

トヨタにおける『FCV』開発状況と 2015年普及開始に向けた取り組み



特 集

トヨタ自動車株式会社 技術統括部 次世代車推進グループ
三 谷 和 久 氏

●はじめに

本日お話しするのはまず燃料電池自動車（FCV）の開発の意義。他社もそうですが、トヨタ自動車がFCVの開発をなぜこんなに一生懸命にやっているのかという大義、意義について触れたいと思います。2つ目に次世代車の中で先行して普及開始されたEV（電気自動車）とFCV（燃料電池自動車）との比較を行います。時間があれば、FCVの当社としての開発状況を説明したいと思います。

1) FCV 開発の意義

自動車を取り巻く課題にどう対応するかが企業の責務ですが、昔は大気汚染が問題だったわけです。その後、環境問題の中でCO₂が問題視されるようになりました。今では原油価格も高騰しているし、石油の将来への不安が気にかかっています。エネルギーセキュリティと環境対応、この2つの課題は避けて通れないということで、そのために何を成すべきかという段階になっています。

●日本の原油輸入額と原油価格の推移

例えばこのグラフは日本の原油輸入額と原油価格の推移ですが、10年位前までの原油輸入額は4兆円弱でした。ところが2008年に何と16兆円を超えました。安い時と比べると、その差は12兆円。海外に流出する原油購入代金がこんなにも増えてしま

った。これは日本だけの問題ではなく、原油価格高騰のあおりで2007年に米国におけるサブプライムショックが起こっています。これは低所得者層向けの住宅ローンが焦げ付いたということですが、もう少し冷静な見方をすると、低所得者層の方々もちゃんと仕事をしているが、アメリカにおいては通勤のために長距離を車に乗る必要があるということです。ガソリン価格は日本より安いのですが、彼らにはそれが1.5倍や2倍となってくると家計を大変圧迫する。その時に何を払わなくなるかというと、就職先をやめる、通勤をやめるというわけにはいかないので、住宅ローンが焦げ付く。そういったからくりだったのだと思います。そのあおりを受けて2008年、リーマン・ブラザーズの破綻が起きました。そこから後4年間、弊社においても赤字転落という事態になっていきました。このように原油価格が高騰することは世界経済にとって大変迷惑な話だということです。もちろんこの間に赤字になった背景には、タイの大洪水や中国での日本車ボイコットの動きなど、いろいろあります。身近では東北大震災もありました。しかし発端はといえば、やはり原油の問題だという気がします。



講師 三谷 和久 氏

●石油供給能力と代替燃料の拡大

原油がなくなるのかといえば、そうではなくて、2015年ごろから原油需要と供給のラインが横ばいになると言われます。それにもかかわらず潜在的な石油需要というのは、まだ伸びていく。それは途上国での開発をそれ以上しないでくださいとは言えないわけで、彼らも自分達の生活向上を夢見ながら努力しているわけで、どうしてもエネルギーを使っています。その需給ギャップを何かで補わなければいけないということで、代替エネルギーとして、掘りにくい所での超重質油とか、掘り方の改良で可採埋蔵量が急増した天然ガスなどがあります。シェールガスというのは世間では革命などとも言われて、原油価格の高騰を一時的に抑制する意味でありがたい話ではあります。そしてバイオ燃料、後は電気とか水素へと置き換えていく必要があるということです。

●石油代替燃料の特徴

車載用代替燃料としては電気、水素、バイオ燃料、天然ガスなど、いろいろあるのですが、CO₂排出量(Well to Wheel CO₂)や供給量の安定性、車両という目線で見たと航続距離、供給インフラとしての専用インフラ整備コストなどを考えると、どの代替燃料も一長一短があります。国とか地域によるエネルギー政策も異なるため、1つに絞るというより全方位で考え続けなければならないという状況にあります。

●自動車用燃料・パワートレインの多様化

その中で、1次エネルギーとしての石油は今後も主要な燃料であり、そこから出てくるガソリンや軽油をベースとした従来型の車、あるいはハイブリッド車(HV)があり、こうした分野の技術を省エネルギー技術と呼んで重視しています。ただエネルギーを大切に使いましょうというだけでは石油価格高騰の不安から逃れられないということで、天然ガス、石炭、植物(バイオマス)、ウランによる発電、自然エネルギーといわれる水力・太陽・地熱発電など全てを含め、いろんなものからつくれる電気や水素に着目しているわけです。電気を充電して使えばEV化(電気自動車)、水素を充填して使えばFCV化(燃料電池自動車)という図式になります。これらの技術は燃料の多様化技術ということで、欠かせ



ないものだといえます。

●ハイブリッド車ラインアップ

省エネ技術としてハイブリッドという言葉は既にポピュラーになっていますが、じつは弊社におけるハイブリッド車のラインアップは相当な数になっています。自社製品でありながら、私は全てのHV車両の名前を憶えきれなくなりました。今やレクサスの車にもクラウンにもハイブリッドが搭載されています。

●ハイブリッド車の販売台数推移

この表はハイブリッド車が増えていった経緯・歴史を示したものです。1997年に初代プリウスが発売され、じつは累計100万台になるまでに10年かかっています。2003年モデルくらいから少し格好良くなったということで売れ始め、ホンダさんのハイブリッド車が出始めた頃には、負けてはいけないと思いきり値引きをした。そういうこともあって、ぐんと拍車がかかってきたわけであります。今年(2013年)3月にお陰様で累計500万台に達しました。「凄いでしょ」と言うためにこの表を出したわけではなく、じつはプリウスを100万台の舞台に乗せるために10年もかかっているというのが現実だということです。低迷期に開発を始めていた人たちは、こんなものは売れるわけがないと言う社内の95%くらいの人が反対する中を押し切って、それでもやるのだと頑張っていたわけです。頑張り続けた人たちは本当に偉いと思います。それがあれよあれよという間にハイブリッド車は世界の標準語のようになっていった。ここで私が申し上げたかったのは、これはインフラがある状態でのことであり、ガ

ソリンスタンドが全然ない状態で売り出したのではないということ。その当時のガソリンスタンドの状況は、たぶん国内に5万カ所以上はあったと思います。それでもこれだけの時間がかかるということを経験しておく必要があると思います。

●環境・エネルギー問題への対応技術

環境・エネルギー問題への対応技術として、ハイブリッドというのが人気を博しています。お客様の御陰ということなのですが、それはトヨタ自動車としての強みでもあります。それから派生して、バッテリーを少し大きくし、外から充電できるようにしたのが、プラグイン・ハイブリッド（PHV）と呼ばれる車です。エンジンや燃料タンクを取り除いて、その代わりバッテリーを大きくし、充電した電力だけでモーター駆動で走るとというのがエレクトリック・ヴィークル（EV）です。あとは電池の代わりにFCスタックという発電機を積んで、ガソリンとか軽油の燃料タンクの代わりに水素タンクを置いて、自ら発電しながらモーターで駆動するというのがフューエル・セル・ヴィークル（FCV）です。



●省エネルギー・燃料多様化の取り組み

ここからは少し蛇足になりますが、こうしたハイブリッドみたいな車は静かで燃費よく走るだけでなく、こんなこともやっているということを紹介いたします。これは弊社がルマン24時間レースに挑戦している写真ですが、まだチャンピオンシップをとれていなく、常にアウディに負けています。いつもアウディが優勝すればトヨタが準優勝という状況です。それでもこうしたモータースポーツにも参戦できるような次世代車をつくっています。こうしたものも

つくりながら、技術を磨いているということでもあります。それを横軸の時間軸にして流れを描いてみると、こんな感じになります。HVやPHVを磨き上げながらEVやFCVなどへ、つまり低エミッションの世界からゼロエミッションの世界へと移行できるようにするということでもあります。

●乗用車の走行距離

ここから先は乗用車の走行距離などのグラフが出てきます。これは道路交通センサスのデータから引用したグラフですが、乗用車1日あたりの走行距離を見ると大体が20kmくらい。これを走行距離でなくガソリン消費量に置き換えてみると、これも20km～30kmの所にピークがあるという分布になります。これをハイブリッド（HV化）に置き換えてみると、こんな感じになり、50%くらいガソリンの消費を減らすことができる。さらにそれをPHVに代えたらどうなるのか。PHVは最初の20kmくらいの所は全て電気で走ることができるので、じつはガソリンの消費量を74%くらい減らすことができる。次にEVならどうでしょうか。EVは電気で走るのだから100%減らせると思いがちですが、じつは違っています。EVは航続距離に限界があるので、それ以上走りたい方はハイブリッド車に乗り換えていただくことを想定しています。そうするとガソリン使用料75%～88%削減ということになってしまいます。その次にFCVはどうだろうといえ、言わずもがなで500kmでも600kmでも水素で走れるので、ガソリン消費量はもちろんゼロ。つまり100%減らせるわけです。それはもう書くまでもないことなので、この資料には記載していません。

●天然ガス由来エネルギーの総合効率比較

次に1次エネルギーを天然ガスとして置いた時の、いろんなパワートレーンの総合効率の比較を示します。こうしたことができるようになったのは、最近のわが国では原子力発電が使いつらい状況であるため、とりあえず火力発電所、それもコンベンショナルな火力発電所で発電して電気自動車に充電した場合を想定し、ベースのエネルギーを天然ガス由来とする。そうすると総合効率というのは、ここまでがウェル・トゥ・タンクと言われている燃料をつく

るまで、チャージするまでの効率、それから車の効率と書いてあるのはまさに自動車の走行効率です。これを掛け合わせたものが総合効率となります。例えば天然ガスを内燃機関で燃やした場合、コンプレッド・ナチュラルド・ガス (CNG) のハイブリッド車 (HV) をつくったら、総合効率はこんな感じ (29%)。水素に代えて燃料電池自動車 (FCV) で走ったら、こんな感じ (33%) です。あとは火力発電の電気で充電した電気自動車で走ったら、総合効率はこんな感じ (26%)。火力発電効率といってもこんなに低くないと、例えば AGCC とか AGFC のような使い方もあるでしょうから、天然ガスベースでもいろいろあるので、ここの電気の発電効率が5割、6割となってくればEVの総合効率も上がってくる。それを言い始めたら水素の製造効率も、東京ガスのメンブレンリフォーマーなどが本当に実用化してくれば、これが70%を超えてくるので、もっと上がってくるはずですよ。そうしたことは日進月歩なので、今の時点のこうした条件を前提で切り口を見てみたらこんな感じということです。それでもFCVの総合効率は捨てたものではないということで、エンジニアとしてはこの辺りの開発に頑張っているといったところです。

● HyGrid 構想



この図は HyGrid (ハイグリッド) 研究会が作成した HyGrid 構想です。今後ますます風力や太陽光のような不安定な自然エネルギーを増やしていこうとすると、例えば蓄電設備にいったん蓄えて必要な時にグリッドにそれを供給していこうではないかという方法で、安定供給を考えていたわけです。蓄電

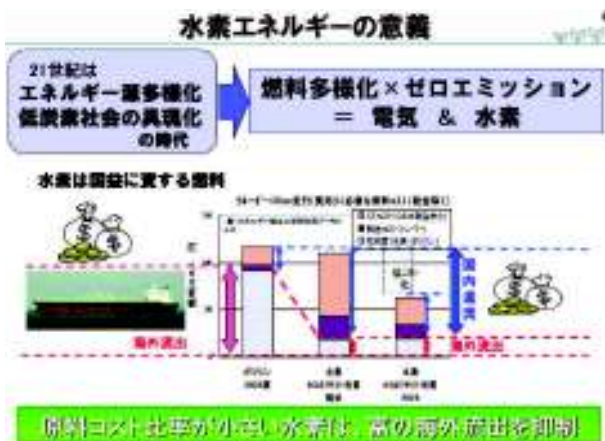
設備は大規模な電池のことですが、電池は非常に高価であること、蓄えていたはずの電気が放電してしまうことにもなり、しかも寿命があるため何年か経てば更新する必要があって、お金がかかります。一方で長い目で見た場合、太陽光なら1日の夜と昼くらのサイクルで計画すればよいのですが、風力では風況の良し悪しは1週間、1カ月単位で考えないといけない。そうなってくると大量なバッファが必要になってきます。それならば、いったん水電解装置でエネルギーを水素の形に変えて、必要に応じてこれを電力に変えてグリッドに戻してもよいのではないかという発想が HyGrid 構想です。もちろん水電解水素はピュアな水素なので、そのままモビリティにも使える。そんなことが成り立つのではないかと一生懸命に研究をしています。HyGrid 研究会には川崎重工さんだけでなく弊社も仲間に入れていただいて、いろいろ議論をさせていただいています。

● 川崎重工の描く水素社会

他社さんの絵を許可を得て使わせていただきましたが、左端がオーストラリアです。豪州褐炭 CCS 付きという格好で、どちらかというクリーン水素をタンカーで運んでくる。ここがハワイ島で、利用国とあるのは日本を想定しています。豪州の褐炭は輸出し難い資源でした。恐らくそれをバラ積み船で日本に運んでこうとすると、赤道辺りで乾いてきて海上火災を起こすだろうと。だから輸出しようとしてもできないという資源だったのですが、水素化すれば高付加価値のエネルギーとして輸出が可能となります。Win-Win の関係がオーストラリアとの間で我が国でもできるのではないかと、先月 (10月) 21 日の日豪経済合同会議で弊社の顧問が川崎重工さんのこの絵を示しながら説明させていただいたら、非常に受けがよかったということです。相手はビクトリア州政府の要人や経済大臣を含めいろんな方が出席していて、こんな時代が来るといいねと盛り上がったことを紹介しておきます。

● 水素エネルギーの意義

弊社における水素燃料電池自動車開発の意義というのは、これに尽きると思います。21世紀は、エネルギー資源多様化と低炭素社会の具現化の時代だと思います。そう考えた時に燃料の多様化とゼロエ



ミッションの双方向を成立させるエネルギーは、電気とか水素に収斂されてくるのではないのか。その時にここに示した絵は、ガソリンを想定しています。例えば2008年夏（オイルショック当時）の1ℓの値段と現在とを比べると、それほど変わっていません。ハイブリッド車でガソリン1ℓと同等の走行距離を走るのに必要な水素1m³の燃料コストを110円くらいに置いています。本当はそれを80円とか60円にしてくださいとお願いしている最中ですが、まずはこれで比較してみます。申し上げたいことは、ガソリン1ℓのコストに占める割合の7～8割が産油国に流出しているお金だということです。同じくらいのお金をお客様が払ったとしても、水素（天然ガス改質水素）の場合は逆に8割程度が国内で還流します。国内への還流は最初のうちはインフラコストや輸送コストが載ってくるために結構高いのですが、これは国内での制度見直しや技術の開発などが進むことで低コスト化が図り得るものだと思います。低コスト化しようがしまいが、国内にお金落ちることは幸せなことと言えます。みすみすアラブの王様の懐に、支払った燃料代の80%が入ってしまうのはやはり悔しい。国内にそれが残り、国内のいろんな所に回っていくなら我が国全体が経済的にも潤うわけでエネルギーセキュリティ面でも国益にかなうこと。それが私の申し上げたかったFCV開発意義です。

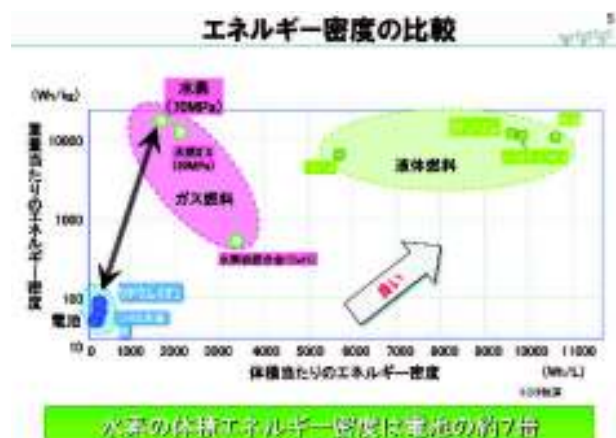
2) 電気自動車 (EV) と燃料電池自動車 (FCV)

●EVとFCVの特徴

バッテリーに充電した電気でモーターを回して走るのがEVです。FCVは水素タンクを積んでいます。燃料である水素を活用しながら、燃料電池で自ら発

電した電気でモーターを回して走るのがFCVです。ただし小さなバッテリーも積んでいます。いわゆる再生エネルギーを蓄えて無駄のない走りをしてしようということで、基本的にはハイブリッドカーと同じ仕組みになっています。走行時のCO₂排出がゼロ、走行時の静粛かつ滑らかな加速感というメリットは双方にあるのですが、EVのデメリットは航続距離が短いわりに充電時間が非常に長いことに加えて、電池の経年劣化などの心配事もあります。FCVはガソリン車同等の航続距離（満タンで500km以上走行可能）とか、短い燃料充填時間（約3分間）、低温でも走行性が良いなどがメリットとしてあげられます。

●エネルギー密度の比較



EVとFCVとでは、燃料特性の差が最も大きなところだと思います。この図表は横軸が体積当たりのエネルギー密度、縦軸が重量当たりのエネルギー密度。当然、エネルギー密度が高いほど、使い勝手の良いコンパクトで集積度が大きなエネルギーだといえるのですが、その点からガソリンや軽油はやはりチャンピオンだということです。使い勝手の良い液体燃料を使っていたお陰で100年以上にわたり、モータリゼーションはガソリンや軽油による内燃機関でやって来られたわけです。それに対して水素は70MPaでもこの辺りに位置します。この辺りでどうしてガソリンに匹敵する航続距離を稼げるのかというと、効率が良いからです。内燃機関より燃料電池の方が4倍、5倍とエネルギー効率が良いために航続距離が稼げることになります。左下の隅に位置しているのが電池です。電池の世界だけを見ると、

毎年倍々ゲームで性能が上がっていると新聞などで報じられていますが、鉛電池からニッケル水素電池に変わり、ニッケル水素電池からリチウムイオン電池に変わり、素晴らしいと言われてきましたが、この図の左下の隅っこで戦っている世界です。だからといってトヨタ自動車は電池なんか放っておけと言っているわけではなく、実はハイブリッド車は全車に二次電池が必要です。電池の技術開発もちろん大事だという思いで、電池研究部などを設置して一生懸命やっていますが、電池だけに頼ったEVをつくっていくかについては、もう少し考えた方がよいのではないかと思います。

●EVとFCVのシステムコスト比較

このグラフは横軸を航続距離、縦軸をシステムコストとした時の模式図です。EVは航続距離を長く走ろうとすればするほど、電池を積み増ししていく必要があります。2倍走りたいと思えば、2倍以上の電池を積まなければなりません。FCVで航続距離を延ばそうとするなら、水素ガスタンクの容量を膨らませればよいわけで、それほどコストに影響しません。だからEVとFCVではこの図のようなクロスポイントがあります。これがどの辺りにあるのかは各社各様に違うので、横軸に数字を入れていませんが、大体実用航続距離150km前後で、それより短距離の場合ならEVがコスト的に優位な部分があるだろう。それより長距離を走るのならFCVの方がコスト的に優位になるだろうと考えております。

●次世代車の棲み分けイメージ

それを絵に表したものがこの図です。次世代車の

棲み分けイメージというのは、短距離の小型コミューターというところがEVの市場になっていくのだろうと考えています。この写真はトヨタ車体の1人乗りのEVですが、非常に短距離のコミューターとして豊田市内において、例えばスマホで予約して駅から会社、会社から駅、あるいは美術館などの施設に行ったり来たりするという実証試験が始まっています。決してEVの市場を否定するものではありません。ただもう少し長距離を走りたいというところでは、やはりFCVの市場になっていくのだろうと考えております。もちろん今日や明日中にEVやFCVに取って代わるという話ではまったくなくて、コアビジネスとしてはHVやPHVがしばらくは続くという考えであります。

●FCVのうれしさ

FCVのうれしさというものをまとめたものがこの絵です。①エネルギーの多様化②ゼロエミッション③走りの楽しさ。これらはEVもFCVも同じ。FCVの特徴的なうれしさというのは、④使い勝手の良さ。つまり航続距離が実用500km以上で、水素充填時間が3分以内、氷点下始動も大丈夫だということです。それに加えて⑤非常用電源供給。これはもちろんEVでもできる技ではあるが、非常用の時にかなり長時間にわたり電源供給ができるというのがFCVのうれしさだと考えております。

●外部電源供給システム

非常用電源供給というのはこの図のようなイメージで、まさかの時に避難所（例えば学校体育館）にFCバスが横付けされて、FCバスの燃料電池（発



電機)から受電装置を介して電源供給を行うことができます。もちろん乗用車の場合はガレージに入ってきて、外から一般家庭への電源供給ができます。これで1週間程度の電源供給が可能です。2011年3月の東北大地震の時に津波でやられた三陸地方の町では、約1週間の電源喪失状態が続きました。3月の寒い季節に電気のない避難所で暮らすことの心細さ、夜中に照明が無いということ、テレビも映らない、携帯電話なども充電が切れてしまうという中で、1週間我慢を強いられたという所がたくさんあるかと思います。そんな時にFCバスなどが公共交通機関として走り回っていたとしたら、よほどホッとする夜を迎えられたのではないかと私は思います。

●防災上の付加価値

これは蛇足ですが、まさかの時に大事なライフラインというか、病院とかコンビニなどの機能を何とか生かそうと思ったら、この程度のFCVがあれば大丈夫だろうと示したのがこの図です。以前はここにEVの絵も描いていたのですが、50台くらいになってしまい貼り付けるのが面倒になってやめました。この写真は矢作川の河川敷で愛知県と豊田市の県市合同防災訓練の時の状況で、テントの中に防災本部が設置され、そのモニター画面や通信機器などにFCバスから電源供給をしている様子です。河川敷ですから電線も電信柱も何もない所ですが、そこで一日きっちりと防災訓練のための電源供給を実施するという実証を昨年(2012年)9月10日に行いました。

●欧州のインフラ整備コスト試算

次にインフラについて触れておきます。これもEVとFCVの差という意味で、FCVのインフラはやはり1カ所当たり4億円、5億円がかかるといわれます。EVの充電設備は100V、200V系で1本20～30万円の金額かと思いますが、ところがEVは、1台当たり1本は何かしらほしい、家庭にもほしいということで、EVが何百万台、何千万台と増えてくるとそれだけの充電インフラがほしくなります。そのように考えた場合は、1カ所の水素ステーションを建てておけば、そこに500台、1,000台とFCVがぶら下がっても賄えるわけだから、社会的インフラコストはFCVと水素のほうが低く抑えられる

ということを欧州のマッキンゼーというコンサル会社が試算結果を示しています。そうしたこともあり、日本や欧米などでは水素インフラ整備への取り組みが進められつつあります。

●世界の水素インフラ動向

世界における水素インフラの動向としては、日産自動車、ホンダ、トヨタ自動車、韓国の現代自動車を含めて燃料電池自動車の開発が進んでいる極東アジア、ダイムラーを中心としたドイツ、あるいは北欧、イギリス。もちろん北米のカリフォルニア州、ニューヨークやワシントンなどで水素インフラができてつつあるというところでは、2015年を目途に世界のFCVを開発しているメーカー各社はこぞって売り出すことになっているので、そのためにはインフラが必要なため、先行して各国でインフラ整備が進められているということです。

3) 燃料電池自動車 (FCV) の開発状況

●トヨタFCV開発の歴史

実際にFCVの開発を始めたのは1992年からなので、あしかけ21年目になります。2002年辺りから街中を走ることができる車がつくれるようになりました。その当時は大臣認定ということで、1台ごとに大臣の認定をもらいナンバープレートを貼って走るという状況でしたが、2005年モデルから大臣認定でなく型式認証を取得し、陸運局に持っていけばナンバープレートがもらえるようになりました。2008年モデルでようやく車になったというか、航続距離の話とか、寒冷地性能向上とか耐久・信頼性が上がってきたとかという経過を経て現在に至っています。



●無充填走行、低温始動／走行性能評価、FC スタックの耐久性、幅広い取り組み

これは東京～大阪間を無充填走行したという状況です。これはカナダのティミンズ、イエローナイフといった極寒の地へ、2月～3月に実車を持ち込んで寒冷地試験をやっている時の写真です。これはFCスタックの耐久性を示したグラフで、開発初期というのは本当に劣化が早かった。2008年モデルでは大体20%出力低下の所を1つの目標において、これを10年間くらい持たせようとしているのですが、次のモデルでは20%出力低下の目標値というのは大体15年持たせようとしていて、これもガソリン自動車並みという所を目標に置いています。そのための開発としては、FCスタックの部分と燃料タンクの部分の自社開発を推進しています。FCバスやFCフォークリフトも開発しています。日野自動車や豊田自動織機などトヨタグループを挙げてFC、燃料電池で動くモビリティをつくろうとしています。

●FCV今後の展開

今後の展開ですが、水素は次世代自動車用エネルギーの有力な候補であると考えていまして、2015年頃からセダンタイプのFCVの販売を開始します。それに1年くらい遅れてバスが出てくるでしょう。そしてフォークリフトなどの産業車両も出てきます。これは2013年東京モーターショー参考出品車で、大阪モーターショーにも持ってきますので、ぜひご覧になってください。



●まとめ

水素は多様な1次エネルギーから製造が可能であり、石油代替燃料、電気エネルギーのキャリアヤとして有望です。FCVは「エネルギーの多様化、CO₂ゼロ、走りの楽しさ」に加えて、「使い勝手の良さ、非常時給電能力」に優れています。FCVの普及には水素インフラが不可欠で、2015年頃からセダンタイプのFCV販売を開始します。グループ全体で更なる水素エネルギーの用途開発を推進していきます。

●おわりに



この写真の人は誰でしょうか？ 2008年の石油ショック後の2009年、日経新聞のインタビューを受けたサウジアラビア元石油相のヤマニさんは次のように語りました。「石器時代は石がなくなったから終わったのではない。石器に変わる新しい技術が生まれたから終わった。石油も同じだ」。あまり価格を吊り上げていたらまずいと警鐘を鳴らしていたのですが、時すでに遅し。我々はそれに変わる技術を着々と開発してきました。エネルギー革命は、石油資源の枯渇ではなく、代替燃料を生かす技術革新から起こります。ようやく水素FCVが実用域に到達しました。サステイナブルな低炭素社会構築に向けて、私たちはいつ取り組みを始めるべきでしょうか？ ここで今年の流行語大賞にノミネートされている「倍返し」ではなくて、「今でしょ！」と言わなくてははいけないでしょう。