

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 自動車をはかる

January 1993 ■ No.6

水素ロータリエンジンの開発

Development of Hydrogen Rotary Engine

寺本隆文

Takafumi TERAMOTO

(Pages 22-26)

株式会社 堀場製作所

水素ロータリエンジンの開発

Development of Hydrogen Rotary Engine

寺本 隆文*

Takafumi Teramoto

要旨

クリーン&エコロジーなエネルギーとして、水素の幅広い利用が期待されている。この水素を燃料とする自動車用エンジンの研究を行なった。ロータリエンジンは、高温の排気バルブを有しない、吸気室が低温であるなどの特徴的な構造により、水素燃焼の重要な問題である過早着火やバックファイアなどの異常燃焼を発生しにくいことが明らかになった。この結果、水素ロータリエンジンは、水素レシプロエンジンよりも高出力を得易い長所を有していること、更に高出力化するために作動室への水素の直接噴射法を導入した結果、水素ロータリエンジンの出力がガソリンエンジンの約90%まで達することが判明した。

Abstract

Hydrogen has a great potential as a clean and ecologically-sound energy source. This has led to a serious study of hydrogen-fueled engines for automotive use. Because of the unique structural features of rotary engines, such as no hot exhaust valves and a low-temperature intake chamber, it was found that they are suitable in preventing the problems of abnormal combustion (e. g., pre-ignition and backfiring) which have been serious drawbacks in hydrogen-fueled engines.

As a result, hydrogen-fueled rotary engines have the merit of easily obtainable high output power compared with conventional hydrogen-fueled reciprocating engines. Furthermore, a new method of direct injection of hydrogen into the engine was developed in order to get more output power of the hydrogen-fueled rotary engine reached 90% of that of gasoline engines.

1. はじめに

新開発された水素ロータリエンジン(以下、RE)を搭載したコンセプト車HR-X(図1)は、'91年秋に開催された第29回東京モーターショーで発表され、クリーン&エコロジーを実現する車として大きな関心を集めた。その後もHR-Xは、'92年6月のブラジルでの地球サミットを始め数多くのイベントにおいて、水素自動車への認識と期待を世界的に広めている。

* マツダ株式会社

本論文では水素RE開発の背景と目的、及びその特徴と性能について述べる。

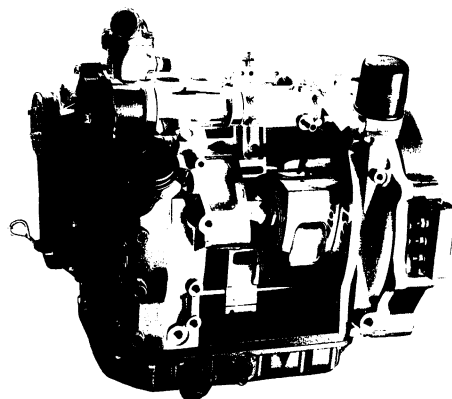
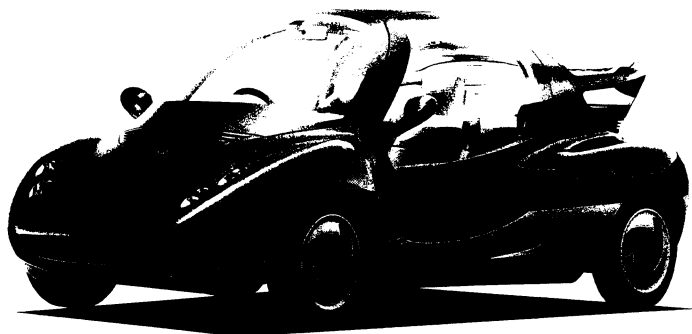


図1 水素 RE と HR-X
Hydrogen Rotary Engine and Concept Vehicle 'HR-X'

2. 開発の背景と目的

21世紀には限りのある化石エネルギーへの依存を少なくし、太陽エネルギーを源とする光、風、水、潮流などの自然エネルギーの利用が飛躍的に拡大されようとしている。このようなエネルギー社会では電気と並び、電気との間で相互に変換が可能で、電気よりも貯蔵や運搬が容易である水素が、エネルギー媒体として広く利用されるものと考えられる。既に、図2に示すようにこのような水素の利用を目指すプロジェクトがカナダとヨーロッパの間で進められている¹⁾。

水素の主要な利用方法の一つとして、自動車用の燃料が考えられる。燃料としての水素は、図3に示すように水から生じて燃えると水に戻るリサイクルラブルで、しかもHC、CO、及びCO₂などの有害な排出物を生じないクリーンな理想的な性質を有している。一方、水素エンジンの問題点として、過早着火やバックファイアなどの異常燃焼を回避するために、ガソリンエンジンに較べて出力性能の悪化や構造の複雑化などが報告されている^{2,3)}。

我々は、マツダ独自のREの特徴的な構造が水素の異常燃焼の回避に有効であることに着目し、21世紀の水素エネルギー利用社会における自動車用エンジンとして、クリーンかつ高性能な水素REの開発に取り組んだ。

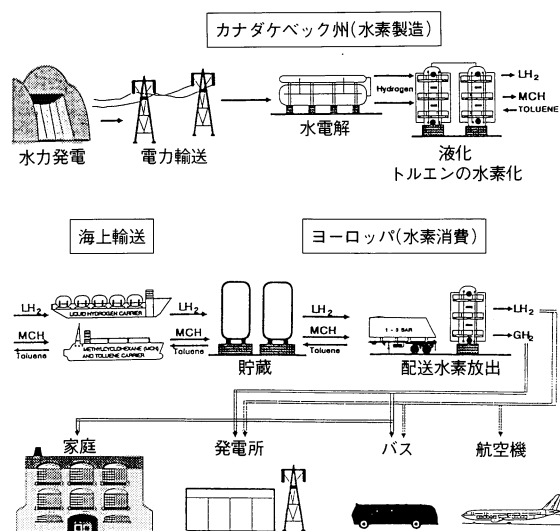


図2 EURO-QUEBEC HYDRO-HYDROGEN PROJECT

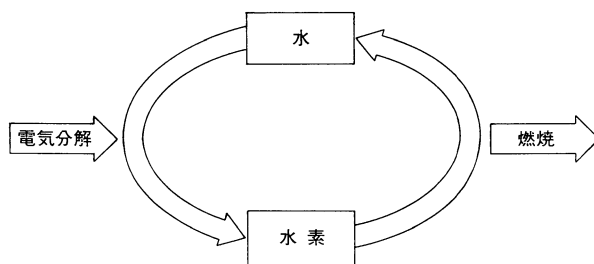


図3 水素の燃焼と再生
Combustion and Recycle of Hydrogen

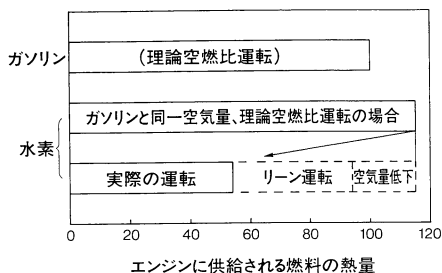


図4 水素 CE の出力低下の原因
Causes of Low Output Power of Conventional Hydrogen Reciprocating Engine

3. 水素 RE の特徴

水素 RE に先立って評価した水素レシプロエンジン (以下, CE) の出力は, ベースとしたガソリンエンジンの約50%まで低下した. この原因を明らかにするために, エンジンに供給される燃料の保有する熱量を検討した結果を図4に示す. ガソリンエンジンと同一空気量, 及び同じく理論空燃比付近での運転が可能であれば, 水素エンジンへの供給熱量はガソリンよりも15%増加する. しかし, 実際の水素 CE の運転では, 異常燃焼を回避するために運転可能な空燃比がリーン領域に制限され, また低密度の水素燃料によって吸入空気量が減じる結果, 供給熱量はガソリンの54%まで低下することが明らかになった. 従って, これら2つが評価した水素 CE が低出力となる主な原因と考えられる.

過早着火やバックファイアなどの異常燃焼は, 水素の基本的な性質の1つである点火エネルギーの小ささのために, ガソリンエンジンでは問題とならない点火プラグ, 排気バルブ, 残留排気ガスなどの高温のエンジン部位が着火源となり, 発生するものと考えられている. そのため, 従来の水素 CE の研究では, 高温の着火源対策として, 新たにシリンダ内への水噴射装置とナトリウム封入排気バルブなどを採用し, 効果をあげた例がある.

ところが, RE では図5に示すように元々排気バルブは無く, また燃焼室と吸気室が分離しているために CE に較べて吸気室が低温であるなどの特徴があり, 基本構造から異常燃焼の着火源になりにくい特性を有している.

この特徴的な RE 構造によって水素の異常燃焼がどこまで回避できるかを評価した結果を図6に示す. 点火プラグの熱価を大きくすれば異常燃焼が発生する領域が減少する傾向を示し, 通常ガソリンエンジンよりもかなり高熱価の点火プラグ (熱価13) では理論空燃比においても異常燃焼の発生を防止できることが明らかになった.

水素 RE と水素 CE の空気過剰率と出力の関係を図7に示す. 理論空燃比付近までは空気過剰率が小さいほど水素量が増すことから出力が向上する傾向を示すが, 水素 CE は異常燃焼の発生により運転を空気過剰率が1.8以上のリーン領域に制限され, 出力が犠牲となっている. 一方, 水素 RE は理論空燃比 ($\lambda = 1$) でも異常燃焼が発生することなく正常に運転できることから, 水素 CE よりも高出力を得易いことが明らかである.

以上から, 水素 RE の利点として, 従来のガソリン用のエンジン構造のまま, 出力性能を犠牲にすることなく水素燃焼の課題である異常燃焼を回避できることが確認された.

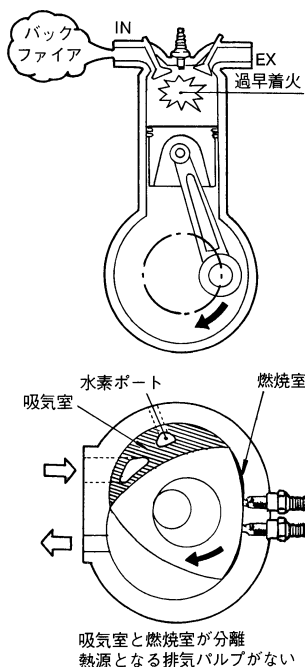


図5 RE 構造の特徴
Structural Features of Rotary Engine

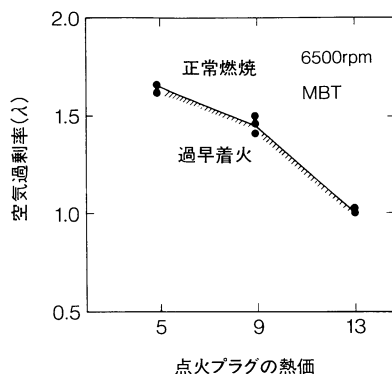


図6 点火プラグ熱価と過早着火
Heat Rating of Spark Plugs vs. Pre-Ignition

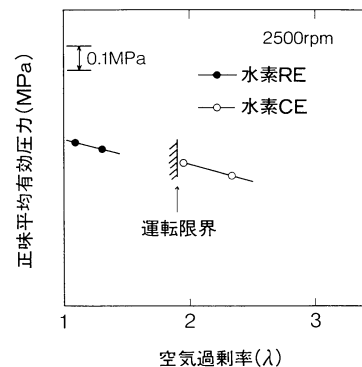


図7 空気過剰率と出力
Excess Air Ratio vs. Output Power

4. 水素 RE の性能

図4において異常燃焼とともに水素 CE の出力低下の原因である空気の体積効率の低下は、水素の物理的特徴の1つである密度の小ささのために生じるものであり、水素 RE においても同様に出力低下の原因となる。即ち、理論空燃比においてガソリン蒸気が混合気全体の1.7%の体積を占めるのに対して、低密度の水素は28%もの体積を占めるため、従来のように吸気管に燃料を供給する予混合方式ではこれにより空気量が大幅に低下する。この対策として、空気の吸入終了後に作動室内に水素を直接噴射する方法が研究されている^{4,5)}。直噴方式では全自然吸入量が空気となるために、空気量、及び水素量を予混合方式よりも38%も増加することが期待できる。

図8に試作した直噴式水素 RE を示す。吸気室の壁面に開口する水素ポートの上流にカム軸で開閉されるポペット式の水素弁があり、これにより空気ポートからの空気の吸入が終了した直後から約90度の間水素が圧縮行程中の作動室内に噴射される。図8の左の図では空気ポートが閉じようとしており、まだ水素弁は閉じている。右の図ではその後空気ポートが完全に閉じた直後であり、水素弁が開いて水素が作動室内の空気に向けて噴射されている。

予混合方式と直噴方式の水素 RE の出力性能を図9に比較して示す。直噴化によって、各回転において20~30%も出力が増加することが確認された。

各方式の水素エンジンの出力性能をベースとしたガソリンエンジンの出力に対する比率として図10に示す。同じ予混合方式では水素 CE が50%であるのに対して水素 RE では63%まで増加した。更に、水素 RE を直噴化することにより、ガソリンエンジン出力の約90%まで達することができた。

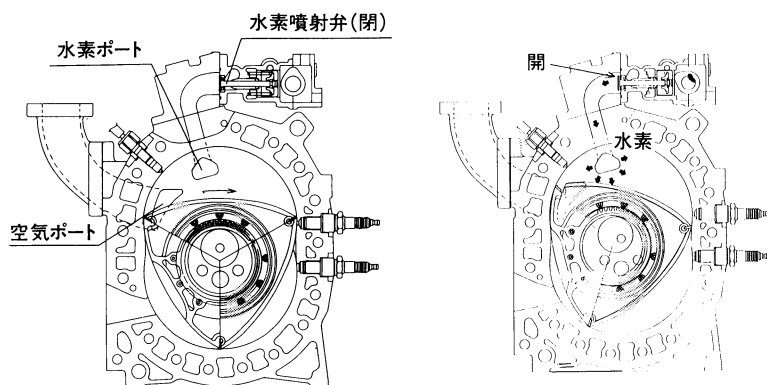


図8 直噴式水素 RE の構造
Direct-Injection Hydrogen Rotary Engine

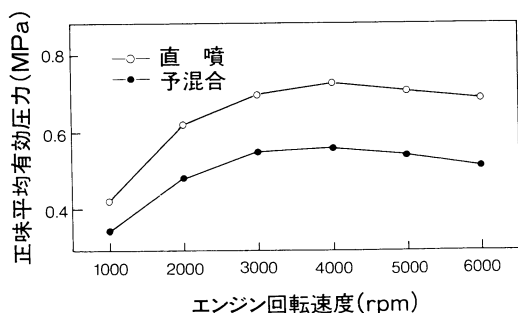


図9 直噴と予混合の出力性能の比較
Comparison between Direct-Injection Method and Pre-Mixed Method on Output Power

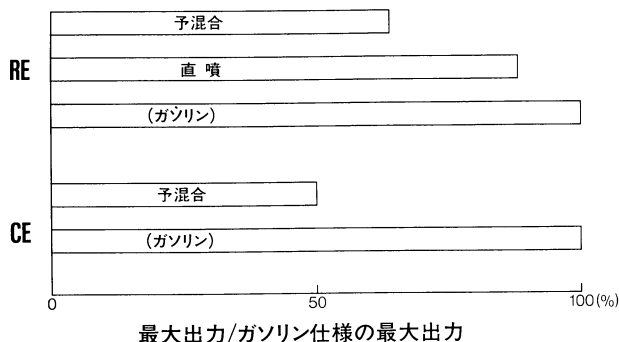


図10 水素エンジン出力性能の比較
Comparison between Hydrogen Rotary Engine and Hydrogen Reciprocating Engine on Output Power

5. まとめ

(1) RE は水素燃焼に適した構造を有しているため、高熱価の点火プラグに変更するだけで水素の異常燃焼を回避し、理論空燃比での運転が可能である。

(2) 水素直噴化により全開出力を20~30%向上できる。この結果、直噴式水素REではガソリン仕様の約90%の出力が得られる。

参考文献

- 1) R. Wurster, et al. : , 8th, WHEC, p. 59 (1990)
- 2) 古浜ほか：自動車技術会論文集, No6,p. 12 (1973)
- 3) R. Povel, et al. : ,6th, WHEC, p. 1145 (1986)
- 4) J. Hama, et al. : ,SAE, Paper, 880036
- 5) S. Furuhami, et, al. : , 5th, WHEC, p. 1493 (1984)



寺本隆文
Takafumi Teramoto
マツダ株式会社
技術研究所 主任

