

小型軽量・高静粛性の 高出力ロータリーエンジン搭載PHEVの実用化

マツダ株式会社

代表取締役社長 毛 籠 勝 弘

マツダ(株) 商品開発本部	岡 留 光 代
マツダ(株) 商品開発本部	志 村 直 紀
マツダ(株) パワートレイン開発本部	星 野 司
マツダ(株) パワートレイン開発本部	長谷川 裕 一

はじめに

移動をもっと感動に。快適をもっと活力に。安心をもっと自信に。「走る喜び」が「生きる喜び」につながる世界を描いていきたい。「心よ、走れ」。この想いを形にするために、私たちはクルマの一つひとつの動きにこだわった。人の感覚に寄り添うアクセル応答性、そして全乗員が安心して走れる乗り心地——それをすべてモーター走行で実現させ、「心よ、走れ」の世界観実現を目指した。

開発のねらい

一方、すべての走行をモーターで行うには、航続距離が課題となる。しかし、地域によっては社会インフラ整備が不十分であり、電欠（バッテリー切れ）への不安や不満が存在している。この課題解決に向けて、エンジンによる発電ユニットを採用した。すべてをモーター走行とするために発電用エンジンに求められる条件は2つ。1つ目は、できるだけエンジンによる充電時間を短くさせること。つまり、高出力域での高効率で発電ができることであり、かつ不快な振動が出ないエンジンであることが必要不可欠である。

2つ目は、超コンパクトな形状であること。す

べてをモーター走行で行うには、最高出力125kwの大きなモーターを搭載する必要があるため、エンジンは残されたスペースに搭載が可能なサイズが必要。つまり、発電用エンジンは超コンパクトで高出力帯に高効率領域をもち、低振動であることが要件となる。

これらの要件を満足できるエンジンとしてロータリーエンジンを採用することとし、発電用ロータリーエンジンの開発に取り組んだ。

普段はBEVとして、最大107kmのモーター走行に加え、新規開発した発電用8C型ロータリーエンジンでバッテリーを随時充電する構成を採用することで、電欠リスクを低減しつつ長距離走行を実現した。これにより、人の感覚に寄り添う安心感のある操縦性と快適な乗り心地を提供する電動パワートレインを搭載した、MX-30 Rotary EVが誕生した。

装置の概要

MX-30 Rotary-EVはモーターとバッテリー、充電システムに加え、発電用のエンジンを有したシリーズ式のプラグインハイブリッドである。

発電用のエンジンとして選択したロータリーエンジンは、同排気量のレシプロエンジンに比べて小型で高出力という特長(図1)があると共に、エンジンの中心に出力軸があることでモー

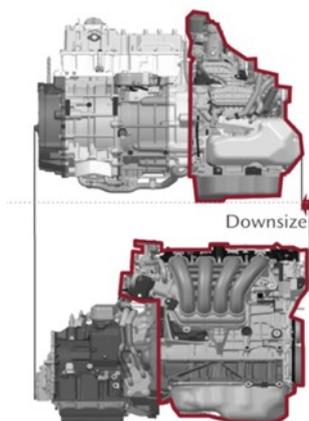


図1 エンジンの大きさ比較

ターのような形状をしているという特長がある。さらに、要求出力に応じて、ローターの数を変えることで、サイズを最適化することができる。これらの特長を活かして、1ローターのロータリーエンジン、駆動用モーター（以下モーター）、発電用モーター（以下ジェネレーター）を同軸に搭載した（図2）。このシステムは、小さな車にも搭載できるよう、コンパクトな設計になっている。



図2 同軸搭載

（右からエンジン、ジェネレーター、モーター）

また、MX-30 Rotary-EVでは、このコンパクトなシステムに加え、一体化されたインバーターやDCDCコンバーターなどの電駆制御装置も含めて車両の前部に収めている。合わせて、フロア下にはPHEVとしては大容量のリチウムイオンバッテリーと燃料タンクを設置。これにより、日常的な使用に十分なモーター走行距離を確保した上で、発電走行時には長距離ドライブも楽しむことが可能。全領域モーター走行を実現さ

せる、スムーズで力強い走行を実現した実用的なEVとして開発をした（図3）。



図3 MX-30 Rotary-EV システムイメージ

技術上の特徴

高い発電効率と様々な車格に搭載できること。これらの両立に向け、下記を実施した。

(1)EVらしさを追求した発電制御

本システムでは、電池残量が低下した後、発電走行に移行した際にも、EVらしく運転できる発電制御を織り込んだ。「EVらしさ」とは、発電時間を最小限にすることで、エンジンを停止してモーター走行を多く行うことができることと定義した。例えば、低中車速となる市街地走行において発電頻度を下げることで「EVらしさ」を実現した（図4）。

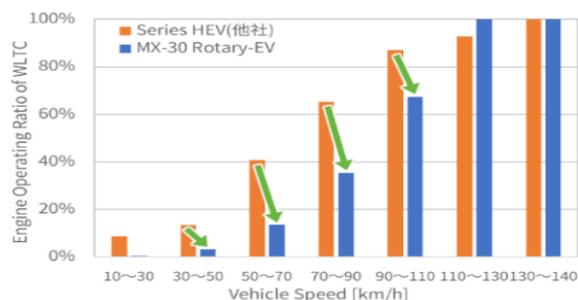


図4 WLTCモードの各車速における発電時間

(2)理想燃焼による高効率発電の実現

1) 基本諸元の最適化

ロータリーエンジンの基本諸元であるロー

ターの形状を見直し、燃焼室の表面積を低減することで冷却損失を低減した。

2) 燃焼室形状の最適化

火炎伝播と燃焼室容積変化を最適化し、初期燃焼時期の壁面への熱伝達を抑制しつつ、燃焼重心を早期化させ急速燃焼を実現することで、冷却損失と排気損失の両立を実現させた。

3) 高圧縮比化

圧縮比を、11.9（従来のロータリーエンジンは圧縮比 10.0）まで向上し、発熱効率を従来比、最大 25%向上させた。高圧縮比化は熱効率の向上にも寄与するが、ノッキングを誘発させる問題がある。燃焼室内を冷却する効果がある筒内直接噴射をロータリーエンジンとして初めて採用し、さらに冷却した排出ガスを吸気に再循環させる Cooled EGR システムを導入することで、燃焼温度を下げ、ノッキングを防ぎ、圧縮比を向上させ、効率を大幅に改善した。

(3) 様々な車格への搭載性

車両へ搭載するには軽量・小型なエンジンが必要である。

1) 8C 型ロータリーエンジン

①エンジン小型化：発電機の要求出力に合わせてエンジンを 1 ローターとすることで、同出力程度のレシプロエンジンに比べて 1/3 のサイズを実現。合わせてモーター・ジェネレーターユニットのコンパクト設計により、全体としてコンパクトな発電ユニットとした。

②エンジン軽量化：排気量当たりの重量が軽量のロータリーエンジンでも更なる軽量化を追求した。ロータリーエンジンにおいて、大きな構造体であるサイドハウジングはその機能上、強度・耐摩耗性が必要な部位であり、従来は鋳鉄製であったが、軽量化のため、アルミへの材料置換に挑戦した(図 5)。サイドハウジングは構造上、サイドシール軌跡と燃焼圧による押付力で短軸部に負荷が集中し、シール摺動面に段付き摩耗が発生する。その摺動面の耐摩耗性強化として、レースエンジンで実績のあるサーメット溶射 ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$) を高速フレイム溶射法によって

量産化し解決した。

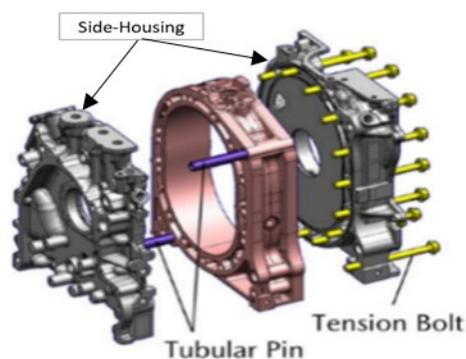


図5 サイドハウジングのアルミ化

このサイドハウジングのアルミ化により 8C 型ロータリーエンジンで 15kg 以上の軽量化を実現している。

2) モーター&ジェネレーターユニット(7 in 1)

モーターとジェネレーター、減速ギヤの 3 つの機能を 1 つの筐体に集約し、「3 in 1」構成とした。また、モーターやジェネレーターを制御するインバーターとコンバーター、電圧を変換する DCDC コンバーター、および電気を分電するジャンクションボックスの機能を一つの筐体に収め「4 in 1」構成とした。ロータリーエンジンとモーターおよびジェネレーターを同軸で配置した 3 in 1 によって高さを抑制し、生み出した空間にコンパクトな 4 in 1 を重ね 7 in 1 として集約することで省スペース化を実現した(図 6)。

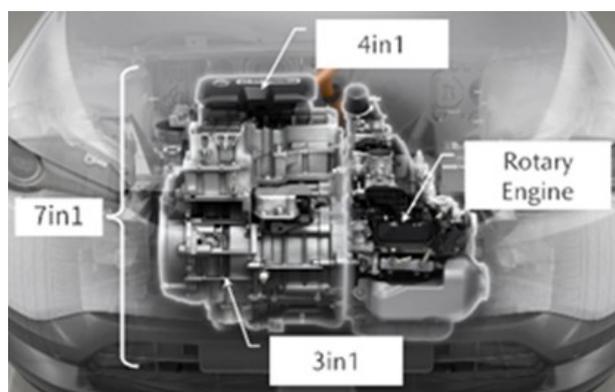


図6 パワートレイン搭載図

主要な電駆システムを車両前部に集中配置できたことで、床下の空間の大部分をバッテリーと燃料タンクに配分できた。

3) リチウムイオンバッテリーと燃料タンク

開発着手にあたりユーザーの使用実態を調査し、バッテリーと燃料タンクの容量の最適化を行った。バッテリーの高密度搭載と薄型構造の冷媒冷却方式によりバッテリーケースの高さを抑えつつ、バッテリーケースを使って車体剛性を向上させることで車体の構造を簡素化し、小型車においても、床下に 17.8kWh もの大容量バッテリーと 50ℓの燃料タンクとの同時搭載を実現した（図7）。

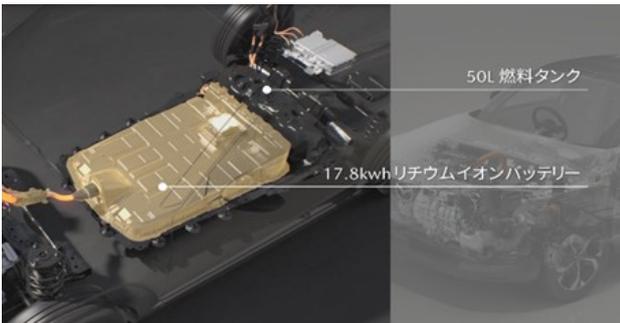


図7 リチウムイオンバッテリーと燃料タンク搭載図

以上の施策を実現することで、居住空間や荷室等、お客様の使用空間に影響することなく、主要部品の配置が実現できた。

実用上の効果

1) 電池素材使用量の低減

MX-30 Rotary-EV と同じ距離をバッテリーだけで走るには、2.5 倍の大きさのバッテリーが必要となるが、この発電ユニットを使うことで、電池素材に使う貴重な資源を重量比約40%で済ませることが可能となる。

2) カーボンニュートラル燃料への展開性

ロータリーエンジンは、エンジンの構造的特長から液体/気体（低圧/低濃度の可燃ガスにも対応可）を問わず様々な燃料との親和性が高いため、バイオ燃料などのカーボンニュートラル燃料を使用することで CO₂ 削減、地球温暖化抑制に寄与することができる。

3) 災害時の電源供給

エネルギー供給が難しい災害発生の状況下で

も外部給電器を使用することで停電時の家庭用電源としても使用でき、人々の安全・安心を支えることができる。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第 2023-078856 号

名称:ロータリーエンジン

概要:燃費向上のため、ローターの凹部(リセス)のほぼ中央付近の断面積を最大化することで、プラグで点火した火炎が壁面に当たって冷やされ、成長を妨げられないよう工夫した。

② 日本国特許第 2023-078692 号

名称:ロータリーエンジン

概要:燃費向上のため、ローターの凹部(リセス)のほぼ中央付近の断面積を最大化した。混合気の流速を抑え、火炎が吹き消されないようにすることで着火安定性を確保した。

③ 日本国特許第 2023-078740 号

名称:エンジンの吸気構造

概要:Cooled-EGR の取込ノズル形状とインタークマニホールド形状とで形成される通路形状によって吸入空気と EGR ガスの混合を促進することで燃費改善に寄与した。

むすび

「走る喜びは、地球を笑顔にする」

マツダは、自分らしく前向きに今日を生きる人々の輪を広げ、多くの人々へカーライフを通じた人生の輝きを提供したいと考えています。これからも、人々がクルマを通じて豊かな人生を過ごしている姿を思い描き、挑戦し続けます。