

# 車両シミュレーションと実車検証を統合する デジタルツイン環境の構築

Digital Twin Environment to Integrate Vehicle Simulation and Physical Verification

四方 隼人\*  
Hayato Shikata

山下 哲生  
Tetsuo Yamashita

荒井 光司  
Kouji Arai

中野 貴之  
Takayuki Nakano

畑中 健一  
Kenichi Hatanaka

藤川 裕之  
Hiroyuki Fujikawa

近年、自動運転に代表されるように自動車の制御プログラムは複雑化が進み、同時に環境規制の強化を背景にした電動化の進展によりパワートレインも多様化している。こういった中でも開発期間は短縮され、サプライヤに対しては車両目線での提案が求められている。当社では機械系と電源系を連携した車両シミュレーション技術や、乗り心地と電費のトレードオフを検証する技術を開発してきた。さらに、車両目線でのシステム設計・提案力を強化するため、車両全体を模擬したシミュレーション技術開発を進めており、今回はEV自動充電システムを題材にして実車と連動した仮想環境（バーチャル車両）を構築したので紹介する。

In-vehicle control software has become complex, and power trains have been diversified due to the advancement of vehicle electrification pushed by tightening environmental regulations. Nevertheless, we are required to shorten our development time and propose driver-friendly vehicle systems. We have worked on the development of mechanical and electrical co-simulation techniques as well as simulation-based quantitative evaluation methods for the trade-off between power consumption and ride comfort. To strengthen our system design and solution proposal capabilities, we have also been developing a whole vehicle simulation technique. This paper introduces our virtual car that can be connected with the real driving environment, focusing on an electric vehicle charging system.

キーワード：自動車、シミュレーション、バーチャル車両

## 1. 緒 言

近年、世界中で開発が進む自動運転や高度先進運転支援システムに代表されるように、自動車に搭載されるECU (Electronic Control Unit)、及びそこに実装される制御プログラムは複雑化、巨大化の一途をたどっている。また、世界各国における環境規制の強化を背景にして自動車の電動化が進み、EV (Electric Vehicle)、HEV (Hybrid Electric Vehicle)、PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) などパワートレインも多様化している。こういった状況においても車両開発期間は短縮されており、サプライヤに対しても単に部品を納入するだけでなく、仕様書や図面作成にまで踏み込んだ車両目線での提案が求められている。

これらに対し、当社ではかねてよりシミュレーション技術の開発に取り組んでおり、当社電源関連部品が車両性能に与える影響を定量化する車両シミュレーション技術<sup>(1)</sup>や、電気自動車においてユーザ目線での評価軸である電費と乗り心地の関係を定量化する乗り心地シミュレーション<sup>(2)</sup>を開発してきた。さらに、車両目線でのシステム設計・提案力の強化のために、車両全体を模擬したシミュレーション技術開発を進めており、今回は実車と連動した仮想環境（バーチャル車両）を計算機上に構築し、EV自動充電システムを題材にして実機試作前でも広範な条件で精度の高い設計検証が可能となるシミュレーション技術開発

に取り組んだ。顧客への早期コンセプト提案を通じたニーズのすり合わせ、研究開発のスピードアップ、安全・品質向上等に貢献が期待される本シミュレーション技術について紹介する。

## 2. デジタルツイン

デジタルツインとは、工場や製品など現実世界で起きている出来事を、そのままデジタルの仮想環境上にリアルタイムに再現するというコンセプトである。仮想環境でのシミュレーションによる設計検証は従来から行われているが、デジタルツインのコンセプトでは、現実世界で取得したデータを仮想環境にもフィードバックし、モデルの精度を高めることで現実世界と仮想環境がより近づき、さらに高度なシミュレーションが可能になるというものであり、次世代のものづくりにおける重要な技術として注目されている。

## 3. EV自動充電システム

現状、EVを充電するには自宅、もしくは公共の場所等に設置された急速／普通充電器と車両を、充電ケーブルを用いて手動で接続し充電するのが一般的である。しかし、EV

および自動運転による無人運転の普及を想定すると、充電時に人手が必要となることは使い勝手が悪く、無人で自動的に充電を開始できることが望まれる。そこで、本研究ではEV自動充電システムの開発を想定する。自動で充電を開始するためには、固定された充電器の充電ケーブルに対して車両の充電コネクタが勘合できるように駐車するか、ワイヤレス給電が考えられるが、いずれの方式を採用したとしても、高精度な駐車位置決めが必要となる。

自動で駐車するシステムは、パーキングアシスト機能としてドライバの駐車を補助するシステムが市販の車両にも搭載されている。駐車位置近辺までドライバが車両を運転した後、車両に搭載されたカメラで撮影した画像などから駐車位置を設定することで、ステアリング操作を車両が自動で行い駐車を支援する機能である。これらのシステムでは駐車することが目的となっているため、駐車枠内に車両が収まればそれ以上の精度は概ね必要ない。これに対し、本研究で開発するEV自動充電システムは、自動で駐車した後に充電を行うシステムとしているため、より高精度な駐車位置が求められる。

### 3-1 システム詳細

図1に本研究におけるEV自動充電システムの概要を示す。自動充電の流れとしては、まず路上に設置された駐車目標を示すマーカを車載したバックカメラにより撮影し、画像解析手法を用いて画像内から検出する。検出されたマーカまでの相対的な距離と角度を算出し、現在の停車位置から目標駐車位置までの走行経路を算出する。その後は算出した走行経路に沿ってステアリング角度、走行速度を制御して目標停車位置まで移動して停車する。停車したのち、駐車目標位置と車両の相対位置誤差が一定の範囲内であればEVのバッテリーへの充電を開始する。また、安全性確保のため障害物センサ（超音波センサ）を備え、人や周辺の物体を検知した場合は衝突前に停止する機能を持つ。

上記の機能を実現するため、本システムには以下の3つのECUを搭載する。

#### ①位置検出ECU

バックカメラと接続され、画像解析処理により送電ユニット位置（目標駐車位置）を検出する。

#### ②自動駐車ECU

目標駐車位置から走行軌跡を算出し、ステアリング角度、走行速度を制御する。超音波センサと接続され、障害物を検知した場合は車両を停止させる。

#### ③充電制御ECU

目標駐車位置に停車後、充電の開始、停止を制御する。

これらのECUを搭載するベース車両として、電動ゴルフカートを選択した。選択した主な理由は、①外部から充電が可能ナリチウムイオンバッテリーを搭載していること、②バッテリーでモータを駆動するEV車であること、③乗用車に比べて構造、制御がシンプルであり、プラントモデルの完成度を向上させやすいことがあげられる。

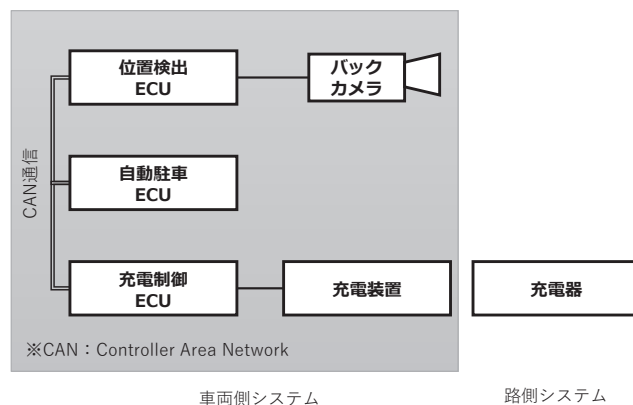


図1 自動駐車システム概要

## 4. シミュレーション概要

図2にシミュレーションの概要を示す。本研究の仮想環境（バーチャル車両）では、車両の物理的な挙動を表現する車両モデルと、それを制御する仮想ECU（仮想マイコン）モデルから成り、結果を3D描画エンジンで表現する構成とした。

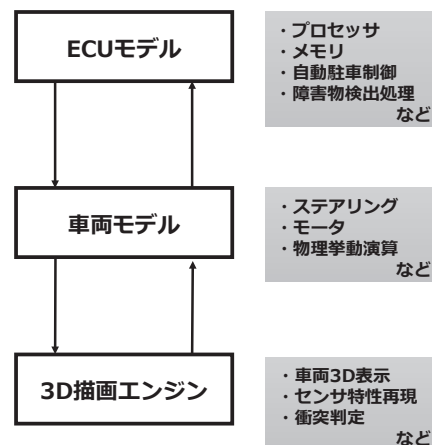


図2 シミュレーション概要

### 4-1 バーチャル車両（プラントモデル）の構築

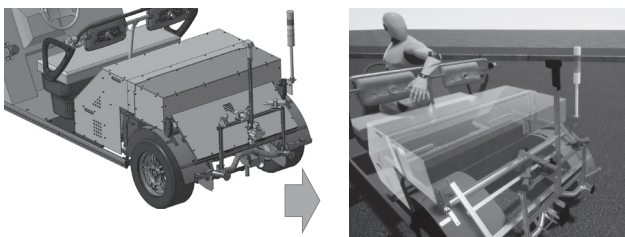
車両（ゴルフカート）の物理的な挙動を表すために、ステアリング、操舵ポテンショメータ、モータ駆動系などの要素に分解し、それぞれをモデル化した。モデル化においてはゴルフカートメーカーから入手した主要諸元や、車両の加速、減速など過渡挙動の特性データを用いてモデル化、フィッティングを行い作成した。また、自動駐車システムにおいては低速で後退しながら操舵する運転が主となるため、車両の過渡挙動、姿勢を表現するモデルには

Kinematic Bicycle Model<sup>\*1</sup>を採用した。

また、車両の運動だけでなく、超音波センサ、ブザーなどの機能部品の特性もモデル化し、シミュレーション上で動作可能とした。

#### 4-2 3D描画エンジン

車両のプラントモデルの計算、及び計算結果を表示する環境として3D描画エンジンを使用した。もとはゲーム開発用エンジンとして開発されているが、その表現力が注目され、現在では映画やチュートリアル、シミュレーションのビジュアライゼーションなどにも利用されている。シミュレーション結果を3Dで描画することで、従来のように結果をテキストベースで出力するのに比べ、より直感的に説得力を持たせることができる。また、車両モデルの作成にあたり、車両の3D-CADデータをインポート可能な環境を構築した(図3)。これにより3D-CADによる設計データと連携したシミュレーションが可能になり、例えば、超音波センサの取り付け位置の変更が安全性(車両の制動距離)の点で問題ないか、といった検証を行うことができる。



CADデータ

3D車両モデル

図3 CADデータと3D車両モデル

#### 4-3 ECUモデルの構築

プラントモデル(車両モデル)を制御するためのECUモデルについては、マイコンの機能をCPU、メモリ、GPIOなどの要素に分解しハードウェア記述言語<sup>\*2</sup>でモデル化した。ECUとして動作させるにはマイコンのモデルだけでなく、マイコン上で動作するプログラムも必要となる。開発期間短縮が求められる昨今、開発のV字プロセスをシームレスにつなげるためにも、シミュレーションで検証したソースコード等の開発資産が後工程でもそのまま使用できることが望ましい。そこで、実機ECU(実機マイコン)用にC言語で開発したソースコードからコンパイル、ビルドして生成された実機マイコン上で動作する実行ファイル(absファイルなど)をそのまま使用できる環境を構築した(図4)。

#### 4-4 車両モデルとECUモデルの結合

車両モデルのシミュレータとECUモデルのシミュレータは計算機上では別プロセスとして動作する。連携して両

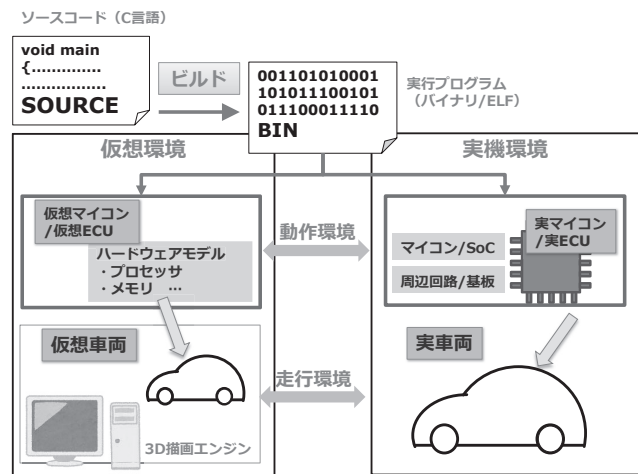


図4 仮想環境と実車環境

者を動作させるためにプロセス間通信を用いて時刻情報、車両制御情報、車両位置情報などをやりとりする構成とした。時刻情報を交換して同期を行うことにより、いずれかのシミュレータの計算負荷が重くなりシミュレーションの実行速度に差がある場合でも、安定したシミュレーション結果が得られる。また、別プロセスとしたことで、各シミュレータは別計算機上に配置することも可能であり、車両モデルやECUモデルの複雑さ、台数などに応じて計算機を増設・増強してスケーラビリティ(拡張性)を確保することも可能である。

### 5. シミュレーションによるアルゴリズム検証

作成したシミュレーション環境を用いて自動駐車後の停止位置誤差を検証した(図5)。開発当初、目標位置に対して数十センチ程度の誤差であったが、車両の物理特性を考慮したアルゴリズム改善などにより、一定の条件下で数センチ程度まで改善することができた。アルゴリズムを改善す

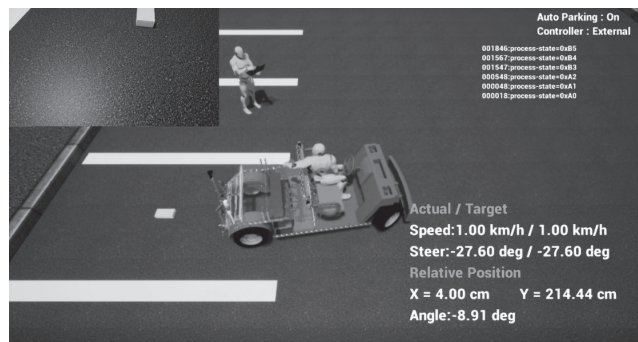


図5 自動駐車シミュレーション画面

る過程では、得られた結果から仮説を立て、改善アイデアを出し、実装して検証するループを繰り返す。シミュレーションを実行する際のパラメータ設定、実行、および結果の収集・解析はCI<sup>\*3</sup>ツールを使用して自動化しており、アルゴリズム改善からソースコード実装、シミュレーション実行、結果の解析までの一連の流れを連続的かつ高速に実施することができる。

## 6. 実車環境との連動

バーチャル車両として環境を構築し、シミュレーションによるアルゴリズム改善で性能に一定の目途がついたことから、実車を用いた検証へ移行している。前述したように、実機マイコン上で動作する実行ファイルはシミュレーション上で検証できているため、完成度の高い状態で実車検証を行うことができる。また、実車検証において改善点や不具合が見つかった場合、それらを実装したプログラムを作成し再度バーチャル環境においてシミュレーションによる検証を行うことで、性能向上の目途づけとともに試験条件を振った際に思わぬ悪影響がないか、事前に検証することが可能である。

## 7. 結 言

EV自動充電システムを題材に、計算機上にバーチャル車両を構築した。バーチャル車両を用いたシミュレーションでの検証で、実機が完成する前でもアルゴリズム検証・改善ができるようになった。また、3D描画エンジンを組み込んだことで3D-CADデータとの連携や、安全性の検証にも有用であることがわかった。

実物での試験を行わずにシミュレーションを活用する「バーチャルテスト」を自動車の型式認証へ使用する動きが欧州で進んでいるなど、シミュレーションを含めたデジタルエンジニアリングへの対応は重要性を増している。シミュレーションの対象として今回はEV自動充電システムを選んだが、今後は充電関連製品に加え、バーチャル車両としての範囲を広げ、当社V2X関連、電源関連商品、ハーネス商品の車両目線での提案へ活用していきたいと考える。

## 8. 謝 辞

本研究にあたってはヤマハモーターパワープロダクツ(株)よりゴルフカートに関する諸データの提供、制御に関するアドバイスなど多大なるご協力をいただいた。心より感謝を申し上げます。

## 用語集

### ※1 Kinematic Bicycle Model

自動車の運動を力学的な関係で表す車両モデルの一つで、車両の重心を中心として考えるモデルのこと。前輪と後輪の速度ベクトルを別々に扱うため、操舵時に車両中心の速度ベクトルは車両の方向と一致しない。高速度域では車輪のすべり角が大きくなり精度が悪化するので低速度域の表現に向く。

### ※2 ハードウェア記述言語

ハードウェアの動作仕様を記述するための言語。LSIの設計などに使用され、素子の構成、動作条件や接続などを記述することができる。ソフトウェアのプログラミング言語と比較して、部品の処理の並行性や時間の経過を表現するところに特徴がある。代表的な言語としてはVHDL、Verilog HDL、SystemCなど。

### ※3 CI

Continuous Integrationの略称。ソフトウェアの開発において、開発者がソースコード変更したことを契機に、自動化されたビルド、テスト、デプロイなど一連のプロセスを繰り返し、各工程における種々の問題発生を低減、または早期に発見し品質、納期、コストへの影響を抑えることを目的とするプラクティス。CIを支援するツールとしてJenkins、CircleCI等がある。

## 参 考 文 献

- (1) 荒井光司 他、「機械系と電源系を連携した車両電源シミュレーション技術」、SEIテクニカルレビュー第190号、P.111 (2017)
- (2) 荒井光司 他、「車両シミュレーションを活用した、電費と乗り心地の定量評価手法」、SEIテクニカルレビュー第193号、P.6 (2018)

執筆 者

---

四方 隼人\* :自動車新領域研究開発センター  
主査



山下 哲生 :自動車新領域研究開発センター  
主査



荒井 光司 :自動車新領域研究開発センター



中野 貴之 :自動車新領域研究開発センター



畑中 健一 :自動車新領域研究開発センター  
室長



藤川 裕之 :自動車新領域研究開発センター  
センター長



---

\*主執筆者