

車両システムシミュレーションのための、ディープラーニングによるサロゲートモデリング

マスワークスジャパン アプリケーションエンジニアリング部

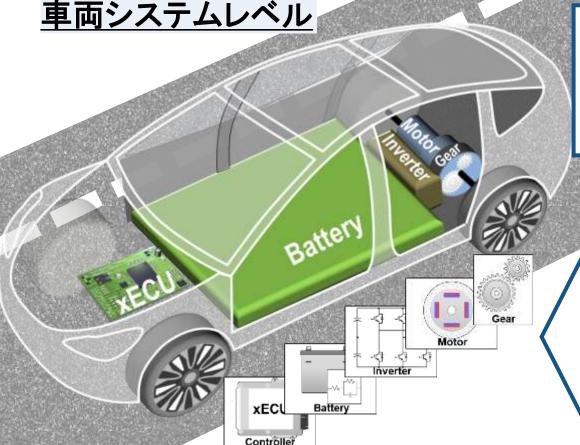


はじめに

車両システムレベルシミュレーションへのモチベーション

車両システムレベルシミュレーションにより、以下が可能となります。

- ・コンポーネント性能向上がもたらす車体全体への効果検証
- ・車体全体から見た<u>コンポーネントへの要求</u>の確認



- •出力
- •効率
- •重量
- •レスポンス
- •耐性 ...etc.

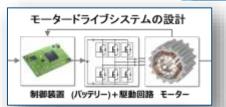
双方向での 検証が必要

車両全体での効果検証

- ・電費・エネマネ
- 駆動系振動
- 熱マネ
- •ドライバビリティ
- •走行性能 ...etc.

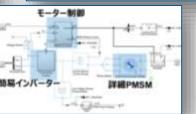
コンポーネントへの要求 コンポーネントレベル(例:電動化)













車両全体システムシミュレーションの有用性は分かっているが、、、

担当コンポネントのモデル以外がない

異なるツールのモデルがつながらない

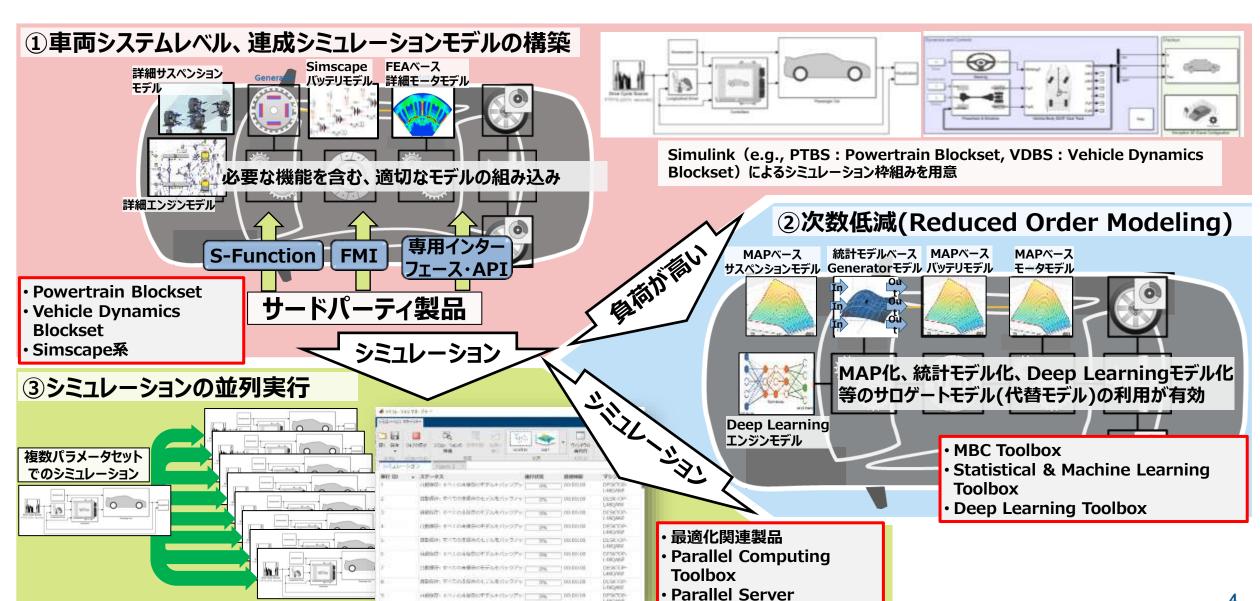


シミュレーション大規模化 計算コスト増

- 課題解決のソリューションとして以下を紹介させていただきます。
 - ① システムレベルモデルの構築
 - ② シミュレーション負荷の低減(次数低減) ⇒サロゲートモデルの利用
 - ③ マルチプロセッサーへの分散・並列実行

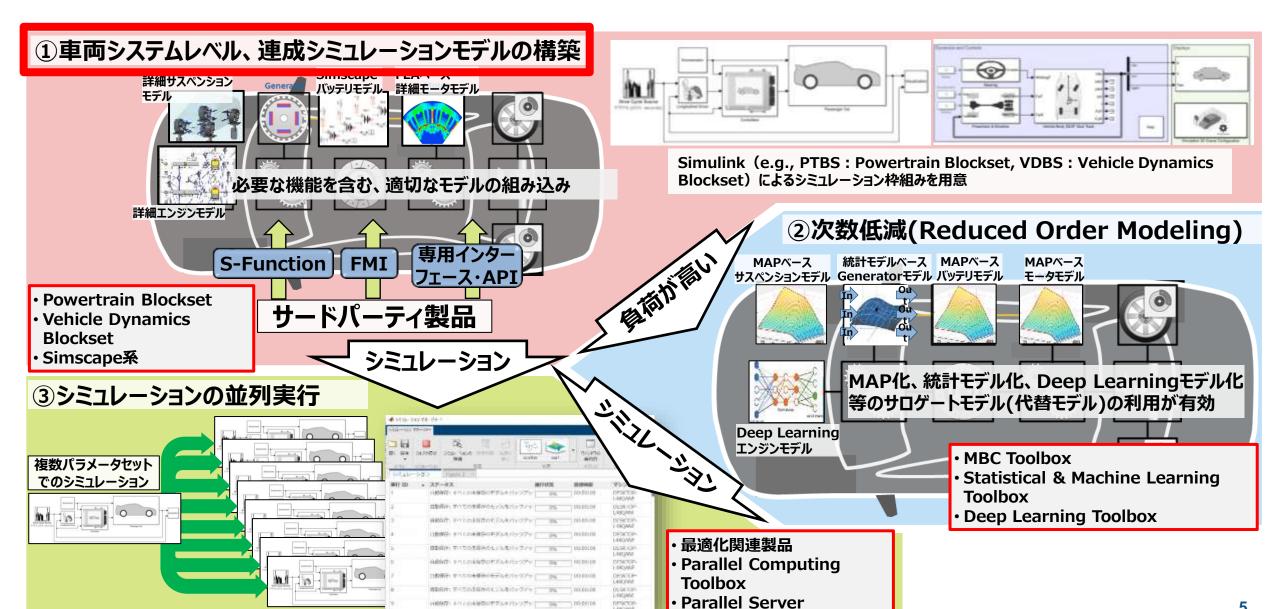


車両システムレベルシミュレーション環境



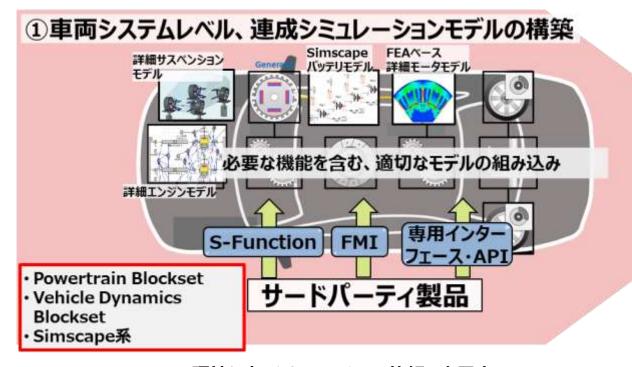


車両システムレベルシミュレーション環境

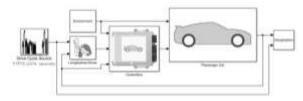




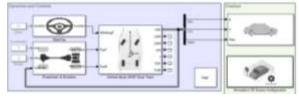
①車両システムレベル、連成シミュレーションの構築



Simulink環境によるシミュレーション枠組みを用意



PTBS(Powertrain Blockset)



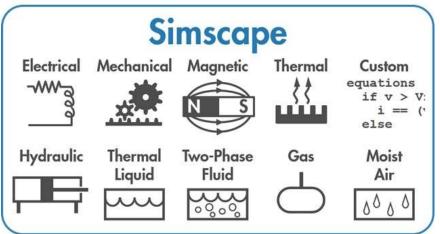
VDBS(Vehicle Dynamics Blockset)

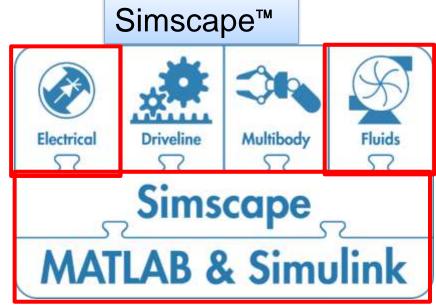
- 自動車制御設計において、MBD(Model-Based Design)の手法が広く利用されている。
- 各制御設計で使用する各コンポーネントモデルはすでに 利用されている場合が多い。
- 多くのコンポーネントモデルは以下で用意されている
 - Simulink(シミュレーションようモデリング環境)
 - Simscape(弊社物理モデリングツール)
 - サードパーティ製モデリングツール
- サードパーティ製モデルとの接続はS-Function, FMI, 専用インターフェース・API等で実現されている。
 - ※FMI: Functional mockup Interface。様々なツール間を接続するために策定された標準インターフェース仕様
- システムレベルシミュレーションにおいて、目的に応じて、 求められる詳細度が異なる。
 - **バリアントサブシステム**による、使用モデルの切替



①車両システムレベル、連成シミュレーションの構築 例)冷却を考慮したバッテリーモデル

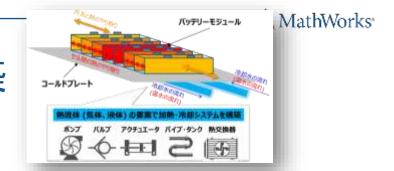
- 今後の電動化において、電動コンポーネントの冷却 の検討は必須
- 弊社の物理モデリング環境やサードパーティ製物理 モデリングツール利用
- 弊社の物理モデリングツール Simscape系のサンプルモデルとしても用意
 - EV Battery Cooling System



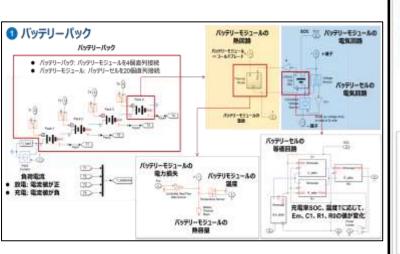


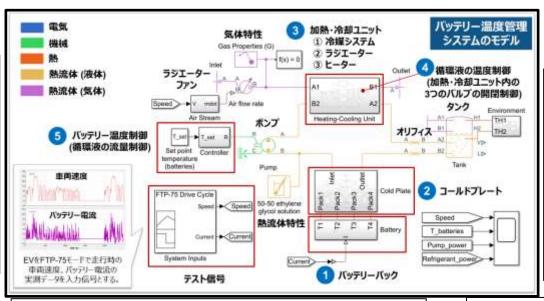
個別の物理モデルを自由に構築できるっ

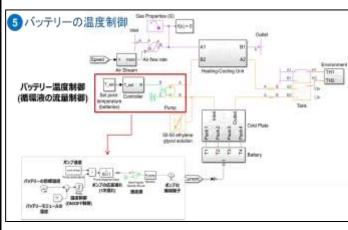
①車両システムレベル、連成シミュレーションの構築 例)冷却を考慮したバッテリーモデル

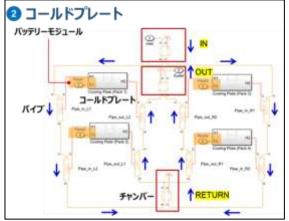


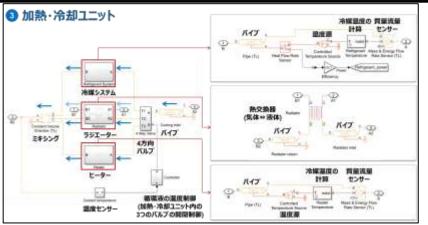
例)バッテリーの性能低下や劣化を防ぐための温度管理システム設計例(Simulink, Simscape系製品を利用)

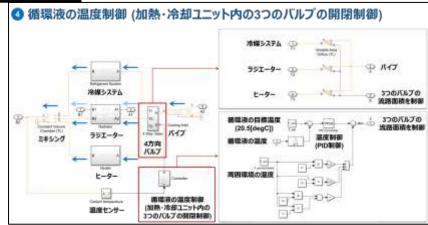






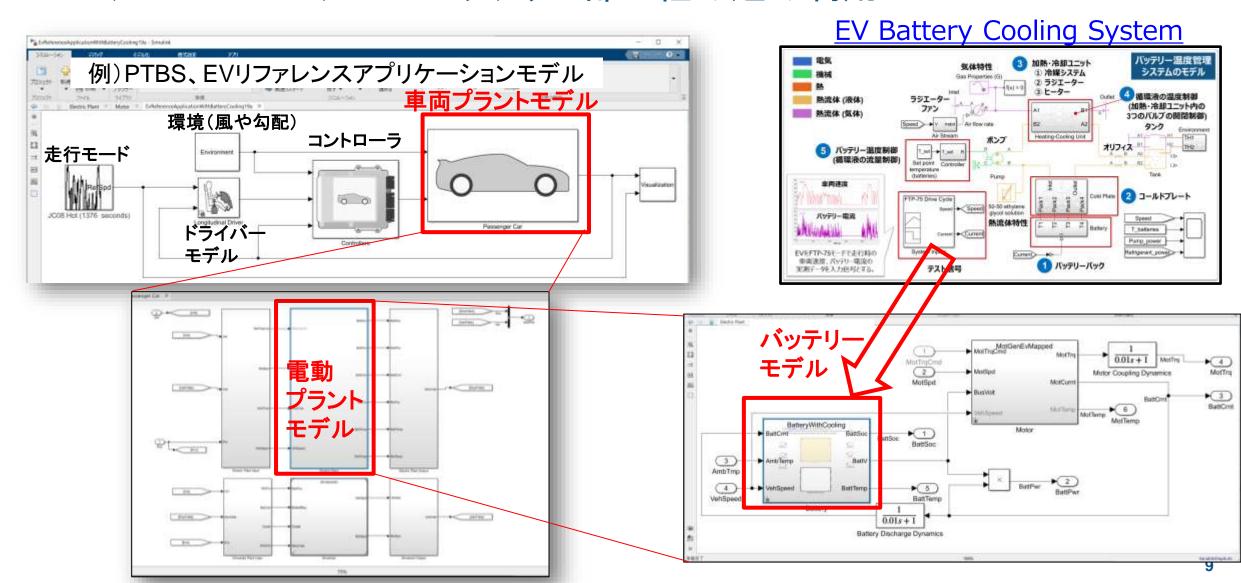








①車両システムレベル、連成シミュレーションの構築 システムレベルモデルのバッテリー部に組み込み利用

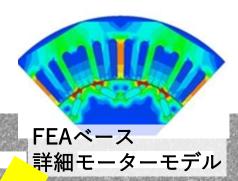




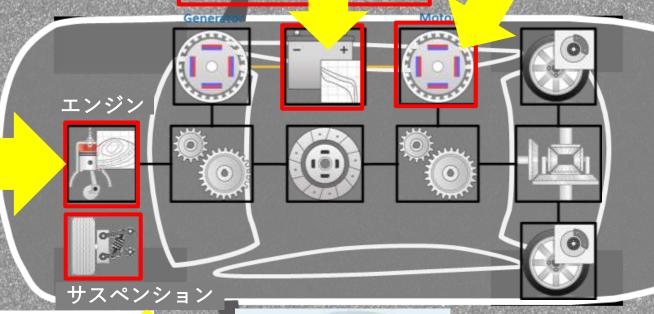
①車両システムレベルシミュレーションの構築

既存モデルを接続し環境構築





CAEエンジンモデル 詳細エンジンモデル

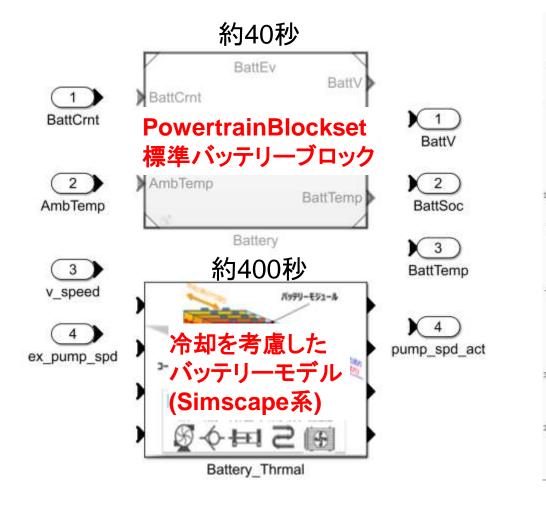


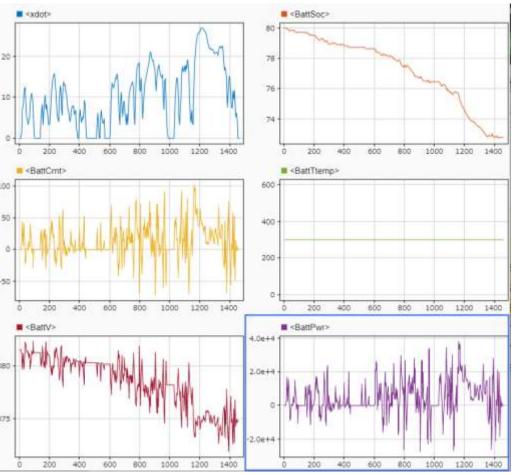
既存コンポーモデルを接続した シミュレーション環境では 負荷の重いモデルになってしまう。 詳細サスペンション モデル Simscape Multibody

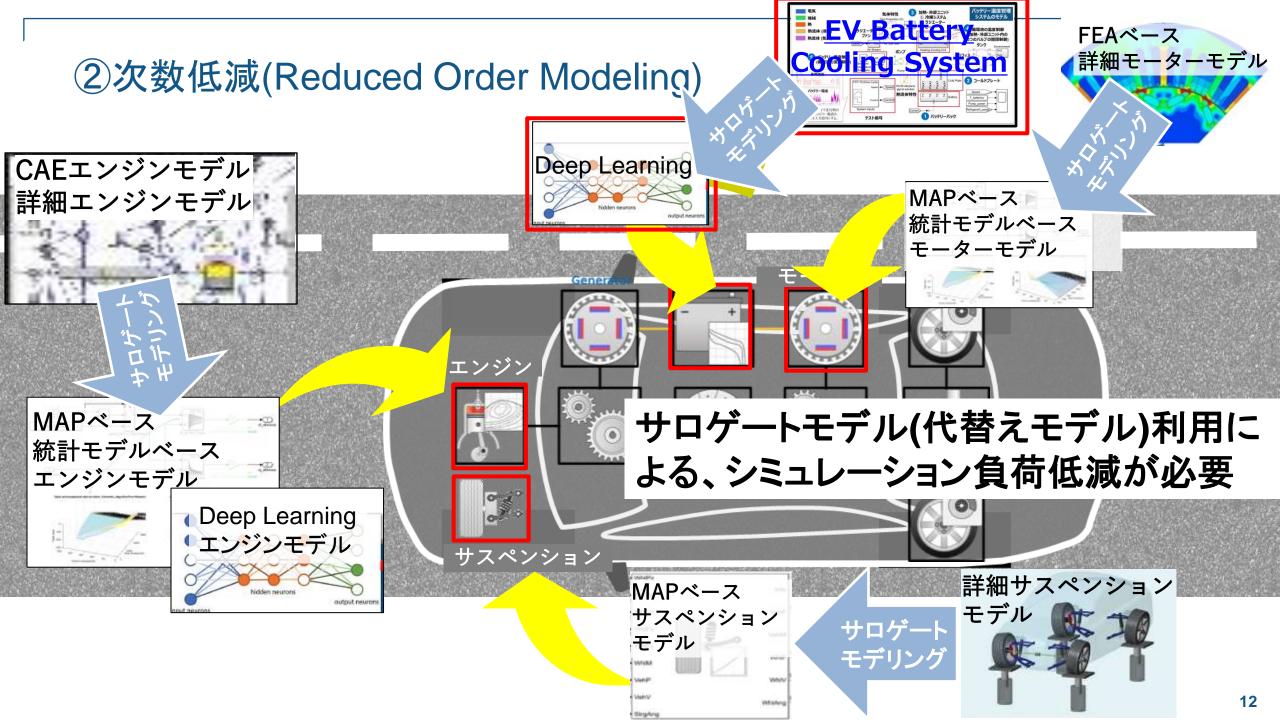


①車両システムレベル、連成シミュレーションの構築 簡易モデル=>詳細モデル

各バリアントでのシミュレーション時間(走行モードの時間1460秒)

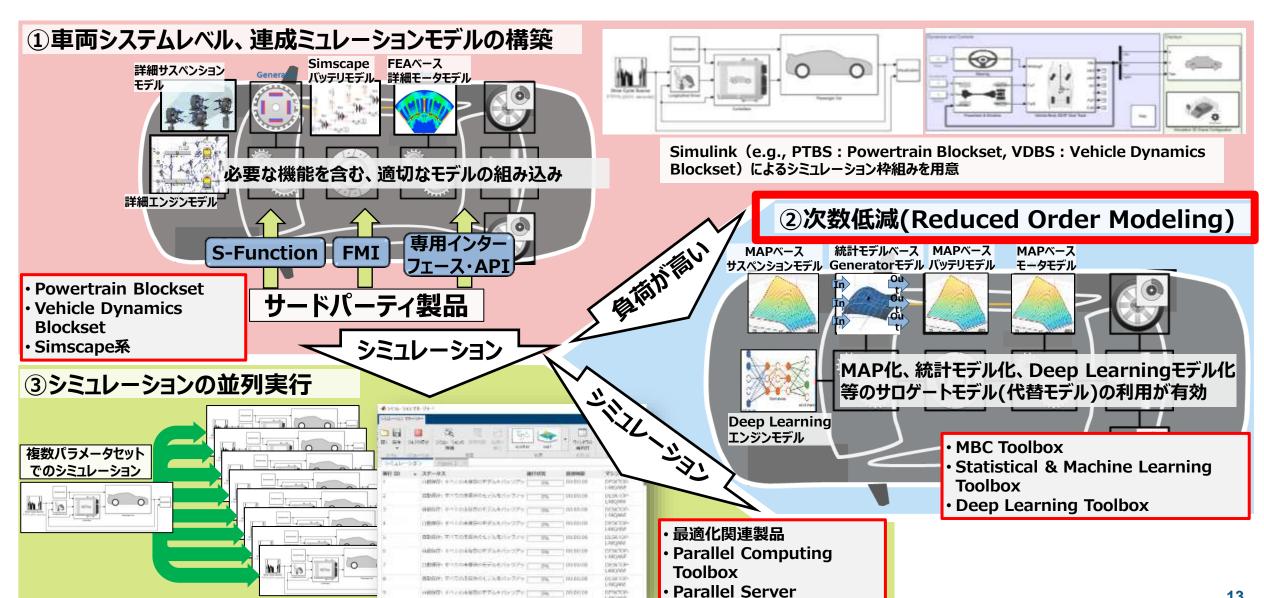








②次数低減(Reduced Order Modeling)



詳細物理モデルのサロゲートモデリング 次数低減(Reduced Order Modeling)

詳細物理モデルに対して以下のサロゲートモデル (代替モデル)を作成しシミュレーション負荷低減へ

②次数低減(Reduced Order Modeling)

MAP化、統計モデル化、Deep Learningモデル化

Statistical & Machine Learning

Deep Learning Toolbox

等のサロゲートモデル(代替モデル)の利用が有効

MBC Toolbox

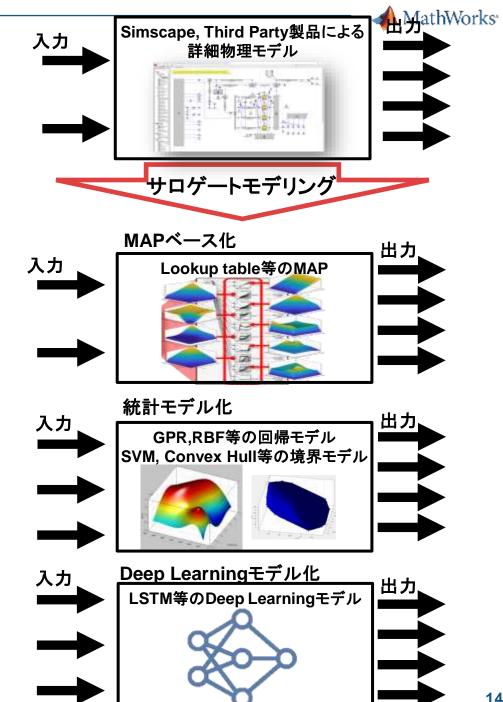
MAPベース 統計モデルベース MAPベース MAPベース

モデルタイプ

- ⇒定常モデル
 - ➤ MAPベース化
 - ▶ 統計モデル化
- ⇒過渡モデル
 - ➤ Deep Learningモデル化(例:LSTMの利用)

エンジンモデル

Simulink上で既存の詳細モデルに対して仮想試験 を行い上記モデルに必要なデータを取得。



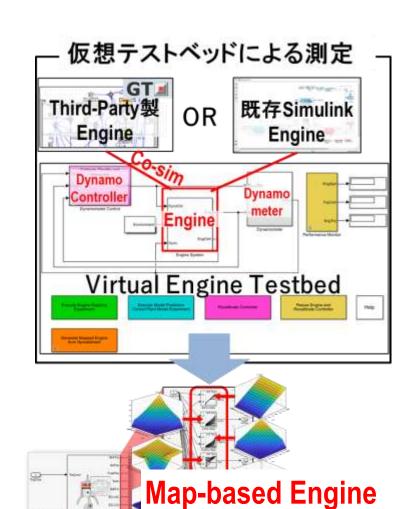


②次数低減(Reduced Order Modeling) MAPベースモデル化

仮想試験で既存モデル(詳細SimulinkモデルまたはThird-Party製モデル)からMAPに必要なデータを取得しMAP化

以下**エンジンの例**として

- Powertrain Blocksetのリファレンスアプリケーション<u>"仮想</u> テストベッド"上で仮想試験・測定を実施可能
 - ⇒Third-Party製モデルはCo-Simulationによる接続
 - ⇒仮想テストベッド上シミュレーションでの測定結果をベースに各種マップ・テーブルの作成
 - ⇒EngineSpeed、負荷を2入力としたエンジンモデルを作成





②次数低減(Reduced Order Modeling) MAPベースモデル化: 例GT-POWERモデルからマップ生成のワークフロー

GT-POWERモデルに インターフェースを追加



Simulinkモデルの インターフェースを整理



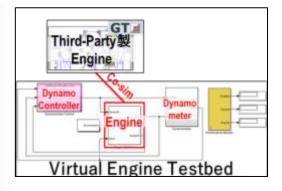
Co-Simulationによる 仮想試験の実行

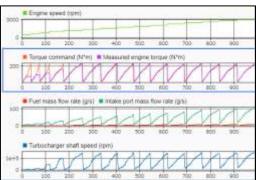


シミュレーションモデルを更新

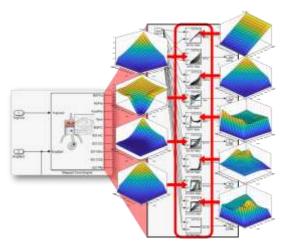
レ

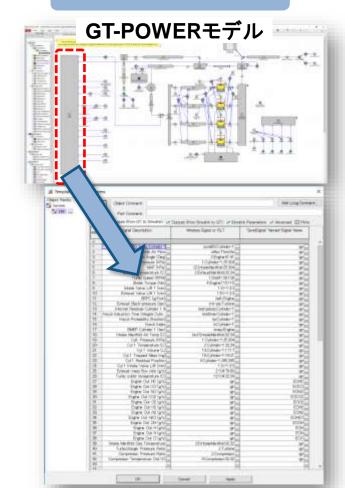
仮想エンジンテストベッド

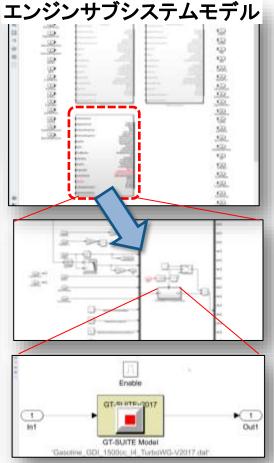




マップベースエンジンモデル





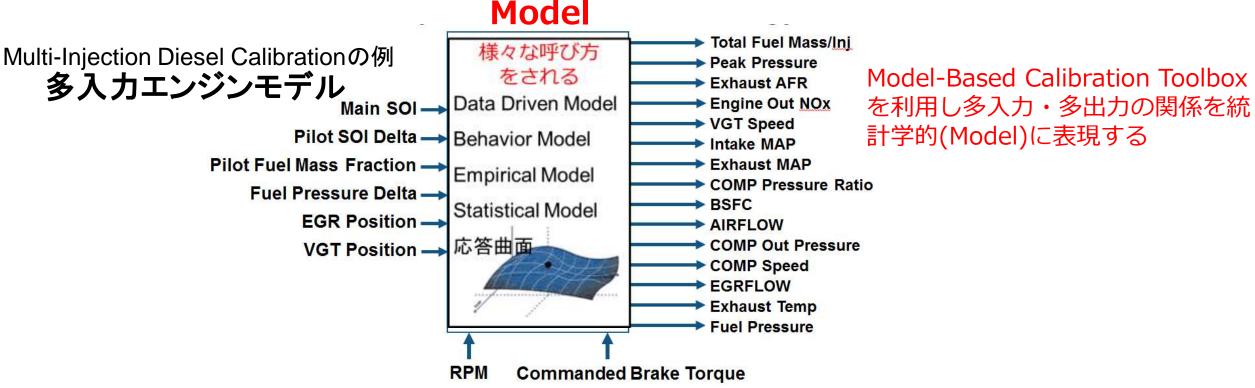




②次数低減(Reduced Order Modeling) 統計モデル化

• **エンジンの例**として、制御検討などを目的としたエンジンモデルの場合、先の2入 カエンジンでは機能が不十分

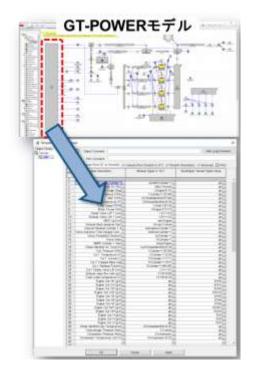
⇒Model-Based Calibrationアプローチによる、統計エンジンモデルの作成・適用が必要となる

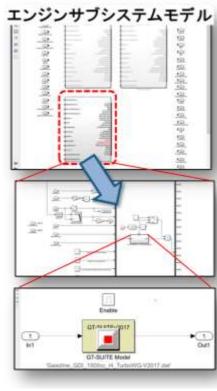




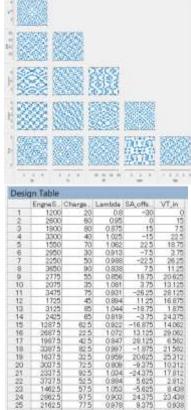
②次数低減(Reduced Order Modeling) 統計モデル化:統計モデル生成のワークフロー

GT-POWERモデルに インターフェースを追加 Simulinkモデルの インターフェースを整理 DoEによる 入力変数の設計 Co-Simulationによる 仮想試験の実行 統計モデルの作成と シミュレーショモデルの更新

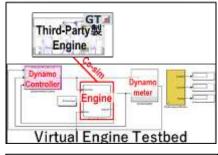


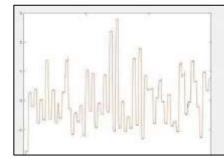


DoE(実験計画法)



仮想エンジンテストベッド



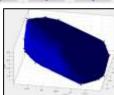


機械学習回帰モデル作成

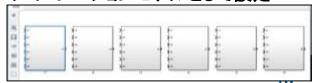




Convex hull(凸包)で 定義される境界モデル



回帰モデル・境界モデルをSimulink シミュレーションモデルとして設定





②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化

- Deep Learning(深層学習)によるサロゲートモデル(代替モデル) の作成
 - 例) 時系列向け再帰的ネットワーク(RNN)の一つである、LSTM(Long Short-Term Memory)を利用
- 適用にはDeep Learning実行環境が必要
 - Deep Leaning Toolbox
 - Deep Network Designer などによりLSTMネットワークを構築
 - Experiment Manager:本格的なDeep Leaningモデルの作成には多くのTry&Errorを必要とします。それらの履歴を記録・比較可能
- お客様での実際の適用においては、深層学習等のスキルが必要となります。 是非、弊社トレーニング、コンサルティングによるサポートをさせていただければと思います。

Deep Network Designer





Experiment Manager

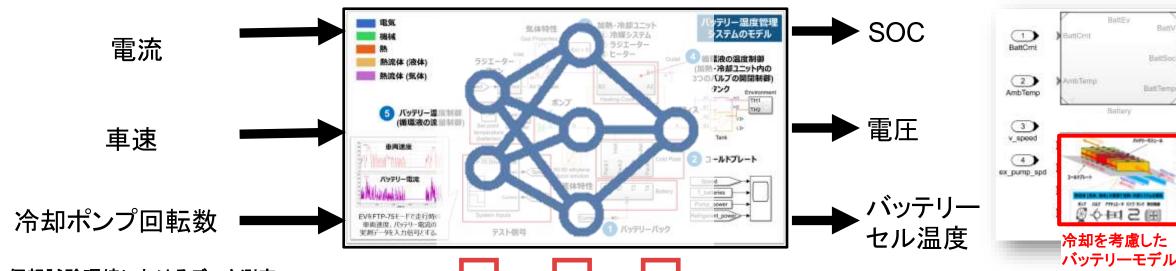
41	Name .	_
	mornous to the time	
	to be the later and their trace and	1
	Colored to the Colored	
	The second secon	-
	Search States Services	

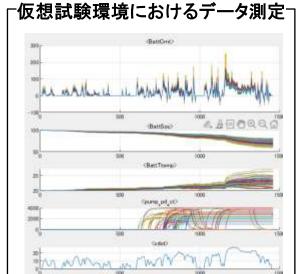
ディープラーニング試験を作成して、さまざまな条件下でネットワークをトレーニングし、 結果を比較できます。

トレーニングプロットや混同行列などの視覚化ツール、実験結果を絞り込むためのフィルター、結果を評価するためのカスタム指標を定義する機能を提供します 19



②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化:冷却を考慮したバッテリーモデル



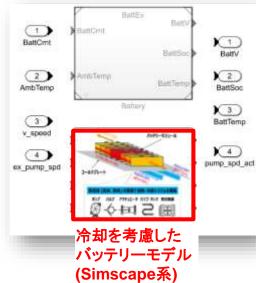


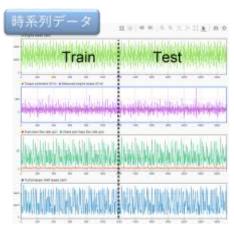


Simulink上で学習データ測定のた めの仮想試験を実施



結果をディープラーニングで学習



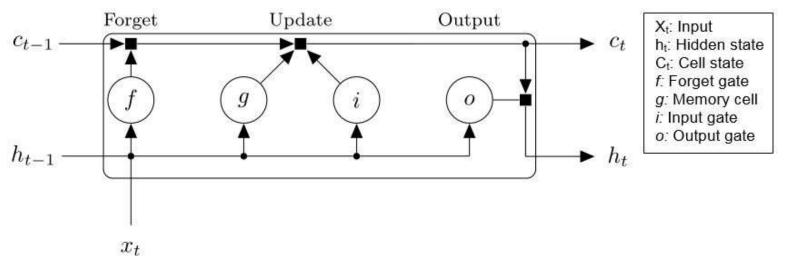




②次数低減(Reduced Order Modeling) LSTM(長・短期記憶)とは https://jp.mathworks.com/discovery/lstm.html

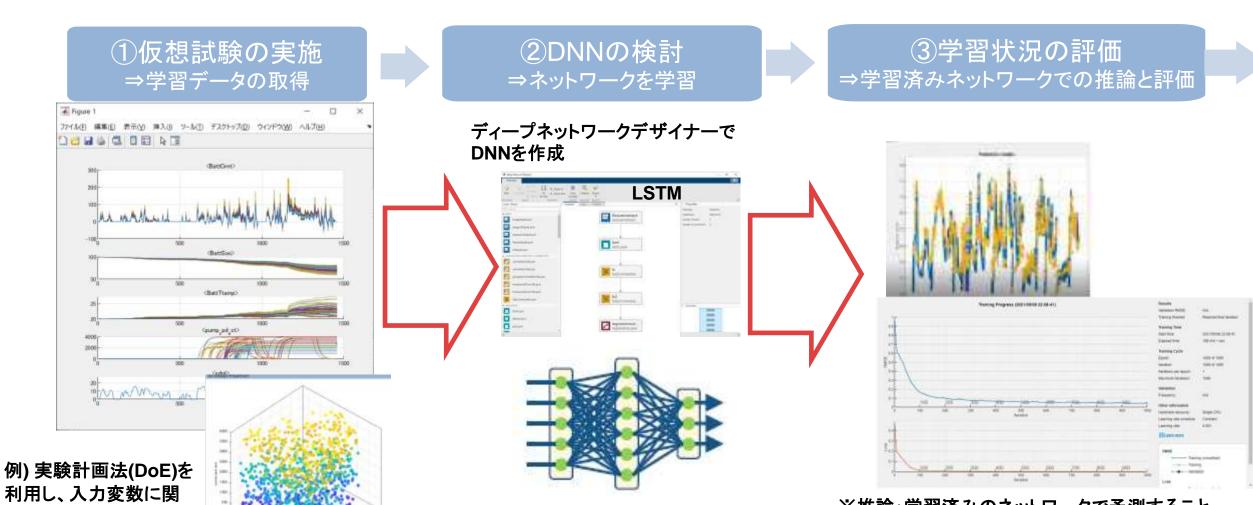
- LSTM (Long Short-Term Memory: 長・短期記憶) ネットワークは、RNN (再帰型 ニューラル ネットワーク) の一種です。
- LSTM の強みは、時系列データの学習や予測(回帰・分類)にあります。
- LSTMネットワークは、ゲートを用いて、関連する情報を選択的に保持し、関連しない情報を忘却することで、勾配消失問題(バニシング・グラジエント)の問題を解決します。時間差に対する感度が低いため、LSTMネットワークは単純なRNNよりも時系列データの解析に

適しています。





②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化: 冷却を考慮したバッテリーモデル



する、パラメータの設定

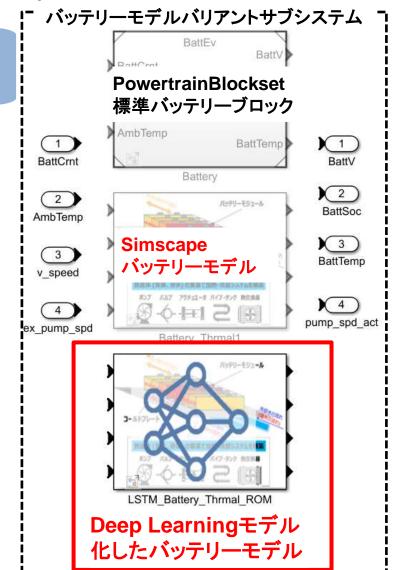
※推論:学習済みのネットワークで予測すること



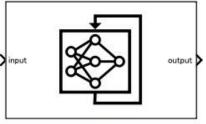
②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化:冷却を考慮したバッテリーモデル

④学習済みのネットワークを Simulinkブロックとして配置

Deep Learning Toolboxが用意する、" Stateful Predict block"を使用し、学習済みモデルをSimulink上のシミュレーションに利用可能。



Stateful Predict block R2021



Stateful Predict

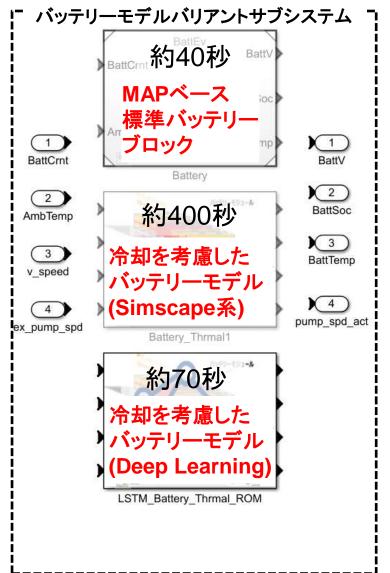
学習済みの再帰型ニューラル ネットワークを使用してInputに対する応答を予測します。

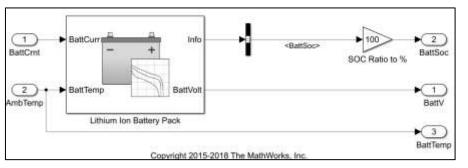
学習済みのネットワークは、MAT ファイルまたは MATLAB 関数からインポートできます。

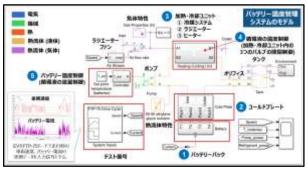


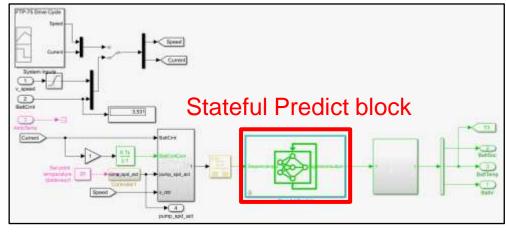
②次数低減(Reduced Order Modeling)

Deep Learning(深層学習)モデル化:冷却を考慮したバッテリーモデル



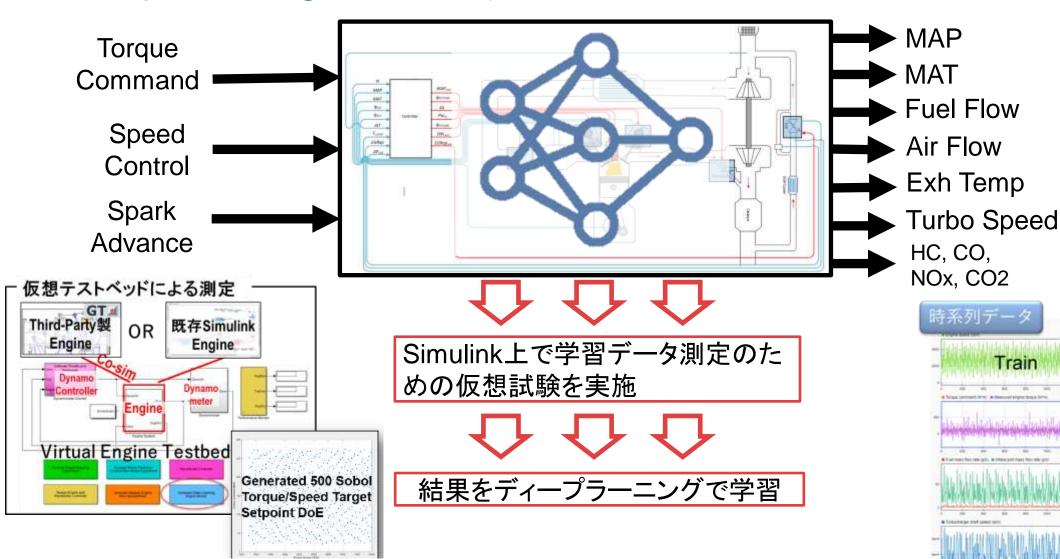


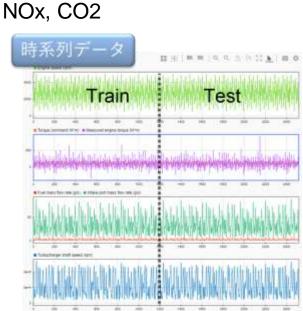






②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化:エンジンモデル



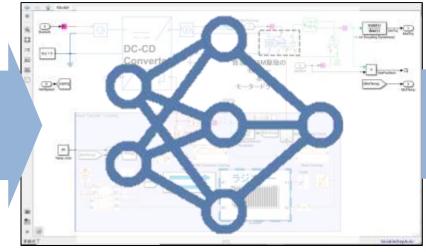




②次数低減(Reduced Order Modeling) Deep Learning(深層学習)モデル化:モーター温度



- 周囲温度
- 冷却液温度
- 測定されたd,q軸電流
- 測定されたd軸・q軸電圧
- モータ回転数測定値 ω



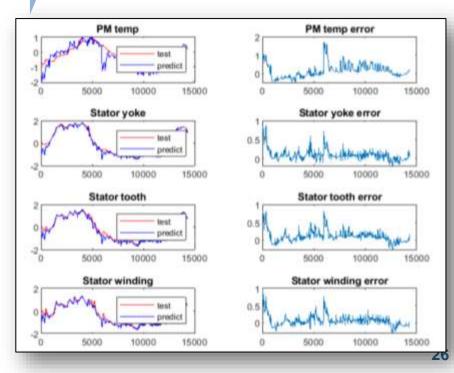


Simulink上で学習データ測定のための仮想試験を実施



結果をディープラーニングで学習

- 永久磁石温度
- ステーターの歯とヨークの温度
- 固定子巻線温度

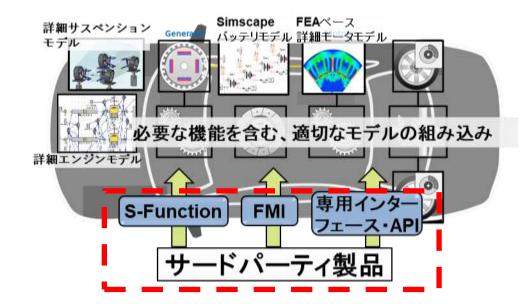


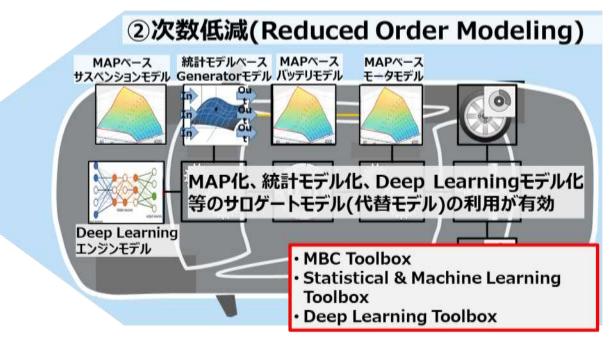


②次数低減(Reduced Order Modeling)

- モデルの軽量化により目的に合わせてシミュレーションの負荷を下げることができる。
- MAP化、統計モデル化、Deep Learningモデル化によりサードパーティ製品の接続・ライセンス制限から解放される。

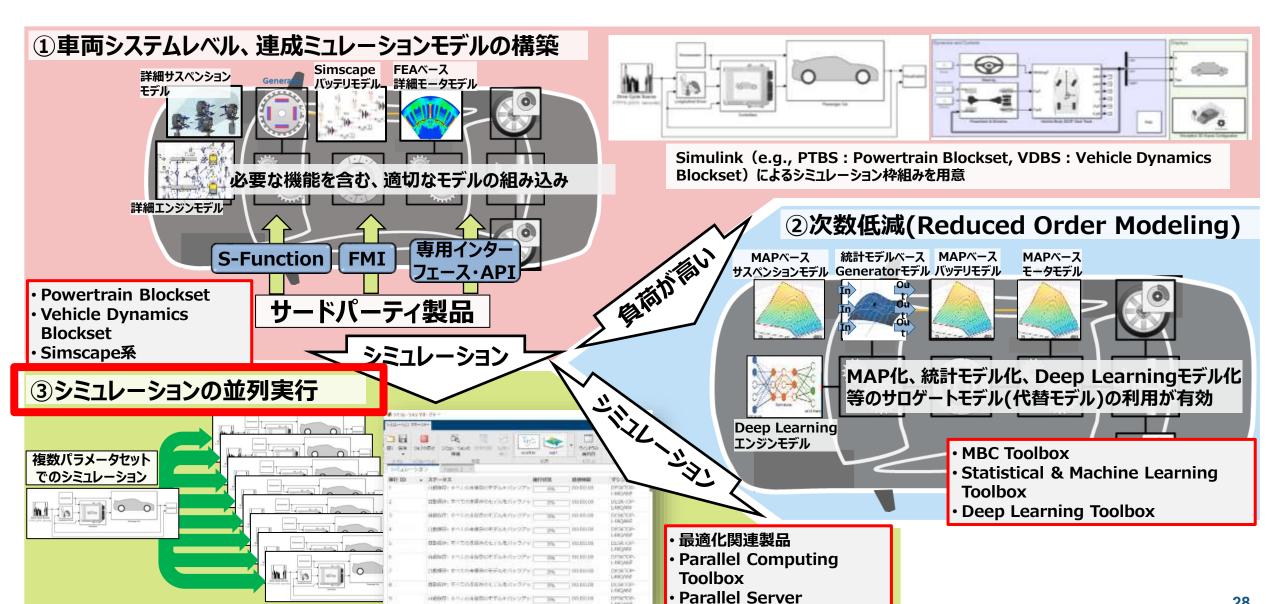
⇒PCT(Parallel Computing Toolbox)を利用したシミュレーションの並列実行をスムーズに行うことができる







車両システムレベルシミュレーション環境

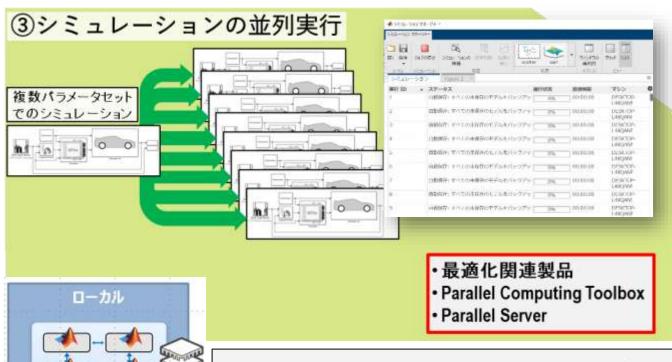




③シミュレーションの並列実行

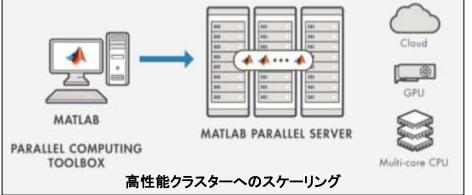
MATLAB デスクトップ

(クライアント)



繰り返しシミュレーション実行が必要なケースにおいて、シミュレーションの並列実行が効率化へ大きな効果を発揮します。

- 例として以下のケースが挙げられます。
 - シミュレーションモデル出力に対する最適化を行う場合
 - シミュレーションモデルのパラメータスタディ・適合を行う場合 ※Local PCでの並列実行にはParallel Computing Toolbox が必要となります。
- デスクトップで作成したシミュレーションモデルを、 HPC(High Performance PC)等によるクラスター やクラウド環境へ拡張した並列実行も可能です。
 - ※クラスタ・クラウド環境での並列実行にはParallel Computing Toolbox と合わせて、MATLAB Parallel Server





Simulink (e.g., PTBS: Powertrain Blockset, VDBS: Vehicle Dynamics

MAP化、統計モテル化、Deep Learningモテル化

Deep Learning Toolbox

Toolbox

Statistical & Machine Learning

システムシミュレーションのための、サロゲートモデリング

①車両システムレベルシミュレーションの構築

Powertrain Blockset

③シミュレーションの並列実行

- 今回紹介させていただきました要素を参考にしていただけると幸いです。
- Deep Learningによるサロゲートモデリングは、現在いくつかのお客様と共に取り組ませていただいております。
- これから類似の取り組みをご検討の際は、ご相談ください。
- 今回紹介の内容に取り組む際は、まずご連絡を頂き、弊社エンジニアによる様々
 - なサポートを提案させていただければ幸いです。
 - アプリケーションエンジニアによる無償サポート
 - コンサルティングエンジニアによる有償サポート Parallel Computing
 - 製品内容に合わせた有償トレーニング



最後までお付き合いいただき、誠にありがとうございました。 ご質問などございましたら、ご連絡いただけると幸いです。

MathWorks

Senior Application Engineer

村上 直也 <u>nmurakam@mathworks.com</u>