

② 水素エンジントラックの研究開発

－ 高出力・低 NOx 化技術の開発と課題 －

環境研究領域 ※川村淳浩 佐藤由雄 野内忠則 及川 洋

武蔵工業大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 長沼 要 山根公高 高木靖雄

1. はじめに

我が国の経済活動はトラックによる物流システムに依存しており、輸送部門の原油換算エネルギー消費量に占めるトラックの割合は36%(2006年度)となっている。地球温暖化対策の観点から電力や水素が将来の自動車用エネルギーとして考えられているが、現状では充電式や水素燃料電池を動力源とした乗用車や路線バスの開発に留まっている。小型～中型トラックに対してはディーゼルハイブリッド動力源が実用化されているが、高い比出力を必要とする大型トラックへの有効策が必要とされている。水素エンジンは成熟したエンジン技術の延長線上にあり、現行ディーゼル自動車並みの比出力と電気自動車に次ぐ低 CO₂ 排出性能が期待されている。しかし、その一方で、高出力化に伴う NOx の低減が課題である。

このような背景の下、国土交通省の「次世代低公害車開発・実用化促進プロジェクト」における研究開発対象のひとつとして、トラック用多気筒水素エンジンシステムの開発プロジェクトが進められている⁽¹⁾。本プロジェクトは、現在量産されているトラック用多気筒ディーゼルエンジンシステムと同等の出力と燃費、そして日本の新長期排出ガス規制値の 1/4 以下という超低 NOx 特性を発揮する高性能な水素エンジンシステムの実現を最終的な目標としている。本報告では、プロジェクトで実施している高出力と低 NOx を実現するための技術と課題について報告する。

2. 高出力・低 NOx 化技術の開発と課題

2.1. エンジンの開発状況

水素ガスを高圧でシリンダ内に噴射することで高出力を獲得し、大量 EGR と噴射・点火時期制御によって NOx を可能な限り抑えることが狙いである。

本プロジェクトで開発された筒内直接高圧水素噴射弁（以下、直噴弁）を単気筒エンジンに装着し、出

力と NOx の評価をおこなった。

図 1 に、エンジン回転速度と図示平均有効圧力（以下、IMEP）が異なる各種運転条件において、最大熱効率を得た時の熱効率、NOx 濃度、空気過剰率（以下、λ），そして排出ガス温度の測定結果を示した。

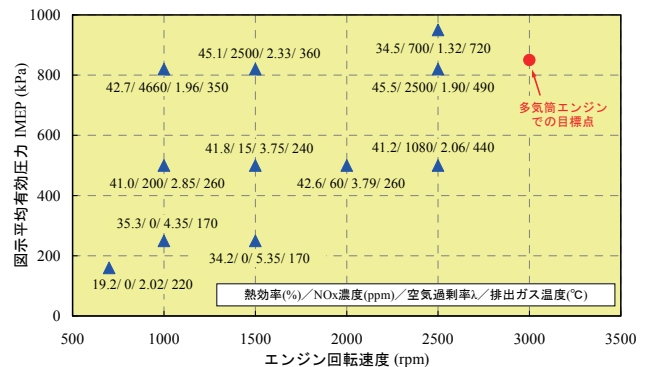


図 1. 各種運転条件における熱効率最大時の状況

2,500 rpm で IMEP 950 kPa が得られたことから、多気筒エンジンにこの直噴弁を用いれば目標とする高出力が得られると推察できる。

図 2 に、水素に適した燃焼方法を探る目的で実施した、各種運転条件での噴射圧力と噴射・点火時期の違いが熱効率と NOx 濃度に及ぼす影響の結果を示した。

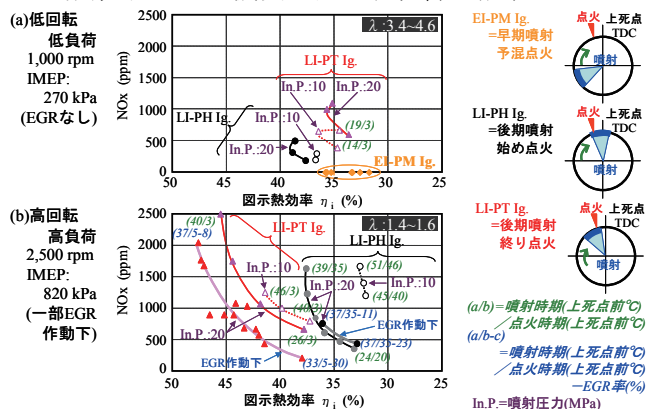


図 2. 噴射圧力と噴射・点火時期が熱効率と NOx 濃度に及ぼす影響

低回転低負荷では、熱効率が多少劣るが NOx をほ

ほぼゼロに抑えられる為、早期噴射予混点火方式での運転が適切であった。高回転高負荷では、最大 30%程度 の EGR と後期噴射終り点火方式を併用することで高い熱効率を維持しながら 50%程度 の NOx 低減が可能であった。

一方、本報では具体的な評価結果を示していないが、直噴多気筒水素エンジンの実現に向けて、直噴弁の安定性向上とバラツキ抑制が課題である。

2.2. 後処理の開発状況

エンジン燃焼で抑え切れなかった NOx を触媒で目標レベルまで低減することを狙いとし、水素を還元剤として利用できること及び軽油や DME エンジンでの優れた実績から、NOx 吸蔵還元 (以下「NSR」という) 触媒を選択した。また、未反応の水素の排出を防ぐため、NSR 触媒の下流に酸化触媒を設けた。

図3に示す評価試験装置を構成して後処理の機能を確認した。水素エンジンを定常運転して NSR 触媒前後の排出ガス温度が安定した状態で、酸化触媒後の NOx センサの値が閾値に達すると、NSR 触媒前に設置した還元剤噴射弁から還元剤を自動的に噴射供給した。還元剤噴射弁の噴射量の制限から、排出ガス残留酸素濃度が低く NSR 触媒前の NOx 濃度が比較的高い低回転高負荷条件で試験をおこなった。

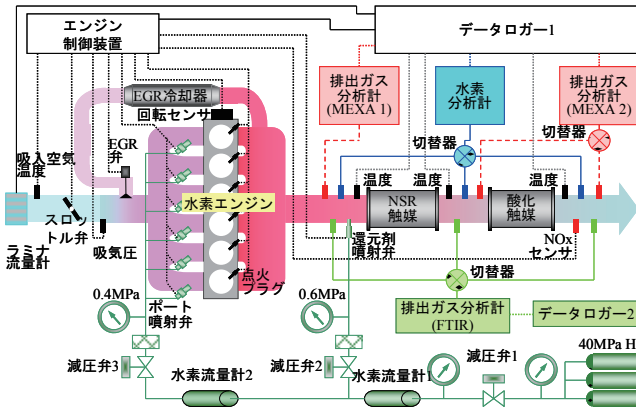


図3. 後処理機能の評価試験装置

図4に、NOx 低減結果の一例を示した。NOx 浄化率 (= (NSR 触媒前 NOx 濃度 - 酸化触媒後 NOx 濃度) / NSR 触媒前 NOx 濃度) × 100) は 98 % と高く、還元剤としての水素消費割合 (= 還元剤噴射量 / エンジン消費量 × 100) もエンジンでの消費量の 0.5 % と少ない。軽油を還元剤とするディーゼルエンジンでの還元剤消費割合は 1.5%程度であり、水素を還元剤とする後処理システムの優位性が確認された。

図5に、還元剤噴射量と排出ガスの関係を示した。還元剤噴射量が多過ぎたり触媒温度が低い場合に

NH₃(アンモニア)やスリップ水素が検出されたが、温度や噴射量が適正であれば、ほぼゼロに抑えられることが確認された。また、本試験の全ての条件で還元剤の噴射に伴う比較的高濃度の N₂O(亜酸化窒素)が確認された。今後、生成要因の分析と過渡試験モード等での排出率を調査する必要がある。

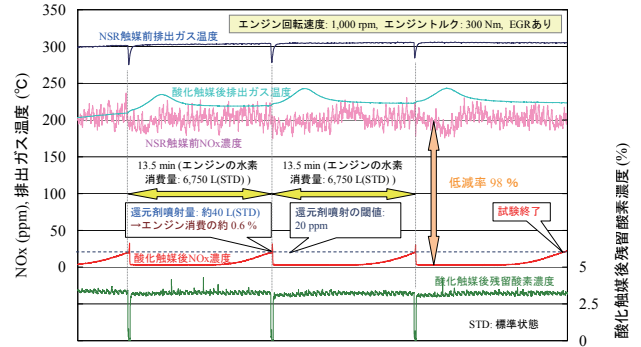


図4. 後処理での NOx 浄化状況

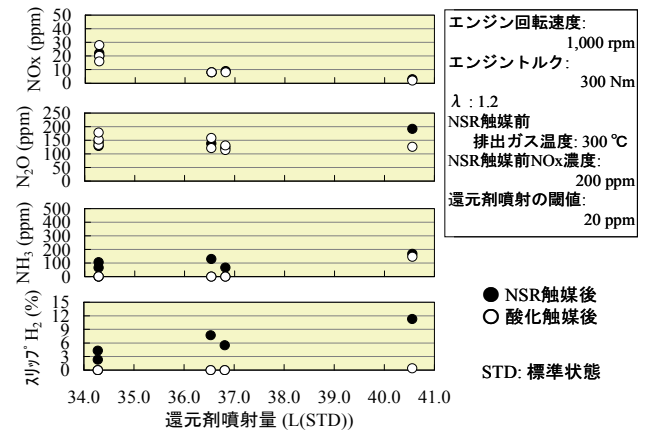


図5. 触媒での排出ガス測定結果

3. まとめ

トラック用水素エンジンシステム開発プロジェクトの進展に伴うこれまでの成果と課題を下記に示す。

- (1) 開発した直噴弁を単気筒エンジンに装着し、高出力で高熱効率と低 NOx が実現できる水素エンジンの可能性を確認した。
- (2) 水素エンジンに NSR 触媒と酸化触媒を適用し、後処理による低 NOx 化を確認した。

直噴多気筒水素エンジンシステムの実現に向けて、直噴弁の作動安定性向上とバラツキ抑制を図る必要があること及び N₂O のような未規制物質の低減を含めた検討を進めることが今後の課題である。現在、この実現に向けた開発検討を継続中である。

参考文献

- (1) 川村淳浩ほか, ”トラック用水素エンジンの開発プロジェクト”, フォーラム 2007 平成 19 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要, 107-108 (2007)