

PS-22 水素混焼ガスエンジンの燃焼抑制に関する研究

環境・動力系 * 市川 泰久, 関口 秀紀

1. はじめに

船用機関から排出される温室効果ガスを大幅に削減することを目的に、著者らは天然ガスを燃料とするリーンバーンガス機関に水素を混焼する研究を実施している¹⁾。水素は天然ガスの主成分であるメタンと比較するとその燃焼速度が大幅に速い。このため、リーンバーンガス機関に対して水素を混焼させると、燃焼期間が短くなり、筒内圧力は増大する。この水素混焼による筒内圧力の増大は、窒素酸化物(NO_x)排出率の増大やノッキングの発生といった問題を生じさせる場合がある。したがって、高い熱量混合率で運転する水素混焼ガス機関を実現するためには燃焼抑制技術の適用が不可欠となる。

代表的な燃焼抑制技術としては、排気再循環(EGR: Exhaust Gas Recirculation)、水噴射、希薄燃焼がある。本研究では、これらの燃焼抑制技術の特徴を明らかにし、高い水素混焼率でも安定して運転可能な燃焼制御技術の開発を目標とする。著者らはこれまでに、水素を混焼したガス機関に対してEGR技術を適用する実験を実施し、その諸特性を明らかにした²⁾。本報では、水噴射による燃焼抑制効果を検証するために製作した水噴射装置を紹介するとともに、水噴射の基礎特性を把握するために実施した、水素無混焼時のガス機関に対する水噴射実験の結果を報告する。

2. 実験装置及び方法

表-1に本研究で用いたリーンバーンガス機関の諸元を、図-1に試験システムの概略を示す。本ガス機関に設置した水噴射装置は、各気筒の吸気ポートにインジェクタを設置するポート噴射方式とした。水インジェクタの設置位置は、都市ガスインジェクタが設置されているインタークーラとシリンダヘッドを接続する部分にした。水インジェクタには自動車用ガソリンエンジンに用いられるインジェクタを流用し、純水を噴射した。なお、本インジェクタは、予備試験で噴流の霧化特性が不十分であり、水を混合気中に均質に分散することができないことが分かったため、空気インジェクタを追加し水噴流に空気噴流を衝突させることで強制的に霧化させた。図-2に水素・水・空気ノズルの配置と水・空気噴流の位置関係を示す。水インジェクタからは2本の水噴流が噴射される。噴射直後の水噴流に対し、それぞれ側面から空気噴流を衝突させて霧化を行う。図-3に空気噴流による水噴流の強制霧化の時間経過毎の様子を示す。同図から空気噴流が衝突する位置から水噴流の霧化が促進されていることがわかる。

本実験におけるガス機関運転条件は、機関回転速度 1500 min^{-1} とし、負荷率は船用補機で使用頻度の高い 75% (発電出力 240 kW) とした。水および空気の噴射時期・期間は、吸気弁上流部での滞留を防止するために、シリンダ吸気期間内

表-1 リーンバーンガス機関の諸元

エンジン名	AYG20L-SE (ヤンマー)
形式	希薄燃焼 / 副室火花点火
シリンダ径/行程	155 mm / 180 mm
気筒数	6
発電出力/回転速度	400 kW _e / 1800 min^{-1} (60 Hz)

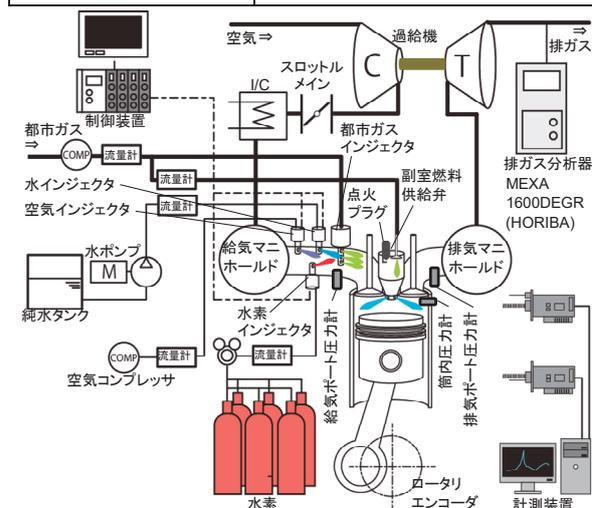


図-1 運転条件による熱効率と排気成分の変化

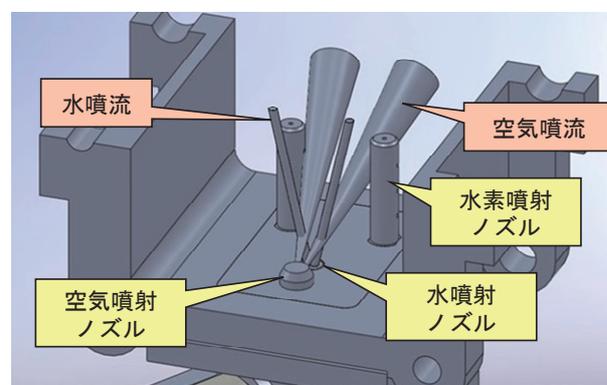


図-2 水素・水・空気ノズルの配置と水・空気噴流の位置関係

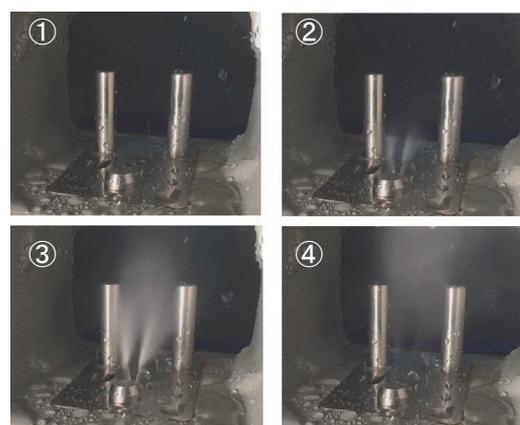


図-3 空気噴流による水噴流の強制霧化の様子
(141)

に設定した。以下の実験において、水および霧化用空気インジェクタ噴射圧力をそれぞれ 500 kPa, 600 kPa に設定した。なお、水噴射をする際、機関回転速度、発電出力、給気マニホールド圧力、温度および副室燃料流量は一定にした。

3. 結果及び考察

図-4(a), (b)に、水噴射流量毎のクランク角度に対する筒内圧力と累積熱発生率を示す。同図(a)から、水噴射流量が増加するにしたがって筒内圧力が低下することがわかる。さらに同図(b)から、同じ累積熱発生率で比較すると、水噴射流量が増加するとクランク角度が遅角することがわかる。これは、水噴射によってシリンダ内を伝播する火炎の速度が低下したことを示している。同図(a)でみられた筒内圧力の低下は、燃焼期間の増大が要因であると考えられる。図-5に水噴射流量に対する最高筒内圧力を示す。同図から最高筒内圧力は水噴射流量の増加とともに直線的に低下することがわかる。水噴射流量 350 mL/min. では、約 1.2MPa 低下した。

図-6(a), (b)に水噴射流量に対する副室内燃焼期間と主燃焼期間を示す。ここで、副室燃焼期間は、点火時期から主室内熱発生が開始するまでのクランク角度と定義した。主燃焼期間は、燃焼質量割合（累積熱発生率を最大累積熱発生率で除した値）が 15 %から 85 %までのクランク角度と定義した。同図から、水噴射流量の増加とともに副室内燃焼期間、主燃焼期間ともに増大した。副室内燃焼期間は、水噴射流量 350 mL/min. では、約 0.8 deg. CA 増大した。この変化量は点火時期の調整によって容易に調整可能なため、本実験範囲では副室内燃焼期間への水噴射の影響は軽微であったと言える。一方、主燃焼期間は、水噴射流量 350 mL/min. では、約 4.3 deg. CA 増大した。ここで、水素混焼による主燃焼期間の変化量は、基準となる条件によって異なるために一概に述べることはできないが、水素を熱量混合率 15~20%で混焼すると、本実験の水噴射流量 350 mL/min. の場合と同程度の主燃焼期間の変化が生じることがわかっている。したがって、水噴射は水素混焼ガス機関においても有意な燃焼抑制効果が得られると期待される。

4. まとめ

本研究では、水噴射の基礎特性を把握するため、水素無混焼時のガス機関に対する水噴射実験を実施し、燃焼特性におよぼす影響を評価した。その結果、水噴射流量の増加とともに主燃焼期間は増大し、最高筒内圧力は直線的に低下した。一方、副室内燃焼期間は増大したが、その変化量は点火時期の調整によって容易に調整できる程度であり、副室点火特性への影響は軽微であることが分かった。以上のことから、水噴射はガス機関の主室内燃焼に対する有効な燃焼抑制手法であると考えられる。今後は、水素混焼時において水噴射実験を実施し、燃焼抑制効果を明らかにする予定である。

参考文献

- 1) 市川他, 第 88 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, pp. 131-132, 2018.
- 2) 市川他, 第 89 回マリンエンジニアリング学会学術講演会講演論文集, pp. 301-302, 2019.

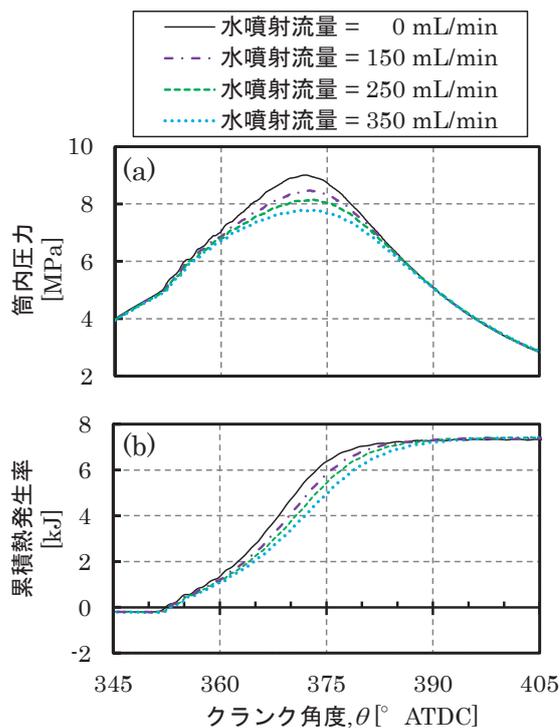


図-4 水噴射流量毎のクランク角度に対する筒内圧力と累積熱発生率

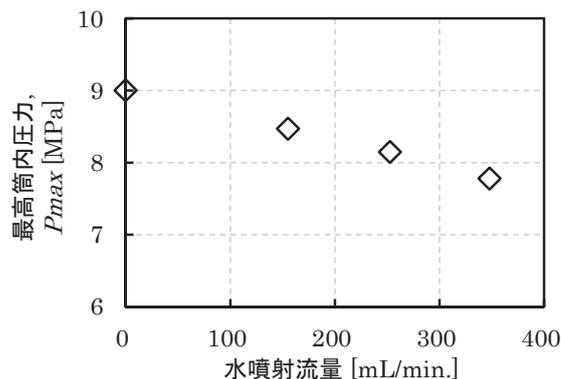


図-5 水噴射流量に対する最大筒内圧力の変化

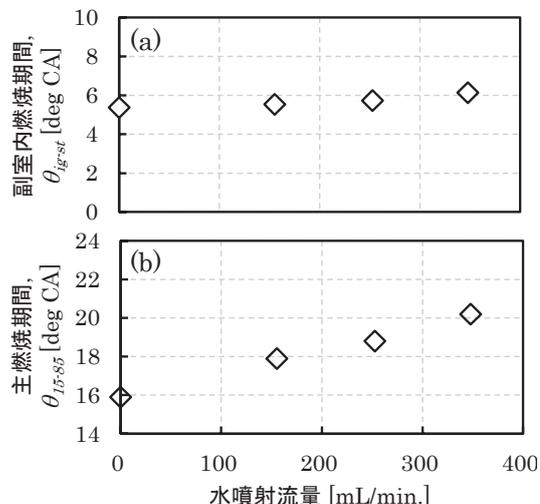


図-6 水噴射流量に対する副室内燃焼期間および主燃焼期間の変化