

究極のエコカー研究最前線ルポ

見えてきた!

水素ハイブリッドトラックの実用化



自動車100年ちょっとの歴史のなかで、技術的にいまほどエキサイティングな時代はないかもしれない。化石燃料のレシプロエンジンが、ここにきて急速に進化を見せていること、ハイブリッドカーが10%を超えつつあること、電気自動車の実用化時代が見え始めていることなど、乗り物の歴史始まって以来の大変革期を迎えつつある。

こうしたなか、水素ガスを燃料とした自動車も技術革新が進みつつある。40年前から水素燃料エンジンを研究・開発してきた東京都市大学(旧・武蔵工業大学)で、このほど水素ハイブリッド・トラックが開発され、ナンバーを取得し



実証実験段階となった。水素ガスエンジン車は、限りなくゼロエミッション・カーではあるが、低速トルクが弱く、最高出力も既存のエンジンにくらべ3割ほど小さいというデメリットがある。今回技術的に、その弱点を克服した車両が完成したという。いまのところ水素ステーションがごく限られているため、自由に走り回るクルマというより、ステーションの周辺で活躍する小口の輸送トラックや送迎車、あるいはゴミ収集車などでの需要に絞られている。こう考えると、水素ガストラックの実用化もまんなら夢物語ではない。そのあたりを究明取材した。

〈広田民郎〉

水素エンジン車というと、マツダのロータリーエンジンと組み合わせた車両(RX-8)やBMWの7シリーズ(V12エンジン搭載)を思い出す人も多いと思う。だが、今回のそれは日本の大学、それも私立大学が独自で作り上げたものだ。水以外の排出物を出さない水素エンジン車は、究極のゼロエミッション・カーでもある。

あまり知られていないが、実は、東京都市大学(旧・武蔵工業大学)の水素燃

料エンジンの研究は、40年にもわたるといふ。日本で始めて水素エンジンを運転



1974年、東京の環状8号線を白バイの先導で走行する「武蔵1号」。



1977年、液体水素燃料と液体水素ポンプ、2サイクルエンジンを搭載した。

させたのが、1970年だったという。そこから数えて約40年のキャリアを持つのである。4年後の1974年にはその水素エンジンを搭載した日本初の自動車「武蔵1号」が東京の特種道路である環状8号線を走行させたのである。これを皮切りに、これまで10台の水素エンジン車の試作に成功し、走行させている。なかでも、1990年に試作した武蔵8号は、日産フェアレディZをベースにしたもので、火花点火方式の液体水素ポンプを搭載させた。この車両は、ハワイでおこなわれた第8回国際水素エネルギー学会に出展している。4年後に完成した武蔵9号は、液体水素による保冷車(トラック)で、箱根ターンパイクでの登坂に成功している。昨年の2009年には水素燃料エンジン搭載のバス(ベースは日野リエッセ)の開発に成功し、日本で初めてのナンバープレート



昨年試作し、現在北海道の室蘭で活躍中の水素燃料バス。

見えてきた! 水素ハイブリッドトラックの実用化



1997年、京都サミットCOP3に展示された「武蔵10号」。

を取得し、現在は北海道の室蘭市で活躍中だという。

大学で、「なぜ水素エンジン車の開発」が40年にわたり行なわれているのだろうか?。東京都市大学の総合研究所の伊東明美さんは、こんなふうに説明する。「その目的は3つあります。ひとつは、CO<sub>2</sub>の排出量の削減という社会的な要求です。運輸部門でのCO<sub>2</sub>の排出量は全体の19%におよんでいます。これを少しでも減らすということです。2つ目は、この大学には40年にわたる水素エンジンの研究実績の蓄積があるということです。水素ガソリンエンジンにはまだまだ研究課題、実用化するうえでの課題があります。これを解決したいということです。3つ目は、教育的側面です。座学で得られた知

350 MPa 20 MPa 04 MPa 鋼造5イン



水素燃料エンジンのしくみ。後部にエンジンを載せ、ルーフ上に水素タンクを積んでいる。

無断転載禁止  
著作権は整研出版社に帰属します  
転載承認済



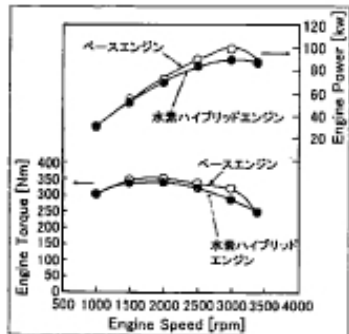
左から伊東明美先生とクルマ造りをおこなった岩崎さんと白倉さんの2人(学生)。

議を実物で確認することでより理解を深めることができる。むしろ、環境問題について深く考えるきっかけ作りにもなります」。

現在、東京都市大学には「総合研究所」というのがあり、最先端の実験装置を生かし、「水素エネルギーセンター」を構築している。水素エネルギーの研究はここで行なわれているのである。

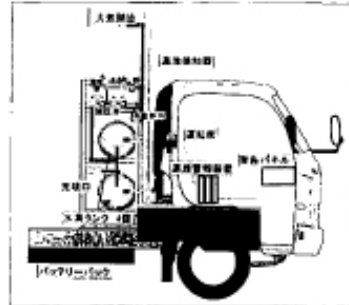
水素エンジンの大きな課題とは？

そして今回公開されたのは、「水素ハイブリッド・トラック」である。



水素ハイブリッド・トラックの出力特性。ベースエンジンの出力/トルクと限りなく近くなった。

見えてきた！水素ハイブリッド・トラックの実用化



水素ハイブリッド・トラックの車両構造。「武蔵3号」。

ベース車両は、日野デュトロ・ハイブリッドである。積載量2トン。ベースエンジンは4気筒・排気量4リッターの直噴ディーゼルである。昨年試作した小型バスの水素エンジン車で、2つの課題があった。水素エンジンに改造すると低速トルクが大幅にダウンすることがひとつ。2つ目がベースエンジンに比べ最高出力が約30%もダウンすることだった。

水素エンジンというのは、予混合火花点火方式を採用している。吸気バルブを開いて、燃焼室に空気と水素を入れ、圧縮行程をへて、スパークプラグから火花を出すことで燃え広がらせ、膨張させ、チカラを作り出し、燃焼が終われば排気バルブから排気する……という現在のガソリンエンジンと同じスタイルである。

これまでのエンジンが抱えていた2つの大きな課題（出力不足と低速トルクの落ち込み）について、さまざまな試行錯誤が行なわれたという。その結果、出力不足に関しては、2つの手段が講じられた。ひとつは、吸気行程でより多くの空

見えてきた！水素ハイブリッド・トラックの実用化



ペールを脱いだ水素ハイブリッド・トラック。日野デュトロをベースにして、すでに品川の除運事務所で購入している。車両重量は、ノーマルにくらべ約230kg増だという。

気と燃料をシリンダー内に供給するためにターボチャージャー（VGターボ）を搭載していることだ。ところが、過給を高めるとスパークが飛びにくくなったという。電荷が残り、次の吸気行程でスパークして吸気管に燃え広がるというトラブルが生じたのだ。こうなると、もともと吸気管は高い圧力と高温に耐える環境にはないので、吸気管自体の破損につながる。

そこで高過給下で正常な燃焼をおこなわせるために、従来のフルトランジスタ点火方式からCDI（キャパシタ・ディスチャージ・イグニッション・システム）に変更している。CDIというとレースエン



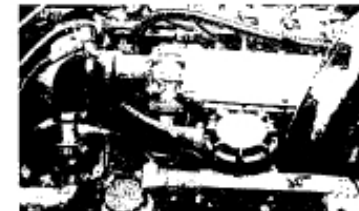
シリンダーヘッドカバー部。インジェクターの代わりにスパークプラグを装備させている。



ベースエンジンは直噴VGターボ付きの4リッター直列4気筒ディーゼルエンジンだが、水素燃料エンジンに改造している。手前に見えるのがVGターボ。

ジンとかスクーターに採用されているイグニッションシステムだが、水素エンジンとの相性がよいことを突き止めたのである。この改良によりベースエンジンに比べ最高出力で、わずか10%ダウンにとどめることができた。

低速トルクが薄いという課題は、ハイブリッドシステムという利点をフルに活用し、モーターアシストで切り抜けている。実は水素エンジンは、テールパイプから出る有害物質は、基本的にはゼロだが、NOxの排出に関しては油断できない。というのは、燃焼が高温になると空気中の窒素と酸素が結びつきNOxの発生を促すからだ。しかし、燃焼室に入る空気量



エンジンの左側に付く、新作された独立型の吸気マニホールド。1気筒あたり2つのポート噴射インジェクターが付く。



↑エンジンの後部につくCDI装置。高過給下でも正常な燃焼に寄与する役目を果たす。

を極端に少なくすればNOxの発生を抑制できるので空気過剰率(λ:ラムダ)を20前後にすることで、触媒をいっさい使わないで規制値をクリアしている。排気系に使われているのは消音用にマフラー内のグラスウールぐらいである。とにかく水素ガスエンジンはウルトラ・リーンバーンができるのである。

なお、ハイブリッドシステムは、エンジンとトランスミッションの間に挟まったコイルと永久磁石で構成されたモーター兼発電機だ。いわゆるパラレル方式のハイブリッドである。モーターの出力/トルクはデュトロと同じで30kW/343Nm、システム効率93%である。こうした改造で、水素ハイブリッド・トラック



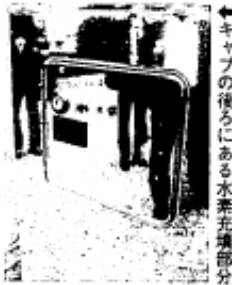
↑キャブと荷台の間にある水素タンク部。現在4つのタンクを積み、航続距離は約100kmだが最大8個積み、この場合航続距離は200kmと推定している。

見てきた! 水素ハイブリッドトラックの実用化

のエンジン性能曲線は、ほぼベースエンジン車と同じになった。

直噴エンジンをプラグ点火のエンジンに改造

エンジンの改造としては、シリンダーヘッドの中央に位置するインジェクターの代わりにスパークプラグを取り付けている。吸気マニホールドを新たに製作し、1気筒ごと2つのインジェクターを取り付け、運転状況にあわせて2つを使い分けられているという。さらに噴射バルブを取り付け、スワールを強めたことで、超希薄燃焼を実現したという。大学内にエンジンダイナモの設備があるので、圧縮比の選定は比較的スムーズにいったという。結果的には、ノーマルのディーゼルエンジンの圧縮比18に対し、この水素エンジンは12となった(昨年試作したバスのエンジンは



↑キャブの後部にある水素充填部。



↑アイドリング中はもちろん走行中も、排気は限りなくゼロだ。



↑キャブ内にあるコンバーターとコントロール部。

圧縮比11だった)。12にするために、ピストン頭部にディンプル(へこみ)を設けている。完成したエンジンを車体に載せ、日野自動車にあるシャシーダイナモで、チューニングをおこなったという。エンジンの改良で約半年間、エンジンのチューニングで約4ヵ月かかったという。このあたりは総合研究所に所属する学生3名で行なったという。

なお、燃料タンクはカナダのダイネット製のもの。アルミの内壁にカーボンファイバーで耐性を高めたものだ。35MPa(メガパスカル)、74リッタータイプを4本キャブの背後に載せている。水素ガスは、はるか昔の飛行船ヒンデンブルグ号の悲劇を持ち出すまでもなく、危険な気体だ。まず漏らさないということと、もし漏れても溜めないという幾重ものフェイルセーフを施している。もちろん漏洩警報装置も備えている。

テールパイプから出る有害物質は表にあるように限りなくゼロに近い。ところが、面白いことに出ないはずのCOとHC、それにCO<sub>2</sub>がほんのわずかながら出ているのはなぜか?。



↑船体はハウジングこそ付いているが中身は空だ。



↑水素タンクは、カナダのダイネット製で、最大圧力35MPa、容量が74リッター。

エンジンオイルがどうしてもブローバイガスに混じって燃焼室に浸入し、その結果、ほんのわずかながら数値として現われるのである。余談だが、あまりに小さな数値のため、測定するたびに微妙にデータが異なるという。

ちなみに、伊東先生の今後の研究課題を聞くと「水素の安全性をより高めて行きたい」という。「現在はJARIの規格をクリアしているのですが、これに満足せずより高いレベルまで持っていきたい。それともちろん、小型車でも水素エンジン車にトライしたいです」と目を輝かせた。

	NOx(g/kWh)	CO(g/kWh)	HC(g/kWh)	CO <sub>2</sub> (g/kWh)
規制値	0.70	2.22	0.170	—
ベース車両(デュトロ)	1.82	0.31	0.145	835.2
水素HVトラック	0.18	0.029	0.002	3.2

↑排気ガスデータ。水素ハイブリッド・トラックが限りなくゼロ・エミッションカーであることが分かる。