

学 位 論 文 題 名

筒内直接噴射式水素エンジンの熱効率向上と
エミッション低減に関する研究

学位論文内容の要旨

水素は燃料中に炭素を含まず、エンジンへの燃料として用いた場合も排気中に二酸化炭素を含まない利点を有する。従って、水素エンジンにおいて唯一の有害排出成分である窒素酸化物を低減可能となれば、非常にクリーンなエネルギー変換システムとなる。また、高圧筒内直接噴射式燃料供給装置を用いれば、同一排気量のディーゼル機関同等の比出力も確保可能となる。しかしながら、筒内直接噴射方式は、その噴射圧力、噴射時期、点火時期の設定に多くの組み合わせ方が存在する事に加え、運転条件の違い等も加えると、その燃焼特性の把握は容易でなく、まだ明らかとなっていない。上記の背景から、本研究は以下の3つのアプローチにより筒内直接噴射式水素エンジンの熱効率向上と排出物軽減を可能とするコンセプト提案と可能性検討を行った。その結果、極めて高い着火性と拡散性を有し、燃焼速度の速い、水素特有の燃焼特性においてのみ成立すると考えられる過濃混合気塊燃焼コンセプト (PCC) を提案するとともに、筒内直接噴射式水素エンジンを自動車用動力源として用いる場合のモードエミッション低減手法の提案と、規制値への適合可能性検討を行った。

(1) 燃焼安定性、効率および NOx 排出性能の基本特性と最適化

噴射圧力、噴射時期、点火時期の設定において、特に、噴射時期と点火時期の組み合わせ方により、燃焼安定性および熱効率や NOx 排出など諸性能の基本特性を分類できることが分かった。さらに運転条件なども考慮しての最適化を行った。

(2) 過濃混合気塊燃焼による NOx 排出低減

特定の噴射時期と点火時期の組み合わせにおいて、高負荷運転領域で高効率を維持したまま大幅な NOx 削減効果が得られる燃焼法の存在が明らかになった。同燃焼法は噴射時期を圧縮上死点付近とし、噴射終了直後に点火することで成立する。これを過濃混合気塊燃焼コンセプトと呼び、水素特有の燃焼コンセプトとして提案した。

(3) モード運転におけるエミッション低減手法の検討

筒内直接噴射式水素エンジンを自動車用動力源として用いる際に必須となるモードエミッション評価に対して、適合開発を支援する独自のシミュレーションソフトを開発した。同シミュレーションソフトを用いて、重量車用エンジンとしてのエミッション適合可能性検討を行い、そのポテンシャルの高さを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 近 久 武 美

副 査 教 授 小 川 英 之

副 査 教 授 藤 田 修

学 位 論 文 題 名

筒内直接噴射式水素エンジンの熱効率向上と エミッション低減に関する研究

二酸化炭素排出を伴わない水素エンジンは、そのポテンシャルの高さから次世代低公害エンジンとして期待されているが、唯一のエミッションである NOx 排出については課題がある。また、噴射方式により異なる燃焼特性は概ね明らかになりつつあるものの、系統的な研究と理解はまだ少なく、その噴射方式を運転条件に応じて最適化し、自動車用エンジン、特に重量車用エンジンとして求められるモード走行時のエミッション評価は未だなされていない。

そこで、本研究は以下に示した3つのアプローチにより筒内直接噴射式水素エンジンの熱効率向上と排出物軽減を可能とするコンセプト提案と可能性検討を行った。その結果、極めて高い着火性と拡散性を有し、燃焼速度の速い水素特有の燃焼特性を利用した過濃混合気塊燃焼コンセプト (PCC) を提案した。また、筒内直接噴射式水素エンジンを自動車用動力源として用いる場合のモードエミッション低減手法の提案と、高いエミッション規制値達成ポテンシャルを明らかにした。以下はそれぞれのアプローチの内容と結果である：

(1) 燃焼安定性、効率および NOx 排出性能の基本特性と最適化

噴射圧力、噴射時期、点火時期の設定において、特に、噴射時期と点火時期の組み合わせ方により、燃焼安定性および熱効率や NOx 排出など諸性能の基本特性を分類できることを明らかにした。さらに運転条件なども考慮しての最適化を行うことで、限られた運転条件のみならず、広範囲の運転条件に応じて高効率、低 NOx 排出性能を可能とする水素エンジンに相応しい最適化を行った。

(2) 過濃混合気塊燃焼による NOx 排出低減

特定の噴射時期と点火時期の組み合わせにおいて、NOx 排出が課題となる高負荷運転領域で高効率を維持したまま大幅な NOx 削減効果が得られる燃焼法の存在を明らかにした。同燃焼法は噴射時期を圧縮上死点付近とし、噴射終了付近で点火することで成立する。点火時期の進角に伴い NOx エミッションが減少する特徴を有し、高効率と低 NOx 性能を有する。これを過濃混合気塊燃焼コンセプトと呼び、強い拡散性と極めて速い燃焼速度を有する水素特有の燃焼コンセプトとして提案した。

(3) モード運転におけるエミッション低減手法の検討

筒内直接噴射式水素エンジンを自動車用 (重量車) 動力源として用いる際に必須となるモードエミッション評価に対して、4 気筒エンジンを試作開発し各種パラメータの適合後モードエミッション評価を行い、適合可能性を確認した。検討過程では、噴射時期・点火時期適合による削減効果、EGR

適合を加えた場合の削減効果,そして NOx 後処理装置を加えた削減効果について評価を行い,それぞれの有用性を明確にした.これらの効果を最大限利用した場合,JE05 モードエミッションで 0.08g/kWh という極めて優秀な NOx エミッション性能を実験で確認した.また,実機の定常運転エンジン性能から,モードエミッションを予測する独自のシミュレーションソフトの作成を行った.これによりパラメータ適合支援を可能としたほか,過渡制御ポテンシャルの検証を行い,筒内直接噴射式水素エンジンが後処理なしに重量車用エンジンの現行規制値である 0.7g/kWh をクリアするポテンシャルの高さを明らかにした.

これを要するに、著者は、筒内直接噴射式を含む水素エンジンの高効率・低エミッション化に必要な基礎的な知見を得たほか、実機関において実証を行ったものであり、熱工学および内燃工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。