

特集：MAZDA MX-30

05

MX-30 エレキシフトシステムの開発 Development of Electronic Shifting System for MX-30

木村 隆浩 *¹ 徳永 幸司 *² 上村 裕樹 *³
Takahiro Kimura Koji Tokunaga Hiroki Uemura
岩本 武尊 *⁴ 延河 克明 *⁵ 岡山 裕之 *⁶
Takeru Iwamoto Katsuaki Nobukawa Hiroyuki Okayama

要 約

MX-30 では、『MAZDA PROACTIVE SAFETY』の3つの考え方（①認知・判断・操作しやすくする。②ミスに気付かせ、正常な状態に戻りやすくする。③それでもミスした時は、車がオーバーライドする。）に基づき、操作性と安全性を高次元で両立させることを目指して新しいシフトシステムの開発に取り組んだ。実現手段としてシフトを電子制御化（バイワイヤ化）し、その特長を最大限活用した安全制御を構築することで、操作性と安全性の高次元での両立を図りつつ、『際立つデザイン／意のままの走り』に貢献するエレキシフトシステムを開発した。本稿では、それらの技術紹介を行う。

Abstract

A new shifting system of the Mazda MX-30 was developed based on the “Mazda Proactive Safety” philosophy. With an aim to achieve high levels of shifting performance and safety, the philosophy consists of the three concepts: (1) Easy to recognize, judge and operate; (2) Notify drivers of their mistakes so the drivers can correct them; and (3) If the mistakes are still made, the override system is activated. To accomplish this goal, an electronic shifter was adopted and a safety control system that maximizes the characteristics of the electronic shifter was built, realizing high levels of shifting performance and safety while developing the electronic shifting system that contributes to “outstanding design and precision driving”. This article introduces the technologies employed in the new system.

Key words : Human engineering, Electronics and control, Transmission control, by-wire control, Electronic shift

1. はじめに

マツダが掲げる『MAZDA PROACTIVE SAFETY』（Fig. 1）に定める3つの考え方（①認知・判断・操作しやすくする。②ミスに気付かせ、正常な状態に戻りやすくする。③それでもミスした時は、車がオーバーライドする。）に基づき、安心・安全な状態を作り出すため、電子制御化（バイワイヤ化）したシフトシステムであるエレキシフトシステムを開発し、商品化を実現した。

お客様の日常の運転で、より安心・安全に乗っていた車にするために、①については、これまでのマツダ車で培ってきたシフト操作性を受け継いだ上で、理想

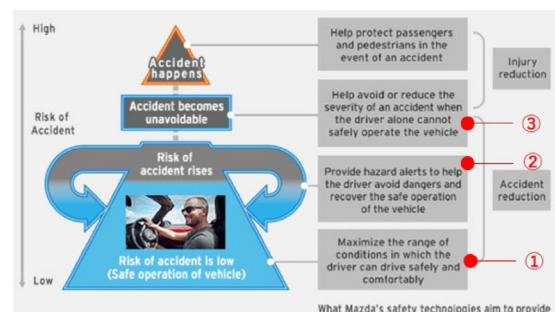


Fig. 1 Mazda Proactive Safety

的なシフトの操作性を再定義した。次にそれを実現するシフターの設計に取り組み、同時にMX-30の特格的な

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

*3 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

*2 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*5,6 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

内装デザインであるフローティングコンソールの実現に貢献した。そして、②と③については、ドライバーが操作ミスしても、安全を確保する制御をシフトの電子制御化を活用して実装した上で、理想的な操作性を織り込んだシフターと適合するメーター表示などを丁寧に作り込んだ。それらを実現した考え方や技術について、説明していく。

2. シフト操作性

2.1 理想のシフト操作性

安心・安全なシフト操作性実現のためには、次の3点が備わっていることが重要であると考え、エレキシフトの利点を生かし、「いつでも、誰もが、迷いなく正確に操作できる」ことでシフト操作時でも運転に注力できるように操作性を進化させた。

- ・現在のポジションの認識
- ・入れたいポジションの操作方向の認識
- ・ポジションに入ったことの認識

2.2 シフト方式

シフトの基本機能は、車両を駐車するために静止させる「P」、車両の駆動力を後退方向に伝える「R」、車両の駆動力を遮断する「N」、車両の駆動力を前進方向に伝える「D」の4つの機能がある。

シフト操作は通常、ブレーキ操作やステアリング操作との連携で行われる。ブレーキやステアリング操作は足、腕といった大きな筋肉を動かして行われるため、操作時の実感が同じように得られることで「ポジションに入ったことの認識」ができると考えている。よってシフト操作は、ボタンやダイヤルのような指先操作ではなく、腕全体を動かして操作時の実感が得られる従来方式のレバータイプを選定した。

その上で、MX-30のシフターは「現在のポジションの認識」と「ポジションに入ったことの認識」が容易な、従来のATシフターと同様にP-R-N-Dのシフトポジションに応じてレバー位置が固定されるステーションリー式とした。

Fig. 2は狭い路地で焦ってD→R、R→D操作を繰り返しUターンを行う状況を設定して、シフト完了から手を放すまでの平均時間を、レバーが固定されるステーションリー式とレバーが基準位置に戻るモーメンタリー式と比較したものである。ステーションリー式にはP-R-N-Dのあるポジションから別のポジションに切り替える際の操作力に節度があるものを、モーメンタリー式にはそのような節度がないものを用いた。その結果、7名中6名でステーションリー式の方が手を放す時間が短くなっている。これはポジションが変わる際に操作力に節度があり、その節度をユーザーが自身の操作に連動した

フィードバックとして、腕を通して感じられることで「ポジションに入ったことの認識」がしやすいことを示している。

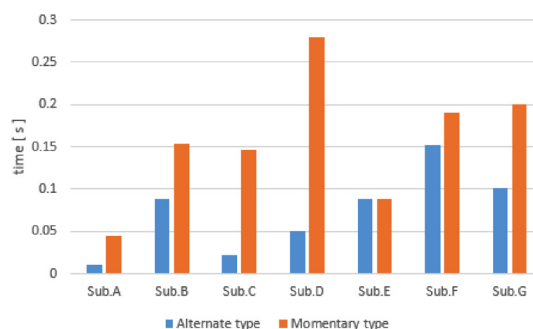


Fig. 2 Time from the Completion of Shift to the Release of Their Hand

更にドライバーの認知、判断、操作をしやすくするために、シフトパターンは前進⇄後退を前後操作、発進⇄停止を左右操作という、一機能、一方向、かつ、突き当て操作とすることで、確実に操作できるようにし、PポジションはRポジションの横で運転席側とした (Fig. 3)。Pポジションを運転席側としたのは、人は腕を前側に動かす際、身体を基準に外に向かう方向に力が出やすい特性を持っており、D→R操作時に誤ってPに入ってしまう誤操作を防止するためである。特に駐車場で車を出し入れする上で前進⇄後退を繰り返すシーンで有効と考えている。

MX-30では、車両の駐車／前進／後退の安全上重要な操作を突き当て操作により、確実に認知できるようにした操作性の進化に加えて、従来のメーター内へのポジション表示・シフター横のポジション表示・Rポジションでのチャイムにより、視覚・聴覚機能を合わせることで「現在のポジションの認識」、「入れたいポジションの操作方向の認識」、「ポジションに入ったことの認識」を向上させている。

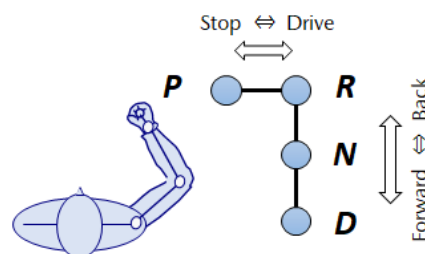


Fig. 3 Shift Pattern

2.3 シフター配置とシフト操作特性

(1) シフター配置

シフターの配置は、小柄な方から大柄な方まで操作時にシートから肩をずらすことなく操作できる状態を目指した。

楽に操作できる姿勢として、体から遠い側は腕を伸ばした状態から肘を数十度曲げた状態、近い側は肩から肘が垂直までの範囲とした。Fig. 4 は小柄な方の体から近い側の限界と、大柄な方の遠い側の限界を示したもので、それらの間が誰もが楽にシフターを操作できる配置エリアとなる。

MX-30 では、P ポジションを含む全てのシフトポジションがこの範囲に入るようにシフターを配置している。

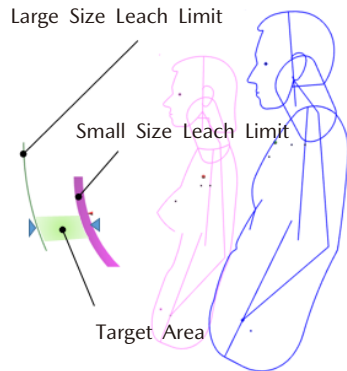


Fig. 4 Driving Position Requirements Area (Image)

(2) 操作特性のねらい

P ポジションを含む全てのシフトポジションを誰もが楽に操作できるエリア内に入れるためには、従来のシフターよりもショートストローク化が必要となる。「確実な操作実感」と「楽に操作できる荷重特性」をショートストロークで実現するための新たな要件を導き出した。新たな要件は以下のとおり。

- 安全にかつ滑らかな P ⇄ R の横方向操作を可能にするピーク荷重
- シフトポジションの切り替わりを認知できる最小ストローク量と R-N-D 操作における荷重ピーク点からの荷重低下率： $\Delta B/\Delta P$ (Fig. 5)
- シフト操作が完了したことのフィードバックを掌に柔らかく返すストッパー特性 (Fig. 6)

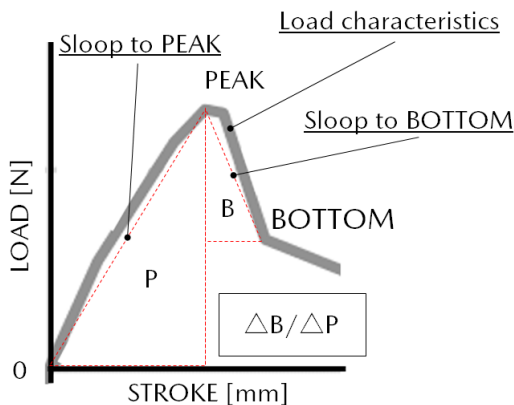


Fig. 5 Switching Load Characteristics

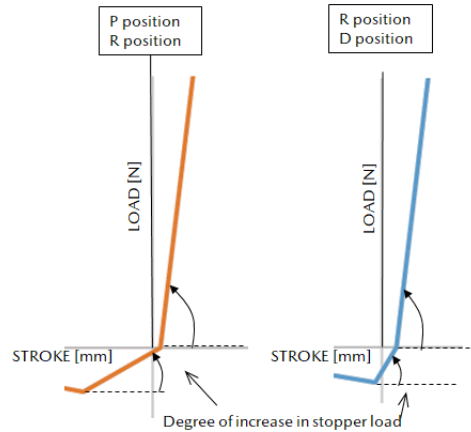


Fig. 6 Load Characteristics of the Stopper

これらの要件を従来の要件に加え、目標操作特性を決定した (Fig. 7)。

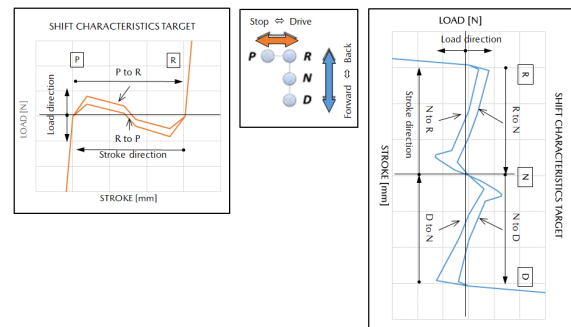


Fig. 7 Shift Pattern and Operating Characteristics (LHD)

ドライバーのポジション切り替えの意を感じたと同時に、吸い込んで優しく受け止める、このマツダらしい操作感を目標に掲げ、シフター開発に取り組んだ。

3. シフター

3.1 操作システム構成の変更に伴う逆L字型シフトパターンとねらいの操作特性の実現

(1) 逆L字のシフトパターンを実現する機能配分

従来の機械式シフトでは、ストローク方向変換のためのリンク機構が必要であり、逆L字のシフトパターン実現には構造が複雑となるため不向きである。

一方、エレキシフトではシフターの物理的な操作位置をセンサーで検知し、電子制御で取り扱うことが可能な電気信号に変換して出力する (Fig. 8)。これにより、機械的な接続の制約から解放され、Fig. 3 で示す逆L字型のシフトパターンを実現した。

(2) ねらいの操作特性を実現する機能配分

従来の機械式シフトで機能配分すると以下の制約がある。

- トランスアクスル側のシフトポジション切り替えに必要なストローク
- 意図しない外力などでシフトポジションが切り替わ

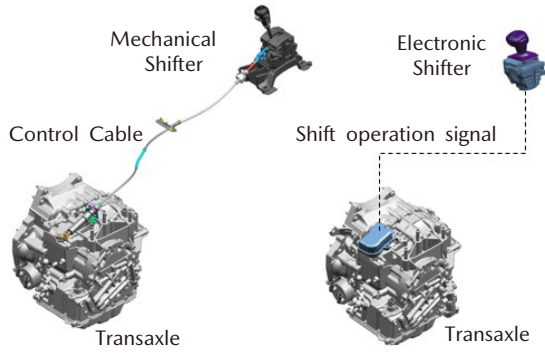


Fig. 8 Mechanical and Electronic Shift System

らないようにするための予荷重

- ・チェンジケーブルの荷重伝達ロス

一方、エレキシフトはトランスアクスルと繋ぐケーブルがないため上記制約から解放される (Fig. 9)。エレキシフトでの機能配分により、ねらいの操作特性を実現した。

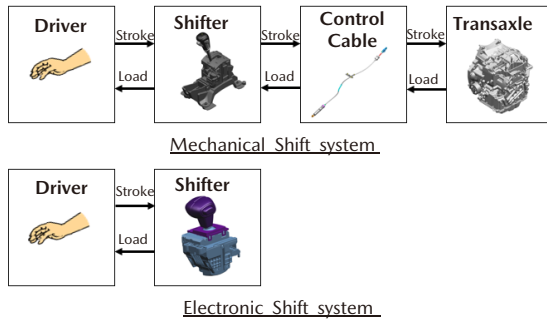


Fig. 9 Operating Characteristics Generating Function

3.2 シフター設計

構造制約から解放され、シフターの設計自由度が高くなるエレキシフト化によるメリットを生かし、逆L字のシフトパターンとねらいの操作特性を省スペースで実現した (Fig. 10)。

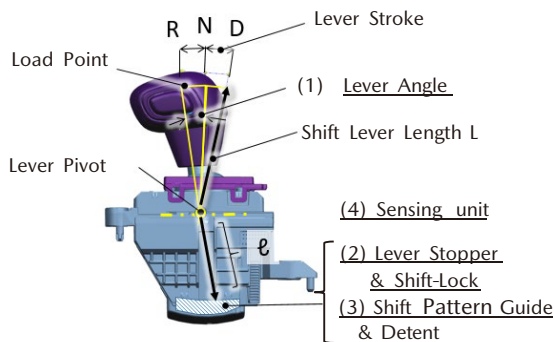


Fig. 10 Structure Summary of the Shifter (Side View)

(1) シフトレバー作動角

ショートストロークでありながら、操作したポジションに入ったことを認識しやすくするためには、シフトレバーの作動角が重要である。シフトレバーの傾きの変化

を感じやすい作動角を導き出し、シフターの設計に反映した。

(2) シフトレバー比

シフトレバーの支点からシフトノブ荷重点までの距離 (シフトレバー長さ) l と、同支点から操作特性を発生する機構やストッパー部までの距離 l' のふたつの距離の比を従来の機械式シフトと比べて小さく設計 (低レバー比化) し、最適化した。これにより、機構部における部品同士の隙間によるガタつきをシフトノブ上では感じ難く、剛性感は高く感じるよう設計した。

(3) ディテント・ストッパー

(2) で説明した低レバー比化によって、ディテント部に負荷される荷重を小さくできる。これにより操作特性を発生する機構とシフトパターンを作り出すゲート機構、及びストッパーを統合することができ、ねらいの操作特性と逆L字型のシフトパターンを備えたシフターをコンパクトに設計した。

(4) ポジション検出

内部機構の作動量を大きく設計し、少ないセンサー数で操作位置検出を行えるように設計した。

ショートストロークかつ小型化したシフターと、従来の機械式シフトシステムに必要なケーブルやリンク機構の廃止に伴うコンソール周辺の省スペース化により、空間の占有率を従来の機械シフトと比べ 70% 削減した。これによりフローティングコンソール実現に貢献した。

4. エレキシフト制御システム

4.1 制御システム構成

今回開発したエレキシフトの制御システム構成を説明する。主に以下の3つのデバイスを搭載することで、シフトシステムを電子制御化 (シフトパイワイヤ化) した。

① Electronic Shifter

シフター内部には ECU と、ドライバーが操作したレバー位置を検出するポジションセンサーを搭載している。ECU がそのセンサー信号を読み取り、シフト操作信号として、CAN 通信で他の ECU へ送信する。

② PCM (Powertrain Control Module)

Electronic Shifter からのシフト操作信号、ドライバーによる関係する操作及び車速など車両状態に応じて、シフトポジション切り替え可否を判断する。その判断に基づいて、シフト切り替え指示信号を EPL へ送信する。また、現在のシフトポジション位置などの情報を他の ECU へ送信する。

③ EPL (Electric Parking Lock)

トランスアクスルのシフトポジションを切り替える電動アクチュエータ及びその制御 ECU。PCM からのシフト切り替え指示信号に基づいて、アクチュエータを駆動し、その結果としてのトランスアクスルのシフトポジションを CAN 通信で PCM へ送信する。

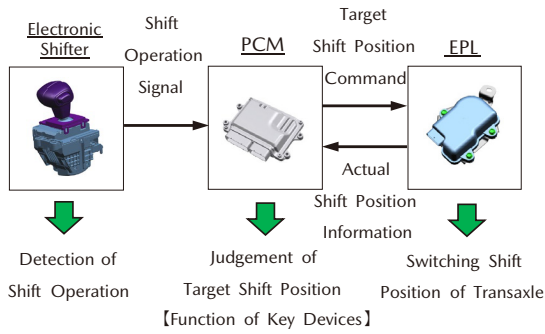
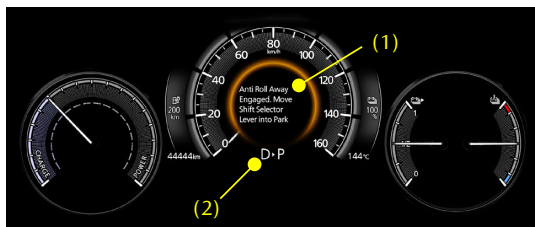


Fig. 11 Key Devices of Electronic Shift System

4.2 安全機能と HMI (Human Machine Interface)

「MAZDA PROACTIVE SAFETY」における3つの考え方のうち、“②ミスに気付かせ、正常な状態に戻りやすくする”、“③それでもミスした時、車がオーバーライドする”の2つに基づき、制御機能及びHMIを設計した。この例として、以下にMX-30へ実装した「オートP（パーキングロック）機能」を紹介する。

まず、オートP機能とは、ドライバーが車両を駐車する際にシフトポジションをPに切り替え操作するのを忘れたまま、車両を降りてしまうようなシーンにおいて、意図しない車の動き出し防止を目的とし、自動的にシフトポジションをP（パーキング）へ切り替える機能である。例えば、シフトポジションがD（ドライブ）の状態、ドライバーの降車意図（電源ポジションOFF操作、運転席シートベルト解除かつドアを開ける操作）を検出した場合、Fig. 12に示すメッセージをメーター内のマルチインフォメーションディスプレイに警告チャイムとともに表示し、シフトポジションPへの切り替えを自動的に実行する。これらにより、ドライバーに“ミスに気付かせると同時に”、“車がオーバーライドする”ことで安全性を向上している。この時、シフターのレバー位置とトランスアクスルの実際のシフトポジションにアンマッチが生じるが、Fig. 12で示したメッセージと「シフト誘導表示」をメーター内に表示し、ドライバーに注意を促す。



(1) Message (2) Shift Guide Indication
Fig. 12 AUTO P Function in Operation

4.3 他システム ECU との協調制御

MX-30のエレキシフトシステムでは、操作性にこだわったステーションナリー式のシフターと、バイワイヤ化により実装可能となったオートP機能などを両立すべく、それをサポートするHMIとして、4.2で紹介した表示やチャイム鳴動を実現する必要があった。オートP機能や表示やチャイムの制御は、PCMを中心に、BCM (Body Control Module) や HEC (Hybrid Electronic Cluster) など、車両内の他の制御を担う多数の ECU との協調制御を織り込むことで実現している (Fig. 13)。

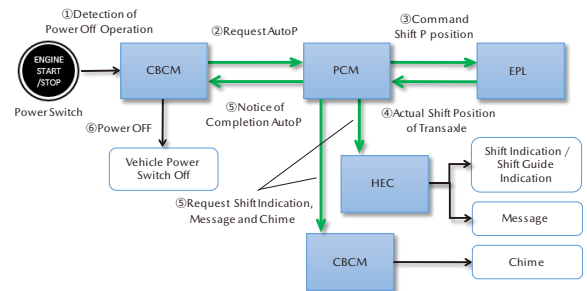


Fig. 13 Block Diagram for AUTO P Function

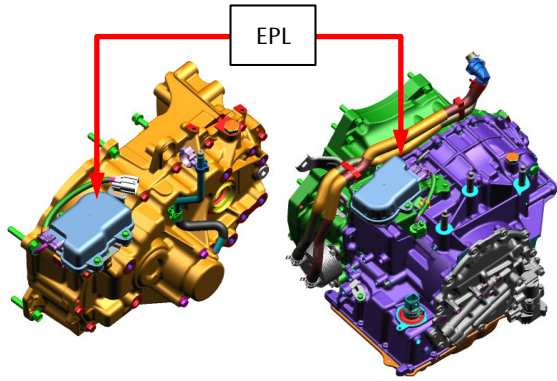
4.4 異なるパワートレインに対応するシステム設計

MX-30は、複数種類のパワートレインを搭載する車両として企画、開発した。EVモデルとマイルドハイブリッドモデルでは、搭載するトランスアクスルが異なる (Fig. 14) が、開発したシステムではいずれのモデルに対しても、共通のシステム構成及び部品で、エレキシフト化を実現した。開発初期にあらかじめ、固定と変動領域を定義してシステム設計しておき、変動領域についてはソフトウェア仕様を変更することで、各モデルの作り分けを実現した。

【固定領域の例】4.1で述べた主要デバイスである Electronic Shifter-PCM-EPL の構成や、やり取りする信号などのインターフェースは、EVモデルとマイルドハイブリッドモデルで共通としている。また、PCMを中心として実装したオートP機能やHMIの制御インターフェース、CAN通信のバス構成も共通仕様で設計した。

【変動領域の例】EVモデルとマイルドハイブリッドモデルのトランスアクスルでは、内部のシフト切り替えに関するハードウェア機構が異なる。EPLにシフト切り替え指示信号を送信するPCMソフトウェアと、EPLのアクチュエータ制御ソフトウェアの仕様を作り分けることで機構の違いを吸収した。

以上のように、EVモデルとマイルドハイブリッドモデルでエレキシフトシステムの仕様差を最小限に留めるよう、設計的に工夫したことで、品質の確かな作り込みと短期開発を実現し、両モデルへのエレキシフトの同時搭載を実現した。



EV-MODEL

Mild Hybrid Model

Fig. 14 Transaxle and EPL (Electric Parking Lock)

4.5 制御システム及び制御の機能検証

MX-30のエレキシフトシステムでは、ステーションナリー式のシフターを採用していることから、オートP機能作動時など、シフトレバーの位置とトランスアクスルのシフトポジションがアンマッチとなる場合がある。そのため、その状態とそれらの制御における状態遷移が通常よりも多くなっている。状態遷移をモデル化した上で、MILS (Model In the Loop Simulator) 環境を活用したシミュレーション⁽¹⁾で制御ソフトウェアの動作を検証することで、制御ロジックを作り込んでいる。このようにして作成したソフトウェアをPCMに実装し、開発試作車で意図通りの機能が実現できていることを最終確認している。効率的な開発の実現を目指して、マツダが従来から培ってきたMBD (Model Based Development) を活用した機能検証を通して、安心・安全を提供する車両のシステム及び制御の確かな品質を作り込んでいる。

5. おわりに

MX-30向けに新開発したエレキシフトシステムの技術紹介を行った。本システムは、パワートレイン本体系、車両シャシー系、制御系設計及び関連実研など、多数の開発部門の連携と協力によって、商品化を実現した。今後もお客様が「安心・安全」にお乗りいただける車両を提供すべく、マツダの開発部門が保有する技術力を継続して磨き、それらを結集させながら、新技術・新機能の開発に邁進する所存である。

参考文献

- (1) 白田ほか：SKYACTIVのMBD検証環境について、[マツダ技報, No.31, pp.48-53 \(2013\)](#)

■著者■



木村 隆浩



徳永 幸司



上村 裕樹



岩本 武尊



延河 克明



岡山 裕之