

水素エンジン開発への取り組み Initiatives for Hydrogen Engine Development

リケン NPR 株式会社（正） 臼井 美幸樹

Miyuki Usui*

*NPR-RIKEN Corporation

1. はじめに

自動車のカーボンニュートラル(CN)実現の手段として、低エネルギー密度・低出力の小型車両については、電気自動車(BEV)が主流となることが予想される。しかし高エネルギー密度・高出力となる大型車両の BEV では大きなバッテリーが必要となるため、荷物、人を載せる空間が狭くなり本来の目的を果たせなくなる。したがって大型車両の CN については水素を利用した燃料電池車(FCEV)、水素エンジン車等が有効である。燃料電池は高価であり、高純度の水素を充填しなければいけない問題点がある。これに対し水素エンジン車は高純度の水素が不要で、新規にエンジン開発を行わなくても従来の化石燃料エンジン車から改造でき、従来のエンジン部品を活用できる。ただ、水素エンジン特有の課題があることが過去の研究から分かっており、水素エンジンでの従来部品の対策の可否を確認する必要がある。

そこで水素エンジンテストが可能な環境の構築、水素エンジン環境を模擬した単体試験、水素エンジンのシリンダ内事象の数値解析を行い、水素エンジン開発の課題の実現を図ることとした。本稿では水素エンジン開発への取り組みについて紹介する。

2. 水素エンジン開発の課題

数十年前から行われてきた水素エンジンの研究での検討課題を Fig1 に示す。シリンダ内の部品への影響の懸念として、①水素ガスによる部品の水素脆化 ②水素の燃焼による水分発生に起因するエンジンオイルの乳化の影響 ③化石燃料との運転制御の違いによる排気中の NOx 成分の増加 ④多量的水分と酸による腐食 ⑤ポート噴射 (PFI) エンジンでの異常燃焼の発生による破損 ⑥クランクケース内への水素ガスの流入によるシリンダ内での爆発が挙げられる。

エンジン部品への影響を確認するためには、長時間の水素エンジンテストが必要であるため、これまでエンジン部品への影響を確認した研究事例が少なかったと考えられる。そこで水素エンジンテスト環境を設け、長時間運転を行うことにより部品への影響の程度の確認とメカニズム解明を試みた。

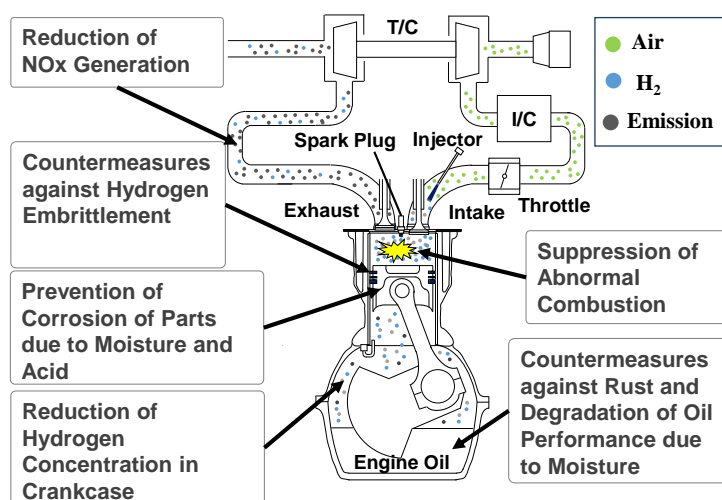


Fig. 1 Issue of Hydrogen Engine

3. 水素エンジンでのピストンリングの課題

3.1 水素エンジンへの改造と運転制御

市販の排気量 3L のディーゼルトラックのエンジンを、大規模改造が不要なポート噴射式(PFI)水素エンジンに改造するため、点火プラグ・インジェクタ・スロットルを追加した。また PFI 水素エンジンでは異常燃焼が発生しやすいため (Fig.2)、インテークマニホールド内に滞留する水素を減らし吸入空気と水素を各気筒に均等に分配できるよう、CFD 解析を用いてインテークマニホールド形状の設計を行った (Fig.3)。さらに運転制御に関してもベースエンジンから変更している。水素の特性¹⁾からベースエンジンの制御のままでは異常燃焼が発生しやすいため、空気過剰率 λ 、点火進角、水素の噴射時期等を調整し、異常燃焼を回避しながら、トルクを向上させた。

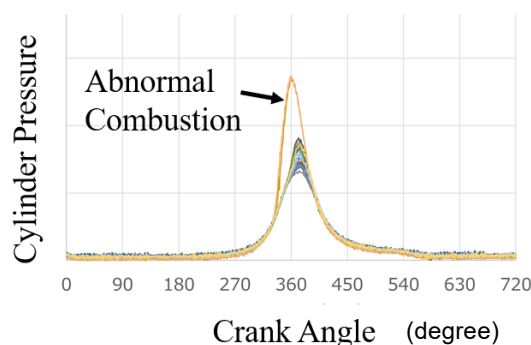


Fig. 2 Cylinder Pressure of Abnormal combustion

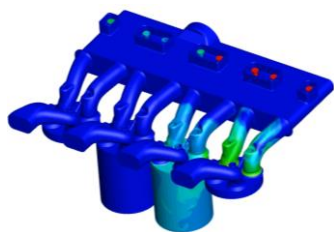


Fig. 3 CFD of Hydrogen Engine

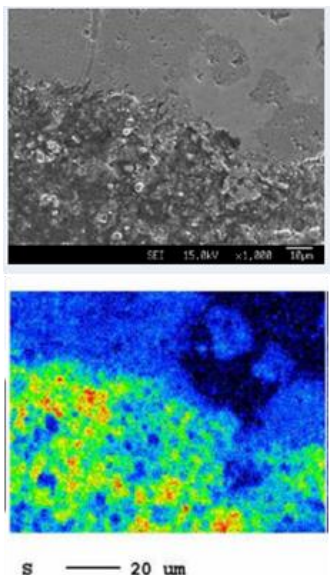


Fig. 4 Observation Result of Ring side surface

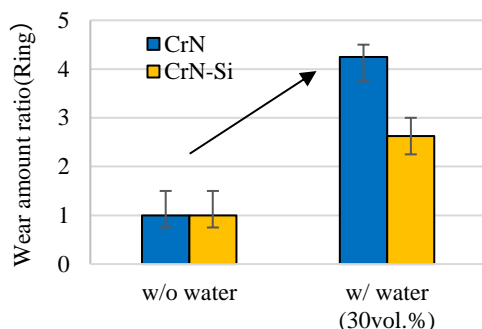


Fig. 5 Wear amount ratio ²⁾

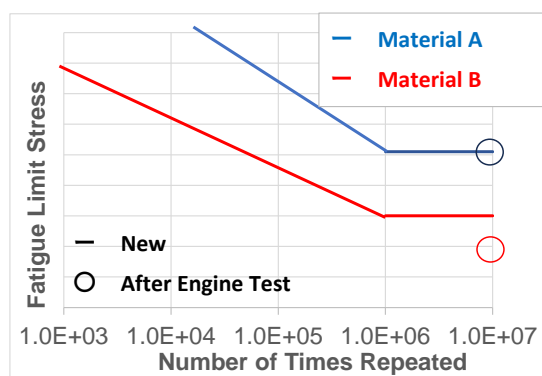


Fig. 6 Change in Fatigue Limit Stress

本水素エンジンで耐久試験を行い、エンジン部品のピストンリングへの影響を確認した。

3.2 ピストンリング周辺部品での発生事象

エンジンでの耐久試験後のピストンリングで確認された事象について述べる。

3.2.1 ピストンリング側面の腐食

2章で述べたように、水素エンジンではNOxと水分により腐食が発生する可能性を予想していた。実際にはFig.4に示すように、腐食部分には硫黄が多く観察された。したがって腐食は水分と、エンジンオイルの添加剤の硫黄により発生したと考えられる。硫黄が観察された腐食は、トップリング下面とセカンドリング上面とごく近い範囲で発生していたことから、硫黄と水分の反応が促進しやすい温度、圧力の範囲となっていた可能性があると予想される。

3.2.2 ピストンリング外周面の摩耗

エンジンテスト中はエンジンオイル中に水分が入ることから、ピストンリングの摩耗量への影響が懸念された。エンジンでの耐久試験前に、エンジンオイル中に水を混ぜたピストンリング外周面の単体しゅう動試験を実施した。試験は横型往復動試験機を用いて、ストローク 50mm、荷重 200N、平均しゅう動速度 1.67m/s、試験時間 10h、シリンダ材温度 80℃で実施した。結果は水分無しに比べ2倍以上の摩耗が確認された(Fig.5)。その後、エンジンの耐久試験で摩耗量を確認したところ、通常のディーゼルエンジンの耐久テストと同レベルの摩耗量であることが確認された。したがって単体試験では今回のエンジンテストに対し、水分による影響が大きい試験だったと言える。この理由は、単体試験では今回のエンジンテストに比べ多い水分量で試験を実施したこと、文献2)で述べたように、エンジンテストに比べエンジンオイル中の添加剤の作用の変化が大きくなる試験条件だったことによると考えられる。エンジン運転でも低温環境などの、単体試験のような条件が発生することも考えられるため、今後エンジンテストで摩耗が増えやすい条件を確認する必要がある。

3.2.3 ピストンリングの疲労強度の変化

水素ガスに晒されることによる、ピストンリング材料の疲労強度への影響を確認した。新品時に対するエンジンテスト後のピストンリングの疲労強度は、Fig.6に示すようにピストンリング材料Aでは新品と同等の疲労強度となり、材料Bでは低下した。したがって水素エンジン用ピストンリングは、水素環境下で疲労強度が低下する可能性を考慮した設計検討が必要となる。

4. おわりに

化石燃料のエンジンテストの設備、単体試験設備、解析技術を活用し、自社で水素エンジンテストを行うことにより、水素エンジンの長時間運転での事象を確認できるようになった。今後も要因解明、対策を継続していく。また、今後様々な部品メーカーとも協力し、当社も含め各社の技術力向上を目指していき、水素エンジン車両がユーザーの選択として当たり前になることを目標として活動を進めていく。

文献

- 1)佐藤：”安全に関わる水素の性質”，安全工学，(2005) 378-385
- 2)佐藤，レント，岩倉，渡辺，臼井，安藤：”水素エンジンにおけるピストンリングのしゅう動特性評価”，トライボロジー会議 2024 秋 名護 予稿集(2024)。