

講演 1. 脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業について

－第二報：令和6年度までの進捗状況－

環境研究部 ※鈴木 央一 川原田 光典 奥井 伸宜 新国 哲也

1. はじめに

国土交通省ではトラックやバスなどの大型車の環境性能改善や、それに資する新技術についての基準策定に関する事業として、次世代大型車の開発・実用化促進プロジェクト（以下「本事業」という）を実施している。令和6年度より本事業の第6期として「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業」と題し、カーボンニュートラルに向けた取り組みの重要性を増している現況に対応した事業を推進している（図1）。その全体的な概要や検討体制について既報¹⁾で紹介している。本事業で実施中の調査研究テーマの一覧を表1に示す。カーボンニュートラルに向けた取り組みとして、電動車両に関する調査研究とカーボンニュートラルな燃料を用いた内燃機関を対象とした調査研究が中心となっている。

本報においては、本事業の令和6年度までの進捗状況として、令和6年度より開始した水素内燃機関に関する調査研究の概要と、令和4年度に開始したテーマのうち重量燃料電池車（FCV）の水素消費量測定に関するテーマについて、これまでに得られた成果を扱うこととする。

表1 本事業第6期に実施する調査研究テーマ一覧

分野	テーマ名	実施者
電動車両WG	① 大型車に適用する走行中ワイヤレス給電システムの検討	東京理科大
	② 重量水素燃料電池自動車の燃料消費率試験法の精緻化に向けた調査	交通研自動車工業会
	③ 電力消費率向上に資する重量電動車の高効率回生協調ブレーキ技術の開発	いすゞ自動車
内燃機関WG	④ カーボンニュートラル燃料実用化に向けた実車両への影響調査	交通研新エシイ
	⑤ 希薄・希釈燃焼による重量車用水素燃焼エンジンの調査	千葉大
	⑥ 水素エンジンの性能向上に向けた熱流束と潤滑性等に関する技術調査	東京都市大
	⑦ 水素エンジン用SCR触媒に関する調査検討	早稲田大

2. 本事業の現況について

2. 1. 水素内燃機関に関する調査研究

本事業第6期より水素内燃機関に関する調査研究を開始したことについて、既報では研究テーマの選定過程について述べた。1年が経ち実行フェーズに入っている一方で、全体計画は3～5年であり具体的な成果が現れるのはこれからであることから、本報では各研究テーマについて、実施体制と狙いや着眼点を中心に概要を紹介する。

2. 1. 1. 希薄・希釈燃焼による重量車用水素燃焼エンジンの調査

本調査は千葉大学森吉教授を中心に、大分大学、日野自動車株式会社、株式会社アネブルなどが共同で実施する。大分大学は急速圧縮膨張装置等を使った燃焼の基礎的解析に強みを持っており、日野自動車は後述するコンセプトのエンジンの試作や調整等を行う。また、水素エンジンで重要なポイントとなる噴射弁（インジェクタ）についてアネブルが供給する。

水素はガソリンなどより希薄な状態で燃焼が可能で、かつ燃焼速度が速いといった特性がある。これらの特性を生かした高性能化の可能性検討として、2009年に米国で提案された Dedicated EGR（一部の気筒の排気すべてを他の気筒に還流する機構²⁾）を応用し



図1 国土交通省「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業」

たシステムの提案を行っている(図2)。図の外側2気筒は希薄燃焼を行い、その排気をすべて内側2気筒に導き、残る酸素を使って理論混合比運転を行うコンセプトである。このシステムでは新気量は2気筒分になるところ、2段の過給機により必要な空気量を確保する。今後実機の試作と性能検証を行うとともに、過給やEGR等エンジン性能向上に資する技術を導入した場合を含めた、現象解明と設計に使える検証されたシミュレーションツールの開発もあわせて進めることで、今後進められるであろう水素エンジンの性能向上に寄与していくことを目的としている。

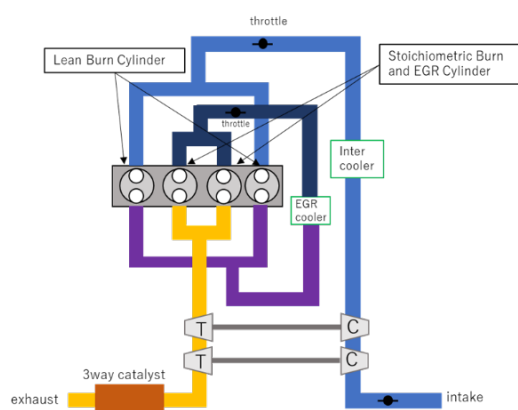


図2 新たに提案されている水素エンジンシステム

2. 1. 2. 水素エンジンの性能向上に向けた熱流束と潤滑性に関する技術調査

本調査は東京都市大学三原教授を中心に、境界潤滑についての知見を有する九州大学、水素脆性の評価についての知見を有する東京電機大学、冷却損失についてのモデル化などについては自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)が共同で実施している。東京都市大学は水素エンジンに関する研究を長らく実施しており、本事業においても2005~09年度にかけて水素エンジンの研究開発を実施した実績がある³⁾。

水素エンジンでは燃焼でCO₂が生成されない代わりに多量の水が生成される。その水がエンジンの安定的な運転に支障をきたす恐れがある。図3は、エンジンを1000rpmで3時間運転した時の潤滑油中の水分割合について比較したものである。水素エンジンではシリンダ壁面温度が低い状態では運転前の20倍を超える水分がオイルに混入した。このような状態でオイルが必要な潤滑性能を確保できるかは重要な課題となる。

また、合わせて熱流束についての測定法を含めた調査を進める。水素火炎は消炎距離が小さいため燃焼室壁面付近まで火炎が到達するなど従来エンジンとは異なる。このような状況下で燃焼室表面における熱流束を把握することは、冷却損失の低減に加えて上記潤滑性確保の課題にも寄与するものとなる。

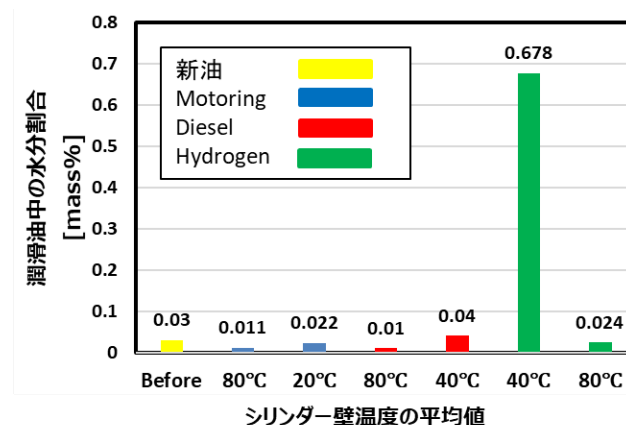


図3 3時間エンジン運転時のシリンダ壁面温度と潤滑油中の水分割合の関係

2. 1. 3. 水素エンジン用SCR触媒に関する調査検討

本調査は早稲田大学草鹿教授を中心に、テストピースを含めた排出ガス浄化の触媒の試作等について東京濾器株式会社が、水素エンジンを用いた評価試験についてはスズキ株式会社が担当する体制で事業を進めている。

SCR触媒は、ディーゼル車などにおけるNO_x浄化システムとして多く採用され、相当程度確立した技術といえる。しかしながら、その技術を水素エンジンに適用しようとする場合、排気温度・組成の違いなどにより事情が大きく異なることが予想される。とくに理論混合比近傍での水素燃焼はガソリンやディーゼル燃焼以上に高温になることから多量のサーマルNOが生成されると見込まれ、またディーゼル燃焼等ではありえない高濃度の水分が含まれる。熱と水は触媒の性能を劣化させる主要な因子であり、水素エンジンにおける触媒は、従来エンジンにはない厳しい環境におかれることになる。

図4は、一般的な銅チャバサイト(Cu-CHA)触媒におけるエージング(Aging: 触媒を高温条件下などに一定時間暴露することで長距離運用後の状態を相対的に短時間で作り出す作業)時の温度と水分濃度を

変化させて、エージング後の NO_x 浄化率を実験的に調査したものである。通常、ディーゼルエンジンにおける排気の相場として、排気温度は粒子フィルタ (DPF) 再生時で 600℃、水蒸気濃度は 12%程度が上限値といえる。それに対して、800℃は通常起こりえない水準で、その温度で 30 時間という条件はライフサイクルに相当するエージング条件になる。水分濃度が 10%程度であれば、800℃のエージング後であっても NO_x 浄化率 60%以上が確保され、劣化は限定的といえるのに対し、水素エンジンにおいては排気中水素濃度が最大約 30%に達するが、その場合には NO_x 浄化率が 40%以下となり顕著な劣化が発生することが予測された。このような水素内燃機関特有の劣化を防止するため、担体上の触媒コート層厚さを増やすなどの対策を検討するとともに、モデル化による性能予測等を試みる。

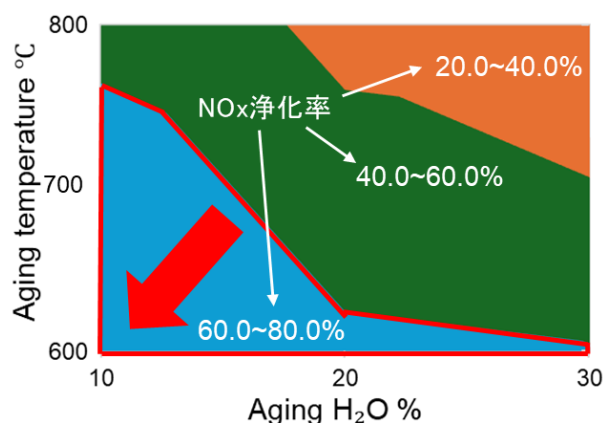


図 4 30 時間触媒エージング時の水蒸気濃度と温度による NO_x 浄化率の変化 (排気温度 250℃)

5 か年計画の前半では尿素 SCR システムを対象に研究を進めるとしたうえで、そもそも水素は NO_x 還元剤として高い適性を有する成分であることから、研究後半では水素を直接還元剤として活用する水素 SCR システムを対象とした研究を進める計画である。

2. 2. 重量水素燃料電池自動車の燃料消費率試験法の精緻化に向けた調査の現況

FCV の燃費測定について、乗用車等の軽・中量車では、国連規則で定める試験法 (協定規則第 154 号、UNR-154) に規定されており、具体的には燃料となる水素を車両外部のボンベから供給して、試験サイクル走行前後のボンベ重量の差分から水素消費量を評価する重量法が主流となっている。一方、重量 FCV の

燃費測定については国際的な試験法はなく、国内では国土交通省より試験法⁴⁾ が 2022 年 10 月に公布された。そこに記載された水素消費量測定方法としては、重量法に加えて直接リアルタイムの流量を測定する手法 (流量法) についても記載されている。重量 FCV の水素消費量測定においては、消費量が多いことや試験手順的に重量法の適用が困難であるケースが想定され、流量法の適用が望まれる。本項では表 2 に示す 2 台のコリオリ式流量計を用いて、水素消費量測定を行い、重量法との相関を調査した結果を述べる。

表 2 水素流量計の諸元

	流量計A	流量計B
測定原理	コリオリ式	コリオリ式
最大測定流量(kg/h)	8	450
測定誤差(%RS)	±0.5	±0.35
最大圧力(MPa)	2.5	43.09
測定物の温度範囲(℃)	5~50	-50~205
その他特徴	測定部前後に圧力調整機構を有する	汎用性が高い
形状		

評価試験としては、令和 5 年度に乗用車を、令和 6 年度には小型トラックを用いたシャシダイナモ試験を行い、燃費評価に用いられる JE05 モード等の実走行モードに加えて、定常走行など水素消費量の異なる試験条件で走行した。なお、重量法における測定は、WLTP (乗用車の試験法) に準じたものとした。

重量法と流量法による水素消費量測定の結果を図 5、図 6 に示す。図 5 が乗用車、図 6 が小型トラックによる測定結果である。まず、いずれにおいても相関係数 R² はほぼ 1 であり、完全に近い線形性が確保されているといえる。次に近似線の傾きについてみると、流量計 A の傾きは図 5 と図 6 で 1.0189 と 1.0217、流量計 B では同 0.9992 と 1.0059 となっている。乗用車と小型トラックの試験では、流量計は同一のものを使用している以外は、日時、試験施設、測定対象となる流量範囲など多くの要素が異なっている。にもかかわらず、同等の結果が得られたことは流量法による測定が重量法と同等の再現性が確保されていることを示すものといえる。なお、図 5 の WLTC における水素消費量は 100g 程度であり、これが乗用車におけ

る測定量の相場といえるのに対し、図6のJE05モードでは200～300gレベル、都市間モードにおける水素消費量は約1200gである。試験車は重量車中では小型のものであり、中・大型トラック等ではさらに多い消費量となる。測定すべき水素量が重量車では乗用車とはけた違いに多いことがわかる。

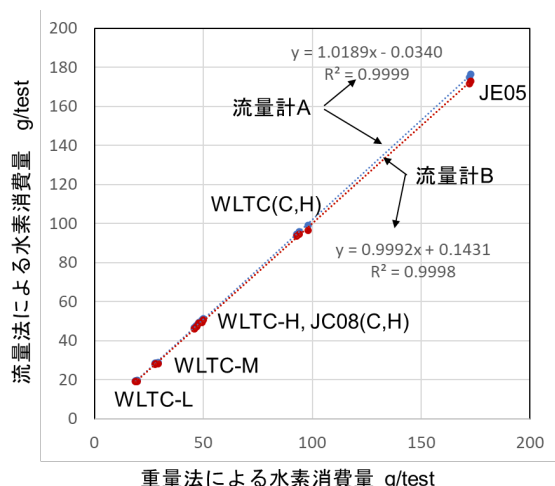


図5 各試験モードにおける水素消費量（乗用車）

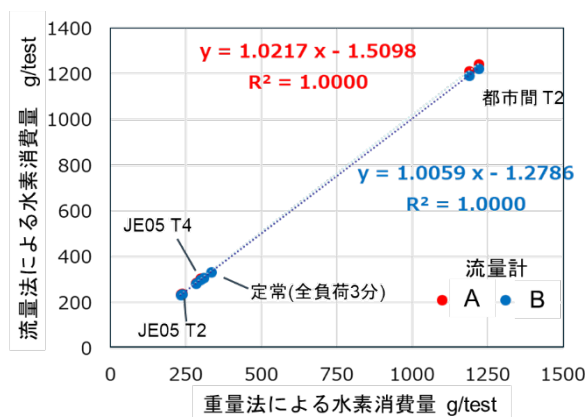


図6 各試験モードにおける水素消費量（小型トラック）

図6における各プロットはいずれも重量車燃費評価に使用される評価モードにおける結果であり、それについて図7は、重量法を基準としたときの流量法による測定結果の変化率を示したものである。最も誤差の大きい結果は流量計Aで2.1%、流量計Bで0.6%となっている。試験法で定める精度要件としては「読み値の±3%、フルスケールの±1%の小さい方」となっているのに対し、今回の測定ではフルスケールよりは十分に少ない流量を対象としていることから、読み値の±3%が精度要件となる。図7の結果はいずれも要件を満たすものとなっており、適切なコリオリ式流

量計を用いれば水素消費量測定に流量法が適用可能であることが示されたものといえる。

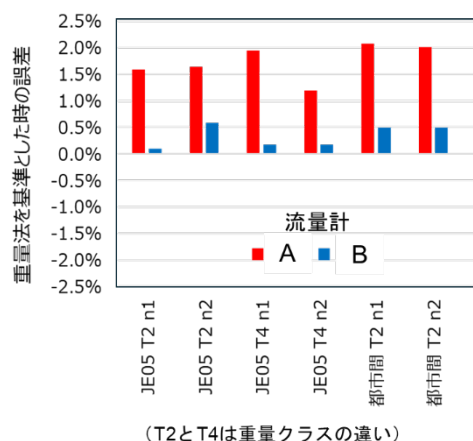


図7 重量法を基準としたときの流量法の誤差率

3. まとめ

脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車開発促進事業の現況として、以下について紹介した。
○令和6年度より開始している水素内燃機関に関する調査研究では、水素を燃料とすることによる性能向上や課題解決に向けた調査研究を進めている。
○重量FCVの水素消費量測定について試験調査を進めたところ、流量法が燃費試験法で定める性能要件を広い流量範囲で満たすことが示された。

参考文献

- 1) 鈴木央一，川原田光典，田中信壽，西山幸輝，新国哲也，「脱炭素に向けた産学官連携による次世代大型車両開発促進事業について－第一報：新規事業の概要－」，交通安全環境研究所フォーラム2024講演概要集，pp.63-64（2024）
- 2) Alger, T. and Mangold, B.: Dedicated EGR: A New Concept in High Efficiency Engines, SAE Technical Paper 2009-01-0694 (2009)
- 3) 川村淳浩，佐藤由雄，及川 洋，長沼 要，山根公高，高木靖雄，「トラック用水素エンジンシステムの研究開発～直噴多気筒水素エンジンの開発について～」交通安全環境研究所フォーラム2009講演概要集，pp.127-128（2009）
- 4) 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示別添41VII