

FC（燃料電池）駆動システム

トヨタ自動車株式会社

代表取締役社長 豊田 章 男

トヨタ自動車(株) FC技術・開発部 木 崎 幹 士
トヨタ自動車(株) FC技術・開発部 水 野 誠 司
トヨタ自動車(株) FC技術・開発部 近 藤 政 彰
トヨタ自動車(株) FC技術・開発部 野 々 部 康 宏
トヨタ自動車(株) 電池・FC生技部 鈴 木 稔 幸

はじめに

トヨタ自動車は、環境・エネルギー問題への対応を解決すべき大きなテーマと捉え、様々な技術開発に取り組んでいる。近年は、電気・水素の活用が期待されており、そのなかでも水素は電気と比べ、エネルギー密度が高く貯蔵や輸送が容易なため、エネルギーの地域的な偏りの解消や、自然エネルギーの課題である変動・不安定への対応も可能であり、更には、これまでほとんど利用されていなかった下水の汚泥から水素を作る取り組みなど、低炭素社会実現の担い手として世界的に見ても重要度は日増しに高まっている。

燃料電池自動車（FCV）は、その水素を燃料とする自動車であり、クリーンで高効率という環境性能の高さに加え、モーターを使った滑らかな走りや静粛性と、ガソリン車に近い航続距離や充填時間により、走りの楽しさと使い勝手の良さが両立できる高い商品性をもつエコカーとして開発意義は非常に高い。

トヨタ自動車は燃料電池（FC）システムの開発を1992年にスタートし、2002年12月には世界に先駆けてFCVの限定リースを開始した。以降改良を重ね、2008年に導入したFCHV-advでは、主要技術課題であった航続距離と氷点下始

動性の解決に目処を付け、FCVのエコカーとしてのポテンシャルの高さを実証してきた。

開発のねらい

「本格普及につながる魅力を持ち、世界初の”商品”と呼ぶことが出来るFCVの開発」をねらいとして開発をスタートさせ、従来から定評のあったFCVの走行性能や静粛性に一段と磨きをかけると同時に、商品化に向けて最も大きな課題であったFCシステムコストを画期的に低減するため、様々な世界初や世界トップの技術開発に取り組んできた。

装置の概要

図1に主要ユニットと搭載レイアウトを示す。燃料電池技術とハイブリッド技術を融合し

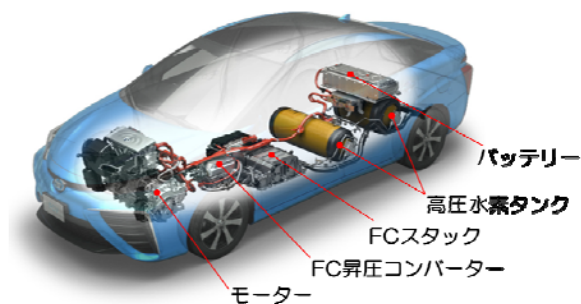


図1 システムレイアウト

たシステムで、フロントにモーター、フロア下に昇圧コンバーター、FC スタック、リアに高圧水素タンク、バッテリーを搭載している。

図2に動作原理を示す。空気中の酸素とタンクに貯えた水素を燃料電池へ供給し、化学反応により発電しその電気を使ってモーターを駆動。

負荷の状況に応じバッテリーからも電気を出し入れし、高効率な走りを実現。排出されるのは水のみである。

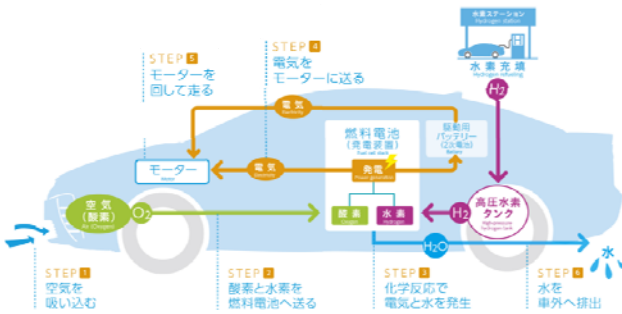


図2 システム動作原理

技術上の特徴

FCシステムの高コスト要因は、高価なFC専用材料、複雑なFCV専用システム(部品点数が多い)、量産効果小、に大別される。以下にこれらの要因とその対応について述べる。

〈FC固有材料のコスト低減〉

FCユニットを小型高性能化することで高価なFC固有材料の使用量低減を図った。

①世界トップのFCスタック出力密度

従来FCスタックのセル流路構造は、一般的な溝流路であり、電極と接する流路リブ下は生成水が滞留しやすく、酸素の拡散が悪いため発電が不均一となる(図3)。今回の新型FCスタックでは電流密度アップと電圧安定性確保をねらい、空気流路として革新的な3Dファインメッシュ流路を開発した(図4)。3Dファインメッシュ流路は、3次元的な微細格子流路であり、空気を電極に当る方向に乱流的に流すことで、触媒層への酸素拡散を促進している。

また、流路の表裏形状最適化と流路表面の親

水化により、電極から排出される生成水を速やかに流路表面に引き寄せて、流路の水詰りによるガス流れの阻害を防止し、セル面内の発電均

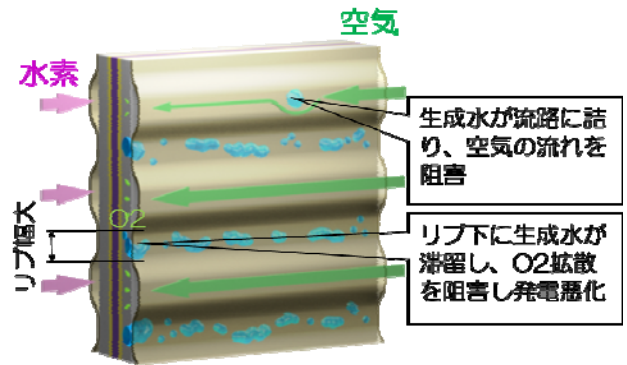


図3 2008年型セル

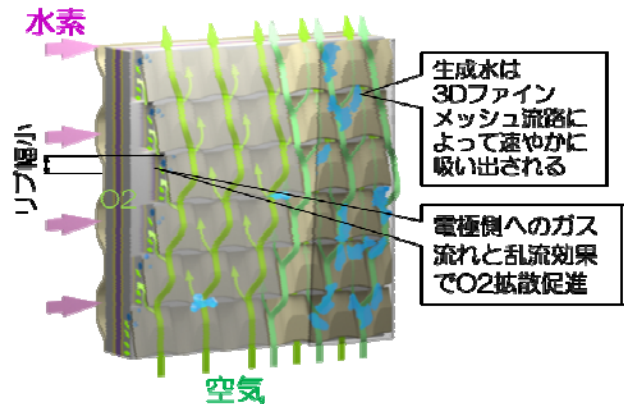


図4 新型セル

一化とセル間電圧ばらつき低減を図っている。

その他、電極の革新などで、新型FCスタックでは従来比2倍以上の世界トップレベルの体積出力密度(3.1kW/L)を達成した(図5)。

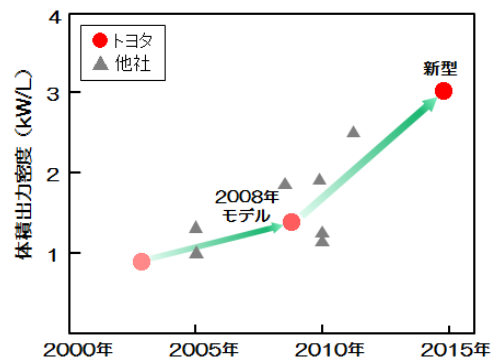


図5 FCスタックの出力密度

②世界トップの水素タンク貯蔵性能

高圧水素タンクは、最内層の水素を封入する

樹脂ライナ、その外側の強度を受け持つ炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 層及び両端のアルミ製口金などからなる。CFRP 積層パターンは、胴体部の強度を受け持つフープ巻 (円周方向)、ドーム部の強度 (軸方向) を受け持つヘリカル巻及び、それらの境界部を補強する高角度ヘリカル巻の3種類を組み合わせている (図6)。

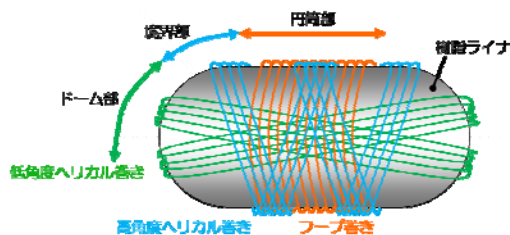


図6 水素タンク積層パターン

この中で、高角度ヘリカル巻は軸に対して約70°の角度で巻かれ、必然的にドーム部にも巻かれることになるが、円周方向の応力分担は低く、タンク強度にはあまり貢献していないことが分かり境界部の補強に高角度ヘリカル巻を使用しないで実現する積層方法を開発した。

他にも口金形状の最適化による CFRP 低減と合わせて、世界トップレベルの水素貯蔵性能となる5.7wt% (貯蔵可能な水素質量/タンク質量) を実現した (図7)。

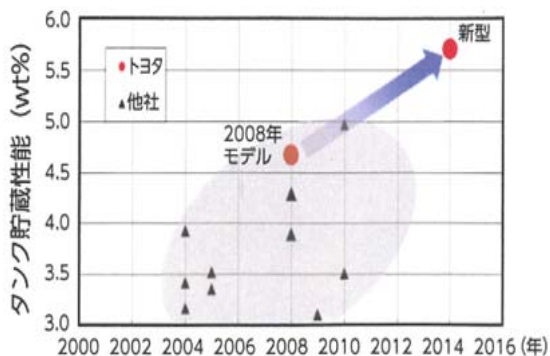


図7 高圧タンクの貯蔵性能

〈FC システム簡素化〉

FC システム簡素化のためには、部品の廃止や統廃合は不可欠である。図8にシステムの構成を示す。部品流用 (黄色で表示) に加え、部品の統廃合 (水色で表示) を進めた。

特に、今まで FC では必須の構成と考えられ

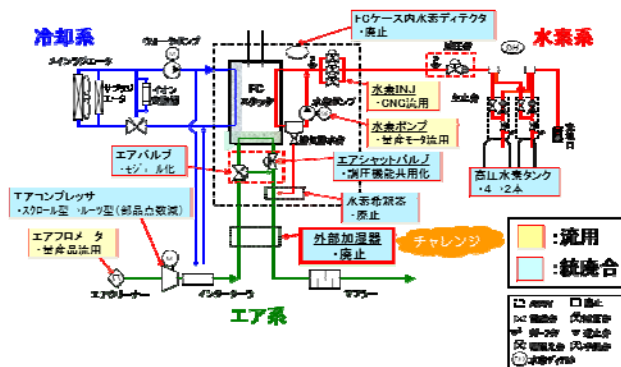


図8 FCシステム及びその簡素化

ていた外部加湿器を廃止した技術は、FC スタックの本質部分を十分に解析した上で改良アイテムを織り込み、制御も大幅に見直し、システム全体で実現した世界初の技術である。

セルの水素流路は空気流路に対し電極を挟んでマクロ的には対向流になっており、セル内空気流路下流の生成水 (逆拡散水) を活用して、水素流路上流部で水素を加湿し、水素の流れにより水素下流部に水蒸気を運び、電極が乾き易い空気流路上流部を加湿する仕組みとした (図9)。

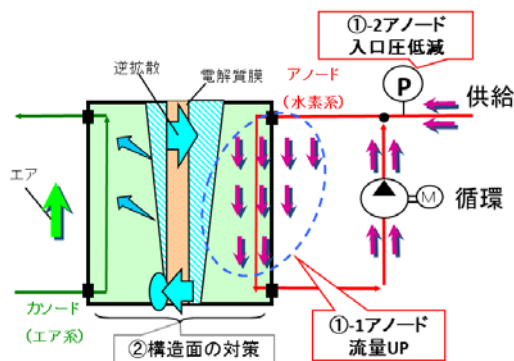


図9 加湿コンセプト

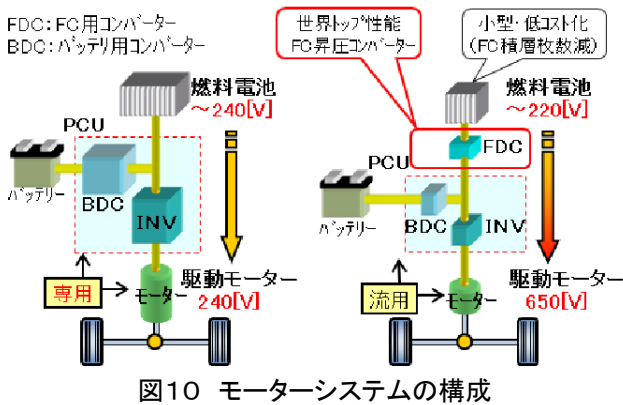
構造面の対策として電解質膜を従来の 1/3 に薄膜化し生成水の逆拡散を促進するとともに、セル面内では 3D ファインメッシュ流路パターンを変え、空気極上流部では乱流の緩和と、冷却水量を増加させ温度上昇を抑え、電極からの水分の蒸散抑制し乾きを防止している。制御面では逆拡散水を水素面内に効率的に分散させるため運転条件に応じて適度に水素側の流量をあげ、水素入口圧を低減することで水分の蒸散を促し水素面への生成水の移動の改善を図ってい

る。更に FC の内部状態を表すインピーダンス値を計測し、きめ細やかな制御を行っている。

このようにして生成水のセル内部循環による自己加湿を実現し外部加湿器なしでも、発電性能を維持しつつ安定動作可能な FC システムを実現した。

〈量産部品の活用〉

量産部品を流用するために、システム構成の見直しを図った。モーターシステムは量産ハイブリッドユニットが流用できるように FC 用昇圧コンバーターを追加したシステムを新たに開発した (図 10)。



実用上の効果

システムの発電効率は JC08 モード走行時で約 60% 以上と高く燃料電池自動車の活用を広げることで大幅な省エネルギーにつながる。また水素は製造原料の代替性が高く、副生水素、褐炭、汚泥といった未利用エネルギーや再生可能エネルギーを含む多様な 1 次エネルギー源から製造が可能でエネルギーセキュリティが高く経済の安定性につながる。また走行中は NOx など有害排気ガスや CO₂ の排出ゼロなど環境に大きく貢献することができる。

知的財産権の状況

システム・制御、FC スタック、高圧水素タンクを中心に合計 233 件を出願済み。現時点で権

利化されている特許 3 例の概要を以下に示す。

また参考であるが 2015 年 1 月 6 日トヨタ自動車は、FCV の普及に向けた取組みの一環として、トヨタ自動車が単独で保有している世界で約 5,680 件の燃料電池関連の特許 (審査継続中を含む) の実施権を無償で提供することを発表した。

① 特許 04821962

名称：燃料電池システム

概要：高、低周波のインピーダンスで、膜の状態を検出し、温度、水素循環量、空気量、圧力を制御することにより、外部加湿器レスで安定した燃料電池運転を実現

② 特許 04678359

名称：燃料電池

概要：電極への空気拡散性を向上させた 3D ファインメッシュ流路スタック

③ 特許 05408351

名称：高圧タンクおよび高圧タンクの製造方法

概要：繊維強化樹脂の巻き方を工夫し、少ない材料で必要強度を実現

むすび

FCV の量産化・商品化は、協力会社の方々を含め非常に多くの関係者の長く険しい道のりを超えての成果である。

と同時に大量普及に向けては長いチャレンジの始まりでもある。

持続可能なモビリティの実現・エネルギー多様化に対し、FCV は最も将来性の高い技術の一つとして今後も開発を推進し、水素社会形成に向けた取組みを官庁・関係業界の方々と一緒に積極的に推進していきたい。地球・未来・大切な人のために。