

水素エンジンにおける原子発光法を利用した燃料濃度計測に関する研究

首藤 登志夫 [北海道大学大学院工学研究科エネルギー環境システム専攻 / 准教授]

背景・目的

水素エンジンは次世代の環境調和型動力システムとして有望であるが、炭化水素に比べて火炎伝播速度が大幅に大きい水素の燃焼では作動流体から燃焼室壁への熱伝達による熱損失が熱効率の向上を妨げている。熱損失の低減のためには直接噴射層状給気が有効であるが、その開発において混合気分布の把握が必要である。本研究の目的は、原子発光法を水素エンジンに応用することで、直接噴射層状給気における水素濃度分布を計測し、水素エンジンの熱損失低減ならびに熱効率向上のための知見を得ることである。

内容・方法

測定対象に高出力のパルスレーザーを照射することにより得られる原子発光の波長および強度を検出して対象物質の種類と量を測定する手法がある。本研究では、この原子発光法を水素直接噴射層状給気に適用することで混合気形成過程の解析を行った。実験では、透過型の光学観測窓を有する定容燃焼器において水素の直接噴射層状給気を行い、水素濃度分布を原子発光法により計測した。水素の噴射にはガソリン直接噴射エンジン用の電磁式噴射弁により行い、レンズで集光したNd-YAGレーザーを容器内に照射し、計測体積内に存在する原子からの発光を分光器により分光し、得られた分光結果の発光ピーク波長および発光強度から水素と他の原子の割合を求めた。この計測を空間的および時間的にスキャンして行なうことで、燃焼室内の水素の濃度分布を求め、燃料噴射パラメータと水素濃度分布の関係を解析した。また、水素濃度分布と壁面熱伝達の関係について熱流体解析プログラムによる検討も併せて行なった。

結果・成果

直接噴による実験に先立ち、定容燃焼器内に均一な水素・窒素混合気を充填してNd-YAGレーザーを照射し、水素原子および窒素原子からの発光を分光し両者の強度比と原子数比の関係を求め、原子発光法により高精度な水素濃度計測が可能であることを確認した。次に、この原子発光法を定容燃焼器における水素直接噴射層状給気に適用した。これにより、水素噴流中の局所濃度情報を高い時間・空間分解能で計測することが可能となった。更に、計測時期および計測位置をスキャンすることで、水素直接噴射層状給気における水素の空間分布を時系列的に解析することが可能となり、混合気形成挙動や噴流による雰囲気巻き込みの状況などが明らかになった。この実験においては、水素の二段噴射を行い二

段噴射による能動的な混合気形成制御が可能となる様子を本研究により明らかにした。また、熱流体解析プログラムを用いて水素直接噴射エンジンにおける混合気形成と熱損失の関係を計算した結果からも、水素直接噴射層状給気による熱損失低減効果が示された。

クリーンな再生可能エネルギー媒体として水素が着目される中で、水素を燃料とする動力システムとしては固体高分子型燃料電池や水素エンジンが考えられるが、自動車における燃料電池の本格的な普及のためには比出力、耐久性、触媒被毒、コストなどの課題を解決する必要がある。これに対して、水素エンジンは高い比出力と耐久性を低コストで実現できるとともに触媒被毒の問題とも無縁である。水素エンジンが燃料電池に対して劣るのは熱効率のみであるが、本研究の成果により示された直接噴射層状給気による水素燃焼の熱損失低減は水素エンジンの熱効率を向上し理想的な動力システムとすることが期待される。

今後の展望

今後は水素エンジン実機を用いた研究を進め、直接噴射層状給気による熱効率向上効果を検証する。本研究による水素エンジンの高性能化は、水素自動車の普及につながり高い経済効果が期待できる。また、今後の水素エネルギー社会においては、水素エンジンや水素燃料電池を利用したシステムの多くの場面において水素の測定や検知が必要となるが、本研究における原子発光法による水素濃度計測は水素センサーの一方式の技術的ベースにもなり、今後の水素社会実現に向けて数多くの波及効果が期待できる。