

特集：ロータリエンジン

2

RX-8搭載の新開発RENESES New Rotary Engine “RENESES” Mounted on RX-8

木ノ下 浩*¹ 野口直幸*² 山田 薫*³
 Hiroshi Kinoshita Naoyuki Noguchi Kaoru Yamada
 中村光男*⁴ 藤平伸次*⁵ 横尾健志*⁶
 Mitsuo Nakamura Shinji Fujihira Takeshi Yokoo

要約

RX-8に搭載するため新開発したロータリエンジン（以下RE）は、従来のペリフェラル排気ポート方式からサイド排気ポート方式⁽¹⁾に変更して出力・燃費・エミッション（以下EM）の革新を行い、更にREの長所を伸ばすためエンジン全般に渡る熟成を重ねたものである。この新開発エンジンを、REの新たな創生を意味する『RENESES』（RE + GENESISの造語）と命名した。

『RENESES』は、回転系軽量化技術などによる高回転化や、運転回転ごとに吸気量を最適化するシーケンシャルダイナミックエアインテークシステム及び1ロータあたり3本のフューエルインジェクタを採用し、低回転域から9,000rpmにいたる高回転域まで高いトルクを発生できるようにした。またフューエルインジェクタ・点火プラグ改良による低燃費化、高精度空燃比制御による低EM化を図った。これらの結果『RENESES』は、高出力・低燃費・クリーンな排出ガスを有する新世代REとして世界にデビューした。

Summary

The rotary engine, newly developed for the RX-8, has adopted a side exhaust port system in stead of a peripheral exhaust port system used in a previous rotary engine to make innovative advances in power, fuel economy and emissions. The entire engine has been matured to enhance various advantages of the rotary engine. This new engine is named RENESES, which stands for “The RE (Rotary Engine) ’s GENESIS” or the rotary engine for the new millennium.

RENESES produces high engine speed by using such technologies as lightweight rotating parts, optimizes intake air corresponding to the engine speed and employs a sequential dynamic air intake system as well as three fuel injectors per rotor, providing high torque generation from low to high engine speed of 9,000 rpm. The fuel injectors and spark plugs are upgraded to improve fuel economy. High precision air / fuel ratio control is used to reduce emissions. As a result, the RENESES has made its debut as a new-generation rotary engine with high power and fuel economy, and clean exhaust gas.

1. はじめに

REの出力・燃費・EMなど基本性能を高めるために従来のペリフェラル排気ポート方式に代わるものとして、サイド排気ポート方式を開発した。そしてRX-8に搭載することを前提に、各性能を一段と高めるとともに、REの長所を最大限生かすように細部まで熟成を重ねた新開発エンジンがRENESISである。

2. 新開発RENESISのコンセプト

従来のターボ装着REに比較して、レスポンスと高回転までのリニアな伸び感を追求して、幅広いユーザが扱いやすく、かつ21世紀のクリーン環境への貢献を目指して、サイド排気ポートをベースに進化させた。

開発で取り組んだ新技術項目を以下に示す。

- (1) 全回転域にわたる高出力化のためのNA（自然吸気）技術
- (2) 出力性能の高回転化技術
- (3) アイドルを中心とした燃焼安定化技術
- (4) 排気クリーン化のためのEM技術
- (5) 軽量・コンパクト化技術
- (6) REフィール育成技術

またRENESISは、高出力に特化した<High>パワーユニットと低中速トルクを重視した<Std>パワーユニットの2機種を開発した。

主要な新技術、エンジン外観図、主要仕様をそれぞれFig.1, 2, Table1に示す。

1.Higher Output	
Side Exhaust Port	
Intake Port Area Enlarged	
Exhaust Port Area Enlarged	
Compression ratio Up	
S-DAIS (Sequential Dynamic Air Intake System)	
SSV (Secondary Shutter Valve)	
VFAD (Variable Fresh Air Duct)	
APV (Auxiliary Port Valve)	
VDI (Variable Dynamic effect Induction)	
2.Improved Fuel Economy	
12 Nozzle Hole Injector	
Jet Air Fuel Mixing System	
PAB (Port Air Bleed)	
AWP (Anti Wet Port)	
3.Improved Exhaust Emission	
Dual Wall Exhaust Manifold	
Secondary Air Induction	
Elec Air Pump	
Precision Control of A/F	
Linear Sensor of O ₂	
Correction Control of A/F	
O ₂ Sensor	
Higher Energy Ignition System	
Microelectrode Spark Plug	
L-jetronic Fuel Control System	
4.Response	
Light Weight Rotor	
Light Weight Flywheel	
DBW (Drive By Wire System)	
Electronic Controlled Throttle	

Fig.1 Aims and New Technology



Fig.2 External Photo of Engine

Table1 Main Specification

Engine		13B-REW	13B-MSP	
			High Power	Std Power
Displacement		cc	654 x 2	
Intake Type			Side Intake	
Intake Port Number			4PI	6PI
Exhaust Type			Peripheral Exhaust	Side Exhaust
Compression ratio			9.0	10.0
Port Timing	Pry	I.Q. ATDC	45°	3°
		I.Q. ABDC	50°	65°
	Sry	I.Q. ATDC	32°	45°
		I.Q. ABDC	50°	36°
	Aux	I.Q. ATDC	-	38°
		I.Q. ABDC	-	50°
Exh.	E.Q. BBDC	75°	50°	
	E.Q. ATDC	48°	3°	
Intake Port Area	Pry	cm ²	6.09	10.11
	Sry	cm ²	9.29	7.81
	Aux	cm ²	-	6.64
EGI Type			D-J Type	L-J Type
Throttle body			Mechanical	Electronic
Fuel System			Fuel Return	Fuel Return Less
Intake System			Non Variable Intake	S-DAIS
Ignition Type			Another Igniter	S-DLI
Intake Charge Type			Sequential twin-turbo	-
MAX. Torque		N·m/rpm	314/5000	216/5500
MAX. Power		kW/rpm (PS/rpm)	206/6500 (280/6500)	184/8500 (250/8500)
Improvement of Emission			S53 regulation	E-LEV()

3. 基本性能

Fig.3~5に、出力性能、燃費性能、EM性能を示す。

Fig.3はエンジンの出力トルク性能である。<High>パワーユニット、<Std>パワーユニット、それぞれの特性を示した。

Fig.4はRX-7とRX-8(3仕様)の10-15モード燃費性能であるが、RX-8<Std>5MT車では10km/Lを達成した。

Fig.5はRX-7とRX-8(3仕様)のEM性能であるが、RX-8はH12年EM規制値の約1/2を達成した。

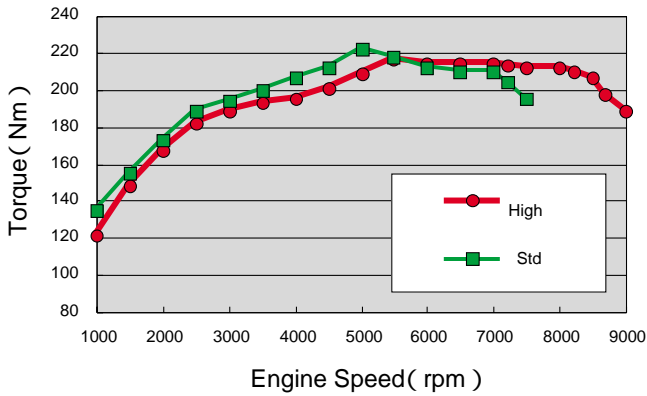


Fig.3 Engine Performance

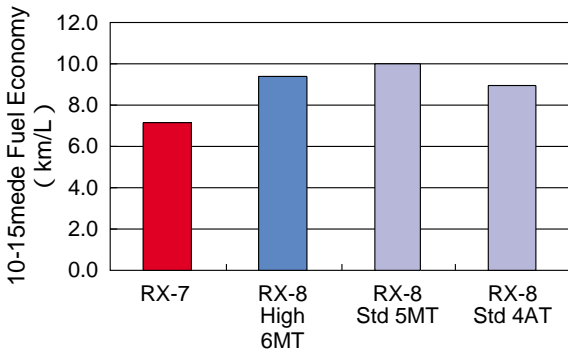


Fig.4 10-15 Mode Fuel Economy

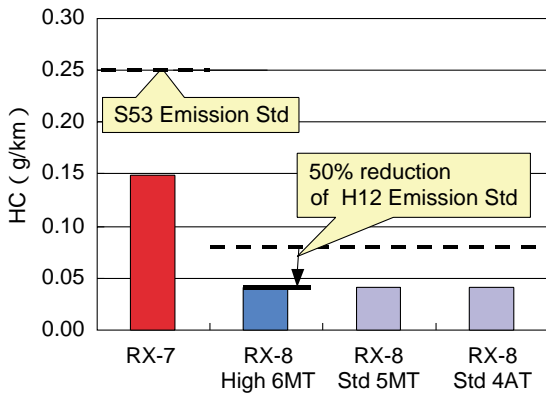


Fig.5 Exhaust Emission

4. 高出力化技術

4.1 高回転化技術 (9,000rpm化)

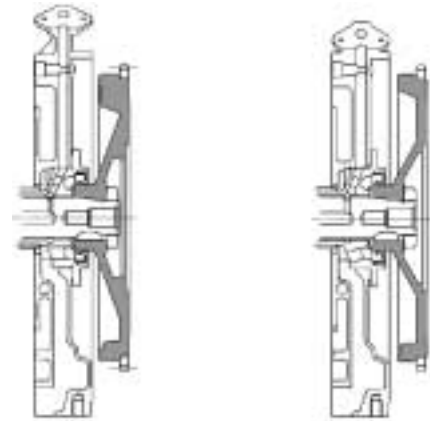
サイド排気ポート化することで、アベックスシールの磨耗が改善されたことに加え、回転系や燃料系の改善を加えることで、9,000rpmまで滑らかに回転させることができた。

(1) 軽量フライホイール&ロータ (Fig.6, 7)

量産型REに比べ、ロータは高精度のキャスト技術の採用により単体で5%, フライホイールは単体で15%軽量化し、エキセントリックシャフトの撓みを低減した。

(2) 3インジェクタ (Fig.8)

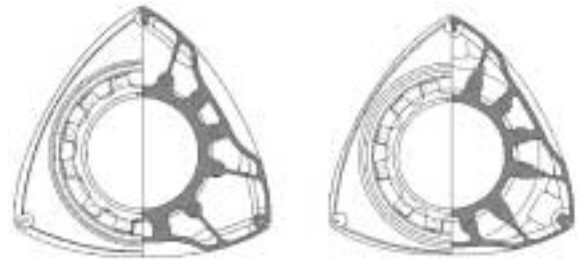
<High> パワーユニットについて、燃費・レスポンス・ハイパワーを両立するため1ロータあたり、プライマリポートに2本、セカンダリポートに1本、計3本のインジェクタを装着した。



RX-7

RX-8

Fig.6 Light Weight Flywheel



4.1kg
RX-7

3.9kg
RX-8

Fig.7 Light Weight Rotor

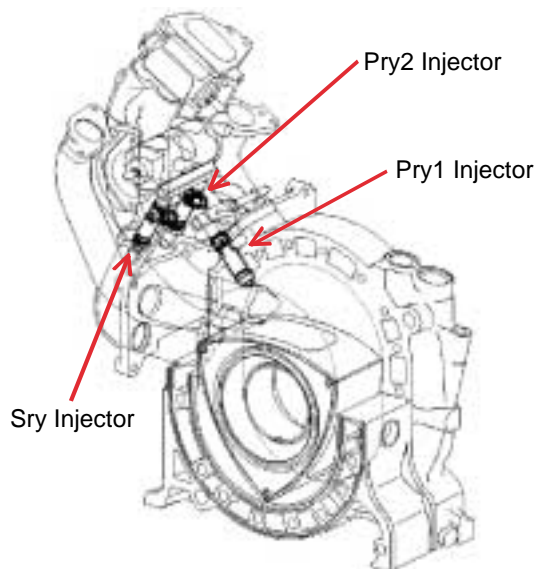


Fig.8 3 Fuel Injector System

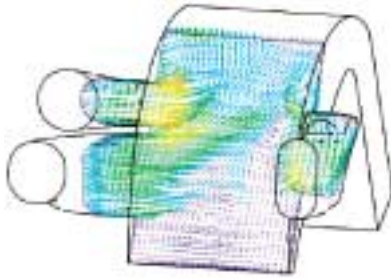


Fig.9 CFD Analysis

4.2 S-DAIS

(Sequential Dynamic Air Intake System)

(1) 吸気抵抗低減

高回転でのストレート&大口径化を実現する可変フレッシュエアダクトを採用すると同時に、大型エアクリナーによる抵抗低減と清浄効率の両立を図り、吸気マニホールドまでの理想的なストレートレイアウトによる低抵抗化を達成した。さらにCFD解析(Star-CD)を用いた吸気マニホールド内部形状や吸気ポート形状の最適化に加え、作動室内部での流れの干渉を低減する吸気ポートの最適形状を設計した(Fig.9)

(2) S-DAIS

低回転から高回転まで幅広いトルクを実現するため、1つの吸気ポートの開口面積とそれぞれの吸気管長を回転域に合わせて段階的にコンピュータ制御するS-DAIS(Sequential Dynamic Air Intake System)を採用した。

その作動特性と機構について以下に説明する。

基本的にエンジン回転数で制御される吸気通路の開閉弁をFig.9のように複数設け、次の回転数毎に制御される。

ハイパワーユニットの吸気システム図をFig.10に示す。

① 3,500rpm以下の領域

3つの吸気ポートの内2つは吸気弁により閉塞され、中央のプライマリポート(Pry Port)のみから吸入され、高い吸入流速により、吸気の充填量を増加させている。

② 3,500~5,500rpmの領域

吸気管のセカンダリ通路に設けたSSV(セカンダリ・シャッター・バルブ)を開放して、吸気抵抗を低減し、充填効率を確保する。Fig.11にSSVの構造を示すが、開弁した時の、通気抵抗を減らすためロータリバルブ方式を採用した。

③ 5,500~6,500rpmの領域

②の状態から、エアクリナー上流に設けたフレッシュエアダクトの吸い口を2系統ともに開放し、通気抵抗を低減した。Fig.12にその構造を示す。

④ 6,500~7,500rpmの領域

③の状態から、オグジュアリポートに設けたAPV(オグジュアリポートバルブ)を開放して、3つの吸気ポートを全て開放して、吸気抵抗を最小にする。Fig.13に構造を示す。

⑤ 7,500rpm以上の領域

④の状態から、VDI(バリエブル・ダイナミック・インテーク)の弁を開放して、吸気の動的な効果を得るための実質的な吸気管の長さを短くすることで、高速域の充填量を高める。Fig.13に構造図を示すが、開弁時の圧力波伝播の減衰を防ぐため、ロータリバルブ方式を採用した。

Fig.14にS-DAISの各バルブの開閉タイミングを示す。

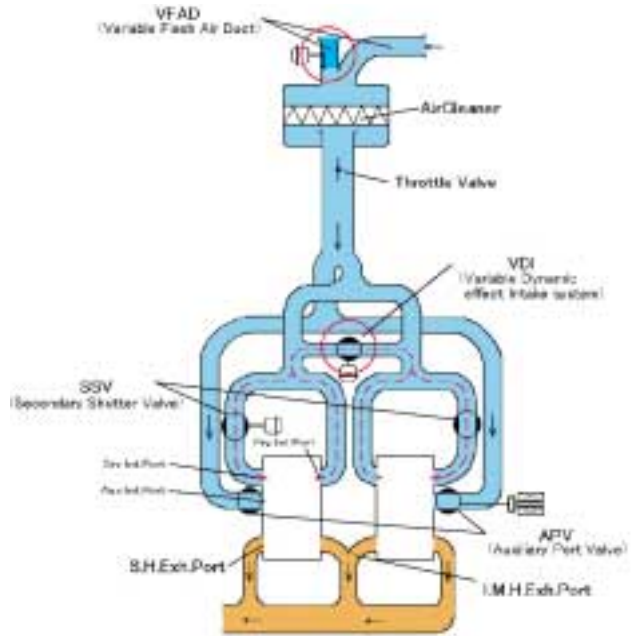


Fig.10 S-DAIS (High Power Unit)

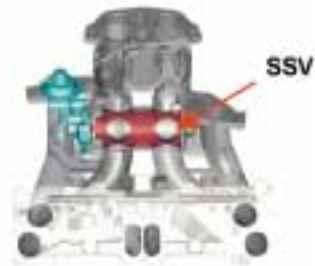


Fig.11 Secondary Shutter Valve



Fig.12 Variable Fresh Air Duct

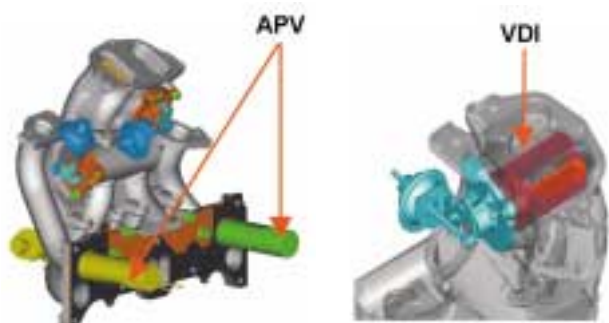


Fig.13 Auxiliary Port Valve and Variable Dynamic Effect Intake

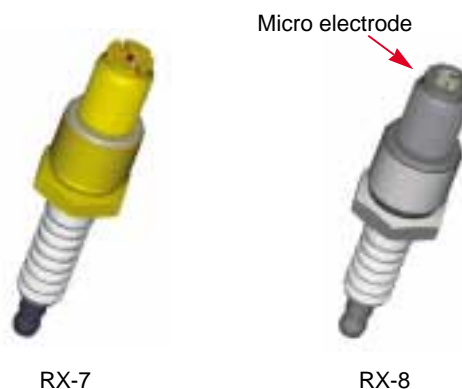


Fig.16 Spark Plug

SSV	Close	Open			
VFAD	Close	Open			
APV	Close	Open			
VDI	Close	Open			
Engine speed (rpm)	3750	5500	6000	7250	

Fig.14 S-DAIS Changing Timing

4.3 低抵抗排気

排気系についても、エグゾーストマニホールド含め通路を大径化するとともに、メインサイレンサを大容量化しインレットパイプをサイレンサポデー中央貫通構造とすることで低抵抗化を達成した。

5. 低燃費技術

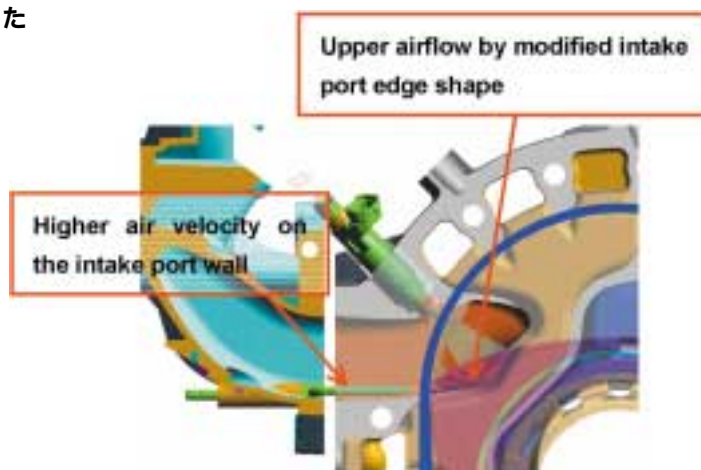
5.1 アイドル燃費改善

(1) Jet Air Fuel Mixing System & 12噴孔インジェクタ

燃料の霧化/気化/混合を促進するため、プライマリ吸気ポートにJet Air Fuel Mixing Systemと小型12噴孔インジェクタを採用した。先絞りのパイプからジェットエアを導入して、吸気ポート壁面に付着した比較的大きな燃料を効果的に微粒化し (PAB), 更に、形状を最適化した吸気ポート下部より、燃料を点火PLUG方向へ運ぶような気流を形成し (AWP), 混合気の理想的な状態を実現した (Fig.15)。



RX-7



RX-8

Fig.15 Jet Air Fuel Mixing System

(2) 新開発点火プラグ

点火PLUG電極の火炎核消炎作用を抑制するために、単一の小型側方電極、先端は極細 (マイクロ電極) で碍子内部は極太の中心電極の点火PLUGを開発し、着火性の大幅改善を実現した。同時に、電極および碍子の温度低減と、側方電極に白金、中心電極先端にイリジウムチップを採用し、高耐熱と長寿命を確保した (Fig.16)。更に、点火のタイミングを適正化することで、アイドリングでの大幅な着火性の改善を実現した。

5.2 熱効率改善

サイド排気化により排気オープンタイミングの排気ポートの面積を十分確保したまま排気オープンタイミングを遅らせる事ができ、膨張行程を長くさせることで熱効率を向上させた (Fig.17)。

6. エミッション技術

REの構造を生かし、最新技術を導入したEM低減システムを開発し、世界最高水準のEM規制への適応が可能になった。詳細は、『新開発RENEISISのエミッション低減技術』の論文で述べるので、概要について紹介を行う。

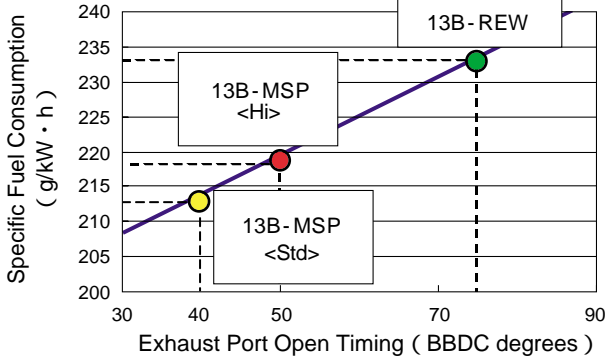


Fig.17 Exhaust Open Timing and Be

6.1 2次エア反応システム

まずREの構造を生かした2次エア反応システムを新開発した。始動時のみエアを供給する電動エアポンプ方式を採用し、キャタリストの初期活性化を高めた。そして供給したエアで再反応した排気ガス温度を極力保温するため、排気ポートインサートと2重構造の排気マニホールドを新開発している。

6.2 高性能キャタリスト

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、従来のキャタリストに比べて同じ貴金属使用量で、冷間時のライトオフ性能を改善した。

6.3 高精度A/F制御

32ビットPCM (Powertrain Control Module) での演算により、最適な燃料噴射を行う。Fig.18に制御系システム図を示す。

7. 軽量化技術

スーパーコンピューターによる解析を重ね、高剛性を確保しながら、サイドハウジングなどのリブを薄肉化した (Fig.19)。また、RE特有の吸気脈動を利用するため、非常に長いインテークマニホールドの約半分を樹脂製 (Fig.20)

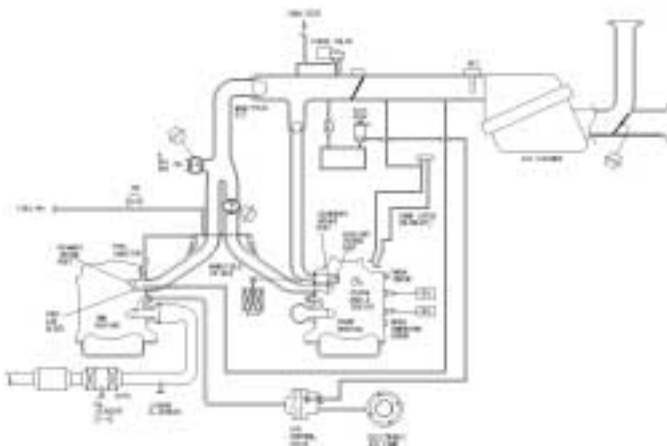


Fig.18 Engine Fuel & Emission Control System

にし、更にウォーターポンプをフロントカバーと一体化 (Fig.21)、エアコンのコンプレッサーブラケットを廃止してエンジン本体に直付けするなど、軽量化を徹底的に追及した。

8. コンパクト化技術

自然吸気REの本来のコンパクトさに加え、ウエットサンプル潤滑システムを採用し、オイルパンの厚さを従来REの半分程度の約40mmに抑えた (Fig.22)

これにより、RENESISはオールアルミ直列4気筒のエンジンと同等の質量にしながら、約70%のパッケージを実現した (Fig.23)。



Fig.19 Section of Intermediate Housing



Fig.20 Plastic Intake Manifold

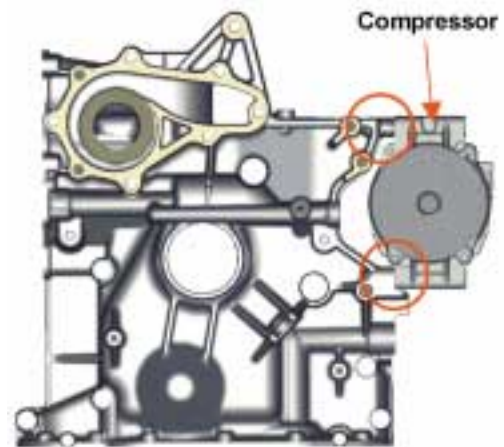


Fig.21 Directly Mounted Air Compressor on Front Cover

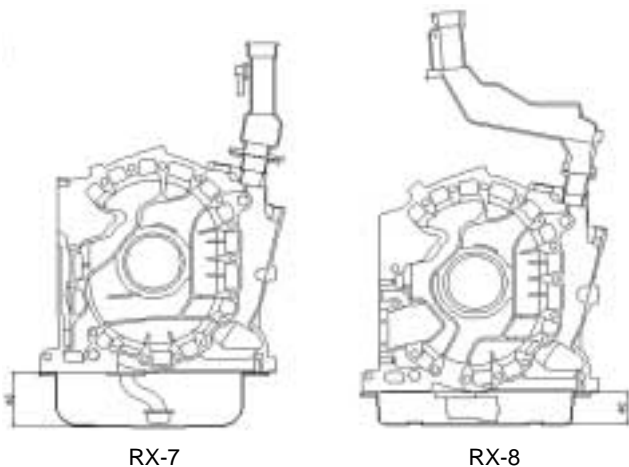


Fig.22 Compact Wet Sump (RENEISIS)

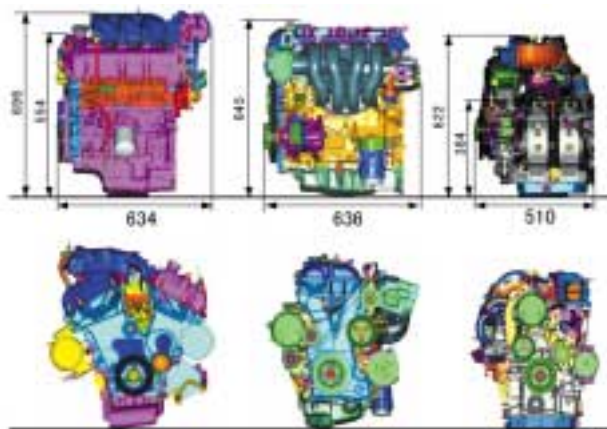


Fig.23 Comparison of Volume

9. ロータリ・フィーリング

これまでに述べた高性能化技術をベースに、従来にない新しい「走りの楽しみ」を実現するため、REが持つ特性を最大限に生かした、スポーツカーに相応しい、より魅力的なロータリ・フィーリング実現を目標とした。

そこで、NAのサイド排気の素性を生かし、以下によって、新しいロータリ・フィーリングに進化し、「走りの楽しみ」を高めた。

- ① 「レスポンス」：加速応答の速さ
高回転化のための回転系軽量化や燃費やEMのための燃料制御技術により実現した。
- ② 「伸び感」：低中速と高速での加速バランス
S-DAISなどの吸気技術と高回転技術によるトップエンドまでのトルクを確保することで実現した。
- ③ 「エンジンサウンド」：静粛性とリニアな加速サウンドの両立

回転系のバランス精度アップと吸排気のチューンで実現した。

なお、詳細については『ロータリ・フィーリング/「走りの楽しみ」』の論文で述べる。

10. おわりに

ペリフェラル排気ポートから、サイド排気ポートをベースに、数々の新技術を開発して採用したRENEISISは、今後のREの基幹技術である。

今後も独自の魅力あるREを開発することで、お客様に感動を提供し続けていきたい。

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



野口直幸



山田 薫



中村光男



藤平伸次



横尾健志