

特集：新型MAZDA3

10

新型MAZDA3 M Hybrid技術 M Hybrid Technology for All-New Mazda3

森本 昌介*1 Shosuke Morimoto	大塚 雄太*2 Yuta Otsuka	枝廣 育実*3 Ikumi Edahiro	内藤 潤*4 Jun Naito
岡田 久伸*5 Hisanobu Okada	白石 啓光*6 Hiromitsu Shiraiishi	清水 正寛*7 Masahiro Shimizu	栗原 健*8 Takeshi Kurihara

要 約

マツダは、技術開発の長期ビジョンである「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言 2030」に基づき、「ビルディングブロック戦略」を推進している。車の基本となる内燃機関の効率改善，車両の軽量化などを実施し，効率的な電動化技術を組み合わせることで，CO₂の総排出量を削減していく。i-stop, i-ELOOP に続く電動化技術として，新たに回生協調ブレーキと M Hybrid battery を採用し，減速エネルギーの回生機能を向上させた M Hybrid を導入する。更に，ベルト伝達，Integrated Starter-Generator（以下，ISG）を採用することで，燃費とドライバビリティーを改善することを可能とした。新型 MAZDA3 に M Hybrid 技術を導入したので紹介する。

Summary

Based on its long-term vision for technology development “Sustainable Zoom-Zoom 2030”, Mazda has been promoting the “Building-Block Strategy”. With the aim of cutting gross CO₂ emissions, we are working on a comprehensive improvement of base technologies, in a phased manner, to enhance powertrain efficiency and reduce vehicle weight in combination with the use of efficient electric technologies. As the electric technologies following Mazda’s “i-stop” and “i-ELOOP”, we adopted the regenerative braking system and M Hybrid battery anew to develop a new regenerative braking system “M Hybrid” with enhanced regenerative capability. We also adopted a belt-driven, Integrated Starter-Generator (hereinafter referred to as ISG), resulting in reducing fuel consumption and enhancing drivability. This article introduces the “M Hybrid” technology which has been introduced to the All-New Mazda3.

Key words : EV and HV Systems, Energy Control System, Energy Regeneration, Drivability

1. はじめに

マツダは、クルマのライフサイクル全体を視野に入れて、「Well-to-Wheel（燃料採掘から車両走行まで）」の考え方に基づき，CO₂削減に向けた取り組みを行っている。

その中で，車のCO₂排出量削減の目標達成に向け「ビルディングブロック戦略」を推進している。今後も，内燃機関は世界的に自動車の主要な動力技術であり続けると予測しており，車の基本となる内燃機関の効率改善，車両の軽量化などを実施し，効率的な電動化技術を組み合わせることで，CO₂の総排出量を削減していく。

2. M Hybrid のねらい

「ビルディングブロック戦略」に基づき，2009年から停車時にエンジンを停止させ，燃料消費量を削減するアイドリングストップ技術（以下，i-stop）を導入し，2012年には減速時の運動エネルギー（以下，減速エネルギー）を回生し，車の使用電力として利用する減速エネルギー回生システム（以下，i-ELOOP）を導入した。今回，i-stop, i-ELOOP に続く電動化技術として，M Hybridを導入する。M Hybridでは，回生量の向上，及び，エンジン停止領域の拡大により燃費を改善し，エンジン再始動性能の向上，及び，変速時のショック抑制によりドライバビリティーを向上させた。

*1, 2, 4 PT制御システム開発部
PT Control System Development Dept.

*5 走行・環境性能開発部
Driveability & Environmental Performance Development Dept.

*7 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*3 電駆・PT制御部品開発部
Electric Drive & PT Control Parts Development Dept.

*6 NVH性能開発部
NVH Performance Development Dept.

*8 (株)マツダE&T
Mazda Engineering & Technology Co.,Ltd.

本稿では、M Hybridの燃費、ドライバビリティーの改善に対する取り組みについて紹介する。

2.1 燃費

(1) 回生量の向上

M Hybridはi-ELOOPから回生能力を向上させ、より多くの減速エネルギーを回生することを目指した。減速エネルギーは大きく分けて摩擦ブレーキ損失、Powertrain抵抗（以下、PT抵抗）損失、走行抵抗損失として失われる。このうち走行抵抗損失以外の摩擦ブレーキ損失、PT抵抗損失分のエネルギーが減速回生システムで回生可能な損失である。M Hybridでは、摩擦ブレーキ損失分を回生できる回生協調ブレーキを採用し、回生能力を強化した。高電圧化すれば回生量は増加するが、システム物理量と回生量とのバランスから、摩擦ブレーキ損失分を8割近く回生できる24V電圧で実現することが最適と考えた（Fig. 1）。

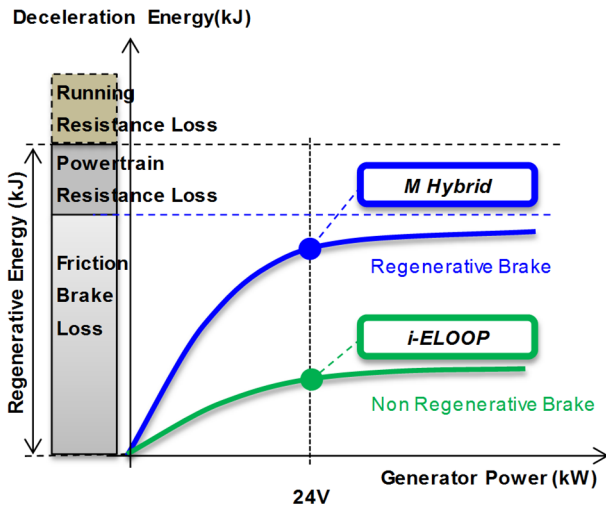


Fig. 1 Relation between Regenerative Energy and System Voltage

さまざまな走行シーンを想定し、1回の減速シーン（減速時間30sec）で200Aを蓄電できるように大容量（0.216kWh）のM Hybrid batteryを採用した。M Hybrid batteryでは、リチウムイオンバッテリー（以下、LiB）を採用している。以上により、M Hybridは、i-ELOOPの約2.5倍（WLTCモード比較）の減速エネルギーを回生、蓄電することを可能とした。

(2) エンジン停止領域の拡大

従来の停車時のi-stopに加え、車が停車するよりも前の減速中から停車までのアイドリング領域でエンジンを停止することで燃料消費量を削減し、WLTCモードで約0.5%（i-stop比）の燃費を改善した。このエンジン停止領域の拡大は、ベルト伝達式のISGを用いたエンジン再始動に

よって可能とした。従来のi-stop、すなわちスターターを用いたエンジン再始動方式では実現できなかったエンジン停止過程中の再始動を可能とし、車が減速しエンジン停止（エンジン回転数下降中も含む）から加速に転ずる際の再加速応答性を実現した（Fig. 2）。

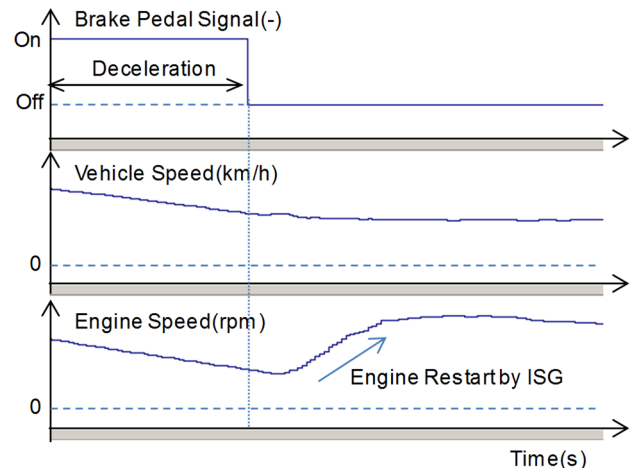


Fig. 2 Engine Restart During Deceleration

2.2 ドライバビリティー

ISGと燃焼のトルクを適切に配分することで、ドライバーの感覚に合う走行性能を実現する。M Hybridでは、ISGの駆動・発電トルクを活用することで、(1)ドライバーの要求加速度に対して速やかに応答し、かつ静粛なエンジン再始動と、(2)ドライバーが意識しなくても、リズムよくスムーズにクラッチをつなげられる変速操作を目指した（Fig. 3）。そのために、迅速・低振動なエンジン再始動制御と、変速時ショックを抑制するエンジン回転数制御を開発した。

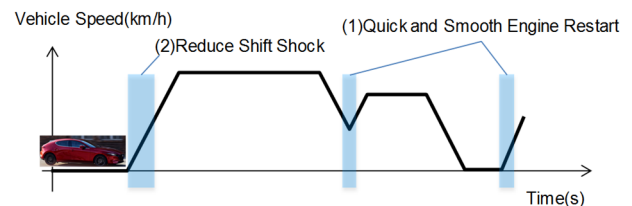


Fig. 3 Drivability Improvement Functions

3. システム構成

M Hybridは、従来のエンジン、トランスミッション構造を維持し、モーターと燃焼のトルクを適切に配分することで、上述2.1、2.2の機能を実現する。モーターには、オルタネーターに駆動機能を統合させたISGを採用し、ISGとエンジン間のトルク伝達をベルトで行う。摩擦ブレーキ損失分を回生するため、Brake By Wire Unitを採用し、回生協調ブレーキ機能を実現する。ISGによる回生エネルギーは24V電圧でLiBに蓄電し、LiBに蓄電したエネル

ギアを用いてISGのモーターアシストを実現する。また、電装品の電源電圧を24V化し、12V電源側から24V電源側に設置することで、DC/DCコンバーターの出力を適正化できる。M Hybridでは、シートヒーターを24V電源化し、DC/DCコンバーターで全12V電装品へ電力を供給する (Fig. 4)。

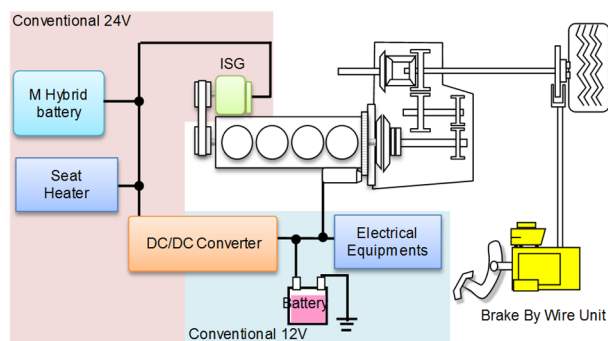


Fig. 4 Schematic View of M Hybrid

4. M Hybrid 制御技術

4.1 回生協調ブレーキ制御

摩擦ブレーキ損失分を回生エネルギーとして回生するため、回生協調ブレーキ制御を開発した。

回生協調ブレーキ制御では、ブレーキペダルの操作量からドライバー要求減速度を判定し、回生発電と摩擦ブレーキによる減速度にそれぞれ配分、実現する。ブレーキ踏み始めは、要求減速度内で回生発電した減速度に対して、不足分を摩擦ブレーキで制動する (Fig. 5中(a))。ブレーキ協調制御中に発生するトルクの変動に対しては、ブレーキ液圧の量を制御することで、ドライバー要求減速度を実現する。しかし、トランスミッションの回転数変動に伴うイナーシャと変速油圧切り替えや、ドライブシャフトの捻じれにより、実際にホイール軸に伝わる回生発電トルクが要求どおりに伝わらないため、減速度が変動する。これに対して、トランスミッションのトルク伝導率を推定し、その変動に合わせてブレーキ液圧を制御することで、減速度変動を抑制し、回生発電トルクを最大化することを可能とした (Fig. 5中(b))。また、車が停車する前のギア締結を維持できない領域に到達する前に、回生発電トルクを速やかに落とし、ブレーキ液圧を増圧、摩擦ブレーキで制動する (Fig. 5中(c))。以上により、ドライバーへ違和感を与えることなく、発電能力を最大限利用した減速エネルギー回生を実現した。

4.2 迅速・低振動な再始動制御

ISGのモーターアシストとエンジン燃焼制御を協調することで、迅速・低振動なエンジン再始動を実現した。

エンジン再始動時の振動は、再始動時の起動トルクによりPT剛体共振が励起されることで発生する。従来のスター

ター方式によるエンジン再始動では、クランキングでPT剛体共振帯域を抜けられず、燃焼による加振力の影響が大きい機能配分となっていた。M Hybridでは、ISGのモーターアシストを採用することにより、(1)再始動開始時に素早くエンジン回転を上昇させ、(2)燃焼による加振力を抑制することが可能となる。このため、再始動時にPT剛体共振帯域を一気に、かつより小さな加振力で通過できる。結果、従来のスターター方式の車に比べて、(1)迅速に再始動させ、(2)低振動なエンジン再始動挙動を実現した (Fig. 6)。

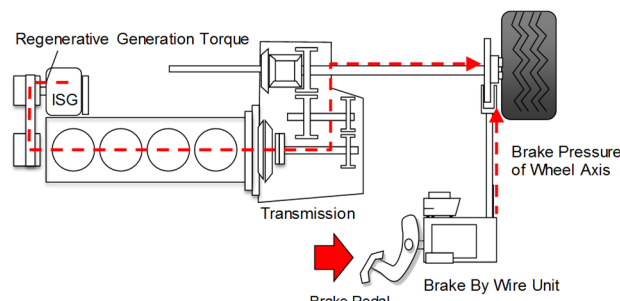
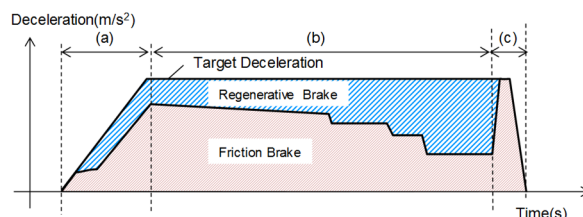


Fig. 5 Regenerative Brake Control

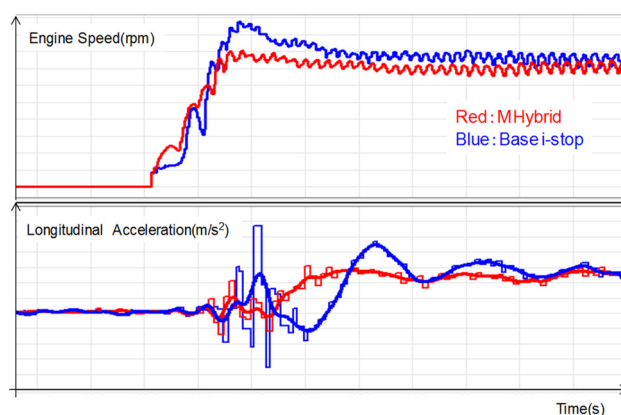


Fig. 6 Quick Engine Restart and Improve Vibration

一方で、ISGのモーターアシストを適切に制御しなければ、再始動時のエンジン回転数が目標回転数をオーバーシュートする。車両への入力が大きくなり、エンジンマウントの前後変位が大きくなることで、ショックが発生する。これに対して、再始動時の理想的な総トルクを定義し、その内訳をISGトルクと各気筒の燃焼トルクに配分することで、再始動時のエンジン回転数のオーバーシュートを抑制し、ショックを低減させた (Fig. 7)。

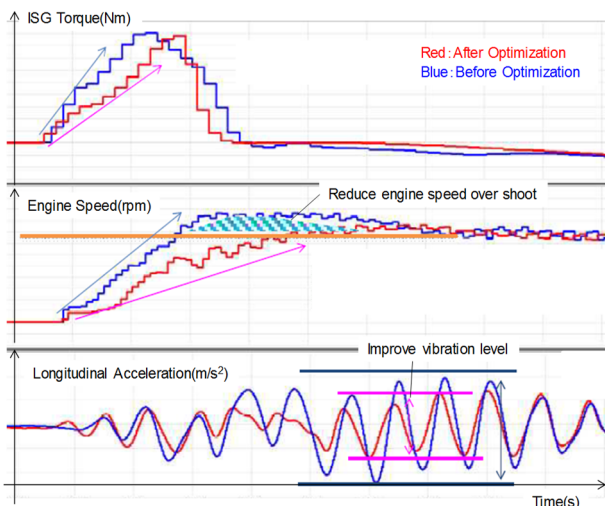


Fig. 7 Improve Vibration Level at Engine Restart

4.3 変速時ショックを抑制するエンジン回転数制御

シフトアップ時、スムーズな車両加速度のつながりを実現した。

シフトアップ時の車両前後加速度の切れ目を意識させないリズムのよい変速を実現するためには、リズムよい操作（操作感）と滑らかな加速度のつながり（反応感）の両立が重要である。しかし、スムーズなクラッチ操作の阻害要因としてクラッチミート時のショックがあり、これはエンジン側と車輪側の差回転が大きい状態でクラッチを繋ぐことで発生する。スムーズなペダル操作とクラッチミート時のショックは背反しており、ショックの抑制はドライバーのクラッチペダル操作に依存している。これに対して、シフトアップ中のエンジン回転落ち速度を高めることでドライバーの操作に依存することなく、ショックを抑制することを可能とした。シフトアップ時の回転落ち速度をISG発電トルクにより適切に制御することで、クラッチミート時のショックを抑制し、リズムよい変速操作を実現した（Fig. 8）。

5. おわりに

新たに採用した回生協調ブレーキ、ISG、LiBの機能を最大限活かし、多くの減速エネルギーを回生することを可能とした。更に、ベルト伝達のISGによりi-stop機能を高め、燃料消費量を多く削減することを可能とした。その結果、新型MAZDA3のM HybridではWLTCモードで約4%（i-stop比）の燃費を改善した。また、ISGによるエンジン再始動性能の向上と変速時のショック抑制によって、ドライバーの感覚に合う走りを実現した。

今後もビルディングブロック戦略に基づき、減速エネルギーを回生する技術、及び、回生したエネルギーを利用する技術を発展させ、マツダ車のさらなる進化に貢献してゆく。

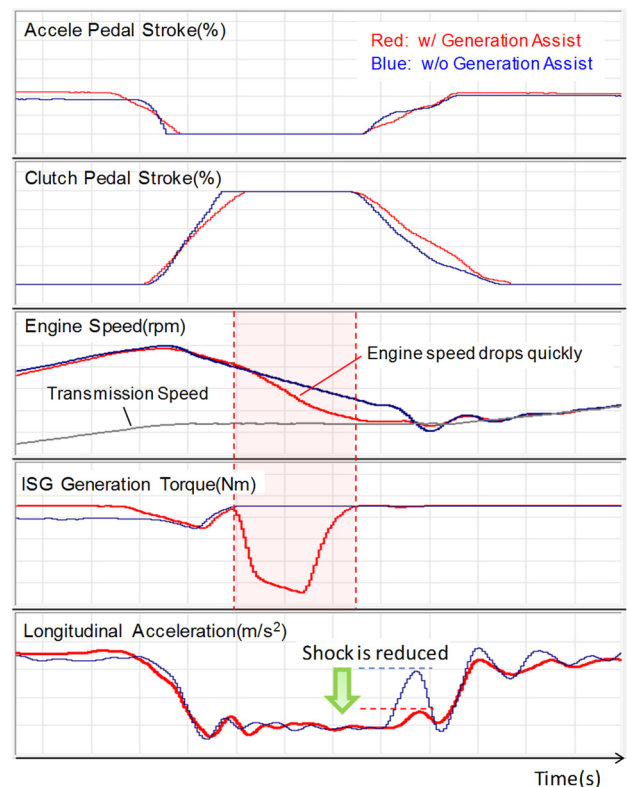


Fig. 8 Reduce Shift Shock

参考文献

- (1) 高橋ほか：減速エネルギー回生システム“i-ELOOP”の開発、[マツダ技報, No.30, pp.37-42 \(2012\)](#)
- (2) 小谷ほか：i-ELOOP制御技術の開発、[マツダ技報, No. 30, pp.51-55 \(2012\)](#)
- (3) A. Kume, et al.: The electric energy management of low-voltage regenerative energy system, EVTeC and APE Japan 2016, SS6 20169042 (2016).

■ 著 者 ■



森本 昌介



大塚 雄太



枝廣 育実



内藤 潤



岡田 久伸



白石 啓光



清水 正寛



栗原 健