

特集：ロータリエンジン

5

新開発RENESISのエミッション低減技術 Emission Reduction Technology in Newly Developed RENESIS

徳田 祥治*¹ 清水 良*² 丹羽 靖*³
Shoji Tokuda Ryuu Shimizu Yasushi Niwa
世良 久*⁴ 森本 政博*⁵ 重津 雅彦*⁶
Hisashi Sera Masahiro Morimoto Masahiko Shigetsu

要 約

RX-8は、『4ドアスポーツ』という全く新しいコンセプトを具現化した車である。その心臓ともいべきロータリエンジンは、高い走行性能とクリーンな環境性能を高い次元で両立させている。その実現には、サイド排気化による本体系の改善のみならず、2次エア、キャタリスト等の周辺技術も大きく貢献している。また、エバポエミッションにおいても、スポーツカー初のLEV-II Evapo規制に適應する等、革新的な進歩を遂げている。本稿ではこれらの革新的な技術について紹介する。

Summary

RX-8 is a car which embodying a completely new concept, "4-door sports car". The rotary engine, we should tell the heart of RX-8, has made high dynamic performance compatible with clean environment efficiency in a high order. The peripheral technologies of the secondary air, catalyst and so on in addition to the improvement of internal system by the side exhaust technology also have made a significant contribution to the realization. Also, it has achieved innovative improvements such as adaptability to the LEV-II Evapo. regulation which is the first for sports cars in evaporative emission as well. This paper introduces these innovative technologies.

1. はじめに

21世紀は環境の時代である。時代のニーズに答えるべく、新開発のロータリエンジンであるRENESISでは、数多くのエミッション（以下EMと略す）低減技術を導入した。その結果、EUのEuro 4に代表される高いレベルのEM規制への適合が可能になった。以下にその主要な技術の紹介を行う。

2. RENESISのEM低減コンセプト

EMにはテールEMとエバポEMがある。

テールEM（ここでは排出ガス中のHC, CO, NO_xを指す）については、サイド排気ポート化⁽¹⁾（エンジン本体でのEM低減）+ 2次エア反応 + 高性能キャタリスト + 高精度A/F制御というコンセプトで、大幅なEM低減を実現

した。サイド排気ポート化については『サイド排気ポート方式ロータリエンジンの概要』で述べる。

エバポEM（ここでは車両全体からの蒸発HCを指す）については、HC発生量低減 + 燃料温度低減 + 大容量キャニスタ + 高精度パージ制御というコンセプトで、大幅なEM低減を実現した。

3. テールEM低減技術

3.1 2次エア反応システム

(1) 排気ポートインサート

排気ポートにロストワックス鑄造によるステンレス製の薄肉ポートインサートを設定することで、冷間始動時の排出ガスの保温を図っている。これにより、EUのCEDモード走行中のキャタリスト前ガス温を約40 上昇させ、排出ガス浄化性能を高めることができた。

* 1 ~ 3 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2
* 6 技術研究所
Technical Research Center

* 4 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

* 5 ボデー開発部
Body Development Dept.

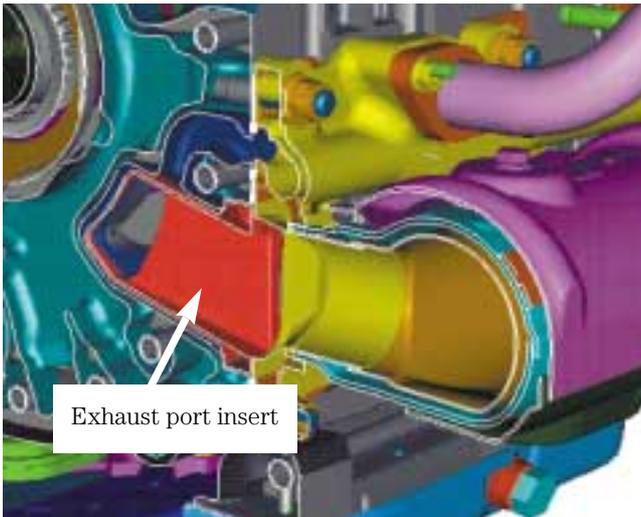


Fig.1 Exhaust Port Insert

また、ポートインサートとポートの間隙から2次エアをポート全周に導入することにより、排出ガスと2次エアのミキシングを改善して、2次エア反応を促進させ、効率よくカタリストを活性温度に制御できるようにした (Fig.1)

(2) 2重構造エキゾーストマニホールド

エキゾーストマニホールドを断熱のための空気層と熱容量の小さい薄肉内管を持つ2重構造にすることで、冷間始動時の排出ガスの保温を図っている。これにより、USAのLA-4モード走行中のカタリスト前ガス温を約100 上昇させることができた。

薄肉内管には4箇所のスライド機構部を設けることで、温間時における外管との熱膨張量の差を吸収する構造としている。更に、2重構造の外側に3層構造のインシュレータを設けて、NVHや耐久性にも配慮した構造としている (Fig.2)

(3) 電動エアポンプ

RENESESでは燃費改善のために、電動式のエアポンプを採用している。冷間始動時に電動エアポンプによる2次

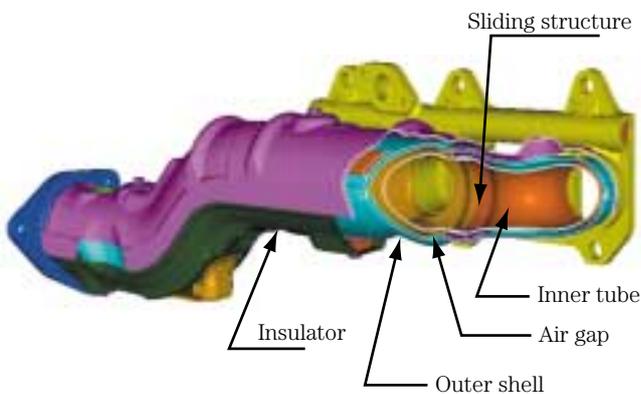


Fig.2 Dual Structure Exhaust Manifold

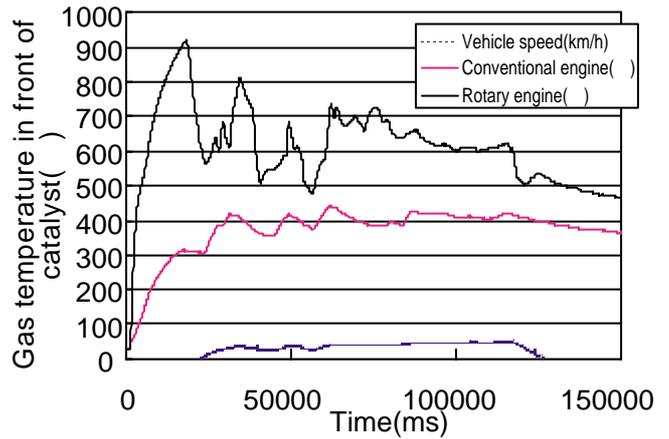


Fig.3 Gas Temperature in Front of Catalyst

エア導入を行うことで、エキゾーストマニホールド内での2次反応を促進して、カタリスト前ガス温を上昇させ、冷間時のカタリスト浄化性能を向上させている。これにより、USAのLA-4モード中のカタリスト前ガス温を、始動後17secで900 にまで上昇させており、冷間時のカタリストのウォームアップ性能を改善している (Fig.3)

電動エアポンプは、最大流量800 L/min以上の大流量遠心式タイプを採用しており、静粛性にも優れている。電動エアポンプ下流には、エアポンプが作動しない時の排出ガスの吹き返しを防止するためにチェックバルブを設けており、耐久性にも配慮したシステムとなっている。

3.2 高性能カタリスト

カタリストは、新開発のプラチナ-パラジウム-ロジウム系触媒を採用した。この新触媒と薄壁セラミック担体との組み合わせ技術で、ウォームアップ改善と抵抗低減を両立させ、従来のカタリストに比べて少ない貴金属使用量で、ライトオフ性能を改善し、冷間時の低温度域から高い浄化性能を確保することができた (Fig.4)

カタリスト仕様は1コンテナ2ベッドの大径ラウンド

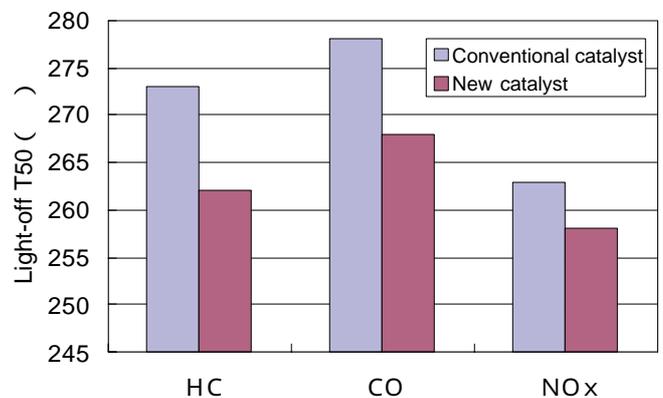


Fig.4 Light-off Temperature

断面タイプで、入口コーン形状をロングベルマウス形状として、キャタリスト入口部分を滑らかに拡張することで、モノリス全体に排出ガスが均一に当たるように配慮した。このキャタリストをエキゾーストマニホールド直下に配置することで、冷間始動直後のEMと耐久劣化を大幅に改善することができた。

3.3 高精度A/F制御

キャタリストの高い浄化性能を確保するために、吸入空気量計量システムとデュアルO₂センサシステムを採用した (Fig.5)。

吸入空気量計量システムは、熱式プラグインタイプのエアフローセンサにより質量流量の計量を行い、32ビット Powertrain Control Module (以下PCM) での演算により、最適な燃料噴射を行うようにした。燃料噴射を行うインジェクタは各ロータ3本ずつの計6本とし、低回転では各ロータ1本噴射で、回転数が上昇するに従って3本噴射に移行するシステムとした。これにより、低回転域の燃焼効率改善と高回転域の出力改善の両立が可能になった。

デュアルO₂センサシステムは、フロントをリニアO₂センサ、リアをO₂センサとし、それぞれキャタのフロントベッド前後に配置するシステムとした。フロントO₂センサは広範囲のA/F計測データを基に短期的なフィードバック制御をし、それにリアO₂センサによる長期的な補正値を加えるという2重ループ制御とした。これにより、EMモード中のA/F変動が格段に改善されたため、全運転領域においてキャタリストの高い浄化性能を確保することが可能になった。

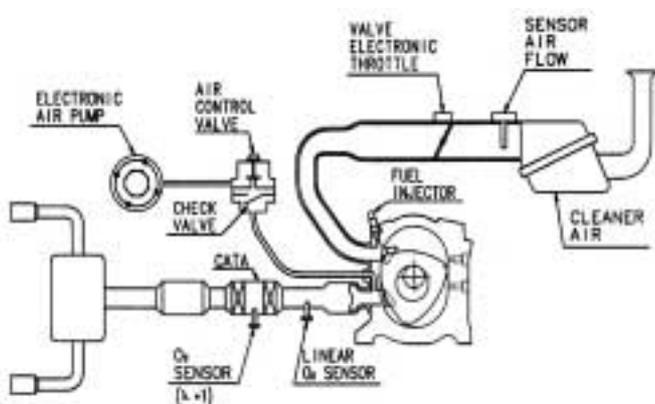


Fig.5 EM System

Japan	E-LEV
USA	LEV-II (LEV)
EU	Euro4

Fig.6 Tail EM Regulation Conformity

3.4 各国テールEM規制への適応

以上の技術を基に、PCMキャリブレーションを行い、主要各国のEM規制に適合させた。特にEUにおいては、Euro4規制の先取りを行うことで、環境対応の先進性をアピールしている (Fig.6)。

4. エバポEM低減技術

4.1 HC発生量低減

(1) 低透過材質ホース及びクイックコネクタ

燃料系からのHC発生が懸念されるため、ホースには低透過材質であるナイロン系3層チューブを採用し、接合部分にはクイックコネクタを採用した。クイックコネクタは、内部のフッ素ゴムのOリングにより完全シールを行うタイプである。これらにより、燃料系からのHC発生を大幅に低減することができた (Fig.7)。

(2) インジェクタの低油密管理

インジェクタ先端からの燃料にじみによるHC発生を低減するため、従来の油密管理値の半分程度の低油密管理を実施した。インジェクタ油密と発生HCは相関が高いため、低油密管理により、インジェクタ先端からのHC発生量を大幅に低減することができた (Fig.8)。

(3) 4種6層構造プラスチックタンク

RX-8は軽量化のためにプラスチック燃料タンクを採用している。プラスチックは鉄に比べてHCを透過しやすい性質を持っているため、鉄タンクと同等以上のHC透過性能を確保するために、中央のバリア層を上下のプラスチック層で挟み込むという4種6層構造を採用した。

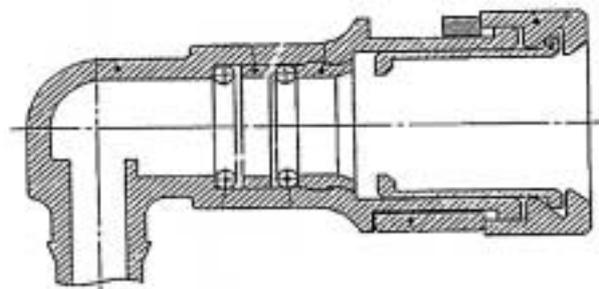


Fig.7 Quick Connector

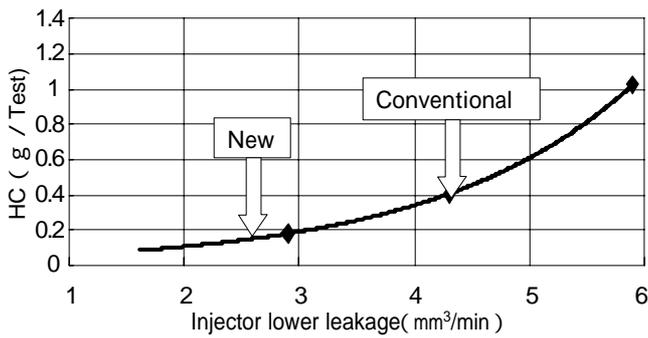


Fig.8 Injector Lower Leakage vs HC

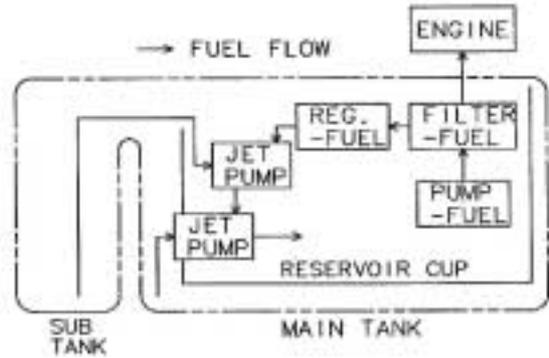


Fig.10 Return Less Fuel System

また、バルブとの溶着部分には、新開発の異種材料成形技術を採用した。これは、本体のプラスチックには低透過の材料を使い、溶着部には接着性の良い材料を使って成形する技術であり、従来の単層バルブの状態に比べてHC透過量を1/3以下に抑えることができる。

これらの技術を採用することにより、燃料タンクからのHC発生量を大幅に低減することができた (Fig.9)。

4.2 燃料温度低減

(1) リターンレス燃料系

エンジンルームを經由して燃料タンクに帰ってくるリターン燃料は温度が高いため、タンク内燃料温度を上昇させてしまう。その結果、エバポ発生量が増えて、エバポEMの悪化につながる。その対応として、タンク内の燃料ポンプにタンク内リターン機構を設けることで、燃料系ラインを1本にしたリターンレス燃料系を採用した。これによりリターン燃料がなくなったため、タンク内燃料温度の上昇を抑えることができた。しかし、その分エンジンルーム内燃料温度が上昇してしまうため、パーコレーションが発生しやすくなる。その対応として、燃料圧力を392kPaにアップして、熱間でエンジン始動が難しい環境下でも確実に始動できるようにした (Fig.10)。

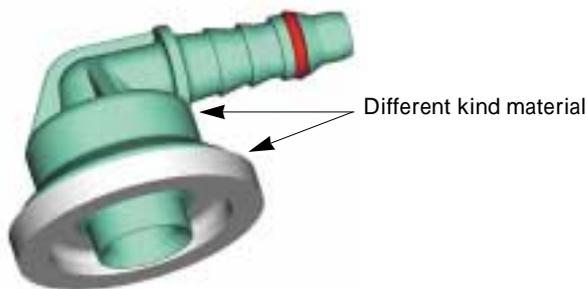


Fig.9 Different Kind Material Forming Technology

(2) 大型インシュレータ

RX-8はヨー慣性モーメント低減のために、燃料タンクを後部座席下にレイアウトしている。その結果、排気系を燃料タンクがまたぐ形の鞍型タンク形状になっているため、排気熱を直接燃料タンクが受ける構造になっている。その対応として、燃料タンク下面に大型インシュレータを装着した (Fig.11)。

これらの対応により、ランニングロスモード走行後のタンク内の燃料を低温に維持できるため、HC発生量を大幅に低減することができた。

4.3 大容量キャニスタ

60 Lの燃料タンクから給油時に発生するHCを吸着するために、USA向けは3室構造を持つ2.4 L大容量タイプのキャニスタを採用した。3室構造にすることで、エバポガス吸着時の大気側へのHC漏れを防止することができる。これにより、エバポ評価時のHC吸着能力も向上し、LEV-II Evapo.規制対応が可能になった (Fig.12)。

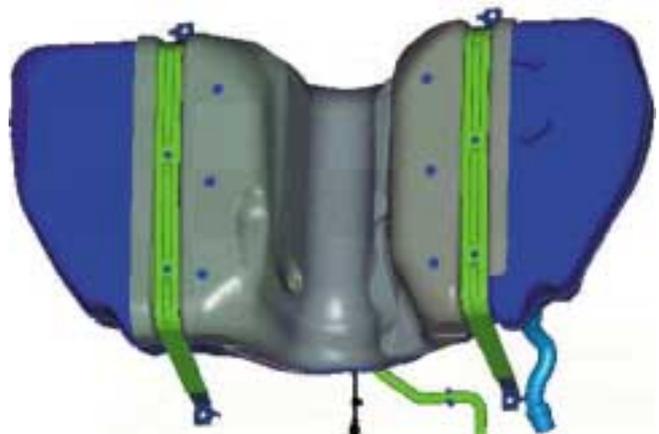


Fig.11 Fuel Tank Insulator

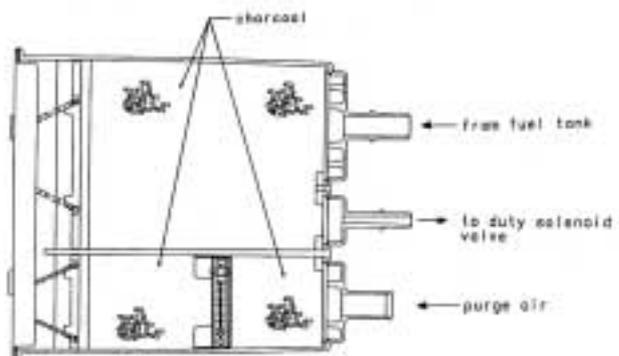


Fig.12 Canister for USA

4.4 高精度パージ制御

低濃度HCを保つためには、キャニスタに吸着するエバポガス量以上にキャニスタからパージする必要がある。そのために、電子制御パージバルブとエバポ学習制御による大量パージシステムを採用した。

電子制御パージバルブを用いることにより、回転数や負荷によって要求の異なるパージ流量を、PCMによって最適な量に制御することが可能になった。また、デューティパージ制御とすることで、常に化する運転条件に素早く反応できるため、A/F変動が抑制され、さらにO₂F/B制御で緻密な適合制御を行うことで、ドライバビリティと両立して、環境性能を高めることができた。

エバポ学習制御は、走行開始時は少しずつパージしてエバポ濃度を学習して、学習完了後に学習値に合わせて燃料流量を最適に制御しながら、大量にパージするシステムとした。フロントリアO₂センサによる広範囲のA/F計測データを基にエバポ学習制御を行うことで、エバポガス導入によるオーバーリッチの抑制とモード中の大量パージを両立させた。これにより、キャニスタがオーバーフローするのを防ぐことができ、全運転領域において低濃度HCを保つことが可能になった (Fig.13)。

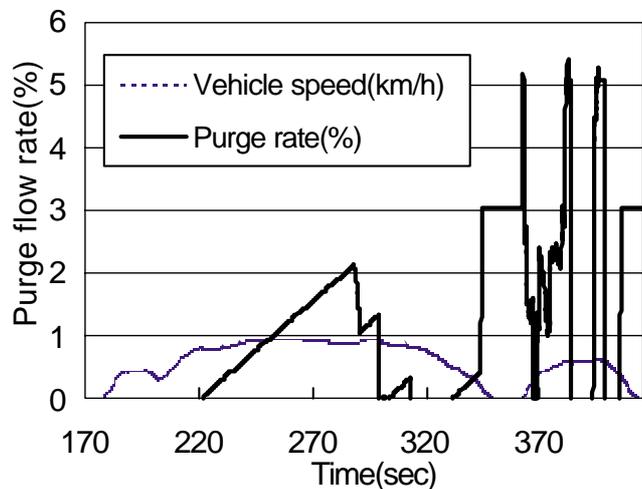


Fig.13 Purge Flow Rate

Japan	New Evapo.
USA	LEV-II Evapo.
EU	New Evapo.

Fig.14 Evapo. EM Regulation Conformity

4.5 各国エバポEM規制への適応

以上の技術を基に、PCMキャリブレーションを行い、主要各国のEM規制に適合させた。特にUSAにおいては、スポーツカー初のLEV-II Evapo.規制対応を行うことで、環境対応の先進性をアピールしている (Fig.14)。

5. おわりに

今や環境問題は、全人類共通の課題である。この課題に直結するEM性能を開発できることは、大変意義深いものを感じる。特にロータリエンジンはマツダ独自のエンジンのため、技術開発には多大な労力が必要であった。しかしその結果として、サイド排気化に代表される技術革新が可能になり、世界最高水準のEM規制へ適応することができた。これは素直に喜び誇れることであり、これなしにはスポーツカーは生き残れないと感じている。

マツダにしかないロータリエンジンに、今後もより一層の磨きを掛け、より高い目標に到達できるように、日々努力を重ねて行く所存である。

参考文献

- (1) Shimizu et al. "The Characteristics of Fuel Consumption And Exhaust Emissions of the Side Exhaust Port Rotary Engine"; SAE Technical Paper (1995)

著者



徳田 祥治



清水 良



丹羽 靖



世良 久



森本 政博



重津 雅彦