

3D CAEを製造現場で活かすモデル低次元化技術
スモールデジタルツインを使った金型温度の均一化事例のご紹介

サイバネットシステム株式会社

CYBERNET



はじめに



生産技術の3D CAEモデルを活用した金型温度のリアルタイム可視化と均一化手法について、以下のアジェンダにてご紹介してまいります。

1. 金型内部の温度のリアルタイム可視化と均一化手法
2. モデル低次元化 (ROM)
3. デジタルツインを活用した制御システムの構築
4. バーチャルセンサの実装
5. サイバネットの技術支援領域
6. まとめ

尚、Ansysがご提供している以下の機能を活用いたします。

- ・モデル低次元化技術
- ・Edge Computing

モデル低次元化機能は、Ansysにおける3D CAEモデルに限らず、あらゆるCAEモデルに対応しております。



1. 金型内部の温度のリアルタイム可視化と均一化手法



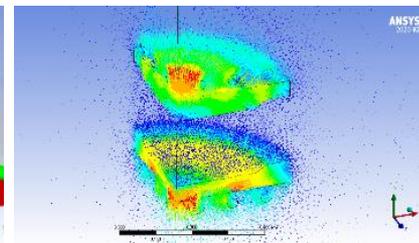
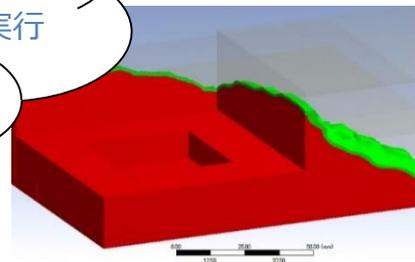
リアルセンサの課題

鋳造/射出成形などの金型を使った加工方法の品質を上げる為には、温度管理が非常に重要です。ところが、金型内部にはセンサがつけられず、温度を直接測ることができません。

- ・ 現実の装置から取得できるデータは金型内部から離れた位置の温度、
- ・ 金型を冷却するためのバルブの開度/時間など、



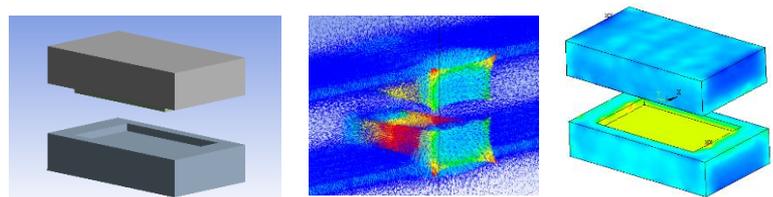
CAEによる熱解析で予測は可能。
もし、等価な予測機能をリアルタイムに実行
することができれば、温度制御
(温度管理) が可能になる・・・



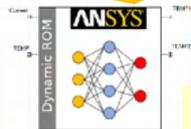


金型内部温度のリアルタイム可視化

3DのCAEモデルを低次元化(1D化)することで、計算速度を大幅にアップすることが可能です。その結果、実装置のデータを取り込んで熱解析をリアルタイムに計算することができるようになります。この技術を使うことで、金型内部の温度をリアルタイムに可視化することができ、金型温度を均一化できていない箇所がどこか、目標温度との差を定量的にリアルタイムに把握することができます。このような技術を仮想センサまたはバーチャルセンサなどと呼びます。



モデル低次元化 (ROM)



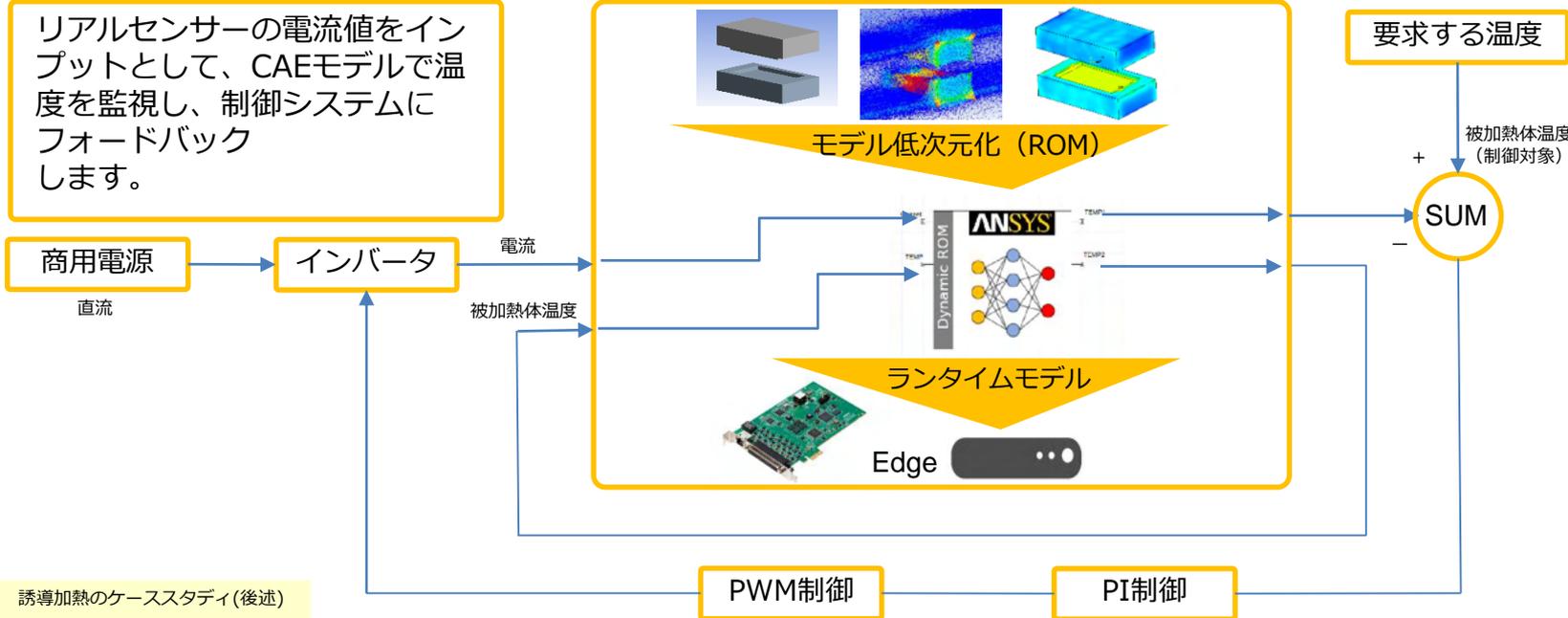
誘導加熱のケーススタディ(後述)



金型温度の均一化手法

バーチャルセンサで取得した温度を温度調節器にフィードバックすることで金型温度の均一化が図れます。

リアルセンサーの電流値をインプットとして、CAEモデルで温度を監視し、制御システムにフィードバックします。



誘導加熱のケーススタディ(後述)



2. モデル低次元化 (ROM)

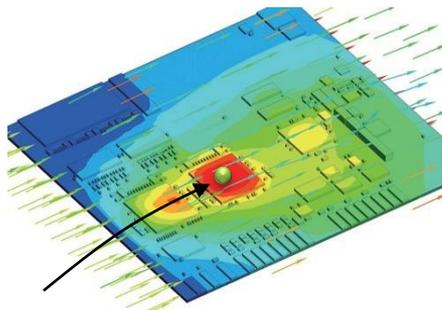


モデル低次元化（ROM）とは、

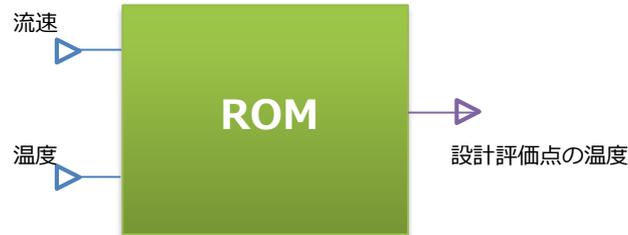
FEMや CFDなどの3D シミュレーションのモデルの計算量を減らす（システム化する）手法のことをROM といいます。

大規模で複雑なモデルに対して、必要な解析時間または記憶容量を削減するために、本質的な動作と支配的な効果を保持したまま高忠実度モデルを単純化したものです。

3D CAE



1D CAE

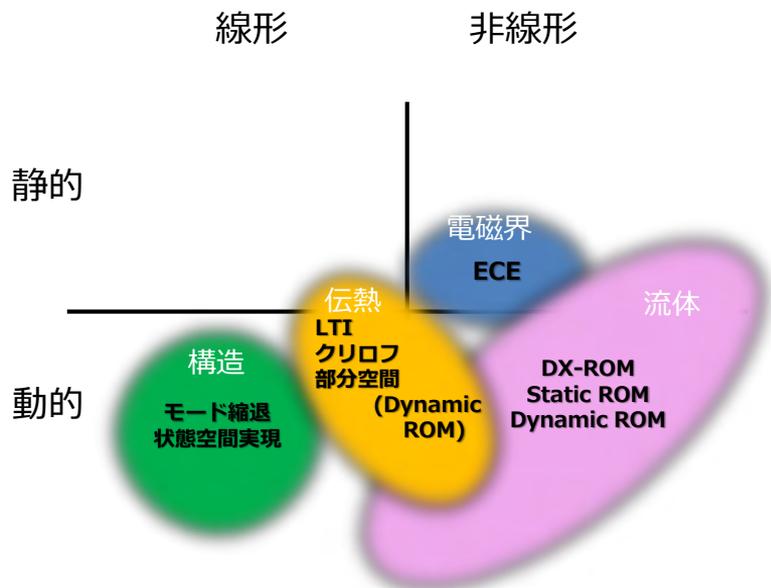


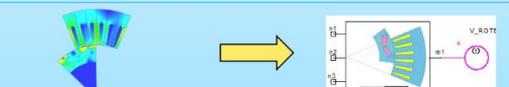
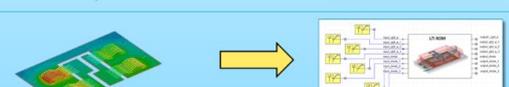
Reduced Order Modeling(ROM)またはModel Order Reduction(MOR)と呼ばれます。



AnsysのROM対応領域

Ansysが対応する、ほぼすべての物理領域でモデル低次元化（ROM）を活用できます。また、Dynamic ROMはAnsys以外の3Dソルバーモデルや実測値などにも対応しています。

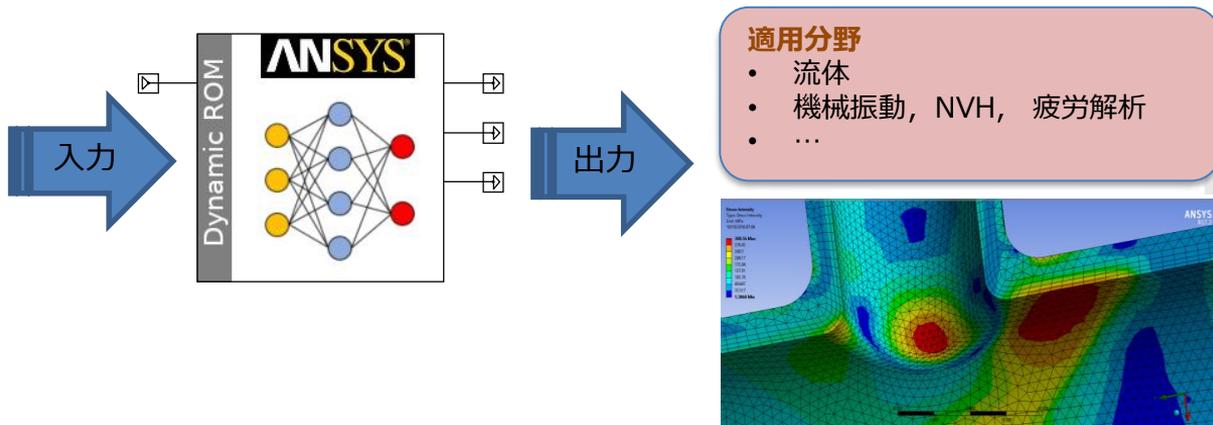


Mechanical	
Electrical	
Electromagnetic	
Thermal	
Fluid	



Dynamic ROMについて

- ・ システム同定や時系列解析のディープラーニングで 사용되는 (Recurrent Neural Networks : RNN) に基づく手法
- ・ 非定常/非線形の物理領域にも対応

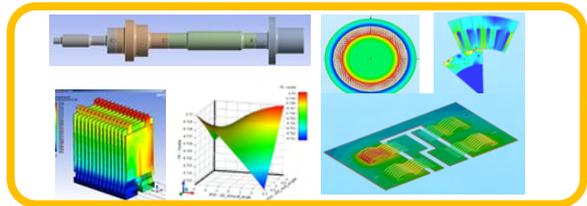




ROMの1D利用環境

FMU形式で出力可能なROMモデルは、様々なシステムシミュレーション環境で活用することが可能です。

- 振動・伝熱・熱流体・電気・電磁場

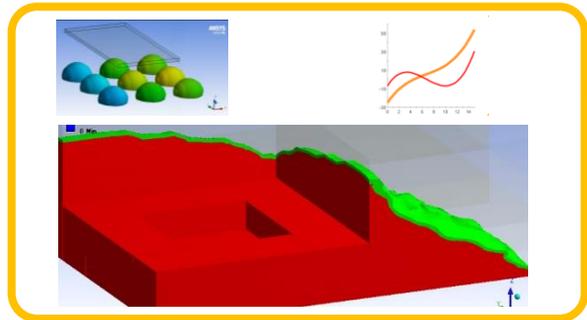


Ansys Mechanical, Fluent, Maxwell
3D ROM

FMU
Simulink等

Ansys Twin Builder

- 非線形・非定常・Ansys以外の3Dソルバー、実測値



Ansys Twin Builder
Dynamic ROM

ランタイムモデル
edge



3. デジタルツインを活用した制御システム構築

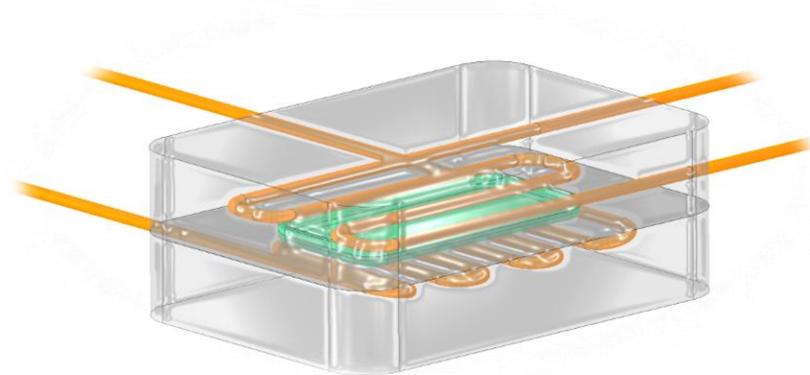


検証目的

1. 渦電流による金型加熱システムにおいて、高品質で生産性の高い技術を構築するにあたり、1DシステムシミュレーションへROM化(低次元化)できるか検証する。
2. 本検証のポイントは、温度依存性のある電気抵抗と熱伝導率といった非線形を考慮できるROMの構築にある。

ROM化に使用したアプリケーション

アプリケーション	用途
Ansys SCDM	3D モデル化
Ansys Mechanical	過渡伝熱解析
Ansys Maxwell	渦電流解析
Ansys Twin Builder	ROM化





解析フロー

部材の温度依存性(非線形)を考慮するために、過渡伝熱の温度分布を磁場解析に渡し、電気抵抗率を更新しながら発熱量を計算。その時間平均発熱を再度伝熱に渡すフローで表現。

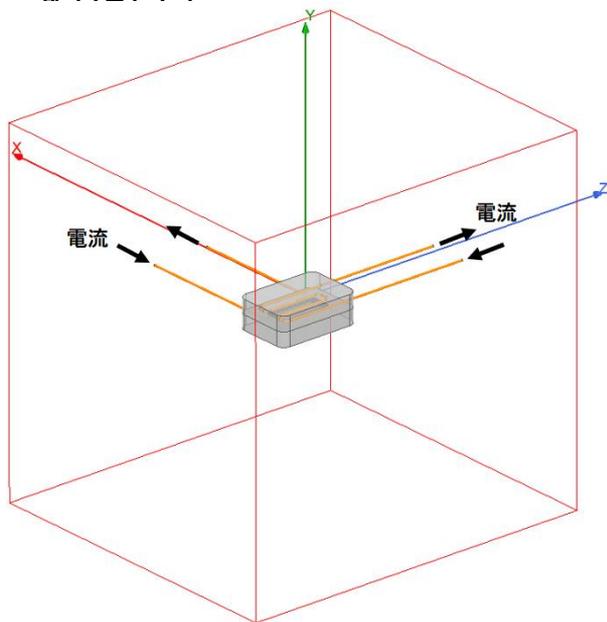




各解析のモデルと条件

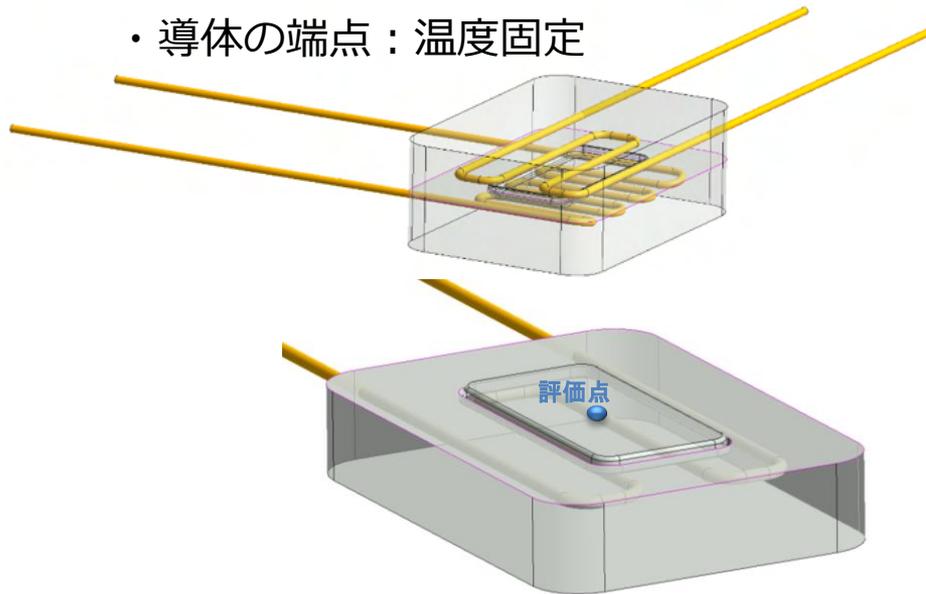
磁場解析

- ・ 調和荷重



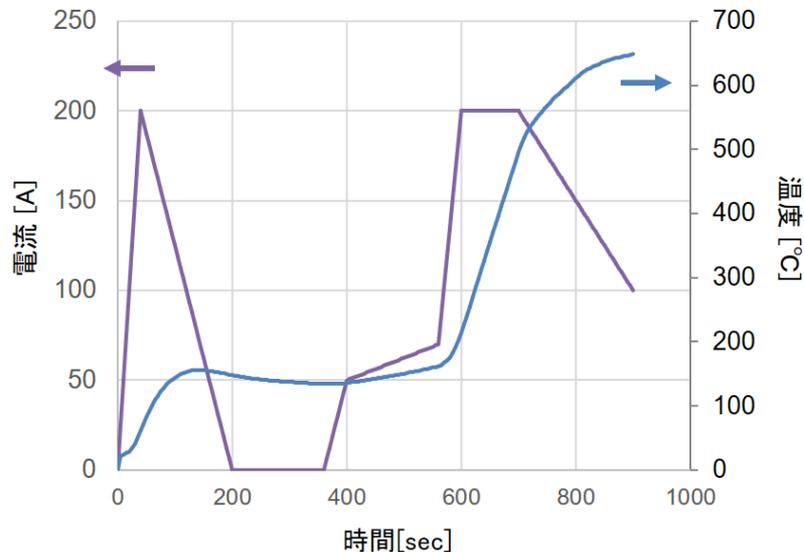
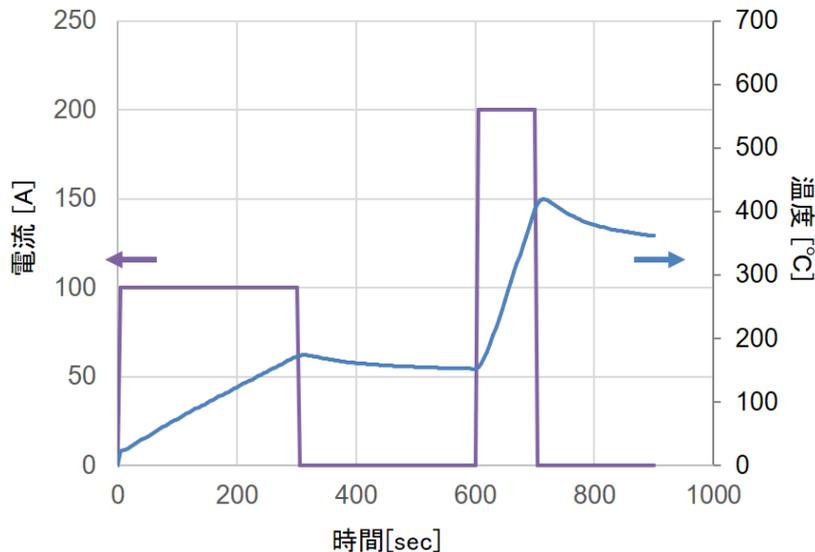
伝熱解析

- ・ 熱伝達：外周全面
- ・ 導体の端点：温度固定



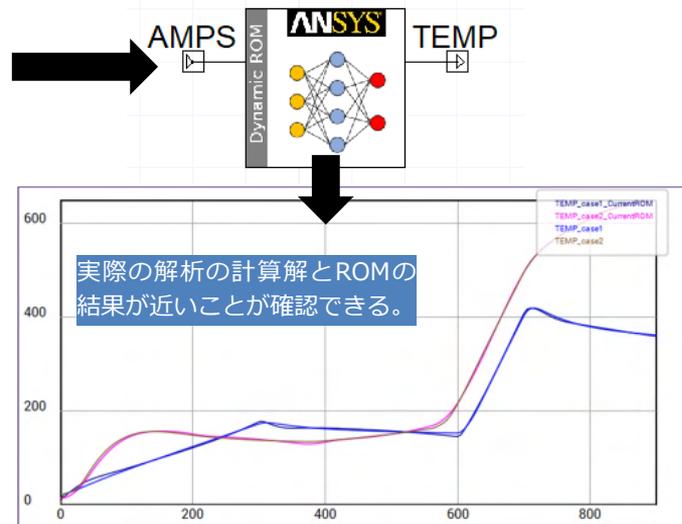
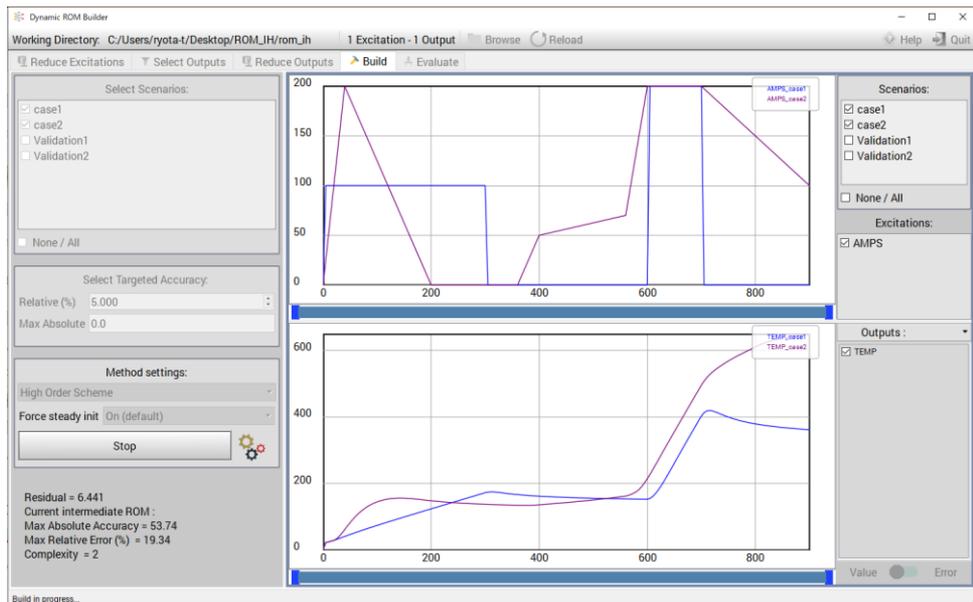
3D CAE（磁場-伝熱連成）解析結果

- Dynamic ROMでは、連成解析の入出力を学習させてROMモデルを作成できる。
- 今回学習させるデータは以下の2つ。（紫色：電流(入力) 水色：温度(出力)）



ROM作成 (Dynamic ROM builder)

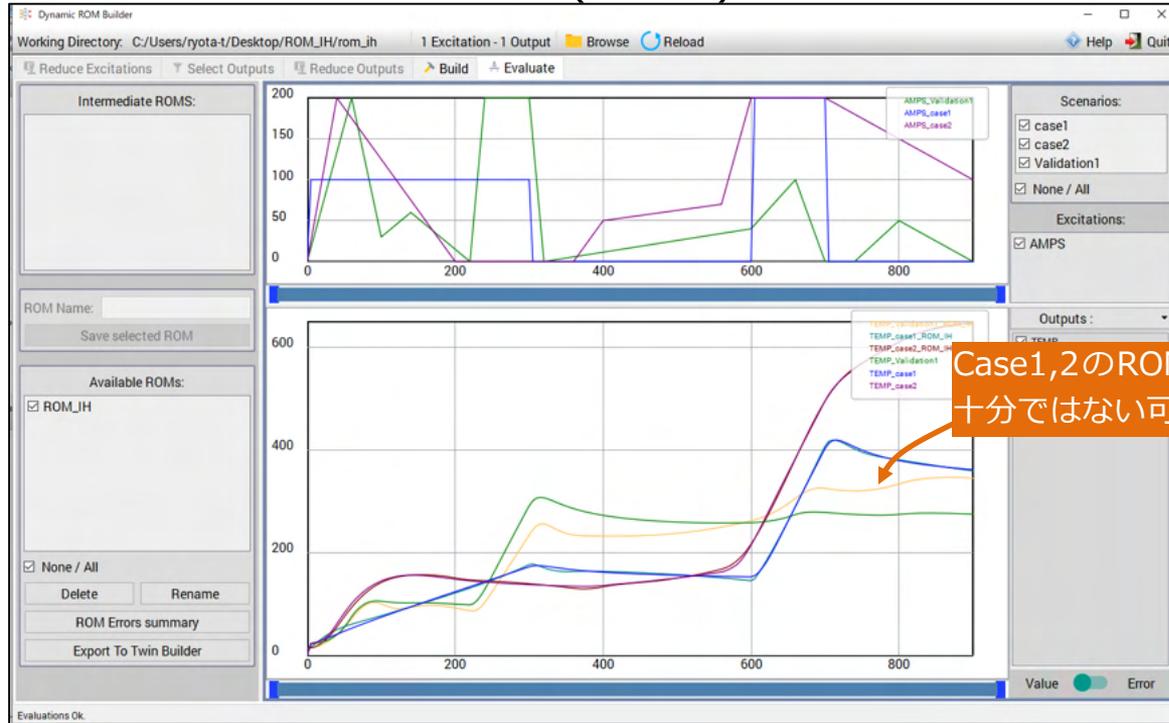
- 前ページのプロファイルを読み、ディープラーニングによりROMを生成
- ディープラーニングのため、何を学習させるかが重要。
- 必ず、Validationの実施し、ROMの精度のチェックを行う。





補足 : Validation

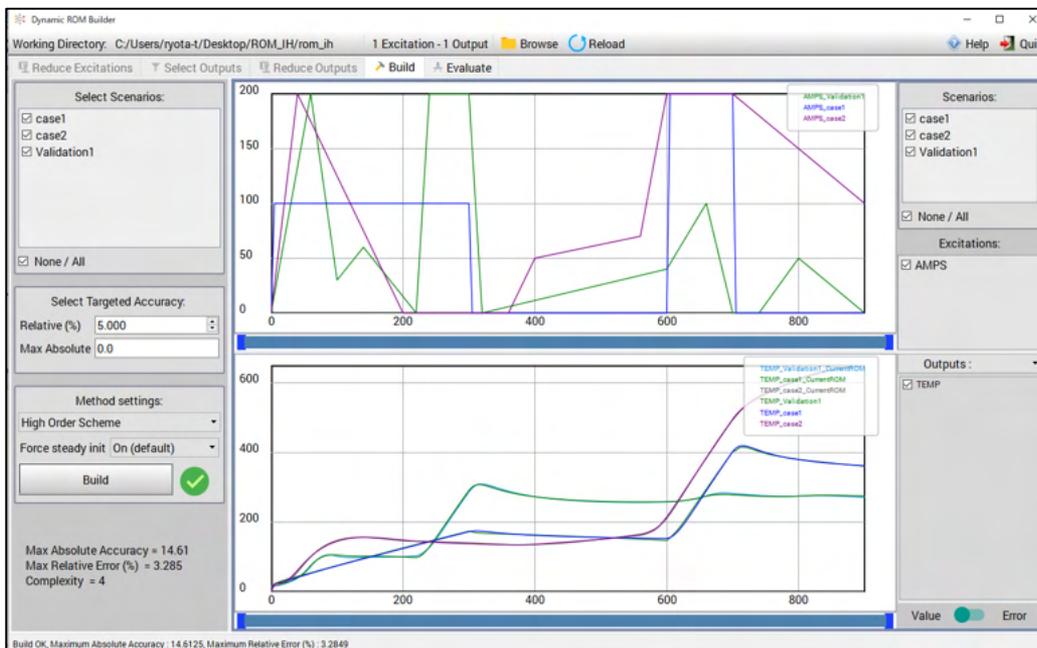
検証用のデータを作成し、ROMの精度(汎化性)を検証。



Case1,2のROMではまだ精度が十分ではない可能性が高い。

補足：ROMの再計算

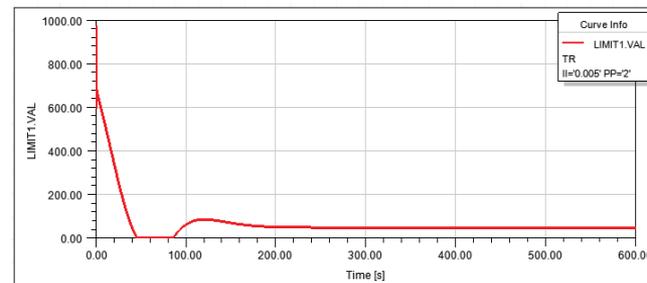
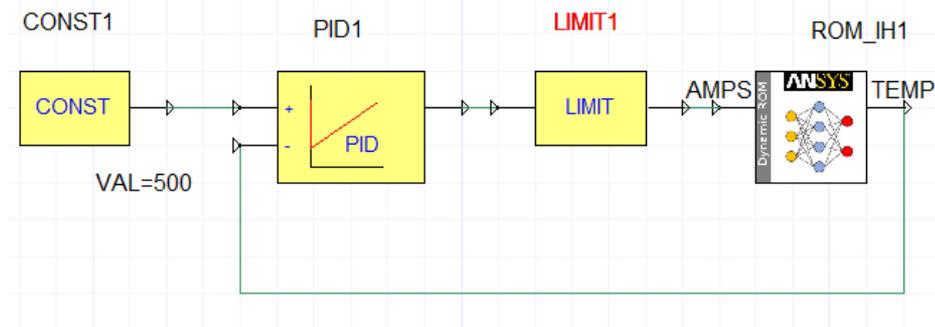
validation用のデータも含めてDynamic ROMを計算すると、精度よくすべての結果が得られた。学習データを増やすことでモデルの汎化性が向上する。



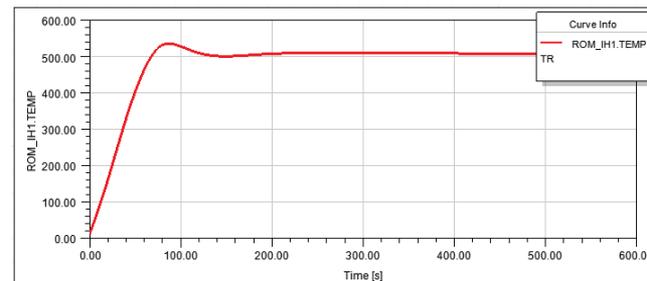


システムシミュレーションでの検証

- ROMの動作を簡単なシステムで検証。
- 評価点の温度を室温から500℃に上昇させ、キープさせる



入力電流

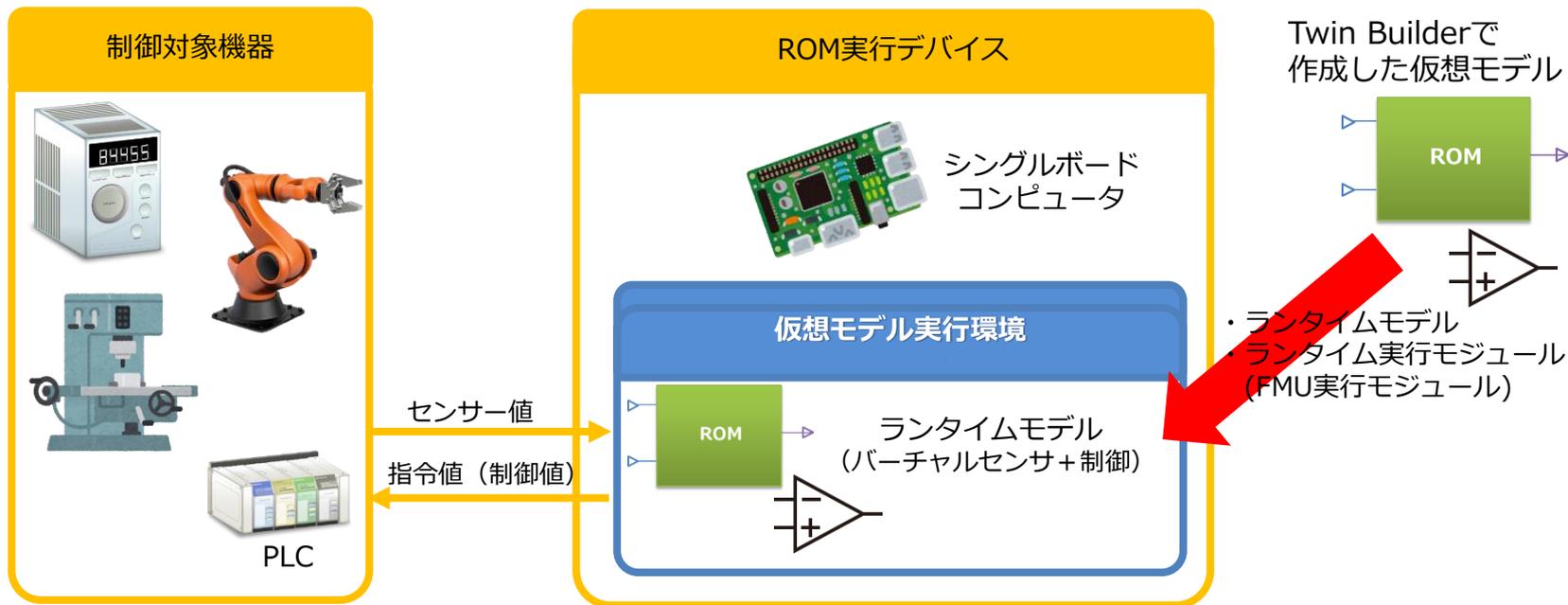


出力温度



ROMモデルをエッジ端末上で実行

Ansys Twin Deployerを用いることで、簡単にROMモデルを使った制御システムを構築することが可能。



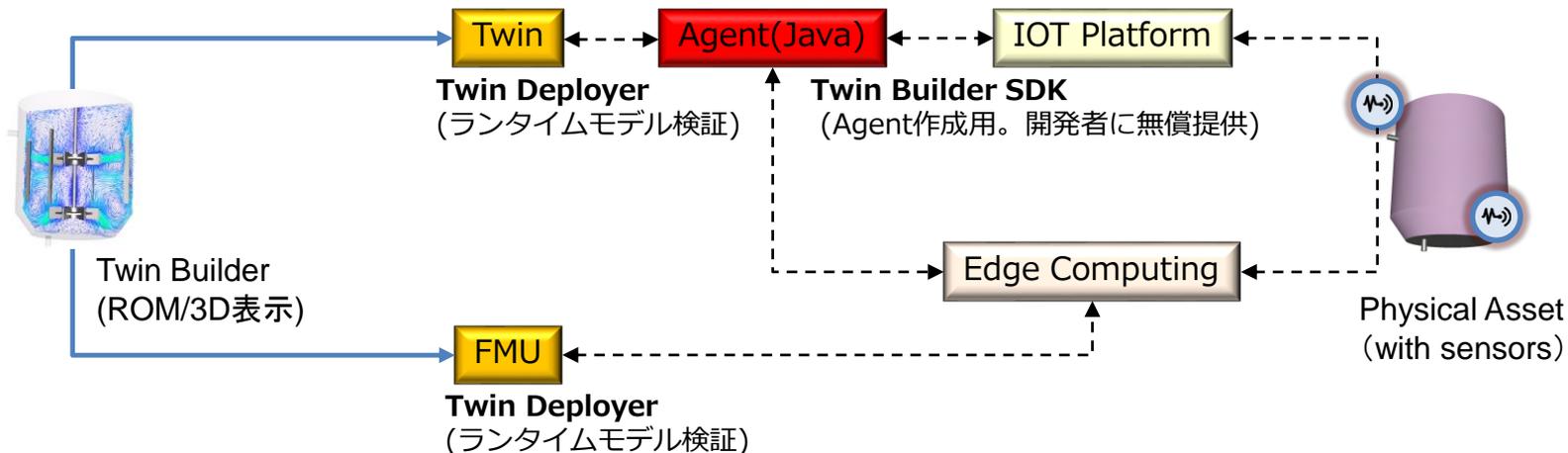


4. バーチャルセンサの実装

実機との連携機能

バーチャルセンサは、スタンドアロンで動作する2種類のランタイムモデルとして出力可能。仮想テスト環境（Twin Deployer）も活用可能。FMUはユーザがフルスクラッチで構築する必要がある。一方、TwinファイルではAgent作成用SDKを提供。

- ・ FMU : Functional Mockup Unit
- ・ Twinファイル : Ansys独自のファイル形式





ランタイムモデルのサポート機能

TwinとFMU(ME)はROMモデル及びModelicaをバーチャルセンサとして出力可能。
 FMU (Co-Sim) はROM,Modelicaに加え、CモデルやSPICE、コンポーネントライブラリなどを活用したモデルも出力可能。

ライセンス	Twin出力	Twin検証	Twin実行	FMU出力 Model exchange	FMU検証 Model exchange	FMU実行 Model exchange	FMU出力 Co-Simulation	FMU検証 Co-Simulation	FMU実行 Co-Simulation
Ansys Twin Builder Pro以上									○
Ansys Twin Builder Enterprise	○			○			○		
Generic Runtime	○		△						
Ansys Twin Deployer		○			○			○	

※FMU(Co-Sim)は実行時にTwin Builder Pro以上のライセンスが必要です。

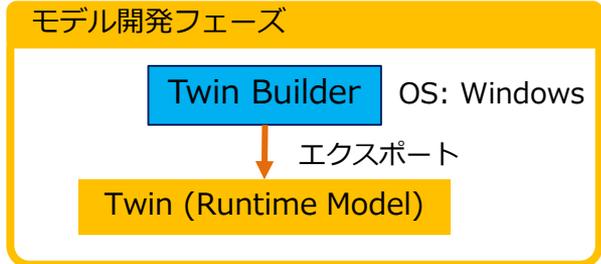
※△Twinファイルは、実行時ライセンスマネージャによる管理は行いませんが、Twinファイル生成時にGeneric Runtimeライセンス(実行用ライセンス)をチェックします。

Twin Builder Feature	Twin Export (Linux, Windows)	ME FMU (Linux, Windows)	Co-Sim FMU- CVODE Solver (Linux, Windows)	Co-Sim FMU- TB Solver (Windows)
ROMs	Yes	Yes	Yes	Yes
Modelica	Yes	Yes	Yes	Yes
Twin Builder Internal Components (components with a green dot)	No	No	No	Yes
Twin Builder C-Models (Spice, Physical Domain)	No	No	No	Yes
VHDL-AMS	No	No	No	No
User-defined Libraries	No	No	No	Yes



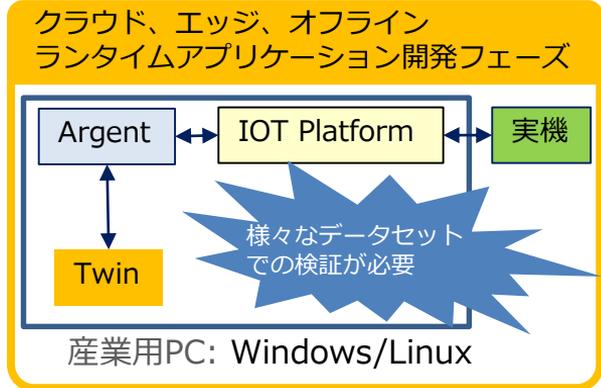
Ansyes Twin Deployerについて

ランタイムモデル (Twin, FMU)の検証ツール



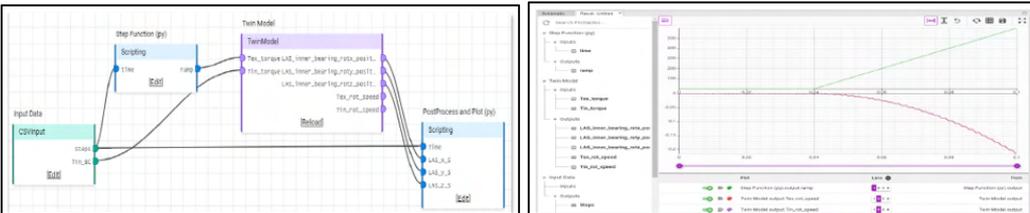
ランタイムモデルの効率的なシミュレーション環境

- Pythonスクリプト、CSVファイル、ランタイムモデルを組み合わせたシミュレーション環境。
様々なデータセットに対して効率的に検証可能。
- Python3.7とライブラリ(Numpy, Matplotlib, Pandasなど) をサポート。
前処理や後処理、可視化も統合した処理が可能。
- パラメータスイープ



実環境を想定したシミュレーション環境

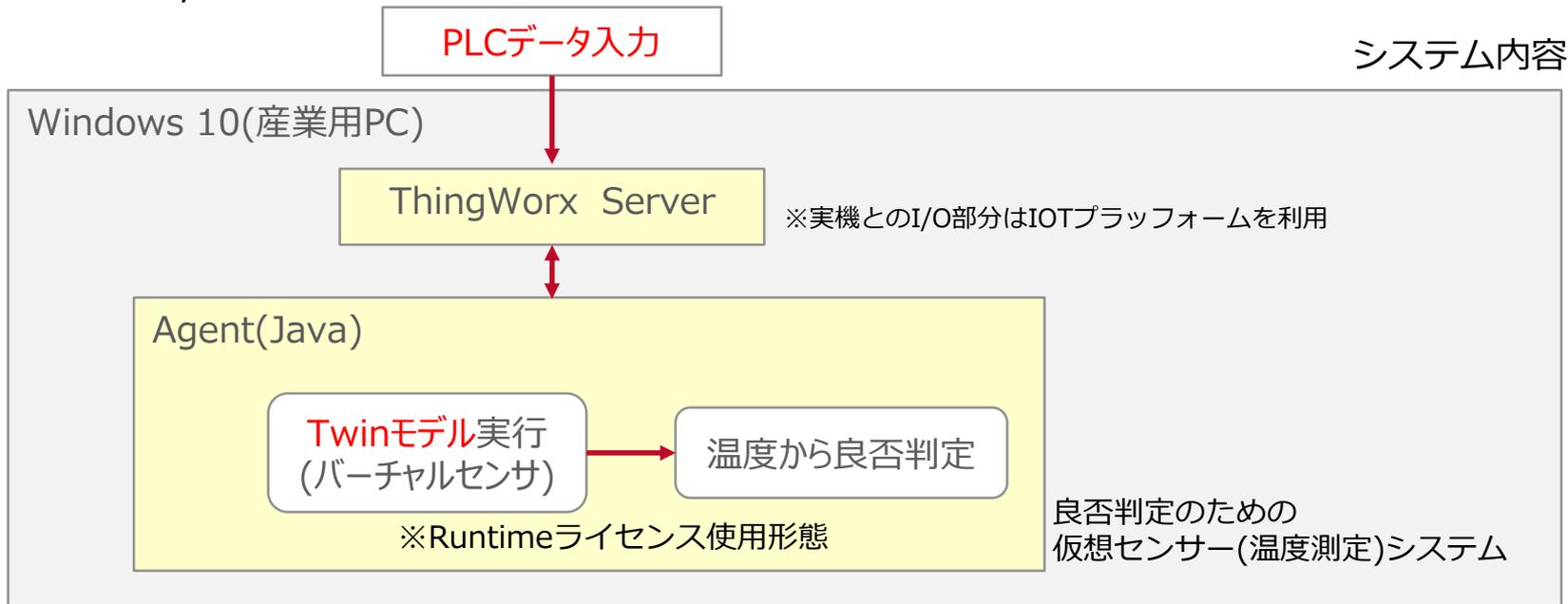
- LinuxとWindowで同一の操作環境
- 実環境と同一のシミュレーションエンジン





実装例 (Twinファイル)

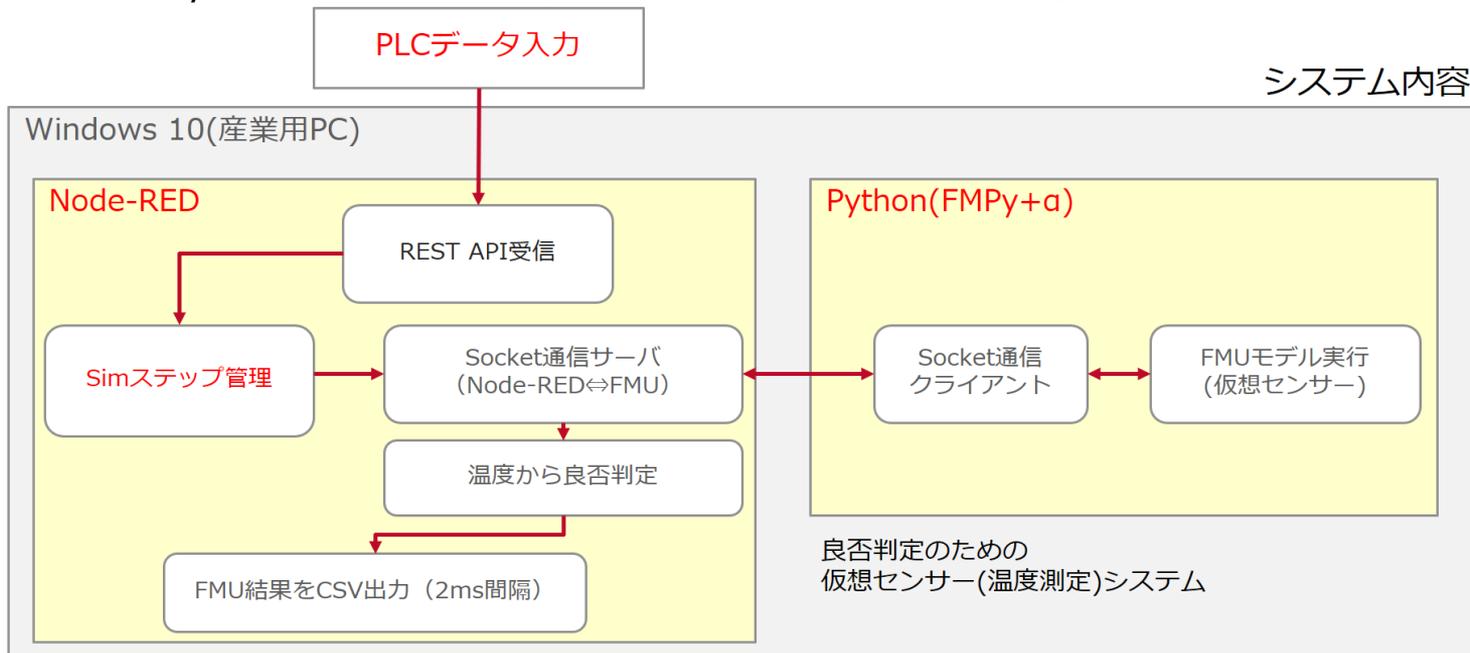
3D-CAEモデルをDynamic ROMで1D化しTwinファイルとして出力、産業用PCに実装。
実機とのI/O部分はIOTプラットフォームを利用した例。





実装例 (FMUファイル)

3D-CAEモデルをDynamic ROMで1D化しFMUファイルとして出力、産業用PCに実装。
実機とのI/O部分はIOTプラットフォームを利用しない例。



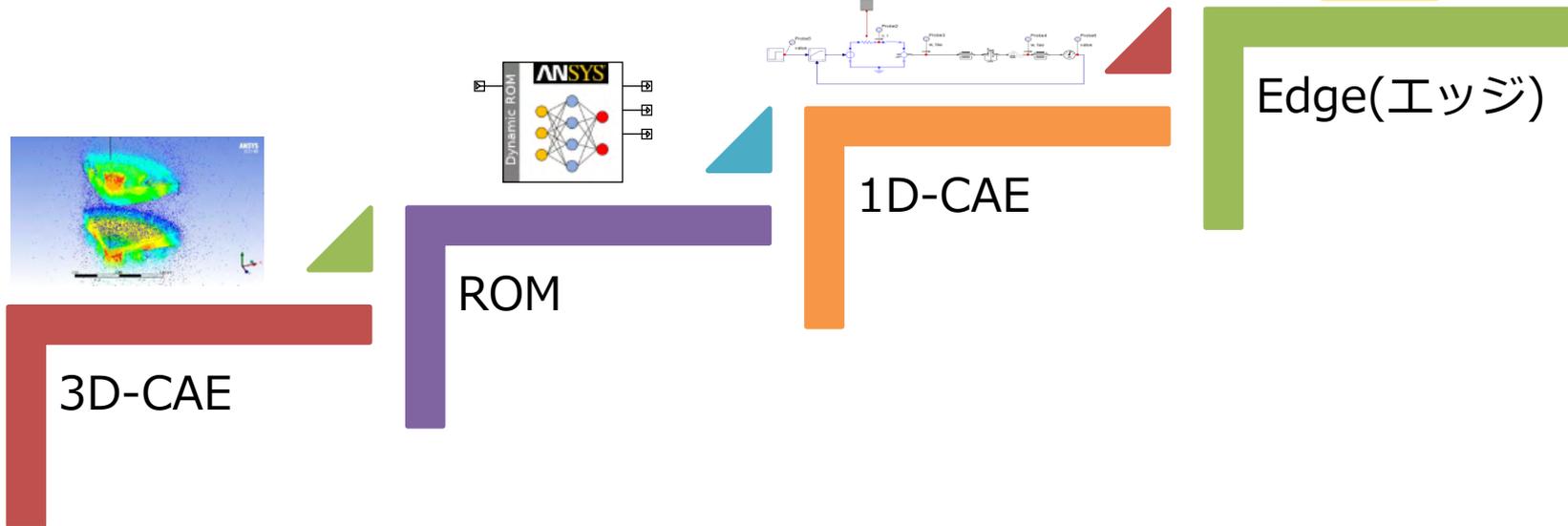


5. サイバネットの技術支援領域



バーチャルセンサに関する技術支援

以下のすべての領域で技術支援が可能です。

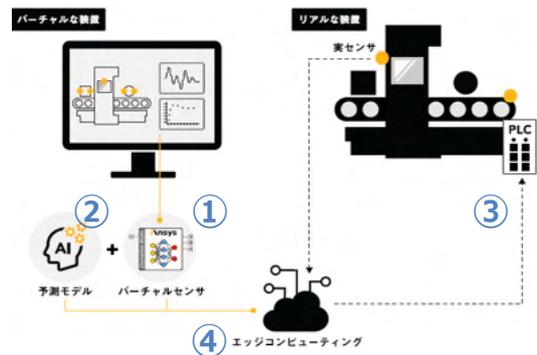




デジタルツインに関する技術支援

最適制御システムを構築する場合に必要な技術と弊社の支援体制は以下となります。

大分類	小分類	対応可否
①物理モデリング&バーチャルセンサ (1D,3D-CAE及びROM,機械学習)	Ansys(3D系:構造, 流体, 電磁場,etc)	◎
	Ansys(1D系: TwinBuilder)	◎
	MATLAB/Simulink+SimScape系	○
	OpenModelica	○
②予測モデル (統計・機械学習)	予測系(MATLAB or Python)	○
	分類・良否判定(MATLAB or Python)	○
③制御モデル	制御系(コントローラ設計: MATLAB or Python)	○
	データ同化(MATLAB or Python)	○
④バーチャルセンサ実装	Edgeや産業用PCへのFMUの実装	○
	IoTプラットフォームへの接続	○



※◎Ansys製品のサポート

※○Ansys製品以外のサポートについては受託ベース(有償ベース)の対応となります。



PLCやエッジデバイスとの接続

お客様の状況に合わせて、困りごとのヒアリングからシステム設計、ハードウェア選定、システム構築までお客様の状況に合わせてご提供させていただきます。

1. ヒアリング・アセスメント

貴社の現在の環境と目指すゴールを共有し、ゴールを実現するためのマイルストーンを立案します。

2. 要件定義～基本設計

ヒアリング・アセスメント結果から必要な要件を抽出・定義したうえで、目的とするシステムの基本アーキテクチャを設計します。

3. プロトタイプシステム構築

プロトタイプを短期間で構築し、動作検証を行います。お客様サイトでの構築のほか、弊社が提供する検証環境もご利用可能です。

4. プロトタイプ動作検証

プロトタイプを稼働開始させ、実際に得られるデータとシミュレーション結果からモデルパラメータや制御・運用ロジックの最適化を行います。

5. 現場環境での運用開始

プロトタイプはポータブルかつスケラブルな構成なので、新しい現場環境にも迅速に配置(デプロイ)し、水平展開して導入効果を最大化できます。



6. まとめ



3 DCAEモデルを低次元化することでバーチャルセンサとして利用することが可能

ROMによるバーチャルセンサは計算速度が非常に速い為、実機へのインプット・データを入力することでアルタイムに計算することが可能

バーチャルセンサを活用することで、リアルセンサでは測定できない、金型の内部の温度などを測定することが可能となり、制御にフィードバックすることで品質の向上が見込める

本プレゼンテーションでは金型温度の均一化を題材に3 DCAEモデルの低次元化技術をバーチャルセンサとして活用する方法を紹介させていただきました。

熱以外の物理現象や装置に適応することもできますので是非ご相談ください。



サイバネットシステム株式会社
〒101-0022
東京都千代田区神田練塀町3番地 富士ソフトビル



ELITE
CHANNEL PARTNER