

特集：MAZDA MX-30 Rotary-EV

12

## MX-30 Rotary-EV のパワートレイン制御 Powertrain Control for MX-30 Rotary-EV

川田 卓二<sup>\*1</sup> 添田 征洋<sup>\*2</sup> 枝廣 育実<sup>\*3</sup>  
Takuji Kawada Yukihiro Soeda Ikumi Edahiro  
白石 卓也<sup>\*4</sup> 光永 誠介<sup>\*5</sup>  
Takuya Shiraiishi Seisuke Mitsunaga

### 要 約

EV モデルの第一弾として 2020 年に量産開始した MX-30 EV MODEL（以下、EV MODEL）をベースに、マツダ独自の新型ロータリーエンジン 8C 型（以下、8C 型 RE）を発電機として搭載するプラグインハイブリッドモデル「MX-30 Rotary-EV」を開発した。パワートレイン制御開発の重要課題は、EV MODEL で好評を得た走行性能を継承し、航続距離を大幅に改善させることであった。本稿では、ハイブリッド走行モードにおいてエンジン運転頻度を減らして EV らしさを追求しながらも、発電時はドライバー操作に応じたりニアなエンジン回転数変化によって人馬一体感を実現した取り組みについて紹介する。

### Abstract

Based on the MX-30 EV MODEL, whose mass production started in 2020 as Mazda's first EV model, we have developed the MX-30 Rotary-EV, a plug-in hybrid model equipped with a generator using Mazda's unique rotary engine. The key issue of the powertrain control development was to inherit the driving performance that has been well-received in the EV MODEL and significantly improve the cruising range. This paper introduces the efforts that achieved "Jinba Ittai" feel by reducing the engine operation frequency in hybrid driving mode to pursuit for EV-like feel, while linearly changing engine speed in response to driver operations during power generation.

**Key words :** Powertrain control, Energy management, Performance Feel, NVH

### 1. はじめに

マツダは技術開発の長期ビジョン「サステナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づき、「SKYACTIV マルチソリューションスケラブルアーキテクチャー」（Fig. 1）の商品として 2030 年時点で生産する全ての車に電動化技術を搭載する計画である。

今回、2020 年に EV モデルの第一弾として量産開始した EV MODEL をベースに、マツダ独自の 8C 型 RE を発電機として搭載したプラグインハイブリッドモデル「MX-30 Rotary-EV」を開発した。

本稿では、MX-30 Rotary-EV がお客様に提供する 3 つの Key Value<sup>(1)</sup> (KV) のうち、特にパワートレイン制御開発で注力した下記 2 つの KV 実現の取り組みについて紹介する。

KV#1 普段は BEV として使うことができる

KV#2 安心して長距離ドライブができ、出かけた先でもアクティブなカーライフを楽しめる



Fig. 1 SKYACTIV Multi Solution Scalable Architecture

\*1 PT 制御システム開発部  
PT Control System Development Dept.

\*2~4 走行・環境性能開発部  
Drivability & Environmental Performance  
Development Dept.

\*5 NVH 性能開発部  
NVH Performance Development Dept.

## 2. e-SKYACTIV R-EV システムの概要

### 2.1 KV#1&2 を実現するためのシステム設計

#### (1) ハイブリッドシステム

室内空間を犠牲にせず、搭載性に優れる 8C 型 RE を採用した。また、高回転・高負荷領域の効率が良いロータリーエンジンの特性を活かすために、駆動系と機械的に切り離すことで車速に関係なくエンジンの運転領域を選択可能なシリーズハイブリッド方式とした。

また、普段は EV として使用可能な 107km<sup>\*1</sup> の航続距離を確保するため、バッテリー容量を 17.8kWh<sup>\*2</sup> とした。

#### (2) 駆動システム

EV MODEL で好評を得た電気リック G-ベクタリングコントロール プラス (e-GVC Plus) やモーターペダル<sup>(2)</sup>等の各種機能を継承するため、Fig. 2(1)で示すように e-SKYACTIV R-EV は EV MODEL と同様のモーター駆動システムを採用した。

\*1 国内 WLTC モードでの国土交通省審査値

\*2 自社調べ

### 2.2 制御システム

前述のように、e-SKYACTIV R-EV の発電システムは駆動システムと機械的に切り離されているため、Fig. 2(2)に示すように 8C 型 RE のエンジン制御 (ECM: Engine Control Module) と発電機制御 (SGCM: Starter Generator Control Module) を追加し、駆動システムとは完全に独立した構成とした。その結果、パワートレイン全体を統合制御する PCM (Power Control Module) は、高電圧バッテリーと燃料の 2 つのエネルギー源を走行シーンに応じて使い分けるエネルギーマネジメント制御と、ECM と SGCM に対するトルク・回転数指示制御を EV MODEL に追加する構成で実現した。

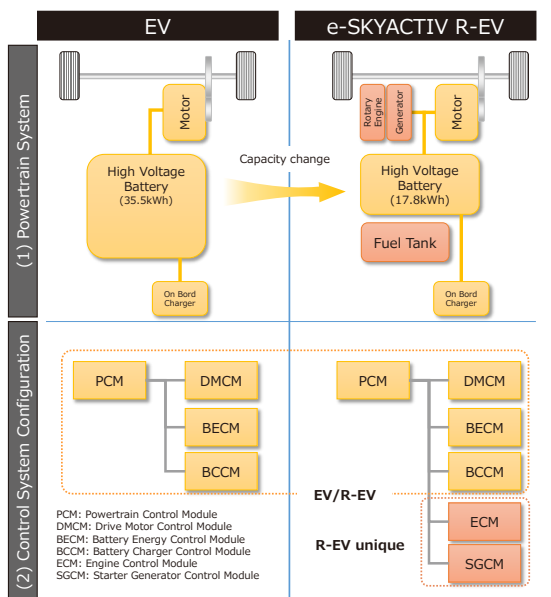


Fig. 2 Comparison of Powertrain System

## 3. パワートレイン制御の概要

### 3.1 ドライバーの使用用途に対応する選択式の 3 つのモード

プラグインハイブリッド車は、一般的にバッテリーに貯めた電力により BEV として使用し、SOC 低下後は発電・停止を繰り返しながら走行する。MX-30 Rotary-EV は、KV を実現させるため、ドライバーの使用用途に対応できるように以下に示す 3 つのドライブモードを設定し、8C 型 RE の発電動作を緻密に切り替える制御を織り込んだ。

#### (1) ノーマルモード

8C 型 RE を積極的に起動させることで、駆動電力を補いやすくし、EV MODEL と変わらない「人馬一体」の走りを実現する。

#### (2) EV モード

8C 型 RE の起動を抑え、極力バッテリーからの電力のみを使用して走行することで、「EV として使う」ことを主体に環境に配慮した使い方を可能にする。

#### (3) チャージモード

ユーザーの設定したバッテリー充電量 (State of Charge; 以下 SOC) の目標値に向けて発電量をコントロールすることで、出先での EV 走行や給電を可能にし、アクティブなカーライフをサポートする。

### 3.2 EVらしさを追求したハイブリッド制御

e-SKYACTIV R-EV システムは、SOC 低下後のハイブリッド走行中においても、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、EV 走行を広く行うことができることと定義した。

ハイブリッド走行中の発電時間を最小限にするためには、1 度の発電量を大きく、かつ、発電時間を短くできればよい。8C 型 RE は、高回転・高負荷での発電効率が良いため、EV らしさの実現に適している。一方で、発電出力が高いと発電時の音も大きくなるため、走行音と発電時の音が同調するように、車速の上昇にあわせて発電出力を増加させる制御とした。Fig. 3 に、WLTC モード (欧州) での車速 - 発電出力のエネルギー頻度を示す。e-SKYACTIV R-EV は、車速が上昇するにつれて発電出力が増加する (青) ように、車速に応じた発電出力を設定している。

Fig. 4 に、WLTC モード (欧州) の各車速における発電時間の割合を示す。e-SKYACTIV R-EV では、高車速で高出力の発電を行うことで発電時間を短時間に抑えており、Fig. 4 で示す競合車 A に比べると、e-SKYACTIV R-EV の発電時間は WLTC モード (欧州) 全体で 4 割程度少ない。特に、低中車速となる市街地走行において、発電頻度を下げて EV 走行領域を拡大している。以上の制御により、ハイブリッド走行時でも EV らしさをもつマツダ独自のハイブリッド制御を実現した。

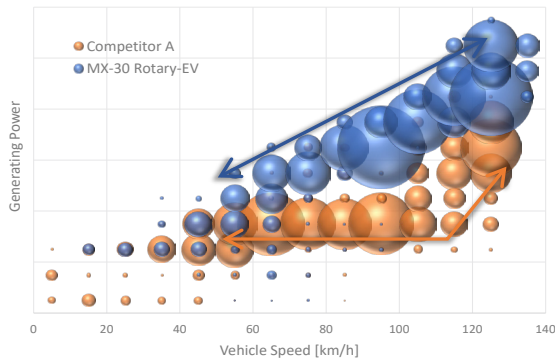


Fig. 3 Power Generation Output for Each Vehicle Speed in WLTC

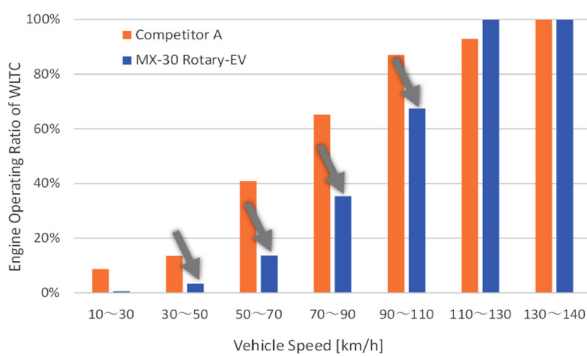


Fig. 4 Engine Operating Ratio for Each Vehicle Speed in WLTC

### 3.3 ドライバー操作に応じたエンジン回転数のリニア感

ここまで、e-SKYACTIV R-EVにおけるハイブリッド制御の基本的な考え方について述べてきた。実際の市場ではさまざまなシーンが存在し、ドライバー操作や車速、SOCが変化し続けている。

各状態の過渡領域に関しては人馬一体の考えから、ユーザーの操作に呼応して車の状態が変化するようなハイブリッド制御にすることで、違和感のない発電を実現した。前述3.2節のとおり、定常走行中は車速に対して発電出力のベースを決めているが (Fig. 5のConstantの回転ライン)、ドライバーがアクセルを強く踏み込んだ場合は、踏み込み量に応じて Fig. 5のAccelerationの回転ラインに向けて回転変化し、アクセルを離すと Fig. 5中のDecelerationの回転ラインに向けて回転変化を与える制御を織り込んだ。

更に、アクセルを踏んだ時のエンジン回転数の変化速度 ( $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ ) の作り込みを行っている。 $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ は遅すぎると変化を感じられず加速感が得られない。一方で、早すぎると加速感と合わずに違和感となるため、加速度と一致させることが重要である。Fig. 6にe-SKYACTIV R-EVの車速に応じた $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ を示す。参考にICE (内燃機関) 車のギア段ごとの $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ を破線で重ね比較した。

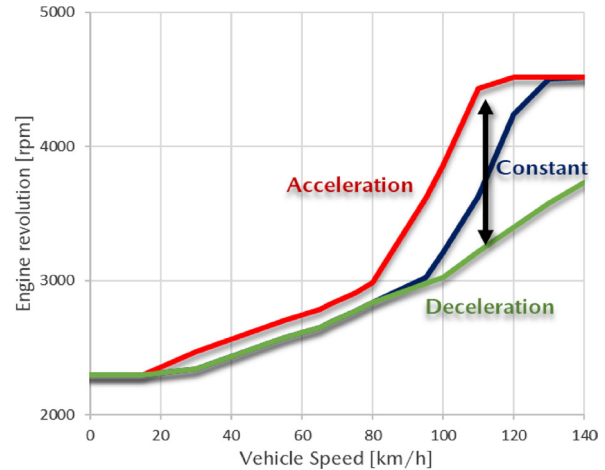


Fig. 5 Changes in the Engine Rotation Line with Vehicle Speed due to Acceleration/Deceleration

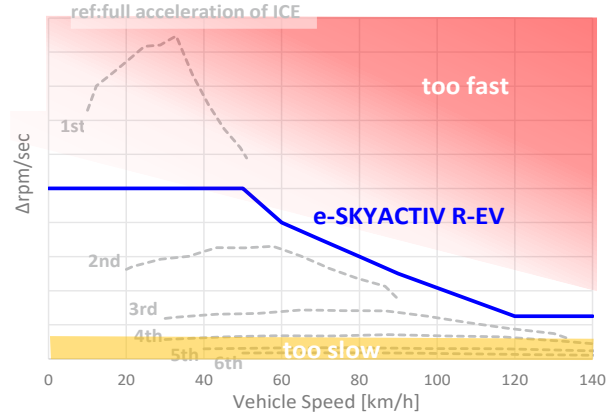


Fig. 6 Natural Change of Engine Revolution

ICEの場合、ギア段によって車速に対するエンジン回転数の傾きが変わるため、 $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ は加速度差以上にギア段によって変わってくる。具体的には、1stギアは車速に対する回転数変化が急峻 (too fast) で、4th以上は加速感が分かりにくくなる (too slow) のが一般的である。

これに対し、e-SKYACTIV R-EVでは $\Delta\text{rpm}/\text{sec}$ を任意に設定できる利点を生かして、加速感のリニアリティが得られるよう各車速で作り込んだ。この設定値は駆動用モーターのトルク特性に近似したものとなり、従来のICEよりも違和感のない加速感が得られ、より進化した「人馬一体」の走りを実現できた。

### 3.4 ドライバー操作・車両状態に応じたエンジン作動状態のリニア感

ハイブリッド車は、走行中にエンジンの始動・停止を繰り返しながらSOCを維持させている。このエンジン始動・停止のタイミングは、e-SKYACTIV R-EVのEVらしさの表現や発電ON・OFFの煩わしさに直結する重要な要素である。EV領域の広さを感じながらも、違和感のない発電タイミングを作り込む必要があった。

また、ドライバーはハイブリッド車の発電タイミングについて、低車速ではあまりエンジン始動せず、高車速ではすぐにエンジンが始動するようなイメージを持っていると考えた。発電のわずらわしさを感じづらくするために発電開始・停止のタイミングがドライバーの予想と合うような制御を設計した。EVらしさとドライバー予測との一致性の両面から検討した e-SKYACTIV R-EV システムの発電開始閾値ラインを Fig. 7 に示す。図中のラインは、各車速における発電を開始する加速度を示している。

低車速の領域では、市街地の一般的な GO-STOP 時の加速度をカバーできる  $3\text{m/s}^2$  以上の加速でも EV 走行を維持できるように設計し、EV 領域の広さを実感しやすくした。中車速域は、高速道路への合流など、パワーの必要な加速シーンではエンジンを始動させ、エンジン回転コントロールも合わせて力強い加速感を演出した。高車速領域では、高出力が必要なシーンが多いことに加え、前述の 3.2 節で決めた発電出力から車速が高い時は高出力での発電ができるため、積極的にエンジンを始動させて必要なパワーを瞬時に出せるような設計にした。

発電停止タイミングは、アクセル開度や減速加速度から、ドライバーが明確な意図で行う操作に合わせて停止するよう設計した。

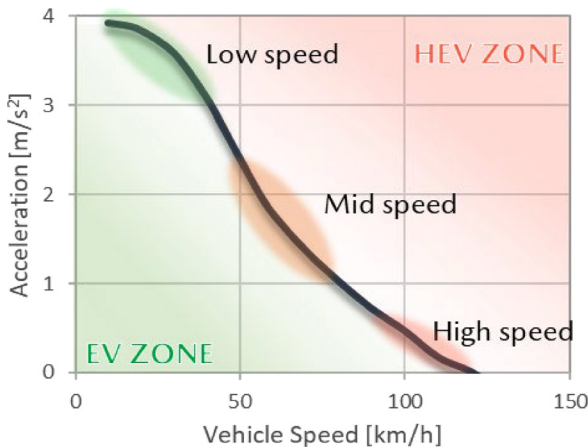


Fig. 7 Engine Operating Line for Vehicle Speed and Acceleration

また、SOC が低下した際には、目標 SOC への追従性をもたせるために発電頻度を増やす必要がある。Fig. 8 に SOC ごとの発電開始閾値ラインを示す。e-SKYACTIV R-EV では、SOC が下がっても Fig. 8 上での右肩下りの特性を維持しながら発電開始加速度を低下させている。

SOC 変化に対してエンジン始動ラインを滑らかに変化させることで、ドライバーが SOC 残量などの車両状態を感じ取りやすくなり、どの SOC でも違和感のない納得感のあるエンジン始動制御を実現した。

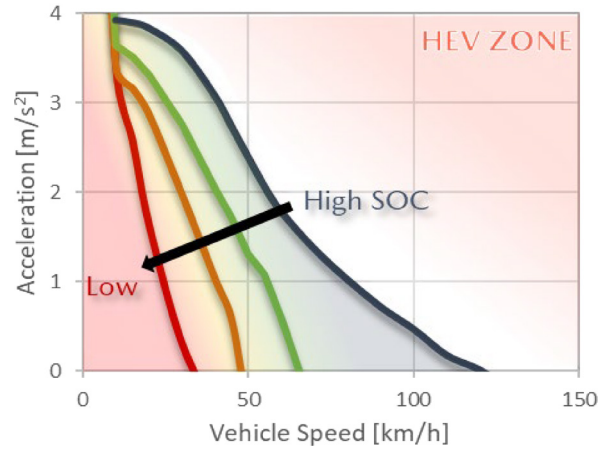


Fig. 8 Engine Operating Line for Vehicle Speed and Acceleration for Each SOC

#### 4. まとめ

マツダの「飽くなき挑戦」の象徴であったロータリーエンジンは 2012 年に一度量産を終了したが、その役割を変えて発電機用のエンジンとして復活した。今後も環境性能を向上させて、この技術を絶やすことなく魅力的な商品開発を続けていく。

#### 参考文献

- (1) 上藤ほか：MX-30 Rotary-EV の紹介, [マツダ技報, No.40, pp.47-51 \(2023\)](#)
- (2) 森下ほか：MX-30 EV MODEL のモーターペダル開発, [マツダ技報, No.38, pp.20-25 \(2021\)](#)

#### ■ 著 者 ■



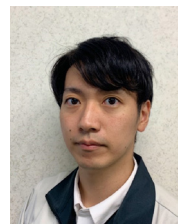
川田 卓二



添田 征洋



枝廣 育実



白石 卓也



光永 誠介