

産業界の技術動向

マツダの目指す MBD と車両電装システム開発での適用事例

マツダ株式会社 統合制御システム開発本部 電子性能開発部

手島 由裕

1. はじめに

昨今の自動車産業を取り巻く環境は、CASE (Connected, Autonomous, Sharing, Electricity) に代表されるように 100 年に一度の変革期と呼ばれています。その中で世界シェア 2% とスモールプレーヤーのマツダは、生き残りをかけて MBD (Model Based Development) の活用いち早く着手しました。

本論の主題は MBD ですが、まず前提として、機械産業である自動車メーカーにおける電気電子系エンジニアの役割について、かつて「ラジオ少年」であった私自身の業務を 2 例紹介しておきたいと思います。

2. マツダのエレキ系量産開発の紹介

■ MAZDA3 オーディオ音響性能開発の紹介

マツダは昨年度、新世代商品群のトップバッターとして「MAZDA3」の販売を開始しました。我々は人間特性を考慮し、車載オーディオシステムのスピーカ配置をゼロから見直すことで新世代商品に相応しい画期的なオーディオシステムを実現できましたのでご紹介します。

唐突ですが、理想のオーディオシステムとは何でしょうか？オーディオブランドが数多くあるように、人によって好みの音が異なるため、理想のシステムを一つに決めることは困難です。そこで「目指すオーディオの姿」として「お客様がご自身の好みに合わせて音楽を楽しめる」を掲げ、「好みの音量で聴ける低域再生ポテンシャル」「音源に忠実な中高域直接音再生」により音楽再生の土台を提供することを考えました。そして、音波の特性、人間の聴感特性から、音波を低域と中高域に分離しそれぞれで最適化することにしました。

低域は空間共鳴の「腹」に置くと効率が良く、指向性を感じにくいので見える場所になくてもよいことに着目し、市場の 9 割以上の車が採用しているドアスピーカを廃止し、低域再生専用として車室内前方隅に移動しました。車室内で新しいレイアウトを確保することは難しいのですが、最適な運転姿勢のためにタイヤを前方配置する独自のアーキテクチャーと合わせ、関係者皆が納得する形で変更を実現できました。(図 1)

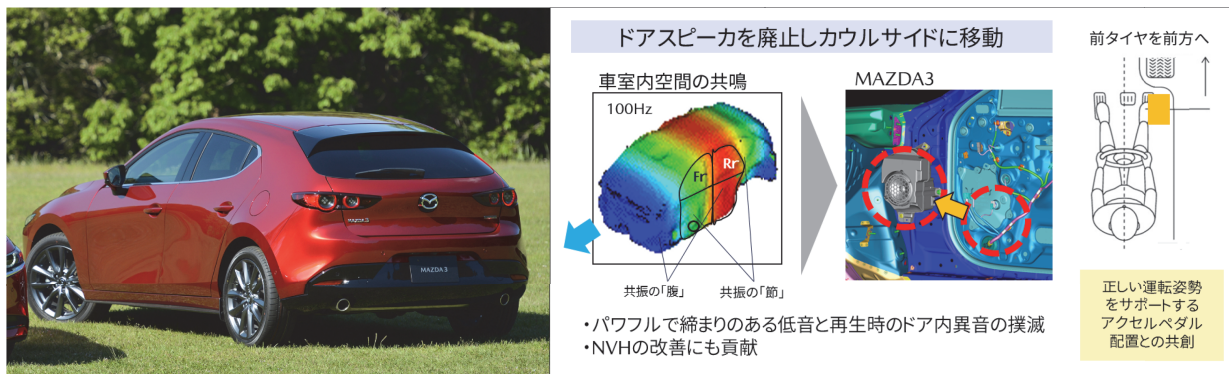


図 1 MAZDA3 とその低域再生革新のポイント

中高域では、従来のインパネ上の高域専用スピーカで、フロントガラスからの強い反射が音像を濁らせていることを時間軸解析で突き止め、反射音が生じにくいドア前方上方に移設しました。また、左右スピーカからの音の到来時間と音圧を揃える、いわゆるタイムアライメントを使った「運転席優先モード」を設定し、楽器（歌手の声）が音源製作者の意図通りの位置で、目の前で演奏しているかのように鮮明に聴こえる音場を再現し、自動車ジャーナリストの方々や多くのお客様から好評を得ています。弊社公式 Web サイト、Youtube にイメージビデオがありますのでご紹介しておきます。

<https://youtu.be/Hr46W2LWYgQ>

■ 自動車の EMC 開発の紹介

次は電氣的信頼性開発の一例として、高周波（電波）に関連する EMC（Electro Magnetic Compatibility）開発をご紹介します。EMC 開発のひとつである不要輻射抑制開発には、規格法令（各国認証）適合開発の側面と、車載受信機への音声ノイズ混入を抑制する商品性開発（ラジオノイズ開発）の側面があります。

規格法令の代表例である国連レギュレーション「UN No.10」では、車両から発生する電磁ノイズが他の車両／家庭内受信機に妨害を与えないことを車両販売認可条件として要求しています。図2のような大型電波暗室を使った実車計測を行い、車外に設置されたアンテナへのノイズ誘起電圧が規制値以下であることを認証官立ち会いで実証します。

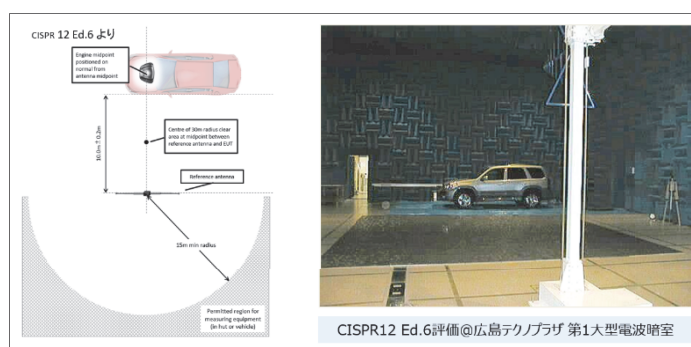


図2 UN No.10 認証適合性評価

一方、ラジオノイズ開発では、お客様が実際にノイズを耳で感じて良否を判断されることから、雑音の絶対レベルではなく他車（以前の所有車や知り合いの車）との比較が重視される傾向にあります。さらに、雑音発生シーンがお客様固有の特殊な使い方によるものであったとしても、お客様の期待に沿うことが求められるため、お客様の立場に立った商品開発を進めていく必要があります。また、車載環境特有のシールド配線材や給電線（同軸ケーブルに非ず）の使いこなしに苦労したり、社内の多数派である機械系エンジニアと背反事象の調整に苦慮したり、各国の電波法関連情報や放送界の動向にも気を配る必要があります。

EMC 開発の対象部品は全車載電装品ですので、本論で述べる「車両エレクトロニクスの進化」に伴う開発対象の増加は、この EMC 開発の難易度にも大きく影響していると言えます。

3. 自動車の進化と MBD への期待

マツダでは早くから MBD に積極的に取り組み、技術開発において中心的な役割を果たしてきました。我々は、制御開発を念頭に置いた“狭義”の技術開発だけではなく、CFD / FEM 等の CAE も含め、すべてのモデルを用いた技術開発を MBD と呼んでいます。本論では、SKYACTIV TECHNOLOGY での成功のカギとなった MBD の基本的な考え方を示すとともに、車両電装システム開発での MILS / HILS や FEM 等 CAE の活用事例を紹介し、今後の進むべき方向について述べていきます。

■ 自動車の進化

近年の自動車の進化は、そのまま「車両エレクトロニクスの進化」と言い換えても過言ではないほど電子部品は増加の一途を辿っています。例えば、環境技術の進化としては、減速回生、HEV/BEV、エンジン系補機類の電動化など、安全技術の進化としては、自動運転、ADAS（先進運転支援システム）、シャシー制御、緊急通報、ITS など、快適性能の進化としては、コネクティビティ、キーレスエントリー

などの機能性能向上装備、そして、制御するソフトウェアも、マイコン数の増加、コード行数の増加、と枚挙に暇がありません。

20年前と比較して、数値的には、開発の複雑性/バリエーションは10倍増、開発期間は1/4に短期化されており、2倍の開発人員を持ってしても、一人当たりの生産性は20倍になることが期待されているのです。

実際の車両では、図3のようにクルマ全体で数十の電子制御システムが搭載され、単独だけでなくシステム間で協調して制御を行った上でソフトウェア規模は合計で1000万行以上（マイコン50個以上）に達しています。エンジン制御だけでも、SKYACTIVエンジン制御ソフトウェアの規模は、プログラム変数が数万個、データ（パラメータ）は約10万個、印刷すると1万ページ前後、と、走行/環境性能を向上させるために、20年間で約100倍と指数関数的に大規模化してきました。

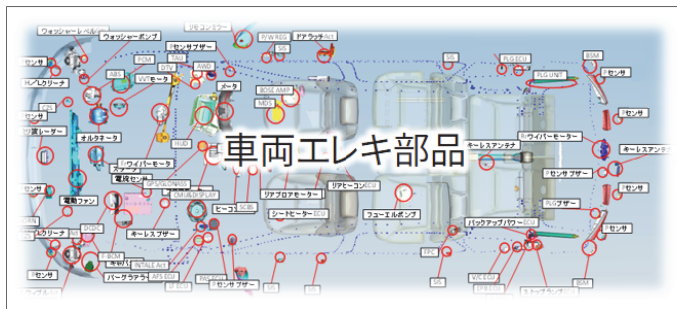


図3 車載制御システム群

■ MBDへの期待

従来の自動車制御開発プロセスの例を図4に示します。いわゆる「V字開発」ですが、試作や評価にかかる期間はそれぞれ数ヶ月レベルなので、通常の製品開発でこのサイクルを回せるのは最大2回までです。制御開発に関わるエンジニアの数は数百人規模、1台の試作車製作にかかる費用は数千万円に上ります。手戻りが発生した場合、後になるほど必要な時間と費用が加速度的に増加するため、実車評価まで進んでからやり直したのでは取り返しがつかない事態になってしまいます。

そこで、実際の車両を必要としない検証手段としてのMBDに大きな期待が寄せられているのです。

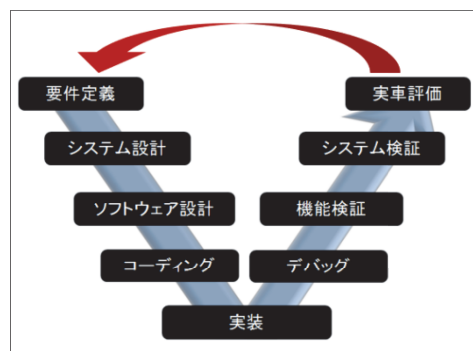


図4 従来の自動車制御開発プロセス

4. マツダの目指す MBD

では、マツダの目指すMBDとはどんなものなのでしょうか。我々はMBDをブランド価値とビジネス効率を共に向上させるイネブラーだと捉えています。「高いブランド価値を持つ商品を最高のビジネス効率でお届けする」狙いに向けて、車両全体、制御系、乗員、環境、全てをモデル化し、机上シミュレーションを徹底的に行うのです。その適用プロセスは、要求性能の把握、システム設計、制御開発、ユニット/部品開発、生産（品質）開発、と広範囲にわたっており、開発部門だけの、ましてや「制御開発用」に限定しない、企画から始まり、生産、引いてはサービスまで、「仕事」をモデルでつなぎたいと考えています。例えば、制御装置と制御対象の機能をモデル化して組み合わせ、シミュレーション技術を活用して開発することもMBDのひとつです。MILS（Model-In-the-Loop Simulation）やHILS（Hardware-In-the-Loop Simulation）を使いこなし、開発段階に応じReal/Virtualを融合した検証環境を使う手法です。

図4の各プロセスで小さな検証を繰り返すことで、大きな手戻りを撲滅し、開発の質と速度を向上できます。図5のように「開発モデル」から「家庭円満、健康」までの大きなつながりを実現するという

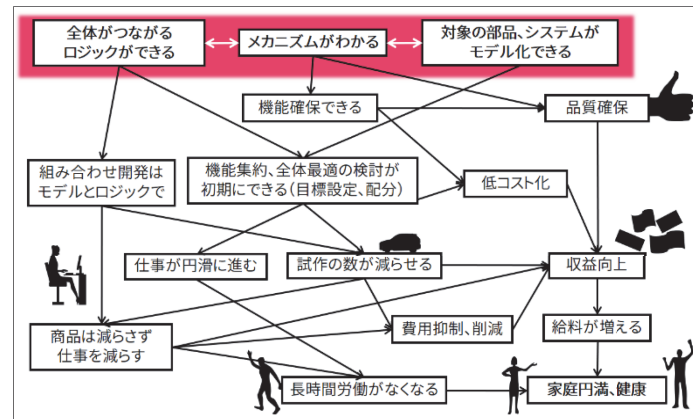


図5 マツダの目指す MBD

意思を持ち、組織的に活動することが重要であり、この図がまさにマツダの目指す MBD の全体像と言えるのです。

5. 車両電装システムでの MBD 適用事例紹介

では、ここから車両電装システムへの MBD 適用事例についてご紹介していきます。

■ 高機能 HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation) 構築事例

先に述べたとおり、自動車の進化により車両電装システムは増加の一途を辿っており、その検証には幾千もの試験シナリオが必要になっています。限られた時間の中で、市場要求を満たす品質を確保するための機能評価を実施する必要がありますが、実車での走行試験が大きなボトルネックになっていました。

解決手段として、我々はあらゆる電装品を協調動作させて機能とロバスト性を自動評価する高機能 HILS システムを構築しました (図6)。高機能 HILS では、実際の部品と疑似部品、疑似信号をベンチ上で統合し、ロボットアームによる運転者動作、バーチャル音声による言語・話者の網羅性、疑似 GNSS 信号と三次元高精度地図による NAVI 走行模擬などを実現し、コネクテッドシステムの試験工数を劇的に削減させることができました。適用システム拡大に向け、様々な運転環境を取り込むことで HILS は日々進化を遂げています。

Youtube のビデオをご紹介しておきます。 <https://www.youtube.com/watch?v=tLkMmBdedRw>



図6 高機能 HILS のロボットとコントローラ

■ レーダー CAE 解析事例

ADASセンサーのひとつであるマイクロ波後側方レーダーは、リアバンパー内側に取り付けられています。樹脂部品は電波への影響を無視できると考えがちですが、外観形状に合わせデザインされたバンパーはマイクロ波伝搬に影響を与えてしまいます。受信電波が本来の位相と異なってしまうと到来角度を正しく推定できず、ターゲット車両の車線を見誤ってしまいます。

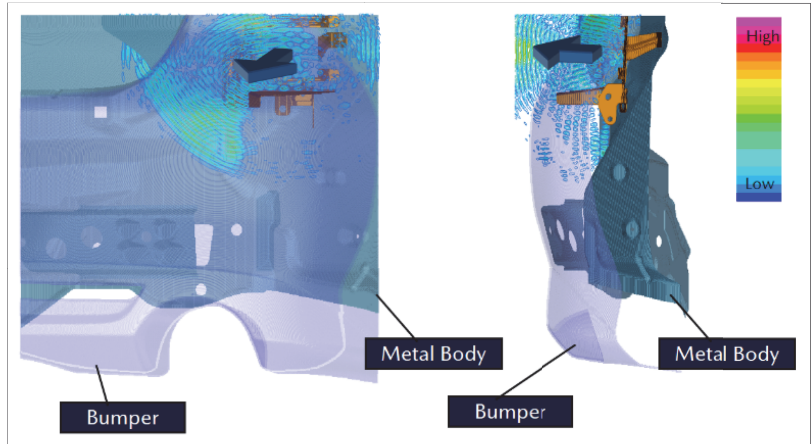


図7 バンパーを透過・反射する電波のCAE解析事例

図7のように、バンパーを透過・反射する電波をCAE解析することで、事前に影響を回避することが可能になりました。

■ キーレスエントリー性能CAE解析事例

キーレスエントリーシステム（KES）は、リモコンボタン操作により、メカキーによる施錠解錠の煩わしさを解消するシステムですが、実際のお客様の使い方として、広大な平面駐車場で自車の駐車位置を見つけるためのカーファインダーの機能も持っており、その作動距離は重要な性能指標となっています。



図8 キーレスエントリー性能CAE解析事例

我々は、アンテナの形状・レイアウトを最適化するために、図8のような作動距離のCAE解析による机上検証を進めています。

■ 超音波式盗難防止装置開発のCAE解析事例

超音波式盗難防止装置は、車両に泥棒が侵入した際に、侵入動作によって発生する超音波のドップラーシフトを受信センサーで検出することで侵入を検知し、警報を吹鳴させるシステムです。

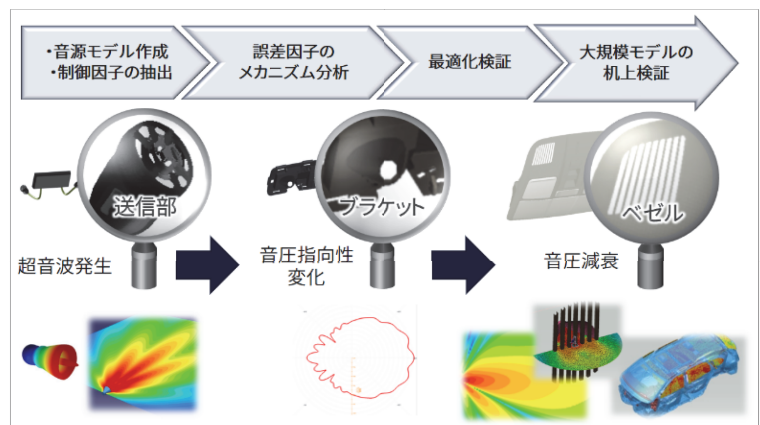


図9 超音波式盗難防止装置開発CAE解析事例

図9のように、送信部から発射された超音波は周辺部品の影響を受け、指向性変化や音圧減衰が発生し予測通りに伝搬していきません。超音波が十分届かないエリアは侵入を検知できない【未検知】となり、逆に受信感度を上げすぎると雨などの微小振動を検知してしまう【誤検知】を誘発してしまいます。

我々は、誤検知・未検知を防止する超音波センサーの指向性・レイアウトを超音波CAE解析することで、開発工数、コストを削減し、車両レス開発を実現しました。

■ ワイヤーハーネス断線信頼性予測における CAE 解析事例

自動車の進化による車両電装システムの増加に伴い、部品間をつなぐワイヤーハーネスの重量増も自動車開発において大きな課題となっています。重量軽減のための実現手段のひとつであるアルミ電線の採用では、銅⇒アルミへの素材変更による断線懸念の解消が必要でした。

我々は図 10 のように、ワイヤーハーネス屈曲による「ひずみ振幅」を CAE 解析することで、寿命曲線から断線回数を机上予測し、固定点の最適化を図ることができました。

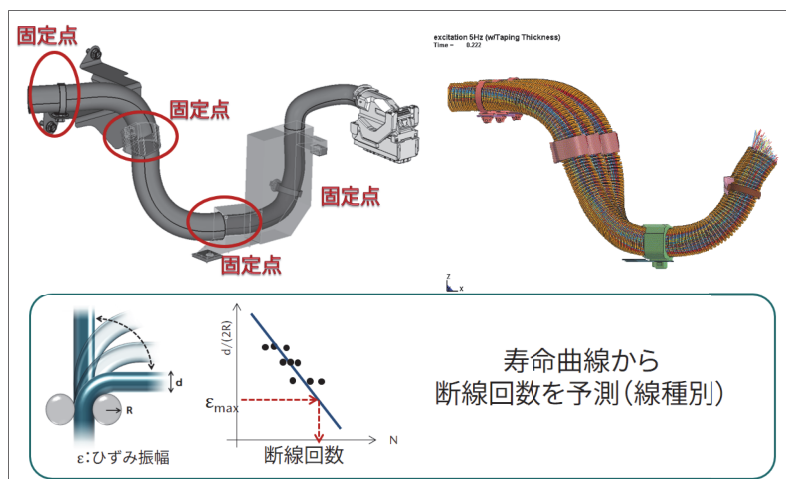


図 10 アルミ電線の断線懸念を CAE 解析事例

6. MBD の今後

本論の最初で述べたことの繰り返しになりますが、近年の自動車産業を取り巻く環境は、モビリティ革命 CASE (Connected, Autonomous, Sharing, Electricity) に代表されるように 100 年に一度の変革期と呼ばれています。クルマの持つ機能が飛躍的に増加し、開発すべき技術領域の拡大により異業種との関連も多くなり、自動車メーカー単体やグループ企業だけの開発には限界が出てきます。

それでは、どこと、どうやって手を組めば良いのでしょうか？

欧米では、官（政府）主導で、産（自動車メーカー、部品メーカー、ツールベンダー）と、学（大学）とが一体となって、技術開発や規格化を進めることが主流になっています。日本では、やはり All Japan で手を組むべきではないでしょうか。そのためには、協業と競争を分けて考えなければいけません。

協業のためには、共通の「言語（モデルや動く仕様書）」や共通の「やり方（モデルのガイドラインや I/F、解説書）」でお互いに補完して開発する仕組みが必要になります。社外では部品メーカー様と、社内では生産部門と連携して、開発初期段階でモデルを使った「擦り合わせ」を行うことが重要になってきます。

図 11 のように、自動車メーカー（OEM）と部品メーカーが連携し、共通基盤の下で共に開発力を向上させ、「競争は要素の組み合わせで行う」姿を目指していきたいと思えます。

これまで述べてきたように、MBD は各企業の強みを活かして生き残るための「切り札」です。お客様の要求の多様化によりソフトウェアの巨大化が進む中、競争激化の波を限られた予算と人財で乗り切るため、従来手法の限界をブレークスルーする力として、これからもますます MBD を活用していきます。

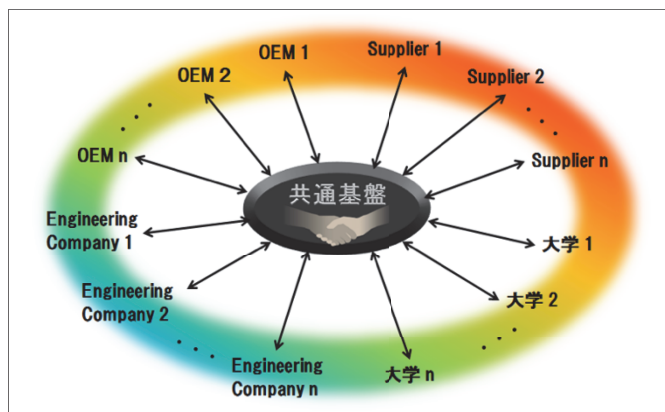


図 11 共通基盤の下での協業

7. さいごに

マツダはこれまでMBDを活用することで、生産性、品質、そして最適解の探索で成果を上げてきました。

これからも、お客様の要求の多様化により車載システムはさらに複雑となり、MBDの活躍の場が大きくなると予測されます。「今後の生き残りのために、各関連企業の強みを活かし、MBDを使った協業を推し進めていきたい」との宣言をもって本論のまとめとさせていただきます。