

東京都市大学内燃機関水素バス

山根公高・瀧口雅章

東京都市大学工学部

158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1

Hydrogen Fuel ICE Bus developed by TCU

Kimitaka YAMANE and Masaaki TAKIGUCHI

Tokyo City University

1-28-1 Tamazutsumi, Setagaya-ku, Tokyo 158-8557 Japan

An urgent social need of the reduction of the most important greenhouse gas or carbon dioxide in the Earth's atmosphere pushed us to make a vigorous effort to realize practical and wide use of vehicles with internal combustion engines fueled by hydrogen in general. Then, the development of a mini-bus with an internal combustion engine fueled by hydrogen was started at Tokyo City University formerly Musashi Institute of Technology. Because buses are public transport and many people can enjoy the transportation at a time. It was thought that the mini-bus would help us to let the public feel the effectiveness of the bus fueled by hydrogen for the reduction in the greenhouse gas.

Because of the urgent social need, it was decided at the start that the mini-bus should be developed by using verified, not new technologies with great confidence and reliability.

The development ended in great success, having had it run on public roads with a license number plate on. It was also found that the emission was almost so low as the zero-emission. The total driving distance was over 4400 km with no problem by May 19, 2009. It was also found that the mini-bus could run about 200 km per one charge of 10 kg hydrogen.

Key words: Hydrogen Fuel, Internal Combustion Engine, Near-Zero Emission Bus

1. 緒 言

自動車動力源の具備条件は、軽量、コンパクト、大出力、低燃費、低価格、高安全性、低維持費、低騒音、低振動、高信頼性、高耐久性、低エミッションおよび良運転性である。内燃機関水素自動車は、この具備条件の多くを備えている。

東京都市大学（旧武蔵工業大学）は、1970年から、地球環境問題と地球エネルギー問題を同時に解決できる水素を自動車動力源の燃料として用いるための実用化研究を実施してきた。その結果、内燃機関水素自動車は化石燃料で育まれてきた安価で、高信頼性と高耐久性を持つ

既存技術を応用することが可能であり、かつ地球の緊急課題である地球温暖化問題解決の手段として極めて有望であることが判った。加えて、更に合理的内燃機関エンジンシステムおよび水素自動車の追及のために研究開発を続けている。

今回は、緊急な社会ニーズを最優先させ早期に水素自動車の普及を実現化するためにどうすればよいかを考えた。そこで、一般の多くの方が一同に水素利用の有効性を体感できる公共交通手段である水素バスを開発し、公道を走れるように白ナンバーを取得してその普及の実現性を一般の方々に実感していただきたいと考えた。

2. 開発の目的と基本方針

本開発の目的は、緊急な社会ニーズすなわち地球温暖化対策に寄与するため、公道を走れる水素バスを早期に開発して白ナンバーを取得、その普及の実現性を一般の方々に実感することであった。よって、本開発の基本方針を、信頼性、耐久性が確認できている既存技術のみで対応することとした。かつ、水素エンジンに付き物の排気中のNOxは、10ppm以下に抑えることにより、化石燃料エンジンのコスト高となっている排気浄化装置を用いないで運用できるエンジンシステムにすることにした(1)。

3. 燃料供給システムとエンジンシステム

3.1. 燃料供給システム

水素燃料搭載のエネルギー密度から考えると東京都市大学が長い間研究開発してきた液体水素燃料供給システムも当初候補と考えたが、信頼性、耐久性が確認できている既存の技術のみで対応する基本方針に従い、燃料電池自動車走行のために既に運用されている技術基準「道路運送車両の保安基準第17条別添100」に従った燃料供給システム、すなわち、軽量樹脂タンク高圧水素供給システムを採用した。このことは、白ナンバー取得を可能にするばかりか、既設の水素ステーションネットワーク

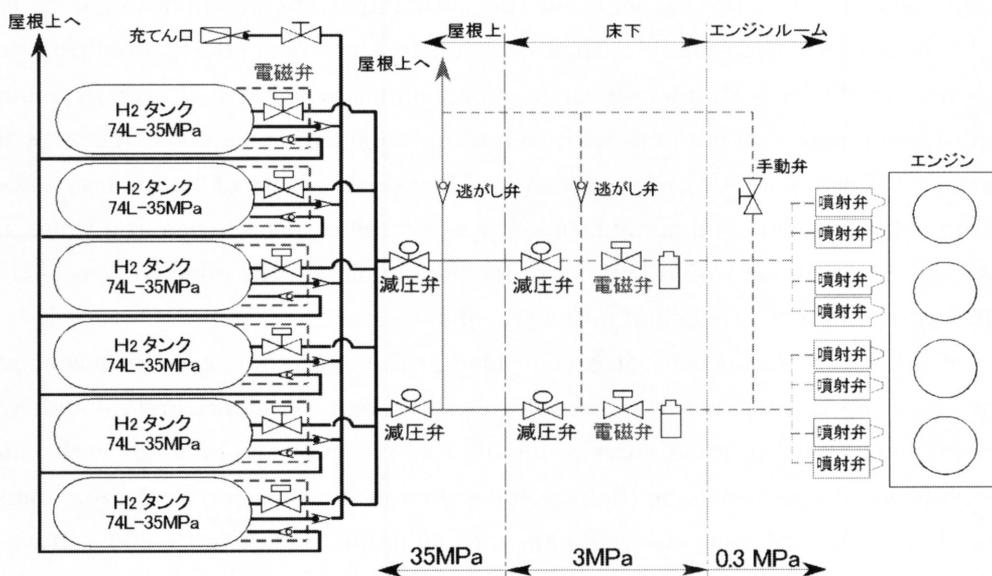


図1 燃料供給システム

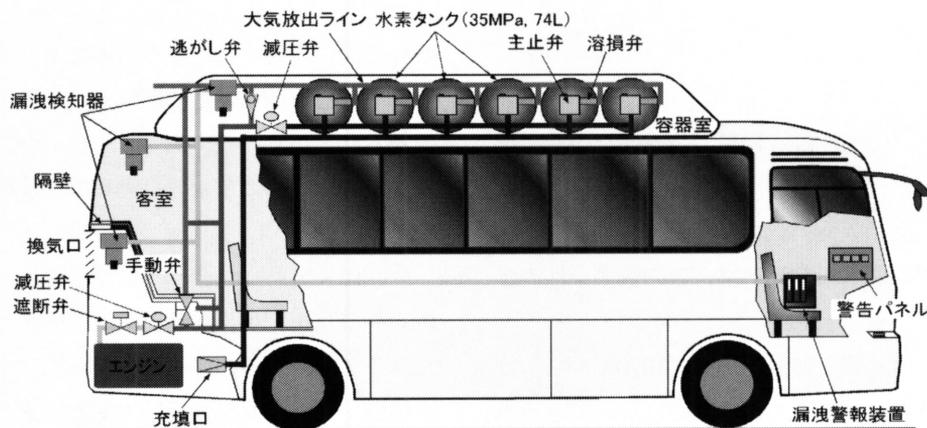


図2 車両における燃料装置の配置図

を活用でき、本開発の目的に合致したものであった。

図1に実際に施工した燃料供給システム系統図、図2にそれをバスに搭載した搭載系統図を示す。実質的の充填圧力が35MPaを下回ること、高圧化により理想ガスとみなせないため、1充填量は約10kgとなる。

燃料供給システム設計に当っては、先に述べた技術基準を満たすことは当然であるが、「漏らさない」、万一漏れたら「自動的に止める、知らせる」に加えて、「溜めない」を基本的な考えとして設計をした。

3.2 エンジンシステム

開発対象バスは、日野自動車製小型バスリエッセとした。車両に搭載されている日野自動車製直噴式4気筒過給ディーゼルエンジン(J05D)(ボアφ112mm, ストローク120mm)を使用し、水素エンジンに改造(J05H2)した。主な改造点および変更点は、以下3点である。

- (1) ディーゼル用噴射ノズルの廃止および点火栓の装着
- (2) 吸気マニホールドに天然ガス用インジェクタとスロットルバルブの追加
- (3) ピストンの燃焼室形状、容積の変更により圧縮比を18から11に変更

図3(a)は、ベースエンジンである直噴式ディーゼルエンジン、(b)は予混合希薄火花点火水素エンジンであり、上記の変更点を図示した。

開発の基本方針より、構造が簡単で、技術的に容易で信頼性、耐久性が確認できている予混合希薄火花点火燃焼エンジンの燃焼方式を採用した。

予混合希薄火花点火燃焼エンジンとしたため、次のような短所を確認する必要があった。

短所1: ノッキング、バックファイア

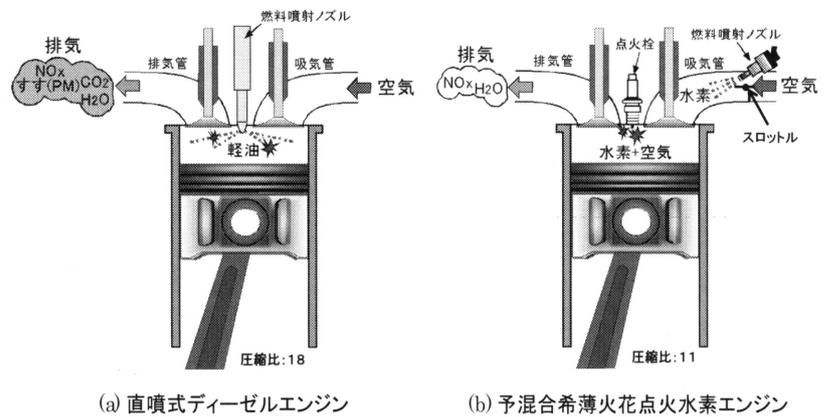


図3 ベースエンジンと採用した水素エンジンの違い

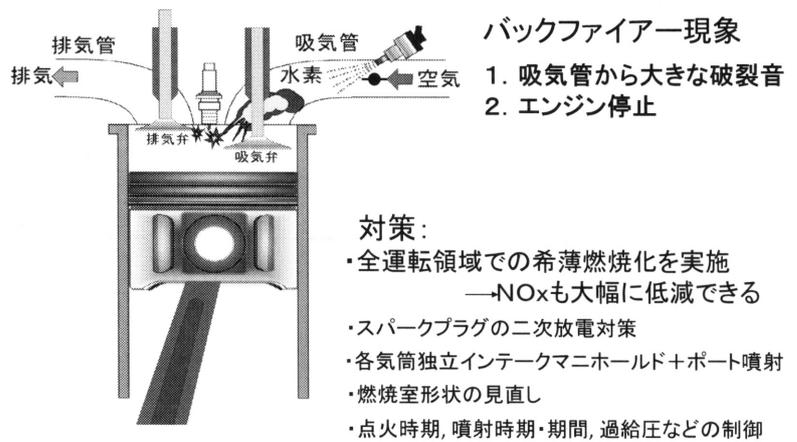


図4 バックファイア現象とその対策

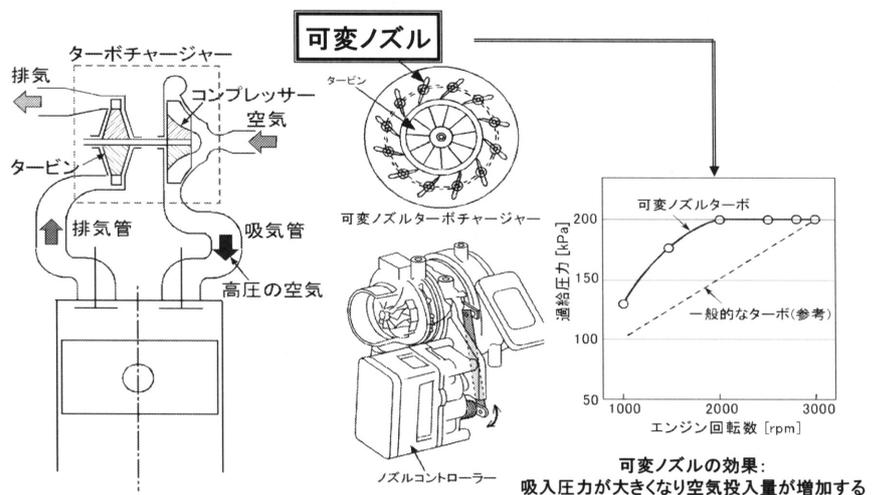


図5 可変ノズル付ターボ過給機

等の異常燃焼が起きやすい。

短所2：水素燃料を同時に吸入することから、空気量が制限を受けその分水素燃料が投入できない。加えて、希薄燃焼により出力が低下する。

短所1に対しては、圧縮比を11に下げ、例えば図4に示すバックファイア対策をエンジンシステムに追加した。短所2に対しては、ベースエンジンにもともと設置されていた図5に示す可変ノズル付ターボ過給機を採用し空気投入量を増加することで出力低下を補った。

4. 予混合希薄火花点火水素エンジンの動力性能および排気性能

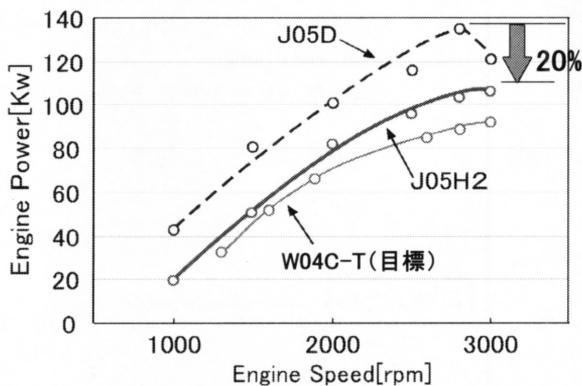
4.1. 動力性能

図6は、今回開発した水素エンジン J05H2 を運転ベンチで NOx を 10ppm 以下に保つように運転して得られた動力性能を示す。(a)は、水素エンジンの出力目標値とした同様の既存小型バス用ディーゼルエンジン W04C-T の出力と今回採用したベース直噴式ディーゼルエンジン J05D の出力とを比較した。目標出力以上に出力を出す

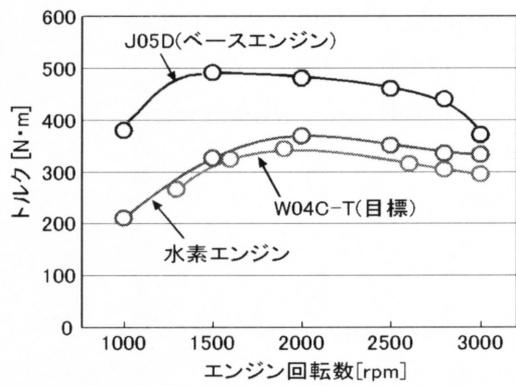
ことができ、ベース直噴式ディーゼルエンジン J05D の出力の 80%におよぶ出力が得られた。(d)に示すようにドイツの BMW 社が開発した予混合希薄火花点火水素エンジンを搭載した Hydrogen 7 は、ベースガソリンエンジンの 60%であることから、今回のエンジン出力は予混合希薄火花点火水素エンジンの出力としては十分に大きい。(b)には、出力トルクの比較を示した。得られた出力トルクは実用上問題ないが、低回転域のトルクがもう少し大きいことが求められる。(c)に、エンジンの出力軸で評価した水素エンジンの正味熱効率を示す。運転全域で 35%以上、最大で 40%に達していることがわかる。これは希薄燃焼のため燃焼温度を低く抑えることができたので熱損失を減少できたことと、大きな比熱比が得られたことがその理由と考えている。

4.2. 排気性能

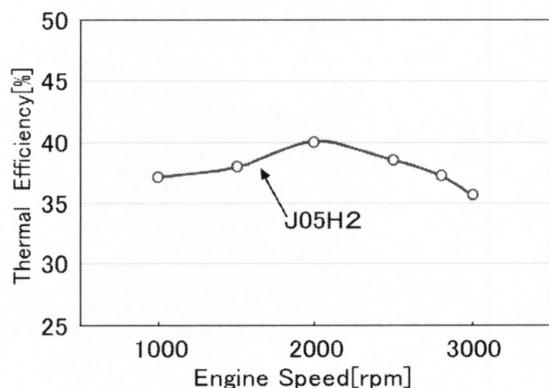
白ナンバープレート取得には、日本車両検査協会 (JVIA) による排ガス JE05 モード試験に合格する必要がある。JE05 モード試験は、従来の D13 モード (定常走行) に変わって新長期規制 (平成17年度) より導入された試



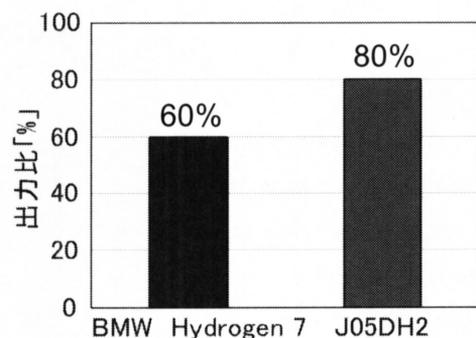
(a) 水素エンジン J05H2 出力比較



(b) 水素エンジン J05H2 トルク比較



(c) 水素エンジンの正味熱効率



(d) ベースエンジンとの出力比較

図6 開発した水素エンジンの動力性能比較

験方法である。車両をシャーシダイナモ上に載せて図7に示したJE05過渡走行モードを走らせる。過渡走行はエミッション評価の上で定常走行より厳しい評価となる。

図7にその結果を示す。新車のトラック・バス及び乗用車から排出される窒素酸化物 (NO_x) 及び粒子状物質 (PM) の更なる低減を図るため、国土交通省が、世界最高水準の厳しい規制値「ポスト新長期規制値」に対し、排気清浄化装置を装備しない内燃機関水素バスのNO_x値、CO値、およびHC値は、それぞれ35分の1、ゼロおよび8.5分の1であった。ほぼゼロエミッションと見なせる値を得ることができた。

JVIA 排ガスJE05モード試験結果 (g/kWh)

	NO _x	CO	HC
ポスト新長期規制値	0.70	2.22	0.17
水素エンジンバス	0.02	0.00	0.02
ベース車両	1.80	1.30	0.12

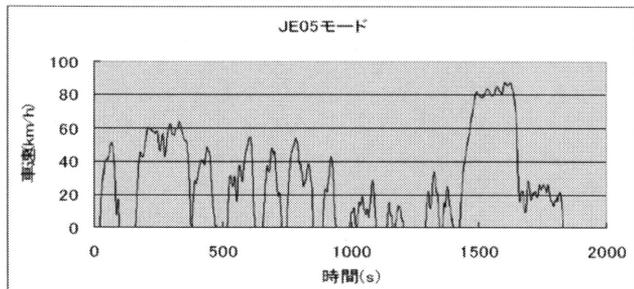


図7 水素エンジンバスの排気性能

5. 白ナンバーの取得

この内燃機関水素バスの目的を達成するためには白ナンバーを取得する必要があった。

2008年10月15日に、日本車両検査協会 (JVIA) に車を持ち込んで、車両をシャーシダイナモ上に載せてJE05過渡走行モードを走らせ排ガス試験を実施し合格した。

2009年1月16日に、日本自動車研究所が燃料装置の技術基準評価を実施し合格した。

2009年2月の初旬に、必要書類を揃えて改造申請通知書を提出し受理された。

2009年2月10日に、日本で始めて内燃機関水素バス改造車の改造申請に基づいて白ナンバープレートを取得した。

本学で2007年7月より開始した東京都市大学内燃機関水素バスは、晴れて公道を走行することが出来るようになった。

図8は、東京神楽坂付近の皇居をバックにして走行する東京都市大学内燃機関水素バスである。

6. まとめ

緊急な社会ニーズを最優先させるために、早期に水素自動車の普及を実現化する必要があった。それには、多くの一般の方が一同に水素利用の有効性を体感できる公



図8 白ナンバープレートを付けて公道を走行する東京都市大学内燃機関水素バス

公共交通手段であるバスを開発することがよいと考えた。加えて、公道を走れるように白ナンバーを取得してその普及の実現性を一般の方々に実感していただきたいと考えた。その結果、計画通り開発した東京都市大学予混合希薄燃焼内燃機関水素バス用エンジンは、排気清浄化装置を装着しないで全ての運転領域で排出NO_x濃度を10ppm以下に抑えながら、バックファイア等の異常燃焼をまったく起こさずに目標出力を上回る動力性能を得ることができた。

このエンジンを小型バスに搭載し、日本車両検査協会での排気ガス認定試験を実施した結果、排気清浄化装置無しで2009年度ポスト新長期排気ガス規制値を大幅に下回る排気性能を得ることができた。改造申請による白ナンバーを取得でき一般道路を走行可能となった。

白ナンバー取得後運行調査のため図9に示すように、東京都市大学のキャンパス間を主に走行している。5月19日現在累積走行距離は、4404kmとなった。この間、何にも問題は生じていない。この走行実績から計算された1充填走行距離は、約200kmである。

参考文献

1. 清水勇毅, 岩崎秀之, 白倉寛之, 水戸祐樹, 瀧口雅章, 「小型バス用水素エンジンの開発研究」、自動車技術会2009年度春季学術講演会前刷集、於：パシフィコ横浜、2009.5.20-22

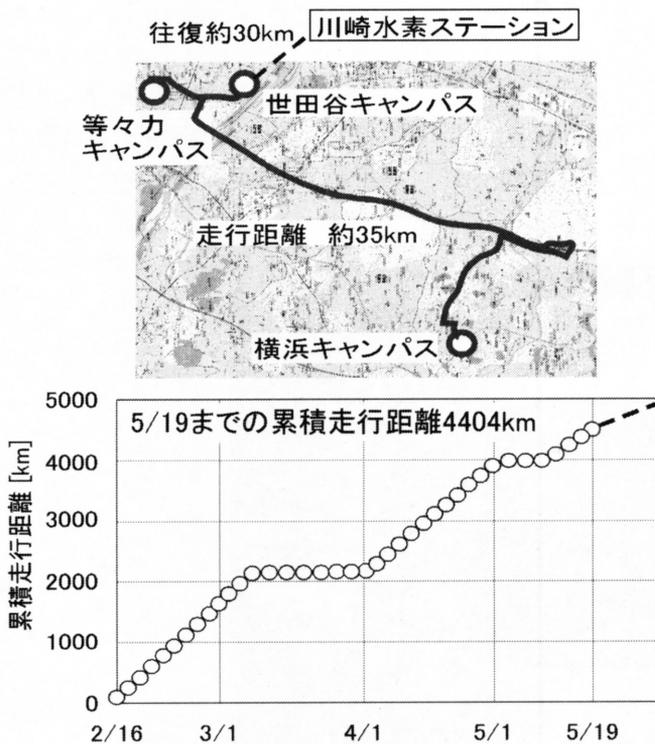


図9 運行調査走行ルートと累積走行距離