

参考資料

2007年度 JARI 国内訪問インタビュー調査結果の概要

インタビュー訪問先一覧

調査対象機関		訪問先	訪問日	頁
大学・公的研究		・ 武蔵工業大学高木教授	H19.7.27	269
		・ 上智大学陸川教授	H19.8.1	285
		・ 神戸大学出来教授	H19.9.5	293
		・ 独立行政法人産業技術総合研究所 水素エネルギーグループ	H19.12.12	303
自動車メーカー		・ トヨタ自動車株式会社	H20.1.16	311
		・ 日産自動車株式会社	H20.1.21	319
		・ 株式会社本田技術研究所	H20.1.22	327
		・ メルセデス・ベンツ日本株式会社	H20.1.28	333
燃料電池 関連メーカー	FCスタック	・ 三菱重工業株式会社	H19.9.11	341
	膜	・ 旭化成ケミカルズ株式会社	H19.8.8	347
	触媒	・ キャボット・スペシャルティ・ ケミカルズ・インク	H19.11.28	355
	セパレータ	・ 住友金属工業株式会社	H19.9.6	365
		・ 日清紡績株式会社	H19.10.15	371
燃料供給会社		・ 大阪ガス株式会社	H19.9.6	375
		・ 株式会社ジャパンエナジー	H19.9.21	387
電池メーカー		・ パナソニック EV エナジー株式会社	H19.8.29	395
その他		・ 大阪水素ステーション・ 関西空港水素ステーション施設見学	H19.10.12	405
		・ FC-EXPO	H20.2.27 ~ 29	413

1. 武蔵工業大学高木教授訪問インタビュー調査報告

訪問日時	平成 19 年 7 月 27 日 (金) 15 : 30 ~ 17 : 30
場 所	武蔵工業大学 環境エネルギー工学科
応対者	新エネルギー工学研究室 水素エネルギー研究センター所長 高木靖雄 教授 量子ビーム材料工学研究室 鳥山 保 教授

1. 武蔵工業大学における燃料電池関連の研究概要・研究体制

1 - 1 燃料電池の研究体制

図 -1 に当大学の組織図を示す。本年 4 月から工学部、環境情報学部、知識工学部の 3 部体制となった。工学部の環境エネルギー工学科の中に、高木教授が所属する新エネルギー工学研究室と鳥山教授が所属する量子ビーム材料工学研究室がある。環境エネルギー工学科には、8 つの研究室があり、原子力関係から分析化学、放射線を使った分析方法の研究、カーボンに関する研究、変換材料科学など幅広く行われている。新エネルギー工学研究室内のバックグラウンドは機械工学であり、燃料電池に加えて水素エンジンに関する研究も行っている。鳥山教授が所属する量子ビーム材料工学では、主に量子ビームを用いた計測に関する研究を行っている。

以上が学科の組織であるが、それ以外に学部属した総合研究所と原子力研究所（原研）という研究組織があり、そこで具体的な研究が行われている。総合研究所には 3 つの組織があり、シリコンナノ科学研究センター、および水素エンジンの研究を行っている水素エネルギー研究センター、燃料電池に関連した研究を行っているエネルギー環境科学研究センターがある。基本的に文部科学省の予算で、研究施設を建ててそこで具体的な研究を行うというのが当大学のやり方である。

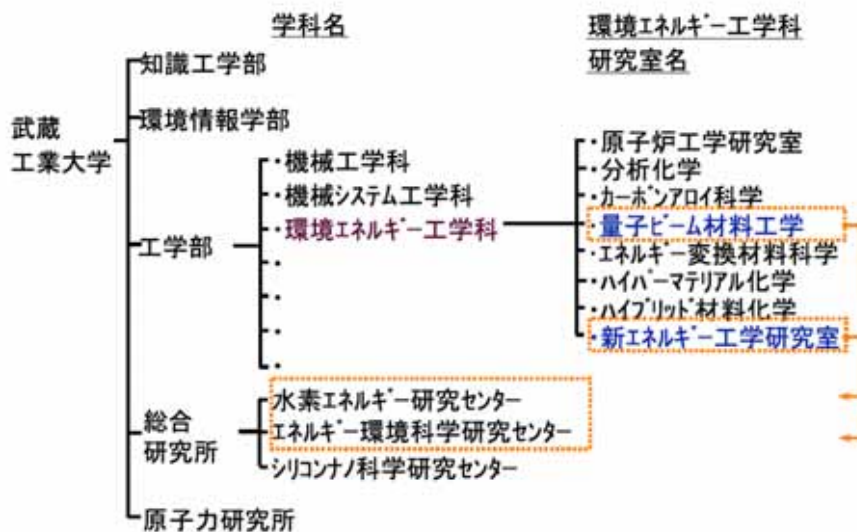


図 1-1 武蔵工業大学燃料電池研究体制

1 - 2 燃料電池の研究分野と拠点

当大学における燃料電池に関する研究は、大きく機能材料に関する研究と、鳥山教授が中心となって進めている量子線を使った計測に関する研究、燃料電池システムに関する研究がある(表 -1)。当大学には原研があり、量子線などに関する人材が揃っているのが特長の一つとなっている。燃料電池システムに関する研究では、主に運転性に起因する劣化に関する研究を行っている。

スタッフは、教授、助教授含めて6名、助手2名、学生が約25名である。

当大学における燃料電池研究の経緯は、1998年に私学対象のハイテクリサーチセンター予算によって当研究施設であるエネルギー環境技術開発センターができたことから始まる。現在、PEFCとDMFC、SOFCに関する研究を行っており、SOFCに関しては、宗像教授がその電解質材料に関する研究を行っている。(表 -1)

研究施設は、このエネルギー環境技術開発センターと総合研究所、それから量子ビームに関する研究では、主に東京工業大学のヴァンデグラフ実験室を利用している。燃料電池用研究設備に関しては、表 -2 に示すような機器が利用可能であり、これらの機器をできるだけ有効に利用することを考え、取り組んでいる。

表 1-1 武蔵工業大学における燃料電池の研究分野と拠点

1. 研究分野(H19)

- a. 燃料電池機能材料開発(永井教授, 小林教授, 宗像教授)
 - ・ハイブリッド電解質膜の開発
 - ・電極触媒の開発
 - ・低温作動型SOFC用固体電解質の開発
- b. エネルギー材料評価研究(鳥山教授, 鎌木教授)
 - ・炭素材料の電気的物性研究
 - ・X線応用材料分析研究
- c. 燃料電池システムの研究開発(高木)
 - ・PEFCの運転と放置環境による性能劣化解明と軽減の研究
 - ・DMFCの性能向上と排出物低減の研究
 - ・交流インピーダンス法, CV法などのMEA診断への適用研究

2. スタッフ

- ・教授助教授6名, 助手2名
- ・学生数約25名

3. 研究拠点の変遷

年度	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07
プロジェクト名	エネルギー環境技術開発センター					エネルギー環境科学研究センター				
研究拠点	エネルギー環境技術開発センター					武蔵工業大学総合研究所				




表 1-2 燃料電池研究用設備

1. 製膜・調製装置
 - a. MEA調製装置, b. イオンビームスパッタ装置, c. CVD装置
2. 燃料電池性能評価・診断装置
 - a. 燃料電池評価装置(13基), b. 交流インピーダンス計測装置
 - c. CV, LSV, EIS等計測装置, d. メタノールクロスオーバー計測装置
3. 材料等計測・分析装置
 - a. 電気伝導度メーター, b. FT-IR,
 - c. X線回折装置, d. NMR(核磁気共鳴装置)
 - e. PIXE(粒子線誘起X線分析法)+ラザフォード後方散乱分光(RBS)法,
 - f. GC-MS, g. 細孔分布計測装置(オートソープ)
4. 機器分析室保有の汎用機器
 - a. SEM, TEM/STEM, EPMA, XPS, XRD, FT-IR, XUV

2. 燃料電池の劣化に関する研究概要について(高木教授)

2 - 1 研究対象とする PEFC の劣化の種類

PEFC に関する一般的な劣化の種類は、表 -3 のように整理される。当研究室では、このうち運転条件・放置環境に係る劣化についての研究を行っている。現在は、主に起動停止、燃料切れ、凍結劣化と凍結起動劣化についての研究を行っている。研究に用いている MEA の仕様を表 -4 に示す。

表 1-3 PEFC の性能劣化の種類

劣化の種類		具体的内容		
外因的劣化		S, CO, 有機物など被毒物質混入		
		外部からの加振・衝撃		
内因的劣化	要素素材の経時劣化 (当たり前品質)	電解質膜, 電極触媒, GDL, 界面状態の経時劣化		
		電解質膜のクリーブによる細孔の発生・成長		
	周辺素材のイオン化/ 溶出による劣化	金属イオン/溶出有機物質による劣化		
	運転条件・放置環境 によるMEAシステムの 劣化 (武蔵工大の研究で 明らかになっている項 目例)	OCV劣化	通常運転時のOCVによる劣化	
		停止起動劣化	停止起動時のシーケンスによる劣化	
		燃料切れ劣化	スタックの燃料切セルの劣化(全面燃料切れ)	
			単セル面内燃料切れによる劣化(部分燃料切れ)	
		放置環境劣化	低湿度・高温度環境放置繰り返しによる劣化	
			放置後の急速な運転負荷繰り返しによる劣化	
凍結劣化		凍結放置による劣化		
	凍結放置繰返しによる劣化			
凍結起動劣化	凍結起動繰返しによる劣化			

表 1-4 研究に用いている MEA の代表的仕様

Item		MEA Specification
MEA Active Area		25cm ² (5cm × 5cm)
PEM		Nafion [®] 212(25 μm) & Nafion [®] 211(50 μm)
Catalyst: Pt Loading	Anode	Pt/C(Ketjen black): Pt 0.45 mg/cm ²
	Cathode	Pt/C(Ketjen black): Pt 0.30 mg/cm ²
GDL		Carbon Paper 0.19 mm
Separator Flow Pattern		1 Channel Serpentine

2 - 2 燃料切れによる劣化について

燃料切れが起こる条件としては、スタックのある場所に詰まりが生じた場合であり、起動直後の凍結などが考えられる。

単セルを3つ並べてスタックを構成し、真ん中のセルだけ燃料をコントロールできるようにして、このセルに燃料切れが起こると想定する実験を行っている。

当初、水素量を100ml/分で供給していたものを、30秒毎に中央のセルへの燃料を10ml/分ずつ減らしていき、300秒後に完全に燃料切れ状態になった時点で、逆流を防ぐためにコックを閉め、その後60秒間運転を行う。その間の電圧をアノードに参照電極をつけて計測する。両極の触媒担体にケッチェンブラックを用いたセルで実験した結果を図-2に示す。

電流電荷と化学量的に等価な水素量に対する供給水素量の比を λ_{H_2} とすれば、 λ_{H_2} が1を下回った時点、すなわち燃料欠乏が生じた時点からアノードの電圧が変動しながら上昇し、その結果としてセルの電圧はマイナス1から1.5Vまで低下している。この高周波の変動については、COの触媒への吸着・剥離や、ガスの逆流などが生じている可能性が考えられるが、原因はまだ良くわかっていない。

劣化運転後のセルの出力状況を調べると、図-3に示すとおり、6分足らずの燃料切れ運転で、劣化し、30%程度出力低下が生じていることがわかる。

この劣化場所については、交流インピーダンス法やCV法による解析から、アノードで生じていると考えている。図-4は通常運転と劣化運転時のセルから発生したCO₂量を示している。劣化運転時においてはアノード側からCO₂が発生しており、以下に示す反応によるコロージョン（電気腐食）による劣化が生じていると予想される。

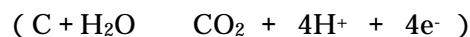


図-5は、アノード触媒の担体として、ケッチェンブラック、グラファイトカーボン、白金ブラックを用いた場合の劣化状況の比較である。炭素を用いない白金ブラックでは全く劣化せず、グラファイトカーボンでも、劣化が抑えられることがわかる。

当研究室の実験によると、ケッチェンブラックを用いた場合に対して、グラファイトカーボンを用いると出力は12%（白金ブラックを用いた場合では15%）程度出力が落ちる。そのため、代替するのは難しい面があるが、燃料切れ劣化を抑えるためには、せめてグラファイトカーボンを用いることが薦められるという結論である。

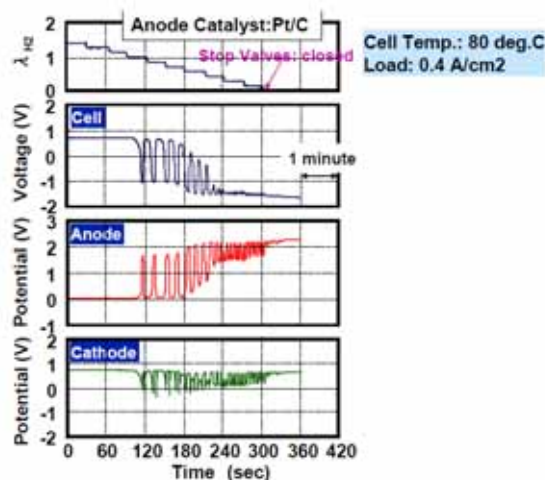


図 1-2 水素燃料欠乏運転における電極、セルの電圧変化

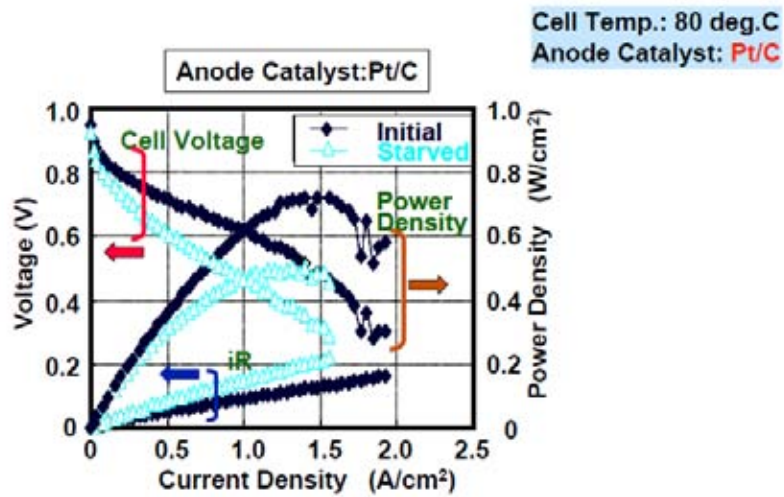


図 1-3 水素燃料欠乏運転による出力劣化状況

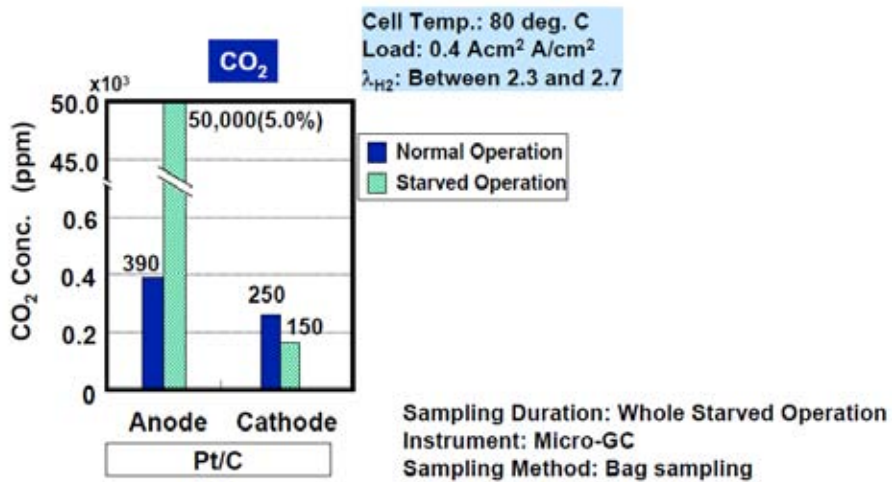


図 1-4 通常運転と燃料欠乏運転時における電極オフガス中の CO₂ 排出量

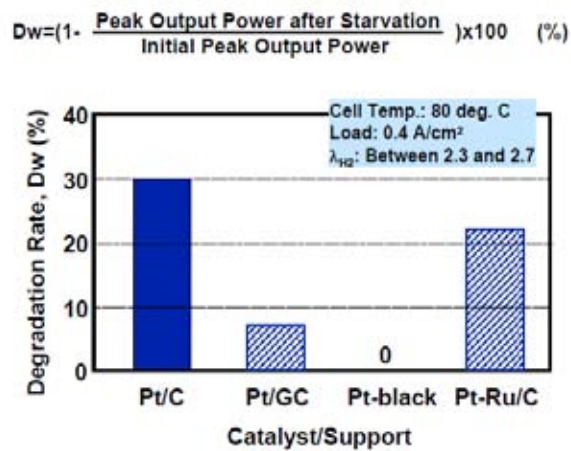


図 1-5 水素燃料欠乏運転によるアノード触媒担体種類別の性能劣化率の比較

2 - 3 起動停止による劣化について

温度を一定にして，図 -6 に示すように，起動して運転をして停止するというサイクルを繰り返す実験を行った。他の実験から，水素と空気の止める順序が劣化の程度に大きく影響するということがわかっていたため，負荷を切って OCV にして，電圧が 0.2V まで下がった段階で水素または空気を止めるというモードで実験した。40 サイクルの起動停止運転を実施した。

そのときの電圧の変化をみると，空気を先に止めた場合と，水素を先に止めた場合では変化の波形が異なる。水素を先に切った場合には，負荷を切った途端にアノードの電位が上がるのに対して，空気を先に切った場合は変動がないことが分った。これは，カソードから空気がクロスリークしていることが原因であり，これが起動停止時の劣化の諸悪の根源と考えている。

以上に実験では，起動時には劣化しない条件で行っているが，現在は，起動時の劣化についての研究を実施している最中である。

結論としては，停止時には空気を先に止め，酸素がなくなるまで待つことが重要である。このことは，日本では論文として発表されていないが，特許情報を見ると，自動車メーカーなどでは，すでに常識になっているようである。米国の ECS では，昨年，起動時におけるアンチコロージョンについては多くの論文が出されていた。

加えて，クロスリークを抑える意味で，膜厚を大きくすることも対策のひとつである。劣化部位については，交流インピダンス法や CV 法による解析の結果，アノード側は変化がないものの，カソード側の反応抵抗が増大，劣化していることが示唆された。これもコロージョンによる劣化と推測している。その理由としては，起動時における劣化の原因はリバース反応であるという論文が UTC のグループから出されており，停止時においても同様であると推測している。

起動時にリバース反応について図 -7 に示す。当初，アノード側にも酸素があると想定すると，水素が供給された上部において通常反応が進むとしても，下部においては，カソード側での通常反応が生じてしまうというものである。その結果カソード側の下部においてコロージョンが生じてしまう。

図 -8 は，図 -7 から類推される水素を先に止めた場合の停止時のリバース反応とコロージョンの発生について示したものである。

結論として起動停止時の劣化対策としては，停止時に酸素を排除すること，クロスリークを抑えること，触媒担体にカーボングラファイトを用いることが有効である。

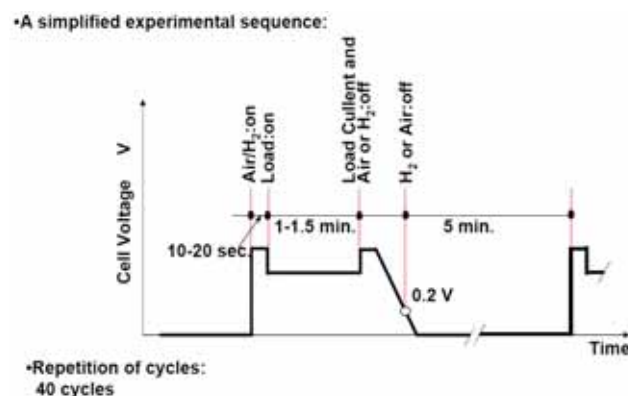


図 I-6 PEFC の起動停止実験モード

For startup operation (C.A. Reiser et al.)

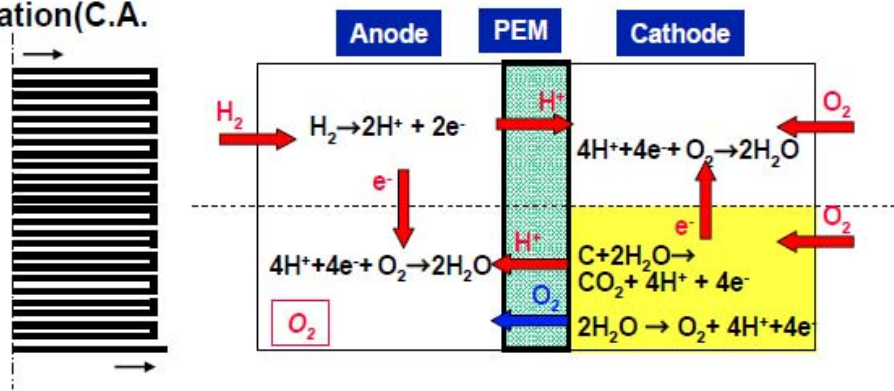


図 1-7 起動オペレーション時におけるリバース反応の概念図 (Reiser et al. による)

H₂ prior shutoff

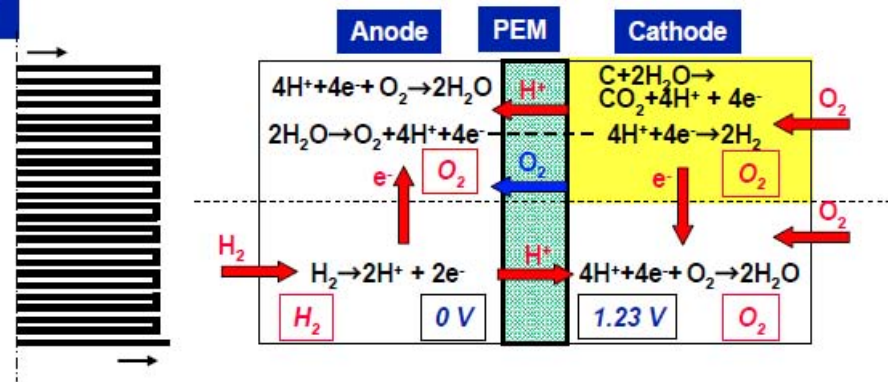


図 1-8 停止時に水素を先に止めた場合のリバース反応の概念図

2 - 4 冷凍・解凍による劣化について

単純な冷凍・解凍の繰り返しによる劣化の特性について研究している。発電しなくても、冷凍・解凍の繰り返しで性能は劣化する。現在、様々な条件をパラメータにして、劣化程度との関連について検討を行っている。

このうち、興味深いのは、エンドプレートの材質によって、劣化の程度が異なることである。SUS では、線膨張係数の特性により、冷やしても面圧が高くないが、軟鉄を用いると、面圧が高くなり、劣化がひどくなることを突き止めている。

なぜ面圧が高くなると劣化が進むかについては、まだ調べていないが、考えられる仮説としては、触媒の界面の剥離が考えられる。

そういうことから、最近では電極中のイオノマーの劣化に着目した解析を進めている。

2 - 5 凍結起動時の劣化に関する研究(NEDO プロジェクト)

NEDO プロジェクトとして、凍結セルの起動時の劣化についての研究を行っている。図 1-9 は、凍結起動時の発電特性を示している。マイナス 15 付近で起動すると、ある程度までは発電するが、一旦発電がストンと落ちてしまう。現在この原因について調べている。考えられる理由の 1 つは、加湿していないため水がなくなってしまうこと、もう 1 つはカソードのガス通路が凍結して詰まってしまうことである。この実験では、後者の理由であると考えている。

この凍結起動を 50 サイクル繰り返すと、出力性能が 17%劣化してくる。この劣化の症状もカソード側に出てきており、サイクルを繰り返すにつれて直流抵抗やカソードの反応抵抗が増大することが、交流インピダンス法を用いることによって明らかになっている。

劣化原因として、コロージョンが考えられるが、今後、この原因についても詳細に解析を進めていく予定である。

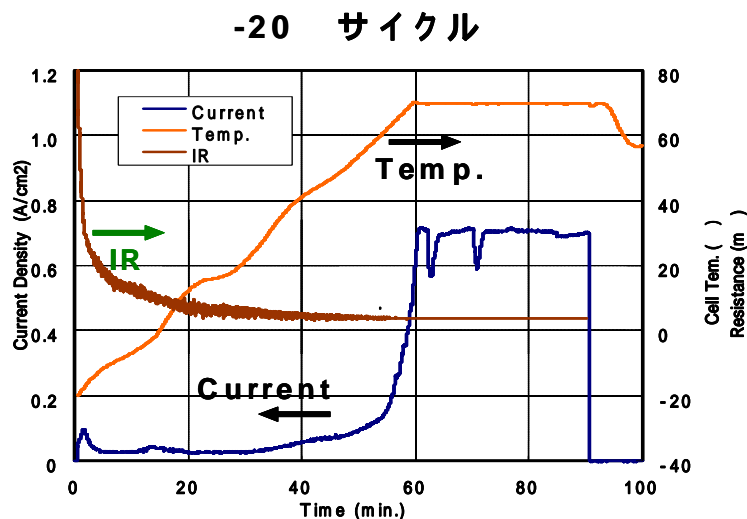


図 1-9 凍結時の発電特性

2 - 6 劣化部位の計測方法について

(1) アノードセパレータのセグメント化

セルを分割してどこで何が起きているかを計測できるように工夫した。具体的には、反応部は分割せず、セパレータ(5cm 四方)のみを 8 つに分割し、分割されたセパレータそれぞれに電極を装着する。このように極力場を乱さない方法を採用した。

この装置を用いて、例えば燃料切れによる劣化を調べると、当たり前のことだが、上の方は劣化が少ないが、下の方から燃料が切れて劣化が進むといったことが観測できるようになった。

今後この方法を用いた実験結果について、論文等で報告していく予定である。

(2) MEA 劣化部位のプロトン伝導抵抗の分離定量化について(NEDO プロジェクト)

交流インピダンス法を用いて、劣化部位を特定化することを検討している。
 具体的には、MEA の劣化部位のプロトン伝導抵抗を分離定量化することを目指している(図 1-10)。未知変数としては、X: アノードイオノマプロトン伝導抵抗、Y: 電解質プロトン伝導抵抗、Z: カソードイオノマプロトン伝導抵抗の3つであり、アノード参照電極を用いた場合のセル各部位のインピダンスに関する計測値と上記 X, Y, Z の関係式、並びに同様にカソード参照電極を用いた場合の関係式から、代数的に X, Y, Z を決定できないかを検討している。同時に、等価回路を特定化することによって、X, Y, Z の値を求めることも目指している。
 図中の R で表される値は、交流インピダンス法によって観測される諸量であり、 α で表される値は事前に計測しておく定数を表している。
 現状では、まだつじつまが合わないところがあり、検討しているところである。
 この に関する計測の過程で、GDL とセパレータの間に大きな界面抵抗が生じていることが明らかとなった。界面抵抗とは、GDL とセパレータの接触部分の抵抗であり、有効面積が半分になっていることなどによる抵抗である。
 この界面抵抗は、ガスケットとしてシリコンを用いた方が硬い PEFE を用いるより小さくなり、また、膜厚も薄い方が抵抗が小さいことがわかった。結論的には、面圧をかけたときにガスケットに圧力が吸収されてしまうため、理想的には O リングのように面圧を管理できるようなやり方を用いる方が良いということである。

1. アノード参照電極を用いた場合のセル各部位のインピダンスと計測値

$$R_{cell} = \alpha_{aG} + \underbrace{(X + \alpha_{aC})}_{\text{アノード}} + \underbrace{Y + (Z + \alpha_{cC})}_{\text{カソード}} + \alpha_{aC} \quad (1)$$

$$R_{Ac} = Y + (Z + \alpha_{cC}) + \alpha_{cG} \quad (2)$$

$$R_{Aa} = (X + \alpha_{aC}) + \alpha_{aG} \quad (3)$$

2. カソード参照電極を用いた場合のセル各部位のインピダンス計測値

$$R_{Ca} = \alpha_{aG} + \underbrace{(X + \alpha_{aC})}_{\text{アノード}} + \underbrace{Y}_{\text{カソード}} \quad (4)$$

$$R_{Cc} = (Z + \alpha_{cC}) + \alpha_{cG} \quad (5)$$

ここで X: アノードイオノマプロトン伝導抵抗
 Y: 電解質膜プロトン伝導抵抗
 Z: カソードイオノマプロトン伝導抵抗
 α_{aG}, α_{cG} : アノード, カソード GDL 電導抵抗
 α_{aC}, α_{cC} : アノード, カソード電極触媒電導抵抗
 $R_{cell}, R_{Ac}, R_{Aa}, R_{Ca}, R_{Cc}$: 変数
 定数
 計測値

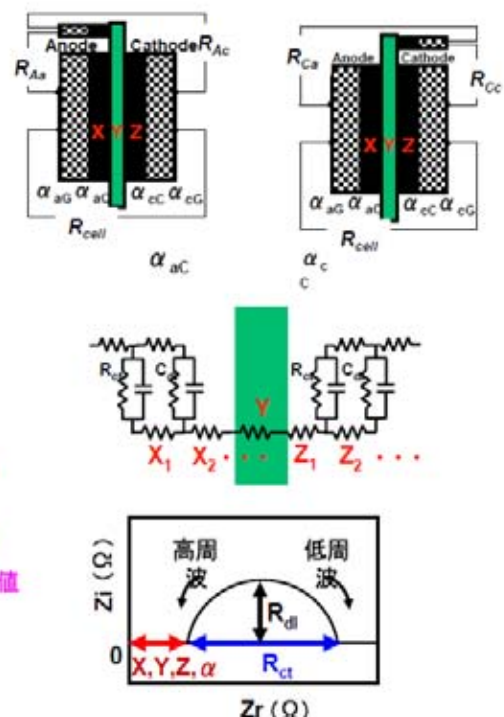


図 1-10 MEA 劣化部位のプロトン伝導抵抗の分離定量化

2 - 7 直接メタノール形 FC について

DMFC に関しては，自然吸気式を想定した場合の未燃焼メタノールに関する研究を行っている。空気過剰率が 1 を超える場合においても未燃焼メタノールが生じており，この原因を解明したいと取組んでいる。

当研究室の実験によって，とくにナフィオン膜において，カソード水溶液中に相当量のメタノールが溶けていることが分かった。従来，メタノールのクロスオーバは，気体として透過すると考えられているが，液体のままクロスオーバする燃料があると考えられており，そのクロスオーバのメカニズムの解明に取組んでいるところである。

3 . WD-PIXE による PEFC 中の硫黄の分析(鳥山教授)

3 - 1 背景と目的

東京工業大学のヴァンデグラフおよびタンデム加速器を用いて波長分散型粒子線誘起 X 線分析法 (WD-PIXE) システムを共同研究によって構築し，MEA 中の硫黄 (S) を分析する取り組みを行っている。これは NEDO プロジェクトの一部として NEDO からの支援を受けている。

硫黄被毒は永久被毒であり，微量でも MEA の性能劣化に大きく影響する。水素燃料を天然ガスや石油製品から改質する場合，水素燃料中の微量な S による性能劣化が懸念される。現状では，それ程クローズアップされていないが，将来問題になるだろうということで，その量を定量的に分析できる方法の構築を目指した。

例えば交流インピダンス法によって S 被毒された MEA を分析すると，アノードのみならずカソードでの抵抗の増加も観測される。こうした場合，カソード中に存在する S を定量的に分析することで，より議論を確かなものとしたいということである。

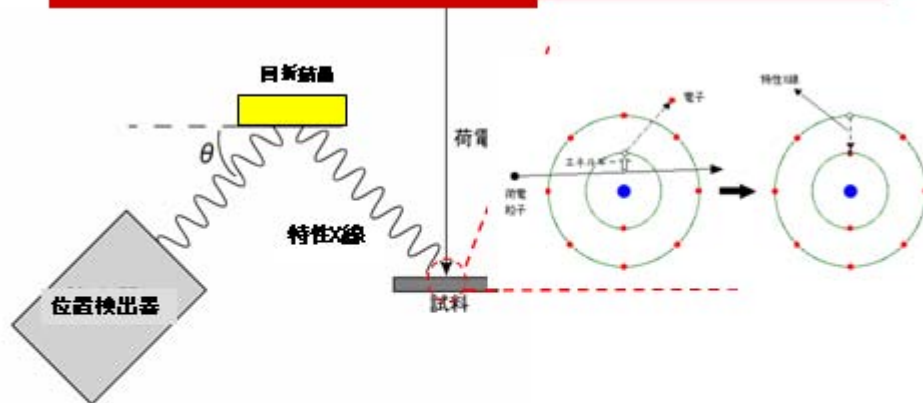
MEA に対してこうした取り組みをしている例はわが国にはなく，また，全世界でもまだ見たことはない。

3 - 2 WD-PIXE とは

荷電粒子を試料に当てると，試料中にある原子から電子がたたき出され，正孔が生成される。その後直ぐに外殻電子が転移してその正孔を埋める際に，元素特有のエネルギーを有する X 線が放出される。その X 線を回折結晶に当てると，波長により回折され，反射される角度 が異なる。反射された X 線を位置敏感型 X 線検出器で観測して，その反射角を求め，ブラッグの反射則から波長を決定する。そして，波長をエネルギーに変換して，そのエネルギースペクトルから元素分析する方法を波長分散型 (Wavelength Dispersive) 粒子線誘起 X 線分析 (Particle Induced X-ray Emission)，略して WD-PIXE と呼んでいる。(図 -11)

通常こうした分析には，電子線を照射して，試料から放出される特性 X 線を測定する EPMA (電子線マイクロアナライザ) が用いられるが，EPMA では照射電流量が大きく，照射するスポットが限られたため温度が上昇し，S の多くが飛散してしまい，定量的な分析できないという問題がある。WD-PIXE では，EPMA に比べ試料に対するダメージが少なく，また試料の深い位置 (数 10 μm) まで測定が可能という特長がある。

波長分散型粒子線誘起X線分析法(WD-PIXE)とは



- ・元素固有の特性X線の波長によって回折角 θ が異なり、反射されたX線は位置検出器により検出されるので、エネルギー分解能が高い
- ・MEAを非破壊に、EPMAより深い位置(数10 μ m)まで測定可能

図 I-11 波長分散型粒子線誘起 X 線分析法(WD-PIXE)とは

3 - 3 ヴァンデグラフ WD-PIXE による計測

ヴァンデグラフ WD-PIXE を用いて、S 被毒した MEA に混入した S の残存量と残留位置を計測した。具体的には、Pt は劣化前後において移動等の変化がないと考えられることから、未使用の MEA と、あらかじめ S によって劣化させた MEA において、それぞれの Pt 量を基準にした S の変化を比較した。観測位置としては、燃料の流路にそって 25 箇所を設定した。

その結果、S 被毒した MEA では、アノード側では平均 1.08 倍(最大 2.47 倍)、カソード側では平均 1.75 倍(最大 2.05 倍)の S の増加がみられた。これは MEA に H₂S として混入した S 分の 7% が残留していることを示している。またアノード側の燃料の入り口付近に高濃度で存在していることを確認し、その反対側の燃料入り口付近のカソードにおいても高濃度の S が増えていることを確認できた。

3 - 4 タンデム von Hamos 型高分解能 WD-PIXE による計測

東工大のタンデム加速器の高分解能の WD-PIXE システムを用いた S の分析法を共同研究によって開発している。これは von Hamos 型と呼ばれる、ヴァンデグラフに構築したものより 10 倍以上のエネルギー分解能を有する。これにより、スルホン酸基中の S と、外部から流入する S を分離して計測することが期待される。

エネルギー分解能を低くし、陽子ビーム照射電流量を抑えて、S 被毒された MEA (燃料注入口付近) を計測した結果、ナフィオン中の S とは化学状態が異なる S を確認した。その S はナフィオン由来の S の 3.59 倍であった。

しかし、エネルギー分解能を高くし、陽子ビーム照射電流量を増加させて測定したところ、スルホン酸基中の S と、外部から流入した S を分離して計測することができたが、明らかに外部から流入した S が飛散した形のスペクトルしか測定できなかった。したがって、高分解能で S が飛散しない測定法を開発している。

3 - 5 まとめと今後の課題

以上の分析により、添加した S がカソードまで到着していることを定量的に確認することができた。また、MEA 中の S を非破壊で測定し、劣化率と残留 S の量の関係を定量的に議論することが可能となった。

ヴァンデグラフ型、タンデム型加速器に設置した WD-PIXE システム双方とも、粒子線照射の電流量を大きくすると、MEA が熱損傷を受け、S が飛び出してしまいうことが確認されたため、今後は、熱損傷を抑えるために各点における測定時間を短縮し、回数を増やすことや、MEA を冷却することを検討する。

4 . 固体 NMR による測定について (鳥山教授)

NEDO プロジェクトの中で、性能劣化診断技術の一つとして、フッ素や硫黄の化学形態の変化を計測するために固体 NMR (核磁気共鳴分光法) を用いることを検討している。

現在、総合研究所にある NMR 装置では、固体の F, S を分析するには、追加でそれぞれ 850 万、1000 万円の補助装置が必要である。

このように装置が高価なため、まずは日本全国にある既存の NMR 装置を使わせていただくか、分析会社に委託して、NMR による分析の利用価値が高いということを確認した上で、投資していきたいと考えている。

5. 水素自動車について

武蔵工大では、1970年から水素自動車の研究開発を行っており、現在までに10台の水素自動車を開発してきた。

水素自動車とFCV、ガソリン車を比較したものを図 1-12 に示す。水素自動車は、CO₂ やPMといった排出ガスが少ない点で有利であるが、熱効率面では不利である。また、内燃機関という当たり前の技術を使っているため、FCVよりもコスト的に有利である。ただし、水素自動車の技術的完成度は低いというのが我々の認識である。

当大学の水素自動車の特徴は、2号車以降、液体水素燃料を用いていることである。これ以降、5号車までは液体水素の火花点火方式であり、6号車から筒内噴射方式に変更した。このコンセプトは現在まで受け継がれている。

液体水素の筒内噴射方式のメリットは、図 1-13 に示すように、まず気体を噴射するガスエンジンということから、ガソリンに比べて供給熱量のカットが可能であり、低出力をカバーできることが挙げられる。さらに、直接噴射方式のため、吸気管へのバックファイアを防げることや、過早着火を防げるという利点がある。また、液体水素燃料は航続距離面で有利となる。

液体水素の筒内噴射方式は、水素エンジンの有する幾つかの課題のうち、ノッキングを除き、以上のような有利な点がある。現在、燃料の噴出圧力を10MPaから20MPaに上げるなどして、こうしたメリットをさらに高めるような研究開発を行っている。その他に、水素のHCCI（予混合圧縮自己着火）機関の開発を進めている。HCCIを実現するために、オクタン価の高い水素にDMEを混ぜた燃料を用いることを検討している。

比較項目	燃料電池	水素	ガソリン
		エンジン	エンジン
熱効率	⊖	○(Δ)	○
排ガス・CO ₂	⊖	⊖	○
・NO _x	⊖	Δ	○
・CO/HC	⊖	⊖	○
・PM	⊖	⊖	○
出力特性	Δ	Δ(○)	○
耐久性	○(Δ)	○	○
コスト	Δ	○	○
冷間起動性	?	○	○
技術の完熟度	?	Δ	○
新規産業・雇用創出 産業競争力強化	⊖	○	○

22世紀の課題対応技術
- 温室効果ガス(CO₂)増加軽減
- 大気環境の汚染対策
- エネルギー資源枯渇軽減

当たり前技術

図 1-12 燃料電池と水素エンジンの特性比較(ガソリンエンジン比)

水素エンジンの優れた点と期待値	水素エンジンの解決すべき技術課題	武蔵工大水素エンジンの基本的な技術		
		液体水素	筒内直接噴射	他
・CO ₂ 排出ゼロ	低出力対策	○	○(高圧)	
・低NO _x 排出	バックファイヤ対策		○	○
・CO/HC/PM排出なし	過早着火対策			○
	高負荷域でのノッキング(?)抑制	—	—	—
	航続距離対策	○		
	高負荷域でのNO _x 生成			○
	熱効率の向上		△	

図 1-13 武蔵工大と取組んでいる水素エンジン技術の特徴

6. 燃料電池車の見通しについて

現在 PEFC に用いている材料が、通常の運転条件よりは少し厳しいが、しかし実際にあり得る条件で使用して、エンジン並に 10 万 km 持つ材料なのかどうかを確認したい。

確かに限られた条件のもとで耐久性は達成しつつあると言われており、そのとおりだと思いが、健康な人間なら多少の無理が利くような、厳しい環境に対しても体力をつけていくことが必要だと考えている。

現在の材料で上記 で書いたことを確認したいことと、一方で新しい材料が次々と提案されており、そうした動きに期待をしているところもある。

固体高分子膜に関しても、現在言われているようなフッ素系膜の不完全性については、克服できると考えているが、上記 で書いた実際にあり得る厳しい運転条件でも大丈夫かどうかは、別問題である。

7. 国プロへの参画状況・企業との共同研究等

前述のとおり、NEDO プロジェクトとして、「固体高分子形燃料電池の凍結・起動・解凍により生ずる性能劣化原因解明と診断技術適用」にかかる技術開発を行っている（表 -5）。プロジェクト期間は、昨年度と今年度の 2 ヶ年であるが、継続の可能性があると考えている。

文部科学省からは学術フロンティアとしての予算を受け、燃料電池に関する研究を行っている。

企業との共同研究としては、多くの企業から委託研究を請け負っている。

表 1-5 NEDO「PEFC の凍結・起動・解凍により生ずる性能劣化原因解明と診断技術適用」
にかかる技術開発

開発項目・実施内容:

研究開発項目	実施内容
① 凍結起動時の発電特性の解明と改善	燃料電池を凍結状態から起動させる際発生する起動後の発電電流が急減する現象の原因を解明し、対策案を提案する。
② 凍結起動の繰り返しによる性能劣化要因の解明と軽減	凍結起動の繰り返しにより生ずる性能劣化に関し、電極触媒種と量、電解質膜の種類と厚み(保水量)、GDL特性(撥水性、他)等の調整・運転パラメータの感度解析を行い、軽減策を検討する。
③ 性能劣化診断技術の開発	性能劣化部位や劣化状況を診断する技術として、従来の電気化学的手法に加え、二重電極交流インピーダンス法、波長分散型粒子線誘起X線分光法(WD-PIXE)、固体NMR等新診断法の開発を行う。

8. 燃料電池研究における大学の役割について

もともと日産に在籍していた(2001年3月まで)こともあり、当研究室では、企業よりの研究を進めている。そのため、他の大学の先生方には、もう少し現実に近い条件の下での研究を行って欲しいという希望を持っている。

それゆえ、研究において、計測・解析のために「常々場を変える(現実に起きている現象を変える)こと」は良くないと考えており、当研究室ではこのことに注意を払いつつ、研究を進めている。

そうすることによって、もう少し現実問題に対して大学の技術が活かせることができるようになると考えている。

9. 国、メーカ等に対する要望について

特に自動車メーカに対しては、データをもう少し公表して欲しいという希望がある。当研究室が実施している研究テーマなどは、メーカにおいてそもそもやっているはずである。だが、ほとんどそういうデータや研究成果が報告されてない。

米国のECSでは、毎年、凍結起動や燃料切れ、カーボンコロージョンなどのタイムリーな課題に対するセッションが設けられ、国立研究所、民間企業、大学といった様々なところから沢山の報告が出されている。日本でこうした報告が出てこないのは、そもそも自動車メーカなどがデータを出していないからではないかと思っている。

少しでもそうしたデータを出してもらえれば、少なくとも不必要な前提条件の下での研究をやらなくても済むようになると考えている。

以上

II. 上智大学陸川教授訪問インタビュー調査報告

訪問日時	平成 19 年 8 月 1 日 (水) 15:00 ~ 17:00
場 所	上智大学理工学部化学科 有機工業化学第二講座
応対者	陸川 政弘 教授

1. 固体高分子形燃料電池に関連する研究の経緯および研究内容について

1 - 1 研究の経緯等について

専門分野は高分子化学であり、重縮合反応を主な研究分野としている。PEFC 関連では、現在、炭化水素系固体高分子膜の合成に関する研究を行っている。炭化水素系電解質膜の元になるエンジニアリングプラスチック（エンブラ）は、大半が縮合系の合成樹脂である。

1985 年に上智大学大学院理工学研究科応用化学専攻博士前期課程を修了した。もともと学生時代から、リチウムイオン電池におけるリチウムイオン伝導体に関する研究を行っていた。1992 年頃からは、リチウムイオン電池が普及し始めたこと等により、研究対象をプロトン伝導体にシフトさせ、炭化水素系の高分子電解質膜の研究を開始した。おそらくわが国では、この分野の研究は本研究室が初めてであると考えられる。当初から、ポリフェニレン系の材料を用いており、これは現在でも良く用いられている材料である。

5, 6 年前から材料評価の一環として、PEFC の作成と評価を行っている。現在、PEFC に関しては、通常の低温域用 PEFC に用いる水系の炭化水素系固体高分子膜に関する研究と、中温域 PEFC 用の PBI (ポリベンゾイミダゾール) 系固体高分子膜に関する研究を行っている。

本研究室の構成員は、竹岡講師、藤田助教、杉田助手を含めて総勢 4 名であり、共同で研究に取り組んでいる。

1985 年に上智大学大学院を修了後、日立化成工業に入社した。在社中、1989 年から 2 年間、最近では 2003 年に 1 年間、米国 MIT に客員研究員として留学した経験がある。

1 - 2 PEFC 用電解質膜に関する研究内容

1 - 2 - 1 研究概要

PEFC に関しては、基本的に炭化水素系の高分子電解質膜の合成と物性評価を行っている。FC の単体セルの評価まで行っている。

研究対象としては、通常の低温域用 PEFC に用いる水系の炭化水素系固体高分子膜と中温域 PEFC 用の PBI 系固体高分子膜に関する研究を行っている。

さらに、塩基性高分子電解質を基盤とした新規プロトン伝導体の合成とそれを用いた中温無加湿 PEFC の開発を目的とする研究プロジェクトを NEDO プロジェクトとして実施している。

1 - 2 - 2 水系の固体高分子電解質膜に関する研究について

(1) 研究状況

水系の炭化水素系電解質膜に関する研究の基本的な目標は、フルオロ系の電解質膜に性能を近づけ、さらに違った面での特異性を出すことである。

現在の基本的な狙いは、低加湿下での運転であり、具体的に 40～46%程度の相対湿度での運転を目標にしている。現状では、5割に満たない達成度という状況である。フルオロ系との比較では、すでに工業化されている製品との比較という意味で、比較のフェーズの違いがあるが、初期性能として遜色ないところまでたどり着いたという段階である。耐久性に関しては、まだ十分とは言い切れない段階であるが、5000時間程度の連続運転では、耐久性があることは確認できている。

炭化水素系電解質膜の一番の弱点は耐久性だと思われるため、稼働時間の長い定置用には向かず、自動車用が競争可能な分野ではないかと認識し、研究開発を進めている。最近において評価している主な炭化水素系高分子電解質は以下のとおり(図 -1)。

- ・スルホン化ポリ *p*-フェニレン (S-PPBP) とそのブロック共重合体
- ・スルホン化ポリエーテルスルホン (S-PES)
- ・スルホン化ポリエーテルエーテルケトン (S-PEEK)
- ・スルホン化ポリイミド(SPI)

なお、GDLとしては、交流関係のある SGL カーボンのものを主に使っている。今後の研究の方向性としては、解決できていない低加湿・高温運転が挙げられる。当面は相対湿度 40%程度の低加湿で 100 前後での運転を次の目標として考えている。120 の定常運転は最終目標としても、一時的に 120 にオーバーシュートしても問題ないといったレベルでの目標設定が現実的だと考えている。

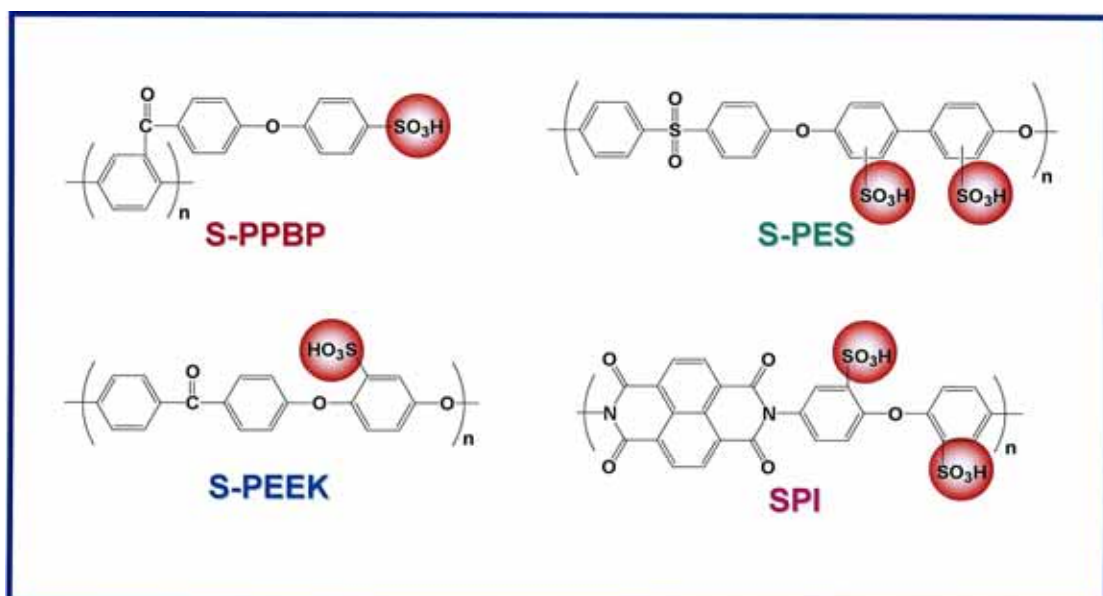


図 II-1 評価対象とした主な炭化水素系高分子電解質

(2) 炭化水素系電解質膜の特性について

炭化水素系の電解質膜をフルオロ系と比較した場合、性能上の有利な点は、燃料ガスの透過性が低いことが挙げられる。そのため、OCV 耐久といった、ガス透過性が問題となる特性では有利であり、白金の溶解再析出による白金バンドもほとんど生成されないという有利な点がある。ただし、鉄イオンなどの金属イオンの透過性自体については、フルオロ膜と変わらない。

機械的強度が強い点も炭化水素系膜の有利な点である。

化学的安定性はフルオロ系の方が強い。フェントン耐性等はフルオロ系に比べ劣る。ただし、それが問題となる状況が実運転で生じるかどうかは別である。化学的安定性が実運転上問題となる場面としては、長期的な耐久性や燃料の欠乏発生時における耐性が挙げられる。例えば C-F 結合の結合エネルギー 485kJ/mol に対し、ベンゼン環の C-H 結合は 435kJ/mol，脂肪族の C-H 結合は 350kJ/mol である（図 2）。脂肪族系は弱いですが、芳香族系炭化水素膜であればそれ程劣っているわけではない。

一方、フルオロ系の電解質では、合成上の問題でその化学構造を容易に変更することができず、ナフィオンと同様の骨格になるため耐熱性が低いのが不利な点である。従来のフルオロ系電解質では、ガラス転移点 (T_g) は 120 程度であり、250～260 程度で分解が起きる。一方、芳香族炭化水素系では T_g が 150～160，400～500 まで分解しない膜も可能で、耐熱性では炭化水素系の方が有利である。

ただし、炭化水素系膜の最適運転温度はフルオロ系と変わらず、80～90 が最適である。薄い膜を用いれば 100 運転でもある程度の時間はもたせることが可能となる。氷点下からの起動に関しては、両者に大きな違いはないと考えられる。マイナス 30 であっても膜中の水はどちらも凍らないと言われている。

また、炭化水素系膜の特長として、簡単に官能基を変えたり、イオン捕集剤や熱安定剤などの添加剤を混ぜ込んだりすることが比較的容易な点が挙げられる。また、異種の炭化水素系膜同士を圧着しやすく多層化が容易な点も有利な点である。

コストに関しては、フルオロ系の場合には研究室で作るのが難しく、工業的にも工程が複雑である。原料も一般にフッ素系の方が高い。そのため、標準的な炭化水素系電解質膜では、コスト面で有利であると思われる。ただし、ハイスpek的な炭化水素膜についていえば、フルオロ系と同等になるとと思われる。

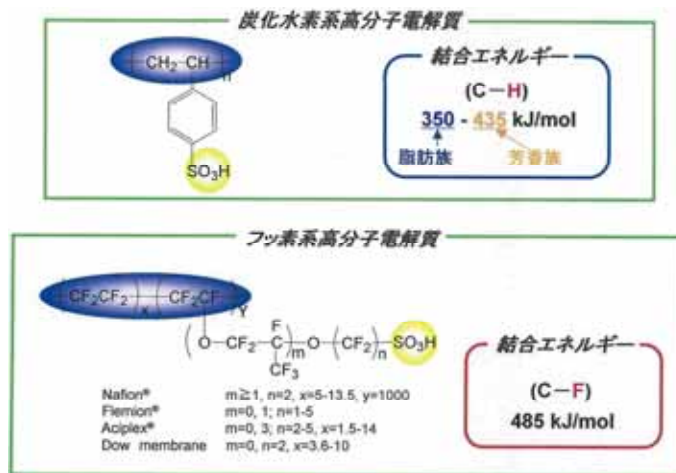


図 II-2 高分子電解質中の結合エネルギー

(3) バインダー溶液について

現状の炭化水素系電解質膜を用いた MEA では触媒自体はフルオロ系と変わらない。また、用いているバインダー溶液についてもフルオロ系を用いた方が性能が良い。この原因としては、炭化水素系の電解質は、白金などの金属に対する吸着性が高く、それらを覆いすぎる傾向にあり、また、もともとガス透過性が低いため燃料酸素の浸透が低いといった問題もある。

膜を非フッ素してもバインダーにフッ素を用いると、白金のリサイクル処理の際に焼却炉の腐食や結局フッ素の回収を行わなければならないことなどから、できればバインダー溶液も炭化水素のみとすることを目指して研究を行っている。

具体的には、バインダー用として、ガス透過性を上げるために、例えばナノサイズの空孔が有るような電解質の合成を考えている。

(4) 直接メタノール形燃料電池用電解質膜について

水素-酸素系の PEFC で使える炭化水素系電解質膜であれば、DMFC 用に少し仕様を変更することで、DMFC 用として対応できるので、DMFC 専用の膜に特化した研究は行っていない。炭化水素系の DMFC 用電解質膜としては、完成に近づいており、ある程度限界に近いところまで来ていると考えている。

現状での DMFC における課題は、触媒活性の向上である。従来はメタノールの透過性も課題の一つであったが、この問題はほぼ解決したといえる。とくに室温域ぐらいの触媒活性が圧倒的に低く、その改善が最大の課題である。

(5) 化学的安定性向上に向けた取り組みについて

例えば、炭化水素系の電解質にリン酸系の官能基を付加したり、フラーレン系の構造を付加したりすることによるフェントン耐性を向上させる研究も行っている。こうしたものを取り込むことによって、従来の性能をそれ程損なわずに、圧倒的な耐性を獲得することができるようになる。

例えば、具体的に不純物イオンの捕集剤や、ラジカルトラップ剤、熱安定剤などの添加剤の導入が考えられ、こうした二次的な処理によって炭化水素系膜の化学的安定性の向上を図ることが可能となる。

炭化水素系電解質は、こうした官能基の付加や添加剤の導入などの複合化に対して柔軟であるのに対し、フルオロ系ではもともと疎水性が強すぎて、こうした添加剤の導入には向かないという性質がある。

さらに、電解質膜のアノード側、カソード側にそれぞれ異なる性質を付与するための多層化技術が考えられる。フルオロ系に比べて、炭化水素系膜は圧着しやすく、こうした多層化が容易であるという特性がある。例えば、カソード側に酸素透過性が低い膜を展開するなどのバリエーションが考えられ、研究に取り組んでいる。

1 - 2 - 3 中温 PEFC の研究開発について

(1) 中温無加湿 PEFC について

旧ペメアス（現在の BASF）との交流があり，ポリベンズイミダゾール（PBI）を用い，リン酸イオンをキャリアにしたタイプの PEFC の研究開発も行っている。こうした PEFC での運転温度は 150 ~ 160 程度である。

今後，運転温度を 120~130 程度に下げることによって，無加湿の自動車用に適した電解質膜を開発することを目指している。単に運転温度を 120 に下げることだけでは，水系の炭化水素系電解質による PEFC の運転温度を高めることよりは，障壁は低いと考えている。

最大の課題は，室温起動ができないことである。低い温度領域では，リン酸が白金触媒に吸着してしまうことが最大のボトルネックとなっている。そのため，触媒を白金から白金合金などに代えて，リン酸の吸着を抑えることやリン酸そのものを使わないようにするなどの対応が考えられ，検討すべきことは山積している現状にある。

コストに関しては，PBI そのものが高価であることや，触媒に白金を用いなければならないことなどから，それ程従来のもので変わらないと考えられる。

(2) 塩基性高分子電解質による中温無加湿 PRFC の開発

水気の電解質膜はナフィオンに代表されるように強酸性であるが，逆に塩基性の電解質を作り，PBI/リン酸膜のようにリン酸などの酸をドーピングして新たな電解質膜を開発する研究を行っている。この研究は，現在 NEDO のプロジェクトとして 2006-2007 年度の 2 年間の予定で実施している（表 -1）。

表 II-1 塩基性高分子電解質による中温域無加湿 PEFC の開発 (NEDO プロジェクト)

開発項目・実施内容	
項目	新規中温無加湿PEFC の目標値
プロトン伝導性	10 ⁻² S/cm (at 25 and 150°C)
燃料透過性	Nafion系電解質の1/5
機械的安定性	形状変化5%以内（乾湿）
耐熱性	200°C以上
フェントン耐性	10 h、重量減少10%以下（60°C, Fe ²⁺ 4ppm）
PEFC特性	室温起動 5000 h以上の連続運転

本研究グループで開発したポリベンズイミダゾール等を骨格とする塩基性高分子をもとに、リン酸、固体酸、リン酸系電解質、ホスホシリケートゲル、イオン液体等と各種キャリア材料とを複合化することで高プロトン伝導体を開発する。

部分スルホン化等の手法により、キャリア密度を増加させることで低温度域でのプロトン伝導性を飛躍的に向上させる。一方、部分フッ素化、共重合化によって、マイクロナノ相分離など三次元構造を制御し、有効なイオン伝導パスを構築することでキャリア移動度を向上させる。これによって、室温下の低プロトン伝導性により室温起動が困難であった中温無加湿PEFCの稼働温度範囲を拡大させる。

本研究では、これらの問題を解決して目的を実現するために、各項目における具体的な目標を右表のように設定した。

1 - 2 - 4 新規アルカリ型 PEFC に関する取り組み

以上の中温域電解質膜の変形として、OH イオンをキャリアとしたアルカリ型の電解質膜の研究開発も行っている。

アルカリ型の燃料電池は高価な白金系の触媒を必要とせず、しかも水素のみならず DMFC のようにアルコールなどの液体系燃料を用いることができる。現状では電解質膜の耐熱性向上が大きな課題となっている。

アルコールを用いる理由としては、DMFC と同様に軽量小型化が容易であり、安全で低コストな FC を供給できるためである。また、DMFC との差別化を図る意味で、劇物であるメタノールを利用せずに、より環境にやさしい安全で低コストな液体燃料を用いることも可能である。

2. 電解質膜に関する意見

炭化水素系の電解質膜は必ず実用化される。ただ、フルオロ系の電解質膜と炭化水素系の膜では、全く異なる特性を有している。そのため、電池の用途などによって、棲み分けが必ず生じると考えている。どちらかの膜だけが独占するということは考えにくい。

燃料電池の実用化は、まずフルオロ系電解質膜を用いて進めていくべきだという意見にどちらかといえば賛成である。フルオロ系の電解質膜には、長い研究開発の蓄積があり、また、評価に値する再現性のある工業ベースのサンプルを提供できた唯一の材料であった。炭化水素系膜については大量合成も十分行われていない可能性があり、製品管理や仕様の統一などのつめがまだまだ甘い面があると思われる。

しかし、近年の炭化水素系膜メーカーの努力は目覚しく、かなりのスピードで同等に評価するに値する生産性を十分に兼ね備えてきたという実感があるのも事実である。

3. 燃料電池研究における産官学の役割分担などについて

現状では、産官学でそれぞれ活発に研究が進められているので、この点に関しては変える必要性は無いと思われる。

ただし、役割分担については見直すべき点が多いと考えている。皆が同じことをやっているイメージが感じられる。大学と国の研究機関はもう少し基礎的なところに立ち返った方が良いし、企業サイドでは、製品化、市場化に向けた部分での努力をもっと進めるべきである。企業において、基礎的な部分や特許性を重要視しすぎているように国策としての連携が少ないように思える。

FC キュービックのように施設が整えられ、基礎的な解析からスタックの作成、評価まで全てができる機関があることは大変助かる。今後、FC に関する標準化といった場面においても、FC キュービックにおいて蓄積されたデータが活かされると考えている。いち早く、世界に類のない日本における FC 研究の拠点としての地位を確立し、測定法の標準化、研究者育成、国際的連携にも力を注いで欲しい。

4. 国プロへの参画状況等について

前述のとおり，NEDO の次世代技術開発「塩基性高分子電解質による中温無加湿 PEFC の開発」プロジェクトを実施している。受託者は当研究室単独である。
企業との共同研究は，実用化に向けた要求性能を直接把握するために，情報交換を兼ねて数多く実施している。

5. 海外の研究機関等との連携について

共同研究をしている海外の研究機関は無いが，企業としてはベメアス(吸収されて現在は BASF)等と情報交換を行っている。その他，試作膜を評価している会社は何社がある。

6. 国，メーカ等に対する要望について

国の研究に対する補助については，アメリカなどと比べて，統制が取れておらず，効率的ではないように思える。米国では，必要なところに多額の資金を長期にわたって投入し，比較的自由度の高い研究が行われているように思う。
NEDO プロジェクトなど研究期間のスパンが短いと感じられる。燃料電池の研究では部分的な短期の研究で成果をだすのは相当大変であり，もう少し長いスパンでのサポートをお願いしたい。
企業については，多くの支援をしていただいていると思っている。ただし，国と同様に価値が認められる研究に関しては，人的育成の意義も含め長期的な支援をお願いしたい。

以上

III. 神戸大学出来教授訪問インタビュー調査報告

訪問日時	平成 19 年 9 月 5 日 (水) 14:00 ~ 17:00
場 所	神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 応用無機化学研究室
応対者	神戸大学連携創造本部 本部長 神戸大学大学院 工学研究科 出来 成人 教授 神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 水畑 穰 准教授

1. 当研究室の研究内容の概要

(1) 研究概要

当研究室は、応用無機化学研究室であり、主に材料化学の領域の研究を行っている。現在の主な研究テーマは以下のとおりである。

- ・ 固液共存効果とエネルギー変換デバイス
- ・ 緩和分散法による金属ナノ粒子の調製とその応用
- ・ 電気化学エネルギー変換の擬似三次元界面設計
- ・ 水溶液を用いる薄膜形成法とナノ構造制御

固液共存効果とエネルギー変換デバイスに関する研究では、リチウムイオン電池や MCFC 等における電解質への適用を念頭におき、固体に含浸された電解質の化学的・物理的特異性を積極的に利用し、より高性能な電解質材料を構築すべく、固液共存系における液相の構造や物性についての検討を行っている。

緩和分散法による金属ナノ粒子の調製とその応用に関する研究では、微粒化による量子サイズ効果によって発現する金属ナノ粒子の様々な機能についての研究を行っている。例えばナイロンのように不規則構造を有する高分子に金属を蒸着させ、加熱すると、高分子の熱による構造緩和（熱緩和）により金属微粒子がナノサイズまで分散して高分子中に拡散し、非常に安定な金属ナノ粒子/高分子コンポジットが生成できる。ここで緩和とは、高エネルギー状態から低エネルギー状態へ移行していく現象をいう。当研究室ではこの技術の単一電子トランジスタ等のナノデバイスへの適用や、燃料電池分野への応用について検討しており、とくに、近年のいわゆる白金バンド現象との関連性から、その現象解明とその対策について検討を進めている。

電気化学エネルギー変換の擬似三次元界面設計に関する研究では、PEFC の反応場である三相界面の擬似三次元化によって触媒の利用率を高める新規触媒分散法に関する検討を行っている。とくに現在は、炭素担体上に Pt ナノ微粒子と電子伝導性高分子ポリピロール複合体を調製する方法と、その電気化学的評価を行っている。

水溶液を用いる薄膜形成法とナノ構造制御に関する研究では、反応溶液と基板さえあれば金属酸化物薄膜を析出させることができる液相析出法(Liquid Phase Deposition Method)に関する検討を行っている。この方法では基板材料を選ばずに SiO₂, TiO₂ を始め、様々な機能性薄膜を合成することが可能であり、薄膜のみならず複雑な形状を有するナノ構造材料の構築に関しても検討している。

(2) PEFC 関連の取り組みの経緯

当研究室では、15～16年前に緩和分散の現象を発見して以来、これに関する研究を中心に進めている。過去には、Ptとナフィオンの複合体を構築しようとした経緯もある。同時に金属の微粒子と高分子複合体に関する電子線解析やX線解析等の測定技術やハンドリング技術を有している。

こういう技術を活かしつつ、材料化学の分野から白金バンドの問題を含めたPEFCのMEAの劣化現象とその対策に関して助言して欲しいと複数の研究者から依頼された経緯がある。

神戸大学と産総研は連携大学院構想の中で協力関係にあるため、MCFCに関する溶融塩の分野においては、共同で研究を行っている。

水畑准教授は、当大学で学位を取得後、産総研関西センターに在席し、固体高分子電解質を用いた水電解の研究開発プロジェクトに携わっていた。そのため、触媒の調製法をこの時代から習得していた。そうした技術が現在の研究に活かされている。

現在NEDOプロジェクトとして、PEFCの触媒設計条件と電解質膜中の触媒粒子分散抑制効果に関する研究開発を実施している。

2. PEFC 触媒の移動・溶解再析出による劣化に対する材料からのアプローチ

2-1 アプローチの方法

図-1に示すように、当研究室が従来から実施してきた緩和分散法やポリピロール複合体の調製および電気化学的評価に関する研究などをベースに電解質膜中の金属微粒子の分散・溶解再析出（白金バンド）機構の動的物性の解明や、金属微粒子の移動を抑制するための電子伝導性ポリマーコンポジットの開発を検討している。

電気化学的アプローチではあまり一般的ではない、XPS（X線光電分光）やFT-IR測定などの物理化学的な検証方法を用いた検討を行っている。



図 III-1 PEFC 触媒の移動・溶解再析出による劣化に対する材料からのアプローチ

2 - 2 高分子内における金属の異常拡散現象

例えば，ナイロンのような不規則構造を有する固体高分子表面に金属を蒸着させると，金属と高分子間の相互作用によって金属微粒子が生成され，高分子のガラス転移温度（ T_g ）以上の加熱により，高分子層へ金属微粒子が異常拡散していく現象がみられる（図 -2）。このような現象を緩和分散と呼んでいる。当研究室では，今から 15 ~ 16 年前にこうした異常拡散現象を偶然発見し，以来，これに関する研究を進めている。

緩和分散は次のような現象によるものと考えられている。高分子に熱を加えると，その分子構造がエネルギーの高い不規則状態から低い結晶化状態に推移していく。その過程で，表面の金属は粒子化され，結晶構造の中に金属粒子が存在できないために，これを押し出しながらエネルギー準位のより低い高分子内部に金属粒子を拡散させていく。

この緩和分散過程の動的挙動の解明については，ドイツのクリスチャン・アルブレヒト大学キール校（以下，キール大学）工学部 Franz Faupel 教授の研究室と 1992 年から共同研究を進めている。ファウベル教授は元々通常の拡散現象の研究者であり，ある学会で我々の発表を聞いて興味を持ち，それから共同研究をすることになった経緯がある。

当研究室では，この現象を用いて，薄いポリマーの中央に金属を一直列並べた単電子トランジスタのモデルを作ったり，PEFC の触媒の利用率を高める新規触媒分散法に適用したりするなどの検討を行ってきた。

また，図 -2 に示すように，緩和分散されたポリマーは，温度や金属の種類によって様々な色を呈する。そのため，これの印刷技術などへの応用も期待されている。白金バンドはこの緩和分散とは異なる現象によると思われる。当初はその可能性も含めて検討を開始したが，状況が異なるようであり，詳しく検証しているところである。

高分子内における金属の異常拡散現象 - Au/Nylon系 -

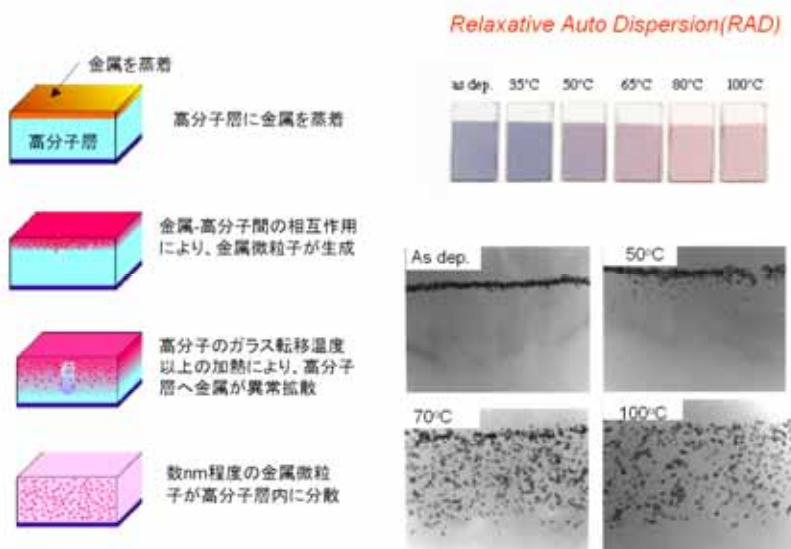


図 III-2 高分子内における金属の異常拡散現象の例

2 - 3 PAN を前駆体とする Pt/C 系

図 -3 に示すように、熱緩和分散 (RAD; Relaxative Auto Dispersion) 法によって、Pt/C コンポジットを形成させる研究も行っていった。ポリアクリロニトリル (PAN) に $\text{Pt}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_4$ を含浸させ、アルゴン気流中で焼成して Pt/C コンポジットを作るというものである。

現状では、この FC の電極触媒層への適用性は非常に興味がある研究テーマであるが、当時は、反応機構の解明を目的にしていた。現状では、FC への適用についての検討は行ってない。

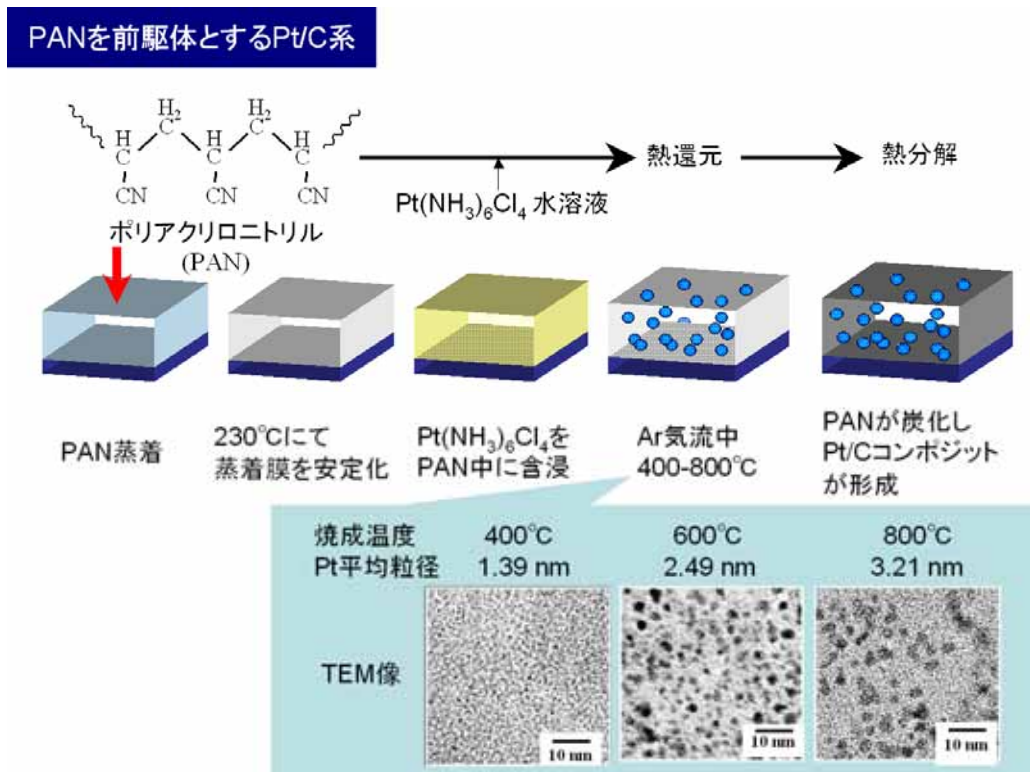


図 III-3 PAN を前駆体とする Pt/C コンポジットの生成

2 - 4 炭素担体上の Pt ナノ微粒子 / ポリピロール複合体の調製および電気化学的評価

現在、NEDO の次世代技術開発 / 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業で「PEFC の触媒設計条件と電解質膜中の触媒粒子分散抑制効果に関する研究開発」として、Pt とポリピロール複合体を用いた電極触媒の評価と高分子電解質中への触媒粒子分散挙動の抑制効果に関する研究を行っている。

(1) Pt ナノ微粒子 / ポリピロール複合体の調製方法

NEDO プロジェクト以前から、白金と電子伝導性高分子であるポリピロール (PPy) との複合体重合に関する研究を行っていた。ピロールモノマーは酸化重合によって連鎖的に反応してポリピロールとなる。ピロールモノマーと白金イオン電解液を混ぜると、白金が還元して微粒子が析出するのと同時にピロールが酸化重合されていく。この際、ポリマーが形成される段階で、ポリマー表面に存在している白金イオンが静電的な相互作用によって、お互いの近づけない状態で還元されるため、数ナノメートルの白金粒子が非常に高分散で存在するようになる。このように白金の還元とピロールの酸化重合を一段の反応で行う方法を見出していた。(図 -4)

現在の研究は、FC 電極触媒中の白金の拡散を抑えるために、白金とカーボンのコンポジット上に、ポリピロールの薄い高分子膜を形成させようとするものである。

図 -5 に示すように、まず過マンガン酸カリウム (KMnO_4) 溶液などを用いてカーボン担体表面を酸化し、親水化する。その後、酸で洗うことによって、担体表面をプロトンが沢山付いた状態とする。次に、白金錯体の水溶液を用いると、中和反応によって水が生成し、同時にプロトンと白金錯体がイオン交換され、カーボン担体の表面に Pt 錯イオンが付いた状態となる。これがピロールの酸化重合反応の触媒となり、Pt 錯体が還元されて Pt になると同時にポリピロールが重合される。カーボンの表面に Pt があるため、このような一段の反応によってカーボン担体の表面にポリピロールが薄い膜となって形成される。(このカーボン酸化処理による白金担持方法は、水畑准教授が旧大阪工業技術研究所に在籍していた研究グループにおいて発明された手法である。)

カーボン表面における Pt 錯イオンは、静電的な相互作用が強いため、ある程度その場所から移動しにくい状態にある。この状態でピロールを重合させると、還元反応がオンサイトで生じ、白金がお互いに分散された状態で形成されることとなる。

Pt/PPy コンポジットにおいてポリピロールはもともと主鎖構造に正の電荷を帯びており、白金イオンが持っていた正電荷がポリピロールに移った状態となっている。さらにカーボン表面では、イオンが還元されるため、負の電荷を持った状態となっている。このように静電的相互作用の強い中に白金の粒子が入っているという状態になっている。

量論的にそれぞれの反応で生成される物質量が決まってくる。全てが反応した場合には計算上 8nm ぐらいのポリピロール層が形成されることになる。このうち、半分弱ぐらいの反応が完結され、実際には Pt の上に 2~3nm ぐらいの層となる。非常に薄い膜であるため、ガスはこの間を透過することが可能となる。

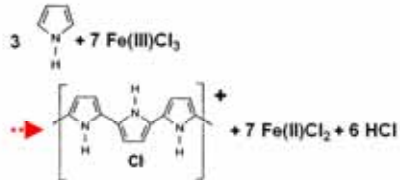
電子伝導性のあるポリピロールは、こうした高分子の中では非常に簡単に合成することができる。現状では安いとは言えないが、将来的に触媒の構成材料として工業的に生産・流通させることが重要である。現状でも工業的な用途として需要があると考えられ、将来的には、需要が増えれば安くなる可能性はあると思われる。

Pt/ポリピロールコンポジットの一段階重合

従来の方法

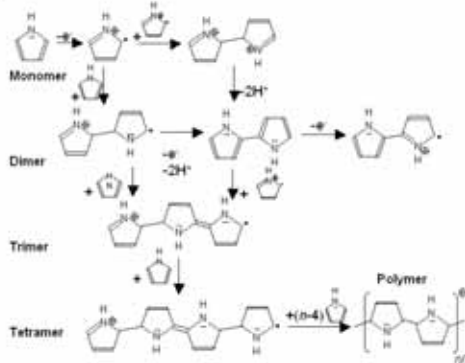
2ステップ
ピロール重合 → 白金担持

酸化重合

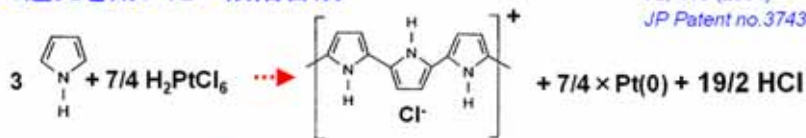


cf. Armes et al. J. Colloid Interface Sci., 118, 410 (1987)

電解酸化重合



Pt還元を用いた一段階合成



S. Deki et al., *Electrochemistry*, 72, 415 (2004)
JP Patent no.3743801

Pt⁴⁺ to Pt(0)の還元反応によってPPyが重合する。

図 III-4 Pt / ポリピロールコンポジットの一段階重合

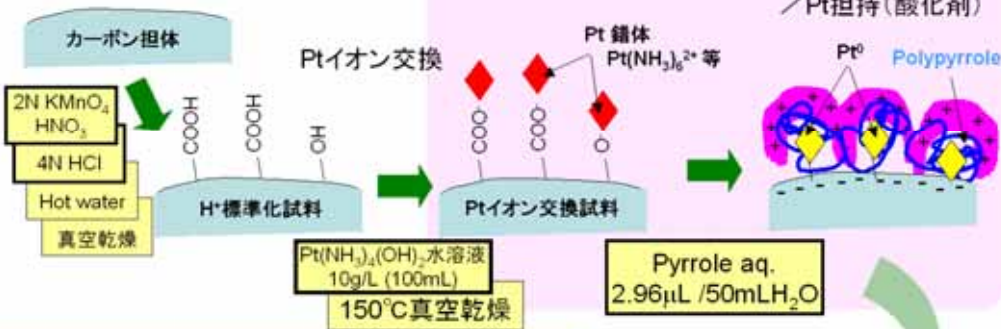
Pt/PPy on C 作製法 Vulcan XC-72Rの表面酸化処理と白金イオン交換処理

カーボン親水化による高分散担持の維持
Pt/PPyコンポジットによるカーボン被覆

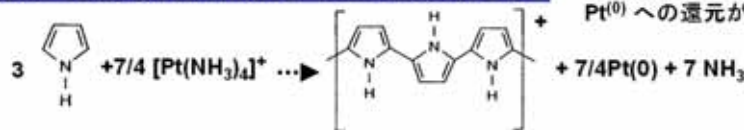
材料作製の目標は達成

カーボン表面の静電的相互作用に基づく
ブロッキングレイヤーの生成 特願 2005-373455

親水化・H⁺標準化処理



一段階プロセスによるPt / ポリピロールコンポジットの重合



重合の進行と共に Pt⁴⁺ から
Pt⁰ への還元が進行。

図 III-5 Pt/PPy on C の作製方法

(2) Pt/PPy on C コンポジットを用いた電極触媒評価

図 -6 は、このように Pt を担持した電極と、普通に Pt のみを担持した電極の CV カーブを示している。Pt/PPy on C コンポジットを用いた電極触媒の場合には、1 万回の掃引後でもほとんど変形がないのに対して、Pt だけを担持した場合には、CV カーブがフラットになっていき、ピークがどんどん小さくなっていくことがわかる。

図 -7 に示すように、Pt のみ担持した場合には白金粒子が大きな粒子に凝縮していくのに対し、Pt/PPy ではその分散状態が良い状態で保持されていることが分かった。

以上の実験では、硫酸の溶液中でグラッシーカーボンの上にこのようなコンポジットを展開しそこに酸素ガスを吹き込み、カーボンとの間で電子のやり取りをさせるという方法を取っている。しかし、実際の MEA では、ガスの供給の方向が逆であり、外側からガスを供給して内側でイオンや電子のやり取りをすることになる。その場合、実際に PPy を超えてガスが問題なく供給されるか否かを検証するため、現在、実際に MEA を構成して実験を行っているところである。

Pt/PPy on C コンポジットは、本来カソード電極に用いることを想定したものだが、アノードへの適用も考えられる。

(3) 電極中における白金拡散・凝集について

白金の酸化電位は、水素電位に対して 1V 程度のところにあり、粒子が小さくなると、この電位が下がってくるという性質がある。FC 電極内の白金では、最終的に 0.3~0.4V 位まで下がっている。つまり PEFC の作動電位 0.6~0.7V における OCV 状態では、白金は酸化されイオン化状態にある。Pt イオンは不安定であり、簡単にどこかに行ってしまう。すなわち、0.6V の OCV 状態では本来的に白金は耐久性が無いということになる。もたないのが当たり前で、これをどうするのかを考えないと、白金触媒は永久に使えないことになってしまう。

PPy の酸化電位は 0.6V 程度である。これより低いところに白金の酸化電位があるとなれば、先に白金が酸化されてイオン状態となる。このとき飛んでいった電子をピロールが受け止めれば、そこに電子のバッファができる。白金がイオンとして完全に酸化状態になっても、このバッファによってもう一度容易に還元して元に戻すことが可能となる。

以上のように、Pt/PPy コンポジット電極触媒においては、もともと高分散の白金が強い静電的な相互作用の中に固定された上に、さらに非常に長い期間酸化還元反応を繰り返しても、白金の粒子として残ることができると考察できる。

いわゆる白金バンドについては、前述の緩和分散も原因の 1 つになっている可能性も考えられるが、おそらくは酸化された Pt イオンが膜中のプロトンとイオン交換ながら膜中に入り込んで還元して粒子として析出しているものと考えられる。しかし、この現象を検出して実証するためには、今後さらに検討が必要である。

Pt/PPy on Cコンポジットを用いた電極触媒評価

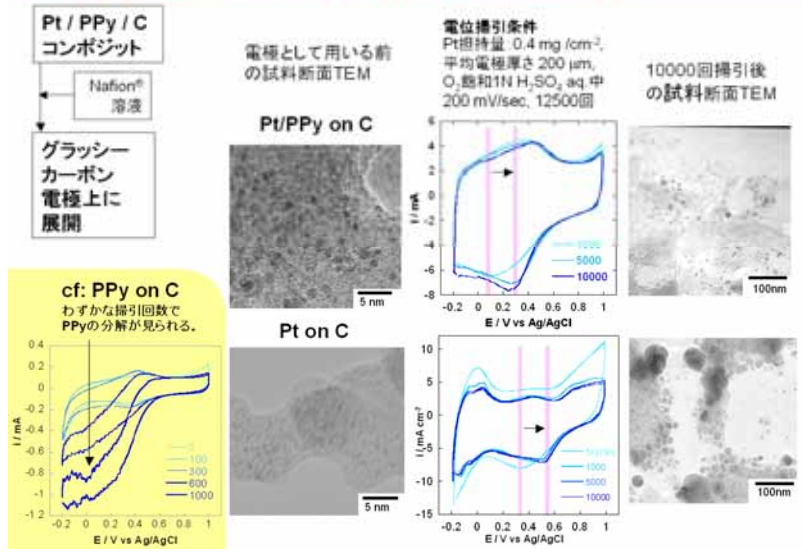


図 III-6 Pt/PPy on C コンポジットを用いた電極評価

Pt/PPy on Cコンポジットにおける白金拡散・凝集抑制効果

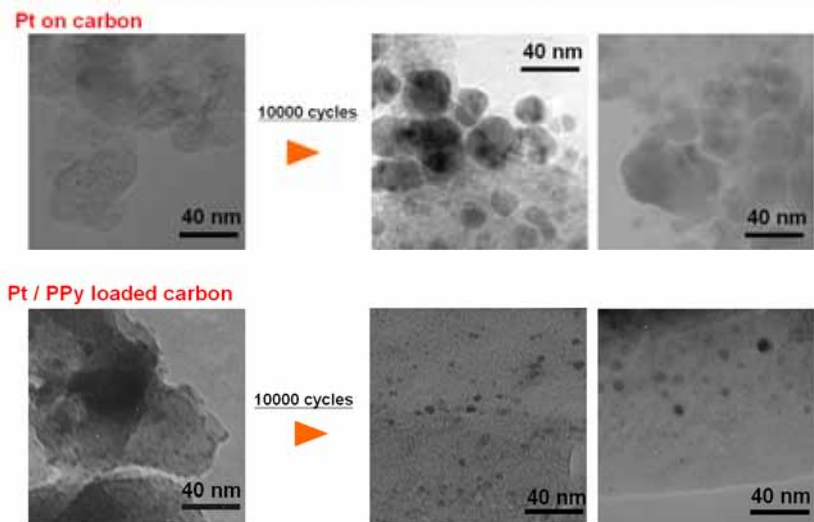


図 III-7 Pt/PPy on C コンポジットにおける白金拡散・凝集抑制効果

(4) コンポジット組成制御への試み

その他のコンポジットとして、白金とポリアニリンのコンポジットについても検討を進めている。

さらに白金パラジウム合金とポリピロールのコンポジットなども検討している。白金ルテニウム合金は難しいため、パラジウムとの合金から検討を始めている。

金属の粒径は、現状ではコントロールすることはできない。

(5) 中温領域燃料電池への展開の可能性について

少し目先を変え、りん酸の燃料電池について再検討すべきだと思っている。PAFC の弱点は高温のため白金が凝縮してしまうという話であった。では低温でも作動するような形で電解質を固定できないかということになって検討すると、水溶液の電解質が一番良いということになる。ナフィオン以外でも丈夫で長持ちする硫酸系の無機電解質について最近いくつかの提案がみられている。

作動温度を 150~200 にするのであれば、白金の凝集をどうやって押さえ込むかということになる。その場合には、提案する Pt/PPy コンポジット技術の展開が考えられる。ポリピロールは 200 程度までの耐久性は十分にある。

エネルギー的な使い勝手や材料的な問題を考えると、エネルギーデバイスは中温域に収斂してくる。電気化学的な反応が一番マイルドで安定的に行われる温度は 150~200 の中温域ではないかと考えている。

3. 国プロ等への参画状況について

NEDO プロジェクトとしては、前述のとおり次世代技術開発/固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発事業で「PEFC の触媒設計条件と電解質膜中の触媒粒子分散抑制効果に関する研究開発」を当研究室が単独で受託している。平成 16 年度~20 年度までの期間である。

NEDO プロジェクトでは、今後 MEA の評価がメインとなっていくが、検討すべき新たな研究テーマが浮上してきた。この研究が兵庫県の研究プロジェクトと科研費の対象として今年度から採択された。兵庫県の研究プロジェクトは、金属の種類に依わずコンポジットを作るプロセスに関するものであり、科研費では、アノード触媒を念頭においた合金系のコンポジットに関する研究を実施する。

CREST のプロジェクトとして、横浜国大の太田教授と大阪大学の桑原教授のグループとチームを組んで平成 12 年度~17 年度の間に「電気化学エネルギー変換の擬似三次元界面設計」の研究を実施した。その中で、当研究室では、Pt/PPy コンポジットを作製するところまでの研究を行った。

燃料電池に関しては、基本的に企業との共同研究は行っていない。相談されれば、それに応じるというスタンスでやっている。

4. 海外の研究機関等との連携について

前述のとおり、1992 年からドイツのキール大学工学部 Faupel 教授の研究室と緩和分散過程の動的挙動の解明について共同研究を進めている。

今年の 10 月 3~5 日に当研究室が主催する第 3 回目の高分子/金属ナノ粒子国際ワークショップが神戸大学で開催された。第 1 回目、2 回目はファウベル教授の地元ドイツで開催され、第 4 回目は 2009 年夏にチェコ共和国プラハで開催される予定である。

5. 大学の役割について

大学の研究においては、ある程度の割り切りは必要ではあるが、やはり学術的な興味を優先させ、基礎的な現象解明を行うことが必要だと思う。大学の最大の目的は人材の育成であり、そういう意味で、のちのち企業の中で自主的にテーマを見つけて能動的に動けるような人材を育てたいと考えている。そのためには、目先の具体的なテーマに固執してしまい、特定の課題や技術、知識に偏った人材になってしまうことは避けたいと思っている。

大学での研究が企業と同じことをやっていると意味が無い。同じ視点からものを見ていては意味が無い。光の当て方によって色々な見方が出てくるので、それによって初めて新しい解決策が見えてくる可能性があると考えている。そういう役割を大学が果たす必要があると考えている。

6. 国、メーカ等に対する要望について

FC メーカ等に対しては、最近は何が研究開発上の課題になっているかという情報をできるだけ出して欲しいという希望がある。例えば、白金バンドのような問題はお早めに出してくれれば、大学側からも早い段階からアプローチできるし、意見も出せる。そうしないと、例えば白金が触媒に使える使えないといったような重要な判断が間違った方向に流されるといったこともあるかも知れない。同時に、大学側にも近年研究の成果を厳しく問われることが多くなり、現実問題に即した研究テーマを設定せざる得なくなっているという事情もある。

NEDO プロジェクトのような（次世代技術開発以外の）大規模研究プロジェクトは、多くの人のオーソライズが必要なため、方向性が限られてしまう。それゆえ、企業にとって許容できる範囲内でお金は出すが口は出さないといったレベルでの研究について契約できればと考えている。

企業は、もう少し日本化学会や電気化学会、高分子学会などの学会とタイアップし、学会において最新の研究開発テーマに基づく冠セッションを設け、参加者を送り込むなど、学会や学識経験者との連携を深める、あるいは学会を企業の立場から活用するといったことをどんどんやるべきだと思う。学会側は、大歓迎のはずである。

以上

IV. 独立行政法人産業技術総合研究所

水素エネルギーグループ殿訪問インタビュー調査報告

日時	平成 19 年 12 月 12 日 (水) 10:00 ~ 12:00
場所	独立行政法人 産業技術総合研究所 つくばセンター
応対者	エネルギー技術研究部門水素エネルギーグループ グループ長 秋葉 悦男 主幹研究員

1. 水素エネルギーグループにおける研究の概要について

(1) 現状の研究概要について

基本的に産総研は、外部から資金を得て研究を行う組織である。そのため、具体的には、NEDO と実施契約を締結することによって、資金を得て、研究を遂行することとなる。

現在、当水素エネルギー研究グループが参画している研究プロジェクトは 3 件あり、全て NEDO の燃料電池・水素技術分野の研究開発プロジェクトである。そのうち水素安全利用等基盤技術開発が 2 件、もう一つが水素貯蔵材料先端基盤研究事業である。水素安全利用等基盤技術開発の 1 つは、高性能水素吸蔵合金と自動車用タンク開発というテーマで平成 15 年度から平成 19 年度まで進めてきたプロジェクトである。もう一つは単年度の研究プロジェクトであり、国際共同研究というテーマの中で、応募し、現在進めているものである。

水素貯蔵材料先端基盤研究事業は、2007 年 6 月に正式にスタートした平成 23 年度までの 5 カ年のプロジェクトであり、高性能かつ先端的水素貯蔵材料開発に必要な水素貯蔵に関する基本原理の解明および材料の応用技術に必要な基礎研究を幅広い分野で横断的に行うことを目標としたプロジェクトである。

(2) 関西センターとの関係について

1974 年にサンシャイン計画が始まったときに、当時の東京工業試験所と大阪工業技術試験所でそれぞれが水素吸蔵合金の研究を開始した。それぞれ水素輸送と水素貯蔵に分担しあって着手したという経緯がある。関西では多少重くてもよいということで希土類系、東京は軽いマグネシウム系に取り組むという形でスタートした。その後、技術交流も進んで今のような水素研究の形態になっている。現在、当つくばセンターは基礎研究に近く、関西センターでは応用研究に近いととらえている。関西センターでは二次電池にも研究分野を広げ、わが国のニッケル水素電池開発の基礎を築き、現在も研究の核となっている。

当初からこのようにお互いに独立した研究テーマで進めてきたが、現在、お互いを訪問しあったり人材交流を行ったり、密接に協力しながら研究を進めている。

2. 高性能水素吸蔵合金と自動車用タンクに関する研究状況

(1) NEDO プロジェクトの成果

NEDO の水素安全利用等基盤技術開発では、短・中期的な目標として、水素貯蔵合金と高圧容器を組み合わせたハイブリッドタンクの研究開発を行っている。

このタンクは、トヨタ自動車等の提案によるもので、現在のところ最高圧力を 35MPa においている。プロジェクトの開始当初からこうした圧力での水素貯蔵材料の特性評価を行った経験がなく、その評価装置の開発から開始する必要性が生じた。とくにバルブに問題があった。低圧では、ベローズバルブというタイプのバルブを用いるのが一般的であるが、圧力 25MPa くらいがベローズバルブの限界であった。

そこで、バルブそのものをあるバルブメーカーと共同で開発することとし、40MPa 程度まで使えるよいバルブを開発することができた。これが当プロジェクトの大きな成果のひとつであった。このバルブはすでに市販されている。

具体的には、一般的な高圧ガス用のストップバルブを水素用に強度計算をやり直してリデザインした。日本を代表するバルブメーカーの優秀な技術者と密接なコミュニケーションをとり、議論できたことがこの成果のポイントであり、それが産総研という公的な組織だからこそスムーズにできたと考えている。

平成 15 年の本プロジェクト開始当初は評価装置の開発という目標は無かったが、不都合が起きたため、NEDO と協議しつつ、まず国産化を進めつつ評価装置の開発を行うこととした。この成果は、研究そのものというより、研究環境の整備、成果の普及、技術の国産化というキーワードで表わされると考えている。

(2) ハイブリッドタンクおよび水素吸蔵合金の開発状況について

NEDO プロジェクトでの短・中期的なハイブリッドタンクの開発目標としては、150 以下で材料として 5.5wt%の吸蔵量、数千回利用に対して劣化 90%などが設定されている。タンクに用いる水素吸蔵材料としては、現状では合金系を想定しており、現在、100 以下で使える合金の最大吸蔵量は、当研究グループとトヨタ自動車が共同で開発した Ti-V 系の BCC 構造を有する水素吸蔵合金の 2.5wt%である。

上記目標の 5.5wt%は非常に高い目標値である。一方、トヨタは独自に開発しているハイブリッドタンクに用いる吸蔵合金として 3~4wt%という目標値を出している。この数値がわが国の吸蔵合金の短期的で現実的な目標値であるととらえている。トヨタの実証段階にあるハイブリッドタンクの性能は、タンクシステムで 2.2wt%、体積で 50g/L であり、体積密度は DOE の 2010 年目標値の 45g/L を 10%凌ぐ優れたものである。

システムで 3 wt%程度にできれば、5kg の水素を積めるタンク重量が 150kg、体積は 100L 程度になる。これは現状のガソリンタンクより少し大きいレベルで、50kg 重い程度のもとなる。重量は車全体で吸収できる余地があるが、体積については解決するのが難しいと聞いており、その意味では合金として 3.5wt%程度のもので開発できれば、かなり現実的なハイブリッドタンクができるのではないかと考えている。

耐久性については、1 週間に 1 回充填、10 年を想定すると 500 回程度の充填回数になる。BCC 系合金の弱点の一つが耐久性であり、今後の重要な課題と思われる。

当研究グループでは主に合金系の材料開発に取組み、軽金属の Mg や Ca などを中心に合金開発を行っている。当面の短期目標を達成できるのは合金系しかないと考えている。我が国の合金開発は世界で最も進んでおり、日本の優位分野の一つでもある。長期的には、より低圧力で利用可能な安価で安全で高い吸蔵量を有する材料の開発が必要である。圧力タンクには高価なカーボンファイバー製強化繊維やアルミや樹脂などのライナーが必要となり、圧力を下げることはコスト低減に極めて重要である。

(3) トヨタ自動車のハイブリッドタンク等について

トヨタのハイブリッドタンクは、通常の高圧タンクと同様に圧力の操作のみで水素の出し入れが可能である。必要な熱のやり取りに介するのはラジエータのみで、外部からの熱の供給の必要がない。実際にリースしている FCHV で搭載されている水素タンクと同じサイズのタンクでの実証データが論文で公表されている。また、用いている水素吸蔵合金は、当研究室と合同で開発した BCC 構造を有する合金をベースにしたものである。

現状の 35MPa の水素ステーションを利用し、5 分以内に 80%の充填が可能であり、現状の高圧タンクの 2 倍の速度での充填が可能となっている。

こうしたタンクを実証レベルとして開発したことは非常に大きな意義がある。

(4) 水素タンク研究の考え方

車の顧客は水素タンクをみて車を購入するわけではないので、本来その部分はオープンコンペであるというのが一般的な受け止め方であろう。その意味で FCV の水素タンクもインフラの領域にあると考え、現状では皆で協力して知恵を出しあい、そこに国から資金が出て作り上げていくべきものであると考えている。

3. 水素貯蔵材料先端基盤研究事業について

(1) 本事業の狙いと概要

本プロジェクトは、経済産業省による水素・燃料電池分野における「バック to ベーシックによる研究推進」の方針の下で立案された FC-Cubic と Hydrogenius に並ぶ 3 つ目の基礎研究プロジェクトである。(2008 年 1 月 HYDRO STAR と命名)

水素貯蔵材料は 1970 年頃に発見された。日本では水素吸蔵合金を負極に用いたニッケル水素電池が 1990 年代に売り出されているが、基礎研究が極めて弱い状況にある。研究者の数も少なく、質的にも欧米に対して劣っている状況にある。

水素貯蔵材料の実用化が直近ではないとすれば、技術よりも基礎研究に力を入れたほうが得策である。将来応用研究を行うにしても基礎をしっかりと学んだ人材を育てないと、いざブレークスルーが必要というときに、人材がいなかったことになりかねない。こうした危惧から本プロジェクトが立ち上げられたというのが実情である。

参画団体としては、産総研以外には文部科学省管轄の大学と団体である。プロジェクトリーダーは当研究グループの秋葉悦男主幹研究員が担当する。

具体的な目標は設定されていない。材料開発を目標とはせず、材料開発を担当する水素安全利用等基盤技術開発の研究などで生じた問題に対して支援を行うことを想定している。バックグラウンドは、応用研究に近いところとして評価と計算科学、ならびに基礎研究としての固体物理である。この 3 本柱があって研究が完成すると考えている。このプロジェクトでは、全日本の代表チームのように、各団体のエース級の人材を集めて仮想的な組織を作り上げたいと考えている。各エースは自らの組織に所属しつつ持ち帰りで本事業に参加してもらおうというように進めていく予定である。

現時点では、金属系と非金属系水素貯蔵材料の基礎研究チーム、計算科学による水素貯蔵材料の基礎研究チーム、大型放射光施設 SPring-8 を利用した物性研究チーム、大強度陽子加速器施設 J-PARC を用いた水素吸蔵材料の評価を行うチームの 5 つのチームがある。

水素貯蔵材料の基礎研究チームは、従来から材料研究を行っている専門家グループであり、主にそれぞれの材料に則した評価法を開発する。

SPring-8 のチームは、従来から水素吸蔵材料の研究を行っている(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)のメンバーが参画する。外部からのテーマを受け入れて評価を行っていく予定である。

J-PARC のチームは、J-PARC を利用した世界最高の中性子ビームを用いた水素吸蔵材料の評価装置を建設する。2008 年には完成の予定であり、その後は、クライアントと共同で、複雑なデータの解析を行っていく予定である。

計算科学のチームには、産業技術総合研究所の計算科学研究部門の研究グループ、東

北大学金属材料研究所計算材料学センター長の川添良幸教授とその研究グループ、NIMS（独立行政法人物質・材料研究機構）材料信頼性センター長の小野寺秀博氏の研究グループなど我が国最高峰の計算科学、材料科学の専門家に参画していただく。計算科学では新しい材料について誰よりも早く計算し評価しないと価値のある研究にならない。そのため、新規に材料を開発する部隊と連携しながら、研究してほしいと考えている。

産総研がまとめ役になると、大学・文科省関連団体と企業の両方との連携が図れるということに大きなメリットがあると考えている。

(2) J-PARC を用いた水素評価装置について

大強度陽子加速器施設 J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex)は、茨城県東海村にある世界最高クラスの大強度陽子ビームを生成する加速器と、その大強度陽子ビームを利用する実験施設で構成される最先端科学の研究施設である。

ここに約 10 億円の資金を投じて世界最高の中性子ビームを用いた水素貯蔵材料の評価装置を建設中であり、2008 年に完成の予定である。これを作ることで本事業の大きな成果の一つだと考えている。

本事業では、この施設を用いて企業などから材料の提供を受けて評価を行うことを任務の一つとしている。まず、FCCJ への参加企業を中心に NDA を締結し、企業からサンプルを提供してもらって共同研究を行う仕掛けを作っているところである。当面、国内外の自動車メーカーと石油業界、水素に係る設備メーカーとの間で NDA を締結中である。

本事業の一面は基礎研究であるが、他の一面は企業が水素材料関係で困ったときに世界最高の評価装置と世界最先端の計算科学研究者がいて、何らかの形で相談に乗れることを保証したいと考えている。その意味で、完全な基礎科学ではなく、基礎科学と応用分野の橋渡しといった役割を担えればと考えている。また、そうした役割を担える専門家に参画していただいている。

水素は原子核と電子の簡単な構造をしているため、通常の電子顕微鏡や X 線では観測することができない。水素を観測できるのは中性子線と核磁気共鳴 (NMR) のみである。このうち結晶構造など水素位置の研究に関しては、中性子線がほぼ唯一の水素を調べる方法となる。

中性子線を用いたこの評価装置を用いると、例えば水素材料の中に水素がじわじわしみこんでいく様子を時間分解能によってストップモーション的にみたり、分解写真で細かく見たりするようなことが可能となる。

(3) 米国ロスアラモス国立研究所との共同研究について

平成 18 年 9 月 13 日に、経産省は“二階俊博経済産業大臣とテリー・ウォーレス米国ロスアラモス国立研究所副所長は、9 月 12 日(火)に会談を行い、平成 19 年度に「水素貯蔵材料先端基盤研究」を行うなど、研究開発協力を推進することで合意した”と発表した。

この共同研究は順調に進んでおり、契約締結も順調である。米国での共同研究の拠点は、ロスアラモス研究所の LANSCE (Los Alamos Neutron Science Center) である。そこには J-PARC の 100 分の 1 規模の中性子ビームがあり、J-PARC で作る評価装置と類似した装置があるため、当初からそこを使って共同研究をしたいと要請していた。明日、初めてわれわれのサンプルが測定される状況になった。

LANSCE を使うことによって、日本側の経験値も上がり、米国側にとっても世界最高性能の J-PARC の装置へのアクセスが可能になり、共同研究は両者にとってメリットがある関係になる。米国側で使っているソフトウェアの一部を J-PARC の装置のために借りることもあり得る。そもそも中性子施設は世界で数か所しかなく、1 箇所に 5 ~ 20 台、世界で 100 数十台の評価装置しかない貴重なものである。

4. 水素貯蔵材料に関する研究内容について

(1) 当研究グループにおける水素貯蔵材料に関する具体的な研究内容

水素吸蔵量を増やす取組の一つは、新しい材料を合成して作るという材料開発である。これはシンプルであるが、最も挑戦的であり、大変な方法である。何年やっても何も発見できないかも知れないというリスクがある。そのため、まさに産総研のような公的なポジションにいる人間が行うべき仕事だと考えている。

もう一つは、やみくもに探しても効率が悪いことから、科学的なバックグラウンドを持ちつつ開発を行うために、中性子線などを使って水素が入り込む物質の構造解析を行い、構造解析の観点から新しい物質の探索を試みることである。当研究室では結晶構造という原子の組み方、水素の入り方という観点からの材料開発を目指し、構造解析手法、評価解析手法の検討も行っている。これは世界で最高水準にあると思われる。さらに派生的なテーマとして、水素の吸蔵・放出の際の膨張・収縮により原子レベルで欠陥が生じる問題がある。固体中に水素が入ったときに大きい場合には体積が 30% 以上膨張する。例えば室温においても水素を吸蔵すると、一瞬にして一辺が 10% 伸び、水素を抜くと一瞬にして元に戻るといったことが生じる。こうした膨張・収縮によって原子が乱れる現象を Defect と呼んでいる。この欠陥がいろいろな悪い影響を与えると考えられているが、良い影響を与えている可能性も一方ではある。この欠陥をどのようにして減らせるかあるいは意図して制御するかが研究テーマとして存在する。このように構造解析においても、単に平均的な構造を調べるだけでなく、乱れや部分的な構造に着目して解析を進めていく必要がある。この欠陥が重要であることを世界に発信したのは当研究グループが初めてであり、これに関する研究も世界のトップクラスにある。

当研究グループでは、以上のように新しい物質の開発を進めながら、一方では構造解析、一方では乱れの解析をしているスタッフがいる。グループ全体で 10 数名であるが、こうした複数のテーマに取り組んでいる状況である。

(2) Hydrogenius との関係について

Hydrogenius での仕事は、100 万個のスケールの中に 1~5 個の水素原子が入ってきてじっくり時間をかけて何か悪さをして、ある日突然全体が壊れるという現象を扱っている。それに対して、当グループでは、100 万個のスケールの中に 5 分間で 200 万個~300 万個の水素原子が入ってきて 1 週間でいなくなったと思ったら、また 5 分間で 200 万個~300 万個の水素原子が入ってくるという現象を取り扱う。

このように取り扱っている現象のスケールが 100 万倍異なっているが、現象の科学的な領域については共通している部分もある。そのため、同じ部分は共同研究が可能であるし、違う部分は別々に取組む必要がある。そういう議論を村上先生としているところである。

(3) 水素貯蔵材料の現状

5 分で水素が吸蔵でき、じわじわと水素を放出し、PEFC と同じ 65 くらいで作動するような実用的な吸蔵材としては、トヨタと共同開発した Ti-V 系 BCC 構造合金の 2.5wt% が未だに世界最高値である。

それ以外の温度や速度、圧力領域ではこれ以上の吸蔵能力を示す材料が開発されている。日本全体、世界全体をみると、こうした方向性で検討が進められている。

例えば、最近注目されている無機系の貯蔵材料には、200 で 5 wt% を超えるようなものが開発されている。ただし、車載の場合、温度が高いと水素の放出のためのエネルギーをどこから得るかということが課題となる。

現在、有望視されているもののひとつに Mg 系の合金がある。Mg 系の合金は吸蔵量は比較的高いものの、反応温度が高いという問題がある。Mg 系に関する研究は大きく 2 つの方向性があり、ひとつは Mg の反応温度は変えずに速度だけを変えようとするものと、反応温度を下げようとする挑戦的な方向性がある。当研究グループでは 100 を目標に取り組んでおり、一部は成功している。PEFC での利用を想定すると、100 程度がひとつの目標水準となる。

例えば、将来的に固体電解質とプロトン伝導を使えば 300~250 で稼働する固体電解質形の燃料電池が成立するのではないかと考えている。そうすると、Mg 系の合金が使えるし、また不純物が含まれた水素の利用も可能になると期待している。

水素貯蔵材料は、用途や使用条件によって、様々なカードを切ることができ、燃料電池の進歩に合わせて、様々な貯蔵材料が利用できる可能性がある。

ケミカルハイドライドは、反応温度が高いため、車載に用いることは期待できない。ただし、トルエン-メチルシクロヘキサン系などを用いて水素輸送に使うことは有効と考えられる。熱源のあるところでこのようなケミカルハイドライドを水素のデリバリーに用いることは効率的であり、可能性がある。

5. 海外の研究機関との連携について

海外のトップクラスの研究者との交流はあるが、共同研究にまで発展しているケースは数例である。基本的に、テーマがあり、相手が信頼に値する人でない限りは、海外研究者、研究機関との連携は実質的な研究を進めることができないため、共同研究の数を闇雲に増やすことは考えていない。

以上

V. トヨタ自動車株式会社殿訪問インタビュー調査報告

訪問日時	平成 20 年 1 月 16 日 (水) 13:30 ~ 15:30
場 所	トヨタ自動車株式会社 本社
応対者	FC 技術部

1. クリーンエネルギー自動車の開発戦略について

(1) 基本方針と取組概要

トヨタの、FCV を含めたクリーンエネルギー自動車に対する基本的な考え方は一貫している。将来を見据え、可能性のある技術全てに取り組み、適時・適地・適車でお客様に提供するのが当社の基本スタンスである。技術を確立しておけば、商品化の進め方は経営判断になる。

ハイブリッド車 (HEV) については、2010 年代の早い時期に年 100 万台の販売を目指すということを公表している。プラグインハイブリッド車 (PHEV) についても、先日のデトロイト国際自動車ショーで 2010 年までにリチウムイオン電池を搭載した PHEV を販売開始する旨発表した。

電気自動車 (BEV) については社内でも様々な議論があるが、個人的には今見えているリチウムイオン電池技術ではフルサイズの BEV は困難であり、可能性があるのは e com クラスのコミュータ BEV と考えている。エネルギー密度不足以外に、充電時間の問題や、深い SOC まで充放電する使い方をした場合の電池耐久劣化の問題なども残されていると思う。

バイオ燃料に対する取り組みとしては、今後販売されるガソリン車は世界的には E10 レベルに対応されていくであろうし、ローカルの E85 や E100 の市場がある地域には、それに対応していくこととなるであろう。

クリーンディーゼルについては技術開発を進めており、製品をすでに持っている。必要なのはいつ、どの市場に出すかという判断で、基本的には、SUV やトラック系車両にはディーゼルが向いていると思われる。ただし、ガソリン車に比べてディーゼル車の排ガス規制は緩いのが実体で、技術的な課題が残されていると思う。

自動車を取り巻くグローバルな問題として、現時点では、エネルギー問題よりも CO₂ に代表される地球温暖化問題への世論の関心が高いと思われる。今後石油供給量のピーク (山) が来ると予想され、燃料価格の更なる高騰に対応したニーズがその先に来ると考えている。

(2) PHEV に関する課題, 取組状況

PHEV には二次電池への要求性能が増大するという課題の他にインフラに関する課題もある。充電インフラとして家庭用電源が使えるのは強みであるが、例えば図書館や公民館といった公共の場所で充電可能なようなスキームが必要ではないだろうか。また、IC カードを作って登録して簡単に課金できるような仕組みは有効と思う。二次電池については、よりエネルギー密度を高めていく必要がある。現在、実験車として Prius 改造の PHEV を日米欧で走らせているが、これには Prius の NiMH 電池を二セット搭載している。開発中のリチウムイオン電池が量産され、サイズや重量が半分になれば重量やパッケージングは楽になる。

今、この実験車の 10・15 モードでの EV 走行可能距離は 10 数 km だが、これ以上の EV 走行レンジが必要とされる場合は、電池量を増やす必要があり、重量、容積、コストも増加する。現在、実験を通じて商品性の最適点を探っているところである。現在の実験車は、100km/h までの EV 走行が可能である。システムもトヨタハイブリッドシステム (THS) ベースであり、バッテリーの残量が減少すれば通常の THS 走行に移行する。また、EV 走行時であってもパワーが必要な時は自動的にエンジンがかかる仕組みである。外部充電を行わなくても通常の Prius と同様の走りが可能である。

(3) バイオ燃料に関する取組状況

食糧と競合する原料からのバイオ燃料では普及できる見込みはないと思う。現状で可能性があるのはブラジルにおけるサトウキビと考えている。サトウキビであれば食糧との競合は少なく、かつ Well-to-Tank でのエネルギー効率も高く、CO₂ 排出量も少ない。実際の製造過程もシステムティックに作られていると聞いている。グローバルな供給は難しいが、ブラジル国内には十分に供給可能であろう。

あとはセルロースからの製造や藻などによる製造であるが、未だ研究段階である。ローカル的に E85 や E100 があつたとしても、供給量からは世界的にみると平均 E10 ぐらいが妥当であると予想される。

2. 燃料電池車市場導入までのシナリオについて

(1) 本格市場導入までのシナリオ

現在，限定的に市場導入しているのは日本と米国のみである。現在までにナンバーを取得して公道を走行した FCHV は表 V-1 に示すように日米で合計 62 台である。当面はサポート体制等の制約のため日本と米国での導入が中心となる。

技術開発にフィードバックをするということが目的であれば，この程度の台数で十分であり，これ以上台数を増やすのは，ある程度コストが下がり，多くのお客様に使って頂けるという判断が出たときである。

FCCJ において，2015 年までに，車側もインフラ側も技術開発や規制緩和を進めていき，市場を見ながら 2015 年にお互い投資をやるかどうかの判断を，タイミングを合わせる事で，「鶏と卵」の関係を避けようと議論している。

そのためには，まず，判断できるような必要条件の準備が必要であり，車両メーカーの準備ができて車を出そうとしても規制緩和もできていない，インフラもないということでは，マーケットが形成されない。そういう条件整備を政府，エネルギーメーカーと協力して進めていく必要があると考えている。

表 V-1 FCHV の公道走行車両台数

		日本	米国	合計
2002 年モデル	リース	11 台	7 台	18 台
2005 年モデル	リース	12 台	9 台	21 台
	社内試験車	23 台		23 台
合計				62 台

(2) カリフォルニア州 ZEV 規制への対応について

リチウムイオン電池によって BEV が普及できると考え，期待している人が多いとも聞いているが，前述のとおり，エネルギー密度が NiMH 電池の 2 倍程度ではフルサイズの BEV の市場化は無理と思う。通勤 BEV の市場も簡単ではないことは e-com で実証済みであり，現状のリチウムイオン電池の技術だけではこれを覆すことは大変ではないだろうか。

ZEV 規制は 08 年 3 月に内容が決定されるので，その内容によって最終的な対応方法は判断することになる。ZEV 対応を優先せざるを得ないので，各社が日本よりも米国で多くの FCV を走らせることになるのはやむをえないのではないかと。

3. 燃料電池車の実証走行について

(1) FCHV の実証走行について

国内のリース車の走行距離については、お客様によって差が大きく、月に 400～500km の方もいれば 1000km 以上走る方もいる。

現在、当社の試験車のほとんどが 70MPa 対応のため、社内の水素ステーションを使うことが多い。

実証走行によって、社内の耐久モードでは分からなかった劣化モードがあるなど様々なことが明らかとなった。とくに起動時や停止時における触媒・触媒担体の劣化や、氷点下始動した時の劣化モードなどが分かってきた。

10 年、15 年の耐久性については、そこまでは実際に走っていないので、確信をもって判断することができないのが現状である。また、耐久性を走行距離や耐久時間だけで評価するのが難しいことも分かってきている。起動停止が頻繁で低速で走り、アイドリングが長い走行パターンが最も耐久劣化しやすいからである。この場合、15 年走っても 6～7 万 km しか走らないことになる。単純な 5000 時間というような耐久目標値も、同じ理由で市場を代表できているわけではなく、起動停止のパターンなどとセットで考えないと意味がない。

市場 15 年相当を代表出来る加速耐久評価法の確立が必要で、試行錯誤中である。

(2) 燃料電池バスの実証試験について

現在、中部国際空港で FC バスの実証走行を JHFC2 の中で行っている。これは継続させていきたい。現時点で FC バスを海外で走らせる予定はない。

FCV 普及初期の段階でインフラを準備していく段階での FC バスの役割は非常に大きいと考えている。例えば、都市の中心部に 1 箇所水素ステーションを作り、そこで FC バスを走らせるのは非常に効率的な仕組みである。FCV 普及の初期段階に FC バスなどを適切に準備して水素インフラの整備に貢献する必要があると考えている。

ただし、FC バスの課題は、耐久性が乗用車の 3～5 倍要求される点と、乗用車に比べて、コスト低減の要求が強いことである。

そのため、普及初期に、FC バスを多くの台数導入する場合には、政府や地方自治体からのいろいろなサポートも期待したい。

4 . FCV の技術課題等について

(1) スタックの耐久性について

電解質膜の亀裂によるクロスリークの問題は、ある程度の改善が図られてきたが、一方で触媒・触媒担体の劣化には更なる検討が必要な状況である。

クロスリークの原因には主に過酸化水素等による化学的な劣化と、膨潤と乾燥の繰り返しによる機械的な劣化の2つがある。今後は性能向上のため薄膜化の方向にあるが、膜厚を半減すると強度も半減するため、機械的な劣化をどこまで抑えられるかが課題となる。

触媒に関しては、シンタリングと白金析出の問題がある。白金析出は、高電位や電位変動によって白金がイオン化して溶出する現象である。触媒担体に関しては、起動停止などに伴ってカーボンが酸化腐食するという問題がある。これらに対する対処方法としては、材料を改良する方法と制御方法の改良の両面のアプローチがされている。当社でもこの両面から検討を行っているが、触媒・触媒担体の劣化に関して15年の耐久性は、今後、白金の量を低減させることと合わせて、まだ課題が多いと感じている。

(2) 氷点下始動等について

FCVの低温始動性については、氷点下30度における始動性をガソリン車並みにすることを目標にしている。技術的にはある水準に達している。

ただし、改良すべき点はいくつかある。意地悪運転、例えば、氷点下でイグニッションキーをONにして、十分に暖機せずにストップさせてしまった場合などへの対応である。

氷点下等での運転時の課題として、低温時の二次電池容量の低下の問題もある。ニッケル水素電池でもリチウムイオン電池でも同様にブレーキ回生量が減ることで燃費が悪くなる。加えて暖房用ヒーターも課題で、現状ではエネルギー消費が増えて燃費悪化させている。

(3) コストについて

よくコストをオーダ的に1/100にする必要があると言っているが、これは設計や材料、生産技術などで下げる分が1/10、量産効果による分が1/10という意味である。ガソリン車であっても10台程度の試作車ではコストは非常に高い。最初の目標は、ガソリンHEVと競争できるレベルにすることである。

FCV実用化のための最大の課題はコスト低減と耐久性の両立である。例えば白金量を1/10にする必要があるが、そうすると耐久性が厳しくなる。他の材料でも同様である。膜でもセパレータでもコスト低減のためぎりぎりに削っていくと耐久性が無くなっていく。結局、コストと耐久性のバランスをどう取っていくかが最大の技術課題になっている。

(4) 航続距離等について

70MPa 高圧水素タンクを搭載した改良型 FCHV の航続距離は 10・15 モードで 780km である。数値上ガソリン車と同等だが、真夏のエアコン使用時や寒冷時のヒータ使用時には十分ではない。タンクスペースもガソリンタンクの 2 倍以上の大きさである。現状ではエンジニアリング的に可能な貯蔵方式は高圧水素であると考えられるため、当面はこの延長線上で検討していくしかないと考えている。ただし、当社では高圧 MH 合金タンクの開発も進めているため、ある程度の高圧で良い水素貯蔵材料が見い出せれば、それをタンクにする技術は保有している。

(5) 水素の搭載圧力について

高圧タンクにおける現状の課題は、70MPa における実証試験を行い、インフラ側を含めてどのような問題があるのかを明確にすることと考えている。世界的に 70Mpa が推進されているが、もし最適な圧力が 70MPa と 35MPa の間にあるのなら、車側、インフラ側からそれも検討する必要があると考えている。ただ、現状ではそうした議論をするデータが十分には無く、今後の課題である。

(6) メタルセパレータ、炭化水素系膜について

セパレータについては金属製も試みている。金属製は小型軽量化していこうとするときには、その薄さと製品の安定性は魅力的である。一方で金属製の課題も難しさも分かってきた。耐腐食性と表面抵抗の増加であり、その点ではカーボンコンポジット製の方が有利である。炭化水素系の電解質膜についても検討を行っている。フッ素系の電解質膜も相当改善されてきているので、最後は、コスト低減のポテンシャルがどちらが大きいかになってくると考えている。

5. 他社・他団体との協力関係について

FC-Cubic は、実際の研究活動が始まったところなので、今後の成果を期待したい。Hydrogenius は素晴らしい活動をしているし、九州大学が世界の水素材料研究の中心になってくれることは大変うれしいことである。今後もサポートしていきたい。産総研の秋葉先生がリーダの水素貯蔵材料に関する基礎研究プロジェクト (HYDRO STAR) に対しても、できるだけの協力を行っていきたい。

6. 国・行政機関・インフラ供給会社等に対する要望

国やインフラ供給会社に対する要望としては、FCCJ のシナリオワーキングで議論されている内容そのものである。現在日本においては、70MPa 対応ステーション建設への対応など水素インフラ側の取り組みが弱いという感がある。この原因のひとつとして国を説得するだけの FCV 普及のシナリオが見えていないことが挙げられる。そのため、現在、FCCJ において FCV を推進する自動車会社、エネルギー会社等が FCV 普及のためのシナリオを検討している。

2015 年の大量生産判断時期に向けて当社を含めた自動車メーカーは技術開発を進めていくが、一方でインフラ側の技術開発を含めた検討が不十分ではないかと感じており、それを是非進めてほしいと考えている。

現在、車側は、大量普及に向けた一連の動きの一例として、自工会を中心に車載タンクに関する基準の見直し要望を出そうと検討を行っている。

インフラ側も是非、ガス、石油等のエネルギー会社がリーダーシップを取ってインフラ側の研究開発、規制緩和を推進してほしい。

以上

VI. 日産自動車株式会社殿訪問インタビュー調査報告

日 時	平成 20 年 1 月 21 日 (月) 16 : 00 ~ 18 : 00
場 所	日産自動車総合研究所
応対者	先行車両開発本部 FCV 開発部 環境・安全技術渉外部

1. クリーンエネルギー自動車の開発戦略について (NGP2010)

(1) CO₂ 排出削減に向けた長期目標

2006 年 12 月に当社の環境に対する取り組みの考え方と、2010 年を目標とした当社の環境に対する具体的な活動内容をまとめた「ニッサン・グリーンプログラム 2010 (NGP2010)」を公表した。この中で、当社は環境に関する 3 つの重要課題として、「CO₂ 排出量の削減」「エミッションのクリーン化」「資源の循環」を掲げている。この重要課題の一つ CO₂ 排出量の削減については、長期的な目標として IPCC の第三次レポートに示された「CO₂ 濃度レベル 550ppm 以下に安定化」(図 -1) させるため、2050 年までに新車の CO₂ 排出量を 2000 年比 70% で削減することを掲げている。図 -2 は CO₂ 排出量削減に対する各パワートレインのポテンシャルを表わしている。内燃機関では 30%、ハイブリッド車 (HEV) では 50% であり、これのみでは長期目標である 70% の削減を達成することができない。一方、電気自動車 (BEV) では現状の全世界の電源構成を前提にすると 50% 弱、燃料電池車 (FCV) では現在の水素の製造方式では 60% である。

そのため、再生可能エネルギー起源の電気や水素と BEV、FCV の技術の組み合わせがないと CO₂ 排出量削減の長期目標である 70% は達成が不可能であることが分かる。そこで当社では、短期・中期的取り組みとしてエンジン技術の進化をメインストリームとし、長期的な取り組みとして電動車両の投入・普及と、さらに他のセクターと連携して再生可能エネルギーの活用を図っていくことが必要であると考えている。

(2) エンジン技術の進化

ガソリンエンジンについては、最終的には排出ガスはほとんどゼロエミッションで、CO₂ 排出量 30% 削減を目指していく。ディーゼルエンジンについては、更なる CO₂ 排出削減に取り組みつつ、排出ガスエミッションの 90% 削減を目指していく。

バイオ燃料に関しては、全世界で販売するガソリンエンジンは既に E10 への対応済みである。北米における E85 に対しては、今後も継続的に拡大していく予定であり、ブラジルにおいても今後 3 年以内に E100 対応の車両を導入する予定である。

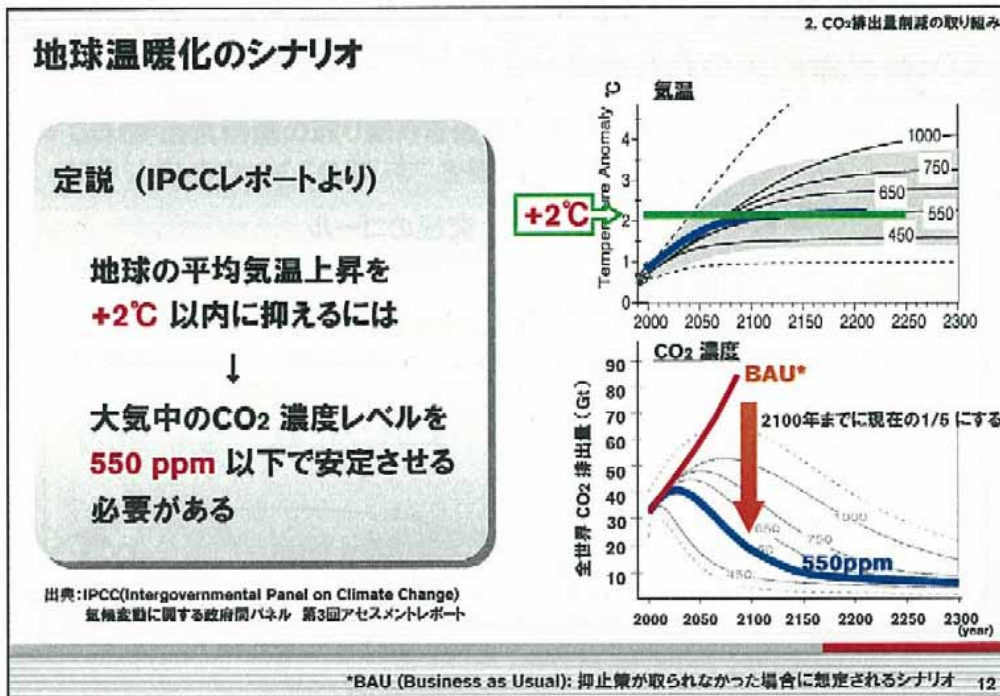


図 VI-1 IPCC による地球温暖化のシナリオ

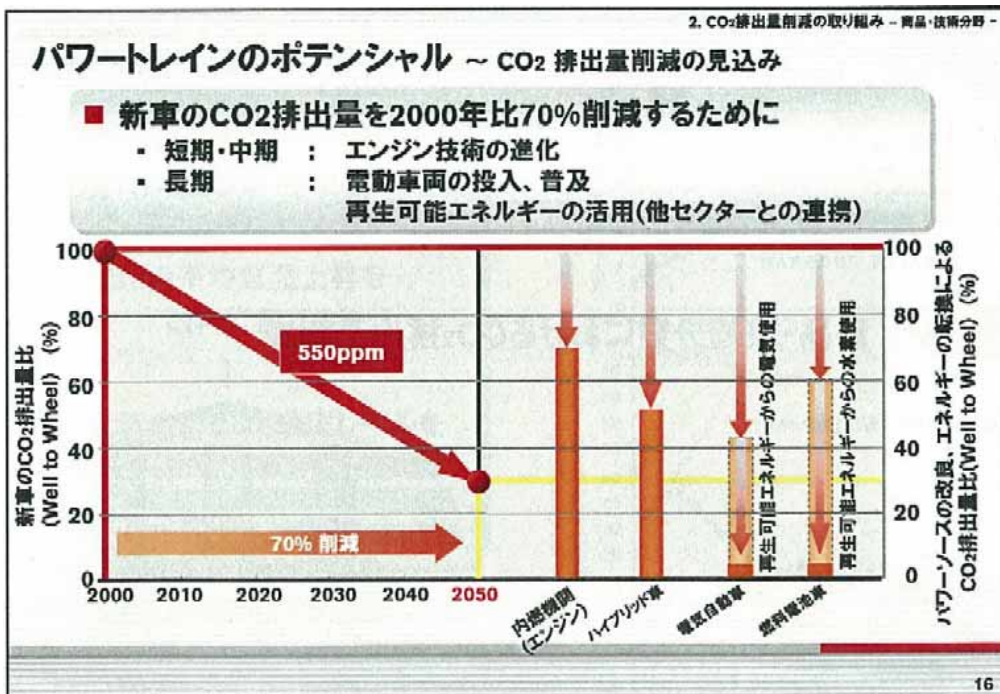


図 VI-2 NGP2010 における CO₂ 排出量削減の長期目標とパワートレインのポテンシャル

(3) 電動車両の投入・普及

図 -3 は、当社におけるパワートレインのロードマップを表している。短期的にはガソリン、ディーゼルの内燃機関の効率改善をメインに取り組み、中長期的には HEV の効率的な投入、BEV、FCV の先行投入、プラグインハイブリッド車 (PHEV) の開発に取り組んでいく。

当社による一つの試算として、2050 年におけるグローバルでの内燃機関 (ICEV) の新車に占める割合が 40%、PHEV と HEV で 30%、BEV と FCV で 30%程度 のとき、CO₂ 排出量の 2000 年比 70% の削減が可能となる。これは当社の長期目標であるが、他社においても同様の割合が達成できて初めて 70% 削減が可能となる。

HEV の取り組みとしては、2007 年型としてトヨタハイブリッドシステムを用いたアルティマ HEV を北米に導入している。並行して現在内製の HEV システムの開発を進めており、当社独自の HEV を 2010 年度に北米、日本に投入することを計画している。PHEV も並行して研究開発を進めているが、具体的な投入計画はまだない。

FCV については、現在自社製スタックを搭載した X-TLAIL の 3 代目を 2005 年仕様として導入している (図 -4)。70MPa の高圧水素タンクを搭載し、航続距離は約 500km、動力性能もガソリン車とほぼ同等に達している。現在、更なる性能向上と、耐久性、コストの削減に向けて継続的に開発を進めている。

BEV に関しては、2010 年までに実証実験を開始し、2010 年代の早い時期に BEV をまず日本から投入することを目標としている。当面はフリート利用を想定し、将来的にはカスタム利用やプライベート利用に拡大していくことを想定している。

共通する電動化技術としてモータ、バッテリー、インバータの研究開発も強化している。具体的には 1 基で二軸の出力を取り出せるスーパーモータ、従来から研究開発を進めているコンパクトなりチウムイオンバッテリーの進化、小型軽量化と低コスト化を目指したインバータの研究開発の強化である。

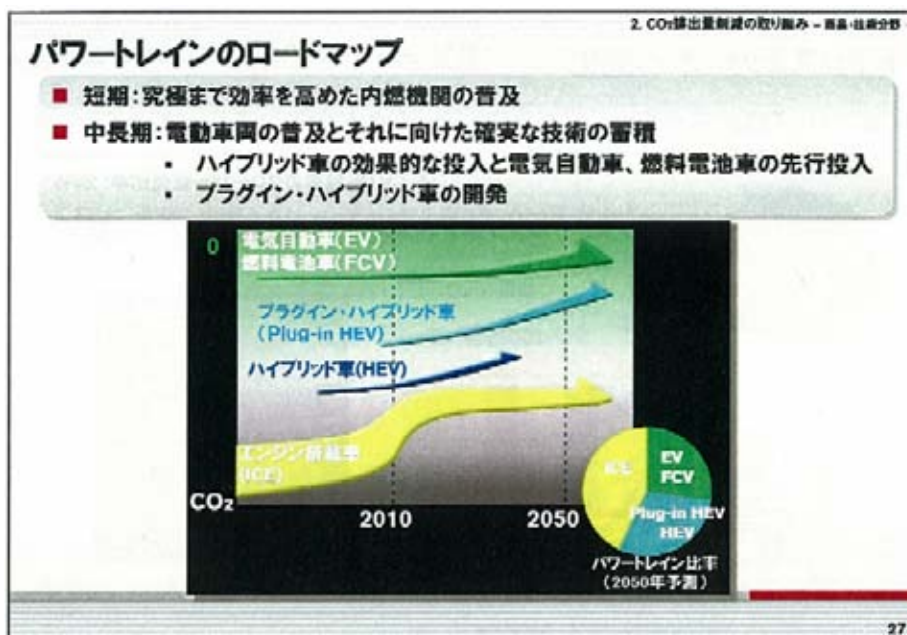


図 VI-3 パワートレインのロードマップ



図 VI-4 燃料電池車の導入経緯と導入計画

(4) 商品、技術投入の考え方

図 -5 に示すように、顧客のニーズや市場の要求に合わせてそれに最適なものを提供するという方針で今後の商品、技術の導入を考えている。
PHEV は、HEV に含めてとらえている。

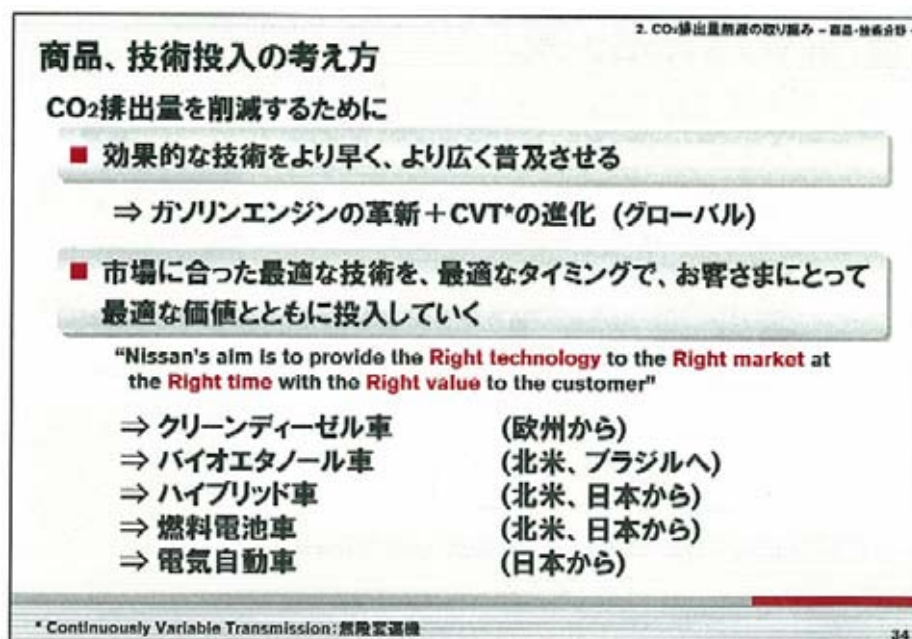


図 VI-5 商品・技術投入の考え方

2. 二次電池の開発について

2007年4月に新しい二次電池開発製造販売会社オートモーティブ・エナジー・サプライ社を NEC / NEC トーキンと合併で設立した。

二次電池に関しては、HEV用、FCV用、BEV用と使われ方が異なるが、当社として、それぞれについて研究開発を継続していく。BEV用としては、耐久性や航続距離が不十分でコストも高く、まだまだ課題がある。今後、こうした技術開発を進めるとともに、自動車以外の定置用用途にも販売していくことで、量産効果を出してコスト低下につなげていきたい。

当社のリチウムイオン電池の研究は1996年のアルトラに搭載して以来10年以上の歴史がある。2003年にラミネートタイプのバッテリーを導入し、現在その二代目のものをFCVに搭載している。

2010年に投入するHEV用としては、SOCの使用範囲がEVに比較して限定されているので、耐久性に関しては十分なバッテリーになると考えている。一方でBEV用としては、大深度の放電が必要となり、車のライフをカバーする耐久性を保证するのは、現時点ではまだ車での実績がなく、更なる改良が必要と考えている。

3. 燃料電池車市場導入までのシナリオについて

現在、FCVのリース車は日本での3台のみである。当社の実験車としては、約20台程度を日米で運用している。

この先、商品化を実現するには、次のステップとして、100台規模で数年間走行させ、その後1万台規模にしていくという進め方が現実的だと考えている。

本格導入までのタイムスパンとしては、FCCJのシナリオワーキングで検討されている2015年までに事業化(大量生産)の判断を行うという流れを目安にしている。FCVは技術的な課題とコストの問題があるが、技術的な課題に関しては、何とか2010年頃までにめどを立てたいと考えている。一方、コスト低減の課題については、2015年まで見通してもなかなか厳しい状況にある。今後もコスト低減については、継続して取り組んでいきたい。

4. 燃料電池車の実証走行について

実証走行を行うことによって、FCVは使い勝手の面では十分市場に受け入れられる可能性があることが分かった。技術的には顧客における様々な使用条件や環境条件にほとんど対応が可能である。特殊な使い方、特殊な気象地域を除く大きな市場において適応できるめどをつけることができた。

信頼性の面では、顧客の走行環境や不具合の発生状況と、社内における評価結果との相関関係が蓄積されつつあり、社内試験によって市場での受容性を予測する力がついてきた。実証試験はインフラ整備など、様々な面で意味があるが、単なる性能評価の面では、その役割が減少しつつある。

ただし、前述のとおり、本格的な商品投入のためのビジネス的な確信を得るためには、100台規模で数年間走行することが重要であると考えている。

5 . FCV の技術課題等について

(1) スタックに関する技術課題について

スタックに関する主要な技術課題として、コスト以外には、耐久・信頼性、出力密度の向上、低温始動性の3つが挙げられる。

耐久性の評価モードについては、先日 FCCJ において業界での統一した自動車用 MEA の評価方法が提示された。耐久性の評価モードとしては、起動停止、負荷変動、低負荷時の高電圧の3つのモードが重要である。

こうした評価モードにおいて、どのような劣化が生じるかということがかなり解明されてきている。現在、そうした個々の劣化プロセスに対してそれに至るパスを遮断するというアプローチで取り組んでいる。その結果、耐久性は、着実に進歩しつつある。通常の使用であれば5年以上の耐久性が期待できるところまで来ていると思う。

出力密度の向上については、更なる小型軽量化が必要だと考えている。

氷点下起動に関しては、現在は長時間氷点下に放置した後に起動した場合の問題に取り組んでいる。市場導入期においては、まず人口の大きな都市をカバーできる水準を確保することを目安としている。その意味において、氷点下 20~10 程度で確実に始動できるようにすることを初期の目標に置いている。低温始動性が FCV を市場に導入する際のボトルネックになる可能性はまずないと思う。

(2) 航続距離等について

水素貯蔵に関しては、2010 年の前半までの期間においては、高圧タンク方式しかあり得ないと考えている。当社のプロトタイプの航続距離は 70MPa の高圧水素タンク搭載で 500km と公表している。今後 FC システムの効率が改善されれば 2010 年頃には 35MPa でも、10・15 モードで 500~600km、エアコンを使っても 350~400km 程度走行できる中型乗用車が実現できるのではないかと考えている。

航続距離の伸長には、高圧化以外には効率向上とタンク容量の増大があるが、パッケージ上は、タンク容量 150~180L 辺りに上限があると考えている。

(3) 水素の搭載圧力について

当社でも 70MPa での走行試験を行っており、70MPa での実証試験によるデータの取得は意義があると認識している。

しかし、コストを考えると水素の搭載圧力は低い方が望ましい。35MPa でも 10・15 モードの航続距離が、将来 600km 近くになれば、70MPa にする必要性が薄れてくるのではないか。

(4) コストについて

FCV が実用化されるかどうかの最大の課題はコストである。白金担持量低減はコスト低減の象徴のように言われているが、資源的制約の面からも何としても現状の 10 分の 1 以下に低減する必要がある。

2015 年までに大量生産時の FCV 仮想コストをガソリン車の 1.2 倍程度にしたいと考えている。しかし、現在の技術の延長では、そこまでコストが低下する見通しがまだ得られていない。

システムの簡略化も必要である。単に白金を減らすだけでは問題は解決しない。運転条件を緩和できるようにスタック自体のロバスト性を高めていく必要がある。例えば電解質膜でいえば 100 ~ 120 での運転が可能になれば、冷却システムが簡素化され、コストも下げられることになる。

高圧水素タンクの CFRP に用いるカーボンファイバーも高価である。使用量を減らすか、単価が安くない限りコストダウンすることができないが、使用量の低減は技術的改善の余地が小さい。材料コストの低減に是非期待したい。

水素搭載圧力 70MPa を 35MPa にすれば、車載タンク自体のコスト低減のみならず、ステーションでの設備費が低減され、ひいては水素価格の低減に繋がっていく。

(5) メタルセパレータ、炭化水素系膜について

将来を考えると、コスト的にメタルセパレータが有利だと考えているが、現状ではメタルセパレータには接触抵抗と腐食性などの課題がある。

コスト的に炭化水素系電解質膜の方が有利だと思うが、現状では性能面でフッ素系に及ばないところがある。

6. 他社・他団体との協力関係について

FC-Cubic や Hydrogenius に対しては、定期的に意見交換をして、業界の要望を伝えるなどの協力を行っている。もちろん HYDRO STAR にも協力していきたいと考えている。

NEDO プロジェクトのテーマに対する要望などの意見を求められたときに、意見を伝えるなどの協力も行っている。

その他、いくつかの大学と共同研究を行っており、我々で役に立つことがあれば、できるだけ支援したいと考えている。

上記の研究機関の活動のおかげで、技術論議が活発に行なわれるようになり、大変良いことだと感じている。

7. 国・行政機関・インフラ供給会社等に対する要望

国に対しては、将来 100 台規模での大規模実証試験を行うときには、車両製作に当っても補助金などの支援をお願いしたいと考えている。

インフラ供給会社への最大の期待は、自動車の顧客が負担する燃料代がガソリンより安くなるような水素価格で水素を供給していただくことである。

そのためには、既設のガソリンスタンドに水素ステーションを設置できるように、機器の小型化や、規制緩和などの動きを期待したい。

以上

VII. 株式会社本田技術研究所殿訪問インタビュー調査報告

訪問日時	平成 20 年 1 月 22 日 (火) 13 : 30 ~ 15 : 30
場 所	株式会社本田技術研究所 四輪開発センター (栃木研究所)
応対者	四輪開発センター 第一技術開発室

1. クリーンエネルギー自動車の開発戦略について

(1) 基本方針

次世代自動車やクリーンエネルギー自動車開発の基本方針は、短期・中期・長期に分けられる。

短期的には、内燃機関の改良が一番重要であり、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンの効率向上への取り組みが中心となる。限りある石油燃料の有効利用のためであり、さらには米国などで燃費規制の強化が予想されるため、その対応も兼ねている。中期的には、電動化やハイブリッド化の必要性がより高まってくると考えられる。将来においては車両の電動化は必要不可欠なものになると考えている。ハイブリッド技術については引き続き開発を継続し、小さい車にはハイブリッド車 (HEV)、大きい車にはディーゼル車という考え方が基本になると考えている。

長期的には、FCV が地球温暖化対策の最有力と考えており、究極の車だと認識している。ただし、FCV はすぐに普及できるものではなく、耐久性やコストなどの課題の解決のためにはフィールドデータのフィードバックなども含めまだ時間が必要である。

(2) 電気自動車について

電気自動車 (BEV) は、FCV とほぼ同じコンポーネント構成で成立が可能になると考えている。FCV の開発と並行して、二次電池についても研究開発を行っている。BEV は航続距離上の制約があるため、限られた用途での利用が想定される。例えばシティーコミュータといった用途で一定のシェアを占めることは可能であると考えている。

ただし、内燃機関の代替という位置づけから最終的には FCV になるのではないかと考えている。

(3) プラグインハイブリッド車について

プラグインハイブリッド車 (PHEV) の可能性も考えられる。PHEV では、HEV 用の二次電池に比べてエネルギー密度が要求されるため、その成立は、それに適した電池が開発できるかどうかにかかっている。PHEV は電気でも石油燃料でも走行可能であるため、FFV (Flex Fuel Vehicle) と同様な位置づけが可能になると考えられる。また、PHEV の普及には、環境に対する意識の醸成もポイントになると考えられる。当社のハイブリッドシステムである IMA はモータアシストタイプのため、現状のままでは EV 走行可能な PHEV に適用することは難しい。

(4) 二次電池等について

電池のエネルギー容量は物理現象によって規定されるため、何らかの革新的な材料が開発されれば別であるが、エネルギー密度を飛躍的に向上させることは厳しいと考えている。METIの「新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会」で示された目標は、相当厳しいものと認識している。そのため当社としては二次エネルギーとして水素を選択し、FCVの開発に注力している。FCVの研究開発によって、必要な電動化技術の蓄積は可能であると考えている。

現状のFCVには、ひとつのアプリケーションとしてリチウムイオン電池を搭載しているが、キャパシタも様々なアプリケーションの中で使える局面が出てくる可能性があると考えている。車への要求によって何が適切かが決まってくると考えている。

(5) バイオ燃料に関する取り組み

当社は、財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）と共同で、セルロース類からのバイオエタノール製造技術の実用化に向けた取り組みを行っている。当社の車両はすべてE10に対応済みである。ブラジルでは、E100対応車（FFV）を既に販売しており、バイオ燃料に対する車両側の技術をすでに完成させている。

2. 燃料電池車市場導入までのシナリオについて

現状のFCXのリース台数は、日米合わせて約30台で、米国で個人向けにリースしているFCXは3台である。

FCXコンセプトをベースとしたFCXクラリティを2008年の夏以降に日米でリース販売すると発表した。台数については公表していない。地域的には限定されたものになると考えているが、気候的に寒冷な米国東部地域に導入することも全然問題ではない。性能、小型軽量化、環境性については、ある程度問題ない水準に達している。FCVを将来の内燃機関の代替とするためには、氷点下30度に達するような地域にもFCVを導入し、実際の使われ方をみて、そのフィードバックデータを得る必要がある。米国での販売は加州のZEV法対策の意味もあるが、将来に向けての技術開発という意味も大きい。

本格導入までのシナリオとしては、FCCJのシナリオWGで検討されているように、2015年までに事業化（大量生産）の判断を行う必要があると考えている。ただ、昨今の環境問題の動きを踏まえると、これより早い時期に判断を迫られる可能性もあると考えている。

FCVの事業化に向けては、更なる技術開発が必要であり、解決すべき問題は残されている。しかし、見通しは暗くはなく、技術的に問題解決は可能だと思っている。インフラについても、必要な時期に本格的な整備が望まれるが、逆に、インフラ供給会社にその気になって投資してもらうには、車メーカーとしてリアリティのあるFCVを早期に導入する必要があると考えている。それが車メーカーの責務だと考えている。

3. 燃料電池車の実証走行の成果について

実証走行の主な成果は、実走行時の耐久性などを台上でテストする方法がみえてきつつあるということである。現実の環境下で FCV を実際に走行できるようになって初めてそうした方法が確立することが可能となった。

ラスベガスといった暑い地域から、ニューヨーク州といった寒い地域、東京の渋滞や、高速道路での走行が中心となる地域など様々な環境での様々な使われ方に対して、どのような課題があるかということに関して、必ずしも事前に十分に把握できているわけではなかった。

例えば、他の FCV メーカーも発表しているが、起動時や停止時などが耐久性に大きな影響を与えていることが明らかになってきた。通常の内燃機関であれば実際に運転している時間が耐久性の評価項目の重要な部分であるが、FC のような電気化学に基づくものでは、起動停止や停止時を含めた色々なモードが耐久性に影響を与えていることが判明した。このことでは実証走行の大きな成果であると考えている。

また、同じ氷点下でも屋内のテスト環境と、実際の風、雪などを伴う環境とは同じではなく、実際に FCV を走らせてみないとわからない課題が数多くみえてくる。そうした台上置換につなげられるデータの蓄積が図られたことが大きな成果である。

開発を加速するには、こうした台上テストへの置換方法の確立は極めて重要である。

4. FCV の技術課題等について

(1) スタック開発の経緯

1999 年に初めての自社製 FC スタックを開発・発表して以来、量産性があり、かつ低コスト化へのポテンシャルがある材料への代替が必要という認識に至っていた。そのため、メタルセパレータやアロマトミック系炭化水素膜への進化を行ったものが 2003 年に発表したホンダ FC スタックである。

その後、材料の進化は粛々と進めつつも、構造上の進化が必要ということで、いわゆる V フロー構造と、ウェーブ状の流路パターンの採用、セルの冷却の仕方を変えるなどのデザインの変更を行い、できるだけコンパクトなスタックを開発した。これが 2006 年に発表した最新の FC スタックである。

(2) メタルセパレータについて

金属を扱い慣れていること、大量に生産した場合の信頼性がカーボンコンポジット製よりも高いと考えられることからメタルセパレータを採用している。

初期の段階で、将来のコストを含めた生産性を考えると、最初は苦勞するかも知れないが、メタルセパレータに注力することが得策と判断した。その判断は間違っていないかと思っている。

当社が現在用いているセパレータ素材については、将来的には他社にも提供できると考えているが、それはもうしばらく先になると思われる。現状は開発段階のものであり、まだ競争領域にあるものととらえている。大量生産によるコスト削減が必要な時点になったときが、その時ではないかと考えている。

(3) アロマトミック系炭化水素膜について

電解質に用いているアロマトミック系炭化水素膜については、当社とサプライヤとで共同で改良を加えている。課題が明らかになってきているのに加え、その対策も打っている。このように現状でも進化を続けており、将来にわたって使っていけるものであることには、ある程度の自信をもっている。

炭化水素系はフッ素系に比べて化学的安定性が弱いとされているが、当然のことながら弱いところはフッ素系並みに、良いところはさらにそれを伸ばす取組を行っており、現状そういう水準に達していると考えている。

コストに関しては、少なくとも生産プロセスに関しては、フッ素系より安くなる可能性があると考えている。ただし、生産量がフッ素系の方が大きければフッ素系の方が安くなる可能性もある。その意味で、どちらが有利かは現時点では言い難いと思われる。

電解質膜に関しても現状は開発段階にあり、競争領域にあるととらえている。最終的に完成品ができた時点では、生産量を増やすためオープンにして使っていくことが必要だと考えている。

(4) FC スタックに関する課題について

FC スタックに関しては、耐久・信頼性とコストの両立が課題である。

スタックの耐久性・信頼性に関しては、劣化に対する対応と、部品数が多いことに伴う信頼性確保の問題の2つがある。

スタックの劣化耐久に関しては、起動停止などにおいてセル内で何が起きているのかがある程度把握できてきたことがここ数年の進歩である。とはいえ、まだ完全な把握には至っておらず、継続的に取り組むべき部分も残されている。当社では電解質膜やセパレータなど他社とは異なる部材を用いているため、こうした確認を自らが行っていく必要がある。

劣化に対する耐久性に関しては、目標達成度が何%であるという形では表現しづらいが、まだまだやらなくてはならないことがあり、時間が必要である。これは次世代のFCVにおいて解決を図りたいと考えている。

FC スタックは、扱い慣れた従来の製品に比べると構造が特殊であり、例えばシールにしても1つのスタックで長さが1km以上に達する。このすべてにおいて水素が漏れないようにしていくには従来とは異なる技術が必要とされる。スタックにおいて大量に用いられるこうした部材を製造し、信頼性を確保し、品質を保証するのは大変難しい生産技術が要求され、それを達成していく必要がある。これも大きな課題である。

(5) 航続距離や水素の搭載圧力等について

ホンダ FCX コンセプトでは、35MPa の高圧水素タンクを搭載し、パッケージングや車体の軽量化や走行効率の改善を図り、LA4 モードで航続距離 570km を達成している。しかし、従来車の代替を狙うという意味ではまだ十分ではない。500km というのはひとつの目標ではあるが、当初水素ステーションの数が十分でない状況を踏まえても、更なる伸長を目指していかなければならない。

航続距離を伸長するには、水素の搭載圧力を上げることでも解決方法のひとつであるが、そのためにどこまでコストを犠牲にしなければならないのか、本当にどこまでの高圧化が必要なのかについて、総合的なバランスを踏まえて決めていく必要があると考えている。

70MPa は、10000psi というきりの良い数字だからという理由で検討が始まったと理解している。コストや、インフラ側のポンプやバルブなどの周辺機器の信頼性の確保などの技術的な観点から本当に妥当な圧力なのかを慎重に議論する必要があると考えている。

理想的には 35MPa より低圧の方向にいくべきであると思う。しかし、現実論としては、それで航続距離を満足することは現状不可能なため、35MPa より高いところに最適点があるように思われる。

当社では、研究の一環として、タンク内に水素吸蔵材を入れたハイブリッドタンクに関する検討も行っているが、これはあくまでも研究段階のものである。

今回、35MPa でも 500km を超えることが確認できたので、当面はこれで進めていくつもりである。

現在は、ライナーにアルミを用いたタイプ 3 の高圧水素タンクを用いている。これは充填時間や漏れに対する信頼性の高さなどからの、現時点での選択である。普及時には、大量生産性やコストの観点から樹脂をライナーに用いたタイプ 4 のタンクも選択肢として考えられる。

充填時間についても従来車との比較の中で考えるべきであり、15 分や 10 分なら良いということにはならないと考えている。

高圧タンクの CFRP (炭素繊維強化プラスチック) に用いる炭素繊維のコストも高いが、まずは、安い材料でも安全性に問題がないというデータを蓄積して、規格を見直していくことが重要であると考えている。

5. 他社・他団体との協力関係について

JHFC に参画し、できるだけ協力をさせていただいていると考えている。

FC-Cubic とは、議論は一緒に行っているが、研究の依頼は行っていない。

メタルセパレータや電解質膜などにおいて、それぞれサプライヤと協力して開発を進めている。

6. 国・行政機関・インフラ供給会社等に対する要望

基礎的な領域の研究は時間を要するので、国が主体となって進めてもらいたい。
高圧ガスの規制に関連するところでは、材料を幅広く使えるようにして欲しいという要望がある。選択肢を広げる、コストを下げるという努力において必要ところでの規制緩和については是非テーマを掲げて取り組んでいただきたい。
インフラに関しては、インフラ供給会社にとっては、ニーズがないうちからはリスクが大きすぎて投資ができないという状況だと考えられるため、国の協力のもとで整備を推進していく必要があると考えている。ただし、前述の通り、インフラのマーケットビリティのためには、良いFCVを安く市場に出していくことが必要であり、それが車メーカーの責務だと考えている。

以上

VIII.メルセデス・ベンツ日本株式会社殿

訪問インタビュー調査報告

日 時	平成 20 年 1 月 28 日 (月) 10 : 00 ~ 12 : 00
場 所	メルセデス・ベンツ日本株式会社 本社
応対者	技術コンプライアンス部 コンセプト製品課

1. クリーンエネルギー自動車の開発戦略について

(1) 持続可能なモビリティへのロードマップ

ダイムラーにおける持続可能なモビリティへのロードマップを図 -1 に示す。大きく 3 つのステップによるアプローチを考えている。

第 1 のステップでは、高効率エンジンによる燃費改善と、オプションとしてのハイブリッド技術に取り組んでいく。

第 2 のステップでは、既存燃料の改善と代替燃料の導入であり、バイオ燃料への取り組みを挙げている。

第 3 のステップでは燃料電池車 (FCV) と電気自動車 (BEV) を挙げている。当社におけるパワートレイン開発の究極的なゴールは FCV と BEV であると考えている。ただし、FCV と BEV ではその特性が異なる。BEV は充電時間と航続距離に制約があるため、長期的にみて従来車と完全に代替可能な車は FCV であると考えている。ダイムラーとして BEV も重要視しているが、BEV はショートレンジでの特別な用途に限定した使われ方になるだろう。また FCV と BEV に関する技術は相反するものではなく、補完的なものであるととらえている。

最終的に、FCV と水素社会を目指すことが、ダイムラーの基本的な方向である。



図 VIII-1 持続可能なモビリティへのロードマップ

(2) 内燃機関の改良およびハイブリッド技術について

クリーンディーゼル車としては、日本には 2006 年に E320 CDI を導入した。これは日本市場における唯一のクリーンディーゼル乗用車である。日本へは E320 以外の車種も導入検討しているが、具体的な車種は未決定、未発表である。

米国では既に BLUETEC に尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction : 選択還元触媒) を採用したクリーンディーゼル車を導入している。この技術によって、米国の BIN5 や欧州の EURO6 といった規制を全てクリアできるという確証を得ている。

ハイブリッド技術に関しては、BMW 社と GM 社と共同で重点的に開発を進めている。2009 年には ML 450 Hybrid と S400 Hybrid をメルセデス・ベンツブランドで市場投入する計画である。

プラグインハイブリッド車 (PHEV) に関しては、米国において 20 台の Sprinter (日本名 T1N) を用いて実証試験中である。現在、技術の有効性の検証と、顧客に対する受容性の評価を行っているところである。

(3) バイオ燃料に対する取り組みについて

ダイムラーでは、バイオ燃料といった代替燃料に対する取り組みも重要視している。とくに新しいタイプの合成燃料である BTL (Biomass-to-Liquid) が持続的に大きな CO₂ 削減の可能性を秘めていると考えている。図 -2 に示すように、木材等のセルロースから BTL によって作られる、食物と競合しない第二世代のバイオディーゼル燃料は、EU 全体のディーゼル需要の 20% を満たす可能性があると考えている。

EU では、2012 年までに軽油の 10% をバイオディーゼルにし、それ以降も徐々にその割合を増やしていくという目標があり、ダイムラーもこれにコミットメントしている。すでにドイツでは、軽油の 2% がバイオディーゼルになっている。

ダイムラーは現在、VW 社と共同でドイツの Choren 社を支援している。Choren 社は Shell 社と共同で、初めてドイツにおいて大型 BTL プラントを建設した会社である。ダイムラーは 2003 年から Choren 社がつくる第二世代のバイオディーゼル (ブランド名: サンディーゼル) を用いたフリートテストを実施している。

セルロースから作る第二世代のバイオディーゼルは、主にコストが高いといった課題がある。現在、次の大規模プラントを建設中であり、今後工業製品としての品質等を含め、検証を続けていくことが必要だと考えている。



図 VIII-2 バイオ燃料に関する取り組み

2. Automotive Fuel Cell Corporation (AFCC) について

2008年1月、ダイムラーAG、フォード社、巴拉ードパワーシステムズ社は、合併によって Automotive Fuel Cell Corporation (AFCC) を設立した。AFCC では自動車用 FC システムの研究開発と製造を行う。それぞれの出資比率はダイムラーが 50.1%、フォードが 30%、巴拉ードが 19.9%である。巴拉ード社における自動車用 FC の研究開発グループは AFCC に異動し、巴拉ード社はこれによって定置用等の自動車以外の FC 用途に特化することになる。

AFCC は、数多くのパテントと約 150 名の高度な専門技術者を擁し、自動車用 FC スタックの開発をリードする。

3. 燃料電池車市場導入までのシナリオについて

(1) 次世代 FCV の導入計画

次世代 FCV である B クラス F-cell を 2010 年に数百台規模で導入する予定である。この次世代 F-cell は、個人への提供も予定しているものの、車自体の所有権を完全に移転するものではなく、リース契約あるいは、現状のパートナーシップ契約に近いかたちとなるだろう。継続的に、どのような市場、どのような使い方、どのような顧客に受け入れられるのかを検討する必要があると考えている。

現状の主要な取り組みとしては、燃費向上、航続距離の伸長、耐久・信頼性の向上、コストの削減である。現状において行わなければならないことは、技術のブレークスルーを狙うことよりも、継続的で地道な開発の推進である。こうした取り組みと並行して、水素インフラの整備促進のために、水素インフラに関するビジョンをステークホルダー間で共有していくことが必要であると考えている。

(2) FCV の導入シナリオ

2015 年までに商用化移行の判断をするというシナリオは、ダイムラーにとっても妥当なシナリオであると考えている。

日本でも米国でも欧州でも水素インフラと基準づくり・国際標準化無しには自動車メーカー単独では事業化することはできない。だからこそ関係者が揃って歩調を合わせて進めていくことは必要であり、望ましいと考えている。

事業化を図る地域としては、2003 年から F-cell の実証走行を行っている欧州、米国、日本は重要と考えている。これらの地域は、現状のビジネスにおいてもすでにダイムラーにとって重要な市場である。

4. 燃料電池車の実証走行の成果について

現在参画中の実証走行プロジェクトは、

- ・ 日本の JHFC
- ・ 米国の CaFCP と DOE の実証プログラム
- ・ ドイツの CEP と ZERO-REGIO
- ・ EU の HyFLEET : CUTE
- ・ アイスランドの ECTOS (HyFLEET : CUTE の一部)
- ・ オーストラリアの STEP (HyFLEET : CUTE の一部)
- ・ シンガポールの SINERGY
- ・ 中国のバスプロジェクト (HyFLEET : CUTE の一部)

である。FC バス , A クラス FCV , Sprinter FCV で合計 100 台強を現在これらのプロジェクトで走らせている。

これらの実証走行試験によって、コンポーネントの最適化が進んでいる。これからも引続き、全体システムの簡略化、システム頑強性の増大といった進歩を推進させることが必要である。また、顧客からのフィードバックは開発を進めるにあたって非常に重要な情報である。

日本における実証試験に関して言えば、日本で走行する FCV の耐久性は、他の地域における耐久性と現状のところ大きな違いはない。日本における主たる走行地域は東京圏であり、渋滞による発信停止回数や大気質という意味で FC にとっては厳しい条件である。ここでも、耐久性が他地域と同程度ということは、近い将来に当社の技術によって FCV を商用化させることができるという自信につながっている。

従来はエンジニアがドイツから日本に来ていたが、現在はトレーニングを受けた当社のスタッフがメンテナンスを行っている。こうしたノウハウが蓄積できたことも実証試験の成果である。

5. FCV の技術課題等について

耐久性と信頼性、コストの3つが主要な課題である。

耐久・信頼性に関しては、耐用年数 5000 時間という目標に対して、目立った劣化無しに現状で 2000 時間以上の耐久性を確認している。このことから、着実に技術開発を進めれば、近い将来に 5000 時間の目標を達成できるという確信を得ている。

航続距離に関しては、次の B クラス F-cell において、70MPa の高圧水素タンクを搭載し、400km 以上の航続距離が達成できる予定である。

圧縮水素方式は、現状で唯一の実用的な水素搭載方法であると考えている。当社では、水素吸蔵合金といった他の手段の研究も行っているが、すぐに商用化できるかという観点からは、FCV への適用が可能なその他の水素搭載方式は現時点では考えられない。

コストに関しては、材料面では、白金触媒、電解質膜などの個々の部材のコストダウンが必要であり、システム的には部品点数を減らすことなど総合的な取り組みが必要である。水素タンクに関しては、コストのみならず、各国の基準・標準が異なることも問題である。

コスト低減に関しても、例えば現行ガソリン車と同程度という目標に対して、着実にステップを踏んでいけば到達できると考えている。時間は必要であるが、めどが立たないということではないと考えている。特にハイブリッドシステムの開発による相乗効果と量産のメリットは大きいであろう。

6. 水素の搭載圧力等について

ダイムラーでは、USA や欧州での議論の状況も含め、70MPa が当面、妥当な方向性であると考えている。

35MPa から 70MPa にすることは、コスト面や、水素を圧縮する際のエネルギーのロスなどのデメリットがある。反面、35MPa では、パッケージングや航続距離の面で不利になる。当社の試算では、70MPa にしてもロスは数%であり、それほど大きくはない。そのため、顧客にとってのベネフィットを考えると当面、70MPa が一番よいという考えである。

7. 他社・他団体との協力関係について

日本における国プロに関しては、JHFC に参画しているのみである。

日本でパートナーシップ契約を行って F-Cell を提供している会社は、東京ガス、ブリヂストン、昭和シェル石油、DHL Japan である。

前述のとおり、FC に関する研究開発では、巴拉ード社とフォード社と協働している。

8. 国・行政機関・インフラ供給会社等に対する要望

日本における水素タンクや電解質膜，コンプレッサ，二次電池に関する研究開発プロジェクトの成果に関わる情報が得られれば幸いである。とくに FC-cubic などの基礎研究プロジェクトからの成果に期待している。

実証試験の関連では，FC 技術の商用化において鍵となるのは，公共や顧客に対する FCV・水素の受容性向上の推進，より多くのサプライヤが FC・水素関連市場に参加いただくことを期待しており，そうした観点からも実証試験プロジェクトの推進，役割に期待している。

日本には，まだこれから議論してゆかなければならない規制緩和の領域があると考えている（例えば高圧関連法規など）。また，GTR（Global Technical Regulation；国際技術標準）の策定が重要であり，開発中の水素・FC 関連技術に柔軟に対応した国際的な基準・標準化は FCV の普及を進めていくために必須であると考えている。

日本では，最適な水素の搭載圧力についての議論が進行中であるが，前述のとおり，ダイムラーは 70MPa を支持している。地球温暖化問題の解決となる水素エネルギー社会を見通したとき，世界標準といった大きな視点が必要であると考えている。JHFC においては，こういった目標達成に必要な検証データを得るための重要な役割を担ってほしいと考えている。

FCV の商用化に向けては，あらかじめ水素インフラの整備を進めていくことが必要である。実証段階から商用化段階への移行期においては，我々，自動車メーカーが自主努力を続けるとともに，国や行政機関には気象変動の問題といった大きなテーマ・課題に対して水素社会への意義，具体的な方向性とともに示していただくとともに，水素インフラの整備促進と FCV の普及のための導入支援インセンティブの創生など，これからも今まで以上のご理解と力強い支援を期待している。

以上

