

## AI活用によるモデルベース開発への取り組み

松澤 邦裕\* 山下 貴志\* 佐藤 甫\* 松原 聖\*\*

## Initiatives for Model-Based Development Using AI

Kunihiro Matsuzawa\*, Takashi Yamashita\*, Hajime Sato\* and Kiyoshi Matsubara\*\*

近年で最も影響力のある技術的なトピックスの1つはAIである。当社でAI事業を実施するにあたり、まだAIを活用した事例が少ないモデルベース開発（MBD）への適用に着目している。

当社では、2016年からCAEの各種サービスを拡大し、ID-CAEを用いた「モデルベース開発 支援サービス」を開始し、2018年から「自動車産業におけるモデルベース開発 支援サービス」を続けている。各種MBDツール（OpenModelica、MATLAB/Simulink、等）に対するモデルの開発や、モデルブロックの高速化、FMUによるモデル交換、また自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）からの開発受託などの事業を展開している。弊社の強みは、3D-CAEを中心としたシミュレーションソフトウェアの開発実績と、長年積み重ねた科学技術計算に対する知見であり、実際にモデルを開発し、連携して計算可能な実用的なプラットフォームを開発した技術力である。

一方、AIについては、計算機の処理速度が向上し、クラウドコンピューティングなどの発展により安価な計算リソースが手に入るようになった2015年頃、GoogleやFacebookなどがその数年前から行っていた投資が実り、ディープラーニングの本格利用が実現した。当社も、2019年に当社独自の深層学習ツールAdvance/iMacle[1]をフルスクラッチで開発し、J-PARC（Japan Proton Accelerator Research Complex 大強度陽子加速器施設、茨城県東海村）[2]で行われている中性子散乱実験の実験データに深層学習（教師あり学習）を適用して、非常に良好な結果を得ることができた。

これらMBDとAIを組み合わせることによる、AIを活用したモデルベース開発について、今後の展望と事業展開を述べる。

Keywords: MBD、モデルベース開発、モデル流通、AI、機械学習、Modelica、OpenModelica、OSS

## 1. はじめに

MBD（Model Based Development：モデルベース開発）とは、一般にはID-CAEなどのシミュレーションモデルを用いた事前評価を取り入れた開発のことを指す。MBDは、開発プロセスにシミュレーションを導入することで、開発コストの削減と開発期間の短縮効果をもたらし、さらに、実機検証では試験することが難しい条件についてもシミュレーションによる試験が可能となり、

\*アドバンスソフト株式会社 第3事業部

3<sup>rd</sup> Computational Science and Engineering Group, AdvanceSoft Corporation

\*\*アドバンスソフト株式会社 代表取締役社長

President, AdvanceSoft Corporation

システムの安全性、品質の向上が期待できる。

経済産業省では、自動車産業の国際競争力をより高めるため、2015年度に「自動車産業におけるモデル利用のあり方に関する研究会」を設置し、わが国のサプライチェーン全体で、企業間のすり合わせ開発を、実機を用いずバーチャル・シミュレーションで開発を行う手法（MBDを指す。）により高度化する「SURIWASE2.0」を進めるために必要な取り組みの検討を行ってきた。2017年度の取りまとめとして、自動車メーカー及び部品メーカーとの参加企業が今後MBDの利活用をコミットメントした「ガイドライン」「車両性能シミュレーションモデル」を公表した。現在も自動車産業全体における「モデル流通」の実現に向け

て、さまざまな取り組み[3]が行われており、共通基盤としての「車両性能シミュレーションモデル（車両モデル）」[4]が公開されている。2014年に設立された自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）では、先進的な技術を組み込んだ3次元エンジン燃焼解析ソフトウェア HINOCA や、車両モデルのエンジンから排気部分のモデル構築に向け、OpenModelica[5]を用いたエンジンの性能シミュレーションツールの構築[6]を行っている。

「SURIAWASE2.0」の核心である、自動車産業全体における「モデル流通」の実現には、各社が投資し、研究し、開発した、知的財産の塊であるモデルを他社に提供するという極めて高いハードルが存在することが、理想とする状況に進み出すことを困難にしている。しかし、モデルの提供はできないが、実物による実測データを入手できる可能性は高い。それら実測データから、装置モデルや設備モデルを類推することができれば、「モデル流通」のレベルを一步進めることができる。このモデルの類推に、人工知能（Artificial Intelligence：AI）の種類の一つである機械学習を活用することを提案する。今後、「AI活用によるモデルベース開発」事業を進めるにあたって、当社が貢献できる技術について本稿で述べる。

## 2. 機械学習とディープラーニング

ここでいう AI とは、機械学習とディープラーニング（深層学習）を指す。現在、機械学習・ディープラーニングは非常に多岐にわたる用途に用いられているが、代表的な学習手法やアルゴリズムを大まかに分類すると図1のようになる。まず、学習方法は、正解情報である教師データを与える「教師あり学習」と教師データを与えない「教師なし学習」、および、試行錯誤を繰り返すことで自動的に何らかの価値を最大化する方法を学習する「強化学習」の3つに分けられる。また、それぞれの学習手法を適用したアルゴリズムとしては、教師あり学習には「分類」や「回帰」、教師なし学習には「クラスタリング」や「アソシエーション」、強化学習には「制御」や「最適化」などがある。

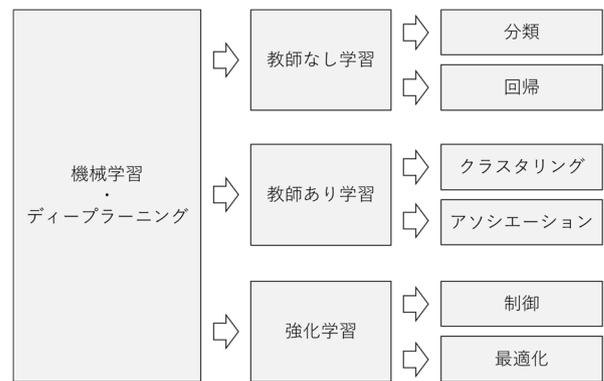


図1 機械学習における適応の対象

### 2.1. 教師あり学習

教師あり学習—分類は、与えられたデータを指定されたクラスに分類する方法であり、手書き文字画像を見て、書かれている数字を判別するといった用途に用いられる。

教師あり学習—回帰は、与えられたデータからある値を予測する方法であり、駅からの距離、築年数、専有面積などのデータを入力すると、マンションの販売価格を予想するといった用途に用いられる。

### 2.2. 教師なし学習

一方、教師なし学習は、データの傾向やその構造などの特徴を抽出するために用いられる。教師なし学習—クラスタリングは、与えられたデータを分類するという点では教師あり学習—分類と同様だが、教師データ、すなわち正解を与えずに、データに含まれる特徴からどのようなグループに分類できるかを自由に判断させる。

教師なし学習—アソシエーションは、与えられたデータの中から関連性を抽出する方法である。アソシエーション分析は、元々は販売時点情報管理（POS System）のデータ分析のために考案された手法で、商品の購入履歴から、どの商品がどの商品と一緒に購入される傾向があるか、といった分析に用いられる。

### 2.3. 強化学習

強化学習は、報酬＝良くしたい指標値はあるが、どうすればその指標値を良くできるのか、その手法が分からない対象を攻略するための学習手法

である。

強化学習制御は、例えばロボットアーム制御では、最終時間での目標位置からのズレをコストと考え、これを最小化する最適制御を獲得する手法である。制御に関わる直接的なハンドコーディングがないことで、省力化であり、かつより優れた解を獲得する可能性もある。特に不確実性（摩擦やガタ、振動、誤差など）や計測が困難な未知パラメータが多い場合、すべての場合分けに対処できないことが予想され、自動的に最適解を獲得できる強化学習の有益性が期待できる。

強化学習最適化は、例えば横スクロールアクションゲームなどで、ゴールまで到達しつつ、得られる得点を最大化するような操作を獲得する手法である。

### 3. モデルベース開発への AI 活用

モデルベース開発を実際の製品開発プロセスに導入する場合、いくつかの課題が存在する。

大きな課題の 1 つは、モデルの正確性である。実物から取得された実測データへの合わせ込みが十分に行われており、実際の使用範囲において保証されたモデルでないとなれば設計者は使ってくれない。それが保証できるとなれば設計者も「使ってみようか」という気になり、設計プロセスへのモデルベース開発の導入が進む。その後は、製品開発ライフサイクル全体で、モデルを改善し続けることで、モデルベース開発が製品開発プロセスの改善に寄与する。まずは設計者の要求するモデルの正確性を得るために、実測データに合わせ込みながら、数理モデルとそのパラメータを調整していく作業になる。

本稿では、この合わせ込みに対する課題を解決するために AI の活用を推奨した。多くの実測データがあり、そのデータと整合性をとるためのモデルパラメータを決定するためには、特に深層学習を利用した機械学習は有効な手法であると考えられる。

#### 3.1. 応答曲面モデル

モデルベース開発における感度解析を行う場合、応答曲面モデルが必要になる。

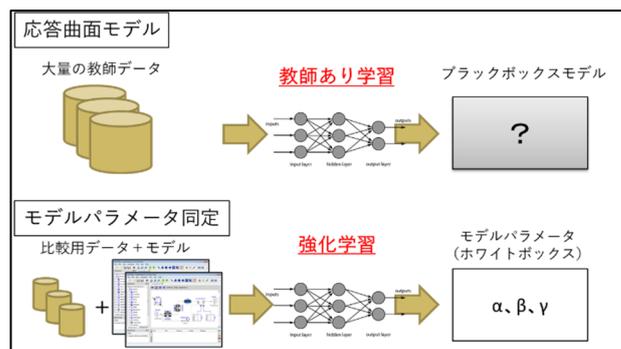


図 2 応答曲面モデルとモデルパラメータ同定の概念図

従来、実験計画法などにより得られた離散的なデータを連続的な曲面へ近似する方法を応答曲面法と呼び、作成された近似式を応答曲面と呼ぶ。実験計画法とは、効率のよい実験方法を設計し、結果を適切に解析することを目的とする統計学的手法である。しかしながら、実験計画法が効率的であるとはいえども、入力変数が増えれば、必要な実験の数も増える。実機を用いた実験を行う場合、好きなだけ実験することが許されることはないと思われる。

このような方法とは別に、深層学習（教師あり学習）により、実験データを学習/教師データとして応答曲面モデル（回帰モデル）を構築することができる（図 2）。学習用データの数が多ければ多いほど、正確な応答曲面モデルとなるが、データが少ない場合でも、有効な手段となる可能性がある。しかしながら、ニューラルネットワークの特徴として、モデルの物理的な意味合いは薄れ、ブラックボックスとなる。

#### 3.2. モデルパラメータ同定

モデルパラメータ同定とは、ある数理モデルと、そのモデルに合わせ込みたいデータが存在する場合、モデルパラメータを自動的に、かつ最適に決定するために、（深層）強化学習を利用する手法と定義する。図 2 に示した概念図のように、学習過程において、モデルパラメータを AI が変化させながら、シミュレーションを繰り返し、比較用データに合わせ込むように、モデルパラメータを最適解へ収束させていく。また学習済みモデルは、

最適解を探索する範囲が方策として絞られており、新しいデータに合わせ込む場合も、収束までの時間を短縮できる。

#### 4. モデルパラメータ同定システム

実測データに合わせ込み、正確なモデルパラメータを得るために、AI活用は有効な手法であると述べた。しかしながら、モデル開発者の多くは、AIの専門家でもないし、自らAI環境を構築し、習熟に掛ける時間もない。設計者も同様である。そこで、モデルパラメータを同定するためのプラットフォームをパッケージ化して「モデルパラメータ同定システム」として提供することを提案した。その「モデルパラメータ同定システム」の理想像は、「数理モデルと合わせ込みたいデータを用意するだけで、数理モデルに対するモデルパラメータが同定され、最適なモデルが完成する」というものである。今後、当社では、この「モデルパラメータ同定システム」の開発を進めて行く。

モデルベース開発を実際の導入する場合の、もうひとつの大きな課題は、MBD ツールが比較的高価であるための、コスト問題である。

当社は、「モデル流通」事業にも取り組んでいるが、「モデル流通」の普及のためには、大企業・大手メーカーのみならず、そこで必要な部品を作成する中小メーカーなどにも、同様の環境を普及させる必要がある。そのため、当社が提案する「モデルパラメータ同定システム」では、商用にも無料で使用できるオープンソースソフトウェアを主体に開発し、その普及を図る計画である。具体的には、MBD ツールは OpenModelica を使用し、機械学習のソフトウェアライブラリも TensorFlow や PyTorch といった商用利用が可能なフリーのツールを使用する。

学習過程において、MBD ツール上でシミュレーションを何度も実行する必要があるため、制御できる MBD ツール (OpenModelica、Matlab/ Simulink、等) については、外部から実行制御 (バッチ処理) が可能である必要がある。MBD ツールの代わりに、MBD ツールから Export された FMU を実行制御する実装も検討している。また、学習回数がパ

ラメータ数やその自由度に応じて増大するため、現実的な時間内に収束させるためには、システム全体の高速化が必須である。

今後、開発を予定しているソフトウェア類は、オープンソースソフトウェアを流用して構築することを前提としており、ライセンスもそれぞれのオープンソースソフトウェアに従うことになる。

#### 5. 今後の展望

「AI活用によるモデルベース開発」支援サービス事業を展開するにあたって、当社が貢献できる技術について本稿で述べた。

当社では、「モデル流通」の実現に向けた貢献として、「モデルパラメータ同定システム」を無料で使用できるオープンソースソフトウェアから組み上げることで、まだモデルベース開発が、手間と料金の問題で、導入が進んでいない企業に対しても、普及を促進したいと考えている。事業展開としては、Modelica によるモデル開発や、FMU によるモデル移植、AI活用などのコンサルティングを主体として、各社へのカスタマイズ対応や、AI学習モデルの設計・開発の支援などを事業とする方向で進めている。

#### 参考文献

- [1] [http://www.advancesoft.jp/support/download/37s\\_imlib\\_magazine\\_961.html](http://www.advancesoft.jp/support/download/37s_imlib_magazine_961.html)
- [2] <https://j-parc.jp/c/index.html>
- [3] <https://www.meti.go.jp/press/2018/04/2018040403/20180404003.html>
- [4] [https://epc.or.jp/fund\\_dept/sim\\_foundation/2018\\_model](https://epc.or.jp/fund_dept/sim_foundation/2018_model)
- [5] <https://openmodelica.org/>
- [6] <https://www.aice.or.jp/science/>

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイルがダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)