

## 日産自動車における燃料電池自動車 (FCV) の開発について

金坂 浩行

日産自動車 総合研究所 燃料電池研究室  
237-8523 横須賀市夏島町 1 番地

## Development of Fuel Cell Vehicle(FCV) in Nissan.

Hiroyuki Kanesaka

Nissan Motor Co., LTD. Nissan Research Center , Fuel Cell Laboratory  
1,Natsushima-cho, Yokosuka-shi ,Kanagawa 237-8523

The Fuel Cell Vehicle (FCV) is one of the effective measures to reduce the CO<sub>2</sub>. Current Nissan X-Trail FCVs are reaching to the level of current gasoline engine vehicles in performance and cruising range. But to commercialize the FCVs, cost reduction with sufficient durability should be achieved. This article describes recent progress of FCV development in Nissan and future perspectives.

**Key Words:** Hydrogen, FCV, MEA, Durability

## 1. はじめに

地球温暖化の主要因の一つである CO<sub>2</sub> の排出量抑制のためには、自動車からの CO<sub>2</sub> 排出の低減が必要である。CO<sub>2</sub> 排出低減の方策としては、短期的には従来の内燃機関の効率向上やハイブリット自動車の普及促進などがあり、中長期的には電気自動車 (EV) や水素と酸素で走る燃料電池自動車 (FCV) の導入が望まれている。本稿では、CO<sub>2</sub> 削減に効果の大きい燃料電池自動車の日産自動車における開発状況、開発車の運用状況、さらには今後の市場導入に向けた課題および、その対応策について紹介する。

## 2. 日産自動車における FCV 開発の変遷

日産自動車は、2001 年に直接水素型燃料電池を用いたエクステラ FCV を開発し、その後も研究開発を進め、X-Trail をベース車として、2003 年、2005 年と新たな FCV を開発してきた。2005 年には日産オリジナルの燃料電池スタックの搭載を行った。2008 年には、新たに耐久性に優れた小型高性能な新型の燃料電池スタックを開発し、試験車両に搭載を行い走行試験を行っている。現

在、公道を走行している X-Trail FCV を図 1 に示す。



図 1. 日産 X-Trail FCV

## 2.1. X-Trail FCV の基本諸元、レイアウト

現行の X-Trail FCV の主要諸元を表 1 に示す。

燃料電池スタックをはじめとした、主要ユニットの車両レイアウトを図 2 に示す。

燃料電池スタックをフロントシートの下に、高圧の水素貯蔵タンクをセカンドシートの下に配置としている。2 次電池 (リチウムイオンバッテリー) は、車両後部の荷物スペースのフロアの下に配置しガソリン車と同等の

荷物スペースを実現している。

高圧の水素貯蔵システムは、タンク貯蔵圧力が 35 MPa と、70 MPa の異なる 2 種類の圧力仕様のタンクを用いている。35MPa タイプでは、航続距離は 370km、70MPa タイプは、35MPa タイプに対し外形寸法は同一で搭載水素量を 30%増大でき、航続距離は 500km となっている。

表 1. X-Trail FCV の主要諸元

		2005MY	2003MY
Vehicle	Overall length/width/height (mm)	4485/1770/1745	4485/1770/1800
	Curve Weight	1790 (1860)	1960
	Seating capacity	5	←
	Top speed (km/h)	150	145
	Cruising range (km)	over 370 (over 500)	over 350
Motor	Type	Coaxial motor integrated with reduction gear	
	Max. power (kW)	90	85
Fuel cell stack	Fuel cell	Polymer electrolyte type	
	Max. power (kW)	90	63
	Supplier	In-house	UTC Fuel Cell (USA)
Battery	Type	Compact Lithium-ion Battery	←
Fueling system	Fuel type	Compressed hydrogen gas	
	Max. pressure (MPa)	35 (70)	35

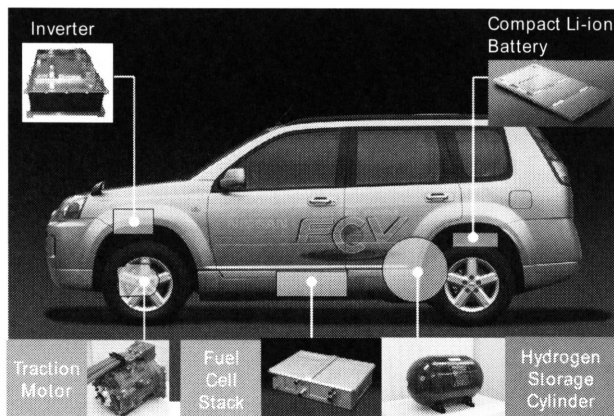


図 2. 主要ユニットの車両レイアウト

2008 年に新たに開発した新型燃料電池スタック (図 3) は、従来のスタックに対し出力密度で 2 倍の向上、耐久性についても約 1.6 倍の向上を達成し、かつ白金使用量の半減も実現している。

## 2.2. X-Trail FCV の信頼性について

自動車はいろいろな地域のさまざまな運転環境下で使われるため、FCV についてもそれに適した信頼性が必要である。

運転の温度環境としては外気温度が 40℃以上の高温環境化での走行から氷点下の低温環境下で始動性が求められる。

FCV で用いている固体高分子型燃料電池は内燃機関よりも作動温度が低く、排気からの放熱量が少ないため、ラジエータからの外気への放熱の比重が高い。高温環境下では、外気温との温度差が小さくなるためラジエータでの必要な放熱性能の確保が重要となる。X-Trail FCV では、高温環境下でも求められる発電性能を満足するために、放熱性能の高い燃料電池の冷却システムを開発し搭載している。

氷点下からの起動性については、2008 年度の新たに開発した新型の燃料電池スタックを搭載した X-Trail FCV を用いて、実際に 2009 年 2 月に北海道陸別テストコースにおいて寒冷地実験 (図 4) を実施しており、商品化に向けた開発を推進している。



図 4. 寒冷地実験の様子

また、衝突安全性については、2005 年 4 月より日本において FCV の保安基準が施行され、本 X-Trail FCV もこの保安基準を満足している。社内で実施した前面衝突、後面衝突の実験において乗員傷害値はもとより水素安全、高電圧安全とも保安基準を満足することが確認で

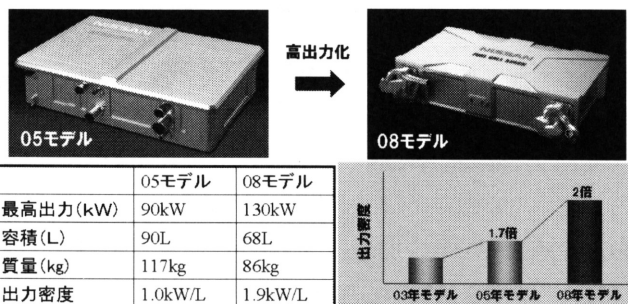


図 3. 新型燃料電池スタック (08 モデル)

きている。

### 3. FCVによる実証試験および広報啓発各種

現在、日産自動車としてX-Trail FCVを用いて、国内外の実証試験活動やFCVの普及促進をはかる広報啓発活動としてリース車の提供、各種イベントへの協力、子供達への教育普及活動、試乗会等の種々の活動を進めている。

#### 3.1. リース車としての利用

X-Trail FCVは2006年4月から現在まで横浜市様にリースを行っている。また、2008年11月からは、世界遺産である東照宮などの歴史的な建造物を有し、日光国立公園に指定される豊かな自然に恵まれた日光市にリースを行い、観光促進のイベントや中学生のための水素科学教室等に活用いただいている。

2007年2月からは世界で初めての緑ナンバーによるFCVハイヤーとして、神奈川都市交通株式会社様にもX-Trail FCVを利用頂いている。(図5)



図5. X-Trail FCV ハイヤーFCV

#### 3.2. 各種イベントへの参加および環境授業の推進

リースによる運用以外にFCVをより幅広くお客様に知って頂くことを目的に、様々なイベントへのFCVでの協力や、子供たち対象の環境授業を実施している。07年、08年と8月に軽井沢で開催された音楽祭「軽井沢八月祭」では、FCVによりアーティストの方々の送迎をさせて頂いた。

日本に限らず、欧米においてもFCVの運用を行っている。米国では、California Fuel Cell Partnership (CaFCP)に参加している。2008年には欧州6カ国(フランス、イタリア、ドイツ、イギリス、ベルギー、スペイン)でFCVワークショップを実施し、多くのジャー

ナリストやメディアの方々にFCVの商品としてのポテンシャルの高さを実感頂いた。

欧州におけるFCVワークショップの様子を図6に示す。



図6. 欧州におけるFCVワークショップ

子供たち対象の環境授業では、将来を担う子供たちに環境問題への意識と環境対策の1つである燃料電池の知識を高めていただけるように、燃料電池の仕組みの説明とFCVの試乗を組み合わせ実施している。

#### 3.3. 本社における試乗会実施

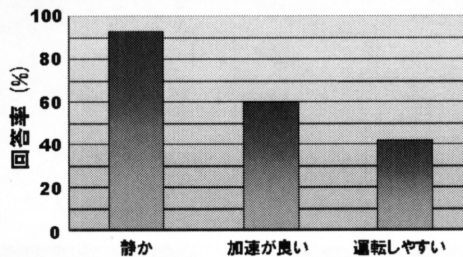


図7. 日産本社でのFCV試乗会とお客様評価

一般のお客様向けに広くFCVを知っていただく活動として、東京銀座の日産自動車本社ギャラリーにて、FCVの体験試乗会を開催し、運転免許保有のお客様に、実際の一般道でFCVの運転をして頂いた。

イベントでFCVにお乗りいただいたお客様、本社に

おける試乗会で FCV にご試乗頂いたお客様からは、FCV の静かさや、スムーズでパワフルな走行、環境影響の少ない点について非常に好意的かつ将来の市場導入を期待されるご意見を頂いている。

日産本社での FCV 試乗会の様子とお客様からいただいた評価結果を図 7 に示す。

以上のように国内外で FCV の展示や試乗を実施し、グローバルで FCV の技術と将来性のアピールを進めている。

今後も、FCV の市場への導入と普及の早期実現を目指して、FCV をより広い方々にご理解いただけるよう、活動を継続していく。

#### 4. FCV の市場導入に向けた課題

現状の FCV は、今まで述べてきたように性能的には十分に一般のお客様に乗って頂けるレベルに達しているが、今後の FCV の市場投入に向けては、いくつかの課題残されている。

今後、解決すべき主な技術課題としては、大幅なコストの低減、長期間お客様にお乗りいただくための耐久信頼性の向上があげられる。

##### 4.1. コストの低減

燃料電池のコストの低減としては材料コストの低減および燃料電池システムの簡素化の 2 つの視点がある。

###### 1) 材料コストの低減

材料コストの低減としては、電極触媒に用いている白金使用料の低減、膜、ガス拡散層材料の低コスト化、MEA、セパレータ材料の使用量低減という課題がある。

電極触媒に用いられている白金については、希少材料であるため、他の使用材料とことなり FCV の市場普及に伴う大量生産によるコスト低減は期待できないため、使用量の大幅な低減が必要とされている。

白金の使用量低減のためには、燃料電池の性能に大きく影響する触媒活性を向上させるのと同時に、初期性能を維持するための耐久信頼性確保も行う必要がある。後述するように触媒の耐久性についても、種々の課題がある。この課題を解決しつつ、大幅な白金使用量の低減を実現するためには、実際に燃料電池が運転されている条件で起きている種々の現象（反応や物質移動等の現象）

理解を進め、それに基づいた新たな材料開発、触媒層構造設計、MEA 設計を行うことが必要である。

##### 2) システム簡素化によるコスト低減

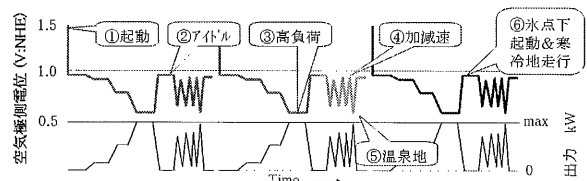
コスト低減の課題として、材料コストの低減とは別に、燃料電池システムの簡素化がある。現状の燃料電池システムは、発電を行う燃料電池スタック以外に、スタックに送り込むガスの加湿制御を行う加湿器やスタックの温度を制御するための冷却システム、空気を送り込むための空気系システム等の種々の補機部品が必要である。将来の市場導入に向けては、これらの補機部品をできるだけ減らすかコスト低減が可能な汎用品とすることが必要である。

システム簡素化を実現するためには、外部加湿システムの小型化さらには削減するためには、低加湿あるいは無加湿で運転可能な電解質膜が必要である。また、現在の内燃機関自動車と同等レベルの冷却システムの小型簡素化を実現するには高温で運転できる電解質膜および MEA が必要とされる。また空気系システムの簡素化には、スタックの運転圧力を低圧化することが有効であるが、このためには、低圧においても十分な性能を実現する触媒、触媒層および MEA の開発が必要とされる。

##### 4.2. 耐久信頼性

耐久信頼性に関しては、自動車には自動車の走行条件、状況の違いによる種々の劣化要因がある。図 8 に自動車運転条件下における燃料電池スタックの代表的な運転モードと劣化現象について示す。

その中でも特に自動車特有の走行条件として「起動停止」「一時停止（アイドル）」「加減速」があり、それぞれの走行モードに依存した性能劣化が起き、それらに対する対応が必要である



走行モード	劣化要因 (推定含む)	劣化事象
① 起動(停止)	カソード高電位	カーボン担体腐食 ⇒ 出力低下
② 一時停止(アイドル)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ⇒ OH <sup>-</sup> ラジカル	膜破損 ⇒ 走行不能
③ 高負荷走行	高温(局所ヒートスポット)	スルホン酸基離脱 ⇒ 出力低下
④ 加減速	高電位サイクル	Pt 粒粗大化、Pt 溶出 ⇒ 出力低下
⑤ 温泉近傍走行等	空気中の微量成分	触媒被毒 ⇒ 出力低下
⑥ 寒冷地	起動時の燃料欠乏	アノード触媒層劣化 ⇒ 出力低下

図 8. 自動車走行モードと膜・触媒の劣化要因[1]

1) 「起動停止」による劣化

「起動停止」による劣化メカニズムは、停止時に、アノード極（水素極）が空気置換され、起動時にアノード極に水素を供給する過程で、ガス流路の上流と下流に水素と残留空気の共存状態が発生し、上流をアノード極、下流をカソード極（空気極）とする局部電池がアノード極側に形成される。この際にカソード側下流部は電解質内水素イオンが欠乏し電解質電位が低下する。その結果、流路下流部でカソード極触媒層と電解質との電位差が増大し、カソード側電極触媒が高電位にさらされ触媒カーボン担体腐食が発生、ガス拡散性変化や触媒活性面積低下を引き起こし性能低下に繋る。(図9)

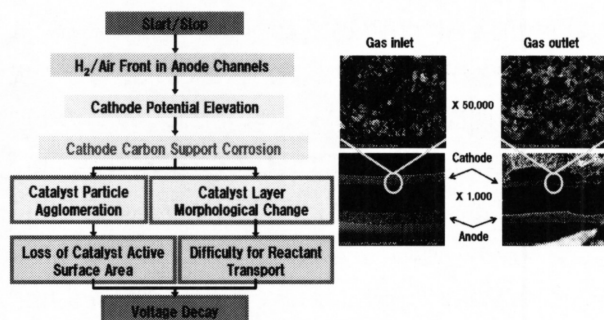


図9. 起動停止の劣化メカニズム[2]

対策としては、材料面では腐食しにくい触媒担体材料が求められ、運転の仕方に関しては高電位の抑制が考えられる。

2) 「一時停止（アイドル）」運転による劣化

「一次停止（アイドル）」運転での劣化は、OCV（Open Circuit Voltage）運転での劣化とも言われる。これは、高電位状態で保持されることで電極触媒中の白金溶解が起き、高分子電解質膜移動する。電解質膜中では、アノードとカソードの両極の間で、ある特定の位置に集中して白金がバンド状に析出する。

この析出した白金が存在することで、アノードとカソードの両極から膜中を透過した水素（H<sub>2</sub>）と酸素（O<sub>2</sub>）とにより H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を生成し、高分子電解質膜の分子構造上の脆弱部を劣化させていると考えられる。

対策としては、白金が溶出しにくい電極触媒、白金イオンの移動を抑制する電極触媒層中のアイオノマ、および白金イオンが移動しにくく脆弱部のない高分子電解質膜が求められている。(図10)

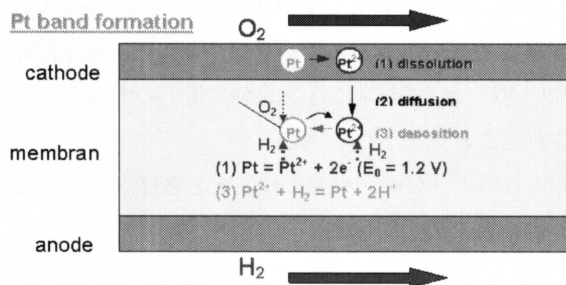


図10. 白金溶出メカニズム[3]

3) 「加減速」運転による劣化

これは、車の加減速に伴い、燃料電池の出力負荷を変化させる負荷変動サイクルとなり、電極触媒中の白金が溶解し、膜中で凝集・析出する現象である。白金の凝集・析出メカニズムは「一時停止（アイドル）」運転による劣化で示したとおりであり、対策としても同様に、白金が溶解しにくい触媒や、白金の移動を抑制する電極触媒層中のアイオノマや高分子電解質膜の材料が求められる。

4) 耐久信頼性の評価手法について

自動車向けの燃料電池の電解質膜や触媒材料の耐久信頼性の向上に関しては、現状認識と評価レベルの共通化が重要である。FCCJ（燃料電池実用化推進協議会）では、自動車用燃料電池の膜と触媒に関する目標性能・耐久性評価項目と方法・課題・劣化要因マップなど現状の見解をまとめて提案している。(図11)

部位	劣化現象	推定要因	評価モード 評価項目	知れたい事 /ほしい技術
膜	膜破断による ガスリーク	膨潤収縮による 機械的応力	乾湿サイクル ガスリーク量	クラック生成 メカニズム
	薄膜化による クロスオーバー量上昇	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /OHラジカル による電解質の分解 不純物、Ptバンド(加速)	開回路/保持 水素クロスオーバー量	ラジカル発生メカニズム と高分子分解/ケース の解明と抑制 /化学・熱的に安定 な高分子基本構造
イオン	スルホン酸基脱離による プロトン伝導性低下	局所温度上昇 による熱分解	高低温遅運転 水素クロスオーバー量	
触媒	触媒粒成長による 有効表面積低下	電気化学的 溶解再析出	電位サイクル(0.6/0.9V) (ECA)	Pt溶解、再析出現象 のメカニズム解明と対策
	触媒減耗による 有効表面積低下	電気化学的溶解		Pt合金設計指針
	触媒凝集による 有効表面積低下	電位上昇による 担体カーボン腐食	電位サイクル(0.6/1.3V) (ECA) 高燃料利用率運転 (ECA)	耐高電位腐食担体 カーボンに代わる
	触媒の被毒による 活性低下	空気、燃料中 微量成分の侵入	不純物添加 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 分極曲線)	FCVで実施可能な 性能回復手段
	合金成分の溶解 による活性低下	電気化学的溶解	電位サイクル(0.6/0.9V) (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 分極曲線)	Pt合金設計指針

図11. 自動車用燃料電池におけるMEA劣化マップ

この単セル評価プロトコルを活用し、関係各位が共通の評価方法（項目・評価モード）を採用することで、到達度を共通の指標で確認し、耐久信頼性の向上に向けた開発を全体で進めていくことが期待される。

劣化評価方法の一例を図12に示す。

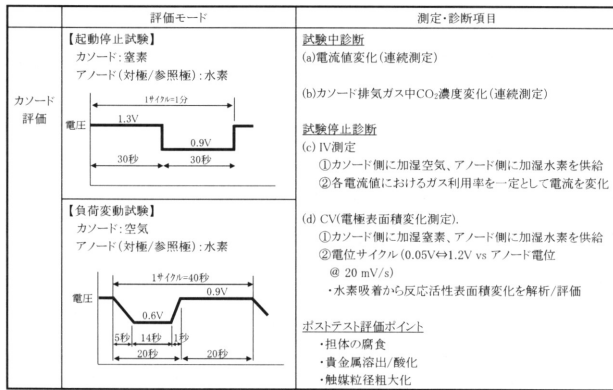


図12. 劣化評価方法: 単セル電位サイクル条件まとめ[1]

### 5. まとめ

日産自動車における FCV の現状ならびに今後の課題に対する取組みと展望について紹介を行った。

FCV は、有害な排気ガスを出さず、CO<sub>2</sub> 排出量抑制にも大きな効果が来たいでき、地球の環境にやさしい移動手段となる可能性を秘めている。

2008年7月に FCCJ は日産自動車を含む自動車会社5社、エネルギー関係会社7社と共同で、2015年のFCV、水素ステーション事業化開始に向けたシナリオに合意した。(図13)

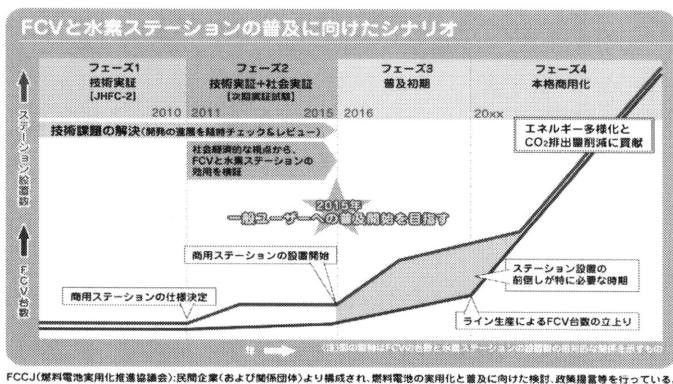


図13. FCCJ の普及シナリオ (2008. 7月プレスリリース)

今後、このシナリオに沿いFCVの市場導入を開始し、CO<sub>2</sub>の排出量の削減に貢献できるよう研究開発に引き続き注力していきたい。

### 参考文献

[1] 「固体高分子形燃料電池の目標・研究開発課題と評価方法の提案」、燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ)、2007  
 [2] 飯山、井口、大丸、『自動車用燃料電池の目標・開発課題・劣化要因マップ・評価方法の提案』、NEDO シンポジウム『固体高分子形燃料電池の高耐久化への展望』、2007  
 [3] A Ohma et al, ECS Transaction 3 (1), 519-529 (2006)