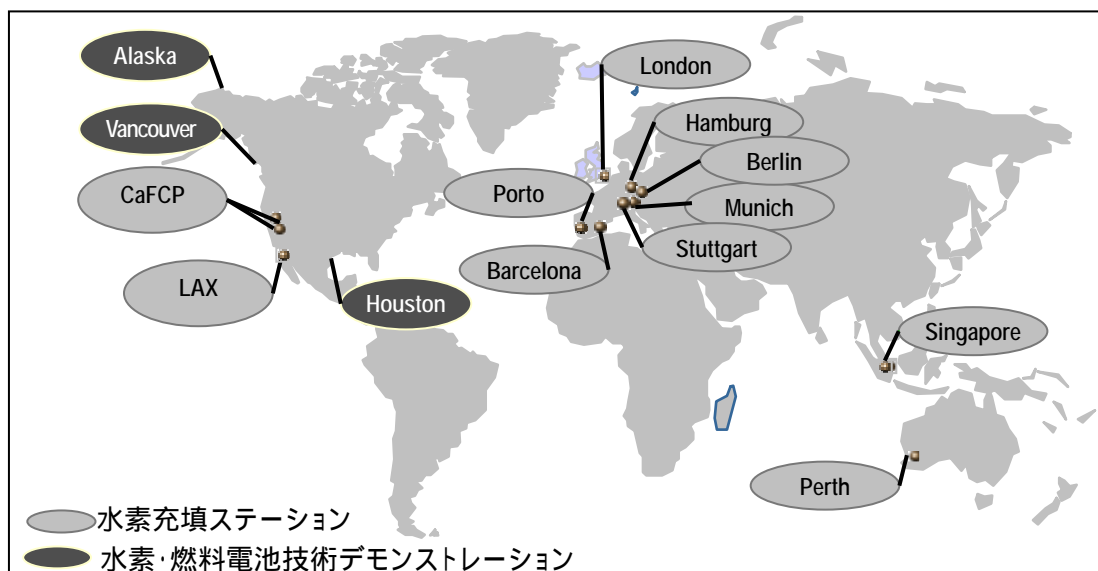


図 3-3 . BP が参画している世界の水素関連プロジェクト

²⁵ Sinergy（Singapore Initiative in Energy Technology）プロジェクトの一環。このプロジェクトはシンガポール政府経済開発局（Economic Development Board EDB）が実施しているデモンストレーション・プロジェクトで、DaimlerChrysler が F-Cell 6 台を提供する予定。

- BP の水素ステーションの例を図 3-4と表 3-1に示す。

BP では、日本の JHFC のように水素ステーションを新設するのではなく、BP の資産を活用することを考えて、既存ガソリンスタンドに水素設備を追加設置する方針をとっている。

ロンドンでは水素タンクは地下に設置しているが、ロサンゼルスの水素ステーションでは、キャノピー上部に設置している。これは、水素は空気よりも軽いため、リーク時に安全に拡散することを考えたためである。なお、アルゼンチンでは通常の CNG タンクもキャノピー上部に設置している。このように、水素ステーションも各地の実情に合わせたデザインが必要である。

BP のロンドンの水素ステーションでは、BP は水素タンクの地下設置を提案したが、許認可当局が反対したため地下設置をあきらめた。しかし Shell が最近設置した水素ステーション（ワシントン DC）では地下水素タンク方式を採用しており、BP の主張が裏付けられたことになる。

- 今後水素ステーションに関する研究の優先度は、ステーションの「デザイン・設置」から「運用」へと変わっていく。

特に、ステーション運用上の安全性の確保が重要である。

BP は水素ステーションの安全性に関して、さまざまな国・機関との情報交換を望んでいる。特に DOE や EU、日本との情報交換を望んでいる。

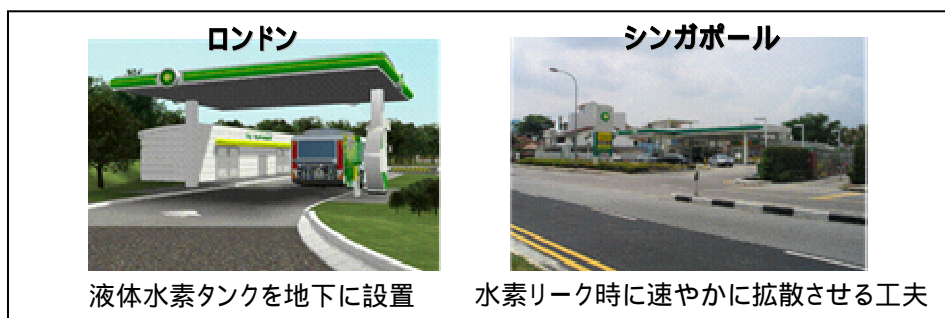


図 3-4 . 水素ステーションの例

表 3-1 . 各地のデモンストレーションサイトにおける水素の製造方法

水素製造方法	ステーション設置場所
集中生産（気体水素をトラック輸送）	英国、ポルトガル、シンガポール
水の電気分解（オンサイト）	ドイツ、スペイン
天然ガスの改質（オンサイト）	ミュンヘン、シュトゥットガルト
製油所のオフガスをトラックで輸送	パース（オーストラリア）

水素の生産コスト試算

- BP の試算した生産コストを図 3-5に示す。

水素の生産では、集中的なプラントにおける天然ガス改質が最もコスト的に有利である。その場合、水素はガソリンと十分に競合できるレベルになる。

この試算は石油価格を 20～21 ドル/バレルと仮定して試算したので、現在のよ様な 50 ドル/バレルの状況では、水素はさらに有利であろう。理論的には、水素プラントの稼働率をあげれば、水素の競争力はさらに高まる。

BP は、顧客に安価なエネルギーを提供することを目指しており、水素は安価なエネルギーになりうると考えている。しかし現状では水素の供給インフラが不在のために、水素が高価なものになってしまう(トラックで高圧水素を 500 マイル輸送した場合のコストは 60～70 ドル/GJ)。

- 電気分解による水素生産(再生可能エネルギーによる水素製造)はまだコスト高であるが、将来的には 2 セント/kWh レベルにまで低減させたい。

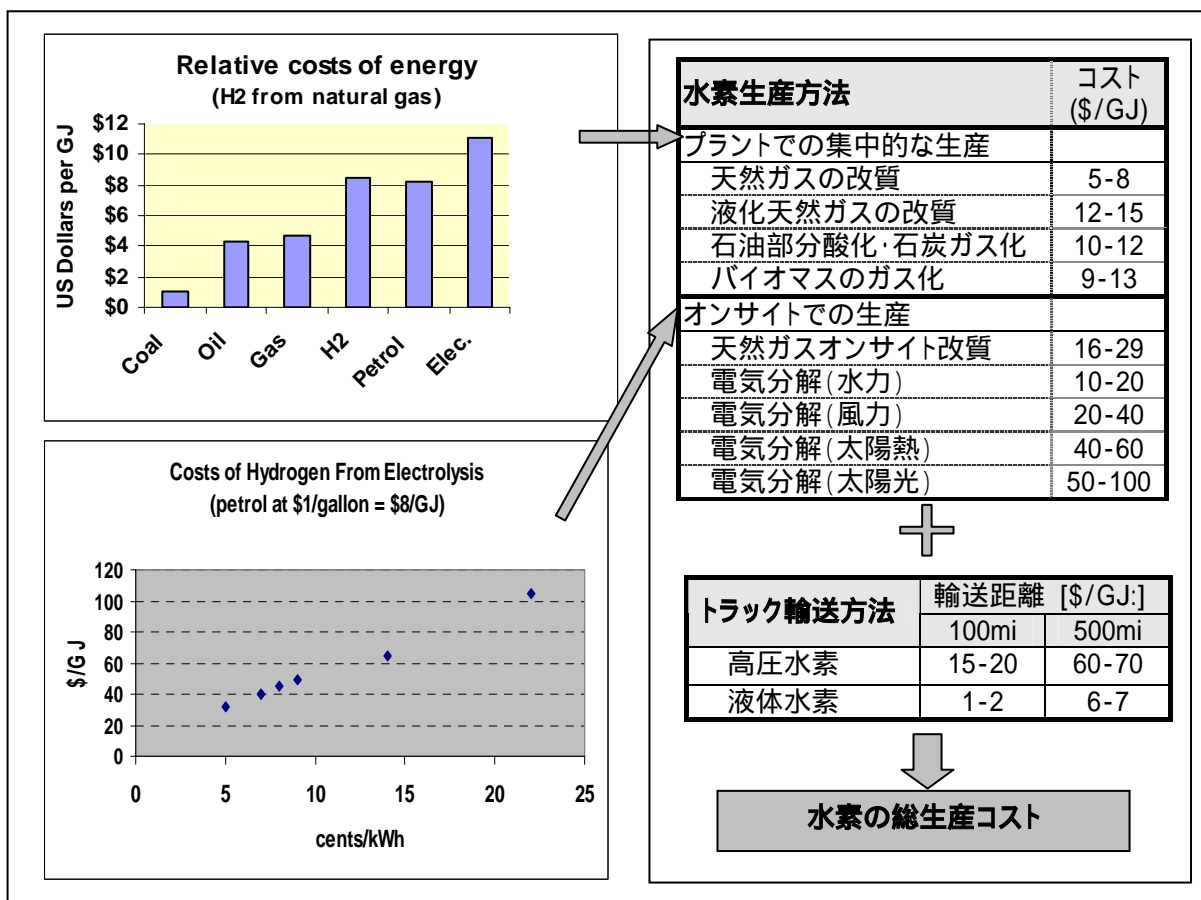


図 3-5 . 水素の生産コスト (注: 課税前、資本回収を含む)

(4) BP の水素貯蔵に対する意見

- 水素の車載方法では、高圧タンク、カーボン吸着、吸蔵合金、化学的貯蔵などが考えられている。

現状ではどの方法が最も優れているか判断がつかないため、あらゆる可能性を探りたい。

液体水素

液体水素は、液化過程と車載冷却貯蔵にエネルギーを消費してしまうので、好ましくない。液化過程では、現状でも 30% のエネルギーロスが発生するが、これは将来でも 25% を下回ることはないであろう。効率のよい磁気冷却も研究されているが、高コストなのが問題である。

圧縮水素

圧縮水素では、特に自動車メーカーは 700 気圧システムに期待しているようであるが、圧力が 350 気圧システムの 2 倍になっても、水素積載量が 2 倍になるわけではない。結局コスト高なシステムになってしまうと予想される。

- 顧客は高価なエネルギーにはお金を払わない。エネルギー供給会社である BP は安価なエネルギーの供給を優先して考えるが、自動車メーカーは自動車のパフォーマンスを優先しようとする。両者が納得できる水素システムを見出すためにダイアログを続けている。

(5) 水素の仕様・標準に関する意見

- 水素の純度は、水素製造コストやインフラコストに直接影響するので、非常に重要である。

燃料電池バスデモンストレーション（車両：DaimlerChrysler、スタック：Ballard）のオペレーションにおいて、水分含有量が 5 ppm 以下が望ましいとの希望が寄せられている（断熱膨張による水分の氷結の防止）。その値が適当なのかどうか、今後も他のメーカーと詰めていきたい。

パーティクルの問題も深刻である。メーカーは 2 ミクロンのフィルタをつけることを提案しているが、急速充填時の圧力とスピードを考えると、2 ミクロンのフィルタはほとんど意味がない。

過剰なスペックにするのではなく、車両システムの寿命にあわせた適当なところに設定する必要がある。

(6) 水素に関する安全性の確保

水素に関する安全性確保のアプローチ

- 水素供給に安全性確保において、BP はリーダーシップを発揮していきたい。これまで BP は、カリフォルニア燃料電池パートナーシップなどのプログラムに参加し、安全手段の確保を学んできた（表 3-2）。

特に水素ステーションでは、まだ基準・標準といえるものがないことが問題である。他の高圧ガスの基準・標準を参考に、水素ステーションの安全基準を設定している。

あらゆるシステムは、設計当初は安全性が十分に考慮されているが、運用過程でシステムに変更が起こったときに安全リスクが高まる（例：水素のリーク対策がされている水素ステーションのキャノピーに、新たにエアコンを取り付ける場合）。このような想定外のリスク増大化に十分留意する必要がある。

カリフォルニア燃料電池パートナーシップが作成した Emergency Response Plan は大変に参考になった。同プランは、問題が発生したときに、誰が何をするか、誰に連絡するかが記されており、实际的である。

過去にスウェーデン エーテボリで水素ステーションから水素漏れが発生した時に、当局は付近の住民を緊急退避させようとした。BP はその必要がないことを説明したが、このようなことを防ぐためにも、地元の警察・消防局とのコミュニケーションは欠かせない。

表 3-2 . 水素に関する安全性確保のアプローチ

デザイン時の安全性	<ul style="list-style-type: none">世界中の基準・標準を参考に、地域に合わせた安全基準を設定定量的な事前のリスク分析（HAZOP）BP のベストプラクティスをその地域の設備設計業者・コンサルタントと共有
ステーション建設時の安全性	<ul style="list-style-type: none">建設作業上の安全確保安全プランの策定安全性の第三者評価
運用時の安全性	<ul style="list-style-type: none">システム変更時の安全性の確保作業安全リスク評価の実施緊急対策プランの策定トレーニング

定量的リスク分析 (HAZOP : Hazard and Operability Study)

- BP は、通常のガソリンスタンド建設で実施するリスク分析²⁶を応用し、水素ステーション建設におけるリスク分析を行っている (図 3-6)。

水素漏れのリスク分析では、市民への被害を死亡率換算 1×10^{-7} 人/年以下²⁷ になるようにシステムデザイン面で工夫をしている。

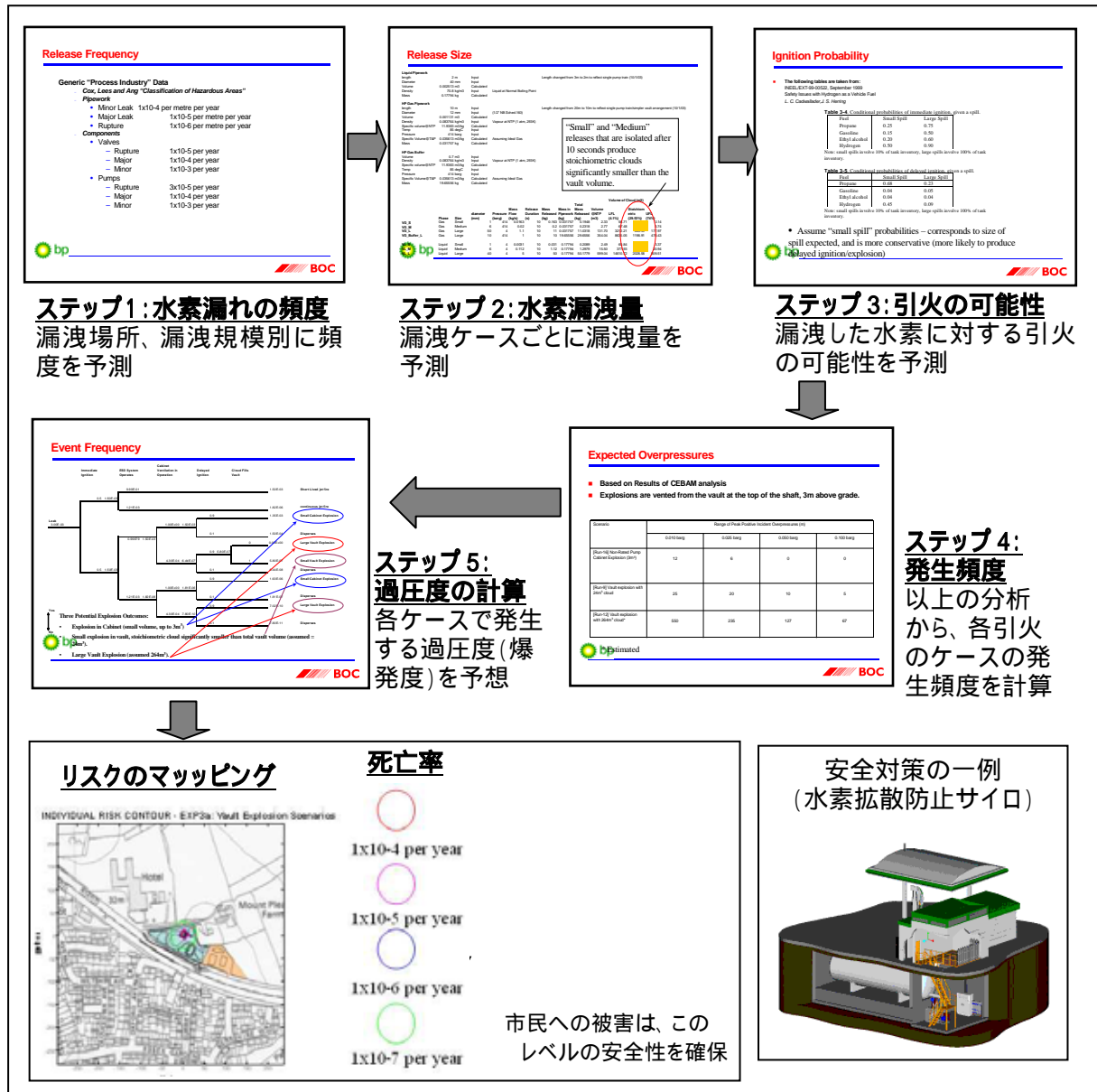


図 3-6 . 定量的リスク分析 (HAZOP) の例

²⁶ 通常の手順では、まず BP がリスク分析結果を英国保険安全執行部 (Health&Safety Executive) に提出し、保険安全執行部の意見を参考に設計修正を行ったうえで、ステーション建設を行う。

²⁷ この死亡率設定値は BP の基準であって、英国政府が特定の基準を設けているわけではない。

(7) 今後の課題

- BP が考える、燃料電池自動車普及にかかわる今後の課題を表 3-3に示す。

顧客はチョイスが必要である。現在でも英国では、市民はガソリン自動車とCNG 自動車を比較の上、購入する自動車を決定できる（結果的にガソリン自動車が選択されることが多いが、それは選択の上での決定であり、問題ではない）。燃料電池自動車も、ガソリン自動車と購入時の比較対象にならなければならない。

BP では、顧客に安価に水素燃料を提供したいと考えている（目標は税抜きで 1.5 ドル/ガロン = 0.4 ドル/L）

市場の需要が拡大すれば、オンサイトの水素製造も可能となる。

普及支援のためには、政府の政策も必要である。一例として英国に導入されている社用車税（Company Car Taxation）の税率は、従来はエンジンの大きさに決められていたが、2003 年 4 月から平均燃費（二酸化炭素排出量）決定されるように変更された（燃費の良い車両を多く所有している会社の税金は低くなる）。このように、低エミッションと高エネルギー効率と密接にリンクした政策的誘導が燃料電池自動車にも望まれる。またインフラ整備における政府の役割は大きい。

市民の水素に対する受容度を改善するために、教育や啓蒙活動は今後とも重要である。

表 3-3 . 燃料電池自動車に関する今後の課題

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• 開発中の技術に見合った需要の創出• 自動車メーカーによる実用レベルの燃料電池自動車開発と、その生産へのコミットメント• 政策的支援（インセンティブ、インフラ整備）• 社会的受容のための教育・啓蒙 |
|--|

(8) ディスカッション

- 安全性確保は燃料電池自動車に関わるあらゆる人の共通の関心事である。水素ステーション（特に電気分解式水素ステーション）の経験や知見について、日本サイドとの意見交換・情報交換を行いたい。

IPHE (International Partnership for the Hydrogen Economy : 水素経済のための国際パートナーシップ) の枠組みもよいが、BP としてはもっと実務レベルで意見交換をさせていただきたい。

従来より BP は、水素に関する国際的な情報交換が必要だと提案してきたが、Exxon はその提案を拡張して IPHE の枠組みを作った。それ自体は大いに評価できるが、実務的とはいえない難しい組織になっていると思われる。

- 水素内燃自動車 (Hydrogen ICE) は、現状では車両効率が悪い (30% 程度) が、技術革新 (例 . スーパーチャージャー) によって、エネルギー効率は改善すると思う。また初期の水素需要を喚起するためにも、水素内燃自動車が果たす役割は大きいと思われる。BP としては、水素内燃自動車も将来のオプションのひとつとして考えている。
- 水素の価格について :

原油 (ガソリン) 価格と天然ガス価格は確かにリンクしており、熱量ベースではほぼ一致する。しかし生産コストを加えると、ガソリンの方が高くなる。

現状における水素のコスト上の問題は、上流 (製造) 段階にあるのではなく、下流 (供給) 段階にある。需要はいただが、将来的には水素パイプラインも十分考えられる。

水素インフラの整備では、短中期的視野ではなく、長期的な視野が必要である。日本がシベリアから天然ガスをパイプラインで輸入するのは短長期的には正しい選択であるが、長期的には、シベリアで天然ガスを改質 (炭素分離) し、水素のみを日本にもってこることも十分考えられる。

BP では水素パイプラインの可能性の評価のために、水素による劣化の問題の研究も実施している。

- 現在 BP では、改質水素の研究を GE と共同で行っている。

BP は東京ガス、大阪ガス、Praxair、Air Products などとも意見交換をしているが、改質の共同研究は GE とのみ行っている。
- 水素のスペックに対する要求は、水素 (燃料電池自動車) 関連のプロジェクトに参画している他の企業から得られたものである (特に DaimlerChrysler と Ballard) 。

- 水素（燃料電池自動車）デモンストレーションについて：

DOE や EU、日本政府はさまざまなデモンストレーションに資金を提供しているが、BP は水素のインフラ整備・研究開発を、基本的に私企業としての「将来投資」の観点から行っている。

各地の燃料電池自動車デモンストレーションでは、とかく燃料電池自動車の台数ばかりが注目されるが、将来のインフラ整備の観点からいえば、水素供給量の方を問題にすべきである。

- 定置用燃料電池に関して：

欧州においては、天然ガス成分に地域特性があることに注意する必要がある。オランダに供給されている天然ガスは窒素分が多いので、燃料電池スタックへの影響を考慮する必要がある。

欧州のコージェネレーションは比較的規模が大きい（都市やビジネスパーク向け）。分散電源（コージェネレーション）は、燃料電池の初期市場にはならないと思われる。

- 水素貯蔵技術は、単に貯蔵量だけではなく、経済原則に照らし合わせて議論する必要がある。

700 気圧システムは、インフラや設備投資を考えると割に合わないのではないか。むしろ現在の 350 気圧システムを維持しつつ、水素ステーションを数多く設置するほうが合理的なのではないか。

GPS などと組み合わせて、水素量が減ったときに近くの水素ステーションを案内するシステムも十分考えられる。

- 燃料電池もかつての携帯電話のように、一気に普及する可能性があるのではないか。

かつての携帯電話は重くてかさばり、到底市場性はないと思われたが、今ではカンボジアの小学生も持っている。

ジェットスキーも、高価で使用できる場所が限られているにも関わらず、市場が存在する。重要なことは、顧客にチョイスがあることである。

4. DOE

訪問先	U.S. Department of Energy (米国エネルギー省) 住所：1000 Independence Ave., SW, Washington DC, USA
訪問日時	2004年10月27日(水) 13:30~16:30
対応者	Edward J. Wall Program Manager, Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies Pete Devlin Hydrogen Production Team Leader Dr. Phyllis Genther Yoshida Senior Advisor, Technology and Policy Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies John Garbak Office of Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program Valri Lightner Technology Development Manager Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Christopher B. Bordeaux IPHE Executive Secretariat A. Bouza Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Lee A. Slezak Manager, Advanced Vehicle Technology, Analysis & Evaluation Team Office of FreedomCAR and Vehicle Technologies (総計10名が出席)
組織の概要	ブッシュ政権の水素燃料イニシアティブを受け、FreedomCAR プログラム、Hydrogen Fuel Initiatives プログラムを実施し、FCV の開発を支援している。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ FreedomCAR & Fuel プログラムの現状と今後の見通し ・ 水素製造に関するプログラムとコストの見通し ・ DOE の FCV フリートプログラムの現状

(1) 米国のエネルギー情勢

- 現在石油価格は、1970年の石油危機以来の高値を記録している。

高値の原因は、中東の地政学的リスク、メキシコ湾での原油生産の落ち込み、さらに中国などの途上国の旺盛な石油需要である。

「End of Cheap Oil」が現実のものになりつつある。



図 4-1 . 米国のガソリン、ディーゼル価格の高騰

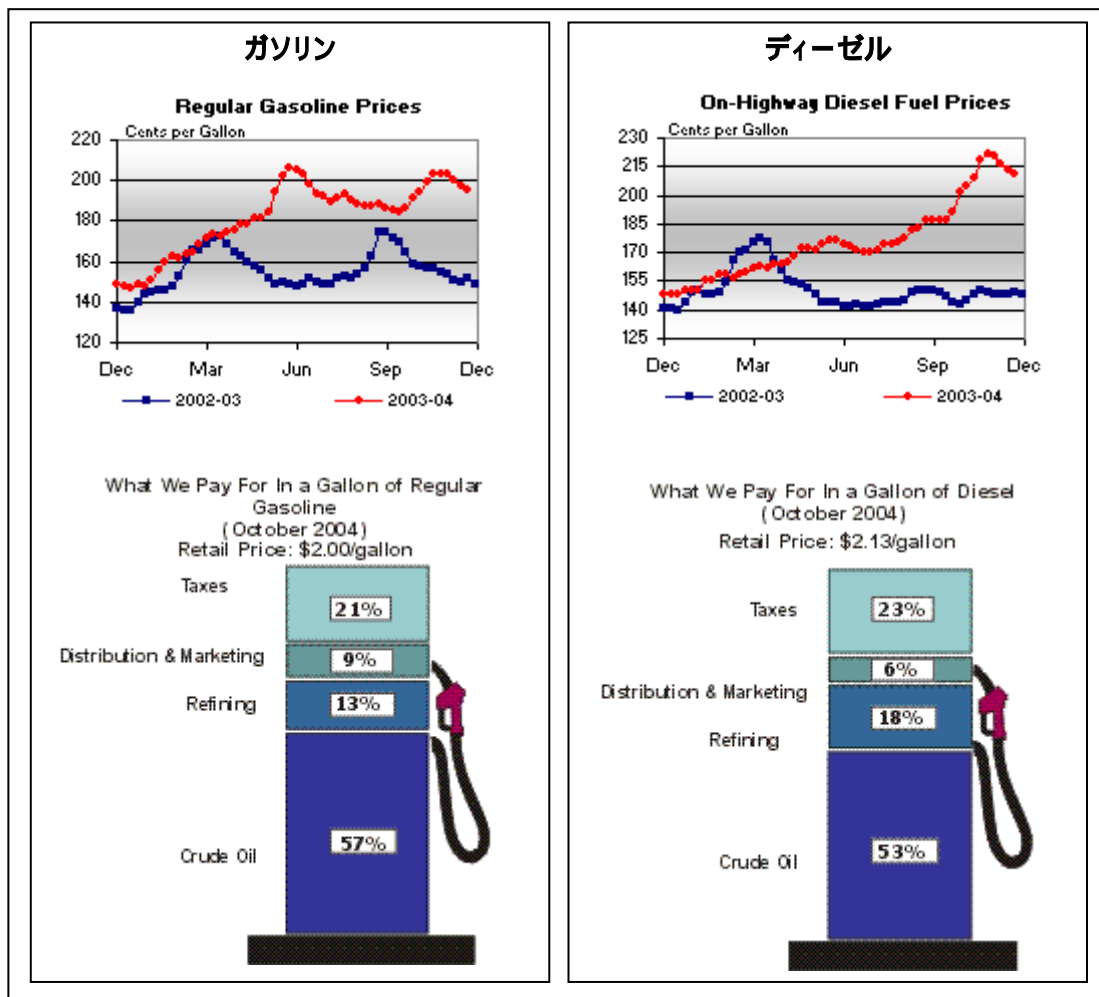


図 4-2 . 米国のガソリン、ディーゼル価格の動き

出所：DOE、Energy Information Administration

< <http://tonto.eia.doe.gov/oog/info/gdu/gasdiesel.asp> > (2004年11月)

(2) DOE/EERE の概要

- DOE の組織は、大きく二つに分かれている。
National Nuclear Security / Administrator for National Nuclear Security Administration
 (軍事関連エネルギー (核戦略) を管轄)
Energy, Science & Environment
 (非軍事関連エネルギーを管轄)
- Energy, Science & Environment 傘下には 9 つの部局があり、水素関連のプログラムや自動車用燃料電池プログラムは、Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE : エネルギー効率・再生可能エネルギー局) の管轄になる (図 4-3)²⁸。

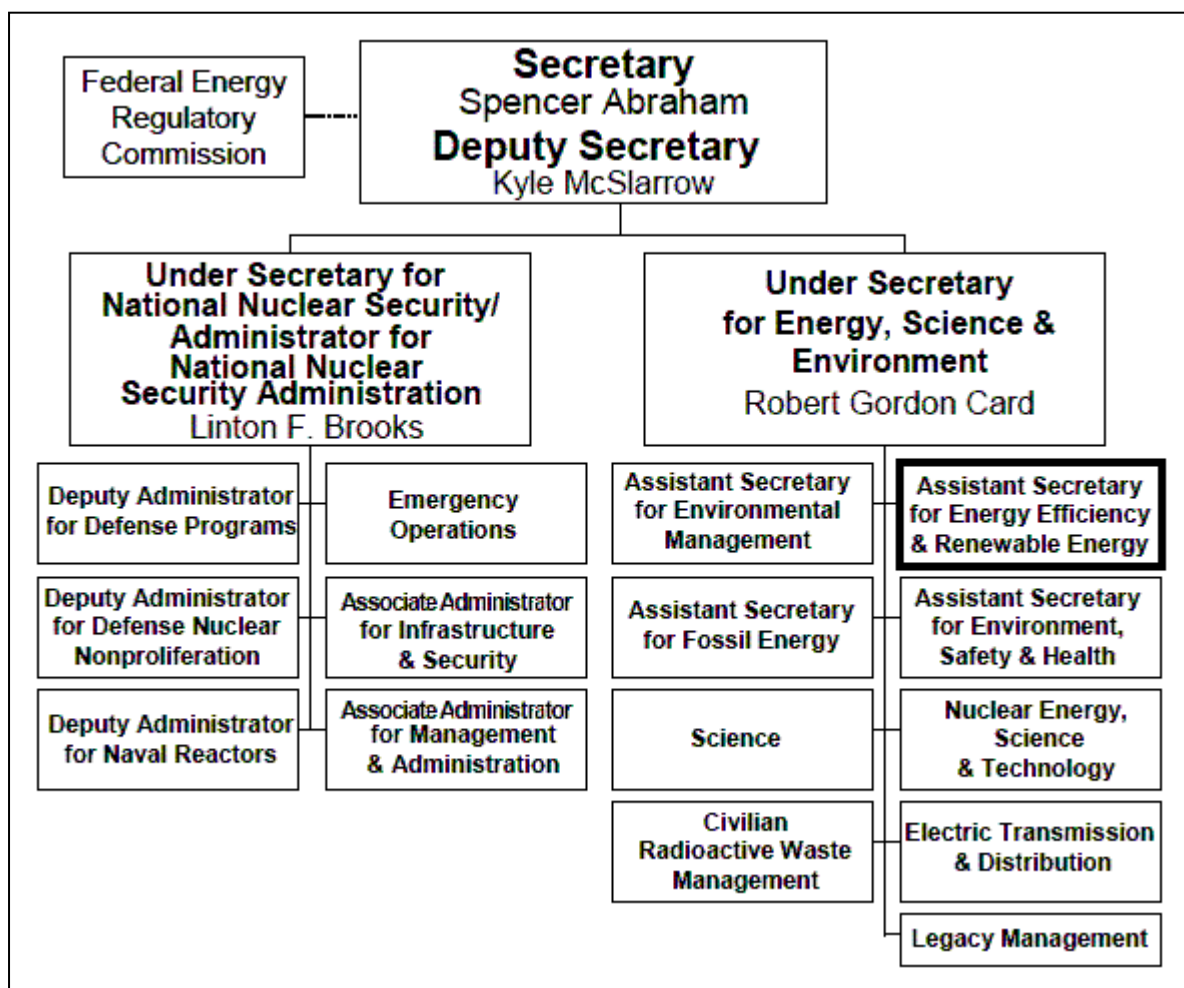


図 4-3 . DOE の組織

出所 : DOE ホームページ < <http://www.energy.gov/> >

²⁸ 水素関連のプログラムの一部や定置用燃料電池プログラムは、Office of Fossil Energy (FE : 化石エネルギー局) も管轄している。

- EERE（エネルギー効率・再生可能エネルギー局）の組織とプログラム・オフィスの構成を図 4-4と表 4-1に示す。

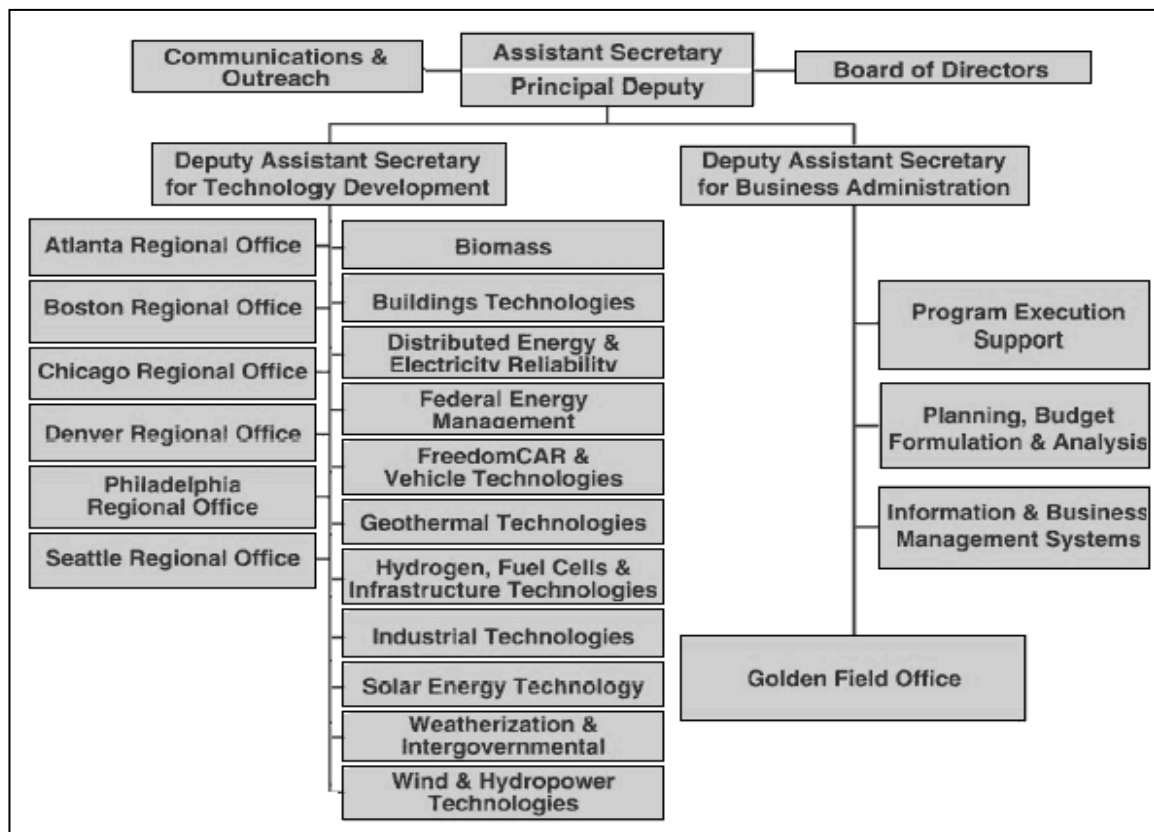


図 4-4 . EERE の組織

出所：EERE ホームページ < <http://www.eere.doe.gov/> >

表 4-1 . EERE のプログラム・オフィスの構成

バイオマス プログラム	<i>Biomass Program</i>
ビル関連技術プログラム	<i>Building Technologies Program</i>
分散エネルギー・電力信頼性プログラム	<i>Distributed Energy & Electricity Reliability Program</i>
連邦エネルギー・マネジメント プログラム	<i>Federal Energy Management Program</i>
FreedomCAR・車両技術プログラム	<i>FreedomCAR & Vehicle Technologies Program</i>
地熱技術・プログラム	<i>Geothermal Technologies Program</i>
水素・燃料電池・インフラストラクチャ技術プログラム	<i>Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program</i>
産業技術プログラム	<i>Industrial Technologies Program</i>
ソーラーエネルギー技術プログラム	<i>Solar Energy Technology Program</i>
気候・政府間プログラム	<i>Weatherization & Intergovernmental Program</i>
風力・水力技術プログラム	<i>Wind & Hydropower Technologies Program</i>

出所：EERE ホームページ < <http://www.eere.doe.gov/> >

(3) FreedomCAR & Fuel パートナーシップ

- FreedomCAR パートナーシップは FCV の研究開発のための官民パートナーシップ²⁹であり、Hydrogen Fuel パートナーシップは、主に水素エネルギーの研究開発を目的とした官民パートナーシップである（表 4-2）。
- FreedomCAR & Fuel パートナーシップの組織図を図 4-5に示す。

表 4-2 . FreedomCAR & Fuel パートナーシップの経緯

2001年5月	チェイニー副大統領を議長とする「国家エネルギー政策策定グループ (National Energy Policy Development Group)」が、ブッシュ大統領に「国家エネルギー政策 (National Energy Policy : NEP)」を提出。
2002年1月	エイブラハム DOE 長官がビッグスリー首脳とともに、「FreedomCAR パートナーシップ」を発表。
2003年1月	ブッシュ大統領が一般教書演説で、水素自動車の研究開発に今後 12 億ドルの研究資金を投じると発表 ³⁰ 。
2003年2月	ブッシュ大統領が「Hydrogen Fuel Initiative」を発表。これが「Hydrogen Fuel パートナーシップ」に発展。

出所：各種資料より作成

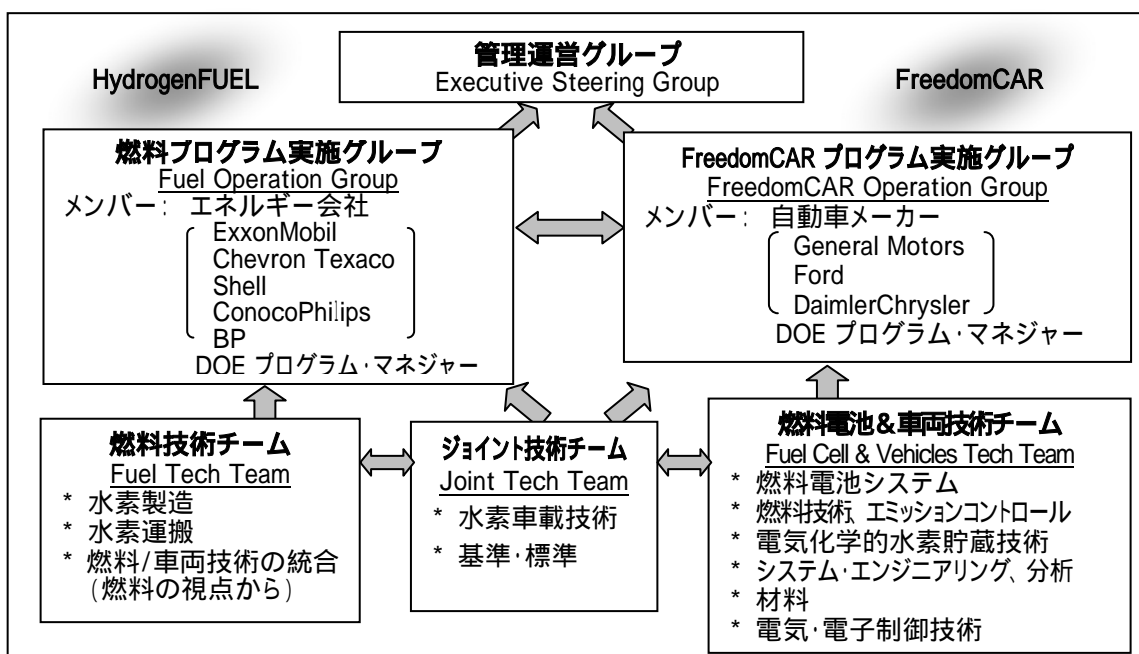


図 4-5 . FreedomCAR & Fuel パートナーシップの組織図

²⁹ ここでのパートナーシップとは、米国エネルギー省と「USCAR (U.S. Council for Automotive Research)」とのパートナーシップを意味する。USCAR は GM、Ford、DaimlerChrysler の共同研究機関という位置づけであり、競争領域以前 (pre-competitive) の研究を実施する。

³⁰ 一般教書演説の段階では水素研究プロジェクトを「FreedomFUEL」と呼んでいましたが、この名称がガソリン添加剤として商標登録されていたため、「HydrogenFUEL」に変更した。

- FreedomCAR & Fuel パートナーシップの 2004 年度の予算と、2005 年度の予算申請額を図 4-6に示す。

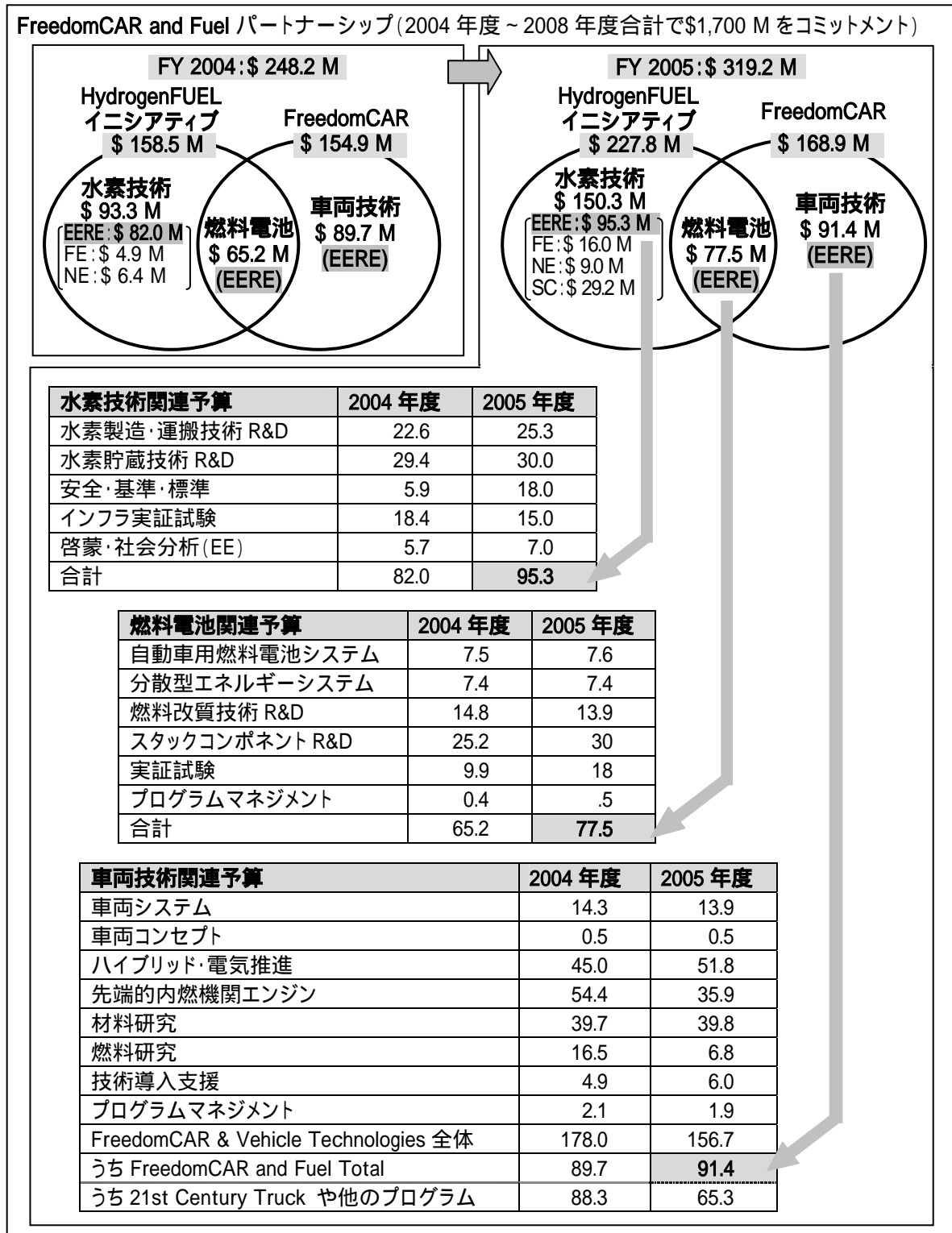


図 4-6 . FreedomCAR & Fuel パートナーシップの予算

注 : EERE = Energy Efficiency and Renewable Energy 局、FE = Fossil Energy 局、NE = Nuclear Energy 局、SC = Science 局

- DOE/EERE が描く、交通部門でのエネルギーセキュリティのための戦略的アプローチを図 4-7に示す。

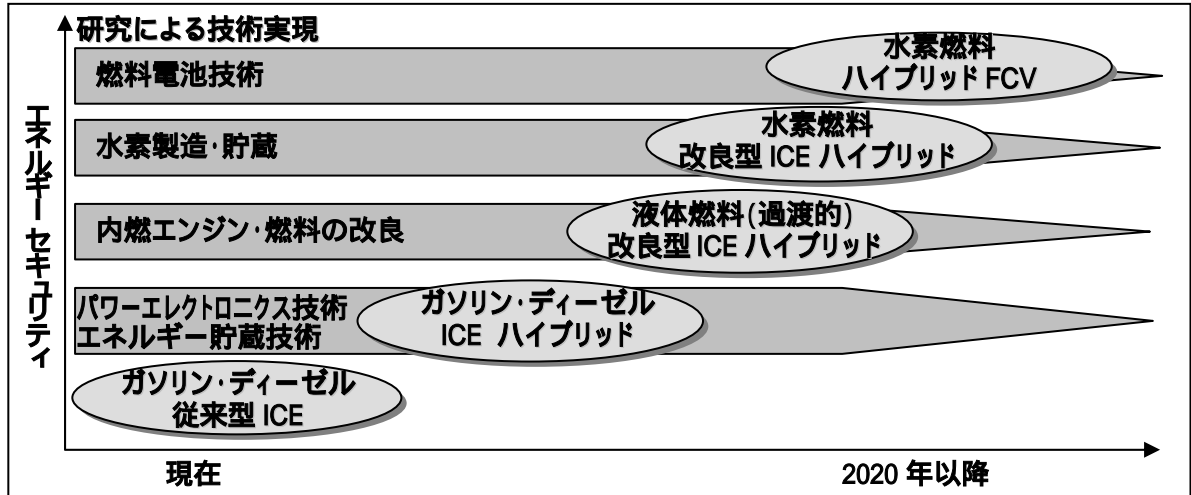


図 4-7 . 交通部門でのエネルギーセキュリティ向上のための戦略的アプローチ

- DOE では、FreedomCAR & Fuel パートナーシップによって、2050 年には 1100 万バレル/日の石油が削減できると試算している (図 4-8)。

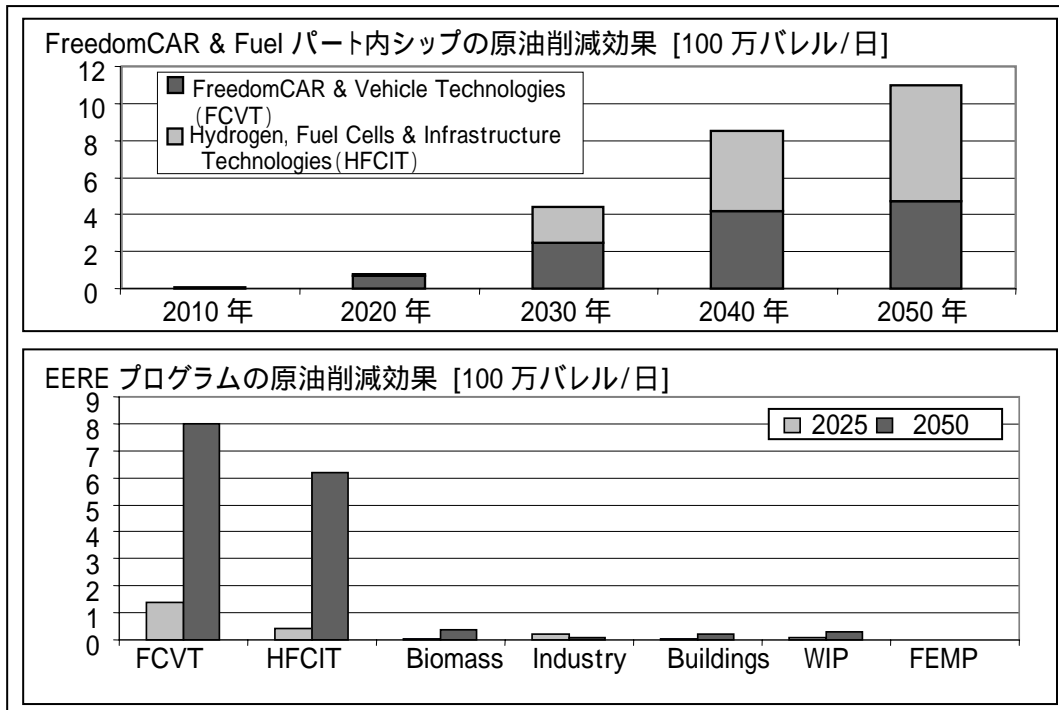


図 4-8 . DOE/EERE におけるプログラムでの原油消費量削減効果
注：図中の記号については、図 4-9における EERE の部局名を参照。

- 現在までの FreedomCAR & Fuel パートナーシップの成果を表 4-3に示す。

表 4-3 . FreedomCAR & Fuel パートナーシップの成果

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • パートナーシップを拡大（エネルギー会社 5 社）。 • 現在までに、2 回の管理運営グループの会議（Executive Steering Group）を開催（2003 年 9 月、2004 年 3 月）。 • 2003 年 12 月に全技術チームが会合を開催。 • 4 つの技術チームを新設。車載水素貯蔵チームにエネルギー会社が参画。 |
|--|

(4) 21st Century Truck パートナーシップ

- 21st Century Truck パートナーシップは、官民の共同研究を通じて、ミッド/ヘビー・デューティ・トラックの燃費向上を図るプロジェクトである。

21st Century Truck パートナーシップには、DOE だけではなく、米国環境保護局（EPA）、米国国防総省（DOD）、米国運輸省（DOT）も参画している。DOD は技術の運用者として参画している。

21st Century Truck パートナーシップでは、APU 用燃料電池の研究（主にエアコン用）や、ディーゼルエンジン車、CNG 車の研究を行っている。

- 21st Century Truck パートナーシップの成果を表 4-4に示す。

表 4-4 . 21st Century Truck パートナーシップの成果

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 機能的なパートナーシップの管理組織を構築（4 つの連邦政府機関、15 の民間企業） • 21st Century Truck パートナーシップの「ビジョン」について合意形成 • テクニカル・ロードマップ（ドラフト）を作成。 • プロジェクト実施・支援体制を構築。 • テクノロジー・フォーカスグループを設置。 • 各技術分野において「白書」（ドラフト）を作成。 • ヘビーハイブリッドの R&D に関して、3 つの企業グループとアワード・アグリーメントを締結。 |
|---|

(5) DOE/EERE における水素製造・輸送関連プロジェクト

水素製造・輸送関連研究プロジェクトの予算

- DOE/EERE の水素製造・輸送関連研究プロジェクトの 2004 年度～2005 年度予算を図 4-10に示す。

2004 年度予算は 1 億 5900 万ドルで、2005 年度には 2 億 2800 万ドルを予算請求している。

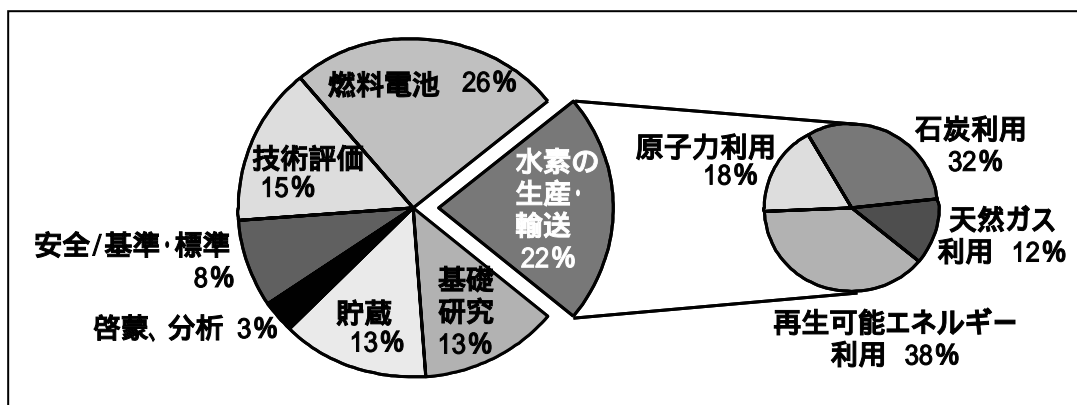


図 4-10 . DOE/EERE の水素製造・輸送関連研究プロジェクト予算

水素製造・輸送関連研究プロジェクトのアプローチ

- DOE/EERE の水素製造・輸送関連研究プロジェクトの研究アプローチを表 4-5 に示す。

表 4-5 . 水素製造・輸送関連研究プロジェクトの研究アプローチ

<ul style="list-style-type: none"> 技術的問題の特定、目標の設定、進捗評価を産業界のパートナーと協力して実施 リスクの高い水素製造・輸送方法の R&D に特化 <ul style="list-style-type: none"> 短期的・長期的な水素製造のパスを考慮 集中型製造方式と分散型製造方式の両方を研究 多様な水素源（天然ガス、フィードストック、ソーラー、風力、バイオマス）を考慮 コストシェアをよるプログラム実施 ピアレビューによる定期的な進捗評価
--

水素製造・輸送のコスト目標

- 水素製造・輸送関連研究プロジェクトで設定している水素製造・輸送のコスト目標を表 4-6、表 4-7に示す。

表 4-6 . 水素製造におけるコスト目標

<p>目的： 様々な国内資源（化石燃料、再生可能エネルギーを含む）を利用した、低コスト・高効率な水素製造技術を研究開発する。</p>	
<p>2010年までの目標研究目標</p>	
<p>天然ガス・液体燃料を使用した水素製造 （オンサイト、輸送費含む、課税前）</p>	<p>2.00 ドル/kg 注：1.50 ドルから変更 （議会での承認待ち）</p>
<p>電気分解による水素製造（オンサイト）</p>	<p>2.85 ドル/kg</p>
<p>2015年までの目標研究目標</p>	
<p>バイオマス由来燃料を使用した水素製造 （オンサイト、輸送費含む、課税前）</p>	<p>2.50 ドル/kg</p>
<p>風力を使用した電気分解（集中的な製造）</p>	<p>2.75 ドル/kg</p>
<p>バイオマスのガス化・熱分解（plant gate）</p>	<p>1.60 ドル/kg</p>
<p>光電気化学的水素製造法や生物利用水素製造法の 可能性の評価（長期的）</p>	
<p>太陽熱利用水素製造（集中的な製造）</p>	<p>3 ドル/kg</p>

表 4-7 . 水素輸送における目標

<p>目的： 自動車用・定置用のエネルギーキャリアとして水素を利用するために、水素輸送技術を研究開発する（導入段階～長期的展望）。</p>	
<p>2006年までの目標</p>	
<p>水素（自動車用・定置用）の導入と長期的活用のために、高コスト効率で高エネルギー効率な水素輸送インフラ技術を特定。</p>	
<p>水素輸送コストの低減</p>	
<p>水素輸送コスト目標（2010年まで）</p>	<p>1.70 ドル/kg</p>
<p>水素輸送コスト目標（2015年まで）</p>	<p>1.00 ドル/kg</p>

研究内容と成果

- 水素製造と輸送に関わる課題を表 4-8、表 4-9に示す。

現在 DOE では、水素の純度に関する研究を行っている。水素のパイプライン輸送が、水素純度に与える影響はまだよくわかっていない(図 4-11)。

米国における天然ガスの成分のばらつきや、硫黄添加物が改質性能に与える影響についても研究を行っている。

表 4-8 . 水素製造における主な課題

化石燃料からの水素製造	電気分解による水素製造
<ul style="list-style-type: none"> 資本コスト(導入コスト) 運用、メンテナンス 	<ul style="list-style-type: none"> 電気分解装置の資本コストと効率 発電所からのエミッション 高温電解
<ul style="list-style-type: none"> 改質触媒 製造プロセスのシンプル化 水素の純化 	

表 4-9 . 水素輸送における主な課題

<ul style="list-style-type: none"> 高圧水素での輸送： 信頼性、コスト 液体水素での輸送： コスト、エネルギー効率 パイプラインでの輸送： 資本コスト、材料劣化 水素貯蔵のコスト
--



図 4-11 . 水素パイプラインの例

- 水素製造コストの試算を図 4-12に示す。

天然ガス改質からの水素製造では、改質装置のコスト削減効果が大きい。
2010年のコスト目標は2.00ドル/kgである。

電気分解による水素製造では、資本コストの削減効果が大きい、電解に要する電力コストはあまり低減しないと予想される。

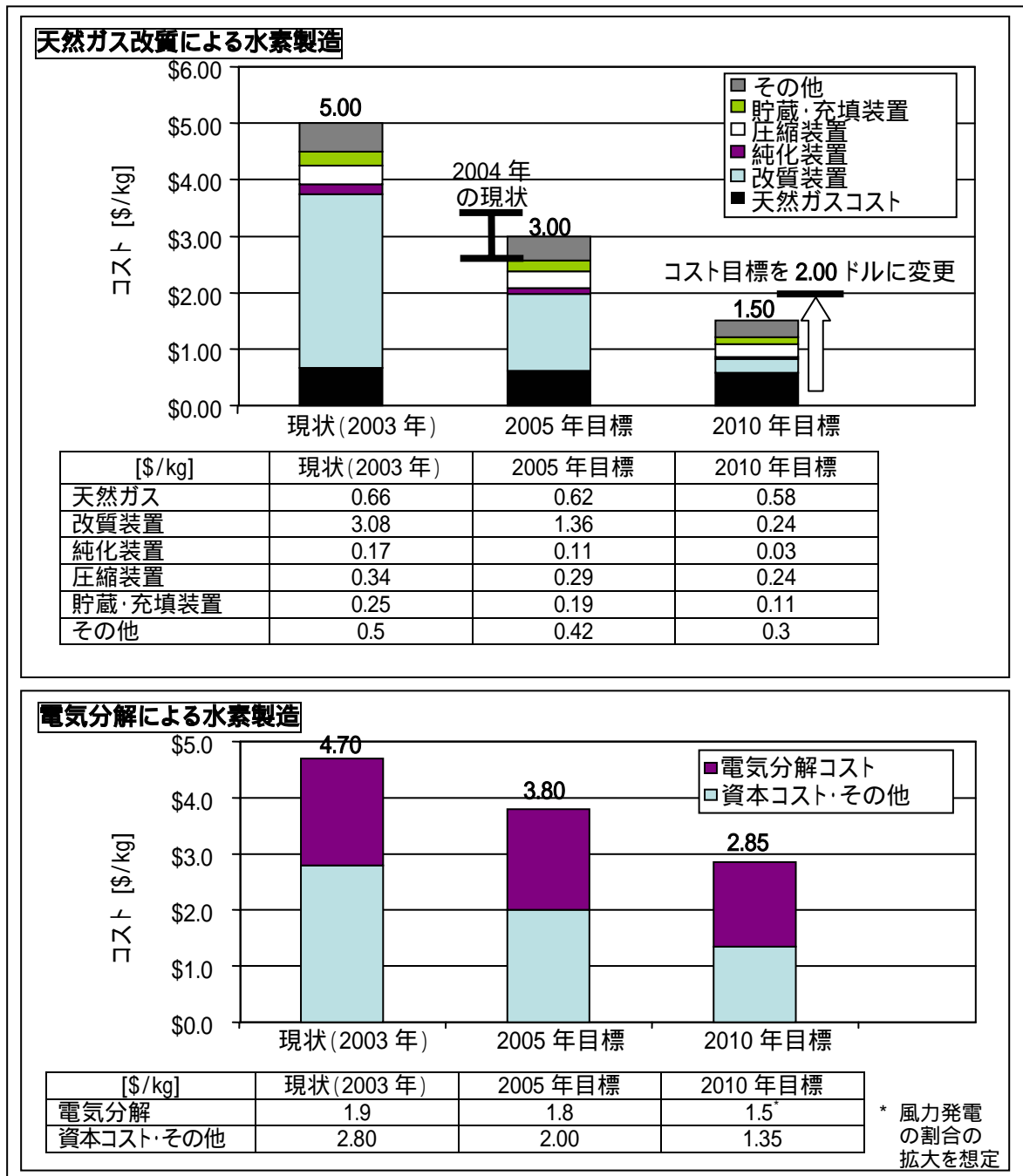


図 4-12 . 水素製造コストの試算

- 水素製造・輸送関連研究プロジェクトのこれまでの成果を表 4-10に示す。

表 4-10．水素製造・輸送関連研究プロジェクトの成果

水素製造コスト(天然ガス)	<ul style="list-style-type: none"> 充填時のコストで 3.00 ドル/kg を目標にしている段階 条件 <table style="display: inline-table; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">充填量：</td> <td>690 kg/日</td> </tr> <tr> <td>資本コスト：</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>ユニット生産数：</td> <td>100 台以上</td> </tr> <tr> <td>天然ガスコスト：</td> <td>4/ドル MMBTU (HHV)</td> </tr> <tr> <td>稼働率：</td> <td>90%</td> </tr> </table>	充填量：	690 kg/日	資本コスト：	11%	ユニット生産数：	100 台以上	天然ガスコスト：	4/ドル MMBTU (HHV)	稼働率：	90%
充填量：	690 kg/日										
資本コスト：	11%										
ユニット生産数：	100 台以上										
天然ガスコスト：	4/ドル MMBTU (HHV)										
稼働率：	90%										
改質システム	<ul style="list-style-type: none"> 触媒(脱硫、改質、シフト)の最適化を実施 熱回収システムの改良 										
水素純化システム	<ul style="list-style-type: none"> PSA (Pressure Swing Absorption) を改良、メタン改質水素で純度 99.999% を達成 (圧力 120 psig) 既存 PSA と比較し、低コスト化 (1/3)、小型化を実現 エネルギー効率は 2005 年目標の 82% を達成 (2003 年時点では 75%) 										
輸送	<ul style="list-style-type: none"> Ergenics 社³¹の水素吸蔵合金を応用した水素高圧・純化システム³²を実証実験中 FreedomCAR&Fuel パートナーシップで水素輸送技術チームを設置、ロードマップ(ドラフト)を 2004 年末までに策定 										
バイオマス・ガス化、熱分解	<ul style="list-style-type: none"> NREL で摩滅、コーキングに強い触媒を開発中 										
電気分解	<ul style="list-style-type: none"> 風力発電、水力発電を利用した電気分解について、産業界とミーティングを実施 H2A モデル³³分析を実施 (集中生産、オンサイト生産) 										
熱化学的水素製造方法	<ul style="list-style-type: none"> ネバダ大学ラスベガス校でコンソーシアムを結成 (データベース作成、集光モジュール実験) 										
光生物学的水素製造方法	<ul style="list-style-type: none"> アンテナ・クロロフィルのサイズを 58% 削減、太陽光吸収効率が 15% に増加 6 ヶ月間の連続水素製造実験を実施 										
光電気化学的水素製造方法	<ul style="list-style-type: none"> 新規材料である GaPN で、2005 年目標 (7%、寿命 1000 時間) が達成できる見通し 従来よりも 4 倍の効率を有する合金 (亜鉛ベース) を特定 										

³¹ Ergenics (ニュージャージー州) は、2003 年 10 月にカナダのジョイントベンチャー企業 HERA に買収され、現在は HERA USA となっている。HERA は Shell Hydrogen、Gesellschaft für Elektrometallurgie (GfE、ドイツの金属材料メーカー)、Hydro-Quebec の合併会社。

³² 水素吸蔵合金がわずかな昇温で急激な昇圧が得られることに着目し、多段階的に水素吸蔵・放出を繰り返すことで高圧水素を得る技術。詳細は < <http://www.ergenics.com/> > 参照。

< www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/merit03/49_ergenics_david_dacosta.pdf > 参照。

³³ DOE が作成した水素コスト試算のための標準モデル。エネルギー会社からのデータを参考に作成した。2005 年初頭にホームページで公開予定。

詳細は < http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/analysis/analysis_group.html > 参照。

水素製造・輸送関連研究プロジェクトの今後の方針

- 現在、DOE/EERE の水素製造・輸送関連プロジェクトの今後の方針を表 4-11に、開発の目標を表 4-12に示す。

表 4-11 . 水素製造・輸送関連プロジェクトの今後の方針

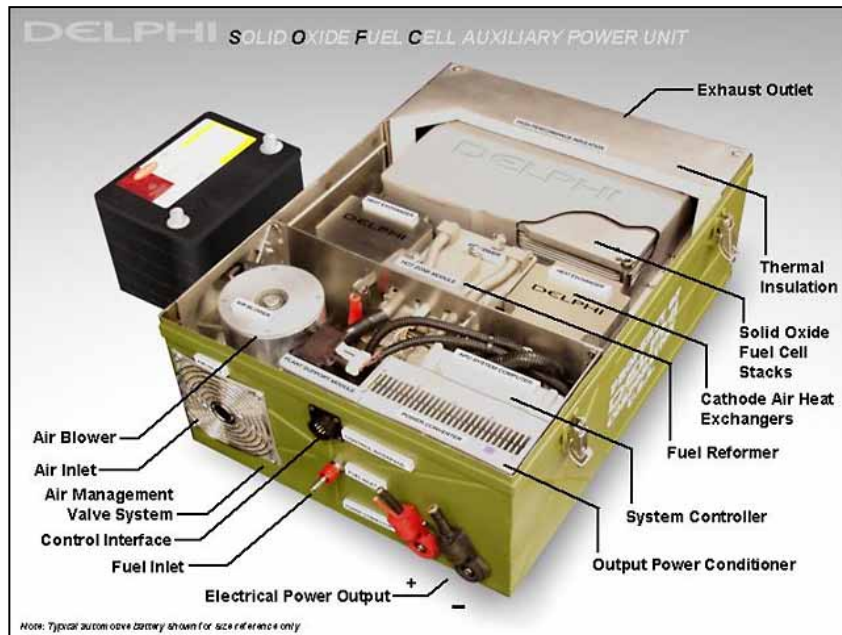
<ul style="list-style-type: none">• 研究開発成果を反映し、ドラフト RD&D (Research, Development & Demonstration) をアップデートする• 移行期戦略の実施<ul style="list-style-type: none">低投資コストの電気分解システムの開発オンサイト改質• 基礎研究の充実による長期的目標の実現<ul style="list-style-type: none">新規材料：触媒、膜、パイプライン光分解：電気化学的方法、生化学的方法• コスト、効率目標の達成のための新規プロジェクトの実施
--

表 4-12 . 水素・燃料電池システム開発の目標

<p>目標：自動車用、定置用、ポータブル用の燃料電池システムの開発とデモンストラーション</p> <ul style="list-style-type: none">• <u>直接水素式燃料電池</u><ul style="list-style-type: none">自動車用を想定効率 60%、高い耐久性を確保製造コスト：\$45/kW (2010 年)、\$30/kW (2015 年)• <u>天然ガス・プロパン利用 PEM 燃料電池</u><ul style="list-style-type: none">発電効率 40%、40,000 時間の耐久性を確保製造コスト：\$400 ~ 750/kW (2010 年)家電製品用燃料電池：1,000 Wh/L (2010 年)3 ~ 30 kW 補助電源用燃料電池：150 W/kg、170 W/L (2010 年) .

(6) ディスカッション

- FreedomCAR & Fuel パートナーシップでは、当面は水素を天然ガスから生産することを想定している。
- 水素内燃エンジンは、直接の研究対象ではないが、水素インフラ整備に寄与すると思われるので好ましい技術である。
- SOFC は DOE のエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) では研究していないが、化石エネルギー局 (Office of Fossil Energy) では定置用 SOFC 研究として SECA プログラム³⁴を実施している。SECA プログラムにも参画している Delphi Automotive Systems は、APU 用 SOFC を過去 10 年間研究している。



出所：Delphi Automotive Systems ホームページ
< <http://www.delphi.com/news/fuelcells/> >

³⁴ SECA (Solid State Energy Conversion Alliance)、2010 年までに、3 ~ 10 kW レベルの SOFC で 400 ドル/kW のコストを実現することを目標としている。参加企業は Acumentrics、Cummins Power Generation、SOFCo (McDermott International)、Delphi Automotive Systems、Battelle Memorial Institute、Fuel Cell Energy、Materials and Systems Research, Inc. (MSRI)、Gas Technology Institute、Electric Power Research Institute、General Electric Power Systems、Siemens Westinghouse Power Corporation。詳細は < <http://www.seca.doe.gov/> > 参照。

5. DuPont

訪問先	DuPont 住所：Chestnut Run Plaza, Wilmington, DE, 19880-0701, USA
訪問日時	2004年10月28日(木)9:30~13:00
対応者	Andrew M. Weber, PhD Director Sung C. Lee Global Business Manager – H2 Clara Y. O. Lin, PhD Development Program Manager Kathryn E. Schwiebert Technology Manager Sribhar Kumar, PhD Senior Research Chemist, Membrane Durability and MEA Technology Kimberly G. Raiford, PhD Research Associate
組織の概要	PEMFC用膜のリーディングカンパニー。
調査項目	・ DuPontの開発製品とその開発現状 ・ 顧客との関係・共同開発の状況

(1) DuPontの概要

DuPontのビジネス

- DuPontは世界的な化学品メーカーである。

2003年度の売上は270億ドル。そのうちの半分が、米国以外の国(約70カ国)からのものである。

世界各国に、135の生産工場を有している。

従業員数は全世界で8万1千人(うち35%は米国外)。

- DuPontは自社を「サイエンス会社」と位置付けている。

DuPontのビジョン

DuPontは、世界中のあらゆる人の、より良く、より安全で、より健康的な生活に欠かせないサステナブル・ソリューションを提供する、世界で最もダイナミックなサイエンス会社となることを目指している。

- DuPont は、「世界で最もダイナミックなサイエンス会社」となるべく、常にビジネス形態を変えてきた。

DuPont の創業時（1802 年）は黒色火薬が中心的な事業であった³⁵。

最近テキスタイル部門を売却した。また独立系石油会社である Conoco を 1981 年に買収したが、これも最近手放した³⁶。

DuPont は、常に新しいビジネスの可能性やイノベーション、さらに技術提携についてオープンな姿勢をとっている。

DuPont の事業分野

- DuPont には 5 つの事業分野があり、そのうち燃料電池事業は「DuPont Electronic & Communication Technologies」に属する（図 5-1）。

DuPont の燃料電池ビジネスのミッションを図 5-2 に示す。

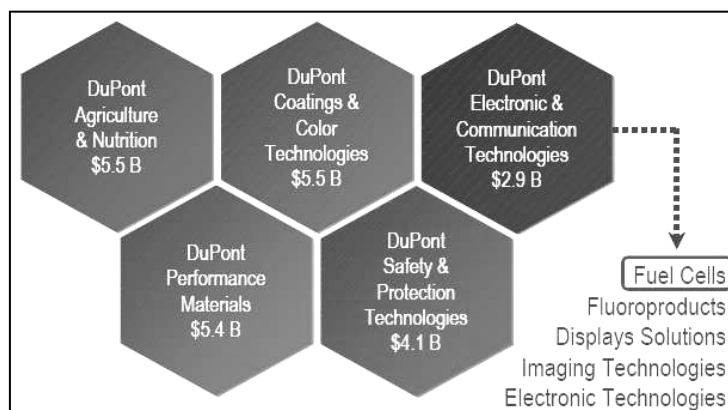


図 5-1 . DuPont の事業分野

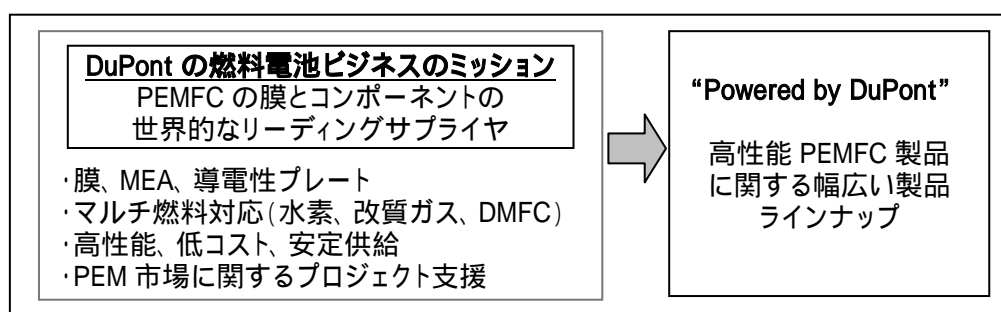


図 5-2 . DuPont の燃料電池ビジネスのミッション

³⁵ 創業製品である火薬部門は 1990 年代に売却した。

³⁶ 1981 年に Conoco を買収した（買収額は 78 億ドル）が、1999 年に DuPont は化学産業に特化するために Conoco をグループから独立させた。その後、Conoco は 2002 年に Phillips Petroleum Company と合併して ConocoPhillips となっている。

(2) DuPont の PEM 関連技術・製品

- DuPont の製品構成を図 5-3に示す。DuPont では、Nafion 技術をコアテクノロジーであると考えている。

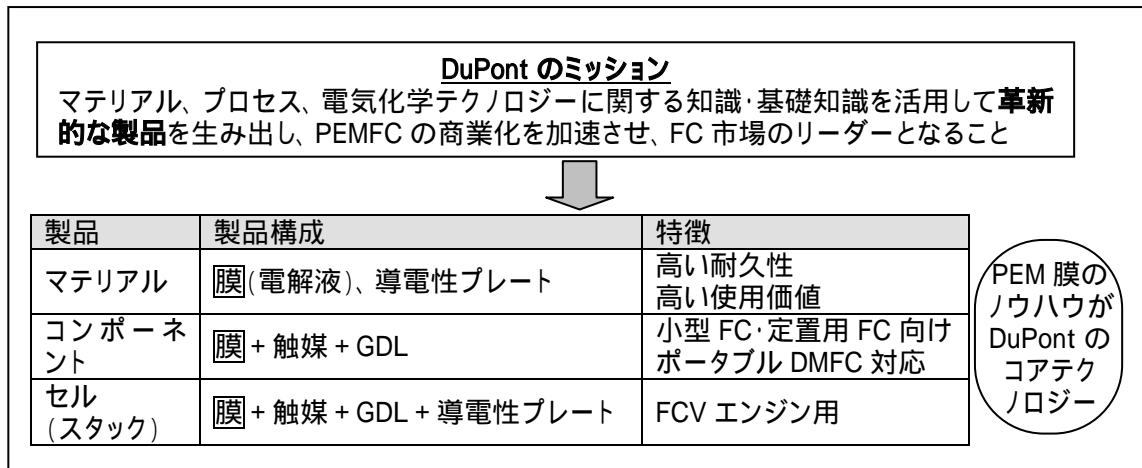


図 5-3 . DuPont の製品構成

- DuPont は Nafion 膜だけではなく、燃料電池(セル)に関するさまざまなポリマー技術を有している(図 5-4)。

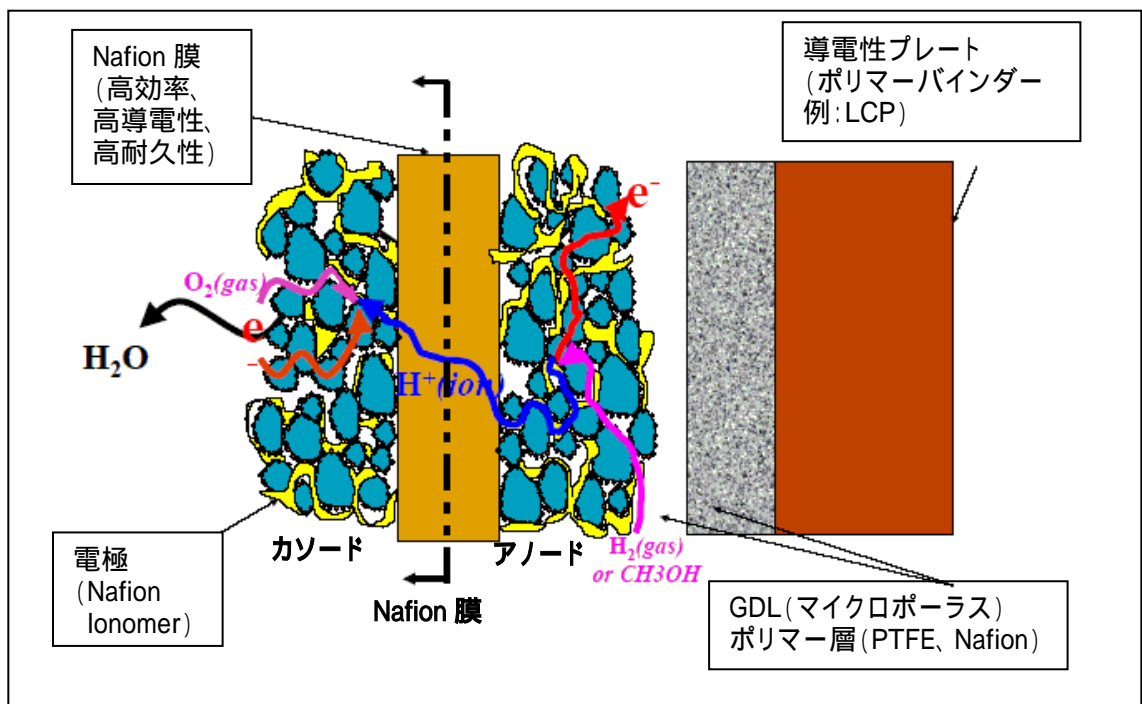


図 5-4 . 燃料電池(セル)における DuPont のポリマー技術

- DuPont は、PTFE(Polytetrafluoroethylene)から MEA(3層 MEA ~ 7層 MEA)までを、ほぼ自社の技術で開発している (図 5-5)。

GDL や触媒、ガスケットは開発していないが、製品に関する十分な知識を有しているので、PEFC に関するすべての技術についての知識を有しているといつてよい (図 5-6、図 5-7)。

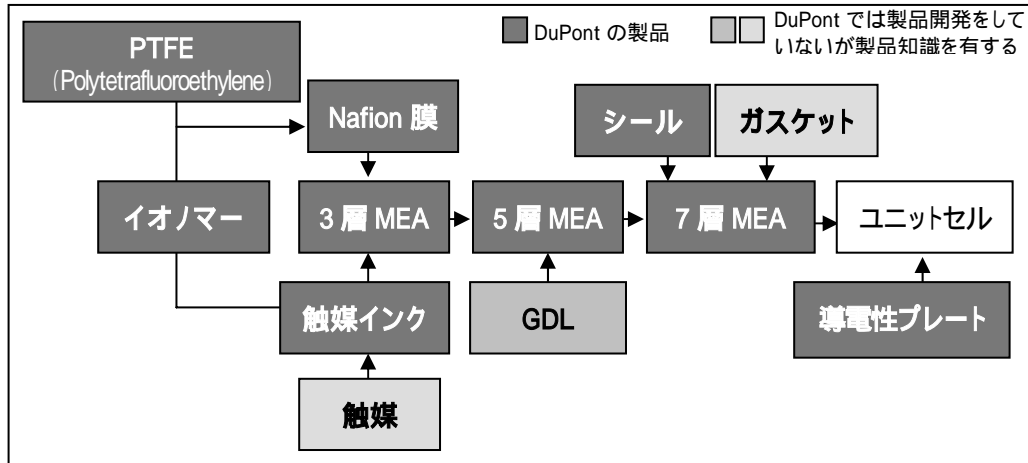


図 5-5 . MEA における DuPont の製品

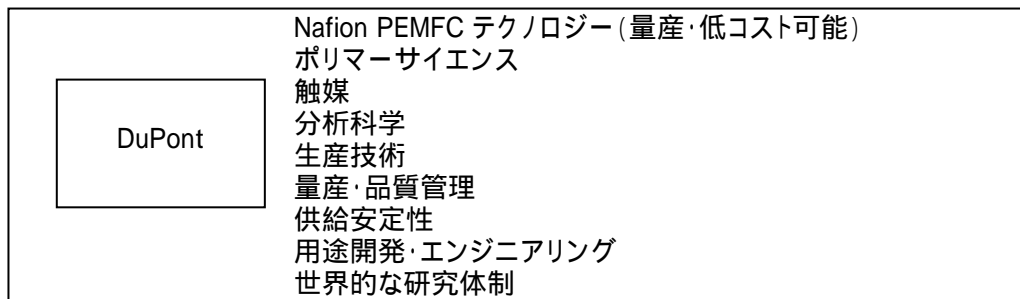


図 5-6 . PEM 開発における DuPont の強み

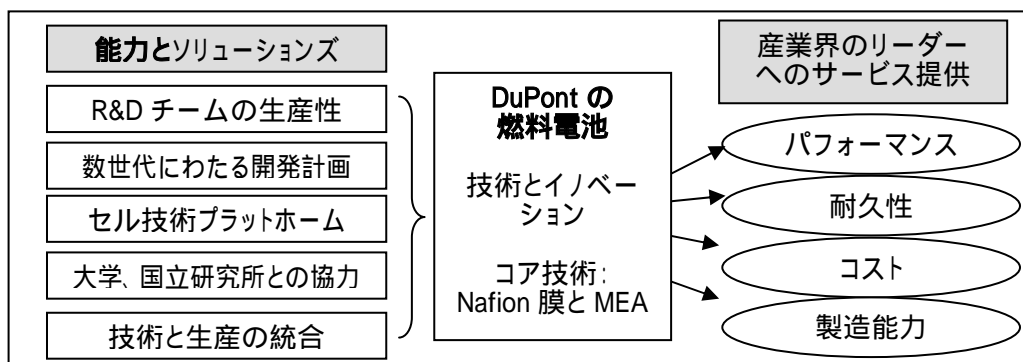


図 5-7 . DuPont の PEM におけるイノベーション

(3) Nafion 膜と MEA の開発

Nafion 膜の開発

- DuPont の Nafion 関連製品を表 5-1に示す。16 の製品のうち 10 は、過去 3 年以内に開発、あるいは改良を行ったものである。

表 5-1 . Nafion ベースの DuPont 製品

製品のタイプ	
溶融押出膜 (Extrusion Membrane)	N-112、N-1035、N-1135、N-105、N-115、 N-117、N-1110
キャスト膜 (Solution-Cast Membrane)	NRE-211、NRE-212
イオンマー溶液 (Polymer Dispersions)	DE 520 / 521、DE 1020 / 1021、 DE 2020 / 2021 / 2029

- Nafion 膜のコストダウンの可能性を図 5-8に示す。

この膜技術は確立している技術であるため、コストダウンは主に量産効果による。DuPont では、この量産効果以上に Nafion 膜のコストを下げるように努力を行っている。

コスト低減のためには、製品の標準化が必要であるが、顧客ニーズへの対応も必要（カスタム化）の重要である。そのバランスを見極めていきたい。

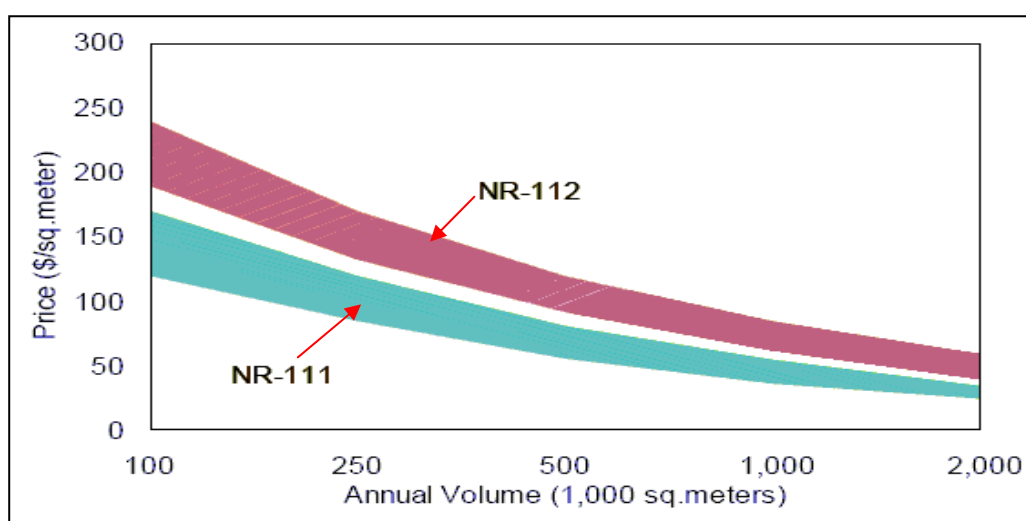


図 5-8 . Nafion 膜のコストダウン

MEAの開発

- DuPont では、MEA の性能向上、耐久性向上、コスト低減に取り組んでいる。
5層 MEA (シール付 MEA) では、コスト削減のために GDL を使用しない構造も検討している。
DuPont では、MEA はマルチ燃料対応であるべきと考えている (水素、改質ガス、ダイレクトメタノール)。

<p>パフォーマンスの向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 触媒 ・ ポリマー溶液 ・ 触媒インク ・ 電極構造 	<p>耐久性の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ シール材 ・ 膜 ・ 電極 ・ GDL
<p>コストの低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低コスト材料の開発 (長期的な開発プログラム) <ul style="list-style-type: none"> - 耐久性を犠牲にしないで、触媒担持量を減らす - 低コスト GDL の開発、GDL の不使用 ・ コーティングの量産化対応 (実施) ・ 膜の再利用、リサイクル (研究中) ・ ポリマーの量産化 	

図 5-9 . DuPont の MEA の開発

電極の開発

- DuPont では、電極の性能向上にも取り組んでいる (図 5-10)。

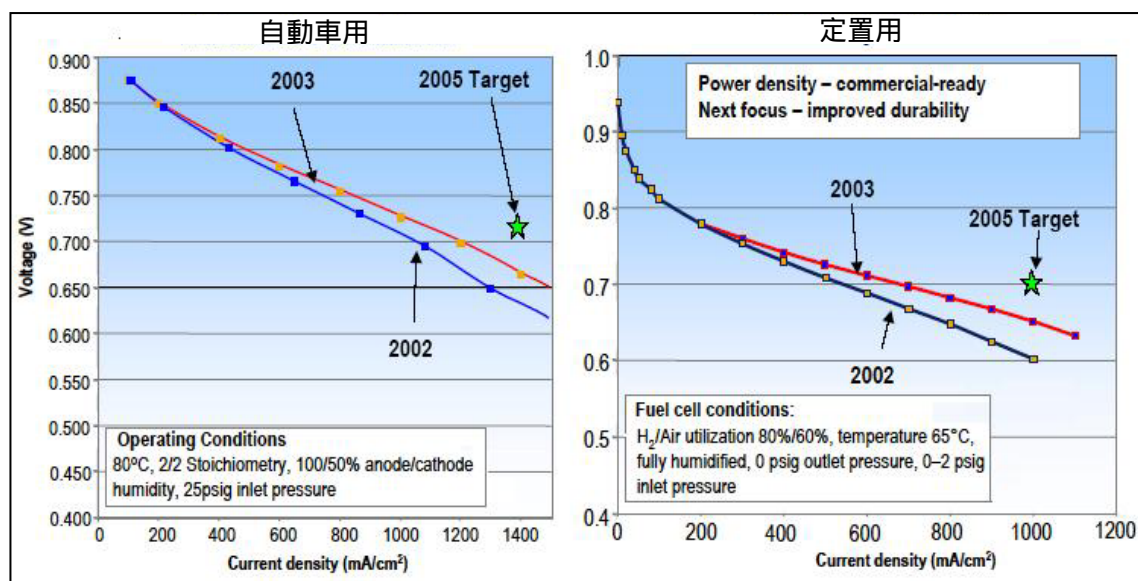


図 5-10 . 電極の性能向上

- 電極の改良におけるアプローチを表 5-2に示す。

表 5-2 . 電極の改良へのアプローチ

触媒	<ul style="list-style-type: none"> 触媒メーカーとの協力関係 各触媒の特徴の把握
イオノマー	<ul style="list-style-type: none"> 化学当量のコントロール イオノマーの改良
触媒インク	<ul style="list-style-type: none"> インク組成と粘度の調整
電極構造	<ul style="list-style-type: none"> 性能に影響する要因の理解 SEM、X線断層撮影 電気化学的表面積の評価（ボルタメトリー）

MEAの開発と耐久性の向上

- MEAの耐久性向上のために、故障モードとその対策の分析を行っている(表 5-3)。

表 5-3 . MEAの耐久性向上の試み

	故障モード	対策
Nafion 膜	<ul style="list-style-type: none"> 機械的強度不足 化学的劣化 	<ul style="list-style-type: none"> 機械的・化学的強度の付加 高ドライ耐性の膜の開発
シール材	<ul style="list-style-type: none"> 化学的劣化 	<ul style="list-style-type: none"> 新規材料、新規デザイン
電極	<ul style="list-style-type: none"> 触媒活性度の低下 担体（炭素）の酸化 フラッディング 	<ul style="list-style-type: none"> 安定な触媒 酸化に強い担体
GDL	<ul style="list-style-type: none"> GDLのへたり フラッディング 担体（炭素）の酸化 	<ul style="list-style-type: none"> GDLの改良 酸化に強い担体 空孔の最適化

DuPont の燃料電池関連の研究開発・生産拠点

- DuPont は、全米に 4 ヶ所の燃料電池関連の研究開発・生産拠点を有している(表 5-4、図 5-11)。

表 5-4 . DuPont の燃料電池関連の研究開発・生産拠点

Fayetteville (ノースカロライナ州)
Kingston (カナダ オンタリオ州)
Research Triangle Park (ノースカロライナ州)
Towanda (ペンシルバニア州)



図 5-11 . DuPont の燃料電池関連の研究開発・生産拠点

(4) 製品開発と PEM 市場

- DuPont の製品開発のロードマップを図 5-12に示す。

高温 PEFC では、顧客の要望にこたえるため、120 度を目標にしている（顧客によっては、150 度レベルを要求するところもある）。

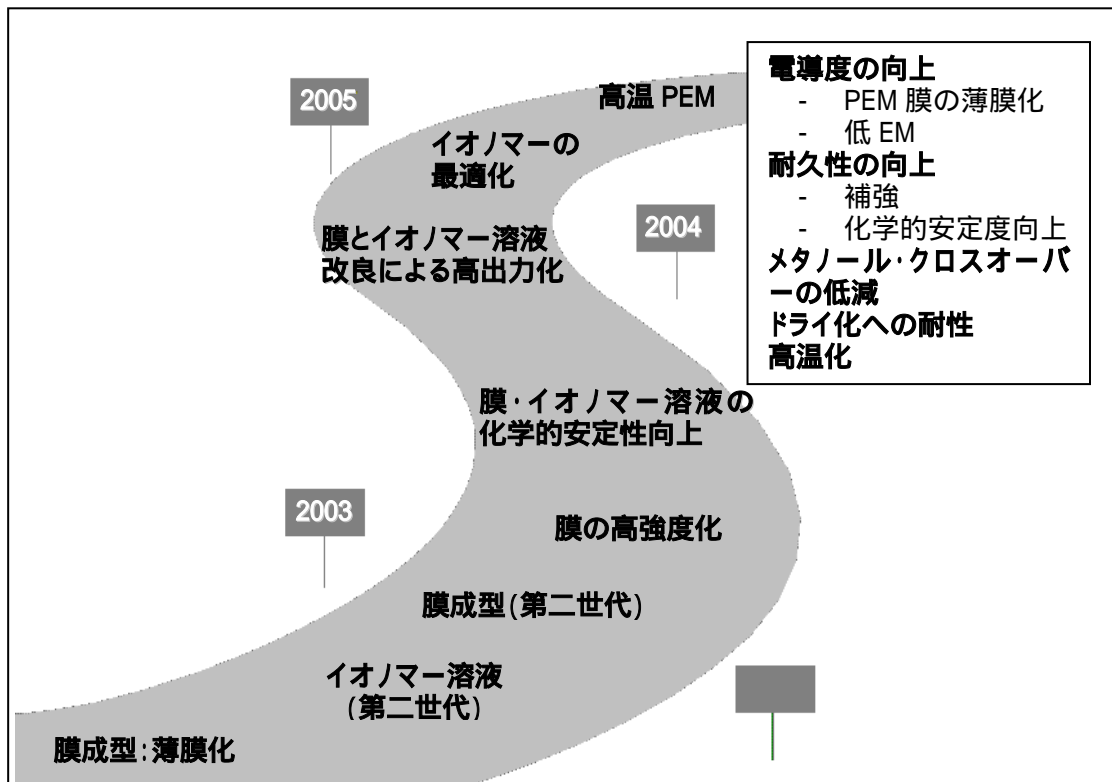


図 5-12 . DuPont の製品開発のロードマップ

- DuPont が考える燃料電池の市場を表 5-5に示す。

表 5-5 . 燃料電池の市場

自動車用 FC 市場	定置用 FC 市場	小型・ポータブル FC 市場
<ul style="list-style-type: none"> ・ フォークリフト ・ 空港作業用トラック ・ 配送センター ・ 倉庫 ・ 軍事用車両 など 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業者（ビル）向け電源（250 kW） ・ 地域電源 ・ 病院 	<ul style="list-style-type: none"> ・ PC ・ 携帯電話 ・ PDA など
<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 輪車（スクーター） ・ 電気バイク ・ モペッド 	<ul style="list-style-type: none"> ・ バックアップ電源（IT 産業） ・ 水素供給設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軍事用 ・ レジャー向け ・ 小型発電機

(5) PEM 技術の進展

- DuPont の考える PEM 技術の展開を図 5-13に示す。

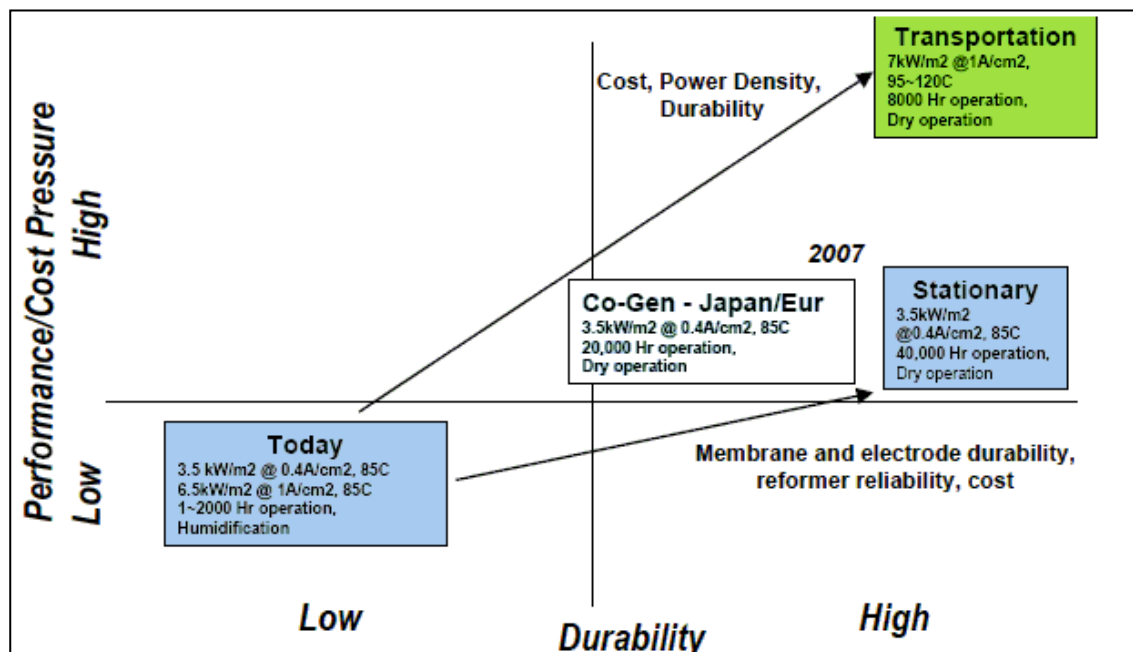


図 5-13 . PEM 技術の展開

(6) ディスカッション

- 炭化水素膜の開発：

DuPont は炭化水素膜(非フッ素系膜)についても技術を有するが、DuPont の強みはあくまでも Nafion 技術であると考えます。

- DMFC に関して：

DMFC は実現可能。ただし、技術の完成にはパートナーが必要である。

DMFC の用途としてはノートパソコンがよく取り上げられるが、その用途のためには、システムの小型化と低コスト化が不可欠であり、非常に難しい挑戦である。むしろ小型の発電機など、ニッチな用途が主流になるだろう。

- 定置用燃料電池に関して：

定置用燃料電池は、コストが市場拡大の大きな要因となる。

燃料電池の展開では、定置用市場が先に立ち上がり、コスト低減とともに自動車用市場が立ち上がると予想する人もいるし、全く逆に自動車用市場が先で、定置用市場がそれに続くとも予想する人もいます。

- 水素インフラに関して：

水素インフラは、技術的には全く問題なく、単にコストだけの問題である。そのため、燃料電池自体の開発に比べて、水素インフラの整備のほうはあまり心配していない。

よく「ニワトリ（燃料電池）が先か、卵（インフラ）が先か」が問題になるが、燃料電池が先であって、インフラは燃料電池の開発が進めば、自然に整備されよう。

- フッ素系樹脂の技術：

フッ素樹脂の原料となるテトラフルオロエチレン（TFE）は爆発性があり、扱いに注意を有する。そのため、TFE を扱うことができるのは、DuPont を含めて世界で数社しかない。

6. Ford

訪問先	Ford 住所：15000 Commerce Drive North, Dearborn, MI 48120-1261
訪問日時	2004年10月29日(金) 10:30~12:30
対応者	Phillip D. Chizek Manager, Marketing and Sales, Research & Advanced Engineering SMT Lab-I Shinichi Hirano Principal Research Engineer, Hybrid / Fuel Cell Technical Development, SMT Lab-II Frank W. Balog Chief Product Analyst, SMT Lab-II Venu Siddapureddy Business Strategy Office, SMT
組織の概要	Focus などの FCV を開発している。Ballard、DaimlerChrysler と Fuel Cell Alliance を組む。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ FCV 開発体制 ・ クリーンエネルギー自動車の開発の現状 ・ FCV に関わる技術的課題と見通し

(1) Ford の概要

- Ford グループは、世界第三位の自動車メーカーグループである³⁷。

2004年度売上は1642億ドル、従業員数は350,000人。

Ford の主要ブランドを図 6-1に示す。

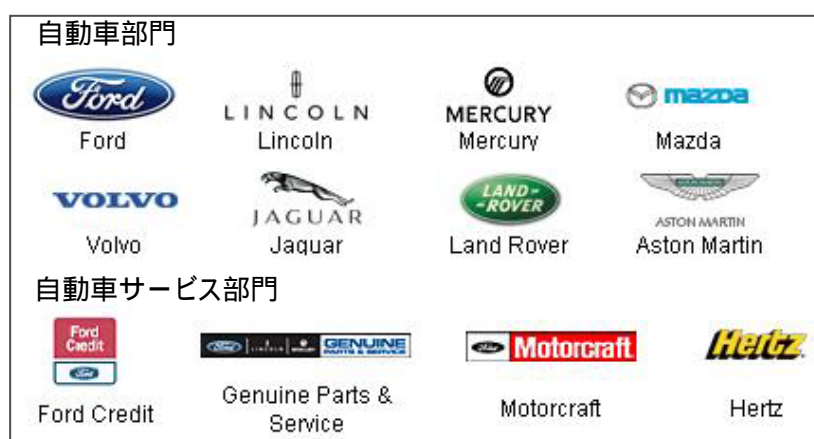


図 6-1 . Ford の主要ブランド

³⁷ 2004年の販売実績は、General Motors：899万台、トヨタ自動車：752万台（日野自動車、ダイハツ工業を含む）、Ford：679万台（マツダを除く）、Renault・日産：579万台。

(2) Ford の FCV 研究開発体制

- Ford で FCV などの次世代自動車を研究している「Sustainable Mobility Technologies (SMT)」の組織を図 6-2に示す。

SMT ではハイブリッド開発に従事している人の割合が多く、事実上、ハイブリッド部門が FCV・電気自動車部門（旧 Th!nk Group）を吸収した形式になっている。

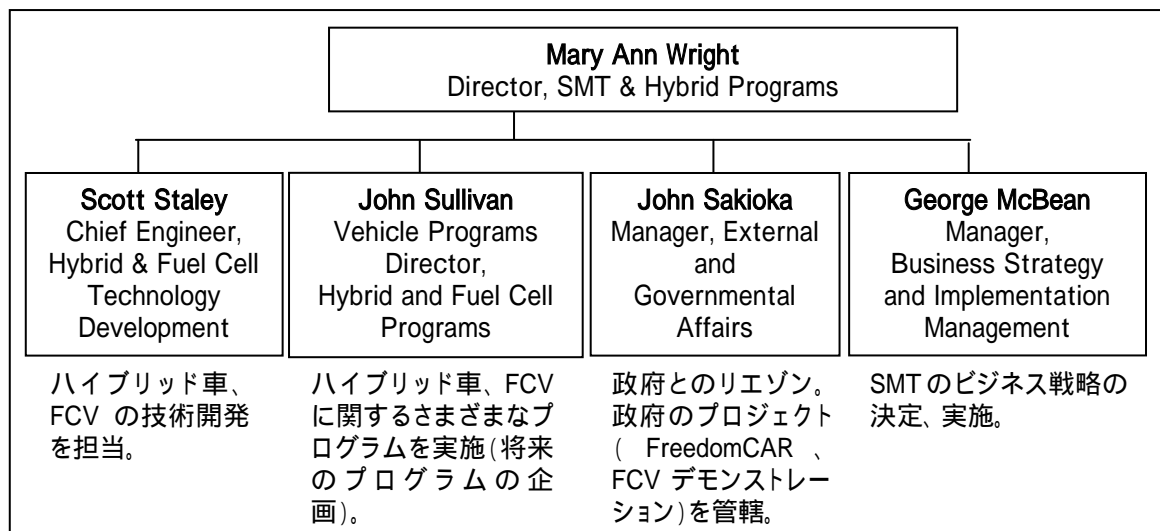


図 6-2 . Ford Sustainable Mobility Technologies (SMT) の組織

- Ford と Ballard、DaimlerChrysler で結成する「燃料電池アライアンス(Fuel Cell Alliance)」の現在の関係を図 6-3に示す³⁸。

燃料電池アライアンスの目的は、「コアとなる燃料電池システムの開発」である（図 6-4）。

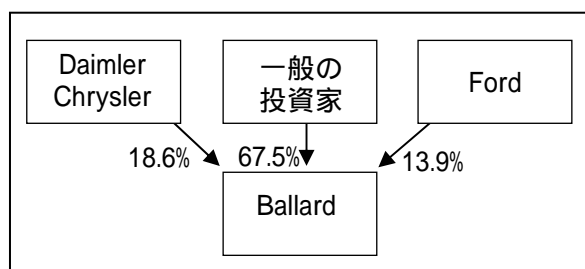


図 6-3 . 燃料電池アライアンスの構成



図 6-4 . Ballard の燃料電池システム

³⁸ 燃料電池アライアンス (Fuel Cell Alliance) の結成は 1997 年。

(3) Ford の FCV 開発

- Ford がこれまでに開発した FCV を図 6-5 に示す。

Ford は、2002 年から FCV のハイブリッド化を進めている。

現在のモデルである「2004 Fuel Cell Vehicle」の構造と緒元を図 6-6 に示す。

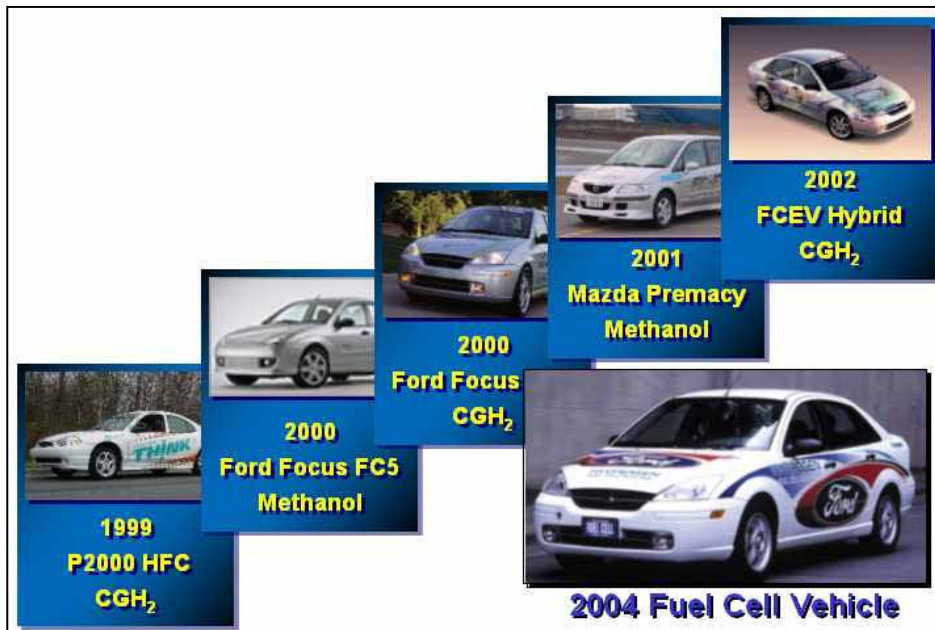


図 6-5 . Ford がこれまでに開発した FCV

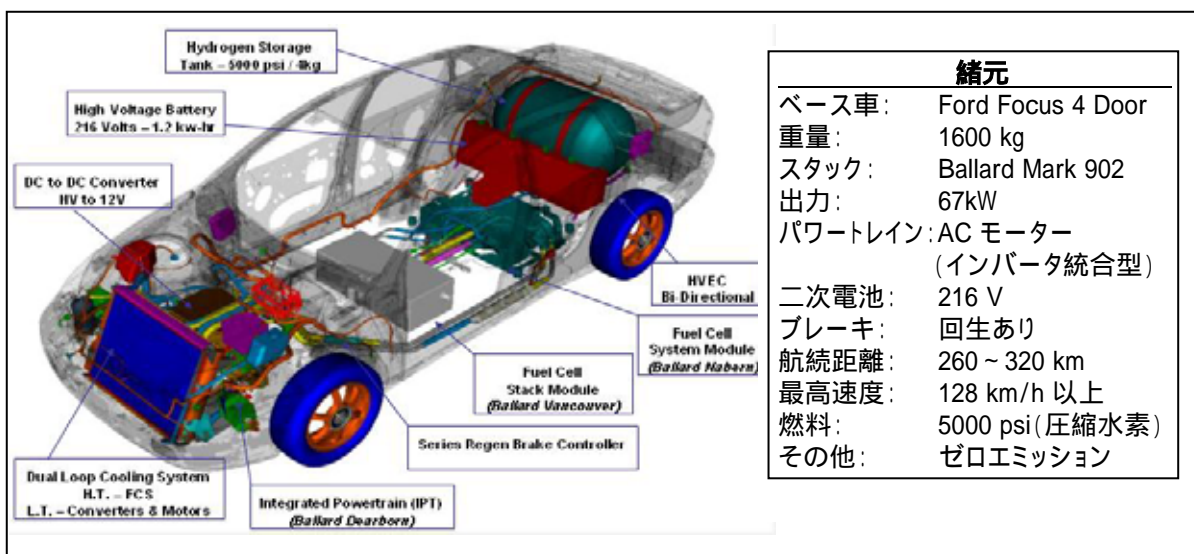


図 6-6 . 2004 Fuel Cell Vehicle の構造と緒元

- Ford では、「2004 Fuel Cell Vehicle」について多様な走行テストを実施した(図 6-7)。

燃料電池システムのコールドスタート特性は、-16 での始動を目的に研究・テストを実施している。



図 6-7 . 2004 Fuel Cell Vehicle の走行テスト

- Ford では、Focus CGH (2000 年モデル、圧縮水素使用)用に小規模な製造ラインを設置した(図 6-8)。



図 6-8 . Focus CGH (2000 年モデル) の小規模製造ライン

(4) FCV デモンストレーション

FreedomCAR プロジェクト

- Ford は米国 DOE の FreedomCAR プロジェクトに参加している(表 6-1、表 6-2)。

表 6-1 . FreedomCAR プロジェクトにおける FCV 開発目標

エネルギー効率	60% (ピーク)
燃料電池システム	高耐久性、直接水素式
燃料電池システム出力 (水素貯蔵システム含む)	220 W/L、325 W/kg
コスト	45 ドル/kW、30 ドル/kW (2015 年)
航続距離	300 マイル (480 km)
量産コスト	2010 年 : 45 ドル/kW 2015 年 : 30 ドル/kW
ブレーキ・エンジン効率	45% (ピーク)
その他	クリーン炭化水素燃料で走行 エミッション基準に適合

表 6-2 . FreedomCAR の性能目標値と現状

		現状	2010 年目標
出力密度	重量密度	400 W/kg	650 W/kg
	体積密度	400 W/l	650 W/l
エネルギー効率	ピーク	59%	60%
	定格	50%	50%
コールドスタート (- 20)		120 秒	30 秒
ライフタイム		1000 時間	5000 時間
コスト (量産時、水素貯蔵システムを含む)		200 ドル/kW	45 ドル/kW

注 : 2010 年までに性能目標を達成し、2015 年までに性能を維持したままでコスト目標を達成する。

FCV デモンストレーション

- Ford は 2004 年第 4 四半期から、世界各地で FCV のデモンストレーションを実施する（表 6-3）。

表 6-3 . Ford の FCV のデモンストレーション

実施場所	プロジェクトの詳細
米国 ・ サクラメント ・ デトロイト ・ オーランド	Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project ・ エネルギー会社パートナー：BP （12ヶ所の水素ステーションを設置予定） ・ DOE 50%：民間 50%のコストシェアプログラム
カナダ ・ バンクーバー	The Vancouver Fuel Cell Vehicle Program (VFCVP) ・ カナダ天然資源省、Fuel Cell Canada と契約済み。 ・ カナダにおける、最初のライト・デューティ FCV デモンストレーションテスト
ドイツ ・ ベルリン	Clean Energy Partnership (CEP) プロジェクト ・ Ford の参画費用は自前で負担 ・ Ford のアーヘン研究所が実施を担当

(5) FCV 開発における課題

ユーザーの要求

- ユーザーは、車両の技術ではなく、車両の性能のみに注目する。これに答えていくのは容易ではない（図 9-9）。


ガソリン自動車と同等	ガソリン自動車以上の性能
・ 運動性・信頼性・安全性 ・ 価格 ・ 簡便性（充填の容易性）	・ 耐久性、運用コスト ・ エミッション
	
燃料電池の技術的課題	
・ 実際の運用条件における信頼性、ロバスト性の確保 ・ コスト面での競争力	・ スタートアップ（0 以下） ・ システムの高効率、高出力化 ・ システムのシンプル化

図 6-9 . ガソリン車と FCV の比較（ユーザーの立場から）

燃料電池システムの課題とその対応方法

- 燃料電池システムの課題とその対策を表 6-4に示す。

表 6-4 . 燃料電池システムの課題と対策

課題	対策
信頼性・耐久性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 高耐久性の膜（幅広い運用条件で使用可能。例 120 、ドライコンディションなど） MEA のウォーターマネジメント ガスフローチャンネルの最適化 実際の運用条件下での分析テスト、ウォーターマネジメントのためのダイナミックモデルの開発 量産性の確保
コールドスタート	<ul style="list-style-type: none"> バイポーラプレートの薄化、低ヒートマス化 GDL のウォーターマネジメント 停止、起動プロセスの最適化 加湿器の不要化
効率向上	<ul style="list-style-type: none"> 電極（電極触媒）の改良 プロトン伝導性の向上 エアコンプレッサの効率向上 運用条件の最適化、低圧化
出力密度向上	<ul style="list-style-type: none"> バイポーラプレートの軽量化、薄化 コンポーネントのシンプル化（例．加湿器の不要化） インターフェイスの工夫（ガス、液体、電気化学システム間のインターフェイス） システムのハイブリッド化
低コスト化	<ul style="list-style-type: none"> 触媒担持量の低減 <ul style="list-style-type: none"> 表面積の増大化 利用率の向上 低コスト膜の採用 触媒、膜原料のリサイクル バイポーラプレートの低コスト化、量産化 <ul style="list-style-type: none"> 材料の代替（金属、カーボンコンポジット） 燃料電池システムのシンプル化 <ul style="list-style-type: none"> 加湿器の不要化 制御ファクターの削減（システムのロバスト性向上）

スタック解析の方法

- 燃料電池スタック内の挙動を分析するために、DOE では国立標準技術研究所（National Institute of Standards and Technology）と共同で、中性子を使用した非破壊検査を研究している（図 6-10）。

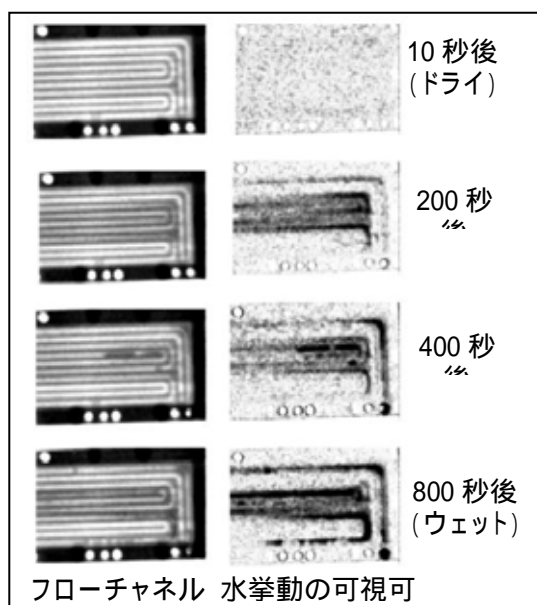


図 6-10 . 中性子イメージング技術

- Direct Technologies Inc の研究によると、燃料電池システムのコストの 2/3 はスタックコストであり、さらにスタックコストの 2/3 は MEA コストである。よって MEA のコストの削減が、燃料電池システムコスト削減の鍵となる(図 6-11)。

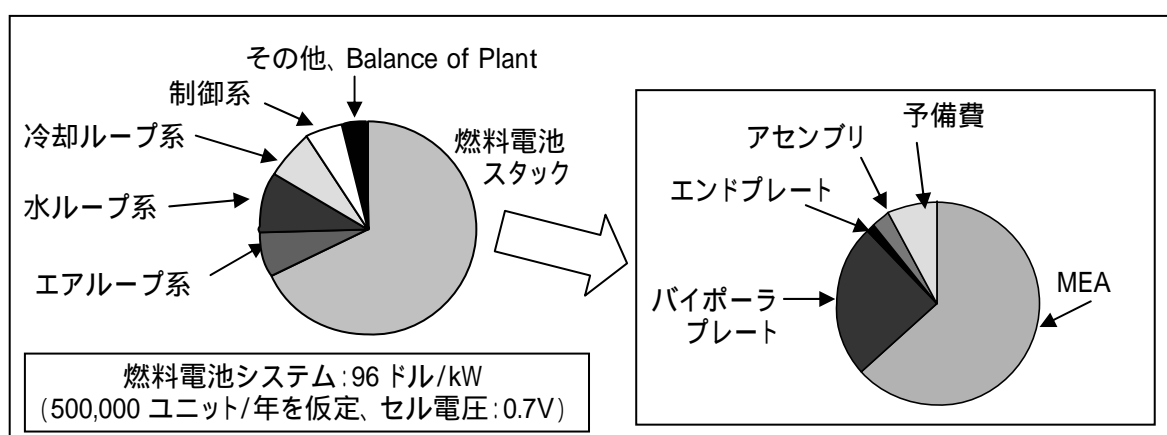


図 6-11 . 燃料電池システムのコスト構成

注：Direct Technologies Inc³⁹の研究

³⁹ ワシントン DC にあるコンサルティング会社。DOE の委託で、燃料電池のシステム分析などを実施している。

(6) ディスカッション

- Ford では、圧縮水素式 FCV に特化している。

Ford では走行距離向上のために、700 気圧システムの研究を進めている。DOE のデモンストレーションにおけるパートナーである BP も、700 気圧に対応した水素充填システムを開発中である⁴⁰。

液体水素式 FCV システムは、水素搭載量が多く航続距離も増えるが、技術的にもコスト的にも課題が多い。やはり本命は、圧縮水素式 FCV システムである。

過去には改質ガス式 FCV(メタノール改質、ガソリン改質)も研究したが、現在は開発を中止した。それは DOE の改質システムへの「No Go」決定もその判断の一因である⁴¹。

- デモンストレーションに関して：

気候的には、バンクーバーよりもデトロイトのほうが寒冷地である。

寒冷地のデトロイトから温暖なフロリダまでの幅広い環境でデモンストレーションを行い、リアルワールドの条件下で実証実験を行う。

デモンストレーションにおける FCV ユーザーは、政府職員から企業の従業員までさまざまである。

FCV は未成熟な技術であり、その技術評価を行うためにも、ユーザーの選定は慎重に行った。選定条件は：

- ほぼ毎日運転すること
- 自分で水素を充填すること
- 運転パターンがほぼ決まっていること である。

- 日本でのデモンストレーションの参画の可能性：

できれば日本の JHFC にも参画したい。しかし、研究開発のリソースが限られているので、実際問題として非常に困難である。

デモンストレーション車両のメンテナンスには、研究開発の最前線にいる人(次の世代の FCV を開発している人)が関わることになってしまう。

ドイツにはアーヘンに Ford の研究所があるため、ベルリンにおけるデモンストレーションの支援体制に問題はない。

⁴⁰ BP では 700 気圧システムの開発には消極的である。BP の項を参照。

⁴¹ DOE/EERE は 2004 年 8 月に、車載改質システムに関する開発援助を打ち切るといふ、いわゆる「No-Go Decision」を決定した。最終報告書は DOE/EERE のホームページからダウンロード可能。
< http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/committee_report.pdf >

- Ballard とのアライアンスに関して：

Ford は Ballard からスタックを導入しているが、同時に材料メーカーとも技術的な交流を進めている（ベンチマーキングの意味も含めて）。

燃料電池スタックは確かに FCV のハートであるが、Ford では内製化する予定はない。現在は Ballard と DaimlerChrysler とのアライアンスによるシナジー効果大きい。

- Ford では FCV だけではなく、さまざまな次世代自動車を開発している。

E450：水素内燃トラック（6.8L エンジン）

Stuart Energy に発電システム（125 kW）を提供している。

低エミッションのディーゼルトラックを上海に提供している（パーティクルトラップ式）

- 水素内燃機関自動車（ICE）について：

現在はトラックを開発しているが、将来は乗用車タイプを開発することも考えられる。

燃料電池に比べてコスト的には有利。通常の自動車用よりも高くなるが、Ford の研究開発資産によってコスト低減は可能。

ハイブリッド化（回生ブレーキ）も検討している。

水素内燃機関自動車は、主にコストのみの問題であるので、FCV よりも市場に近い製品である。再生可能エネルギーで水素を製造できれば、エネルギー効率もよいといえる⁴²。

⁴² Ford は、水素内燃機関自動車の効率については、総合効率（Well-to-Wheel 効率）の点から評価しているわけではないと思われる。

7. Oak Ridge National Laboratory

訪問先	Oak Ridge National Laboratory 住所：One Bethel Vally Road, PO Box. 2008 Oak Ridge, TN 37831-6186
訪問日時	2004年11月1日(月) 13:30~16:00
対応者	Timothy R. Armstrong Manager, Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy Program Johne B. Green Jr., PhD Group Leader, Fuels, Engines, and Emissions Research Center Timothy J. McIntyre Research Physicist, Engineering Science and technology Div. Govindarajan Muralidharan R&D Staff, Materials Processing Group, Metals & Ceramics Div. Michael P. Brady, PhD Metals & Ceramics Div. James G. Hemrick, PhD Research Associate, Mechanical Characterization and Analysis Group, High Temperature Materials Lab., Metals & Ceramics Div. Frederick S. Baker, PhD Carbon Materials Technology Group, Metals & Ceramics Div.
組織の概要	DOE 傘下の国立研究所。耐腐食性の金属セパレータを研究中。
調査項目	・ DOE プログラム下における、バイポーラプレートなど FC コンポーネントの研究開発状況

(1) Oak Ridge National Laboratory の概要

- Oak Ridge National Laboratory (ORNL) は、米国 DOE 傘下の研究所である。
第二次世界大戦中のマンハッタン計画で、ウラン 239 の分離のために設立された。
研究所の運営はテネシー大学と Battelle Memorial Institute が行っている。
- 従業員数は 3800 人 (うち研究者、エンジニアは 1500 人)。客員研究員は年間 3000 人程度 (1/4 は民間から)。ORNL の組織を図 7-1 に示す。
- 敷地面積は約 150 km²。
- 年間予算は 10.7 億ドル (1100 億円)。うち 80% が DOE からの研究予算であり、20% は民間からの資金である。

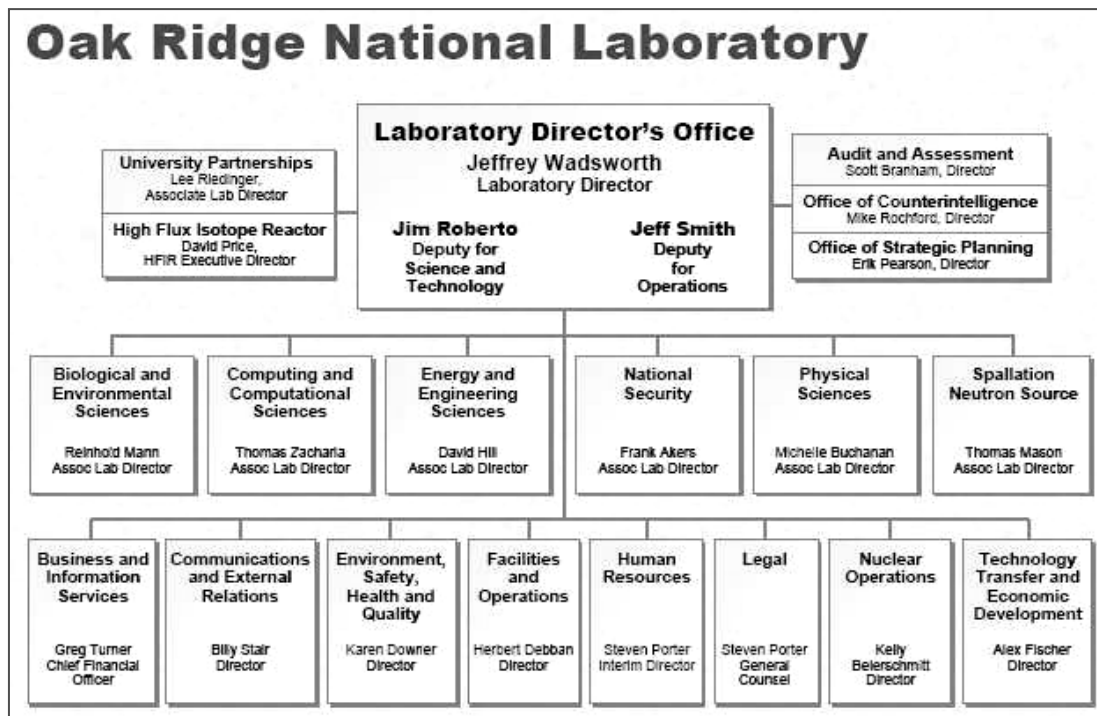


図 7-1 . Oak Ridge National Laboratory の組織
 出所：Oak Ridge National Laboratory ホームページ

- Oak Ridge National Laboratory における燃料電池関連の研究を表 7-1示す。

表 7-1 . Oak Ridge National Laboratory の燃料電池関連の研究

<ul style="list-style-type: none"> • 新規のバイポーラプレート（金属、カーボンコンポジット）の研究 • MEA のマイクロストラクチャ分析 • ヒートエクスチェンジャー（カーボンフォーム、カーボンファイバ）の研究 • 金属、カーボン水素貯蔵に関する研究 • 脱硫触媒の開発 • 高温 PEM 用膜の研究 • DOE「水素貯蔵グランド・チャレンジ」金属水素貯蔵研究の Center of Excellence⁴³

⁴³ 「水素貯蔵グランド・チャレンジ (Hydrogen Storage Grand Challenge)」は、エイブラハム DOE 長官が 2004 年 4 月 27 日に発表した官民パートナーシップ。同時に「管理下における水素利用車及びインフラ実証・評価プロジェクト (Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project)」も発表されている。水素貯蔵グランド・チャレンジの Center of Excellence (メイン) は以下のとおり。

Chemical Hydrogen Center(化学的貯蔵): Los Alamos National Lab., Pacific Northwest National Lab.
 Metal Hydride Center (金属貯蔵合金): Sandia National Lab.
 Carbon Center (カーボン貯蔵): National Renewable Energy Lab.

(2) Oak Ridge National Laboratory の研究内容

金属バイポーラプレートの開発

- ORNL では、表面を窒化クロム処理した金属バイポーラプレートの研究を行っている (図 7-2)。

金属バイポーラプレートは、膜へのコンタミネーションの防止と、接触抵抗の増大の防止が課題である。

従来の表面コーティングでは、表面にピンホールが発生すると急激に腐食が進む上、コーティングの均一性に問題があった。

ORNL では、高温窒素ガスを用いて金属バイポーラプレート表面に窒化クロム層を形成させる技術を開発している。

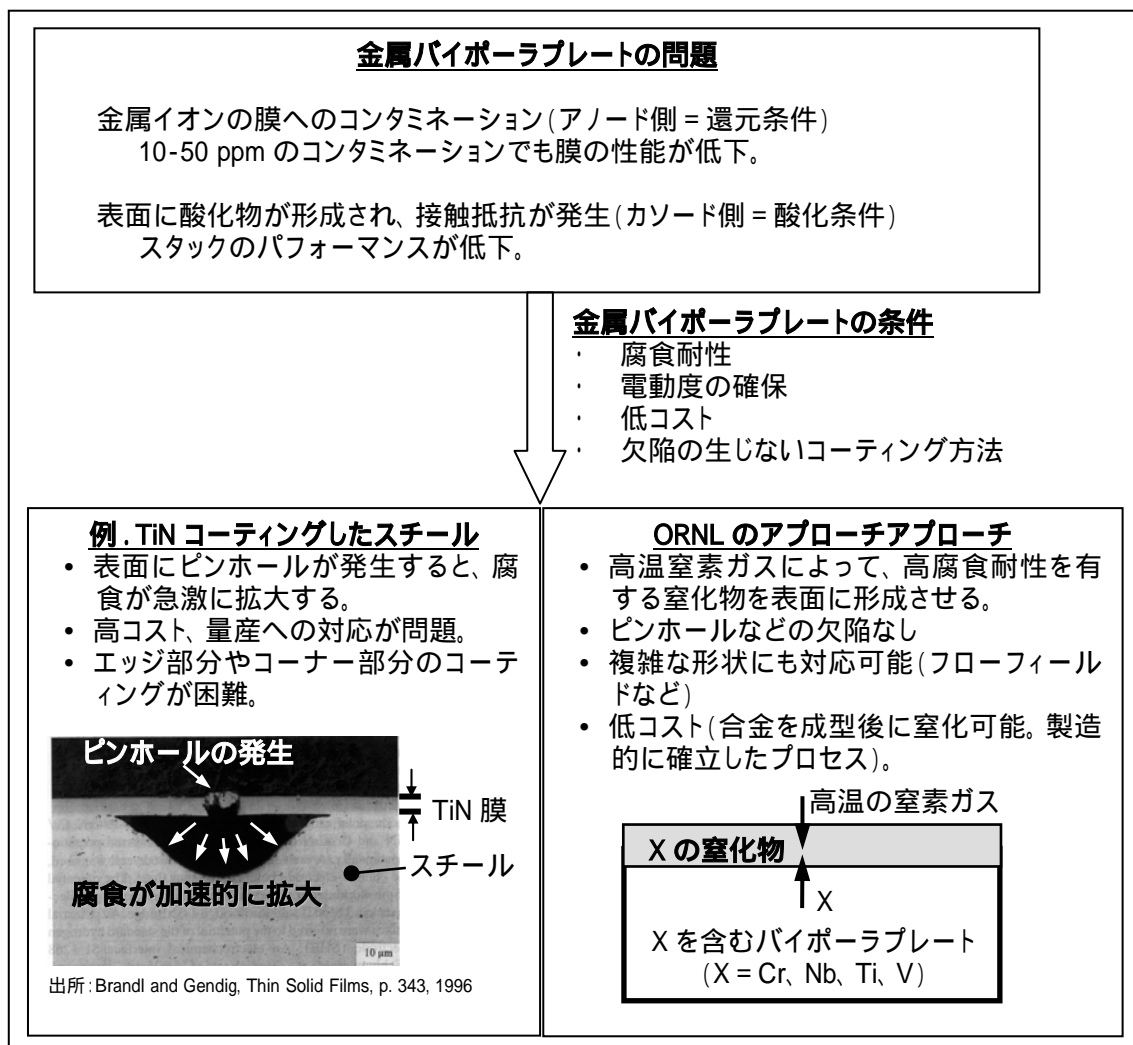


図 7-2 . ORNL の金属バイポーラプレート研究

- 図 7-3に、窒化クロム層形成の成功例 (Ni-50Cr 合金) を示す。

Cr₂N 層が合金内部から成長するため、フローフィールドのような形状においても窒化クロム層の形成が可能である。

Ni-50Cr 合金以外の系 (例 . Ni/Fe-X 合金、X=Cr、Nb、Ti、V、Zr) でも同様な結果を得ている。

Cr₂N 層を有する Ni-50Cr 合金は、ステンレスやオリジナルの Ni-50Cr 合金よりも低い接触抵抗を有し、接触抵抗の目標値 20 mΩ·cm² を十分に達成している。

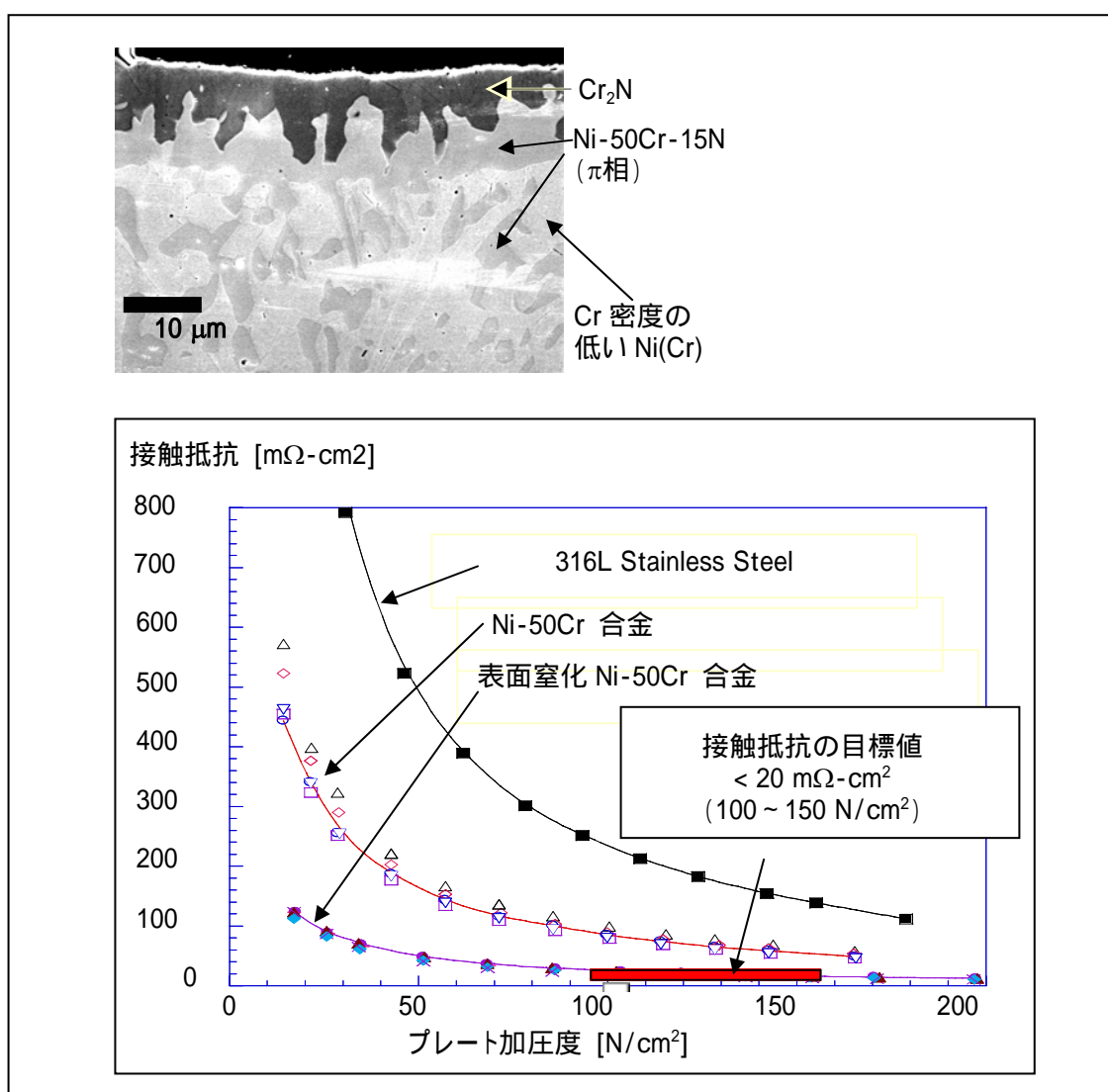


図 7-3 . 成功例 : Ni-50Cr 合金の表面窒化

- 窒化クロムで被膜した金属バイポーラプレートを図 7-4のテスト装置で、腐食テストを行った。

腐食テスト 1000 時間後におけるアノード側の電圧変化はわずか 2 mV、カソード側の電圧変化も 2.7 mV に過ぎない（白金スクリーン：1A/cm²）。

腐食テスト 4100 時間後でも、バイポーラプレート金属の溶出は非常に少ない（アノード側で Ni 3.8 ppm、カソード側で Ni 0.08 ppm。Cr の溶出は検知されなかった）。

腐食テスト 4000 時間後の表面抵抗値は、窒化処理直後とほぼ同じ値を維持している（図 7-5）。

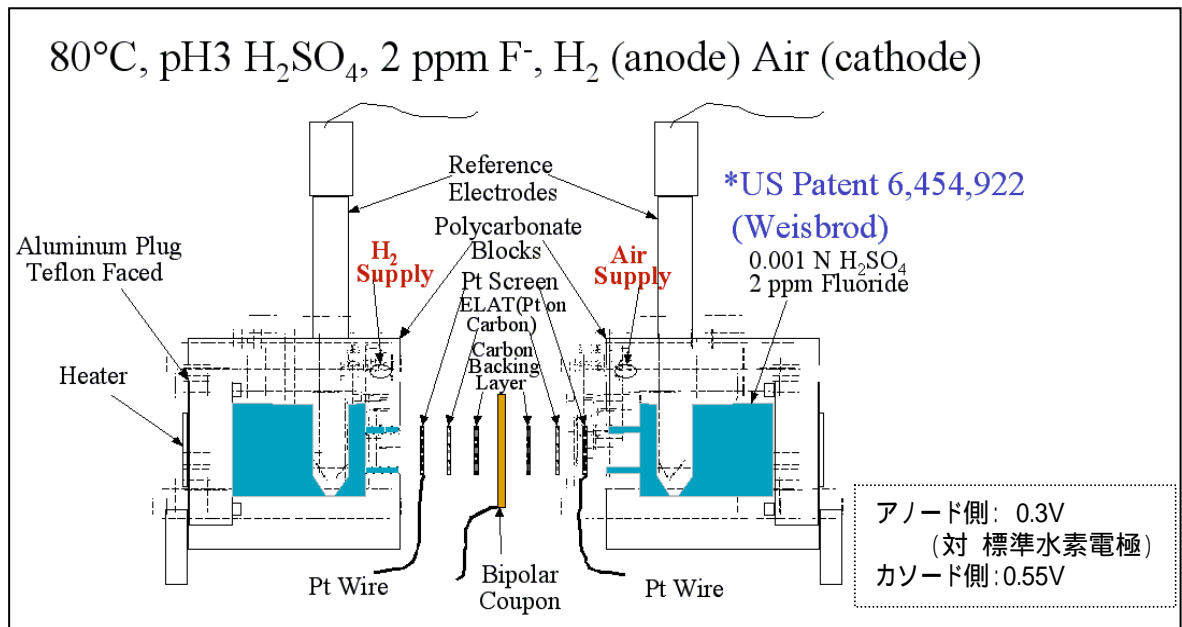


図 7-4 . 金属バイポーラプレートの腐食テスト装置

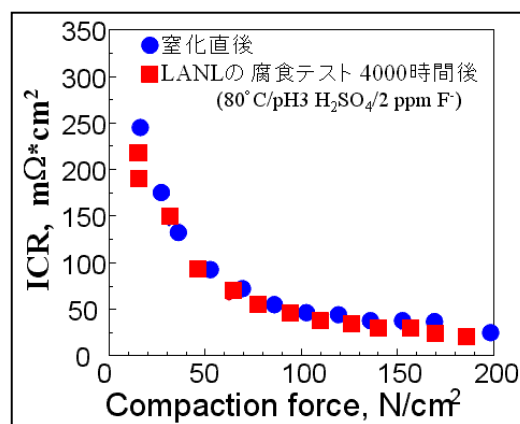


図 7-5 . 腐食テスト 4000 時間後の表面抵抗値

- ORNL が試作した試作した金属バイポーラプレート（表面を窒化クロム化）を図 7-6に示す。

腐食テスト 1000 時間後でも、膜への金属（Ni、Cr）のコンタミネーションは 0.01 ~ 0.03 mg/cm²であった。これは、グラフアイトバイポーラプレートと同様のレベルである。

腐食テスト後も表面に不導体酸化皮膜は形成されず、接触抵抗値の上昇は見られなかった。

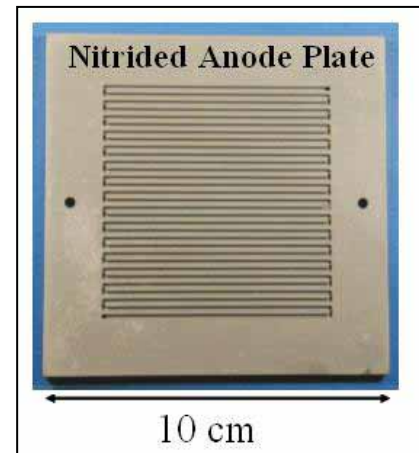


図 7-6 . 試作した金属バイポーラプレート

- 低コストなバイポーラプレート開発のために、ORNL では現在 2 種類の合金（Ni-30Cr 合金、Fe-Cr 系合金）をベースとする耐腐食性バイポーラプレートの開発を行っている（表 7-2）。

表 7-2 . 研究中の低コスト金属バイポーラプレート

Ni-30Cr 合金	<ul style="list-style-type: none"> • DOE のバイポーラプレートのコスト目標（中期的目標）を満たす可能性あり。 • ポータブル FC、定置用 FC、特定用途向け FC に使用可能。 • 表面に均一の窒化クロム層を形成可能。 • 可能であれば、よりクロム含有量の低い Ni-20Cr にて研究を行う。
Fe-Cr 系合金 (Fe(Ni)-Cr 系合金)	<ul style="list-style-type: none"> • DOE の自動車用 FC 向けバイポーラプレートのコスト目標を達成できる可能性あり。 • 現状では、表面に均一の窒化クロム層が形成できていない（いま一步の段階）。 • 不動態酸化皮膜の均一な窒化がカギ。

- 窒化クロムで被膜した合金 (Ni-Cr 合金) の腐食電位を図 7-7に示す。目標として設定した電位よりも低い電位を示し、高い耐腐食性を示している。

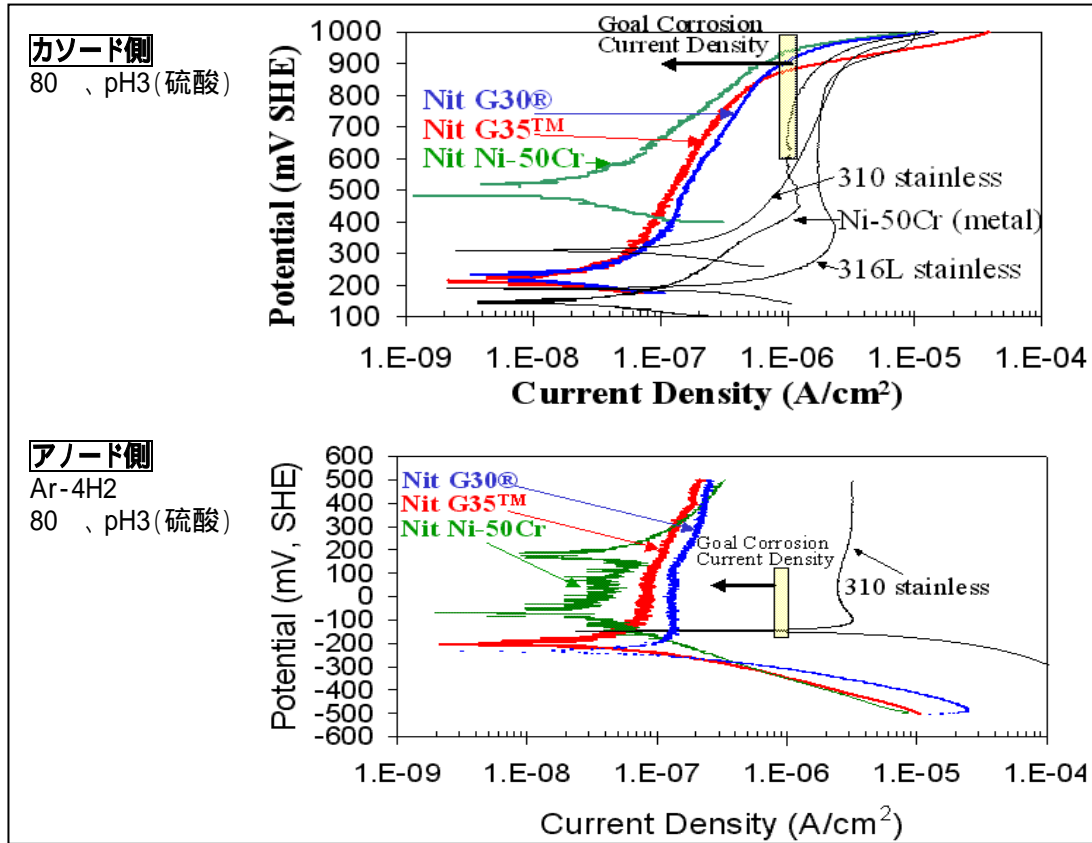
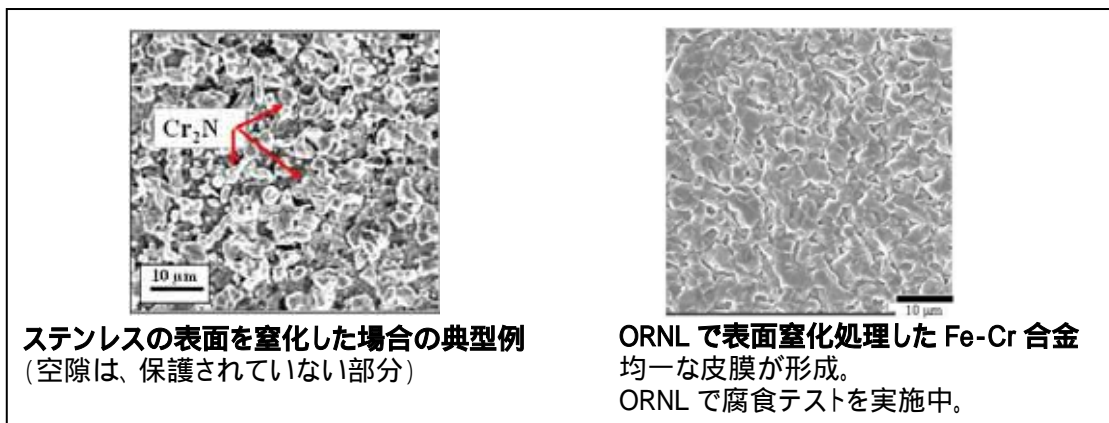


図 7-7 . 窒化クロムで被膜した合金の腐食電位

- 通常のステンレスに腐食耐性を持たせるためには、合金の表面に均一な窒化クロム膜 (1.5 ミクロン厚) を形成することがカギとなる (図 7-8)。



ステンレスの表面を窒化した場合の典型例
(空隙は、保護されていない部分)

ORNL で表面窒化処理した Fe-Cr 合金
均一な皮膜が形成。
ORNL で腐食テストを実施中。

図 7-8 . 合金表面の窒化物形成

- 表面抵抗が低く、かつ耐腐食性のバイポーラプレートを作成するためには、ステンレス表面の不動態皮膜を均一に窒化（1 ミクロン以下）する必要がある。
- 現在 ORNL では、一般に入手可能なステンレス合金 446（Fe-27Cr ベース）を用いて、実験を進めている。

他のステンレスにも応用可能。ただし、まだ解明されていない新しい現象が得られている。

ステンレス合金 446 を表面窒化处理した場合の接触抵抗を図 7-9 に示す。7.5 時間の腐食テスト後も、接触抵抗は目標値 $20 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$ 以下を保ち、金属イオンの溶出も 316 L 系ステンレス鋼の $1/20$ 以下であった。

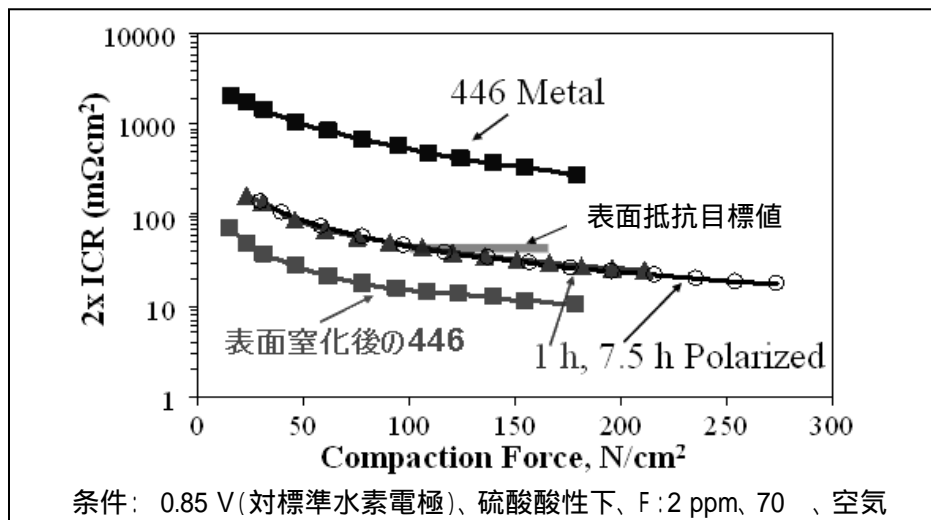


図 7-9 . ステンレス合金 446 の表面窒化处理

- 高温窒化法は、複雑な加工を施した金属プレート（例：フローフィールド）の表面保護が可能である。またバイポーラプレート成型後に窒化处理を行えばよいため、量産に適している。

この方法で形成される CrN 、 Cr_2N は、低接触抵抗を維持でき、また金属イオン溶出がきわめて少ないため、バイポーラプレートへの応用に適している。

本方法は、クロム含有量 50% 以下のステンレス鋼にも適用可能である。

現状では表面変性による問題は生じていない。バイポーラプレートの変形は熱的伸縮で生じるため、この影響を最小化することが重要である。

- 金属バイポーラプレートのコスト目標は 1~2 ドル/枚である（DOE の目標値に一致）。

MEA のマイクロストラクチャ分析プログラム

- MEA 劣化メカニズムを解明するため、SEM、TEM 分析を利用したマイクロストラクチャ分析を実施している。

MEA のマイクロ構造とパフォーマンスの関係、MEA 劣化のメカニズムを解明する。

本研究は米国の燃料電池メーカーと共同で実施している。

- MEA は断面が見えるように基板(エポキシ樹脂)への埋め込みを行い(図 7-10) そのマイクロストラクチャを SEM (走査電子顕微鏡)、TEM (透過型電子顕微鏡) で分析した(図 7-11)。

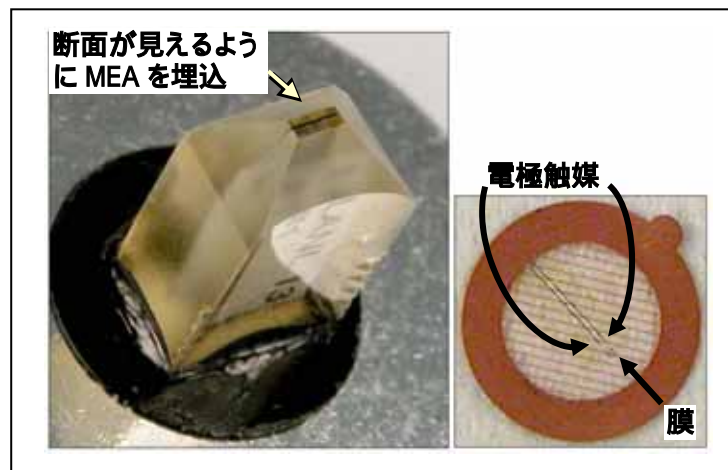


図 7-10 . SEM 分析、TEM 分析のための切片作成

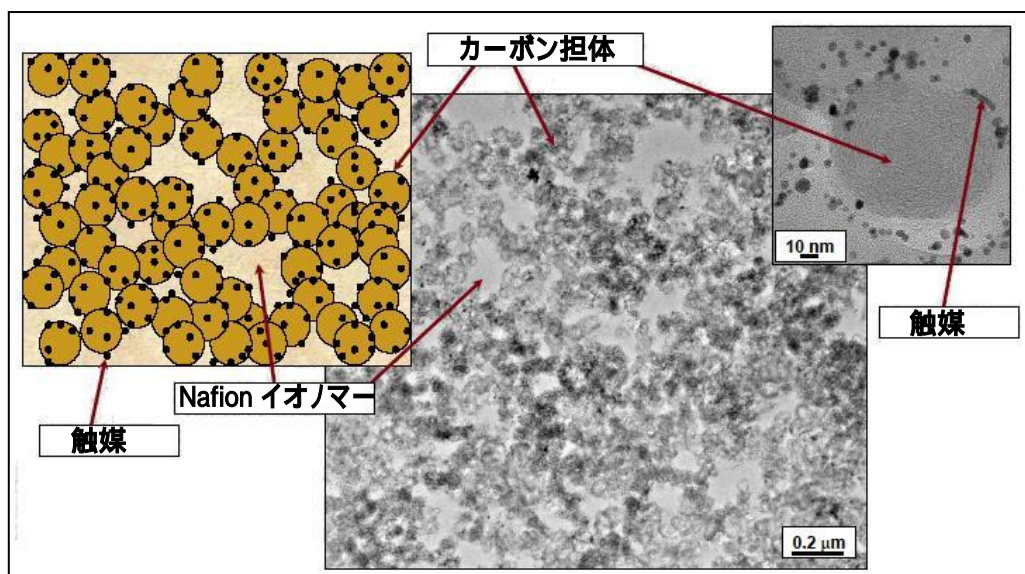


図 7-11 . MEA の TEM 分析の例

- 現在 ORNL では、Los Alamos National Laboratory で製作した PEM 膜 6 種類（触媒層の Nafion イオノマー含有率：17%、20%、25%、28%、40%、67%）に関して、マイクロストラクチャ分析を行っている。

分析対象となった PEM 膜の電流密度性能に示す。触媒層のイオノマー率によって MEA の電流密度は大きく変化し、28%で最も高い電流密度を達成した（図 7-12）。

触媒層の性能は、プロトン伝導度、電導度、物質のモビリティ（拡散度）によって決定されるが、これらは Nafion イオノマーの比率に大きく依存する。そのため、Nafion イオノマー比率がカーボン（触媒担体）の凝集度や空孔率にどのような影響を及ぼすかを理解することが重要である。

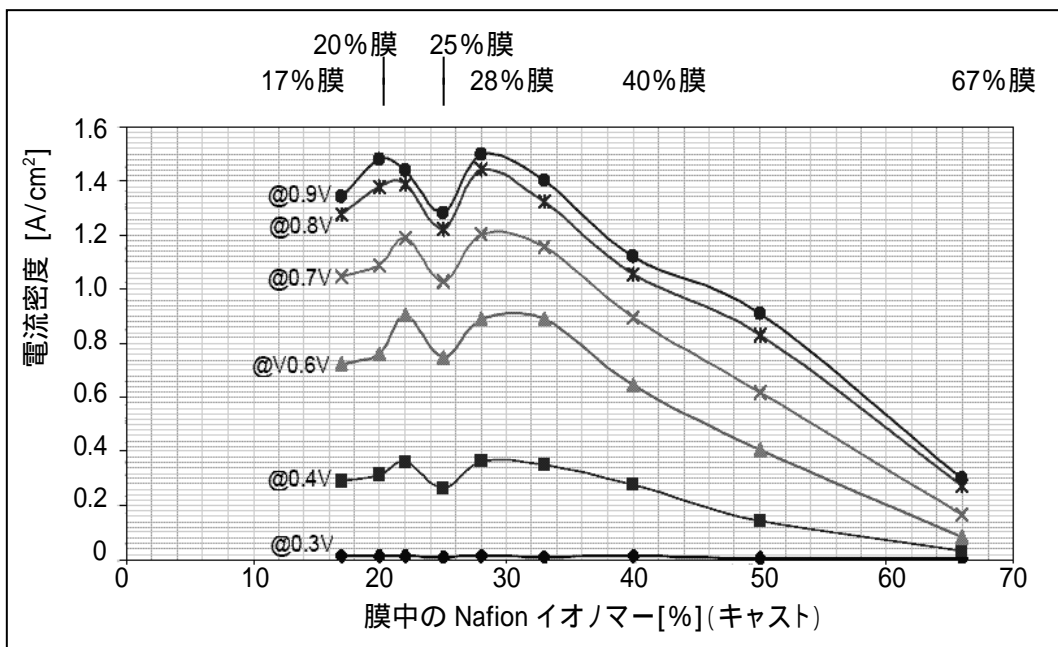


図 7-12 . マイクロストラクチャ分析対象となった PEM 膜

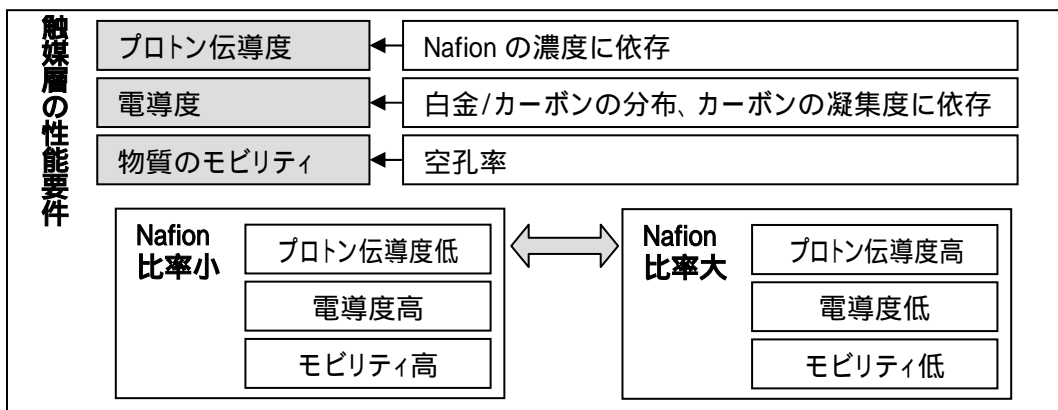


図 7-13 . マイクロストラクチャの点から見た触媒層設定上の検討点

- TEM 分析（カソード側）によると、Nafion イオノマー量によって Nafion とカーボン(触媒担体)の凝集度に大きな差があることがわかる(図 7-14、図 7-15)。

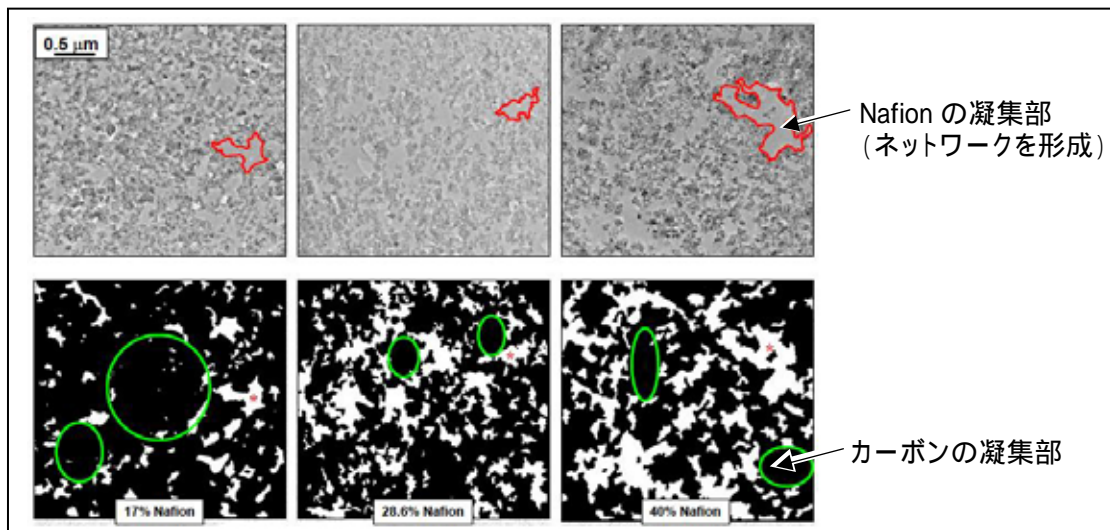


図 7-14 . Nafion イオノマー量がマイクロラクチャに与える影響 (カソード)

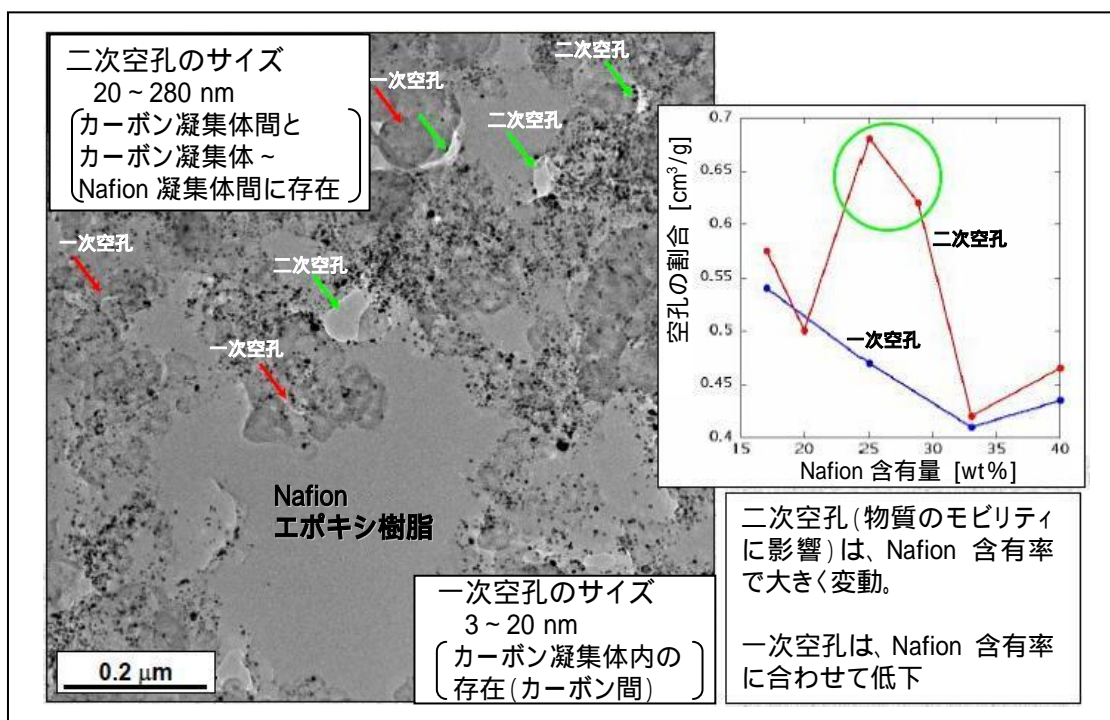


図 7-15 . Nafion イオノマー含有量と一次空孔・二次空孔の関係

- 現在 ORNL では同様の手法を用い、MEA の劣化の研究を Los Alamos National Laboratory と共同で実施している (LANL はパフォーマンステストを実施)。

2 種類の MEA (表 7-3、図 7-16) を使用し、劣化テストを実施している。MEA No.2 の場合、時間とともに触媒の凝集と拡散が確認された(図 7-17、図 7-18)。

表 7-3 . 劣化テスト用 MEA

MEA	カソード側触媒	アノード側触媒	テスト時間
No.1	PtCoCr 0.4 mg/cm ²	PtRu 0.27 mg/cm ²	2200 時間 (進行中)
No.2	Pt ₃ Cr 0.2 mg/cm ²	Pt 0.2 mg/cm ²	500 時間

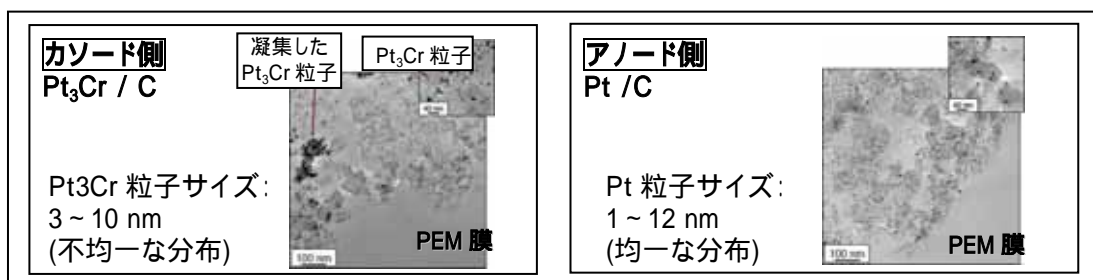


図 7-16 . 作製直後の MEA (No. 2) のマイクロストラクチャ

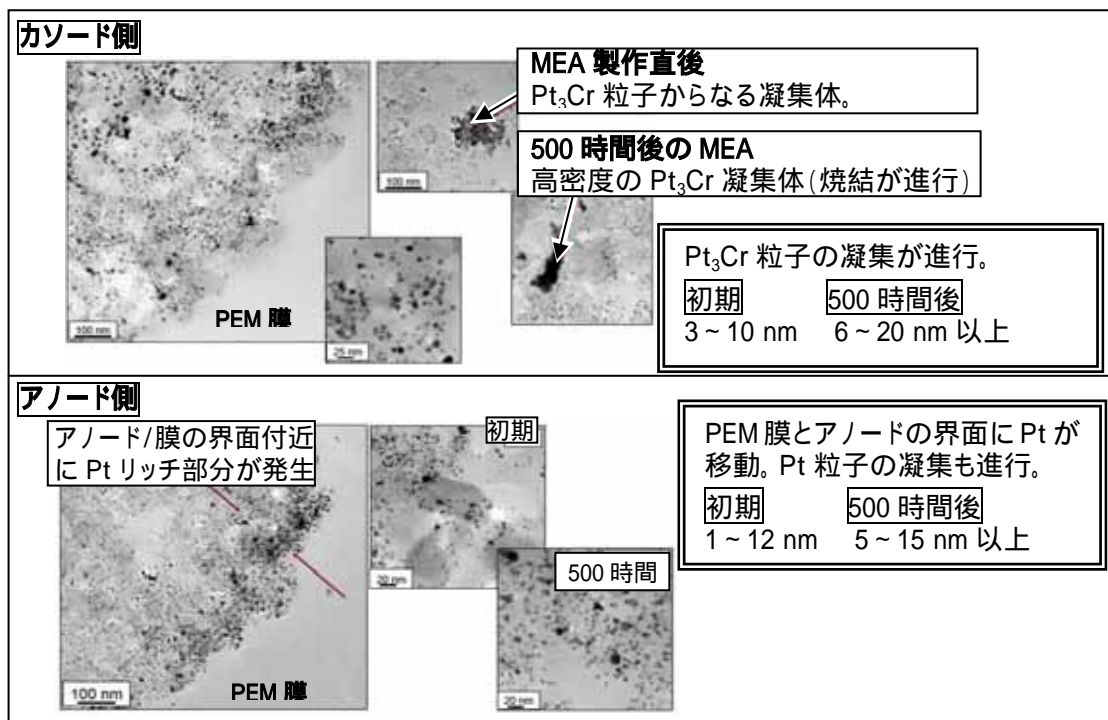


図 7-17 . 500 時間後の MEA (No. 2) のマイクロストラクチャ変化

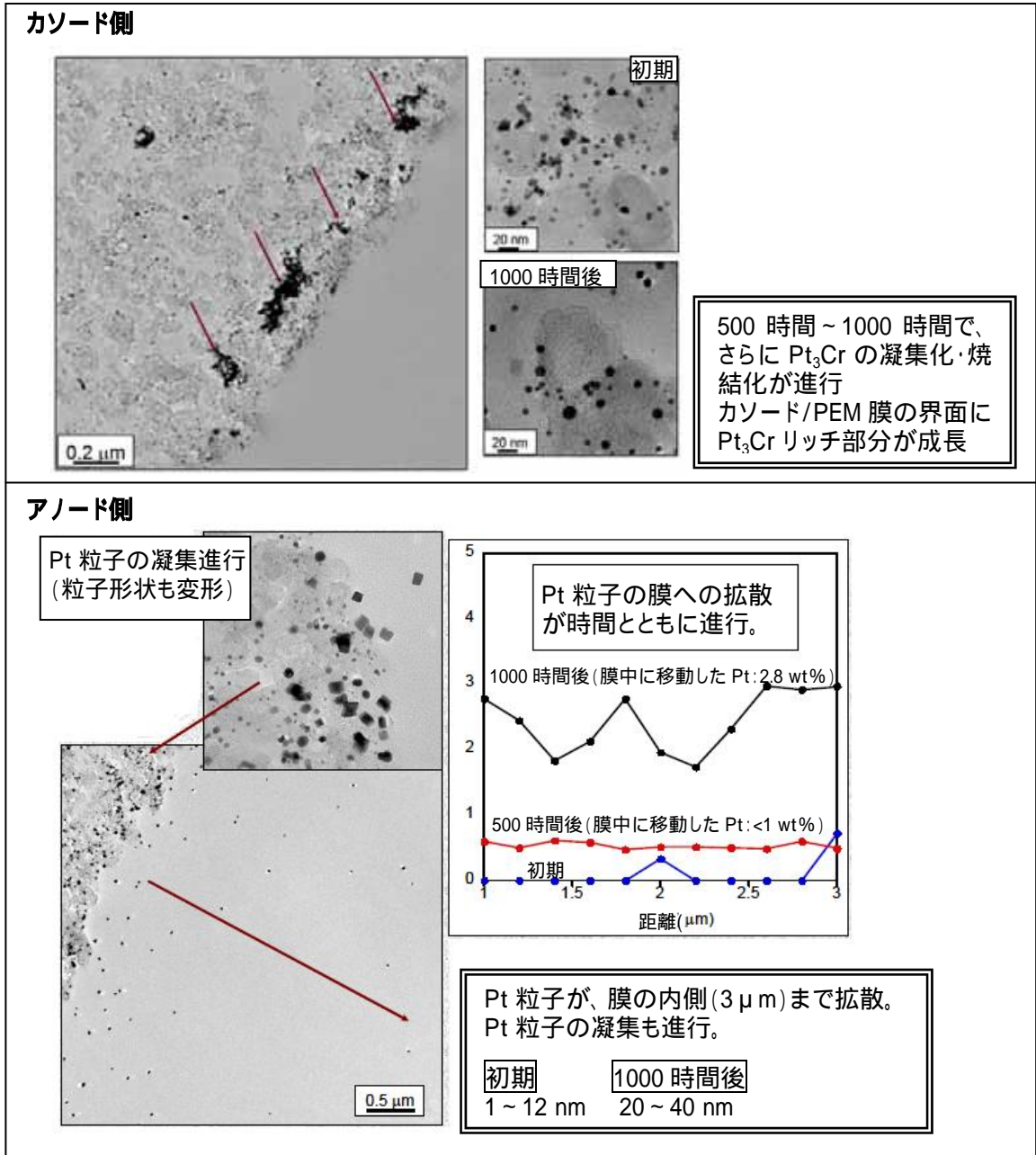


図 7-18 . 1000 時間後の MEA (No.2) のマイクロストラクチャ変化

- 現在 ORNL では、2000 時間を越えた劣化テストを実施している。また、単に画像によるマイクロストラクチャ変化の観察だけでなく、モデリングも進めている。

グラファイトベースの熱交換器の開発

- ORNL では、グラファイトベースの熱交換器を開発している（図 7-19）。

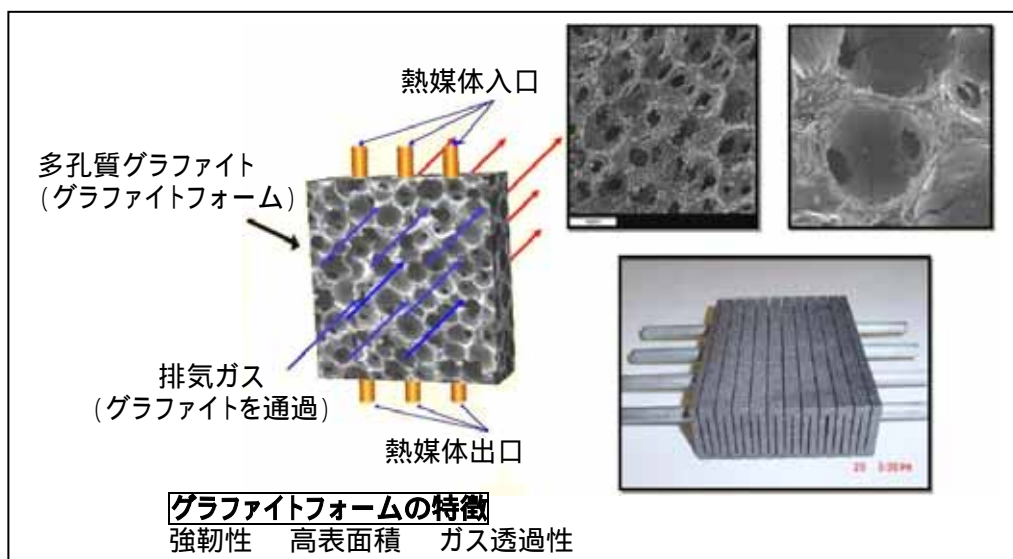


図 7-19 . グラファイトベースの熱交換器

- FCV では表 7-4に示すような熱マネジメント上の課題があり、これに答えることが熱交換器に求められている。

表 7-4 . FCV の熱マネジメント上の課題

- FCV では、発熱デバイスと吸熱デバイスの両方が混在する。
例 .

エアコンプレッサ (発熱)
水凝縮器 (発熱)
気化器 (吸熱)
- 乗員のためにエアコン・換気システムが必要。
- 各デバイスの作動温度が大きく異なる。
例 . スタック、モーター、パワーエレクトロニクス : 80 ~ 100
燃料改質器、気化器 : 200 ~ 300
- 各システム (燃料電池、モーター、パワーエレクトロニクス、エアコンなど) が独立して熱・水マネジメント用コンポーネントを有しているため、全体として車両重量増につながる。

- グラファイトフォームを用いた熱交換器のメリットとデメリット、さらに開発のための目標設定を図 7-20に示す。

検討を検討した結果、素材としてカーボンファイバが有望であると結論した（表 7-5）。

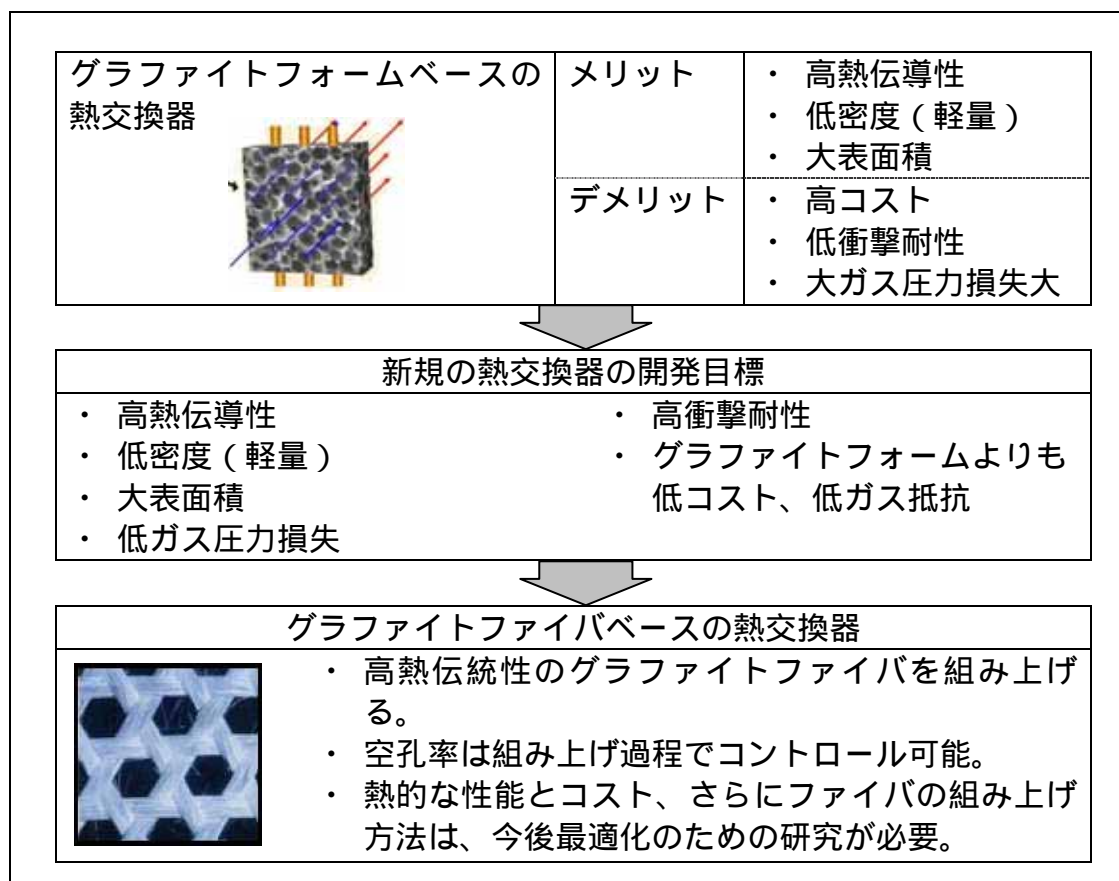


図 7-20 . グラファイトフォーム熱交換器の特徴と開発目標

表 7-5 . カーボンファイバ熱交換器とカーボンフォーム熱交換器の比較

	カーボンファイバ熱交換器	カーボンフォーム熱交換器
熱伝導度		
圧力損失		×
最適化		×
衝撃耐性		×
重量		
コスト		×

- 現在 ORNL で開発中のカーボンファイバを用いた熱交換器を図 7-21に示す。
 カーボンファイバは日本グラファイトファイバー社⁴⁴製、プレート状への組み上げは 3TEX⁴⁵の技術である。
 熱交換器用カーボンファイバのガス浸透性のテスト結果を図 7-22に示す。

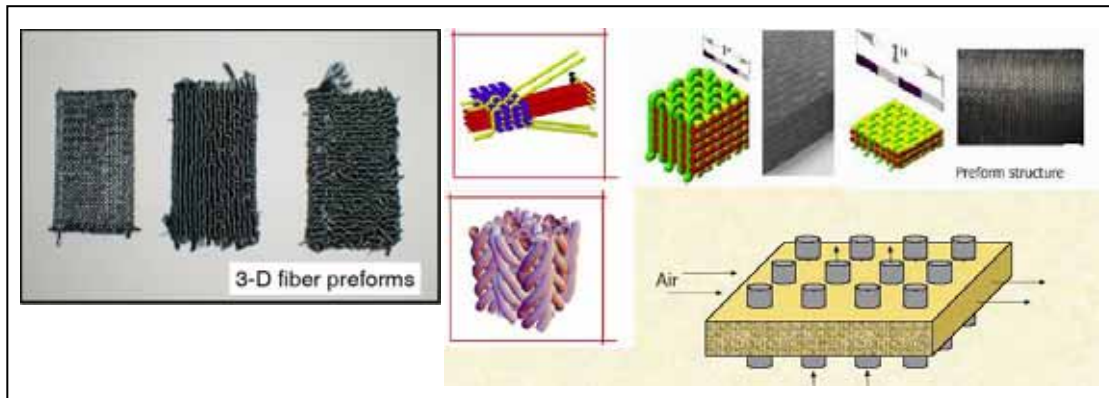


図 7-21 . 熱交換器用カーボンファイバ

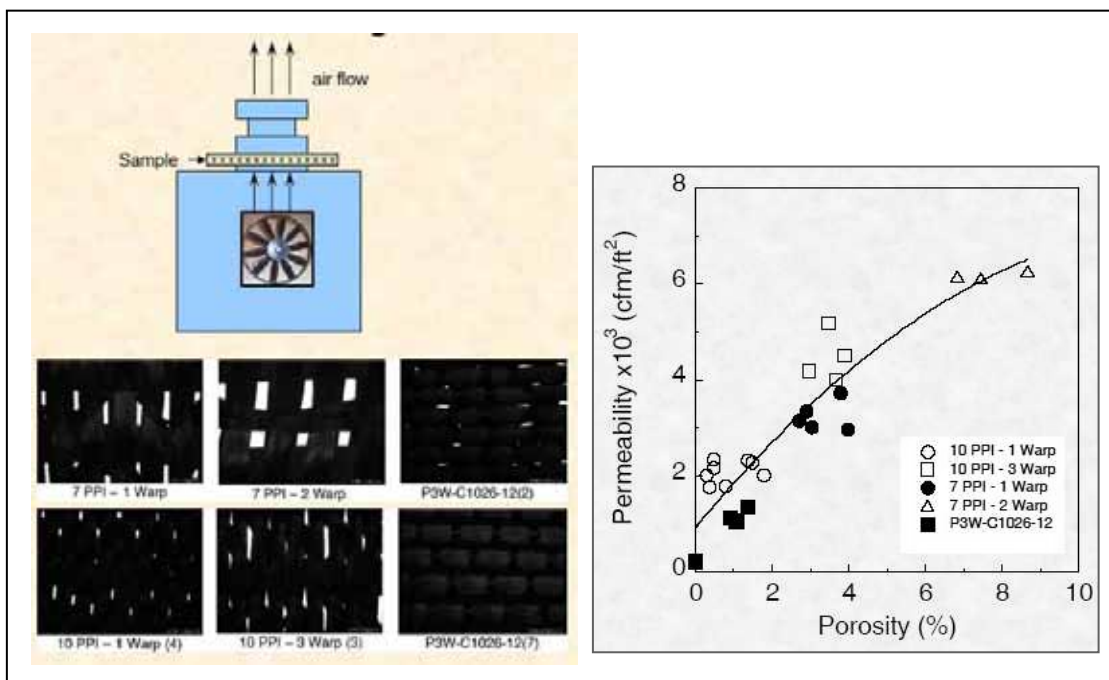


図 7-22 . 熱交換器用カーボンファイバのガス浸透性テスト結果

⁴⁴ ピッチ系炭素繊維の開発メーカー。新日本製鐵と新日本石油が 50%づつ出資。
 < <http://www31.ocn.ne.jp/~ngf/> > 参照。

⁴⁵ ノースカロライナ州にあるコンポジット材の R&D 会社。主に軍事用の構造材を開発。
 < <http://www.3tex.com/> > 参照。

光ファイバによる燃料電池内温度・湿度センサの開発

- ORNL では、光ファイバによる燃料電池内温度・湿度センサの研究を行っている。

光ファイバによるセンシングは、燃料電池の腐食性の強い環境でも安定して使用でき、またコスト的にも大きなメリットがある。

励起した発光物質が下方遷移するときの減光過程は温度に依存する（図 7-24）。そのため、この過程を光導波路を介して測定することで、特定のポイントの温度を計測することができる。

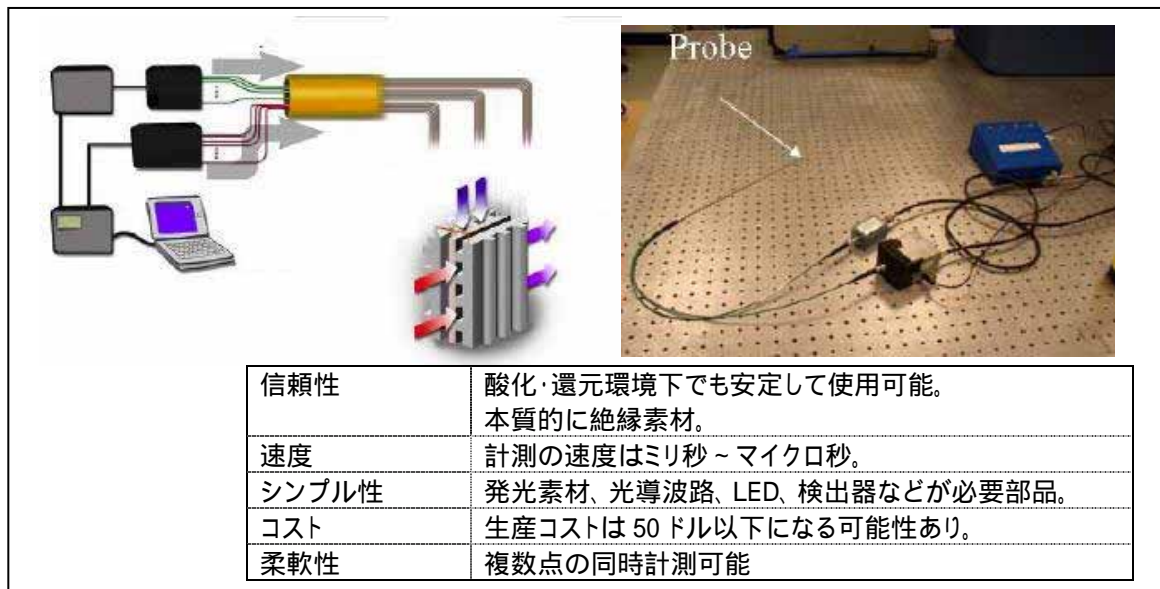


図 7-23 . 光センサの特徴

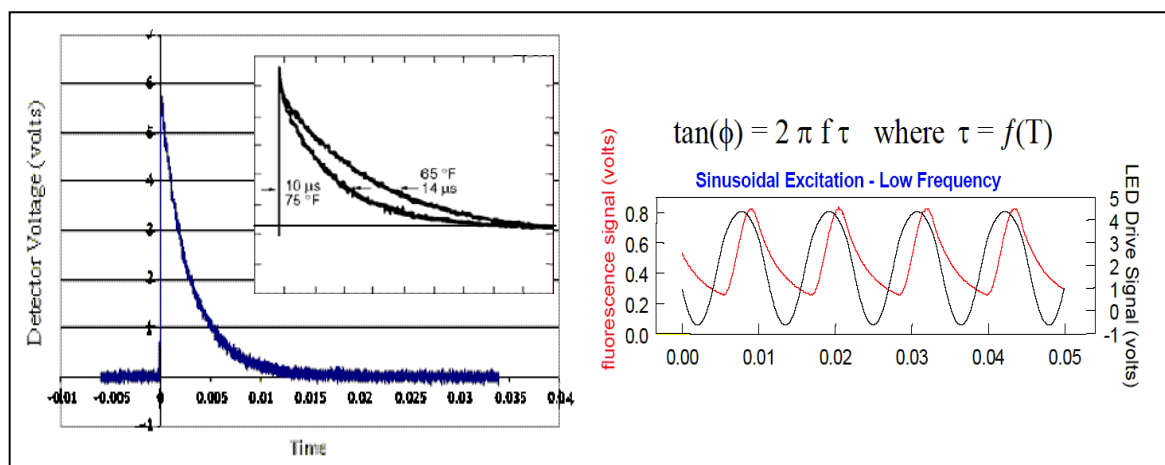


図 7-24 . 減光過程の温度依存性（左：単パルス、右：連続パルス）

- ORNLでは発光物質のスクリーニングの結果(図 7-25)、減光過程の温度依存性が高いルビー球をセンサの発光体を選択した(図 7-26、図 7-27)。

図 7-25 . 様々な発光物質の減光時間の温度依存性

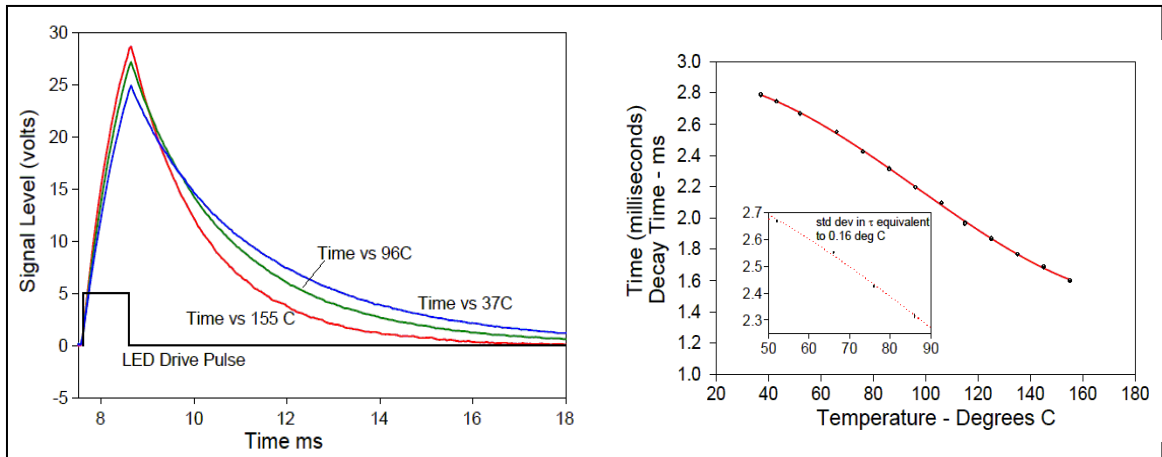
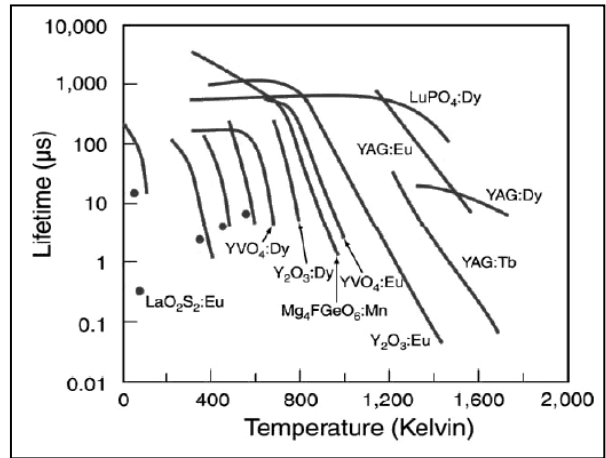


図 7-26 . ルビー球による発光と減光過程の温度依存性

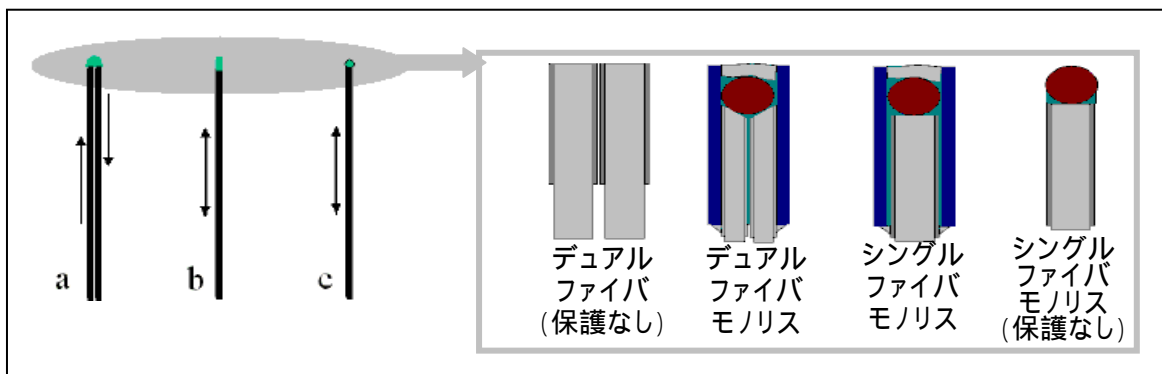


図 7-27 . ルビー球を用いた光ファイバ温度センサ

出所: "DOE Hydrogen Program FY 2004 Progress Report IV Fiber Optic Temperature Sensors for PEM Fuel Cells
 < www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/pres/117973.pdf >

- ORNL では、新規の光ファイバセンサの開発を行っている。

単に光ファイバの先端に発光物質を付加するのではなく、表面の一部を発光物質でコートしたり、発光物質自体をファイバ自体に添加することで、点ではなく線・面での温度計測が可能になる（図 7-28）。

二光子励起方式を採用すれば、光ファイバ中の特定の場所の温度を計測することができる（図 7-29）。

まだコンセプト段階であるが、MEA 中に光ファイバを埋めこみ、MEA 中の温度を面的に測定する研究も進めている（図 7-29）
- ORNL では、光ファイバ先端の発光体部に親水性ポリマーを取り付けた、温度・湿度センサも開発している。親水性ポリマーは、湿度によって透明度が変化するので、光度の変化として湿度を検知することができる（温度は減光時間を測定することで測定することが可能であるので、湿度の影響を受けない）。

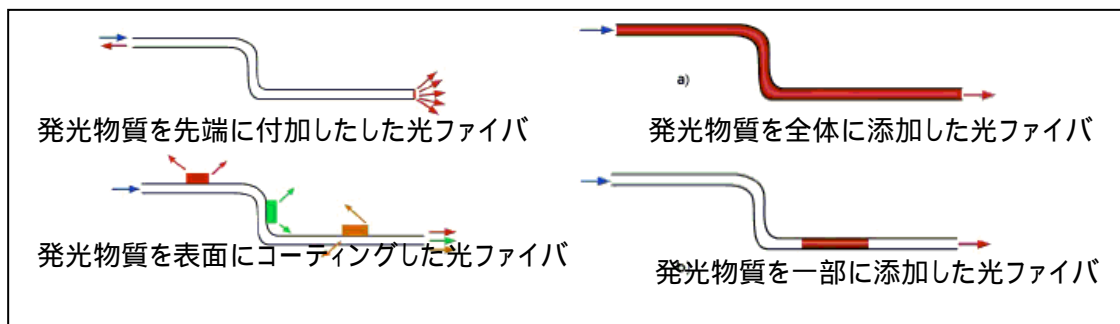


図 7-28 . 新規開発中の光ファイバセンサ

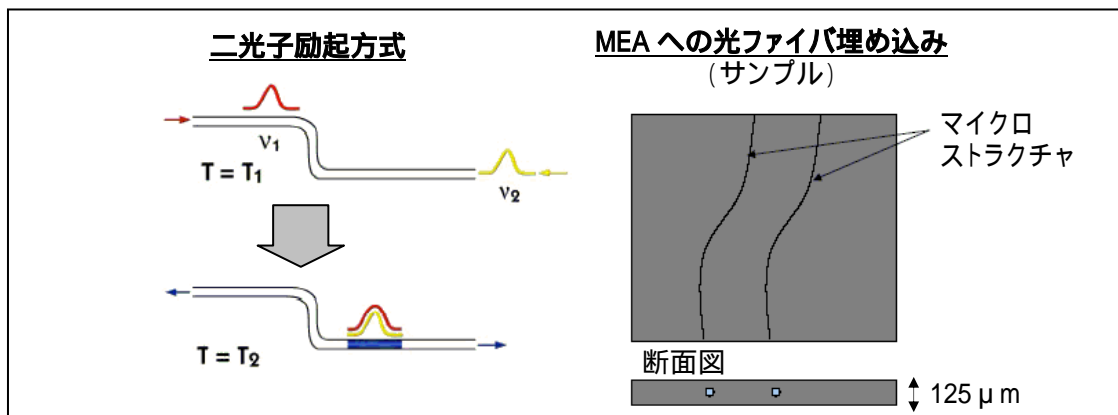


図 7-29 . 光ファイバセンサの応用例

金属水素貯蔵研究

- ORNL は、DOE の「水素貯蔵グラウンド・チャレンジ」において、金属水素貯蔵研究の Center of Excellence に指定されている。
- 水素貯蔵システムに求められる条件を表 7-6に、DOE が設定している水素貯蔵の目標値を表 7-7に示す。

水素貯蔵率の点では MgH_2 は有望であるが（理論密度 7.6 重量%）、反応が遅く、高温が必要という問題がある。

- 現在 ORNL では、ナノマテリアルを使用した水素吸蔵合金の研究を進めている。
ナノマテリアルを使用することで、吸蔵・放出反応速度を高めることができる。
吸蔵・放出に求められる温度を低下させることができる可能性がある。

表 7-6 . 水素貯蔵システムに求められる条件

<ul style="list-style-type: none"> ・ 吸蔵・放出における可逆性の確保 ・ 高い水素吸蔵密度 ・ 水素の吸蔵・放出条件：100 以下、1～10 気圧 ・ 十分な吸蔵・放出の速度

表 7-7 . DOE の水素貯蔵のターゲット

水素貯蔵密度	2005 年	2010 年	2015 年
重量密度 [kWh/kg]	1.5	2	3
(対システム比) [kgH ₂ /kg]	(4.5%)	(6.0%)	(9.0%)
体積密度 [kWh/L]	1.2	1.5	2.7
(対システム比) [kgH ₂ /m ³]	(36)	(45)	(81)

- 水素吸蔵合金の粒径と水素吸蔵率の関係を図 7-30に示す。一般に水素吸蔵合金をマイクロ粒子化すると、水素吸蔵率が向上する。

この方法はあらゆる合金に応用可能だが、粒子が不安定化し、粒子の凝集化によってマイクロ化の利点が失われるという問題もある。

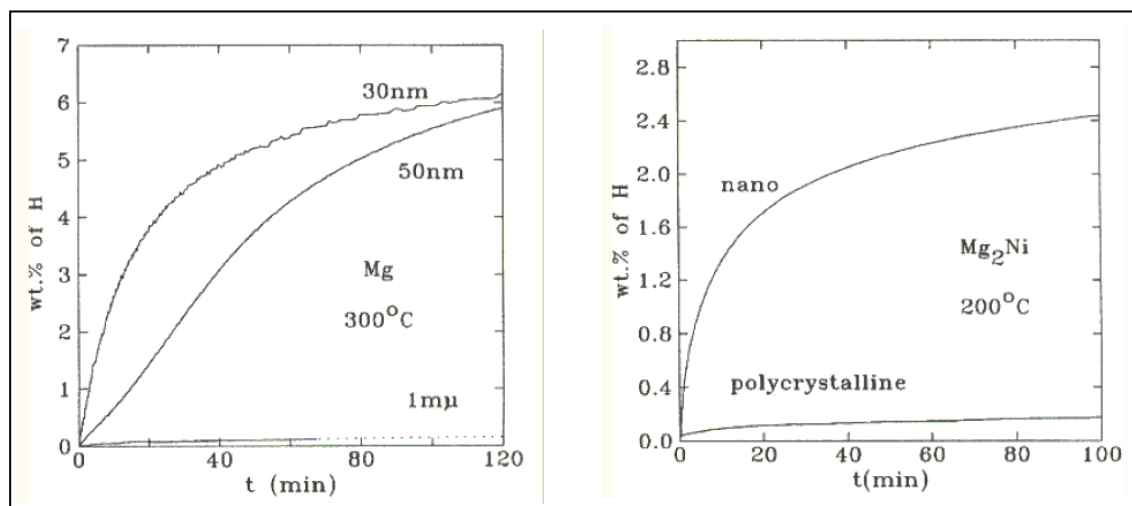


図 7-30 . 粒径と水素吸蔵率の関係

出所 : A. Zaluska, L. Zaluski, and J. O. Strom-Olsen, Appl. Phys. A 72, 157-165 (2001)

- 水素吸蔵合金を薄膜上に蒸着した場合、往々にしてアモルファスとなり⁴⁶、水素吸蔵・放出の温度が低下することが報告されている (図 7-31)。
- ORNL では、Mg/Pd 薄膜で水素吸蔵率 6.6%を達成している (まだ研究の初期段階である)。

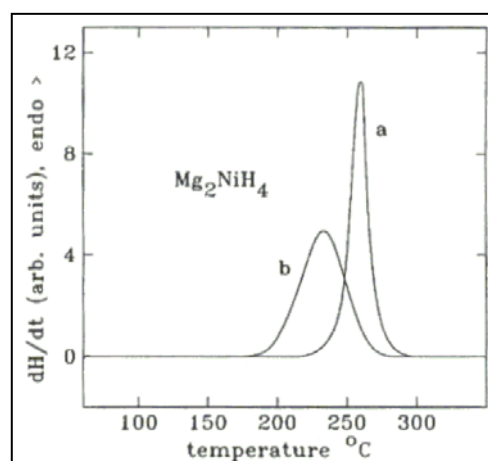


図 7-31 . 水素放出温度に対するボールミルの影響

出所 : A. Zaluska, L. Zaluski, and J. O. Strom-Olsen, Appl. Phys. A 72, 157-165 (2001)

⁴⁶ Farangis B, Nachimuthu P, Richardson TJ, Slack JL, Perera RCC, Gullikson EM, Lindle DW, Rubin M, Physical Review B 67 (8): Art. No. 085106, FEB 15 2003
K. Higuchi, H. Kajioka, K. Toiyama, H. Fujii, S. Orimo, and Y. Kikuchi, Journal of Alloys and Compounds, 293-295, 484-489 (1999)

8. ChevronTexaco Technology Ventures

訪問先	ChevronTexaco Technology Ventures 住所：3901 Briarpark, Houston, TX 77042-5301, USA
訪問日時	2004年11月2日(火) 9:30～11:30
対応者	[ChevronTexaco Technology Ventures LLC] Jeffrey M. Jacobs Vice President, Business Development, Hydrogen Group Ed Wisler Manager, Business Development, Hydrogen Group J. F. (Jim) Stevens, PhD Program Manager, Fuel Cells & Fuel Processing Curtis Krause Fuel Processing, Program Manager, Fuel Cells & Fuel Processing Donna Lau Market Research, Specialist, Hydrogen [Chevron Energy Solutions Company] Puneet Verma Director
組織の概要	世界第5位の石油メジャー。燃料電池には慎重な立場と言われている。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素エネルギー・燃料電池に対する考え方 ・ FCV デモンストレーション参画の現状 ・ 水素製造・改質技術の研究の現状

(1) ChevronTexaco の概要

- ChevronTexaco は 2001 年に Chevron と Texaco が合併してできた、世界第 5 位の石油メジャーである。

2004 年度売上は 1130 億ドル、従業員数 51,000 人。ChevronTexaco の組織を図 8-1 に示す。

原油・天然ガス生産量は、原油換算 250 万バレル/日。

世界 180 カ国でオペレーションを行っている(図 8-2)。販売拠点は世界 2500 ヶ所で、「Chevron」「Texaco」「Caltex」の 3 ブランドを展開している。

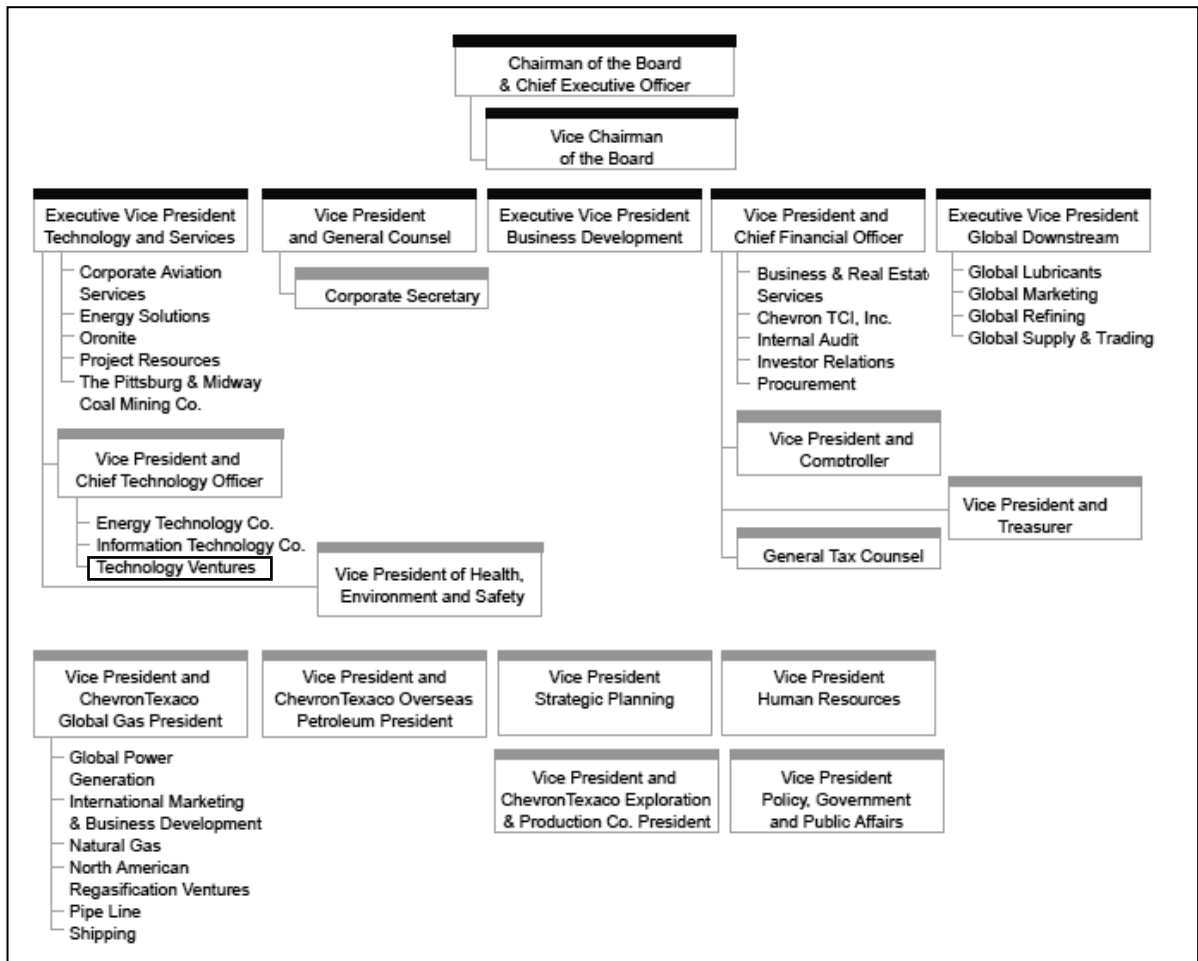


図 8-1 . ChevronTexaco の組織



図 8-2 . ChevronTexaco のオペレーション拠点

(2) ChevronTexaco Technology Ventures の概要

- ChevronTexaco Technology Ventures は、ChevronTexaco の CTO（技術最高責任者）傘下の子会社（LLC：有限責任会社）である（図 8-3）。

Technology Venture は、Chevron と Texaco の合併時にできた会社で、水素、エマージングエネルギー（風力、ソーラーなどの再生可能エネルギー）、NiMH 電池などの研究を行っている。またナノテクノロジーでは、ナノレベルでのダイヤモンド分子の合成を研究している（図 8-4）。

NiMH 電池では、Technology Venture は米国のベンチャー企業 Ovonic Battery Systems と提携している⁴⁷。

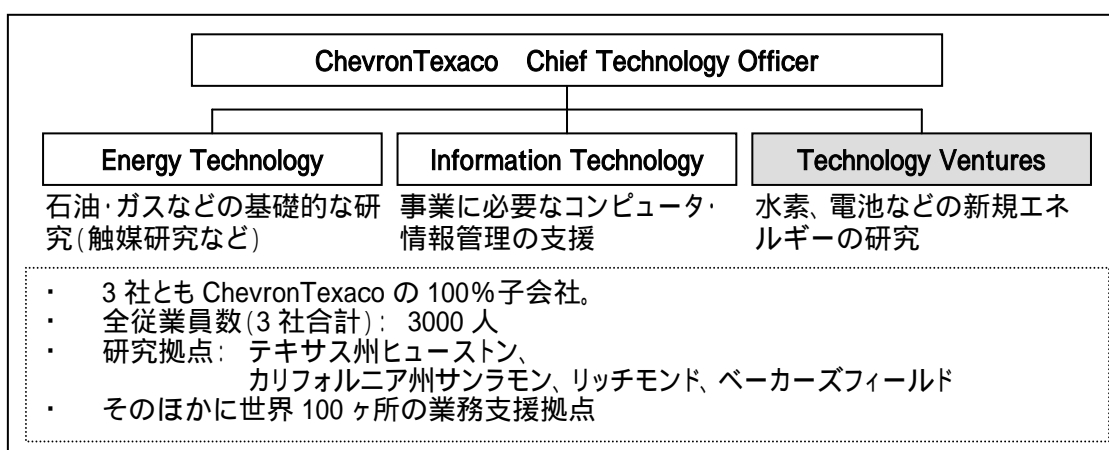


図 8-3 . ChevronTexaco 傘下のテクノロジー会社

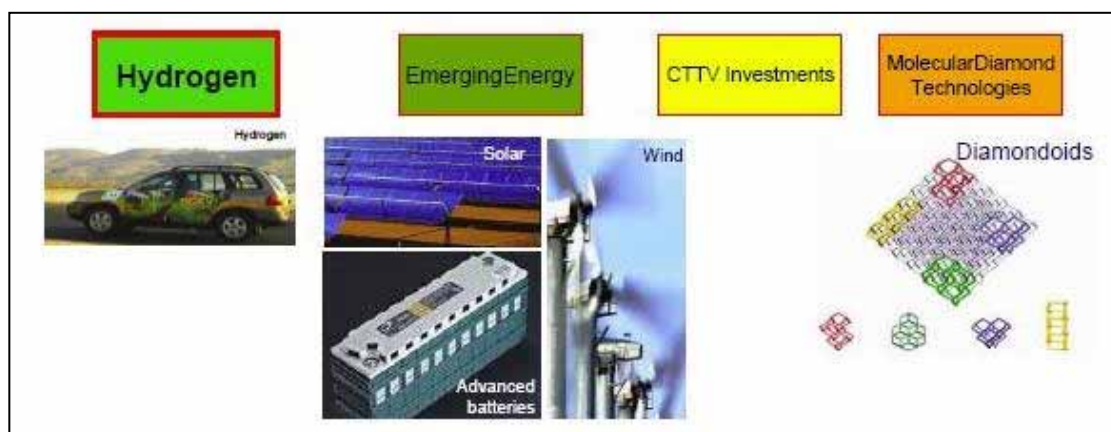


図 8-4 . ChevronTexaco の研究内容

⁴⁷ Texaco と Energy Conversion Devices (Ovonic Battery Systems の親会社) は、2001 年 7 月に Texaco Ovonic Battery Systems の設立を発表している(出資率は 50% : 50%)。Chevron と Texaco の合併後は、Texaco Ovonic Battery Systems は ChevronTexaco Technology Ventures と Ovonic Battery Company の合併(出資率は 50% : 50% で変わらず)の形態になっている。

- ChevronTexaco Technology Ventures が水素に関して掲げているミッションを表 8-1に示す。

ChevronTexaco はこれまで 120 年間にわたり、企業、政府を含めた顧客に燃料と潤滑油を提供してきた。水素が燃料として実用化された場合には、当然、それを顧客に届けるように努力する。

ChevronTexaco は、水素を含めたアドバンスト・フューエル、クリーン・フューエル全体に注目している。しかし現在は、新規燃料の開発・展開よりも、顧客の現状の燃料への需要対応が先である。

燃料製造や燃料改質技術が ChevronTexaco の有する強みである。すでに水素も既存の石油化学プラントで生産可能であり、製造サイドでは新たな設備投資は不要である。

将来的には再生可能エネルギーから製造することが好ましいが、当面は炭化水素の改質で製造するのが好ましい。

表 8-1 . 水素に関する ChevronTexaco Technology Ventures のミッション

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 水素に関する技術デモンストレーションや軍事・民生フリートプロジェクトを通じて経験を蓄積し、水素社会の進展に合わせて、「リテール燃料の一つとしての水素」という選択肢を ChevronTexaco に提供する。 • 自社の持つ燃料および燃料改質に関する能力を最大限に活用するとともに、水素関連技術の実用化のためにパートナーを組む。 • 水素インフラのための新規技術を開発するとともに、水素の基準・標準に影響力を発揮する。 • 水素社会に関わるほかの企業・団体と協力し、ChevronTexaco 自体が時期早々な投資に走らないように注意する。 |
|--|

- ChevronTexaco では、水素は米国国内のビジネスではなく、むしろグローバル展開すべきビジネスであると考えている。

ChevronTexaco は世界中で天然ガスの生産を行っているので、水素を生産・販売することに問題はない。ただし現在は、水素社会の実現可能性を見極めている段階である。

- ChevronTexaco の考える水素社会実現のシナリオを図 8-5に示す。

水素社会の実現のためには、水素エネルギーの「経済性」の確保が不可欠である。

水素は実用可能な燃料になりうると思うが、それを利用することを顧客に押し付けることはできない。あくまでも ChevronTexaco は、「エネルギー需要をサポートする」ことを役割と考える。

- 水素社会に至る移行期間の長さは不明であり、ChevronTexaco は、当面は水素生産・利用技術の R&D に注力する。

水素は「将来のエネルギー」だと考えている。しかし、水素社会への移行にはまだ長い時間がかかる。ChevronTexaco としては、時期尚早な投資も、また後発投資になることも避けたいと考えており、業界全体の流れを慎重に見極めたい。

ChevronTexaco は、現在保有している技術力を最大限に活用することで技術開発を進め、将来の水素社会に備えたいと考えている。

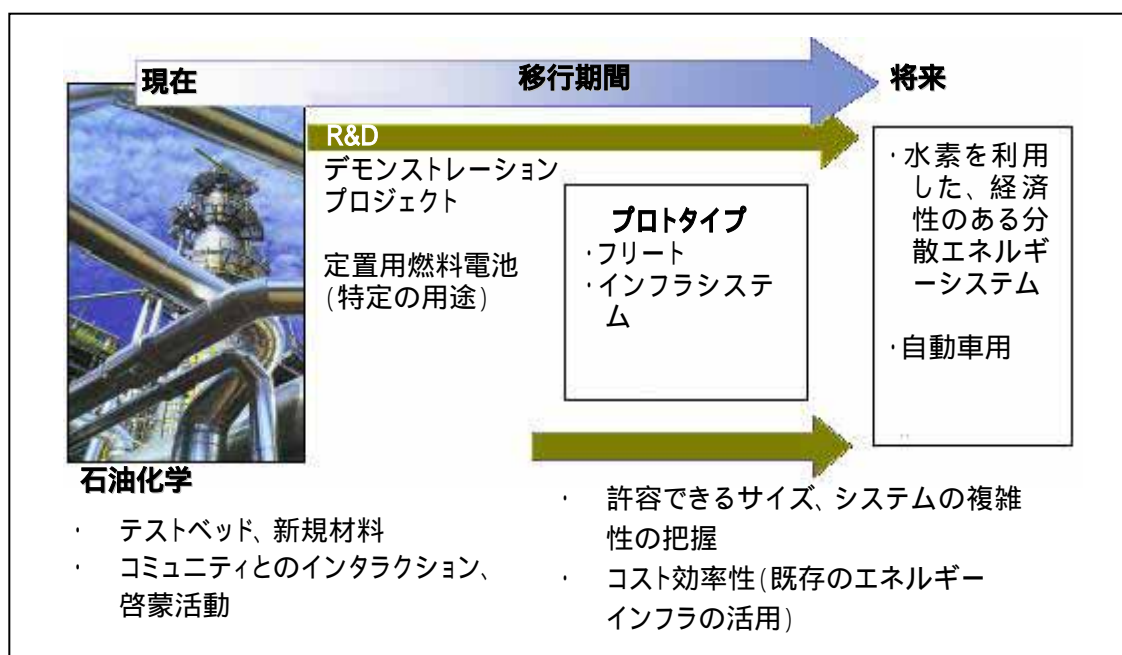


図 8-5 . 水素社会実現へのシナリオ

(3) ChevronTexaco Technology Ventures の水素技術

- 表 8-2 に ChevronTexaco Technology Ventures で開発中の燃料改質技術を示す。

Halias 燃料プロセッサ :

- 1999 年以来 ChevronTexaco (旧 Texaco) では、オートサーマル改質技術の研究を進めている。



アドバンスド・スチームメタン改質器 :

- 熱回収を工夫し、外部からの熱供給の必要性を最小限に抑えたため、低コストで高効率である。
- 現状では、水素の大部分 (95%) はスチームメタン改質で製造されている。一層の価格低減のためには、規模の拡大が必要となる。

シングルステップ改質システム

- 天然ガスから水素を「シングルステップ」で製造する技術を研究している。シングルステップでも、純度 98% の水素が合成可能である (メタンが 2% 残存)。
- システムが簡便になるうえ、低エミッション性も同時に実現可能。ただしコスト低減のためには小型化が不可欠である。

表 8-2 . ChevronTexaco Technology Ventures の燃料改質技術

<p>Halias 燃料プロセッサ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 小型燃料プロセッサ • 天然ガスを使用 • 触媒ベッドをシリーズ化
<p>アドバンスド・スチームメタン改質器</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 高効率 : 熱収支バランスの最適化 ヒートロスの最小化 熱回収の最大化 • 低コスト : コンパクト化・製造性を重視 必要最小限の Balance of Plant

(4) ChevronTexaco の水素ステーション

- ChevronTexaco では、DOE の FCV デモンストレーションプログラムに参加している。FCV デモンストレーションプログラムのチーム構成を表 8-3に、このプログラムのために設置する水素ステーションを図 8-6に示す。

表 8-3 . DOE の FCV デモンストレーションプログラムのチーム構成

エネルギー会社	ChevronTexaco
燃料電池メーカー	UTC Fuel Cells
自動車メーカー	現代自動車、起亜



図 8-6 . 現代自動車アメリカ技術研究センターの水素ステーション
出所 : California Hydrogen Highway < <http://hydrogenhighway.ca.gov/> >

- 次世代の水素ステーションのイメージを図 8-7に示す。

水素充填ステーションは、デザインの的にはガソリンスタンドに似せているが、あくまでもガソリンスタンドとは独立して設置すべきである。既存のガソリンステーションに水素充填設備を設置すると、水素が明日にでも使える燃料であるという誤解を与えてしまう。水素に対する社会的受容度が向上しない限り、水素ステーションを既存スタンドに設置するべきではない。

まだ水素に関する基準・標準がないことも、既存のガソリンスタンドに水素ステーションが設置できない理由のひとつである。

図 8-7 . 将来の水素ステーション
のイメージ



- ChevronTexaco は AC Transit (Alameda-Contra Costa Transit)⁴⁸と共同で、燃料電池バス用の水素ステーションをカリフォルニア州オークランドに建設する予定である (図 8-8)。

同計画はシュワルツネッガー カリフォルニア知事の「 California Hydrogen Highway Network Action Plan 」⁴⁹に應えるために、2004 年 4 月に発表されたプロジェクトである。

このプロジェクトの目的は、官 (AC Transit) 民 (ChevronTexaco) パートナシップによる先端的な水素ステーションの建設である。

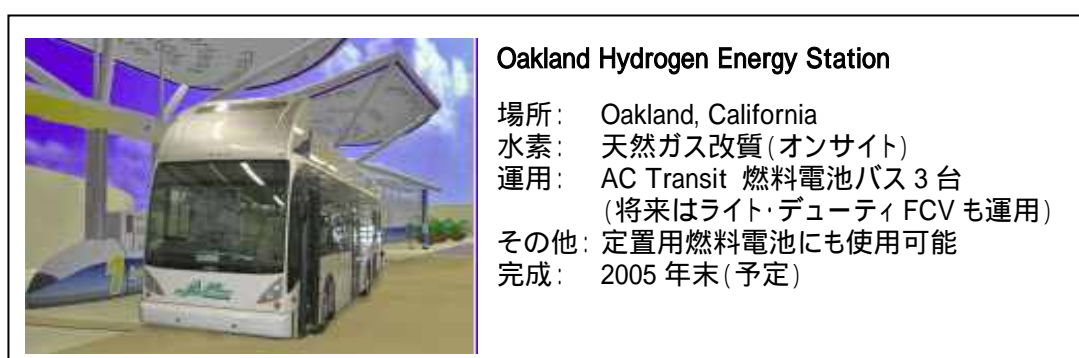


図 8-8 . オークランド 水素エネルギーステーション

- ChevronTexaco が参画している燃料電池自動車や燃料電池バスのデモンストレーションは、すべてオンサイトで水素を製造しているが、運用形態や水素製造装置に違いがあり、その差異に注目した比較研究が可能である。

水素製造効率を向上することで、水素コストの低減が実現できる。

各デモンストレーションにおいては、運用条件に応じたライフサイクルコスト分析も実施する。

- 燃料電池に関しては、ChevronTexaco は水素改質・製造システムの研究開発に注力し、スタック本体や水素純化・貯蔵システムの研究開発は行わない。

⁴⁸ AC Transit はサンフランシスコ郊外のバス事業者。バス利用者総数は 6300 万人/年。

⁴⁹ 「 California Hydrogen Highway Network Action Plan 」は、シュワルツエネッガー カリフォルニア州知事が 2004 年 1 月に発表したもので、「ハイドロジェンハイウェイ」を州全域に整備するという構想である。また知事は、2004 年 4 月 20 日のカリフォルニア大学デイビス校における水素ステーションの開所式において、このアクションプランを具体化した「Vision 2010」を発表、2010 年までにカリフォルニア州全土に水素燃料スタンドを 150 ~ 200 ヲ所配備することを発表、そのための州法に署名を行った。 < <http://www.hydrogenhighway.ca.gov/> > 参照。

(5) 水素製造のパスウェイとコスト

水素製造のパスウェイ

- 水素はさまざまな原料、方法で製造することが可能である（図 8-9）。

長期的には、水素は再生可能エネルギーから製造することが望ましい。それまでの移行段階では、既存インフラ（電力網や天然ガス網）を活用しながら水素を製造することになる。

一般に水素製造法としては、製鉄プラントからの副生水素ガスが期待されているが、副生水素ガスを利用するためには高純度化技術と輸送コストの低減が課題となる。

ChevronTexaco では、天然ガスが水素社会実現までの「ブリッジ技術」であると考えている。

将来においても、水素が単一の原料から作られることはないと思う。一定のポートフォリオがあると思われる。

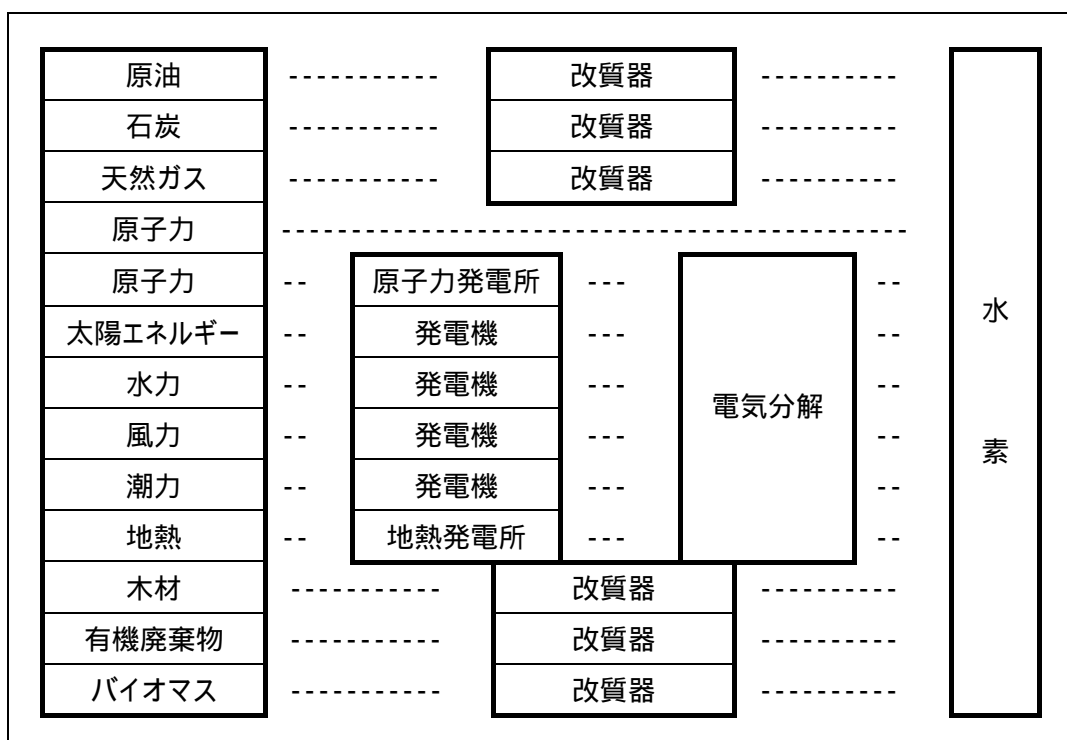


図 8-9 . 水素の製造パス

水素製造のコスト

- DOE の水素製造のコスト目標（オンサイト型、天然ガスあるいは液体燃料使用）は 2010 年に 2.0 ドル/kg である⁵⁰。
- 水素製造のコスト（電気分解、天然ガス改質）の予測を図 8-10に示す。

電気分解による水素製造コストは、電力コストに大きく依存する。カリフォルニア州の電力コストは 9~14 ドル/kWh であり、それによって水素を製造して水素利用自動車（FCV、水素内燃自動車）を稼動した場合の燃費は 4~7 ドル/マイル（260~460 円/km）となる。

走行距離当たりの水素製造コストは、電気分解よりも天然ガス改質のほうが安価になると予想される。しかし、ガソリン自動車の燃料コストレベルには到達できないと考えられる。

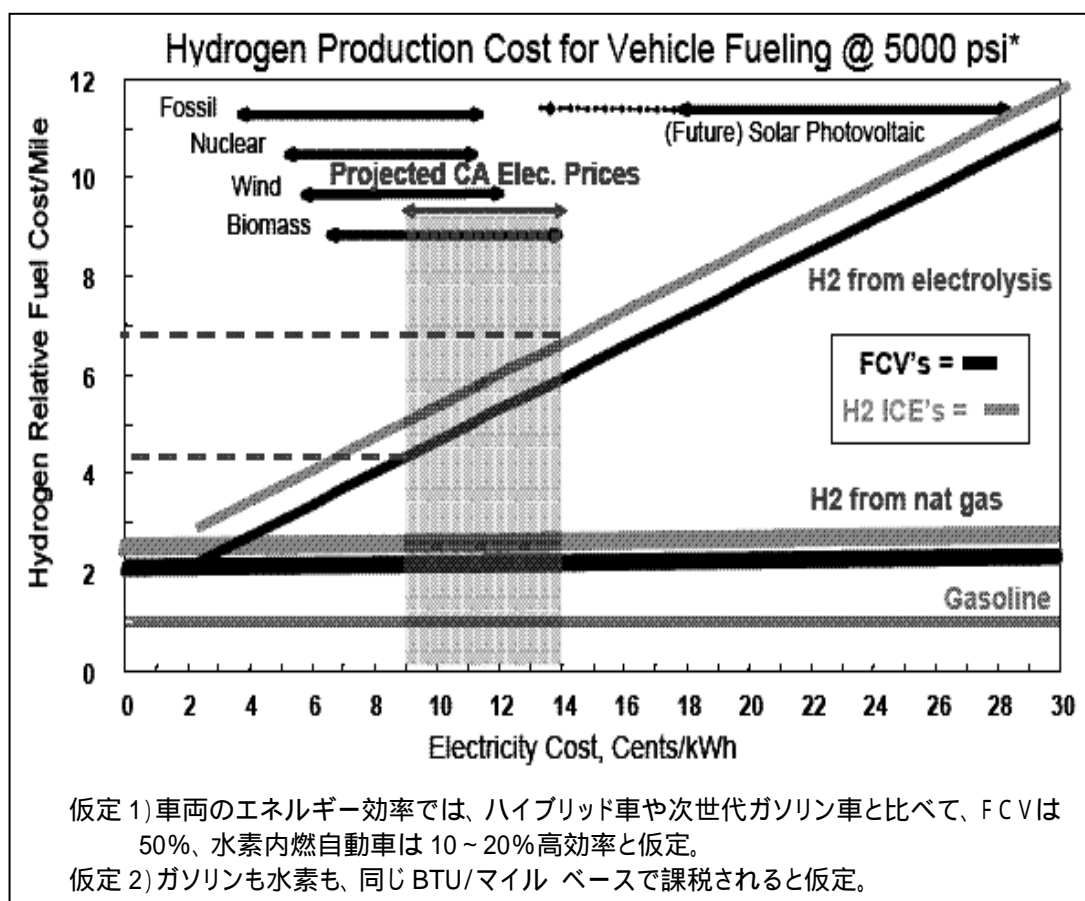


図 8-10 . 水素製造コスト

⁵⁰ DOE では、目標値を 1.50 ドル/kg から 2.00 ドル/kg に変更した。表 4-6 参照。

(6) 次世代スチームメタン改質システムの開発

- DOE のコスト目標は表 8-4のとおりである。

水素改質コスト（投資コスト、運用・メンテナンスコスト）は、水素全体のコストに大きく影響する。

表 8-4 . DOE の水素製造コストの目標（2010 年）

水素充填ステーションにおける全コスト	3 ドル/kg
水素改質コスト （加圧、貯蔵、充填時のコストを除く）	1.98 ドル/kg

- ChevronTexaco では文献調査をもとに、水素を低コストで製造できる改質方法についてスクリーニングを行った（図 8-11）。

各種の水素改質方法を比較し、スチームメタン改質（SMR）とオートサーマル改質（ATR）を選択した（ステップ ）。

両改質方法について高圧システムと低圧システムを検討し、最終的に高圧スチームメタン改質が、最もコスト効率が高い水素改質方法であると結論した（ステップ ）。

高圧スチームメタン改質の利点は、メタン燃料供給サイドを高圧化しておくことで、高圧水素が簡単に得られることである。

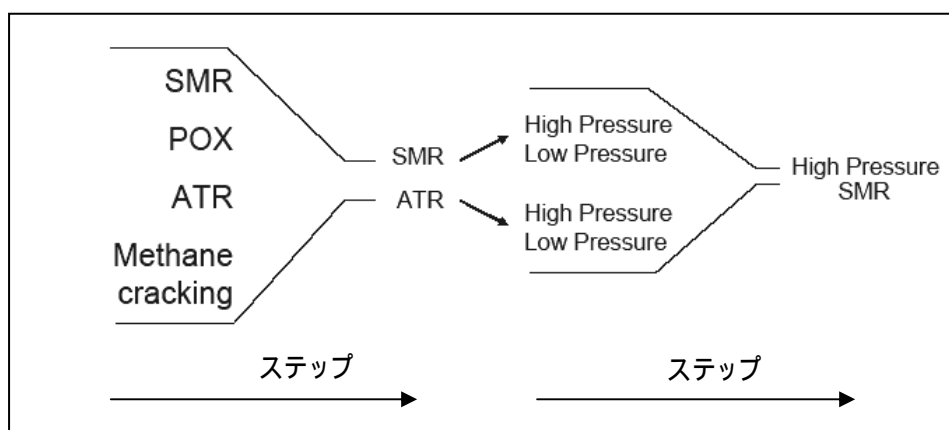


図 8-11 . 水素改質方法の比較

- ChevronTexaco では、次世代スチームメタン改質システムを開発している（図 8-12）。

システム全体の熱的なバランスを重視し、ネットでの高効率化を図っている。改質システム部分を高圧化することで、PSA との連結がスムーズになっている。

水素製造能力は 40 kg/日で、1 日 8 台の FCV への水素充填が可能（100 kg/日レベルへのスケールアップ可能）。

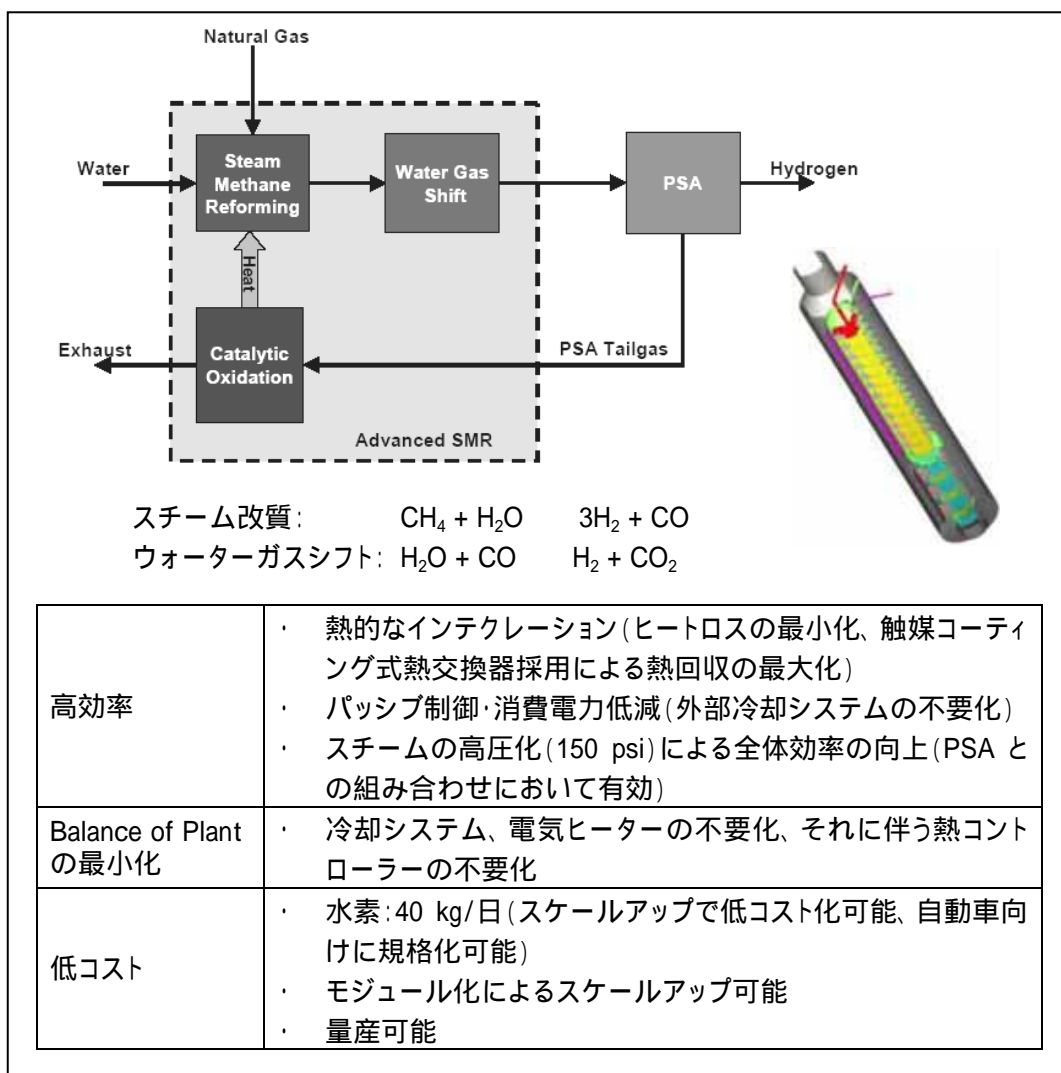


図 8-12 . 次世代スチームメタン改質システムのコンセプト

(7) ワンステップ改質器(AER)の開発

- ChevronTexaco では水素製造システムのコスト低減のために、スチーム改質器、ウォーターガスシフト、水素精製装置を統合した Absorption Enhanced Reforming (AER) を開発している (図 8-13)。

AER では、以下の反応でメタンから水素を直接合成する。このとき生成する CaCO_3 は、熱処理することで、 CaO に再変換 (再生) される。



反応温度と生成物質のバランスの関係性を調べた結果、反応温度 550 ~ 650 度において、高純度の水素が得られることがわかった (図 8-14)。

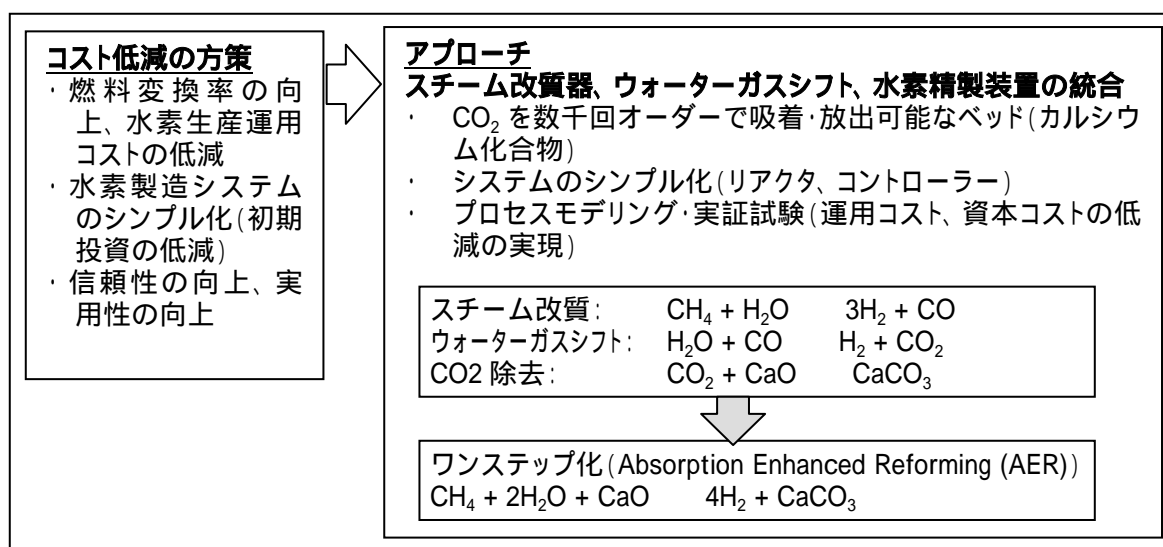


図 8-13 . Absorption Enhanced Reforming (AER) のコンセプト

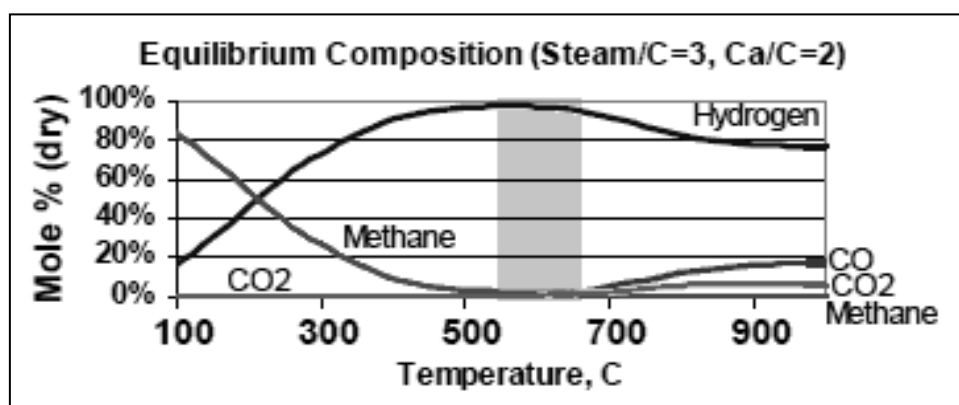


図 8-14 . AER における反応温度と生成物質のバランス

- CO₂ 吸収ベッドの能力については、1 サイクル（最大反応可能時間）は 40 分であることがわかった（図 8-15）。

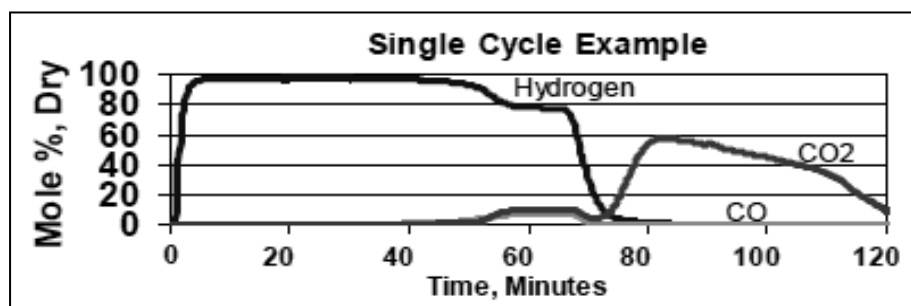


図 8-15 . シングルサイクルの例

- スチーム改質（PSA を含む）と比較した場合、AER は効率の点でも、投資コストの点でも、優位にある（表 8-5、表 8-6）。

表 8-5 . スチーム改質（+ PSA）と AER の効率比較
[kcal/kcal-H₂ – LHV]（想定水素量：33 mmscf/日）

	スチーム改質 + PSA	AER
	条件統一のために以下を想定： ・スチームの外部利用なし ・天然ガスの高圧化（440 psia） ・PSA の水素リカバー率：88%	ボイラ給水（Boiler Feed Water） CW ポンプ 誘引通風機（ID ファン）を含む
フィード	1.23	0.88
燃料	0.25	0.34
合計	1.48	1.22
効率	67.6%	82.0%

表 8-6 . スチーム改質（+ PSA）と AER の投資コスト比較
[100 万ドル]（想定水素量：33 mmscf/日、立地：米国メキシコ湾岸）

	スチーム改質 + PSA	AER
主要設備費用	15.6	6.0
その他建設費用*	5.1	4.9
間接コスト	4.6	3.5
エンジニアリング	4.1	2.6
合計**	29.4	17.0

* 配管、部品、断熱被覆、塗装など

** 触媒、保険、税金、許認可費用、管理費などを除く

- AER 実用化においては、CO₂ 吸着材のサイクル劣化が問題であった。しかし ChevronTexaco では、Cabot Superior MicroPowders の技術を採用し、再生サイクルを繰り返しても劣化しない CO₂ 吸着材（図 8-16）とその再生装置（図 8-17）を開発した。

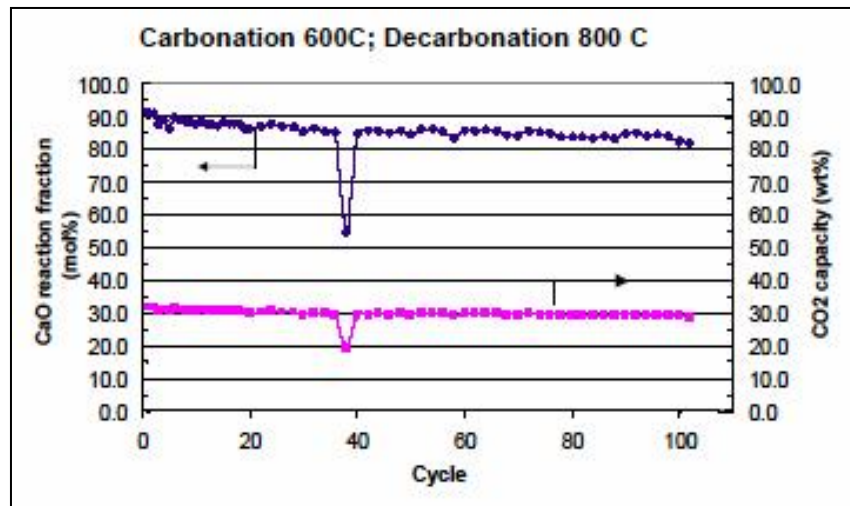


図 8-16 . 新開発の CO₂ 吸着材の性能（100 サイクルまで）
注：39 サイクル目の落ち込みは操作ミスのため

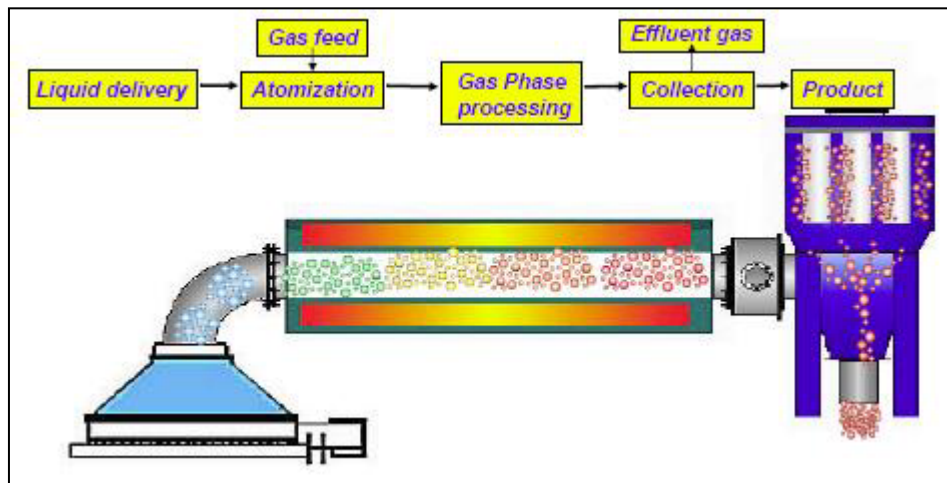


図 8-17 . CO₂ 吸着材の再生装置（Cabot 社製 Superior MicroPower）

9. Los Alamos National Laboratory(LANL)

訪問先	Los Alamos National Laboratory (LANL) 住所 : Mailstop D429, Los Alamos, NM 87545, USA
訪問日時	2004年11月5日(金) 8:30~14:00
対応者	Ross Lemons Dr. Directorate for Strategic Research William Tumas, Dr. Inst. Director, Inst. for Hydrogen & Fuel Cell Research Ken Stroh, PhD, Dep. Inst. Director, Inst. for Hydrogen & Fuel Cell Research Piotr Zelenay, PhD Technical Project Leader, MST-11, Fuel Cells & Electrochemistry Karl K. Jonietz Hydrogen Fuel Cell & Transportation Programs Kenneth B. Freese, PhD Office Leader, Technology Management Office Jim Cannon HyTeP Program Director, HyTeP Rene Parker HyTeP Patrick Gannon HyTeP Karen Cook HyTeP Manuel Duran HyTeP
組織の概要	DOE 傘下の国立研究所。新規のメンブレンや DMFC の研究を進めている。
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> DOE プログラム下における、バイポーラプレートなど FC コンポーネントの研究開発状況 HyTeP などの共同研究のフレームワークとその現状

(1) LANL の概要

LANL の概要

- LANL は米国 DOE 傘下の研究所で (表 9-1、図 9-1)、マンハッタン計画における原子力爆弾の設計・製造のために 1943 年に設立された⁵¹。初代所長はマンハッタン計画を指揮した物理学者ロバート・オッペンハイマーである。
- 現在、研究所の運営はカリフォルニア大学が行っている。

⁵¹ この場所を選定したのはオッペンハイマー自身で、彼が学生時代に療養生活を送った場所であった。当時はネイティブアメリカンの居留地があるだけの荒野であり、機密保持に適した土地であった。

表 9-1 . LANL の概要

目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国の核抑止力の安全性・信頼性の向上 ・ 大量破壊兵器による脅威、拡散、テロの抑止 ・ 国防、エネルギー環境、インフラ等の国家的問題の解決
年間予算	22 億ドル (2300 億円)
人員	8000 人 (カリフォルニア大学所属) ⁵² テクニカルスタッフ : 3800 人強 学生 : 1500 人 ポスドク : 375 人
面積	40 平方マイル (100 km ²) ⁵³ 主要なビル数 2000 (敷地面積 74 万 m ²)

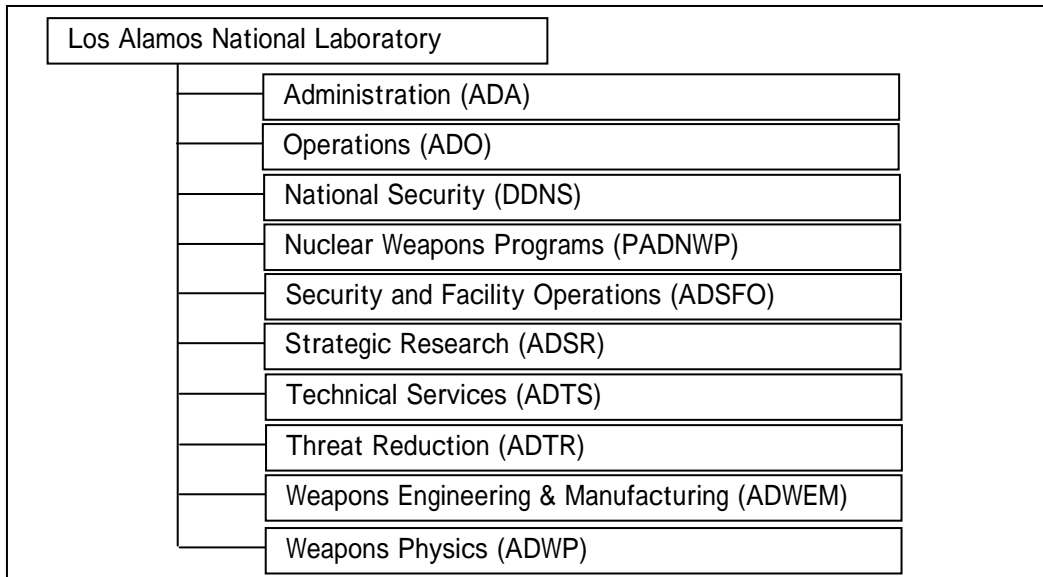


図 9-1 . LANL の組織

表 9-2 . LANL におけるエネルギー安全保障関連の研究

<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素・燃料電池 ・ 炭素分離 ・ 原子力エネルギー、核燃料サイクル ・ 持続的な水供給に関する科学技術的基礎研究 ・ インフラ関連 (電力網信頼性、超伝導技術) ・ ナノテクノロジー
--

⁵² LANL のホームページの説明では約 11,000 人である。 < <http://www.lanl.gov/organization/> > 参照。

⁵³ ワシントン DC は面積 180 km² であり、その中心部の大きさにほぼ匹敵する。

戦略研究局 (Strategic Research Directorate)

- 戦略研究局は LANL の研究部局のひとつで、主に基礎科学的研究を通じて、LANL の目的のひとつである「エネルギー安全保障」に貢献することを目指している (表 9-3)⁵⁴。

表 9-3 . 戦略研究局の研究内容

人員	2000 人
予算	4 億ドル (420 億円)
プログラム	アカデミック・プログラム <ul style="list-style-type: none"> ・ 学生 1500 人/年、ポスドク 400 人/年を受け入れ ・ 260 の大学と連携
傘下の研究施設	Los Alamos Neutron Science Center (LANSCE) National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) Center for Integrated Nanotechnologies (CINT) ⁵⁵ Los Alamos High Temperature Superconductivity Center
2002 年度成果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 企業とのパートナーシップ数 : 112 ・ CREDA 数 : 13⁵⁶ ・ ライセンス数 : 109 (大学へのライセンス数 : 47) ・ 特許申請数 : 101 件 (特許成立 : 75 件) ・ ニューメキシコ州のクライアント数 : 35 ・ 新規研究開発企業 HyTep⁵⁷ ZeroNet⁵⁸ ZECA Corporation⁵⁹

⁵⁴ 詳細は < <http://www.lanl.gov/orgs/sr/index.shtml> > 参照。

⁵⁵ CINT は、Los Alamos National Laboratory と Sandia National Laboratory が共同で開設したナノテク研究センターで、DOE が米国に設置した 5 ヶ所のナノスケール科学研究センター (Nanoscale Science Research Center : NSRC) のひとつである。その他のセンターは :

Center for Functional Nanomaterials (Brookhaven National Laboratory)
Center for Nanophase Materials Sciences (Oak Ridge National Laboratory)
Center for Nanoscale Materials (Argonne National Laboratory)
Molecular Foundry (Lawrence Berkeley National Laboratory)

詳細は “ *Nanoscale Science, Engineering, and Technology in the Department of Energy* (March, 2004) ” < http://www.science.doe.gov/bes/brochures/files/NSRC_brochure.pdf > 参照。

⁵⁶ Cooperative Research and Development Agreement。国立研究所と民間企業・大学との共同研究開発の形態のひとつで、国立研究所は資金提供を行わないため、パートナー企業・団体は政府調達ルール (連邦政府会計ルール) に従う必要がないという利点がある。

< <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/812/812-2.html> > 参照。

⁵⁷ The New Mexico Hydrogen Technology Partnership。ニューメキシコ州の研究所、大学、企業による燃料電池アライアンス (メンバーは 21)。詳細は < <http://www.hytep.org/> > 参照。

⁵⁸ < <http://www.lanl.gov/energy/compendium/water/zernet.html> > 参照。

⁵⁹ < <http://www.zeca.org/> > 参照。

(2) LANL における燃料電池研究の概要

これまでの燃料電池関連の研究

- LANL がこれまでに実施してきた、燃料電池関連の研究を図 9-2に示す。

LANL における水素・燃料電池研究は、マンハッタン計画における原子爆弾（水素爆弾）の研究が土台になっている⁶⁰。

1960 年代に原子力ロケットの開発プログラム（Rover プログラム、NERVA プログラム）⁶¹が始まり、約 2000 人の研究者がこれに従事した。

第一次石油危機が発生すると、石油代替燃料の候補として水素が注目された。LANL でも水素で稼動する自動車の研究を始め、1972 年に Buick 社製乗用車を改造した水素内燃式自動車（液体水素搭載）を開発した。

第二次石油危機の到来によって、燃料電池が注目を集めるようになった。また同時期に GE が NASA のジェミニ計画向けに PEM の開発⁶²を行っていたが、コストと耐久性の問題が指摘されていた。LANL では PEM の研究を進め、1970 年代半ばには燃料電池で稼動するゴルフカート（圧縮水素搭載）を試作した。

1977 年に DOE は PEM に関する共同研究プログラム「Fuel Cells For Transportation」を始め、LANL はその中核の研究機関となった。1980 年代には薄膜電極の薄膜化と触媒担持量の低減（従来の 1/20 以下）に成功し、性能の向上とコストの低減を達成した。この時期になると、燃料電池で自動車を稼動することはクレージーなアイデアとはみなされなくなった。

1990 年～1996 年に GM と燃料電池の基礎技術に関する共同研究「Electrochemical Engine Project」を実施し、1993 年には 10 kW 燃料電池（メタノール改質式）を試作した。この成果を基に、GM は自社の燃料電池研究センターを NY 州ロチェスターに設立した。現在の GM の燃料電池技術は、LANL の技術が基礎となっている。

⁶⁰ 水素爆弾（水爆）で使用する重水素と三重水素の分離・純化の研究を行った。

⁶¹ 原子力ロケット（nuclear rocket）は原子炉の熱で水素等の推進剤を約 3000K まで加熱し、推進力とするシステム。Rover プログラム（1956 年～）は原子力ロケット用の原子炉の試作を行い、NERVA（Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications）プログラム（1963 年～）は黒鉛型原子炉によるロケットエンジンを試作した。メインコントラクターは Westinghouse。
< <http://www.nv.doe.gov/news&pubs/publications/historyreports/news&views/nrds.htm> >
< <http://www.fas.org/nuke/space/c04rover.htm> > 参考。

⁶² ジェミニ計画では、アポロ計画のためのシステム検証が主な目的であった。GE はジェミニ 5 号～13 号（1965 年～1966 年）に固体高分子型燃料電池を提供したが、耐久性の問題が指摘された。そのためアポロ計画では、耐久性に優れたアルカリ型燃料電池（Pratt & Whitney 製）が採用された。
< <http://www.fuelcelltoday.com/FuelCellToday/EducationCentre/EducationCentreExternal/EduCentreDisplay/0,1741,History,00.html> >
< <http://fuelcells.si.edu/pem/pemmain.htm> > 参照。

- LANL は 2004 年 5 月に、Chemistry Division と Materials Science & Technology Division の関連部門を統合し、「Institute for Hydrogen & Fuel Cell Research (IHFCR)」を設立した。

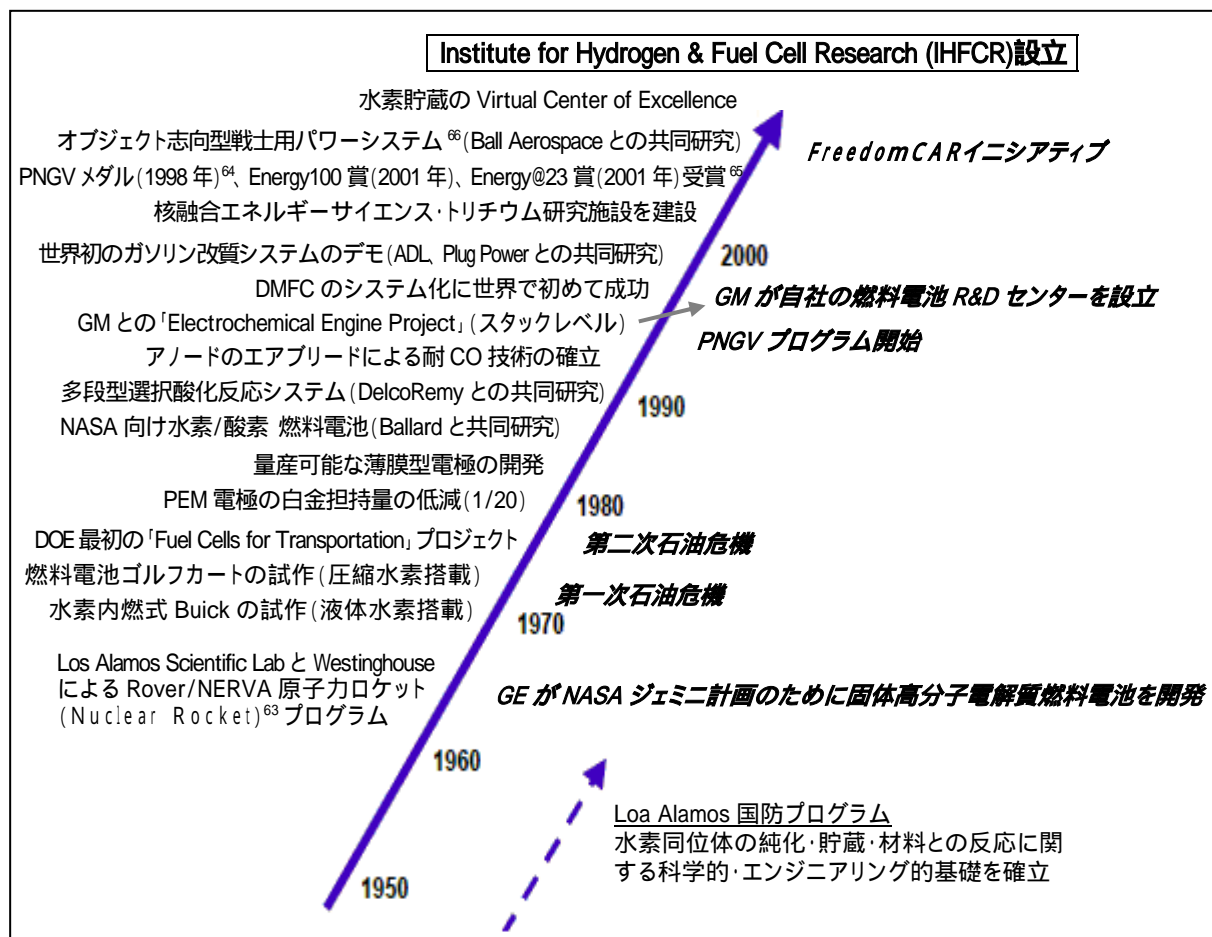


図 9-2 . LANL の燃料電池関連の研究

⁶³ Rover プログラム(1956年～)は原子力ロケット用の原子炉の試作を行った。続く NERVA(Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications) プログラム (1963年～) は黒鉛型原子炉によるロケットエンジンを試作した。メインコントラクターは Westinghouse。

⁶⁴ PNGV メダルは PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) プロジェクトにおいて高い研究成果のあった研究者 15 人に送られるもの。なお PNGV プログラムはクリントン政権のゴア副大統領のイニシアティブで開始された官民パートナーシップであり、燃費 80 マイル/ガロン (34 km/リットル) の乗用車 (ハイブリッド車) の開発を目指した。2002 年 1 月に FreedomCAR プログラムに取って代わられた。

⁶⁵ 「Energy 100 アワード」は、1977 年 (DOE 設立年) から 2000 年までの間におけるエネルギー分野での成果 100 を賞するもの。「Energy@23 アワード」は Energy 100 アワードのうちでも市民生活の向上や米国の産業競争力向上に貢献したと思われる成果 23 を賞するもの。

⁶⁶ Objective Force Warrior(OFW)、米国陸軍が進めている高機能兵士支援システム開発プログラム。現在は「Future Force Warrior (FFW) プログラム」に改名。

LANL の現在の燃料電池関連の研究

- 燃料電池に関して、LANL が DOE(化石エネルギー局(Office of Fossil Energy)⁶⁷、エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy)) や国防総省国防高等研究事業局 (DARPA)⁶⁸、他の企業から研究開発資金を得ている研究テーマを表 9-4 に示す。

DOE からは 800 万ドル (8.4 億円) の研究資金を得ている。

表 9-4 . 現在の燃料電池研究テーマ
(研究開発資金テーマ)

<ul style="list-style-type: none">• 電極の最適化• 非貴金属系触媒開発• 高温膜の開発• 非 Nafion 系電極• スタックの耐久性向上• 燃料電池用固体センサ• 低温下での始動・運用• コスト・耐久性に関する基礎研究• DMFC の研究開発• ポータブル燃料電池• 水素製造<ul style="list-style-type: none">- 水素純化- 補助電源用 SOFC のためのディーゼル改質技術- ポータブル燃料電池用メタノール改質技術- 高温電解• 水素に関する国際的な規準・標準の研究
--

⁶⁷ LANL は、Office of Fossil Energy が実施している SECA プログラムにおいて、SOFC のための燃料改質技術を研究している。

⁶⁸ DARPA = Defense Advanced Research Project Agency。国防総省の研究機関で、国防・軍事分野における研究開発を行なっている (基礎研究から応用技術まで)。兵士が携帯する電子機器やロジスティクスシステムの運用のために、二次電池、太陽電池、燃料電池などのエネルギー技術の開発も積極的に支援している。

- DOE が進めている FreedomCAR&Fuel パートナーシップにおける課題を表 9-5に示す。LANL は、これらすべての研究テーマを実施している。

表 9-5 . FreedomCAR&Fuel パートナーシップにおける課題

<ul style="list-style-type: none"> • コスト削減 • 耐久性向上 • 信頼性向上 • 出力系システム（燃料電池システム）の性能向上 • 周辺技術関連 （水素の貯蔵・製造・輸送、安全性確保、基準・標準）

- LANL では、これまでの兵器関連技術開発、およびそれに使用されている材料劣化の研究にコアコンピテンスがあり、これを生かして燃料電池のモデリングを実施している（表 9-6）。

表 9-6 . 燃料電池のモデリング

現象学的モデリング
分子動力的モデリング
科学的知見に基づいた予測
<ul style="list-style-type: none"> * 兵器開発プログラムに関連して、科学的な予測のための技術・アルゴリズムを開発中。 * 燃料電池システムの開発者のために知的データベースを統合、知識面での不足点の明確化し、コンピュータによる耐久性・性能の予測を可能にさせる。 * ひとつの研究所や企業では不可能な作業を共同で実施。

(3) LANL の共同開発プログラム

GM との共同開発

- LANL では、1990 年～1996 年に GM と「Electrochemical Engine Project」を実施、その後の GM の燃料電池研究開発の基礎を作った（図 9-3）。



図 9-3 . GM と LANL の Electrochemical Engine Project チーム

IdaTech

- 燃料電池の量産化のために、シンプルな燃料電池システム（常圧式、内部加湿）を開発、IdaTech⁶⁹にライセンスしている。



図 9-4 . IdaTech にライセンスしたシンプルな燃料電池システム

⁶⁹ 本社オレゴン州ベンド市。1996 年に設立された燃料電池・改質システムのメーカーで、特に燃料改質に強みがある（水素高純度機能付き改質器の特許あり）。同社の 3kW 燃料電池システム（改質プロセッサ付、プロトタイプ）は、ボンヌビル電力事業団（Bonneville Power Administration）が 110 台を購入することになっている。2000 年に東京貿易と業務提携を結び、同社が日本における窓口になっている。< <http://www.idatech.com/s> > 参照。

DOE の水素貯蔵グランド・チャレンジ

- LANL は、DOE の水素貯蔵グランド・チャレンジ (Hydrogen Storage Grand Challenge) における Center of Excellence に指定されている⁷⁰。

LANL は Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)⁷¹とともに、化学水素貯蔵方法研究の Center of Excellence となっている (図 9-5)。



図 9-5 . DOE の水素貯蔵グランド・チャレンジ参加研究機関・団体 (化学的水素貯蔵 (Chemical Hydrogen Center))

⁷⁰ 詳細は P . 88 の脚注参照

⁷¹ Pacific Northwest National Laboratory (ワシントン州リッチランド) は DOE 傘下の研究所で、1965 に開設された。スタッフ数 3,900 人で、予算は 2 億 8000 万ドル (2004 年)。運営は Battelle Memorial Institute が行っている。

(4) 非 Nafion 系膜の開発

- 現在多用されている Nafion 膜には、表 9-7のような問題点が指摘されている。そのため新規のポリマー材料による電解質膜の開発が望まれる。
- LANL では、非 Nafion 系膜の開発についても強みを有する（図 9-8）。

表 9-7 . Nafion の問題点

運用方法	問題点
PEFC (80 °C での運用)	コスト (生成水のドラッグ、耐久性)
高温 PEFC	低湿度条件下での伝導性確保
DMFC	メタノールの透過性、伝導度の維持

表 9-8 . 非 Nafion 系膜開発における LANL の強み

物質分析技術 (ac impedance、CV、isopiestic studies、dielectric studies、NMR、neutron scattering、DSC、TGA、Fenton's reagent、AFM、SEM、XRF、permeability、electro-osmotic drag、microelectrodes)
モデリング (分子動力学 ~ 現象論)
様々なポリマーによる膜・MEA の研究
高温膜に関する合成技術

- 非 Nafion 系膜を用いた場合、電極 (触媒層 : Nafion バインダー) との境界が問題となる (図 9-6)。さまざまなポリマーを膜に採用して実験を行ったが、セル化した場合に期待どおりの動きをしないことが多い。

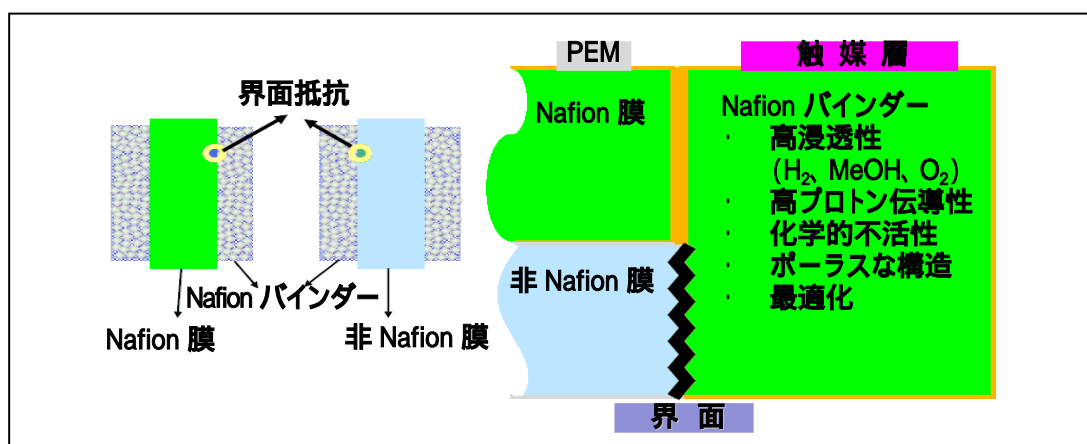


図 9-6 . 膜と電極が異なる材料の場合の問題点

- 非 Nafion 系の材料として BPSH-30、BPSH-35、BPSH-40⁷²を採用した。

膜と電極の間に発生する界面抵抗の値が、MEA の初期、および長期的性能に大きく影響することがわかった。

膜厚と高周波抵抗 (HFR) の関係を図 9-7 に示す。膜厚 = ゼロに外挿した点が、界面抵抗 ($R_{\text{interface}}$) であると考えられる。スルホン化度の上昇とともに界面抵抗は上昇することがわかる。

界面抵抗の値を手がかりに、適した非 Nafion 系膜の開発を行っている。一般的に DMFC 用途では、低界面抵抗の膜ほど長期的な安定性を保っている (図 9-8: 低界面抵抗の膜ほど、200 時間後のセル電圧低下度が小さい)。

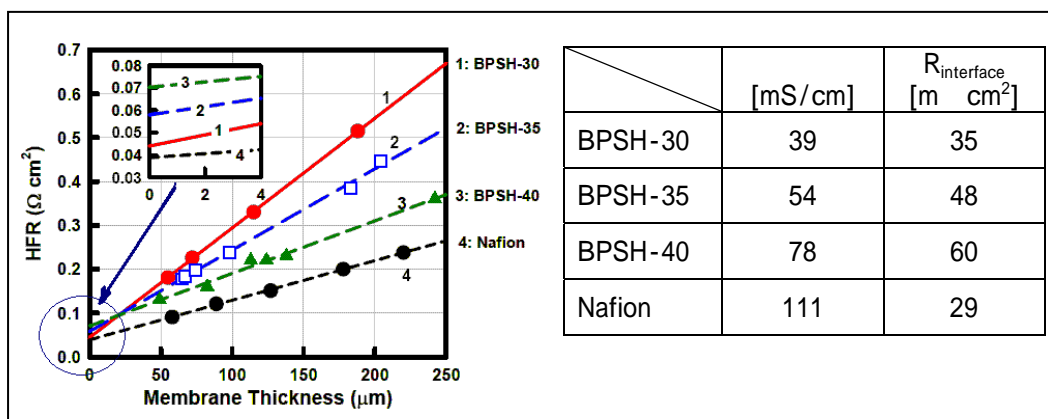


図 9-7 . 膜厚と高周波抵抗の関係

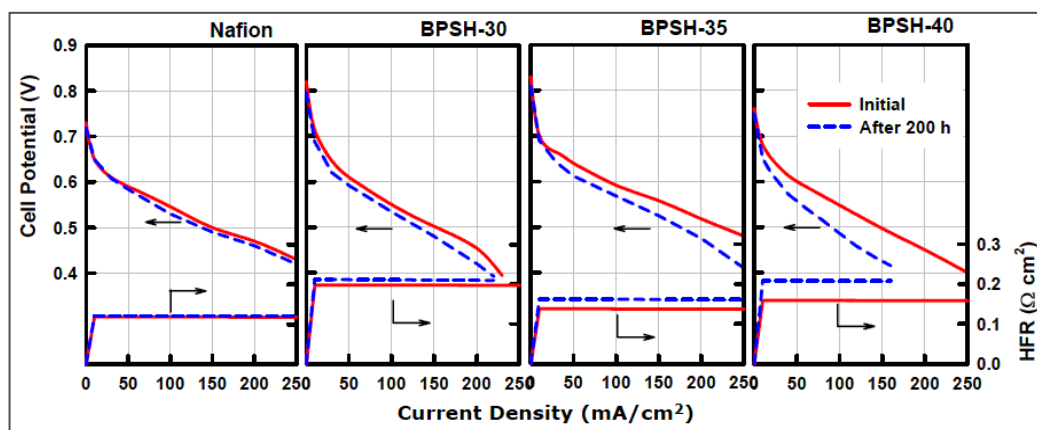
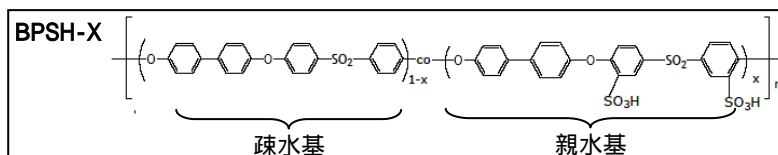


図 9-8 . 界面抵抗と膜の長期的性能の関係 (0.5 M MeOH/air 80)

⁷² BPSH = Biphenyl Sulfone: H Form. Suffocated poly(arylene ether sulfone)。バージニア工科大学の James E. McGrath が研究している材料。



- 従来の Nafion 膜の代替として、BPSH 系ポリマーの研究を行っている。

BPSH 系膜 (6F-CN-35) は、Nafion 膜 (Nafion 117) よりも高電流密度であることがわかった (図 9-9)。

3000 時間の運用では、BPSH 系膜を使用した MEA は Nafion 膜よりも 15% の性能向上が確認された (図 9-10 : サイクルの反復において、復元不可能な点をベースラインとして比較)。

- 非 Nafion 系膜の安定性を見るために、1000 時間の連続運転試験を実施した。連続運転後に X 線解析を行った結果、電極と膜の界面に 50 ~ 100 nm の層 (硫黄分が多く、フッ素は少ない層) が形成されていることがわかった (図 9-11)。

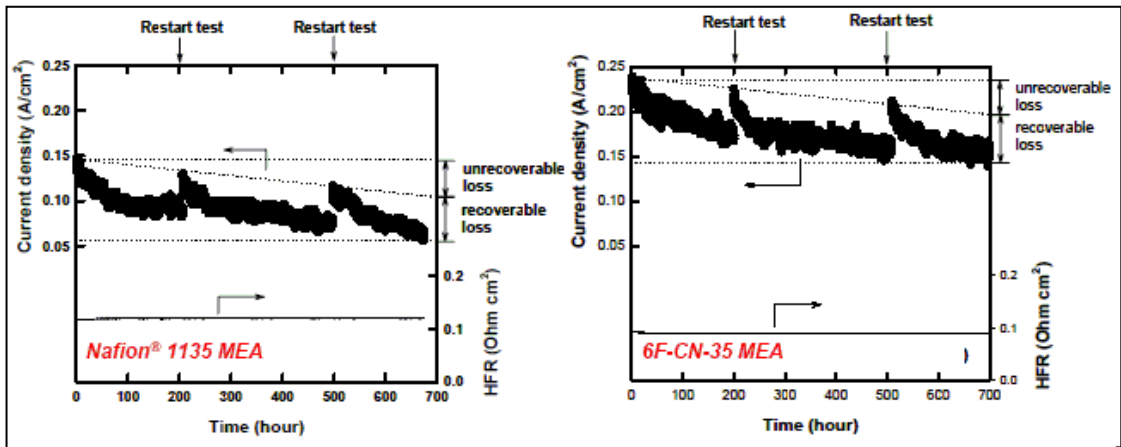


図 9-9 . DMFC における Nafion 膜と新規 BPSH 系膜の比較 (80 、 0.5V)

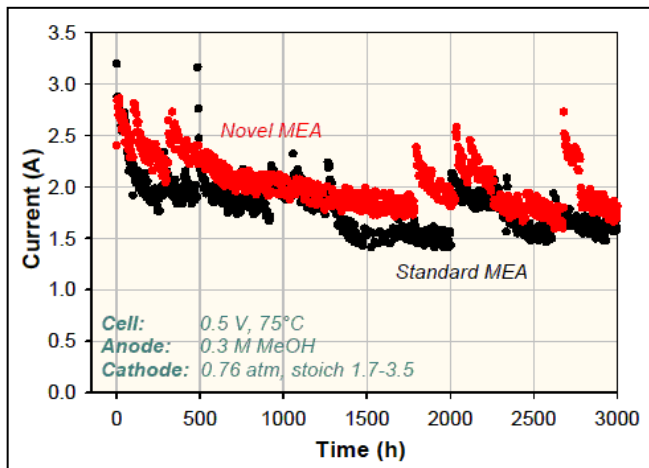


図 9-10 . 3000 時間耐久性試験の結果

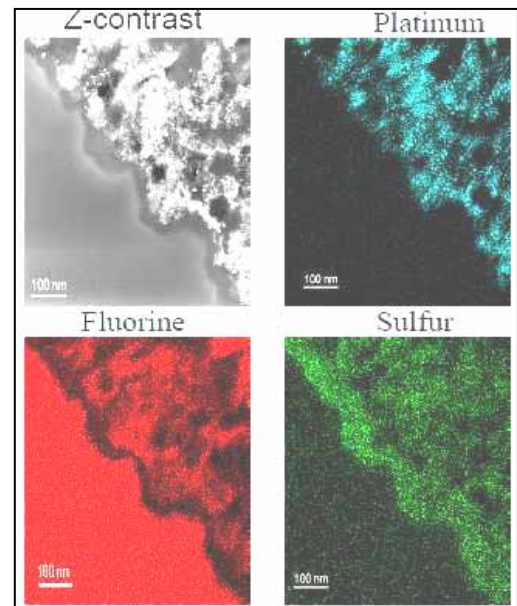


図 9-11 . 非 Nafion 系膜における元素の拡散

- カソードから排出される水に含まれる成分の分析を行った（図 9-12）。長時間の運用で排出水中のフッ素イオンと硫酸イオンが急上昇したが、これはクロスオーバーの影響と思われる（同時に排出水の pH も変動した）。

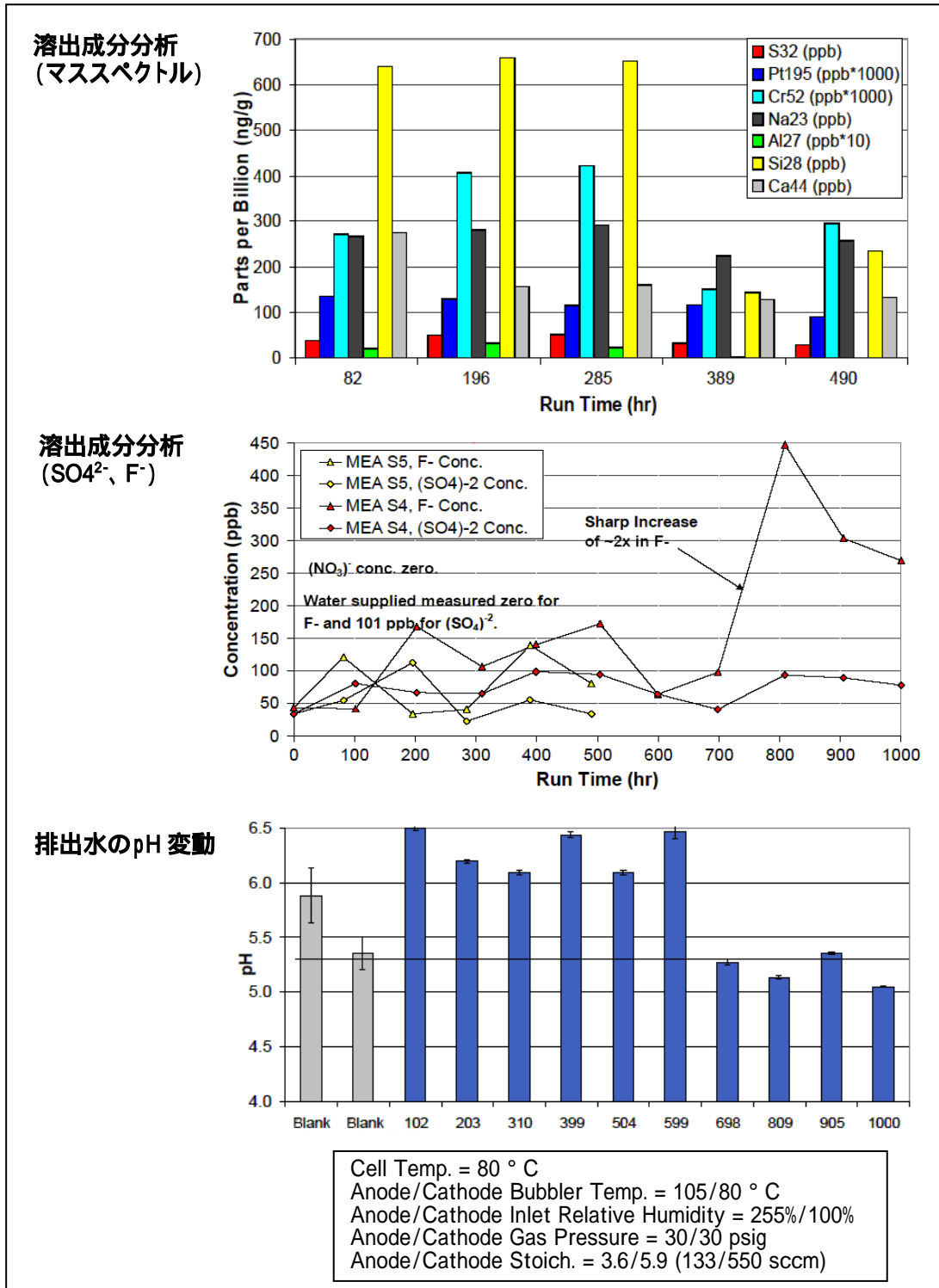


図 9-12 . カソードから排出される水への溶出

(5) DMFC の開発

DMFC の特徴

- 水素源として考えられる物質の比エネルギー(Wh/g)とエネルギー密度(Wh/cm³)を図 9-13に示す。

水素は、比エネルギーが高い(33.0 Wh/g)がエネルギー密度は比較的低い(2.7 Wh/cm³)。

メタノールは比エネルギーが6.1 Wh/g、エネルギー密度が4.8 Wh/cm³で、両者とも適当な値にある。そのためDMFCの開発が期待されている。

- DMFCの優位点と課題を表 9-9に示す。

Fuel	Fuel-cell reaction	Specific energy (Wh/g)	Energy density (Wh/cm ³)
Hydrogen	$H_2 + 0.5 O_2 \rightarrow H_2O$	33.0	2.7*
Carbon	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	9.1	19.2
Methane	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	14.2	6.0*
Propane	$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$	13.3	6.6*
Decane	$C_{10}H_{22} + 15.5 O_2 \rightarrow 10 CO_2 + 11 H_2O$	12.9	9.4
Methanol	$CH_3OH + 1.5 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	6.1	4.8
Ethanol	$C_2H_5OH + 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O$	8.0	6.3
Ethylene glycol	$C_2O_2H_4 + 2.5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O$	5.3	5.9
Formaldehyde	$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	4.8	3.9*
Formic acid	$HCOOH + 0.5 O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$	1.7	2.1
Oxalic acid	$C_2O_4H_2 + 0.5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + H_2O$	1.0	2.0
Ammonia	$NH_3 + 0.75 O_2 \rightarrow 0.5 N_2 + 1.5 H_2O$	5.5	3.9*
Hydrazine	$N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + 2 H_2O$	5.2	5.3

図 9-13 . 水素源として考えられる物質のエネルギー密度

表 9-9 . DMFC の優位点と課題

優位点	課題
<ul style="list-style-type: none"> 他の燃料電池よりも早い実用化の可能性(初期市場では軍事用が有望) 高い比エネルギー(スタックの変換効率の向上による) クリーン(水と二酸化炭素のみ排出) 	<ul style="list-style-type: none"> 予想よりも遅い実用化と、小さい初期市場(他の燃料電池と同じ) 性能・耐久性面で更なる研究が必要 高コストのため、用途が限定(特にポータブル用途) 規制面での問題(メタノールの安全性)

DMFC の潜在的なアプリケーション

- DMFC の期待される用途を図 9-14に示す。考えられる用途としてバッテリー代替があるが、バッテリーと DMFC ではエネルギー密度・出力密度の時間依存性が異なることに留意する必要がある (図 9-15)。

ポータブル用	小型 (200 ~ 500W)
<ul style="list-style-type: none"> 軍事用 ラップトップ PC 携帯電話 PDA 	<ul style="list-style-type: none"> 軍事用 個人向け移動用カート 補助電源 レクリエーション用電源 その他電源 

図 9-14 . DMFC の期待される用途

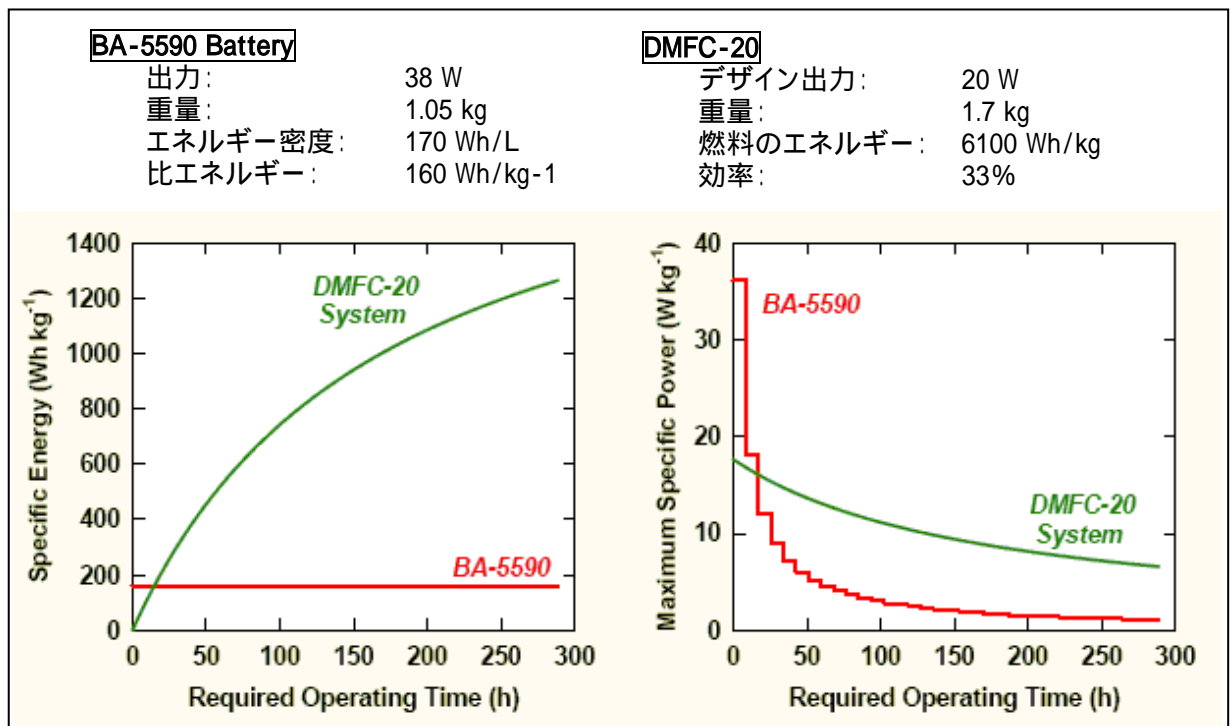


図 9-15 . バッテリーと DMFC の特性の違い (20 ~ 38W レベル)

LANL における DMFC 研究

- LANL の DMFC 研究は、以下の資金を得て実施している。

DARPA : Defense Sciences Office (Palm Power プログラム)

DOE : Office of Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies

LANL : Technology Maturation Fund (技術成熟化基金)

- DMFC の性能向上のために、新規の触媒の研究を行っている。

通常のカソード触媒 (Pt 触媒) に変わるものとして、Pt₃Cr 触媒を開発している。Pt₃Cr 触媒は、全電流範囲において、Pt 触媒よりも 90 mV 程度、セル電圧が高くなることわかった (図 9-16)。

200 時間のテストにおいても、カソード触媒に Pt₃Cr を使用した DMFC は、Pr を使用した DMFC よりも電流密度が 17% ほど高いことがわかった (図 9-17)。初期段階で見られる劣化については現在研究中である。

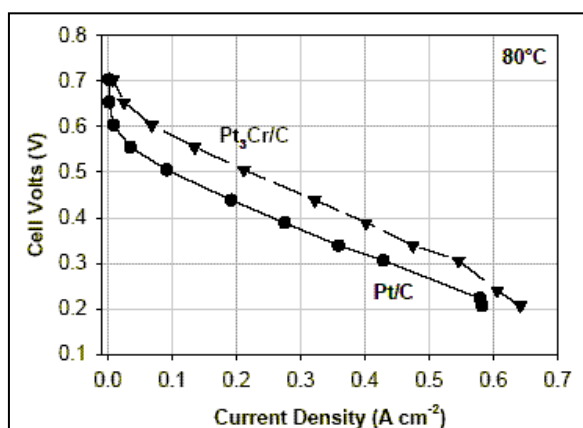


図 9-16 . Pt₃Cr 触媒と Pt 触媒の比較 : セル電圧

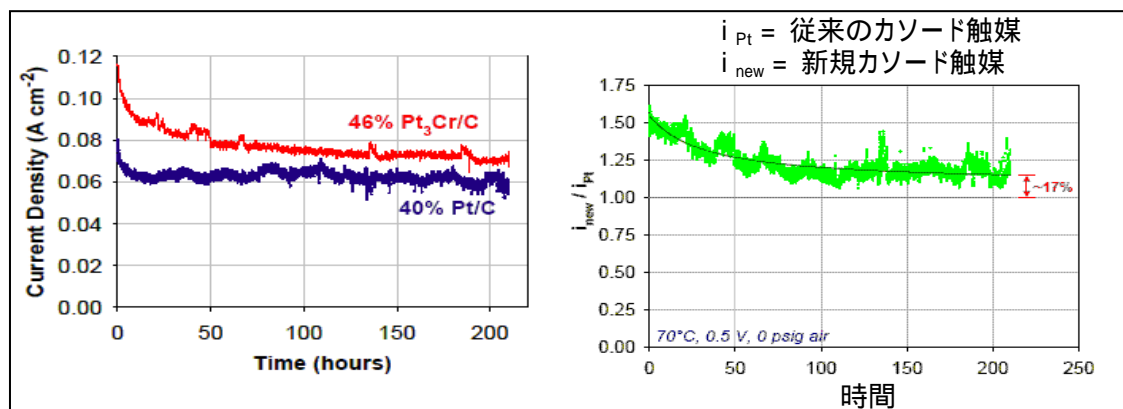


図 9-17 . Pt₃Cr 触媒と Pt 触媒の比較 : 長期的性能 (電流密度)

DMFC の用途開発

- DMFC の初期市場としては軍用が有望である。

LANL は DARPA の資金を得て、携帯用電源として 20W DMFC を開発している (図 9-18)。これは DARPA の「Palm Power」プログラムの一環として開発されたものである。

現在この DMFC ユニットは兵士が携帯可能な電源として、DARPA の「Objective Force Warrior」 (= Future Force Warrior) プログラム⁷³に、開発が進められている (図 9-19)。通常の二次電池よりも、エネルギー密度が 10 倍ほど高いことが利点である。

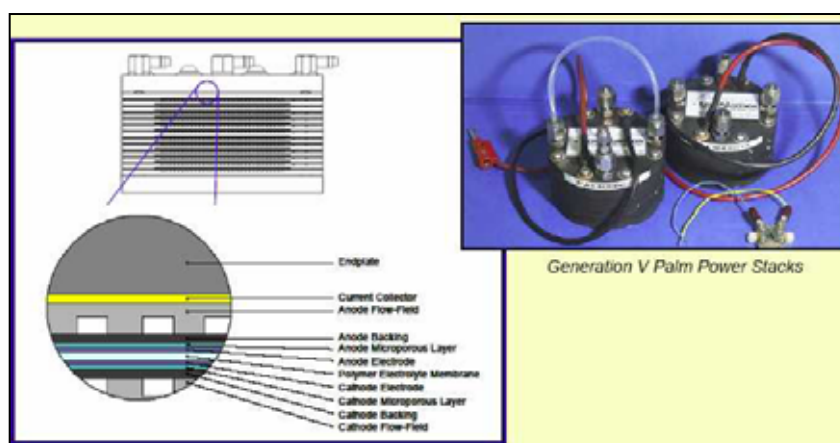
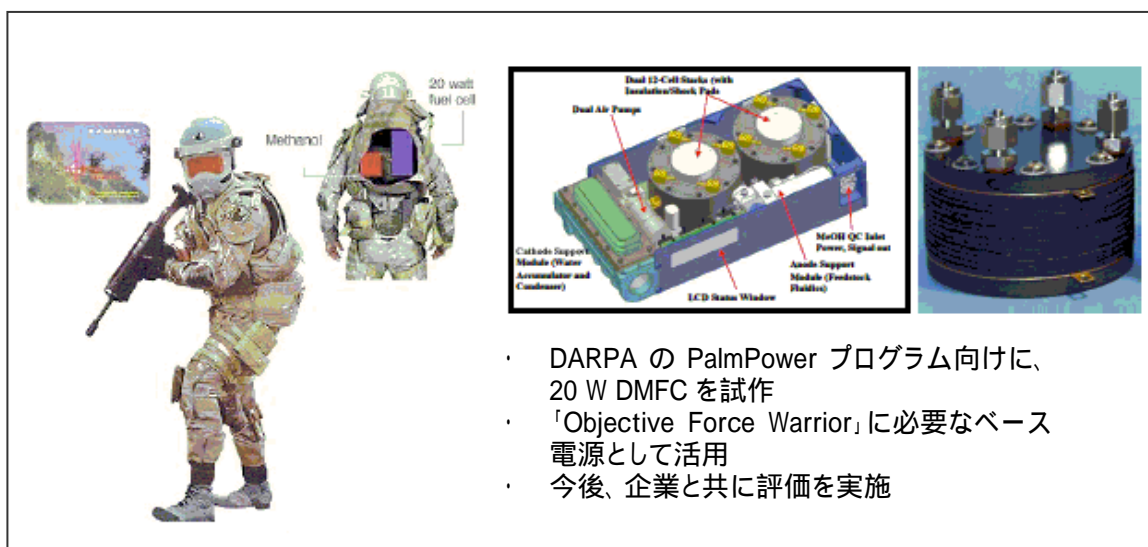


図 9-18 . 軍用 DMFC (Palm Power : 20W 級)
セル厚 : 2.4 mm (バイポーラプレート厚 : 1.8 mm)
重量 310 g (11 W) / スタック (Generation IV は 380 g)



- DARPA の PalmPower プログラム向けに、20 W DMFC を試作
- 「Objective Force Warrior」に必要なベース電源として活用
- 今後、企業と共に評価を実施

図 9-19 . DARPA の Objective Force Warrior プログラム向け DMFC

⁷³ P. 126の脚注参照。

Ball Aerospace は LANL の DMFC スタック (11 W/スタック) を 2 基組み合わせ、 20 kW モジュール「DMFC-20」を試作した (図 9-20)。

同じタイプの DMFC セルを 23 セル積層し、出力を 400 ~ 500 W/kg に高めたシステムを開発した (図 9-21)。この試作品は、2004 年 8 月に Mesoscopic Devices 社⁷⁴に納品した。

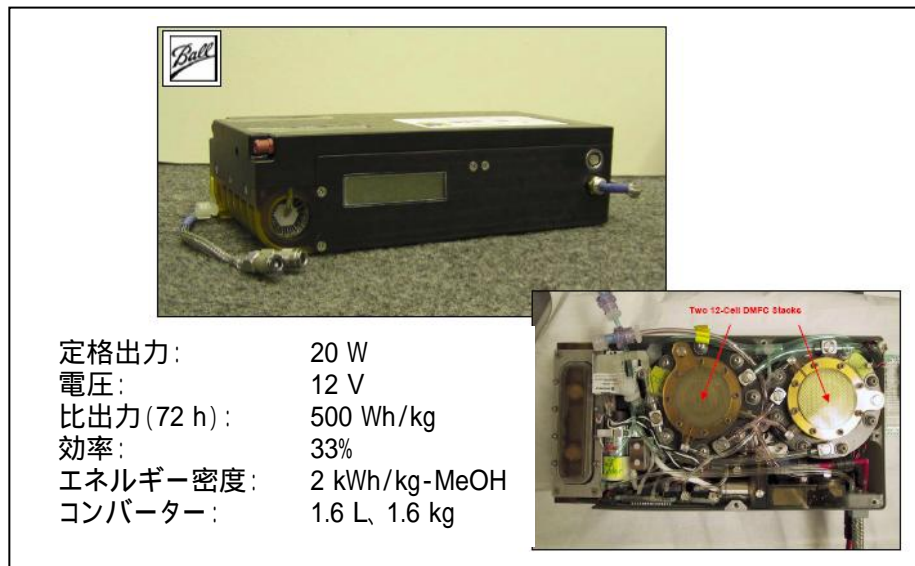


図 9-20 . 20 kW DMFC モジュール (Ball Aerospace 製)

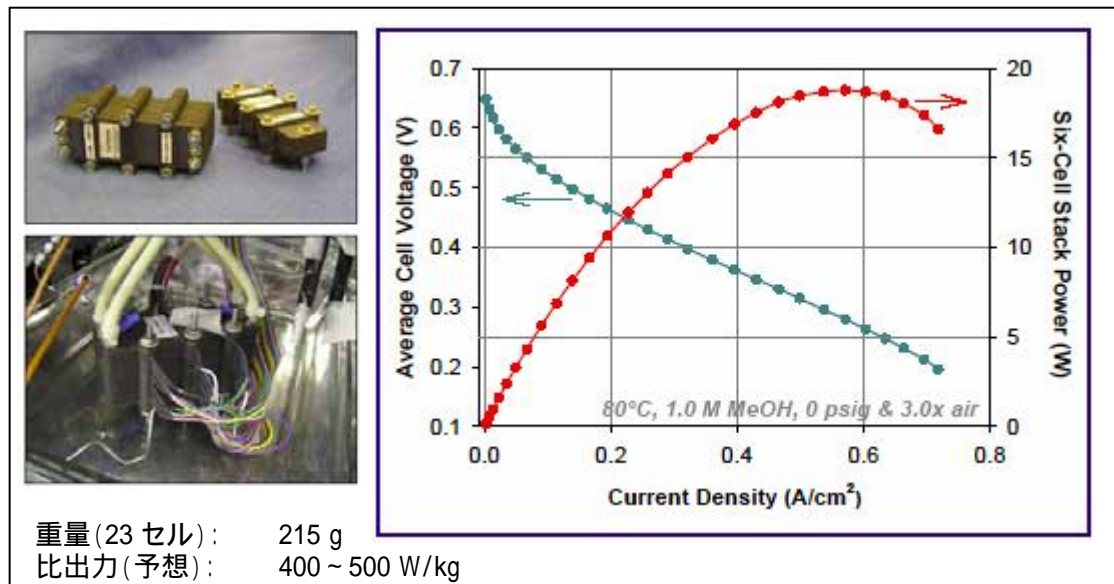


図 9-21 . 高出力 DMFC システム

⁷⁴ Mesoscopic Devices は、燃料電池の軍事市場における応用製品開発会社。
 < <http://www.mesoscopic.com/> > 参照。

- DMFC は、携帯電話用としても有望である（図 9-22）。

2001 年には「on a chip」コンセプト DMFC で 700 時間を達成した。この技術は Motorola に供与されている。

現在 MTI Micro Fuel Cells⁷⁵が、LANL の技術を元に携帯電話用 DMFC の開発を行っている（LANL の研究者が同社の最高技術責任者に就任）。



図 9-22 . DMFC の携帯電話への応用

- LANL では低電力消費のメタノールセンサーも開発した（図 9-23）。

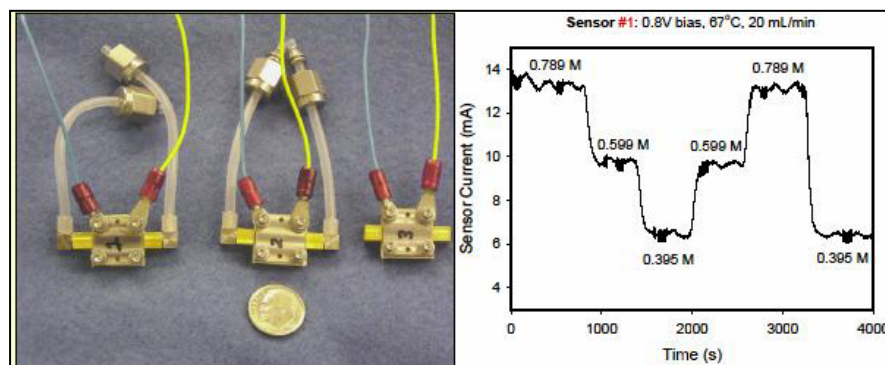


図 9-23 . 低電力消費のメタノールセンサー
重量：7.0 g、消費出力：15mV

⁷⁵ MTI (Mechanical Technology, Inc) は 1961 年に設立された技術開発会社で、現在は MTI Micro Fuel Cells (DMFC) と MTI Instruments (非接触計測技術) を傘下に有している。過去には、1997 年に DTE Energy (ミシガン州の電力会社 Detroit Edison のグループ企業) と合併で Plug Power を設立している (1996 年。その後 Plug Power は独立)。

DMFC に関するディスカッション

- Pt₃Cr 触媒を使用すると、メタノール耐性は向上する。
- メタノールのクロスオーバーに関しては、排気中のメタノール濃度変化と電極電位変化の 2 つから調べている。モデル的には、開路電圧を調べることで、メタノールクロスオーバーが計算できる。
- 排気中のホルムアルデヒド濃度は、検出限界以下 (ppm レベル以下)。
- 運用温度は、ポータブル用途の場合で 45 ~ 55 程度になる。ただしテストでは 70 で実施している。
- メタノール濃度は、カソードからアノードにかけて徐々に低下し、アノード付近では 0.3 ~ 0.4 M/L 程度であろう (MTI の意見による)。
- メタノールの規制について :

現状では、メタノールに関する規制はない。現在でも車のウィンド洗浄液に使用されている。

おそらく飛行機には持ちこむことはできないであろう。

メタノール燃料の運用基準については産業界 (例 . Metanex など) がリードとっており、LANL はそのサポートのみである。

基本的に、産業界が定めた規制に従っていきたい。

- アクティブ DMFC とパッシブ DMFC について :

アクティブ DMFC は高出力用途に最適で、パッシブ DMFC は低出力用途向きである。

LANL でもパッシブ DMFC の研究をしていたが、MTI に技術移転してしまい、現状の開発状況はよくわからない。1 ~ 5 kW の低出力用途ではパッシブ DMFC が有効と思われるが、LANL で中心的に開発している 20 kW レベルでは、パッシブ DMFC が有効かどうかは不明。

(6) LANL におけるその他の研究

膜・MEA 劣化に関する研究

- 膜・MEA などの耐久性に関する研究を行っている（表 9-10）。

表 9-10 . 耐久性に関する研究

<p>燃料電池の耐久性に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none">12 セルスタック アクティブエリア : 5 cm²、50 cm²、フルサイズ (200 cm²)性能と劣化度の測定 (~ 5000 時間)<ul style="list-style-type: none">- VIR- セル抵抗値- 触媒活性面積- 生成水の挙動in situ 分析・事後分析<ul style="list-style-type: none">- 触媒表面積計測- SEM・EDAX・TEM・XRD・ICPMS <p>オフラインテスト・加速テストを用いた開発</p> <ul style="list-style-type: none">電位走査法浸出水チェンバーテスト

- MEA 劣化の原因の一つに、触媒 (Pt) の凝集による粒径増大がある (図 9-24、図 9-26)。この粒径増大は時間、ドライビングサイクル、電位変動、温度によって引き起こされる。

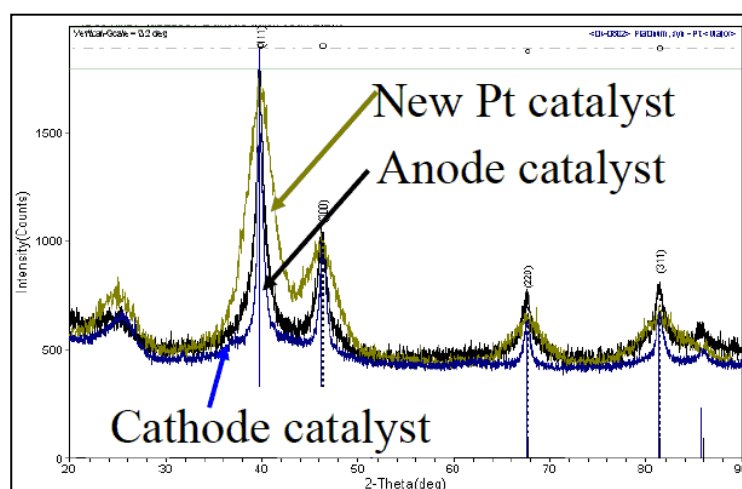


図 9-24 . 触媒 (Pt) の粒径増大

- LANL では、実際のドライビングサイクルを模したシミュレーションを行い、スタックのサイクルテストを実施している（図 9-25）。

ドライビングサイクルが MEA、特に触媒の凝集に与える影響を研究している（図 9-26）。

ドライビングサイクルは、National Renewable Energy Laboratory（NREL）で開発したものを採用している。



図 9-25 . NREL ドライビングサイクルシミュレーション

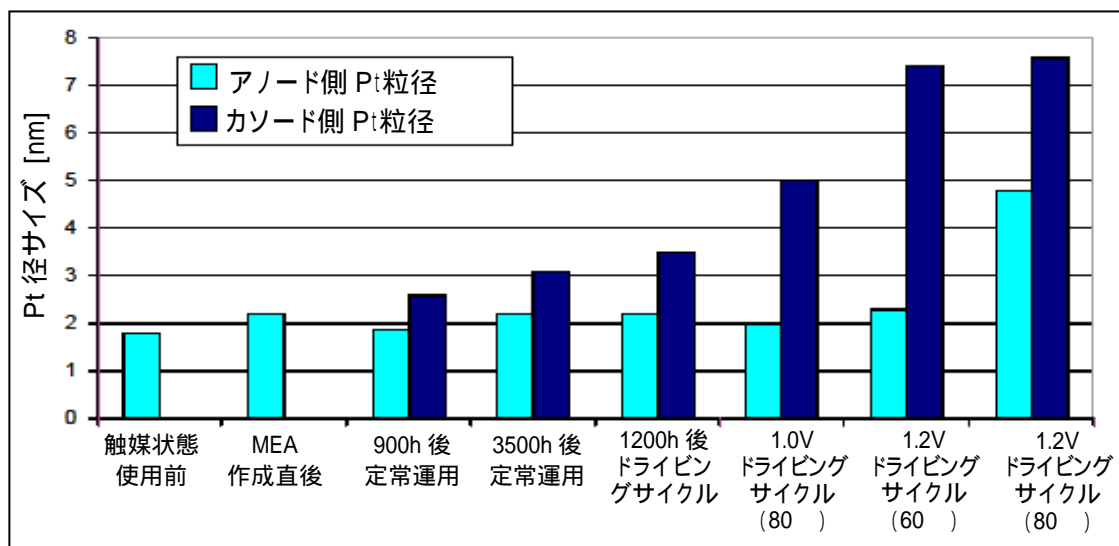


図 9-26 . サイクルテストと Pt 触媒の凝集化

バイポーラプレート

- LANL では、熱硬化性プラスチック（ビニルエステル）を用いたバイポーラプレートの研究を行っている。
- (1) この材料は LANL が開発し、現在 BMC⁷⁶ が製品化を進めている（BMC 940）。モールドで成型でき、薄いバイポーラプレートを製造できる可能性がある。

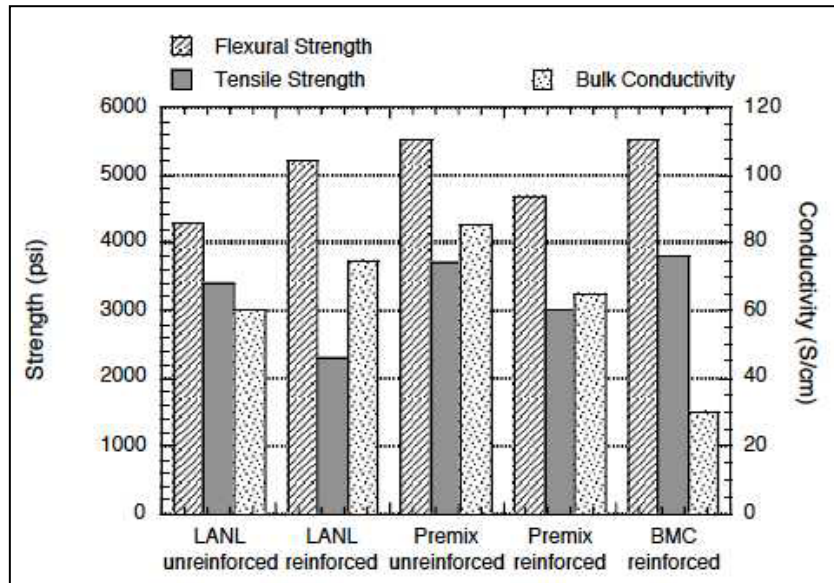
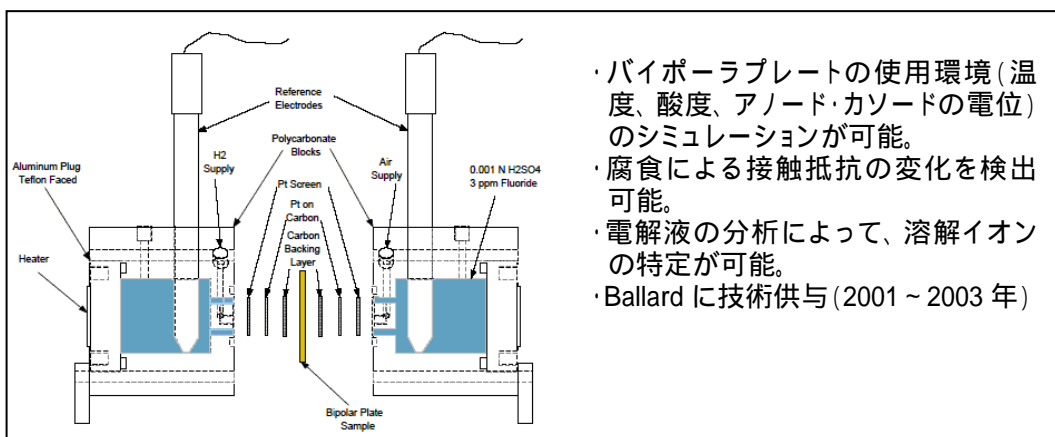


図 9-27 . LANL と BMC で開発中のプラスチック製バイポーラプレート

腐食実験装置

- バイポーラプレートの腐食実験のために、腐食実験装置を開発した（図 9-28）。



- バイポーラプレートの使用環境（温度、酸度、アノード・カソードの電位）のシミュレーションが可能。
- 腐食による接触抵抗の変化を検出可能。
- 電解液の分析によって、溶解イオンの特定が可能。
- Ballard に技術供与（2001～2003年）

図 9-28 . バイポーラプレート腐食実験装置

⁷⁶ MMC (Bulk Molding Compounds Inc) はシカゴに本社がある工業用プラスチックメーカー。

コンポジット製水素タンクの開発

- コンポジット製水素タンクのテストを、US Department of Transportation (Volpe National Transportation Systems Center) と U.S. Army National Automotive Center と共同で実施する予定である。

材料研究とモデリング

音響センシング(認証テスト、運用中のセンシングが可能なスマートタンク)

モデル確認のためのテスト

分子挙動に関するモデリング

- LANL では、様々な条件下にある材料の劣化について分子レベルでの分析・モデル化を行っている。

LANL はこれまでに、溶液中の分子挙動のモデル (quasicheical モデルと ab initio 分子動力学シミュレーションの組み合わせ) について、先端的な研究を行ってきた。

分子動力学モデルによって、トリフルオロメタンスルホン酸一水和物にプロトン欠損を導入した場合のプロトン伝導度の向上をシミュレーションした。

氷点下における MEA 中の分子挙動に関して、2005 年 2 月にワークショップを行った(アリゾナ州フェニックス、2005 年 2 月 1~2 日)。

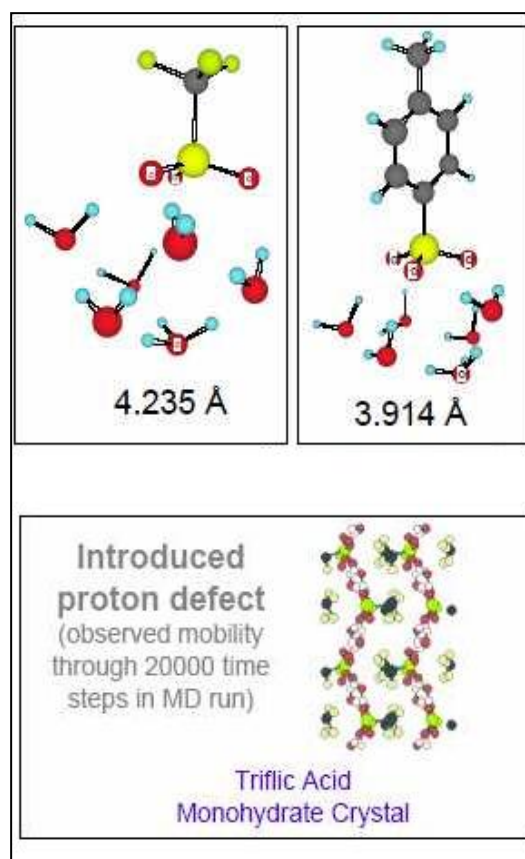


図 9-29 . 分子動力学モデル

浸出水測定用チェンバーの開発

- スタック中の各コンポーネントの挙動や劣化、寿命を調べるために、浸出水測定用チェンバーを開発した（図 9-30）。

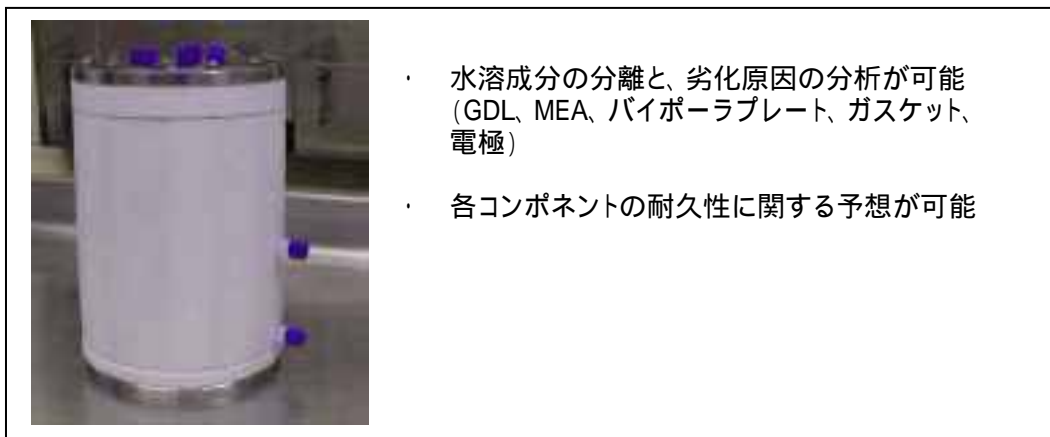


図 9-30 . 浸出水測定用チェンバー

水素分離膜の開発

- LANL では、水素分離膜の開発も行っている（図 9-31）。

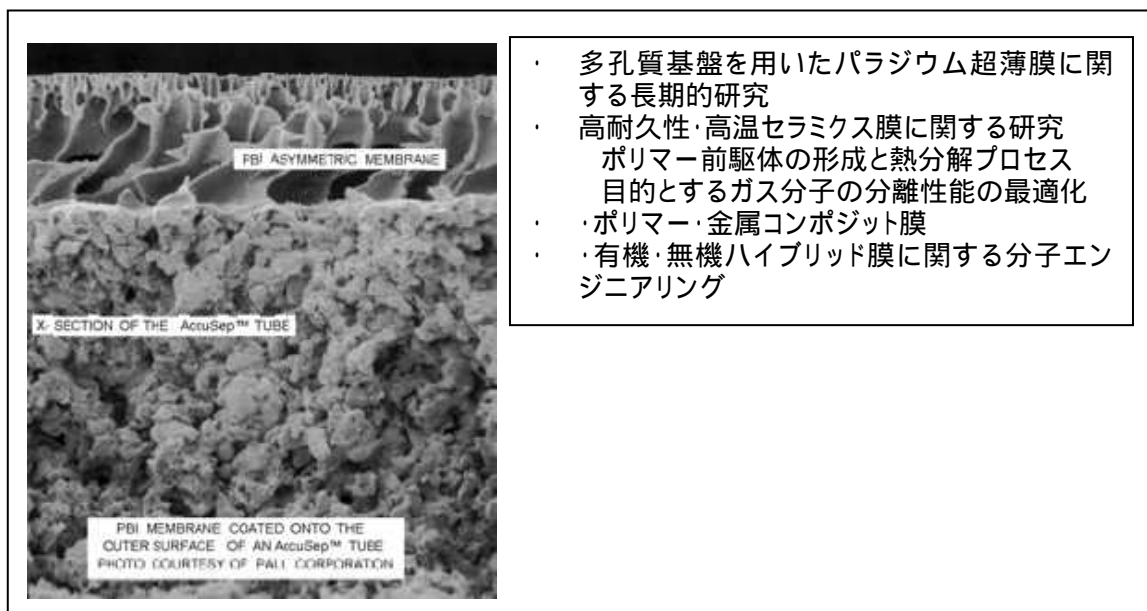


図 9-31 . 水素分離膜の開発

(7) ディスカッション

- 燃料電池テストに関して：

ドライビングサイクルテストは、National Renewable Energy Laboratoryが開発したモデルを使用している。現状では、システムの起動・停止段階をサイクルモデルには含んでいないが、サイクルに含めることは可能。またこのドライビングサイクルモデルは、ハイブリッド化(燃料電池と二次電池の併用)の度合いを任意に設定可能である。

LANL にはダイナモ設備がないので、燃料電池テストは単セルやショートスタックで実施している。LANL では基礎研究が中心なので、単セル～10kW レベルのスタックのテストで十分である。

- ポータブル用燃料電池の燃料(水素)は、主にメタノールを想定している(DMFC)。ただし、ラップトップパソコンでは、水素吸蔵合金のほうが適している。
- LANL では、高温膜の開発と金属バイポーラプレートの研究も行っている。

金属バイポーラプレートの研究では、ORNL との共同研究であり、LANL は主にテストを行っている。ORNL で開発中の NiCr 合金バイポーラプレートはリーズナブルなものになると思われる。
- 膜への Pt・硫黄の拡散の膜性能へ与える影響については計測を行っていない。損失量の測定のみである。
- 膜・MEA 劣化の研究では、主にコンポネントと水間のインタラクションに注目しており、空気(酸素)とのインタラクションについては、研究は行っていない。

10. ビル・リチャードソン ニューメキシコ州知事オフィス

訪問先	ビル・リチャードソン ニューメキシコ州知事オフィス 住所：Mailstop D429, Los Alamos, NM 87545, USA
訪問日時	2004年11月5日（金）15：30～16：00
対応者	Bill Richardson Governor of State of New Mexico Joanna Prukop Secretary, Minerals and Natural Resources Department, State of NM K.A. (Tony) Namkung Ph.D, Senior Adviser to Governor Bill Richardson Ned Farquhar, Energy & Environmental Policy Advisor Michael Orshan Director of Science & Technology, Economic Development Department Patrick D. Gannon Staff Manager, Bioscience Advisor, Science & Technology Div., Economic Development Department Jeff Herles Staff Manager, Technology Business Development Advisor, Science & Technology Div., Economic Development Department Rene Parker Program Manager, Energy Conservation And Management Division, Energy, Minerals and Natural Resources Department (他、LANL、HyTeP 関係者も出席)

(1) ビル・リチャードソン ニューメキシコ州知事

- ビル・リチャードソン（Bill Richardson）ニューメキシコ州知事は、クリントン政権のエネルギー省長官を務めた。略歴を表 10-1に示す。

表 10-1 . ビル・リチャードソン ニューメキシコ州知事略歴

1947年	カリフォルニア州パサディナに生まれる
1983年～1997年	ニューメキシコ州選出上院議員（民主党）
1997年～1998年	米国国連大使
1998年～2001年	エネルギー省長官
2001年～	ニューメキシコ州知事

(2) 会見内容

【安藤晴彦 燃料電池推進室 室長】

(スペイン語、英語で挨拶)

【リチャードソン知事】

皆さんのニューメキシコ州への訪問を歓迎いたします。私は日本へは、これまで16回ほど訪問いたしました。ついこの夏に日本に訪問したばかりです。

日本からいらした水素エネルギーのエキスパートの皆さんに、米国のエネルギー政策の現状がどうなっているか、簡単にご説明しましょう。

まず連邦レベルですが、米国議会は過去12年間、包括エネルギー法案を通していません。よって州レベルのイニシアティブで、再生可能エネルギーの導入を進めることが考えられます。

私とシュワルツネッガー カリフォルニア州知事の提案で、米国西部の州では2015年までに30,000 MWの再生可能エネルギーを導入し、2020年までにエネルギー効率を20%高めることに合意しました⁷⁷。水素エネルギーはじめ再生可能エネルギーの導入は、州レベルで始まっています。

ここニューメキシコ州には優れた国立研究所があり、それがパブリック・プライベート・パートナーシップの鍵となっています。私はエネルギー省長官を務めましたので、パートナーシップの重要性を十分理解しており、さらにこれを追求していきたいと思っています。

またパートナーシップとともに、私の横にいるこのスタッフも私を助けてくれます。州経済開発局 (Economic Development Department) や州エネルギー・鉱物資源局 (Energy, Minerals and Natural Resources Department) が非常にアクティブに活動していますし、アドバイザーのトニー (K.A. Namkung, Ph.D) が有益なアドバイスを与えてくれます。

水素に関しては、国際的な協力体制が欠かせません。日本の国会 (Diet) も積極的にこれに答えてほしいと思います。私たちも今あるファシリティを活用するだけで

⁷⁷ 詳細は Western Governors' Association 参照。

"Western Governors Launch Initiative to Spur Clean, Diversified Energy in the West: Govs. Richardson, Schwarzenegger To Lead Effort" (June 22, 2004), <

<http://www.westgov.org/wga/press/energy.htm> >

"WGA Policy Resolution 04-14 Clean and Diversified Energy Initiative for the West" (June 22, 2004)

< www.westgov.org/wga/policy/04/clean-energy.pdf >

はなく、この技術に積極的に投資していきたいと思っています。もちろん、日本ほどの額ではありませんが。

私たちは、日本とニューメキシコ州とのパートナーシップを希望します。私自身、この夏に日本を訪問したときに、シャープ⁷⁸と伊藤忠⁷⁹と MOA を結びました。2005 年には愛知で万博が開催されますが、私たちはこれへの出展も予定しています⁸⁰。

ニューメキシコ州は、再生可能エネルギーにコミットした最初の 10 州のひとつになっています。つい最近、ロシア政府のコミットメントによって京都議定書が発効することになりましたが、それは日本がさらに再生可能エネルギーにコミットし、R&D を推進することへの圧力となるでしょう。

米国でも風力、ソーラー、そして燃料電池開発への期待が高まっています。現在原油価格は 50 ドル/バレルに達しており、それが再生可能エネルギー開発への圧力となっています。ただ原油高の影響は、日本のほうが大きいでしょう。

【ナムクン氏 (シニア・アドバイザー)】

前回のリチャードソン知事の訪日では、ドクター有馬との間でも、ニューメキシコ州の研究資産の活用に関する MOU を結びました⁸¹。

重要なことは、研究成果を実施に移すことです。私たちが推進したいと考えているエネルギー技術は、水素だけではなく、あらゆる再生可能エネルギー技術です。

その意味でも、公共研究機関は、私たちの研究資産の中核になります。

⁷⁸ シャープは、サンディア国立研究所、ロスアラモス国立研究所、ニューメキシコ州立大学などと協力し、太陽光発電システムの試験技術の開発、農業分野の応用技術開発、高温動作 PEM システムの共同開発を行う。

出所：シャープニュースリリース (2004 年 6 月 16 日)「米国・ニューメキシコ州と新エネルギー分野における共同開発に合意」 < <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/040616-a.html> > 参照。

⁷⁹ 伊藤忠は、ニューメキシコ州の研究資源を活用し、技術移転、新技術を核とした合弁事業の設立、先端技術分野のベンチャー企業への投資などの新規開発・投資案件を年 5~10 件程度推進する。なお同社は、2003 年 1 月にロスアラモス国立研究所と包括提携を締結している。

出所：伊藤忠 News (2004 年 6 月 15 日)「米ニューメキシコ州政府と包括提携に合意 - 米国州政府と日本企業間における初の提携 - 」

< http://www.itochu.co.jp/main/news/2004/news_040615_2.html >

伊藤忠 News (2003 年 1 月 7 日)「伊藤忠商事、先端技術分野で米国立研究所と包括提携」

< http://www.itochu.co.jp/main/news/2003/news_030107.html > 参照。

⁸⁰ ニューメキシコ州は、愛・地球博のアメリカ政府館への出展を予定している。なお伊藤忠は、同博覧会のマスターライセンスオフィスであるので、これを指した発言と思われる。

⁸¹ 日本国特定非営利法人グローバル・コロキウム有馬朗人理事長と米国ニューメキシコ州ビル・リチャードソン知事との間の先端技術、エネルギー問題等についての包括的協力に関する覚書

(Memorandum of Understanding Between H.E. Dr. Bill Richardson Governor of the State of New Mexico And H.E. Dr. Akito Arima Chairman of the Global Colloquium (NPO Japan) Regarding A Program of Cooperation On Advanced Technology and Energy Issues)

【日本側：ロスアラモス国立研究所訪問の感想】

（安藤 室長、丹下 JARI 技術参与、池谷 NEDO 主任研究員より、今回のロスアラモス国立研究所訪問の感想）

【リチャードソン知事】

皆さん、ロスアラモス国立研究所について強い印象をもたれたようで、同研究所がパートナーシップのカギになるといえそうです。

皆さんの感想を聞いて、私は大変にうれしく思いますし、私たちは良いパートナーになると思います。

【日本側：他の参加者の自己紹介】

（省略）

11. 2004 Fuel Cell Seminar

(1) 2004 Fuel Cell Seminar の概要

燃料電池関連のシンポジウムとしては最も規模が大きいと言われている 2004 Fuel Cell Seminar に、FCV 技術動向調査として初めて参加した。

2003 年はフロリダ州マイアミであったが、2004 年はテキサス州サンアントニオに場所を移し、2004 年 11 月 1 日（月）～11 月 5 日（金）の間開催された。会場は、ヘンリー・ゴンザレス・コンベンション・センター（Henry B. Gonzalez Convention Center、図 11-1）で、セミナー（講演、ポスタ - ） 展示会、試乗会の三部構成となっていた。



図 11-1 . 2004 Fuel Cell Seminar 会場

【所感】

時間の都合もあり、技術調査団は 11 月 3 日（水）全日及び 11 月 4 日（木）半日の参加を行った。日米欧が共同で取り組んでいるセミナーとは言え、ほとんど米国中心であり（特に国防省、エネルギー省のプロジェクト関係者が多い）、欧州からの参加者は少なかった。日本からの参加者もよく見かけたが、参加者の割合からすると日本サイドからのプレゼンテーションはやや少なく思われた。しかし英語から日本語への同時通訳のサービスもあり、日本人の参加者への配慮もなされていた。

今回の参加登録者は、昨年より約 100 人増加して 2,300 人であったとのことである。展示会（2002 年から併設）への出展社数は昨年より 40 社増え 160 社であり、盛況であった。また、会場の周辺で試乗会も行われていた。

初めて参加して感じたことは、このセミナーの性格がやや中途半端で、学術的な講演会なのか、それとも政策的な講演会なのか、今ひとつ明確ではなかった。セミナー事務局サイドの意見として、「今年の講演は企業の PR 色が強すぎた。来年からは、もっとポスタ - セッションを充実させたい」という意見もあったようである。しかし、エネルギー省の燃料電池関連プロジェクトの現状や Du-Pont/UTC-FC の MEA 劣化解析など、新鮮味のあるプレゼンテーションもあり、非常に参考になった。

展示会については、比較的小さなブースが数多くあり、政府関係の展示も多くあった。実際に燃料電池を直接研究開発している者にとっては、展示説明者との議論（商談を含め）が可能で、大いに有効であったようだ。

会場のセンターの外には「Fuel Cell Seminar」の案内もなく、センターの中に入って初めて小さな案内がある程度で、もう少しPRを考えた方が良かったと思われる。また5日（金、最終日）がまだ残されているのに、展示会が4日（木）の午前中で終了してしまったのは全く意外であった。せめて4日は終日開催してほしかった。

なお次回の2005 Fuel Cell Seminarは、2005年11月11日～14日にカリフォルニア州パームスプリングにて開催される予定である。

(2) セミナースケジュール(講演、ポスター)

セミナーのスケジュールを表 11-1に示す。PEM、SOFC 関連の発表が多かった。技術調査団が聴講できたセッションは、PEM 関連(2B、3B、4B)及び水素関連(5B)の一部である。

技術調査団が聴講したセッションのうち、興味深いと思われる講演について、(5)以下に簡単にまとめる。

表 11-1 . 2004 Fuel Cell Seminar スケジュール

		セミナー・セッション		ポスター・セッション	展示会	試乗会
2日	AM	Opening Session				
	PM	1A: The Global View	1B: Fuel Processing	主に PEM 関連	全 207 ブース	
3日	AM	2A: SOFC Research Progress	2B: PEM I (MEA)	主に SOFC 関連	全 207 ブース	F-Cell Hydrogen 3
	PM	3A: SOFC Development Progress	3B: PEM II (MEA)			
4日	AM	4A: Field Demonstrations	4B: PEM III (Transportation)	主に改質関連	全 207 ブース	
	PM	5A: Specialty Market	5B: Hydrogen			F-Cell Hydrogen 3
5日	AM	6A: Potable	6B: PEM IV/DMFC			

(3) 展示会

1 小間は 10 フィート×10 フィート (約 3 m×約 3 m) と比較的小さく、2 小間程度の展示が数多く見られた。比較的大きなスペースを持っている DuPont でも 4 小間程度であった。

FCV としては、唯一トヨタから FCHV が展示された。会場は、多くの来場者で盛況であった。

会場内では、自動車メーカー、燃料電池メーカー、膜・MEA メーカー及び大学・研究所関係者が多く見受けられたが、エネルギー関連企業 (ガス会社、石油会社、電力会社) と政府関連の来場が少な目であった。米国における燃料電池業界のキーマンや日本を含むアジアのキーマンと思われる人が各展示ブースに立ち寄り、研究中の自らの課題を持って各種の議論、話し合い、商談を行っていた。

注目された展示を表 11-2 に示す。

表 11-2 . 2004 Fuel Cell Seminar で注目された展示

MICROCELL マイクロファイバー型 PEMFC 用途：自動車、分散型発電、ポータブル 燃料：純水素、メタノール	Entegris 樹脂配管
PolyFuel 炭化水素系メンブレン 耐熱温度 95	PEMCoat INEOS Chlor 社 多層コーティングした金属セパレータ
Humidicore エンタルピー・ホイール型加湿器 Emprise Corporation 社	旭硝子 耐熱温度 120 のメンブレン 2,000 時間の耐久性確認 (2004 年 9 月 27 日にプレスリリース)
Hoku Scientific, Inc. 炭化水素系メンブレン	Celtel PBI(Poly Benz Imidazole)膜 Pemas GmbH 社
Ballard、Plug Power、Ida Tech、Siemens Westinghouse	
Du-Pont、3M、E-TEK (JM、Nuvera-FC などの欧州勢は、不参加)	
田中貴金属、Umicore、SGL Carbon	
政府関係機関 (DOD、DOE など)	
米国トヨタ販売によるトヨタ FCHV の展示	

(4) 試乗会

試乗会は、セミナー会場から連絡バスで5分くらい離れた場所にあるアラモドームの駐車場で行われた。

アラモドームの駐車場には1周約800mのコースとなっており、実際に運転が可能であった(常時50~60人位の運転の順番待ちであった)。なお、車両への水素充填は、移動式の高圧水素ポンベから行われていた。

表11-3に、試乗会に提供された車両と、ある運転者の感想を示す。なおFCスクーターは、途中で安全性を考慮して運転不可となった。FCVの中には、故障のため途中から展示のみに切り替えた車両もあった。

表 11-3 . 2004 Fuel Cell Seminar の試乗会

試乗会・展示車両	写真
DaimlerChrysler「F-Cell」 ・ 加速が良い。 ・ 故障が比較的少ない。	
GM「HydroGen3」 ・ F-Cell に較べて加速が悪い。 ・ スタックの調子が悪く、よく故障していた (途中から展示に切り替え)	
Ford「Focus FC」 ・ 展示のみで、試乗運転は不可。	
Vectrix FC バイク (2台) ・ 電動バイク。 ・ 加速が良い。	
台湾の FC スクーター 途中から運転不許可となった。	
トラック (APU に FC 利用)	

(5) 主なプレゼンテーション

Department of Energy / Los Alamos National Laboratory

タイトル： The President's Hydrogen Fuel Initiative; Update on DOE Programs Addressing Hydrogen Production and On-board Hydrogen Storage

発表者： Antonio Bouza, Roxanne Danz, Peter Devlin, John Milliken (DOE), John Petrovic (LANL)

- HydrogenFuel イニシアティブにおいて、DOE が 2005 年度に実施する主な水素製造プロジェクトの研究テーマは以下のとおりである（図 11-2）。

水素製造方式としては、分散型(オンサイト型)改質方式、水電気分解方式、バイオマス由来水素製造、光分解方式、セパレーション・熱化学方式である。

水素貯蔵プロジェクトとしては、メタルハイドライド、ケミカルハイドライド及びカーボンベースの材料に焦点を置いた研究となっている。

- ブッシュ大統領が提示した HydrogenFuel イニシアティブにおける水素製造のコスト目標を表 11-4、車載システムの性能・コスト目標を表 11-5に示す。

現行の技術水準を考えると、車載システムの性能・コスト目標（表 11-5）は大変厳しいものになっている。水素貯蔵率目標は、2010 年が 6 wt%、2015 年が 9 wt% であり、システムコスト目標は、2010 年が現行の 35 MPa 高压水素システムの 4/15、2015 年が現行の 2/15 と想定している。

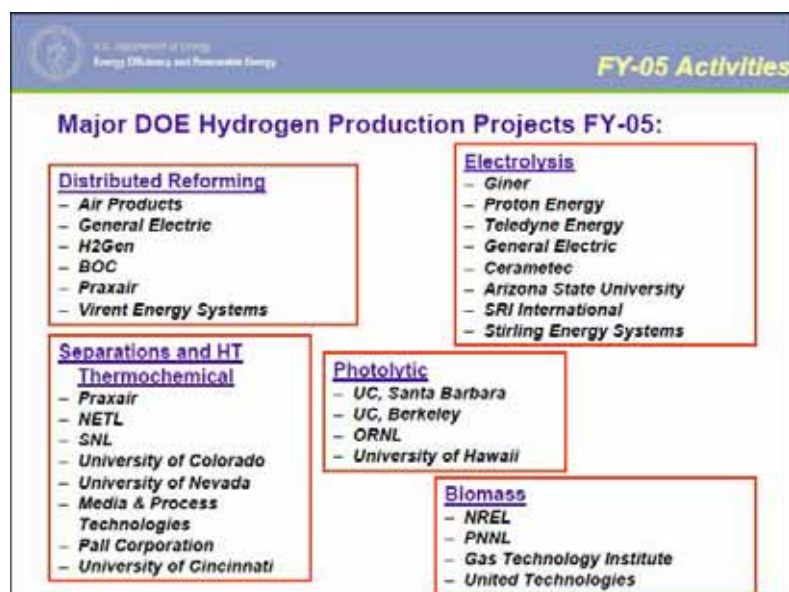


図 11-2 . DOE の水素製造プロジェクト参加企業

表 11-4 . 水素製造コスト目標

天然ガス改質 (オンサイト型)	2004年：3ドル/kg 2010年：1.5ドル/kg (2ドル/kg への目標変更を予定)
水の電気電解	2005年：4.5ドル/kg 2010年：2.85ドル/kg

表 11-5 . 車載システム性能・コスト目標

貯蔵パラメータ	2005年	2010年	2015年
重量エネルギー密度	1.50 kWh/kg 0.045 kgH ₂ /kg	2.0kWh/kg 0.060 kgH ₂ /kg	3.0kWh/kg 0.090 kgH ₂ /kg
システム重量	111 kg	83 kg	55.6 kg
体積エネルギー密度	1.2 kWh/L 0.036 kgH ₂ /L	1.5kWh/L 0.045 kgH ₂ /L	2.7kWh/L 0.081 kgH ₂ /L
システム重量	139 L	111 L	62 L
貯蔵システムコスト	\$6 /kWh	\$4 /kWh	\$2 /kWh
システムコスト	\$1,000	\$666	\$333
充填速度	0.5 kgH ₂ /分	1.5 kgH ₂ /分	2.0 kgH ₂ /分
充填時間	10分	3.3分	2.5分

注：ライト・デュティ・ビークルにおける必要水素重量は 5~13 kg (平均 7 kg) と想定。

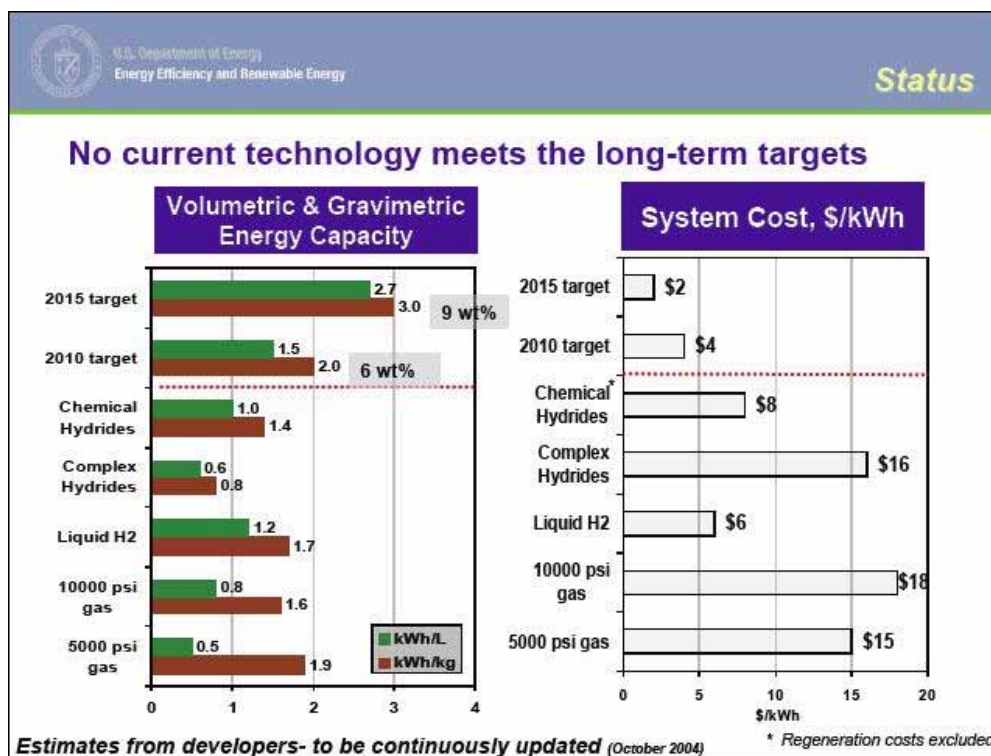


図 11-3 . 技術の現状と目標との乖離

Department of Energy

タイトル： Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project

発表者： John Garbak, Sigmund Gronich (DOE)

- Controlled Hydrogen Fleet and Infrastructure Demonstration and Validation Project (管理下における水素利用車及びインフラ実証・評価プロジェクト) は 2004 年 10 月からスタートした 5 年間のプロジェクトである。過去のプログラムと異なり、集めたデータがまた研究開発に反映されることが特徴である (研究開発と実証のリンクを重視) 。

HydrogenFuel イニシアティブの一環として、12 億ドルの予算を計上している。

実証試験データを取り、R&D にフォーカスして 2015 年に実用化の判断を行なう。プログラムには実証のみでなく評価も含まれる。

- 自動車会社とエネルギー会社の組み合わせでチームを結成し、契約を結ぶようにしている。

DOE プログラムに対し、トヨタ、日産、ホンダ、BMW の参加については現在交渉中である。

BMW は水素内燃機関自動車で参画するが、あくまでもプログラムの目的は FCV のデモンストレーションである。

- 今後 DOE では合計で 40 基のステーションを設置予定であるが、目標は FCV の導入ではなく、あくまでもテクノロジーの見極めである。また車両台数に対して適正なステーション数を見極めることも目的である。

燃料供給インフラであるディスペンサーのデザインは共通化したいと考えている。また全ての FCV は、クレジットカードにより全てのステーションにて充填可能とする計画である。

コンソーシアム全体では、40 基のステーションに 250 台くらいの FCV、水素自動車になるであろう。

北カリフォルニア、南カリフォルニア、ミシガン南東部、大西洋岸中部が、FCV に前向きな消費者の市場を期待できる地域であると言える。

- DOE による FCV フリート試験のデータ収集・解析項目は表 11-9 の通りである。

表 11-6 . DOE の FCV デモンストレーションプロジェクトの目標

2009 年 ターゲット	スタックの耐久性： 2,000 時間 航続距離： 250 mile (400 km) 以上 水素供給コスト： 3 ドル/kg 米国全域の気候条件で走行可能
2015 年 ターゲット	スタックの耐久性： 5,000 時間 航続距離： 300 mile (480 km) 以上 水素供給コスト： 1.5 ドル/kg 米国全域の気候条件で走行可能

表 11-7 . DOE の FCV デモンストレーションプロジェクトのチーム構成

チーム	進捗	詳細
Ford、BP	契約済	実施場所： ミシガン、 サンフランシスコ 台数： 26 台 (乗用車) 第 1 世代と 2 世代を運用 水素ステーション：7ヶ所
DaimlerChrysler、BP	契約済	実施場所： ミシガン、 サンフランシスコ、 南カリフォルニア 台数： 36 台 (乗用車、VAN) 第 1 世代と第 2 世代を運用 水素ステーション：8ヶ所
GM、Shell	契約済	実施場所： ミシガン、 ワシントンDC・ニューヨーク、 サンフランシスコ、 南カリフォルニア 台数： 40 台 (Zafira) 第 1 世代と第 2 世代を運用 水素ステーション：7ヶ所 (ミシガン 2ヶ所とワシントン DC 1ヶ所は概設)
ChevronTexaco、現代、 UTC Fuel Cells	契約済	実施場所： サンフランシスコ、 南カリフォルニア 台数： 32 台 (SUV) 第 1 世代 (35MPa) と第 2 世代 (70MPa) を運用 水素ステーション：6ヶ所
Air Products、Conoco、 UTC Fuel Cells、トヨタ、 ホンダ、日産、BMW	交渉中	(交渉中のため未定)

表 11-8 . デモンストレーション地域と気候的特性

地域 \ 気候的特性	低温地域	中温地域	高温乾燥地域	高温多湿地域
サクラメント(CA)	-			-
南カリフォルニア(CA)	-			-
デトロイト(MI)			-	-
ワシントン DC/NYC			-	
オーランド(FL)	-		-	

表 11-9 . デモンストレーションにおけるデータ採取解析項目

<p>A . 目標の達成度</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 燃料電池の耐久性，実データと DOE の目標 2. 航続距離，実データと DOE の目標 3. 水素の製造コスト，実データと DOE の目標
<p>B . 性能評価</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 信頼性 (FC システムとパワートレイン，MTBF) Mean Time Between Failure : 平均故障間隔 5. 始動時間 (DOE 目標との比較) 6. 燃費 (台上試験と公道走行) 7. 車両平均燃費 8. 燃料電池システムの効率 9. 車両運行上の安全性 10. 水素の充填量 % 11. 容量に対する水素質量 12. 車載水素タンクのサイクルライフ <p>< 水素インフラ ></p> <ol style="list-style-type: none"> 13. プロセス毎の水素製造効率 14. 熱利用を含めた総合効率 15. プロセス毎の水素製造コスト 16. プロセス毎の水素品質 (Purity) 17. 水素の不純物 18. 充填速度のヒストグラム 19. 平均メンテ時間 (スケジュール，アンスケジュール)
<p>C . High Level Program Progress</p> <p>< 車両 ></p> <ol style="list-style-type: none"> 20. 走行試験中の外気温度範囲 21. 車両毎の 1 日当たりの試験走行時間 22. 車両毎の 1 日当たりの走行距離 23. 累積走行距離 24. 車載水素貯蔵量の高圧化による増加割合 <p>< 水素インフラ ></p> <ol style="list-style-type: none"> 25. 累積水素製造量

DuPont / UTC-FC

タイトル： Enabling PEM Fuel Cell Commercialization with Breakthrough Lifetime Improvements

発表者： Eric Teather (DuPont) , Thomas Jarvi (UTC-FC)

- メンブレン破損のプロセスとしては、機械的ストレス (Mechanical stress) と化学的劣化 (chemical degradation) がある。
- 燃料電池の耐久性について 5,000 ~ 30,000 時間の耐久性試験を実施した (図 11-4)。

機械的ストレスの要因は、密閉性の低下と膜の破壊である。これはフラッディングにより、流路・拡散層・触媒層に水が溜まってガスの供給ができなくなり、破壊につながってしまうというものである。

70%湿度での加速試験では、ソリッドプレートでは 800 時間で破損したが (クロスオーバーカレントが 10 mA/cm^2 を突破した時点)、ポーラスプレートではそれ以上の耐久性を示した。

- デュポンでは、ポリマー末端部の反応性の高い基の数を低下させることによって、メンブレンの穴あきとマイクロクラックを減少させ、メンブレンの寿命を延ばすことに成功した (ただし膜痩せはある)。この補強膜 (Stabilized Nafion®) は 2005 年には上市の予定。

化学的な劣化プロセスを調べるために、温度 90 、湿度 30% で耐久性評価を実施した。 H_2O_2 (過酸化水素) が電極層 (触媒) から発生し、それが Nafion 主鎖末端を攻撃、これによって極所ストレス、さらにクロスオーバーが発生し、メンブレンに穴が開くという一連の劣化プロセスが起こることが確認された (図 11-5)。

Stabilized Nafion 膜を温度 95 、湿度 50%、 0.6 A/cm^2 の条件下で加速試験を実施したところ、5,000 時間経過後の劣化度は非補強膜 (Nafion NR111) の 1/5 以下であった。

温度 90 、湿度 30% の条件下では、Stabilized Nafion 膜は非補強膜にくらべ、フッ素イオンの流出度は 1/10 以下となった。

- H_2O_2 の生成を防ぐには電極触媒 Pt とカーボン担体 (C) の比を調節し、最適な Pt/C 比率にすることである。シールの寿命は、デザインを工夫することにより延ばすことができる (図 11-6、図 11-7)。

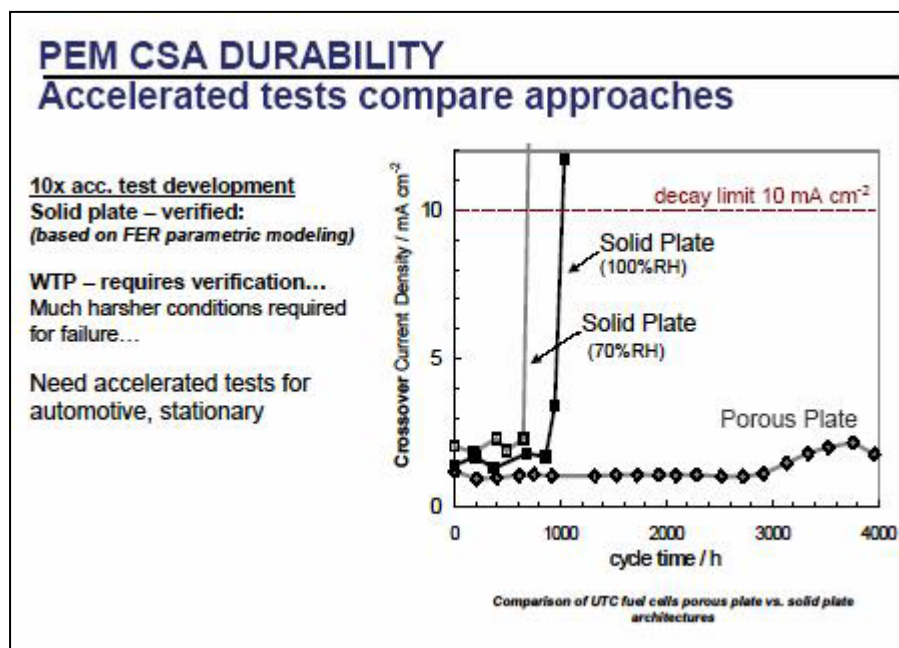


図 11-4 . UTC-FC/DuPont のセル・スタック・アセンブリ (CSA) の耐久性

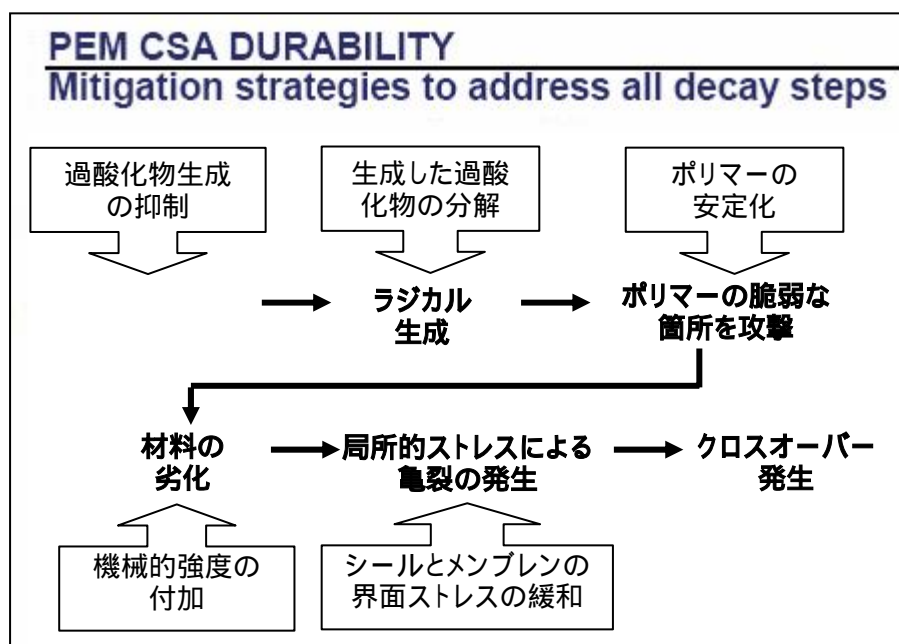


図 11-5 . セル・スタック・アセンブリ (CSA) の耐久性向上のアプローチ

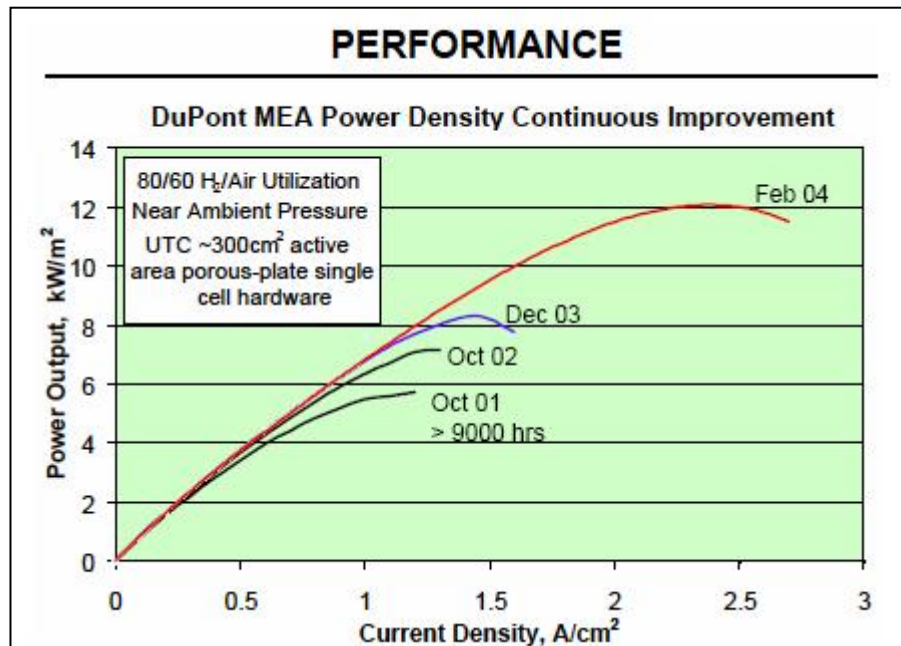


図 11-6 . セル・スタック・アセンブリ (CSA) におけるシールの工夫

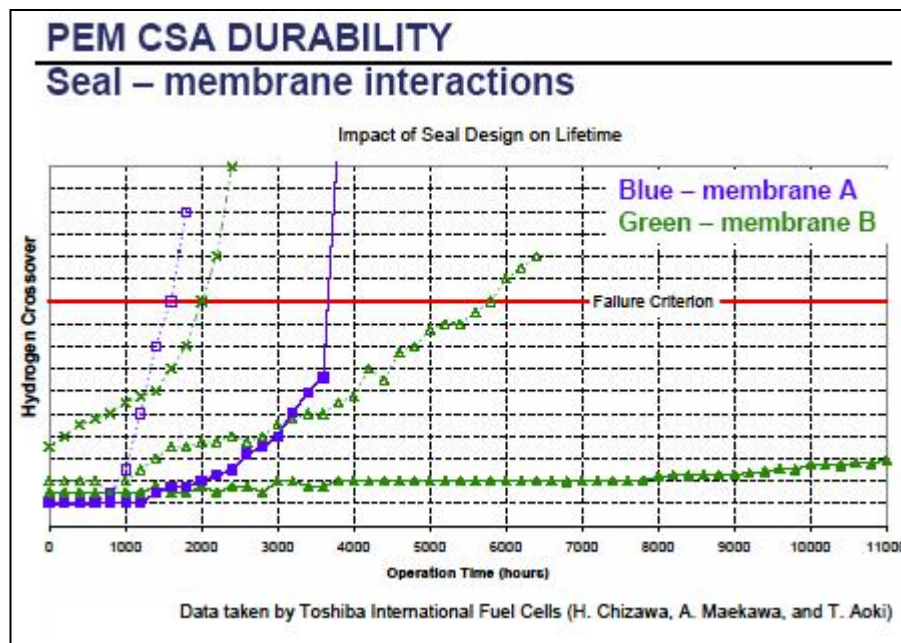


図 11-7 . DuPont の MEA のパフォーマンスの向上

Ballard Power Systems

タイトル： Technology Advances and Thermal Management for PEM Fuel Cell Systems

発表者： Charles Stone (Ballard Power Systems)

- 現在開発されているスタックの出力密度は、容積当たり 2.2kW/L のレベルにある。
- コスト低減と実用性向上のための今後の課題は以下のとおりである。
 - 燃料貯蔵方法の確立
 - ハイブリッド化
 - 炭化水素膜の開発
 - 水分および熱のコントロール
 - 凍結・高温 (95) 運転
 - 耐久加速テストの確立
- 冷間始動 (フリーズスタート) では、50%出力まで - 15 で 8 秒、 - 30 で 98 秒を達成した (図 11-8、図 11-9)。
- 耐久テストでは、2%アノードエアブリードにより、20,000 時間の寿命を達成した (図 11-10)。
- メンブレンの化学的劣化はフリーラジカルの攻撃による膜痩せ、ダイナミック(メカニカル) ストレス、割れ、ヒビ、穴あきなどである (図 11-11)。
- 白金担持量は、従来は 8 ~ 10mg- Pt /cm² (白金ブラック) であるが、2004 年は 0.3 ~ 0.5 mg-Pt/cm²(カーボンサポート 1 mg/cm²)であり、2010 年以降は白金担持量 0.1 mg-Pt/cm² (non particle) を目指す (図 11-12、図 11-13)。
- ガス拡散・電極のデザイン変更により、65 mV@1A の改善が可能であった。
- カソードの Pt 担持量を 0.7 mg/cm² から 0.5 mg/cm² に減少させても性能の維持が可能であった。
- 電極の低温部は抵抗が増大する現象が見られるが、この現象はシミュレーションが可能である。

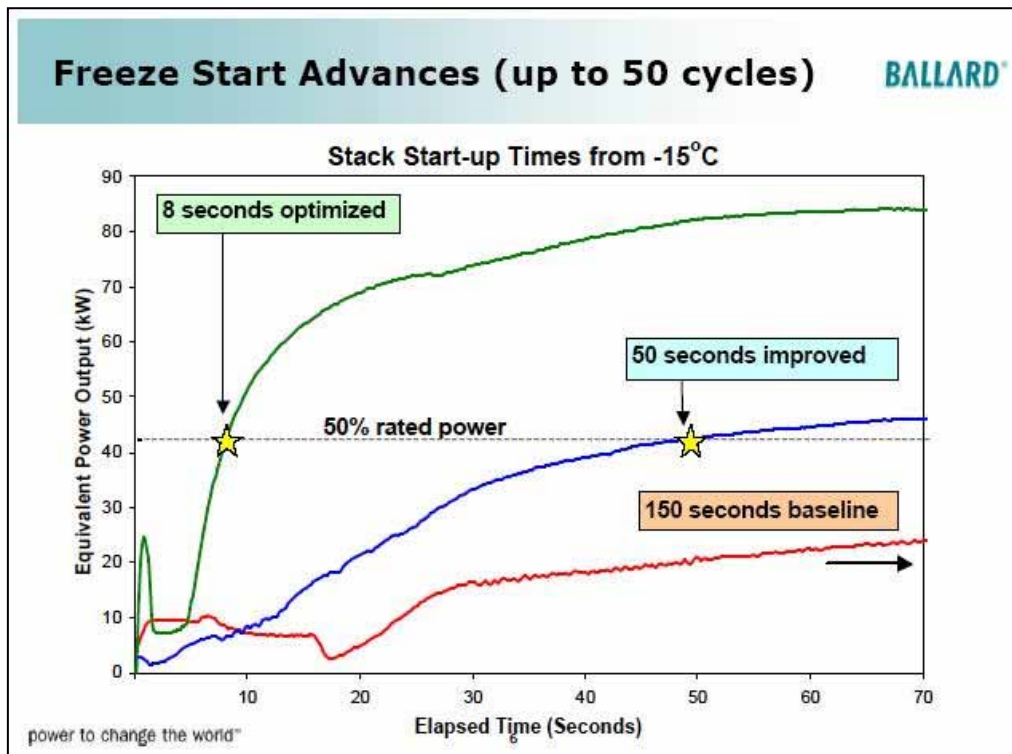


図 11-8 . フリーズスタート特性の改善 (- 15)

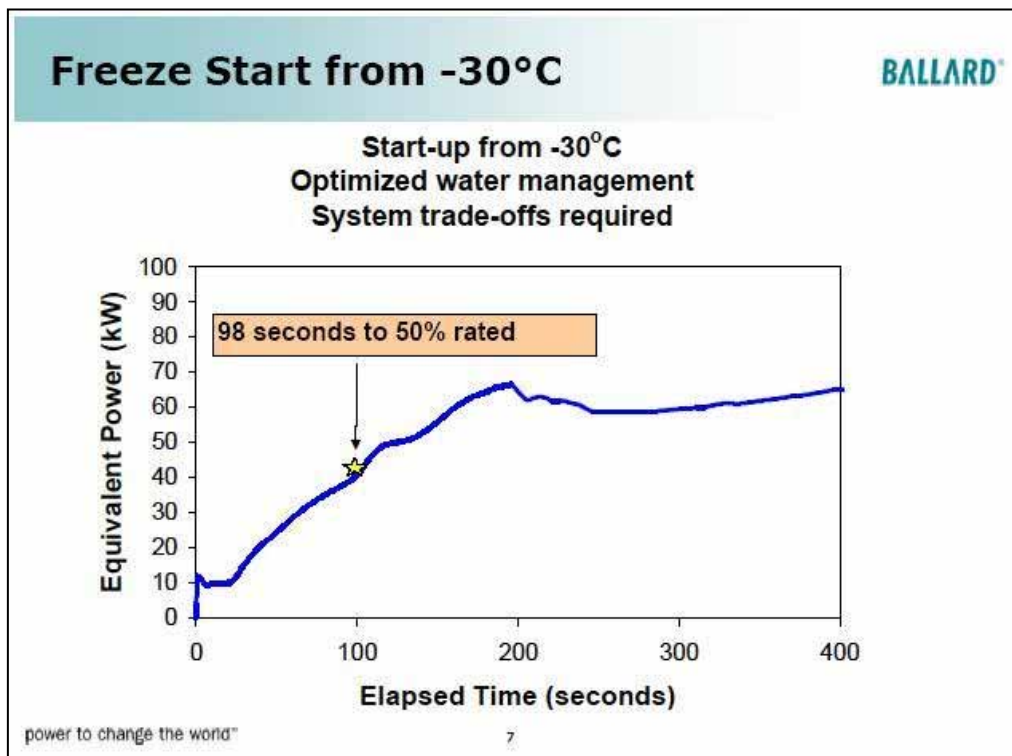


図 11-9 . フリーズスタート特性の改善 (- 30)

>20,000 hr Durability Proven

BALLARD

Steady State Lifetime Testing Over 21,000 Hours Achieved with Baseline MEA

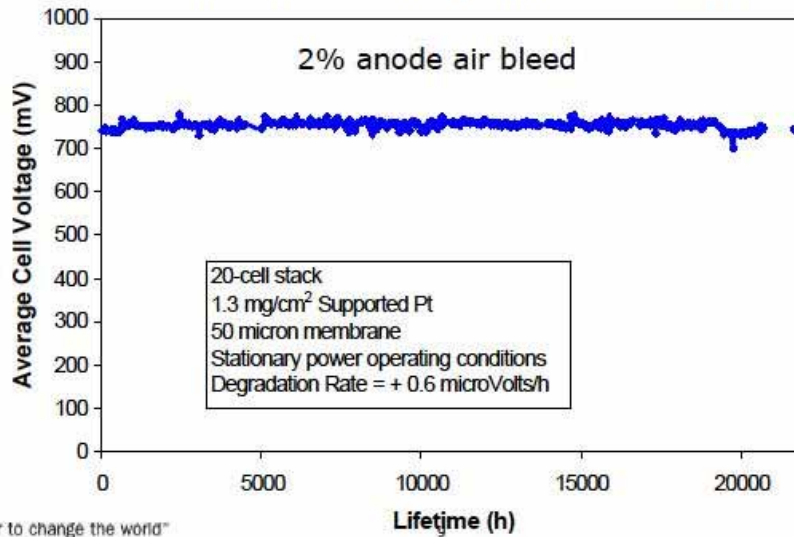


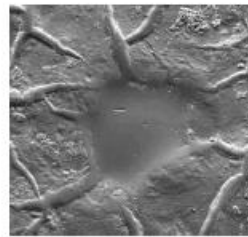
図 11-10 . 耐久性テスト結果

Membrane Degradation – Mechanistic Study

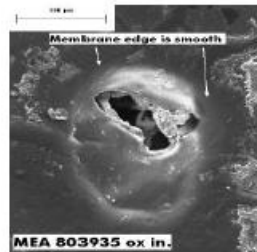
BALLARD

問題解決の手段

- ・ 負荷変動的な運用の影響が大
- ・ 機械的な現象の理解と通じた、適切な加速テスト手法の開発
- ・ 他の材料に関して研究を継続中



メンブレンの一部が薄化



機械的強度の低下によって裂開

power to change the world™

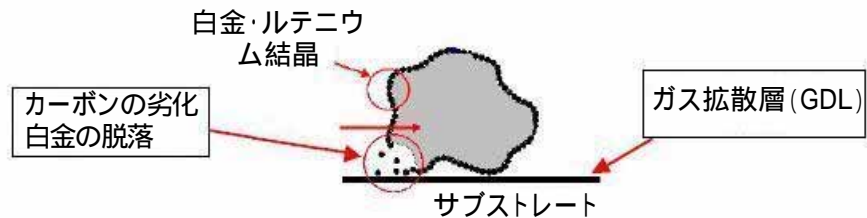
10

図 11-11 . メンブレン劣化のメカニズム

Anode Catalyst Corrosion

BALLARD

- 水素供給量が欠乏すると、触媒を担持しているカーボンが酸化される



- Ballard は Johnson Matthey と共同で、この劣化メカニズムに耐性を有する触媒を開発中
(現状のアノード触媒よりも 2500 倍の強度を実現)

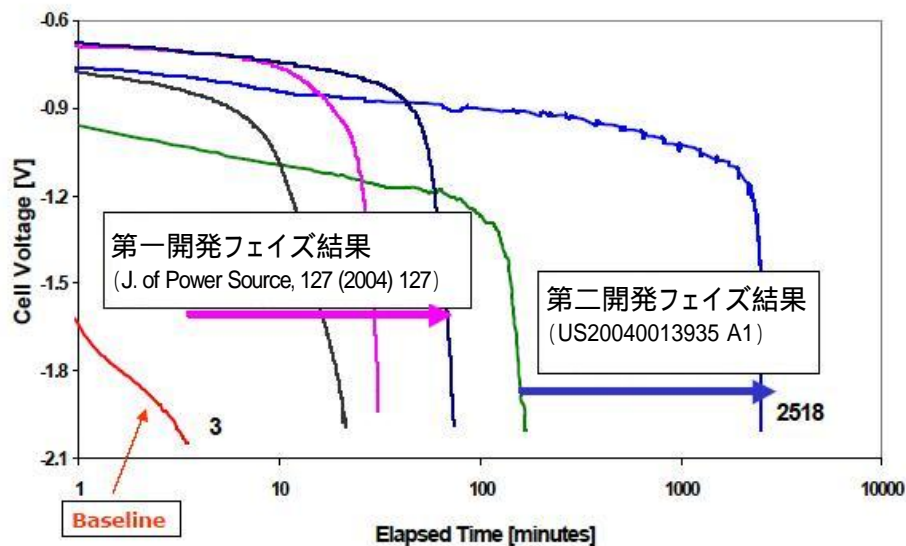
power to change the world™

12

図 11-12 . アノード触媒の劣化のメカニズム

Anode Catalyst and Structure for Cell Reversal Tolerance

BALLARD



power to change the world™

13

図 11-13 . 燃料不足運転への耐性を有するアノード触媒の開発

トヨタ自動車

タイトル： New leads for Future FC Vehicles: Intermediate Temperature Fuel Cell and New Hydrogen Storage Materials

発表者： Satoshi Iguchi, Naoki Ito 他（トヨタ自動車）

- 水素貯蔵（高圧水素、液体燃料）技術については、燃料の立場と車両の立場からは以下のことが言える。

高圧水素の場合、車両は簡単な構造になる、燃料としては新しいインフラや貯蔵技術が必要となる。

液体燃料を用いると、燃料面では取り扱いやすく、インフラ整備もやや容易ではあるが、車両は複雑なシステムとなり、効率が低下してしまう。

トヨタは 2001 年に車載改質型 FCV を開発したが、まだ内燃機関ほど効率的でないと考えている。

- 新水素貯蔵材料としては、当面は高圧メタルハイドライド（HPMH：High Pressure Metal Hydrate）があり、将来は SWNT（single-wall nanotube：単層カーボンナノチューブ）に期待している。

水素貯蔵技術としては、タンク重量が軽く、かつタンク容量が小さくなるような技術が好ましいが、そのような現在では技術は実用化されていない。

「高圧気体圧縮」、「カーボンナノ材料」、「高圧金属ハイドライド」の順に、重量あたりのタンク容量が小さくなる傾向にあることから、高圧メタルハイドライドシステムは当面の解決方法になる可能性がある。ただし、将来の水素貯蔵目標を実現することは厳しい。

HPMH システムの場合、最大で 7.3 kg/180L (35 MPa) が可能となる（シリンダの気体圧縮と同じ）。水素は -30℃ でも使用可能である。

カーボンナノ材料は、吸着力をさらに向上させれば実用化できる可能性がある。研究段階であるが、単層カーボンナノチューブを高純度化し（70%から100%）、チューブ先端をカットした上で 1,800℃・5 時間の熱処理（チューブ直径が 1 nm から 2 nm に拡大）、さらに室温でペレット化（圧力 1,000 kgf/cm² で密度 0.1 g/ml → 0.92 g/ml）した材料は、常温・35MPa で水素吸蔵着率 2.9 wt% を達成できた。これは、密度の向上を考慮すれば、水素吸蔵着率で 27 kg/m³ に達している（ただし、それでも目標には達することができていない）。

- 新規の燃料電池として、作動温度が低温(PEFC:100)と高温(SOFC:700 、MCFC:600~700)の間、いわゆる400~500 の中温領域で作動する、「水素分離膜燃料電池(HMFC:Hydrogen Membrane Fuel Cell)」に可能性がある⁸²。

燃料電池の作動温度としては、システムをモジュール化する観点からは500~600 よりも低いほうが好ましく、水素改質特性の観点では500 よりも高いほうが好ましい。

400~500 の中温度領域で作動する燃料電池として注目されているHMFCは、アノードとなる固体水素膜の上に非常に薄いプロトン伝導型の電解質を貼り、さらにカソードで挟んだ構造をしている(具体的には、100 μ m厚さのパラジウム水素分離膜に、イットリウムを添加したBaCeO₃を2 μ m厚でパルスレーザー蒸着させる)。

HMFCは中温度領域(430~610)でもSOFC並みの性能を発揮し、PEFCよりもはるかに効率的といえる。セル抵抗も2/3程度が分極抵抗であり、IR抵抗は1/3~1/4に過ぎないので、電極を改善することにより更なる性能向上が期待される。

HMFCはカソード側に貴金属が不要であり、またカソードのオフガスの熱を利用することでシステム効率60%を期待できる。電解質が薄いほど性能がよく、ペロプスカイト状の電解質がよいと思われる。

電解質は高温では導電性が下がるが、薄膜化するとバスクよりもさらに導電率が一桁下がってしまう。これは、界面部分の抵抗値が高いか、薄膜の結晶度が低いからではないかと思われる。

HMFCとSOFCとを比較すると、基板部分はSOFCが金属多孔質体であるのに対し、HMFCは固体金属なので、HMFCのほうが電解質を極薄に形成しやすい。また伝導メカニズムでは、SOFCは酸素伝導であるのに対し、HMFCはプロトン伝導性であるため、伝導度の温度依存性はやや低くなる。

- このようにHMFCは、固体金属水素膜の上に極薄のプロトン伝導型電解質を蒸着させたもので、中温度領域で作動する新規の燃料電池である。性能もPEFCより高く、400 程度でも作動する。システム効率は60%程度が期待できる。トヨタとして共同研究を行う会社、研究者がいらないか、このプレゼンテーションを通じ呼びかけたい。

⁸² トヨタ自動車は2004年5月に開催された「第11回燃料電池シンポジウム」(東京)で発表した燃料電池システム。

GM

タイトル： The Use of Pt-alloy/C Catalysts to Enhance ORR Activity and Achieve Automotive Cost Targets for PEFCs

発表者： Hubert Gasteiger, Shyam Kocha (GM)

- 自動車用触媒のコスト目標を達成するためには、カソードの白金担持量を現状の 0.4 mg/cm^2 から 0.1 mg/cm^2 に低減しなければならない。
- 白金合金系の触媒を使用する場合の問題は、メンブレンだけでなく、触媒層のイオノマーへのコンタミネーションである。
- 酸洗処理(Pre-Leach)した PtCo/C 触媒(田中貴金属工業製)はセル性能も良く、ショートスタックでは 1,000 時間を越える耐久性を示した。

PtCo/C の質量活性 (A/mg) は Pt/C の 1.85 倍である。PtCo/C の電気化学表面積は Pt/C より 30% 低く、Pt/C より安定している。

1,000 時間の耐久試験で、質量活性増加係数は初期の 1.85 から 1.55 に減少した。

National Fuel Cell Research Center (NFCRC)

タイトル： Fuel Cell Vehicle Deployment and Hydrogen Infrastructure Development in Southern California

発表者： Jack Brouwer, Joshua Mauzey, Scott Samuelson
(National Fuel Cell Research Center)

- NFCRC では、トヨタ製 SUV を利用して、燃料電池自動車試験プログラムを約 2 年間実施した。

トヨタ FCHV は、PEM 燃料電池スタック(90 kW)と電気モーター(81 kW)のハイブリッド式。35MPa 水素ボンベを使用。一充填走行距離は約 290 km で、最高速度は 155 km/h。

研究の目的は水素インフラの標準プラットフォームを南カリフォルニアに作ることである。内燃機関自動車との比較は実施していない。

- 実際の走行試験は、HORIBA や地元エレクトロニクス企業の社員（一般ユーザ）をドライバーとして 2 台の FCHV で行われた。

最初の 21 ヶ月の総走行距離は 12,000 km で、平均燃費は 62 km/kg、平均充填間走行距離（1 トリップ）は 93 km であった。次の 7 ヶ月では、総走行距離は 3,800 km で、平均燃費は 55km/kg、平均充填間距離 96km であった。

燃費は、インフラ整備の不足とドライバーの経験不足のために、幾分低目の値になっている。渋滞の多い走行条件下では、ハイブリッドであるためバッテリー走行となる。

- 水素ステーションは、Air Products の協力を得て、カリフォルニア大学アーバイン校に設置した。

水素製造はメタン改質方式。2 世代の機種を用い、それぞれ 1 日に 2 台程度充填が可能。車とステーションの通信がないため、充填時間には 10～15 分を要する。通信が設置されれば 5 分程度になる見込み。

ドライバーの感想では、充填作業自体は容易であるが、満タンになりにくいことに不満を表明している。

- 燃料供給費用は無料とし、ユーザにはデータやコメントをフィードバックしてもらう。アンケートでは、車両が静か過ぎることを欠点として挙げられている。
- NFCRC はカリフォルニア州南海岸空気質管理区域 (SCAQMD) の支援を受けて、南カリフォルニアに 3 基の水素ステーションを設置する予定である。

中心的拠点としてアーバインに 1 基を設置し（充填容量：5～6 台/日）、移動可能なステーション 2 基をアナハイムとハンチントンビーチに設置する。

2004 年 7 月にアーバインにおけるステーション設置場所を確定し、2004 年後半から液体水素ステーションの建設を開始した。

移動型ステーションは、緊急急速充填へ対応できる体制を整えることが狙いである。また水素供給ステーションのテロ対策も課題である。

ステーション設置場所選定・建設においては、その地区の自治体や消防局との間で、水素ステーションを利用する車両を何台想定すればよいか問題となった。また、基準策定や交通量の想定が必要であり（かつ、難しく）、安全性への懸念、当局の受身姿勢、ゾーニングの問題などの「想定外の課題」にも取り組む必要がある。

このプロジェクトでは、水電気分解方式による家庭充填（AC 単相電源利用、製造量 2 kg/日、充填圧力 35 MPa）の検討も行う予定。

AC Transit / ISE Corporation

タイトル： Development of a Fuel Cell Hybrid-Electric Transit Bus

発表者： Doug Byrne, Stuart Thompson (AC Transit)
Tavin Tyler (ISE Corporation)

- AC Transit (カリフォルニア州オークランド・サンフランシスコ) や SunLine Transit (カリフォルニア州パームスプリング) のような公共輸送機関が燃料電池バスのデモンストレーションを行うことの利点は、以下のとおりである。
 - 高負荷下での運用データの収集が可能
 - 信頼性や耐久性に関するデータの収集が可能
 - インフラの集中整備が可能
 - 一般市民の啓発 等
- デモンストレーションの第 1 段階として、60 kW PEM とバッテリーのハイブリッド式燃料電池バスを用いて、2002 年 7 月から 2 年間、カリフォルニア州の二地区でフリート実験を開始した。

UTC-FC が 60 kW PEM を、ISE が高負荷対応のハイブリッドシステムの開発を担当した。燃料電池ハイブリッドシステムは環境面・経済面でのパフォーマンスがよい。

燃料電池バスの運用は、AC Transit と SunLine Transit が協力した。実績として、以下のような成果を上げた。

- 高信頼性： 50%目標のところ 82%超を達成
- 運用： 実走行時間 1,500 時間
- 総走行距離： 21,000 マイル (出力密度低下小)
- 燃費： 通常のバスの 3 倍 (9.8 mpg = 4 km/L)
- 一日の走行距離： 250 ~ 300 マイル程度 (一回の充填で対応可能)
- 乗客数： 延 10,000 人

- 以上の結果を踏まえ、第 2 段階として 2000 万ドルかけて 4 台の燃料電池バスを開発した（表 11-10）。

4 台の燃料電池バスの運行は、AC Transit と SunLine Transit が担当している(AC Transit はオークランド・サンフランシスコの都市部で、高速走行・多数の乗客を対象とした運用。SunLine Transit はパームスプリングで高温条件下での運用)。

水素の製造・供給・充填も実施する。

表 11-10 . 第 2 段階の燃料電池バスの仕様

燃料電池系	担当 : UTC-FC 容量 : 120 kW
水素系	搭載量 : 50 kg 充填圧 : 35 MPa (炭素繊維強化樹脂とメタルライナーの Type 3 タンク)
ハイブリッドシステム	担当 : ISE シーメンス製 ELFA システム (AC モーター 2 台、650VDC、85kW) を採用、アクセサリーにも対応 方式 : DC/AC インバーター式
バッテリー系	担当 : ZEBRA 容量 : 370 ~ 670 VDC
車体	担当 : Van Hool 重量 : 23,800 ~ 33,000 lbs 座席 : 26 座席・60 人乗り 最高速 : 65 mph
その他	運用温度 : 温度 36 ~ 120 F (2 ~ 48) 走行距離 : 一充填あたり 300 マイル以上

12. まとめ

前年度の海外調査(2004年1月)から10ヶ月あまりの間をおき、本年度の燃料電池自動車技術動向調査を実施した。

本来この海外調査は、定期的に年1回実施しているものであるが、前回の調査から1年も経っていないわけであるが、冬季はフライトが天候の影響を受けやすく、また米国での飛行場での安全チェックが厳しくなっているため、昨年度同様に冬季に実施したのではスケジュール維持がかなり困難であると思われた。よって本年度は冬季を避け、10月23日から11月7日にかけて実施することになった。

今年度の調査では、前半ではまず燃料電池技術開発プログラム、デモンストレーションプログラムなどのFCV支援政策を進めている欧州委員会(EC)、米国エネルギー省(DOE)を訪問した。併せて、その周辺都市にあり、前回の調査から時間が経過している数社を訪問、最近のFC(FCV)開発状況とその動向を調査した。

さらに後半では、米国で開催されたFuel Cell Seminarに参加し、また従来は日程上訪問が困難であった米国中南部のロスアラモス国立研究所にも訪問して調査を行った。出発から帰国まで2週間を超える長期間の調査となった点で、これまでになくユニークな調査内容になったといえる。

(1) Nuvera Fuel Cells (イタリア ミラノ)

Nuvera Fuel Cellsは、電解電極の開発、製造の歴史の長いDe Noraが母体となって設立されたFCメーカーで、これまで金属セパレータの開発を進めてきていたが、近年Arthur D. Little傘下のEpyxを統合し、燃料改質装置も併せて開発している。イタリア側では主としてFCスタックの開発を進めており、欧州連合のFCVプログラムに参画、特にラテン系のRenault(フランス)、FIAT(イタリア)との連携が密である。

Nuvera Fuel Cellsは、事実上DaimlerChrysler傘下となっているBallard以外では、数少ないヨーロッパ系のスタックメーカーとなっている。これからFIAT Panda向けに85kW級のスタックを提供するが、それには金属セパレータ技術を適用している。新しくPandaに搭載するスタックは、ドライの水素と空気(加湿しない)でも十分な性能を達成していることを強調していた。

金属セパレータの技術は機密とのことで詳細な説明はされなかったが、電解電極の経験を生かしたシステムエンジニアリング的な方法によって、コスト高の金コーティングなしでも金属セパレータ(ステンレスベース)を実現できたとしている。ただし

現状では 500 時間程度の耐久テストで劣化が認められないことを確認した段階であり、はたして一般的な FC スタックの性能要求レベルに達しているかは不明である。金コーティングを不要化したことはコスト削減の点で意義が大きいですが、性能面、特に耐久性をしっかりと検証する必要がある。

なお金属セパレータに関しては、コンポネントとなる平板セパレータとポーラス金属拡散層がキーテクノロジーと思われるが、それについても説明はされなかった。

(2) 欧州委員会 (ベルギー ブラッセル)

欧州委員会には 2004 年 1 月にも訪問したばかりであり、定期的な情報交換の機械となっている。先方も資料やプレゼンテーションの点などで非常によく対応してくれている。

短い時間枠の中であったが、最近の R&D、特に第 6 次フレームワークプログラム (FP6) の現状と第 7 次フレームワークプログラム (FP7) の基本方針、また現在進行中のバス RD&D プロジェクト (CUTE プロジェクト) の成果の評価に関わる動きなどについて詳細な説明を受けた。

総合エネルギー効率 (Well-to-Wheel 効率) の評価についても説明を受けたが、欧州ではエネルギー効率とともにコスト計算に重点を置いているようであり、特に水素の将来価格について様々な検討を加えている。欧州でも水素社会の将来ビジョンとして、再生可能エネルギーにて水素を製造し、それを FCV で利用するというシナリオを描いている。この中で、水素製造に関する技術的課題は (燃料電池本体の課題に比べれば) 小さく、むしろその貯蔵、配送などのインフラのコストと、水素供給インフラに見合う水素需要の確保が課題といえる。よって当面は、水素インフラのコストの詳細な分析が必要というのが基本認識であろう。

なお CUTE プロジェクトはまもなく終了するため、自動車メーカーなどからは後継プロジェクトとして「Lighthouse Project」と称するプロジェクトが提示されてきている。しかし欧州委員会によると、Lighthouse Project は単なる包括的な概念であり、プロジェクトとして具体化はしていないようである。

欧州委員会としては、標準化、技術基準決定の動向における日本の動きについて特に関心を持っていた。なお日本自動車研究所から標準化に関わる各種の検討事項 (ミレニアム予算関連) についてプレゼンテーションを行ったが、欧州委員会もこれらの動きについて興味を持った様子であった。

このような情報交換は、特に同様から立場で水素・燃料電池の RD&D を進めている EC、日本の両者にとって非常に有益なものであり、今後もこのような情報交換を継続していくことが望ましい。

(3) BP (英国ロンドン)

BP は、ヨーロッパでは CUTE プロジェクト、CEP プロジェクトのための水素ステーションを建設・運用しており、また米国では Ford と組んで FCV デモンストラーション用の水素ステーションを多数建設している。

BP は、自動車メーカーのうちでは Ford と DaimlerChrysler との連携が顕著である。また Ford とプリンストン大学と共同で、将来の燃料とドライビングサイクルなどの可能性についての研究 (Carbon Mitigation Initiative) を進めている。BP によると、同社の Carbon Mitigation Initiative は、ExxonMobil がトヨタ、GM、スタンフォード大学と進めている GCEP (Global Climate & Energy Project) の実施以前から始めているもので、石油会社と大学との共同研究のひな形であることを自負しているという話であった。

日本の JHFC プロジェクトは、水素ステーションの建設はプロジェクトで負担しているが、欧米の石油メジャーはすべて自力で水素ステーションを建設、運営している。石油メジャーの戦略は、長期的には再生可能エネルギーを活用して水素を製造することを念頭においているものの、当面は化石燃料、特に天然ガスの改質が主になると見ている (石油精製プラントで確立された大規模水素改質技術を利用)。また Carbon Separation and Sequestration (CSS: 炭素分離・貯蔵) の適用を検討していると思われる。石油メジャーはこのような水素製造に関する見通しのもと、自動車メーカーや大学と連携して、将来のエネルギーパスの研究を進めている。

石油メジャーの中でも BP は、自然エネルギーの展開に特に熱心であり、太陽電池の主力メーカーでもある。このように BP は、長期的視点で多様なエネルギー供給パスの可能性を探っているわけであるが、当面はコスト的、技術的、供給量的にも、化石燃料から水素を製造するという戦略をとっている。また現実的課題に対処するために、水素の供給コスト、安全基準、品質規格にも強い関心を持っている。

なお BP は豊富な水素ステーションの運用実績を持っており、日本の JHFC プロジェクトについても関心が高く、直接の技術情報交流に関心を持っていた。水素ステーション運用はいわゆる市場以前 (Pre-Market) の領域であるから、相手が同等のレベルの技術、情報を持つ場合には、広く情報交換を進めることが有効であり、日本にとっても学ぶところが多いと思われる (また水素ステーションは基本的に既存技術であり、情報交換に抵抗は少ないと考えられる)。

なお BP は CUTE プロジェクトにおいてロンドンのステーションも担当しているが、パブリック・アクセプタンスの立場から、詳細かつ確立された手法に基づいてリスク分析を実施している。

(4) DOE (米国ワシントン DC)

DOE との情報交換も定期的になっている。先方はこの調査団を資源エネルギー庁の支援による調査段であり、また日本の主要な自動車メーカーも参加しているということで、非公式な日本の情報の取得と意見交換の場として考えているようである。日米とも大規模な予算で意欲的な RD&D を進めているということもあり、また日本の情報を DOE の予算策定の上で参考に使っているということもあって、毎年丁寧に対応してくれている。今回も短い時間にも関わらず、効果的にプレゼンテーションを行ってくれた。内容は当然、DOE が担当する FreedomCar&HydrogenFuel パートナーシップが中心であった。

日本と同じ認識であろうが、DOE では FCV の R&D のうちでも基礎的な要素研究、部品レベルの開発に集中しており、自動車システム全体の R&D はメーカーの仕事になることを強調していた。燃料電池、水素貯蔵についてはブレークスルーが不可欠であるという点でも日本と同様な意見である。

なお米国が描く水素社会へのロードマップでは、常にハイブリッド技術を途中段階の技術として位置づけているが、このあたりの技術開発についてはあまり明確な情報は得られなかった。ハイブリッド技術は日本ではすでに市場化しているため、あまり中心的な話題とはなり得ないとも思われる。

HydrogenFuel プロジェクトでは、特に詳細なコスト分析を実施しており、いかにしてコスト競争力のある水素システムを実現するかという点に焦点を合わせている。水素インフラの実用化には技術的課題も多いが、コストも大きな課題であることを反映していると言える。

その他、日本も関心を持って注目している新規の FCV デモンストレーションプロジェクト^注は、まだ各社と最終合意に至っていないということで、新しい情報は得られなかった。

注：本デモンストレーションに関しては、Fuel Cell Seminar での DOE のプレゼンテーションを参照。

(5) DuPont (米国デラウェア州ウィルミントン)

DuPont は 2 年ぶりの訪問であったが、FC スタックの心臓部ともいえる膜メーカーとして、顧客でもある日本の自動車メーカーを含む調査団を常に歓迎してくれている。

DuPont 側の展望などについてプレゼンテーションがあったが、その合間にも逆に日本側の見方などを再三質問し、日本の FC 開発状況を非常に気にしている様子が伺えた。

技術的な開発としては、2年前とそれほど変わったところはなく、特に DuPont が注力している高温膜の開発・課題、DMFC についても言及があった。特に高温膜については、需要側が何度くらいの膜を希望するかという点について情報をも望んでいた。通常よくいわれる高温膜の温度としては、150 以上はかなり困難であるが、100 以上であれば可能性があるという印象を受けた。

また DuPont は、PEFC を取り巻く流れが、炭化水素膜とフッ素系膜のいずれになるかという点に強い関心を持っているが、これはフッ素系膜を得意とする同社としては当然であろう。

Nafion 膜のコスト削減の可能性についても、量産効果の点から説明があったが、特に新しい情報は無かった。膜需要の拡大については、DuPont としては定置用燃料電池も当然期待しているが、それだけでは絶対量が不足しているとの認識であって、やはり自動車を本命と考えているようである。

周知のように DuPont では DMFC も開発しているが、それはあくまでもニッチマーケットで、量は出ないと考えているとのことであった。

(6) Ford (米国ミシガン州ディアボーン)

Ford については従来、電気自動車の開発を積極的に進めており、また FCV についても非常に熱心に R&D を進めていたが、担当者が変わり、組織も変更された様子なので、FCV 開発体制の状況を確認することが主要な訪問目的であった。

詳細は本文に示すが、担当責任者以外にも組織にかなり変更が行われたことが明らかになった。特に FCV の開発部隊をハイブリッド開発部隊と一体化したところに基本的な姿勢の変化が感じられる。

米国(例: DOE)では、FCV 以前にハイブリッド車を位置づけることが通常であるが、これは現実に日本製ハイブリッド車が米国でも普及していることから、Ford としても研究開発は不可避という認識を持っているものと思われる。

FCV がハイブリッド車開発部門の中に含まれて一体化したということは、長期的な目標である FCV 技術開発が、短期的な市場化を目的とするハイブリッド車技術開発に隠れた形とも見える。自動車メーカーとして長期にわたる継続的な R&D が必要な FCV 開発を単独で進めることが困難なため、より現実的なハイブリッド車開発と一括化し、社内の同意を得やすくし、その上で継続的な技術開発を可能とさせる方針なのではないかという印象を受けた。

(7) オークリッジ国立研究所 (ORNL : 米国テネシー州ノックスビル)

オークリッジ国立研究所は DOE 傘下の国立研究所ではあるが、調査団としては初めての訪問のため、どの程度の FC 研究を行っているのかよくわからなかったというのは訪問前の印象である。

研究所は、大変広大な林 (敷地面積 150 km²) の中にあった。従業員は約 4,000 人であり、年間予算は約 1100 億円とである。

ORNL では、金属、カーボン各々のバイポーラプレートの開発を行なっており、中でも表面に窒化クロム層を形成させた耐腐食性金属バイポーラプレート (Ni-Cr50 合金、Ni-Cr30 合金など) が興味深い研究であった。現状の試験時間は 1,000 時間程度ではあるが、カーボングラファイト並の耐久性を示しているということで、今後の発展が期待される。

また ORNL は、ロスアラモス国立研究所と共同で、触媒層の Nafion イオノマー含有率が MEA 性能にどのように影響するかの試験も行っていた。また MEA の劣化解明に関してもロスアラモス国立研究所と共同研究しているとのことであった。

ORNL は、DOE の「水素貯蔵グランド・チャレンジ」において金属水素貯蔵研究の Center of Excellence に指定されており、DOE の水素貯蔵の目標値 (例 .2010 年 : 重量密度 6.0%、2015 年 : 9.0%) に向けて研究中である。研究初期段階ではあるが、Mg/Pd 薄膜で 6.6%を達成しているという情報もあった。

ORNL では米国の国立研究所が相互に連携し、基礎的な研究を行なっている様子を伺うことができた。

(8) ChevronTexaco (米国テキサス州ヒューストン)

2000 年 9 月に Chevron (サンフランシスコ) を訪問して以来、4 年ぶりの訪問となった。その間に Chevron は Texaco と合併し (2001 年) ChevronTexaco となっている。

今回訪問した ChevronTexaco Technology Venture は、米国の主要な石油メジャーが集まっているテキサス州ヒューストンに位置している。本来 Chevron は、FC・水素燃料に対しては消極的な姿勢であったが、今回はやや前向きに転じているように感じられた。しかし、基本的な姿勢としては、「現在は水素社会の実現可能性を見極めている段階である」、「業界全体の流れを慎重に見たうえで、時期尚早な投資も後追いの投資も避けたい」という、やはり慎重なものであった。

ChevronTexaco の強みは燃料製造や燃料改質技術であり、特に燃料改質、その中でも高圧スチームメタン改質に注力しているとのことであった。

またいわゆるスチーム改質よりも、効率とコストで優るスチーム改質器、ウォータガスシフト、水素精製装置を統合した AER (Absorption Enhanced Reforming) を開発中との説明もあった。

石油メジャー共通の考えとして、水素製造は再生可能エネルギーから製造することが望ましいが、それまでの「ブリッジ技術」として、既存インフラのある天然ガスや電力網を利用するのが良いと考えている。

なお ChevronTexaco は、韓国の現代自動車と組んで DOE の FCV デモンストレーションに参画しており、そのために 2005 年はじめには現代自動車の技術研究所 (カリフォルニア州チノ) に天然ガス改質形水素ステーションを、2005 年末には AC Transit (カリフォルニア州オークランド) に天然ガス改質形水素ステーションを完成させたいということであった。

しかし ChevronTexaco では、水素に関する基準・標準も整備されておらず、かつ水素への社会的受容性が低い現段階では、既存のガソリンスタンドに水素ステーションを併設するべきではないという考えを述べており、BP や Shell との違いを見せている。やはり石油メジャーのなかでも、様子眺めをしている保守的な面を持っていると思われた。

(9) ロスアラモス国立研究所 (LANL : 米国ニューメキシコ州アルバカーキー)

燃料電池の研究で長い歴史を持つロスアラモス国立研究所は、地理的な面やセキュリティの厳しさから、これまで訪問の機会がなかったが、今回ようやく訪問することができた。

LANL は DOE 傘下の国立研究所で、第二次世界大戦中のマンハッタン計画のために 60 年前に設立された。広さは 100 km²、人員は 8,000 人、年間予算は約 2,300 億円の規模である。その内燃料電池や水素貯蔵に関わっている人員は約 30 人であるとのことである。LANL は、世界で初めて DMFC のシステム化に成功したことで有名である。

またアルバカーキーにあるサンディア国立研究所は、もともと LANL から分かれてできたもので、ここでも燃料電池と水素関連の研究を 40 人ほどが行なっているとのことであった。

宿泊先であるアルバカーキーのホテルから LANL にいたる周りの風景は砂漠であった。ロスアラモスには火山もあったということで、崖も数多く見られ、まさに西部劇的な光景であった。このようなところで、あの原子爆弾が開発されたとは想像し難い。現在も核兵器や安全保障関連の研究が中心というこもあり、LANL への入所手続きは、国家機密保持の関係上、大変厳しいものがあつた。

LANL で研究している FC や水素に関する研究内容が数多く紹介されたが、主だった内容としては、FreedomCAR & Fuel Partnership における研究テーマ、非ナフイオン (BPSH 系) 膜の研究、DMFC の研究、膜・MEA 劣化に関する研究、熱硬化性プラスチックを用いたバイポーラプレートの研究、水素分離膜の研究、コンポジット製水素タンクの研究、燃料電池のモデリングなど多岐にわたった。FC 標準化にも関与しているとのことである。

また LANL は、Pacific Northwest National Laboratory とともに DOE の「水素貯蔵グラウンド・チャレンジ」の化学的水素貯蔵の Center of Excellence に指定されている。

GM と一緒に研究していたというガソリン改質の実験室 (現在は、灯油改質) も見学した。見学した設備は、現在では最新型とは言い難いものではあるが、GM とは古くから CNG、水素、改質技術で深く関わってきたことが窺い知れた。LANL は、極めて基礎的なことを、こつこつと地道にやっているということが良くわかった。

さらに訪問した日のレセプションでは、LANL と関係が深いニューメキシコ州の企業が開発した移動式充電ステーション (シャープ製ソーラーパネル、Plug-Power 製 5kW FC、圧縮水素貯蔵タンクなどを組み合わせたシステム) や、一人乗り FC スクーター (250W) も見学した。

おそらく LANL は、設備的に優れたものを保有しているというよりも、優秀な多くの人材を有しているのではないかと思われた。また米国においては、このような国立研究所が国家の戦略的研究の根幹を支えており、それが米国の強みとなっているのではないかと思われた。

LANL 訪問後、リチャードソン ニューメキシコ州知事を尋ねた。ニューメキシコ州では、国立研究所の成果を世界のメーカーや研究機関に提供するという技術提携ビジネスを進めており、知事自らがリーダーシップを発揮して、その先頭に立っていることがわかった。

LANL は、米国の国立研究所なかでも、燃料電池・水素分野で中心的役割を果たしており、今後日本のメーカーも基礎的な面で交流を深めていくのが良いのではないかと思われた。

(10) Fuel Cell Seminar (米国テキサス州サンアントニオ)

燃料電池関連のシンポジウムとしては、世界最大規模といわれている 2004 Fuel Cell Seminar に、FCV 技術動向調査団として初めて参加した。

開催地はテキサス州サンアントニオで、2004 年 11 月 1 日 (月) ~ 11 月 5 日 (金) の間、開催された。会場はヘンリー・ゴンザレス・コンベンション・センターで、セ

ミナー（講演、ポスター）、展示会、試乗会の三部構成となっていた。

日米欧が共同で取り組んでいるセミナーとは言え、ほとんど米国中心であり（特に国防省、エネルギー省のプロジェクト関係者が多い）、欧州からの参加者は少なかった。日本からの参加者もよく見かけたが、参加者の割合からすると日本サイドからのプレゼンテーションはやや少なく思われた。

今回の参加登録者は、昨年並みの2,300人で、展示会への出展社数は160社であり、盛況であった。また、会場の周辺で試乗会も行われた。

初めて参加して感じたことは、このセミナーの性格がやや中途半端で、学術的な講演会なのか、それとも政策的な講演会なのか、今ひとつ明確ではなかった。セミナー事務局サイドの意見として、「今年の講演は企業のPR色が強すぎた。来年からは、もっとポスターセッションを充実させたい」という意見もあったようである。しかし、DOEの燃料電池関連プロジェクトの現状や燃料電池メーカーからのMEA劣化解析など新鮮味のあるプレゼンテーションもあり、非常に参考になった。

特にDOEによるFCVデモプロジェクトの現状がまとまった形でプレゼンテーションされ、GMなどの自動車メーカーのデモンストレーション参加台数が初めて公表されたこと、DOEが考えるフリートテストのデータ取得項目や、日本の自動車メーカーとは最終合意に至ってないことなど、最新の情報が得られた。

さらにDOEが目指す水素製造コストや車載システムの性能（貯蔵）の目標も示された。

DuPont/UTC-FCによるFCスタック劣化解析とそのメカニズム解明にかかわる研究結果は、大変興味深いものであった。またBallardが低温始動性（50%出力まで-15で8秒）や耐久性（定常状態では21,000時間を達成）などについて発表を行い、データ開示に対する考え方がオープンになりつつあることが確認された。

GMは、FCスタックのコスト目標達成のため、PtCo/C触媒による白金担持量低減に関する研究結果を発表した。

展示会については、比較的小さなブースが数多くあり、政府関係の展示も多くあった。燃料電池を直接研究開発している者にとっては、展示説明者との議論（商談を含め）が可能で、大いに有効であったようだ。

(11) 総括

米国・欧州とも、自動車メーカーの立場が少し落ち着いてきており、一頃の拡張的な加速度は見られない。

長期の R&D を継続していくために、限定された台数の FCV デモンストレーションを通じて技術的課題をつぶしていく一方で、FC に関わる基礎的な研究開発をサポートしていくという二段階の姿勢が目立つ。今回は、定置用燃料電池については直接には聞こえなかった。

他方、水素に関する関心が米国でも高まっているために、水素のコストが特に対象となっている。基本的水素製造技術は確立しているため、やはり普及にはコストが課題となると考えているようである。

水素の貯蔵は根本的な研究テーマであるが、技術ブレークスルーに乏しく、またブレークスルーへの期待もない。現実的には、自動車メーカーからの要望が強い高圧化（700 気圧化）が中心的な対応であるが、これも技術的な課題は少なく、むしろ制度的、安全性確保の課題が指摘されている。同時に、エネルギー損失についても懸念されており、液体水素はボイルオフの問題が大きくて期待薄である。

それ以上に検討を要することは、水素ステーションなどの水素インフラを FCV の普及速度以上の速さで整備した場合に、水素の過剰供給量にいかに対応するかであって、適当な利用方法が無いことが大きな課題となりつつある。そのため繋ぎ役しての水素 ICEV の重要性が指摘されており、その普及も具体性を帯びて論じられてきている。

エネルギー効率のロスと CO₂ 排出量削減については、炭素分離・貯蔵と結びつけて論じられている。水素は価格が問題となることから、当面は再生可能資源の利用は考えにくく、やはり化石燃料、特に天然ガスからの改質が念頭に置かれている。これは、再生可能資源起源水素と脱石油を長期的なエネルギー戦略に位置づけつつも、その方向への移行期戦略として、燃料改質による水素製造は現実的である。そのため石油メジャーを中心に、燃料改質による水素製造は、炭素分離・貯蔵技術と合わせて議論されるようになると予想される。

昨年 10 月から開始された DOE の FCV デモンストレーションは、参加を表明した日本の自動車メーカー 3 社とテストデータ取得に関する調整がつかないままのスタートとなっている。今後、データ取得では先行している JHFC プロジェクトとの話し合いが行なわれ、解決への道を模索していくことになるのではないと思われる。

他方で、オンボードのガソリン改質は、FCV としては完全に消えてしまっている。定置用では、一般的な炭化水素燃料を使用するのが主流となっているが、これは DOE の従来の方針と矛盾するものではない。

一般に、水素インフラはメジャーが、FCV 車は自動車メーカーが負担の上開発を進め、水素インフラ整備は少なくとも初期は国の仕事という認識である。FCV、FCについては基礎的研究が必要という認識で一致しており、そのサポートが重要という意見が多い。これは日本と同様であるといえる。

一方、技術基準（規制）整備は日本が先行している。今後はもちろん多くの場で調整が必要であるが、ある意味では、日本が先鞭をつけたと言える。今回訪問した EC、DOE は FCV・水素の R&D が担当であり、技術基準・標準化については直接の担当部署ではないわけであるが、R&D の道具としての日本自動車研究所の実験設備や装置には高い関心を示した。このような設備利用を通じた国際研究協力などは、今後実現可能であると考えられる。

今回、LANL や ORNL などのトップレベルの国立研究所を訪問し、このような研究所が米国の燃料電池や水素関連技術の基礎研究分野を支えているという実感も持った。このような国立研究所や大学における研究状況の調査を継続的に行なうことも有意義だと思われる。

以上

禁無断転載

平成16年度燃料電池自動車に関する調査報告書

「海外編」

平成17年3月

財団法人 日本自動車研究所
東京都港区芝大門一丁目1番30号
TEL 03 - 5733 - 7927