

石川県工業試験場様による事例
「工作機械のデジタルツイン適用にむけた取り組み
-工具先端温度の推定-」の拡張例

工具の全体の3D温度分布の 時系列変化の可視化

モデル低次元化(ROM)を用いた3D分布の
時系列変化の可視化

サイバネットシステム株式会社
CAE事業本部 CAE第1事業部

CYBERNET

本事例は、石川県工業試験場様作成の事例「**工作機械のデジタルツイン適用にむけた取り組み -工具先端温度の推定-**」を拡張し、3D温度分布の時系列変化の可視化を実施したものです。

ベース事例

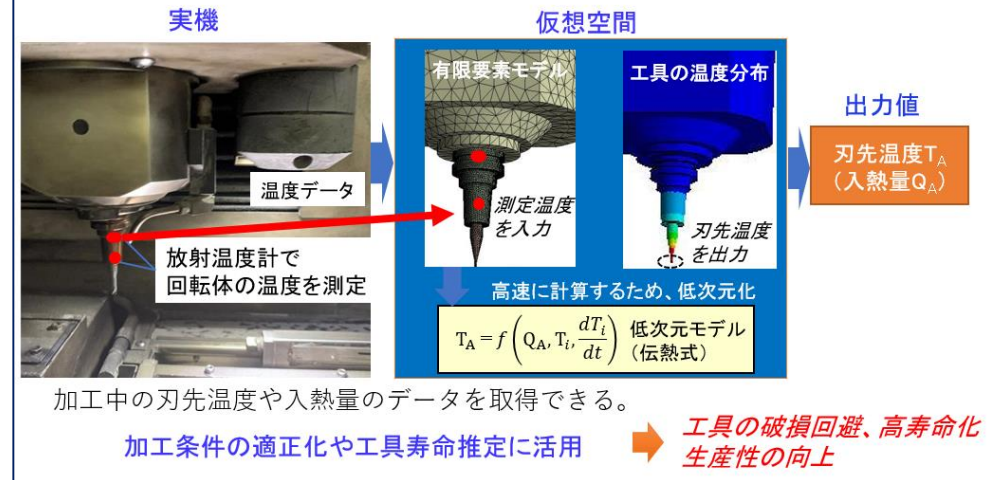
石川県工業試験場様
 工作機械のデジタルツイン適用にむけた取り組み
 -工具先端温度の推定-

概要

- 工作機械の加工条件の適正や工具寿命推定のために**工具先端の温度や入熱量を推定**したい。
- 工具刃先の温度は、**実センサで直接計測が困難**なため周囲のセンサ温度から推定した。**(バーチャルセンサ構築)**
- 推定には**デジタルツイン**を用いた
 - **3D CAE(Ansys)**で詳細な**仮想モデル**を構築
 - **モデル低次元化(ROM)**を利用して**3D CAEモデル**をリアルタイムに計算可能なモデル(**線形ROM**)に変換
 - **ROMモデル**に現代制御を用いて、**刃先温度と入熱量**を逆推定
- **実機検証**を行い、**リアルタイムに推定**できることを確認

背景:
 工具の刃先温度は、切削抵抗とともに、工具寿命、工具破損、加工品質に影響する重要な物理量であるが、測定が困難であり、また推定方法に関する研究も行われていない。

デジタルツインによる工具刃先温度の推定方法の概要

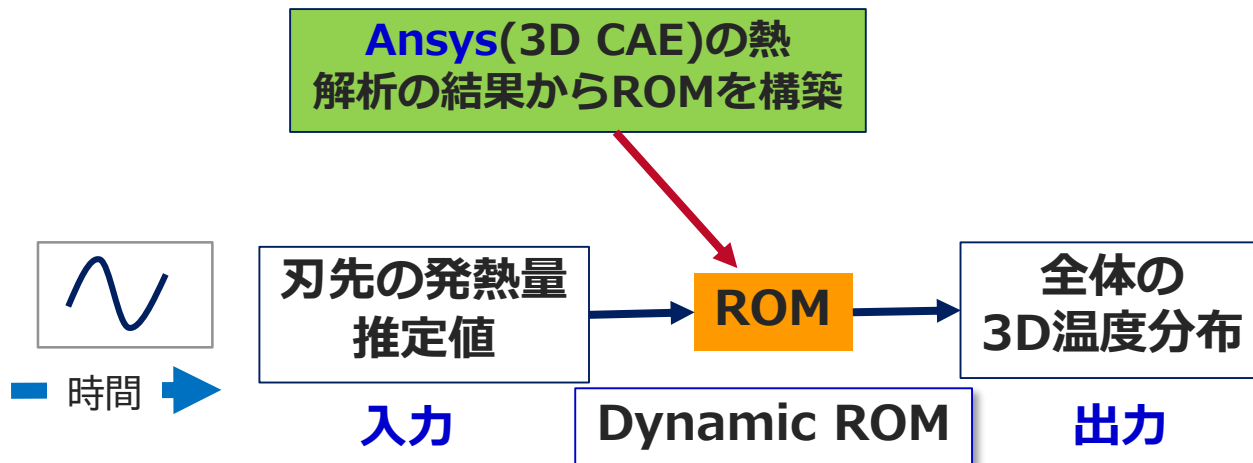


拡張事例の内容

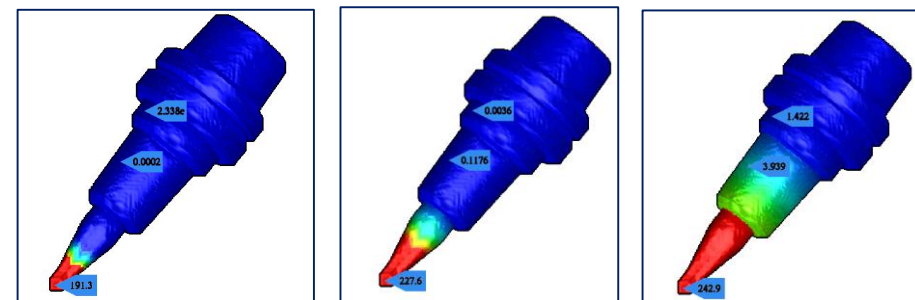
3D CAEの熱解析の結果から、時系列変化の可視化を行うROMを構築

- CAE解析: Ansys Mechanical
- ROM構築: Dynamic ROM (Ansys Twin Builder)
- 入出力
 - 入力: 刃先温度と入熱量を推定値(時系列データ)
 - 出力: 工具全体の3D温度分布 (時系列変化)

刃先発熱量の推定値を用いて、工具の全体の温度分布をROMで可視化



時系列の3D分布変化

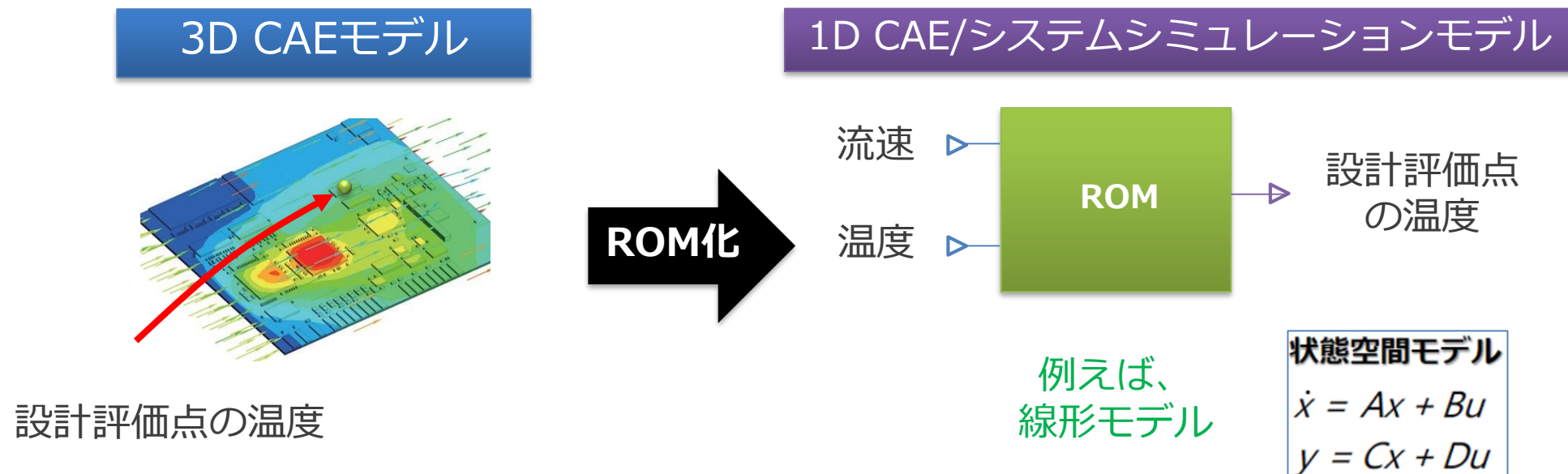


時間

ベース事例では制御のため線形ROMを利用。拡張例では3D分布可視化のため**Dynamic ROM**を利用

- FEM（有限要素法）や CFD（数値流体解析）などの3D シミュレーションモデルを低次元化して計算量を減らす手法を総称して**ROM** という
- ROM化されたモデルとは、本質的な動作と支配的な挙動は保持される
- ROM化されたモデルでのシミュレーションは、計算時間と記憶容量の大幅な削減が可能

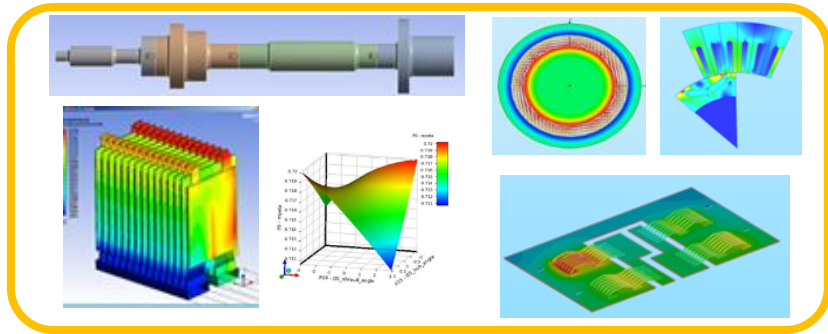
Reduced Order Modeling(ROM)またはModel Order Reduction(MOR)と呼ばれます。



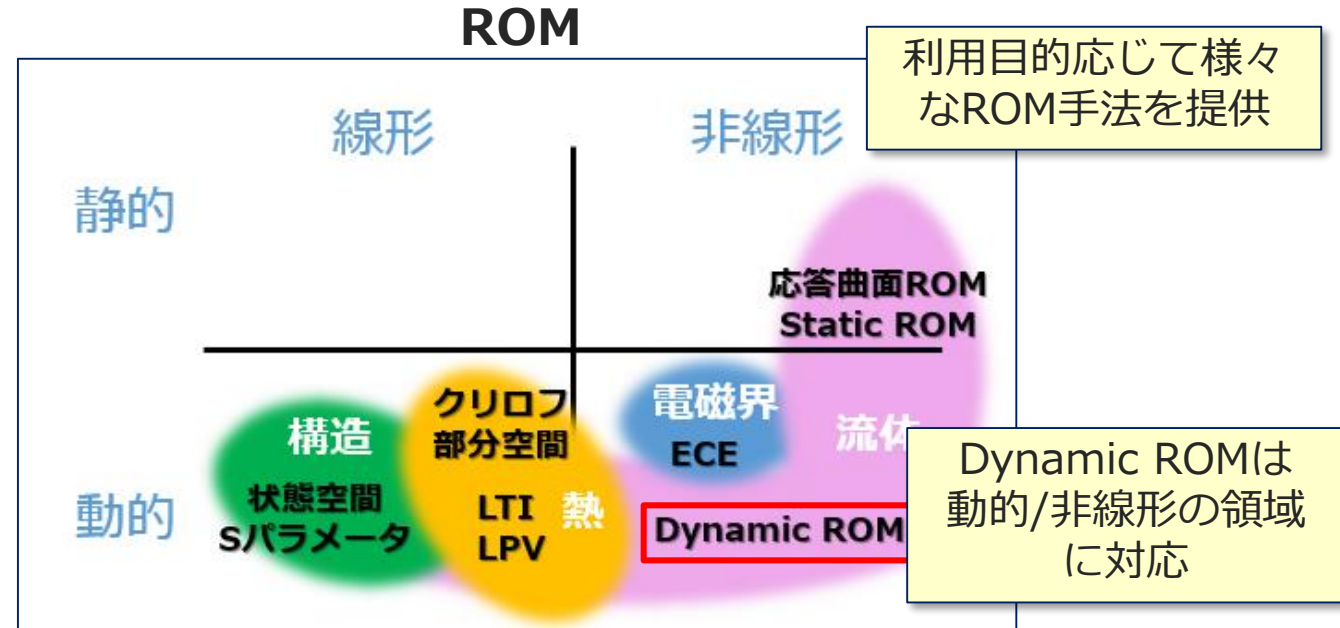
AnsysのROM

CYBERNET

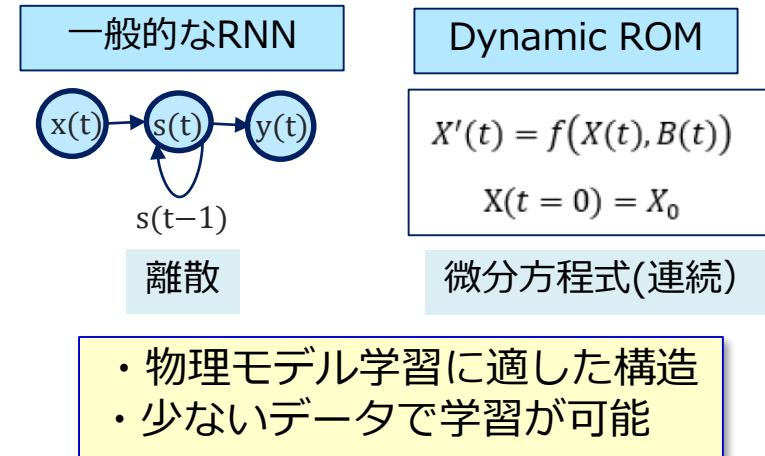
ANSYS 3D CAE



振動・伝熱・熱流体・電気・電磁場



- **Dynamic ROM (動的/非線形)**
 - 深層学習(RNN: Recurrent Neural Network)を利用
 - **内在する微分方程式を求める最新手法**
 - **支配的なモードに次元化する機能**
 - 3D分布も対応
 - Ansys以外のCAEツール、実験データにも対応



Dynamic ROMの出力

Scalar

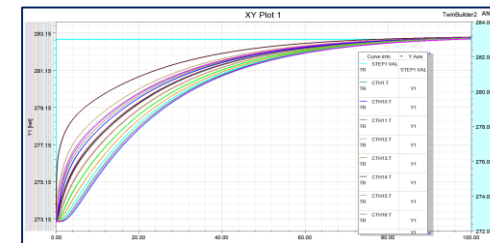
- ・ある評価点の時系列波形



流速
温度



設計評価点
の温度

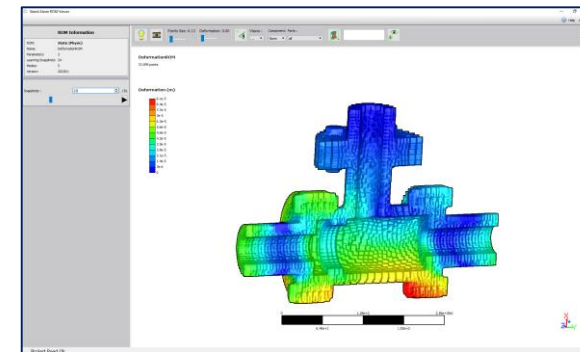
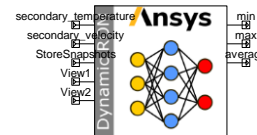


Field

- ・低次元化（支配的なモード）
- ・時系列の分布の可視化



流速
温度



温度
熱変形
など

学習

特異値分解

3D分布
出力

高次元

SVD

モード

低次元

入力

ROM

ROM計算

逆変換

モード

低次元

iSVD

3D分布
出力

高次元

時系列各分布はバイナリファイル
(3D点群)、または画像(2D)で出力

事例では、分布
可視化機能を利用

学習

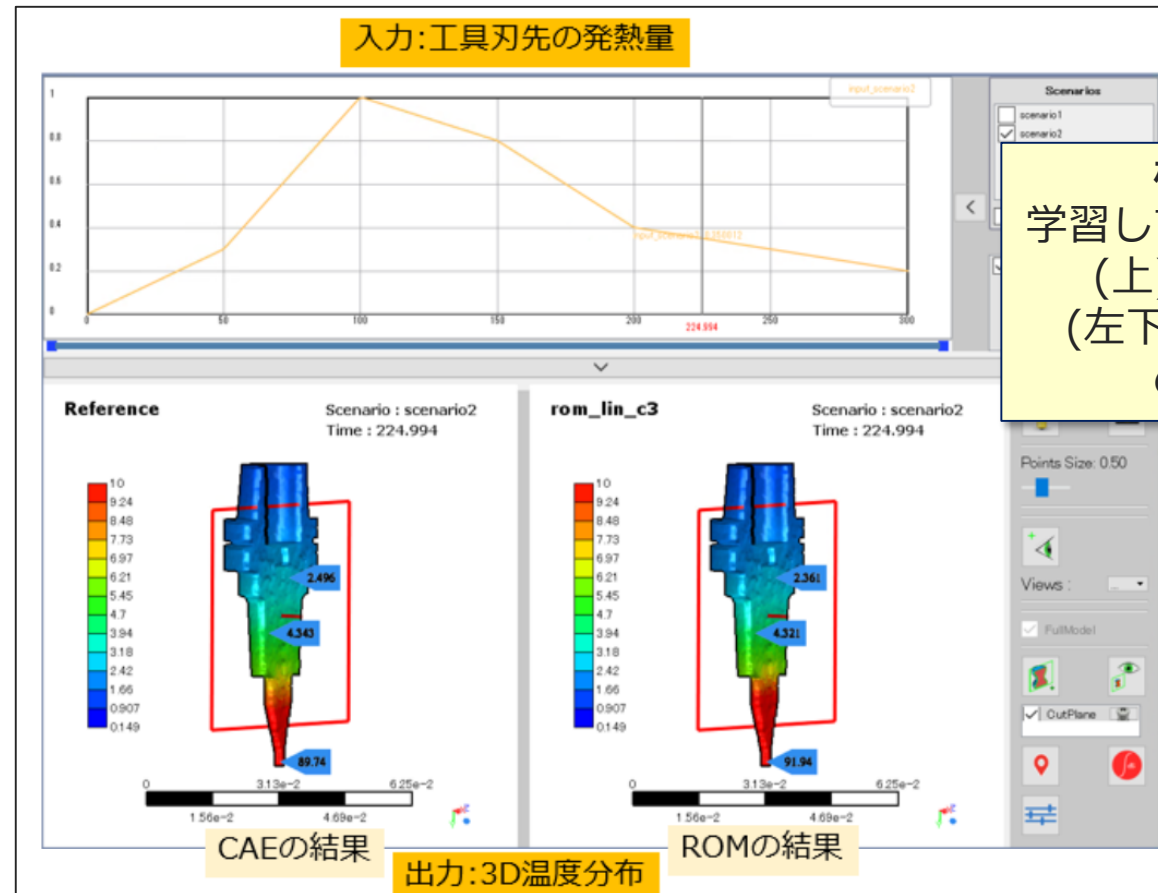
▶ ステップ応答

- 入力：発熱量のステップ入力
- 出力：温度(3D CAEの結果)

検証

▶ 任意入力

- 入力：発熱量の任意入力
- 3D CAEの結果とROMの結果比較



時系列変化のイメージは
Webの動画をご参照ください