

モデルベース開発手法のADASシステム検証への適用事例

Case Study on Applying Model Based Development Method to Advanced Driver Assistance Systems Verification

横内 康夫* 石川 雄一*
Yasuo Yokouchi Yuichi Ishikawa

モデルベース開発手法を導入してシミュレーション環境を構築し、効率的にシステムの開発を行うためには、特にセンサ部について、実車評価環境を仮想環境上で忠実に再現することが重要である。超音波センサを事例にセンサ部をモデル化して仮想環境を構築した事例を紹介する。音波シミュレーション結果の分析をもとに構築したセンサモデルをシステム検証へ適用することで、実環境を忠実に再現したリアルタイム性のあるシミュレーションが可能となった。

In order to develop systems efficiently, it is important to reproduce real vehicle evaluation environments in virtual environments, especially when it comes to sensor parts. This is done by utilizing Model Based Development. We analyzed the result of acoustic wave simulation in the development of an ultrasonic sensor model. By using this sensor model in simulations for system verification, it has become possible to perform real-time simulations that reproduce actual environments.

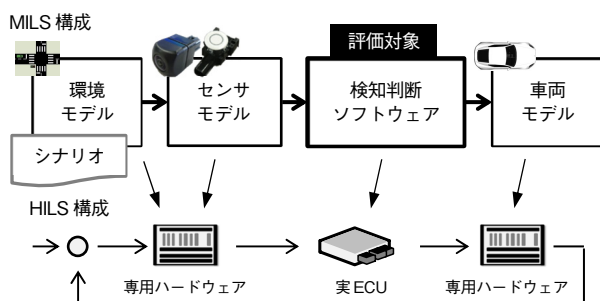
1. システム検証へモデルベース開発手法の適用

車載センサを用いたシステムとして構成されるAdvanced Driver Assistance Systems (ADAS)の開発では高機能化のために考慮すべきユースケースが多岐にわたる。その評価をすべて実車に頼らずに効率よく行うために、モデルベース開発手法[1][2]を取り入れて、以下の対象を評価するためのシミュレーション環境を構築した。

- ADASシステムの検知判断ソフトウェア
- Electronic Control Unit (ECU) のハードウェアおよびソフトウェア

シミュレーション環境を構築するために、以下の構成要素のモデル化を実施し、第1図に示すような構成とした。

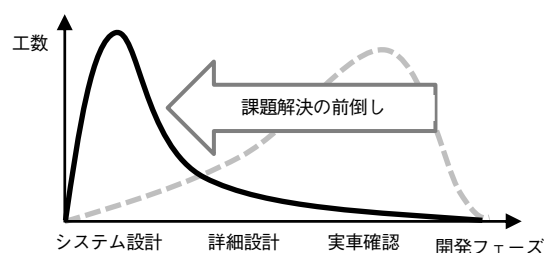
- 使用される環境条件を表現する「環境モデル」
- センサを表現する「センサモデル」
- 評価対象である「検知判断ソフトウェア」
- 車両の挙動を表現する「車両モデル」



第1図 シミュレーション環境の構成
Fig. 1 Schematic of simulation environment diagram

検知判断ソフトウェアを評価するための環境はモデルベース開発手法で用いられるModel In the Loop Simulation (MILS)として、外部環境含む車両全体のふるまいを再現できるように構成要素を仮想環境上で配置し、ECUを評価するための環境はHardware In the Loop Simulation (HILS)として、リアルタイムでの実機検証が実施できるよう、専用ハードウェアや開発対象であるECU上に構成する。

このシミュレーション環境を活用して第2図に示すように、開発後半段階での実車評価で課題解決を図るのではなく、設計段階で課題解決をして効率的に開発を行うことを目指している。シミュレーションで実車相当の評価を実施するためには、特にセンサから評価対象への入力信号について、実車で実施している評価環境を忠実に再現することが重要であると考えている。



第2図 シミュレーションを活用した開発スタイル
Fig. 2 Development style utilizing model simulation

2. 実環境を模擬するセンサモデルの構築

シミュレーション構成要素のうち、センサモデルに必要な要件を以下に示す。

- センサから出力される情報（以下物標と表現）について、実環境を忠実に再現する。

* オートモーティブ社 開発本部
R&D Div., Automotive Company

- 評価シナリオについて、実環境を忠実に再現する。
- 複数センサからの物標を再現する。

シミュレーションを効果的に実施するためには、実環境を忠実に再現する必要があり、多岐にわたるユースケースをより短時間で検証できることが望ましい。これら相反する課題を解決し、センサモデルを構築した事例を、超音波センサを例として以下に示す。

2.1 超音波センサの物標の再現

超音波センサは音波を送波して対象物からの反射波を受波してその往復時間成分から測距を実現する。また、その受波強度は反射対象物の種別を判定するために利用可能である。受波強度は反射面の曲率の影響を受けるため、壁のような平面と比較してボールのような曲面形状からの受波強度は小さくなる。

ここで、音波は空気を媒体として伝搬するため、音速や減衰率の影響と、測距する反射対象物の形状や材質の影響を受けやすい。このため超音波センサと対象物の幾何学的な位置関係から測距を実施する簡易なモデルでは、受波強度の再現は難しい。また、音波を再現するシミュレーション[3][4]によって、正確な受波強度の再現も可能であるが、計算規模が非常に大きいという欠点がある。

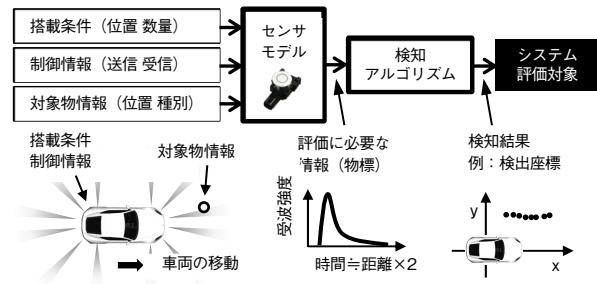
そこで、音波を再現するシミュレーションを仮想環境に組み込まずに受波強度を正確に再現するために、以下のようにモデルを構築した。

- 各種対象物に対する超音波の反射を把握するために音波を再現するシミュレーションを事前に実施
- シミュレーション結果から反射点やその受波強度を取得して分析
- 受波強度波形を模擬して評価対象への入力に必要な十分な物標を出力可能なモデルを構築

このモデルを仮想環境に組み込むことで、短い時間でリアルタイム性のあるシミュレーションが可能となる。また、評価シナリオを実現するために、ボール、壁、縁石や車止めなどの対象物種別に対しても個別に波形の再現が可能なモデルとした。このセンサモデルを仮想空間の車両上に複数配置することで、複数の超音波センサでの送受信を模擬することも可能となる。

2.2 構築したセンサモデル構成

全周囲12個の超音波センサによる物体検知に必要な機能を再現するために構築したセンサモデルの構成を第3図に示す。センサモデルは、環境モデルからの情報を入力として、受波強度の時間波形を模擬し、物標を検知アルゴリズムやシステム評価対象へ出力する。また、以下の機能を具備する。



第3図 センサモデルの構成

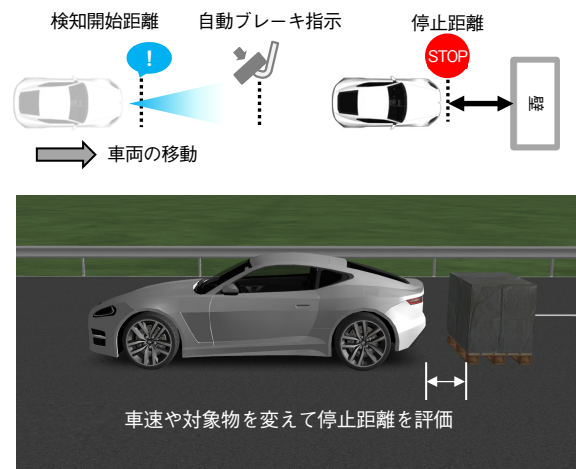
Fig. 3 Schematic of sensor model diagram

- 受波情報のセンサ物標化
- センサの指向特性や送受波特性の再現
- 制御入力の送受信タイミングでの物標出力
- 対象物に対応した物標の再現
- 以上項目の複数センサ化

このセンサモデルを用いることで、後段の検知アルゴリズムの入力を測距のための時間成分と種別判定に必要な受波強度も含めて再現し、対象物の種別に応じた物体検出アルゴリズムの検証をすることが可能となる。さらには、第1図に示すような環境からセンサと検知および判断と車両までの全体を仮想環境上で再現し、実車がまだ構築されていない開発の早期段階で評価することが可能となる。

3. システム検証への適用

構築したシミュレーション環境をシステムの検証へ適用した事例として、自動ブレーキ機能に対するシナリオ評価を、MILS環境でのシミュレーションにより実施した内容を第4図に示す。超音波センサを搭載した車両が対象物に対して走行する様子と、その間に超音波センサから出力さ



第4図 自動ブレーキ機能のシナリオ評価への適用事例

Fig. 4 Example of applying model simulation to AEB function test

れる物標をセンサモデルで模擬する。その物標をもとに、検知判断ソフトウェアが停止判断をして車両が期待通りに停止できるかの評価を実施することができた。このシミュレーション環境を用いて、車速条件や各種対象物やドライバ走行条件および環境条件といった、各種条件での評価を実施するなど、さまざまなシーンに適用して評価することも可能となる。

4. 今後の展望

開発した本技術により、車種展開時の事前検討による早期仕様最適化、リアルタイム性のあるHILS環境への組み込みによるECU実機も含めた検証、人や自転車の飛び出しを例とした危険なシーンへの適用、センサ種別追加による適用可能な評価対象の拡充を進めていく。

今後は、商材開発に適用して設計品質向上、さらには、商材とともに開発対象のモデルを提供することによる価値向上へ寄与していきたい。

参考文献

- [1] 山本透 他, 実習で学ぶ モデルベース開発, コロナ社, 東京, 2018.
- [2] 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期, “自動運転 (システムとサービスの拡張) 仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発”, <https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/202.pdf>, 参照 Apr. 20. 2021.
- [3] Y. Ikegami, “3D ultrasonic propagation analysis in flow field using Finite Element Method,” Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics. vol. 34, pp.49-50, Nov. 2013.
- [4] 平元 邦幸 他, “Voxel 有限要素法を用いた超音波伝播シミュレーション,” 第54回理論応用力学講演会 講演論文集, 1A10, Jan. 2005.