

【モデルベースで繋げる】 コンポーネント熱解析と 熱マネジメントの統合シミュレーション

アプリケーションエンジニアリング部

鎌谷 祐貴

2023/11/16

アジェンダ

- Introduction：熱マネジメントシステム設計の難しさ
- Solution：MathWorksが提供する熱解析関連の機能・例題紹介
 - 繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる
 - 繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる
 - 繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる
- まとめ

熱マネジメントシステムとは？

熱放出と熱利用のバランスを取るためのシステム

- 熱源から熱を回収

- DCDCコンバータ
- インバータ
- モータ
- 電池・・・等

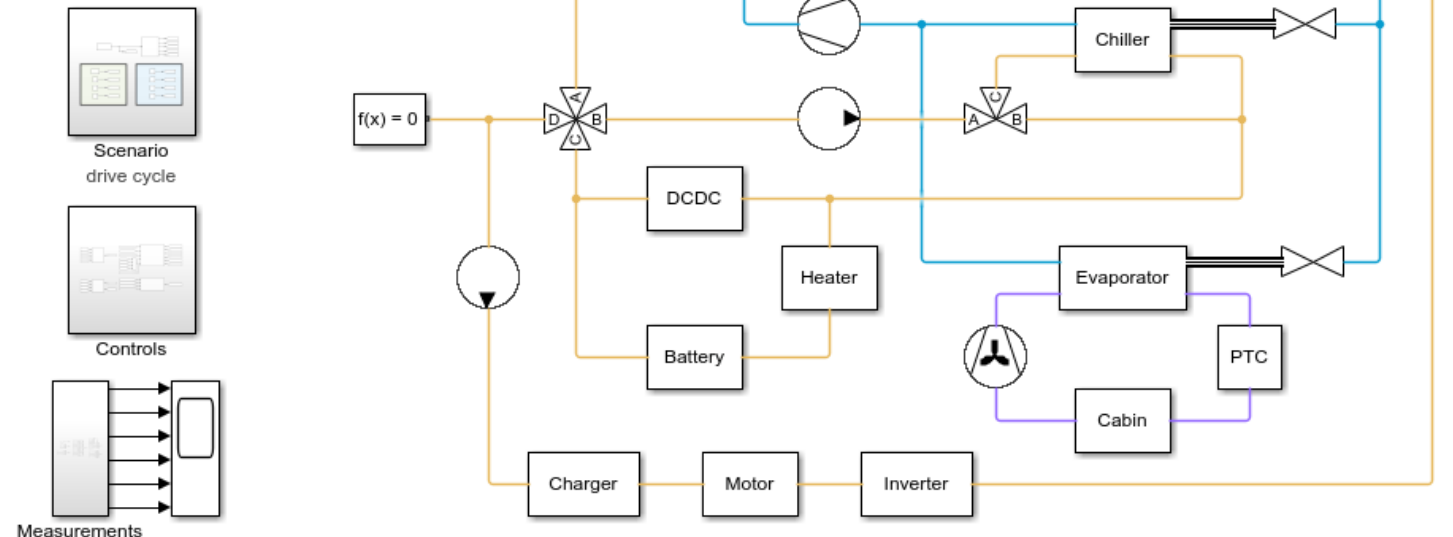
- 環境変化に応じて適切に放熱

- ラジエータで空気中に放熱
- 暖房として利用
- チラーで冷却

Electric Vehicle Thermal Management

1. Configure scenario (see code):
(i) drive cycle, (ii) cool down, (iii) cold weather
2. Plot power consumption in the system (see code)
3. Open Model Workspace to explore parameters (see definition script)
4. Explore simulation results using Simscape Results Explorer
5. Learn more about this example

Copyright 2020-2023 The MathWorks, Inc.



Web: https://jp.mathworks.com/help/hydro/ug/sscfluids_ev_thermal_management.html

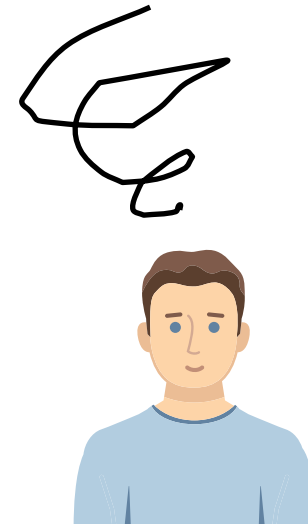
>>openExample('simscapelfluids/ElectricVehicleThermalManagementExample')

熱マネジメントシステム設計の3つの難しさ

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

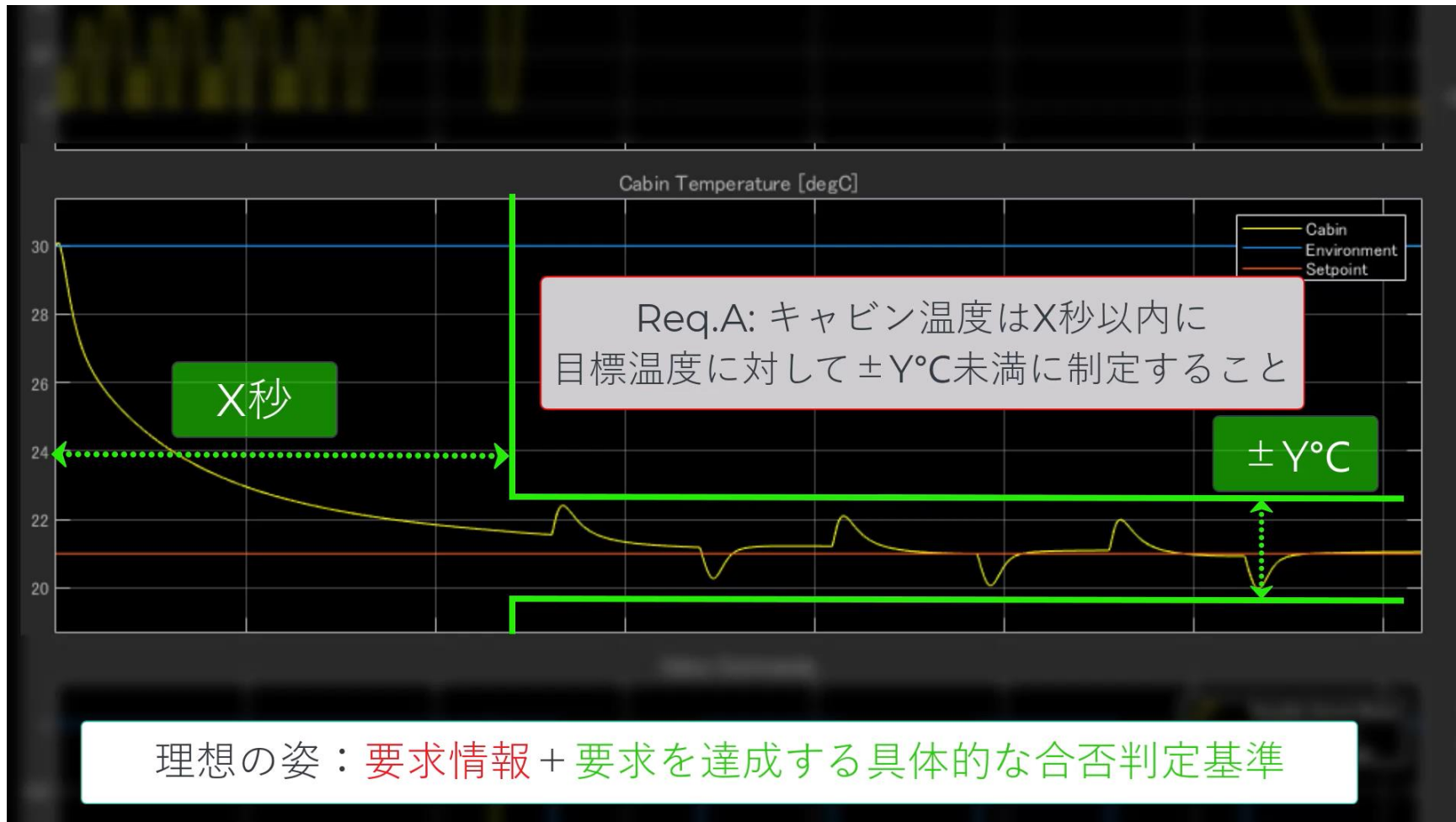
2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難



熱マネジメントの難しさ

1.設計プロセスの課題：要件情報と実装の対応付け管理



熱マネジメントの難しさ

2. シミュレーションの課題：様々な抽象度・観点での設計が必要

抽象度

システム要件
(構築すべき機能・制約条件等)

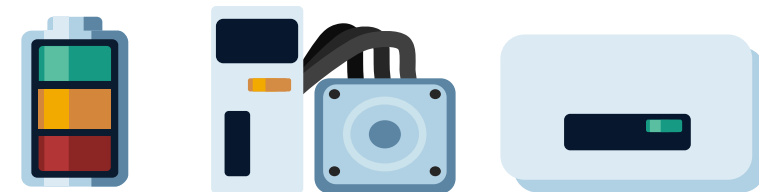
① システム視点

熱マネジメントシステム全体の成立性検証



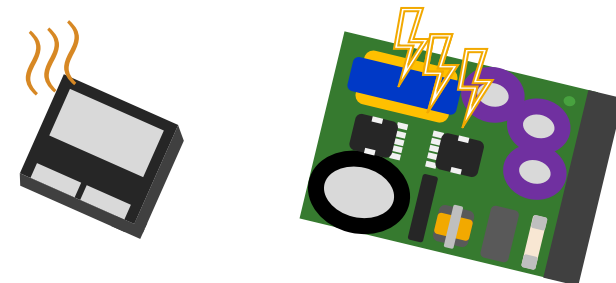
② コンポーネント視点

電力変換回路・制御の統合検証
コンポーネントごとで発生する熱量の解析



③ 詳細デバイスシミュレーション

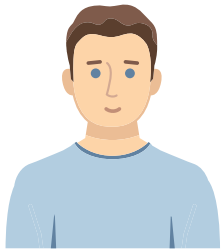
パワー半導体の
スイッチングデバイス単位の詳細損失分析



熱マネジメントの難しさ

3.モデル構築の課題：モデルをゼロベースから構築するのが困難

これだけのモデル構築
どこから手を付ける？
どう関連付けする？



抽象度

システム要件
(構築すべき機能・制約条件等)

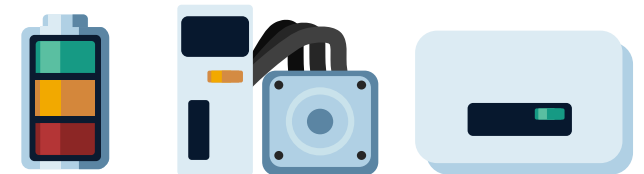
①システム視点

熱マネジメントシステム全体の成立性検証



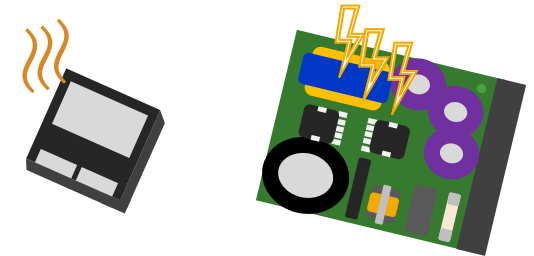
②コンポーネント視点

電力変換回路・制御の統合検証
コンポーネントごとで発生する熱量の解析



③詳細デバイスシミュレーション

パワー半導体の
スイッチングデバイス単位の詳細損失分析



MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



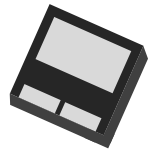
要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート



Training/Consultingで
ナレッジを習得

MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート



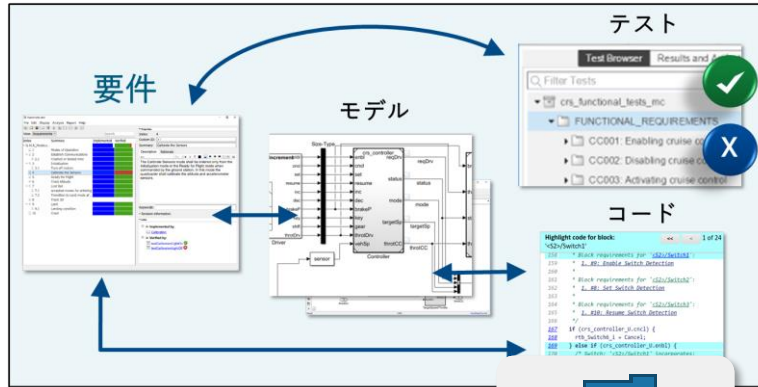
Training/Consultingで
ナレッジを習得

モデル上での検証をサポートするオプション製品機能

理想の姿：要件情報 + 要件を達成する具体的な合否判定基準



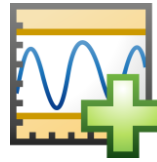
要件・モデル
テストのリンク



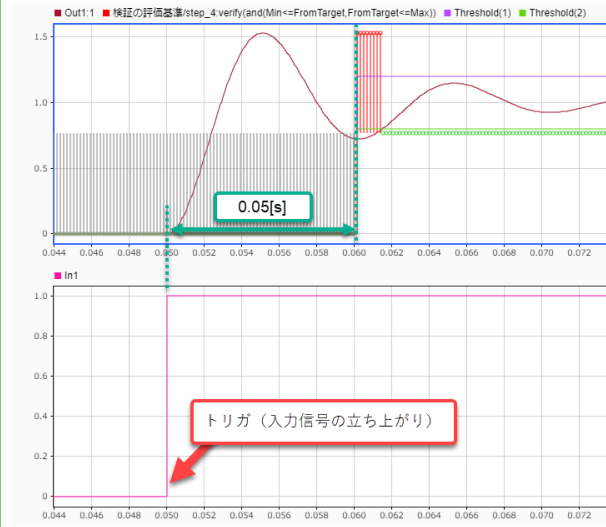
Requirements
Toolbox



Requirements
Manager



テスト対象信号に
達成基準を設定



Simulink Test



複数テストの
一括実行

名前	ステータス
▼ 結果: 2021-Jul-08 14:36:03	1 1
▼ 2ndOrderTF_StepTest	1 1
▶ Delta=0.4	1
▼ Delta=0.8	1
▼ verify ステートメント	1
検証の評価基準/step_...	1



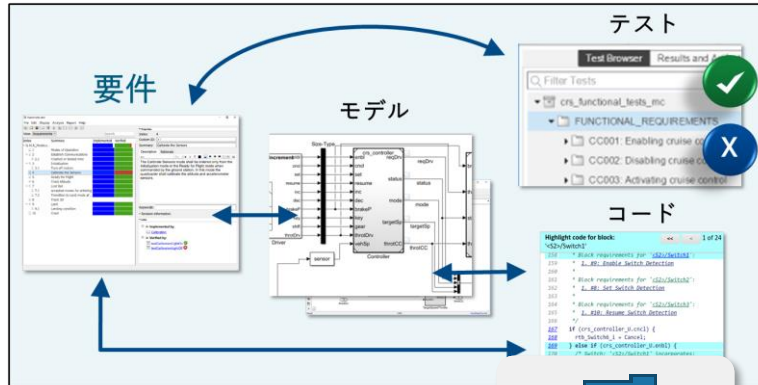
Simulink
Test

モデル上での検証をサポートするオプション製品機能

理想の姿：要件情報 + 要件を達成する具体的な合否判定基準

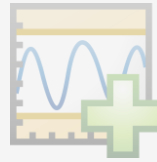


要件・モデル
テストのリンク

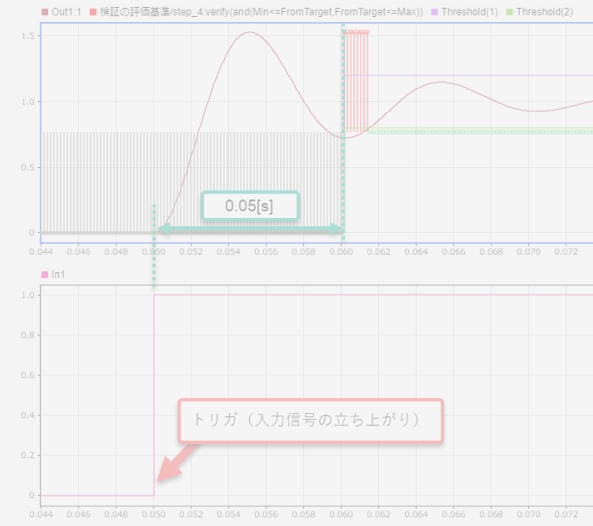


Requirements
Toolbox

Requirements
Manager



テスト対象信号に
達成基準を設定



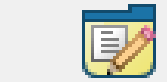
Simulink Test



複数テストの
一括実行

名前	ステータス
▼ 結果: 2021-Jul-08 14:36:03	1 1
▼ 2ndOrderTF_StepTest	1 1
▶ 1 Delta=0.4	1
▼ 1 Delta=0.8	1
▼ 1 verify ステートメント	1
1 検証の評価基準/step_...	1

Simulink
Test



要件と各要素のトレーサビリティ確保

- モデル・テスト等に双方向のトレーサビリティを定義
 - ・ 要件 ~ System Composerで作成したアーキテクチャモデル
 - ・ 要件 ~ Simulinkモデル(Stateflow/Simscapeモデル含む)
 - ・ 要件 ~ Simulink Testで構築するテストケース

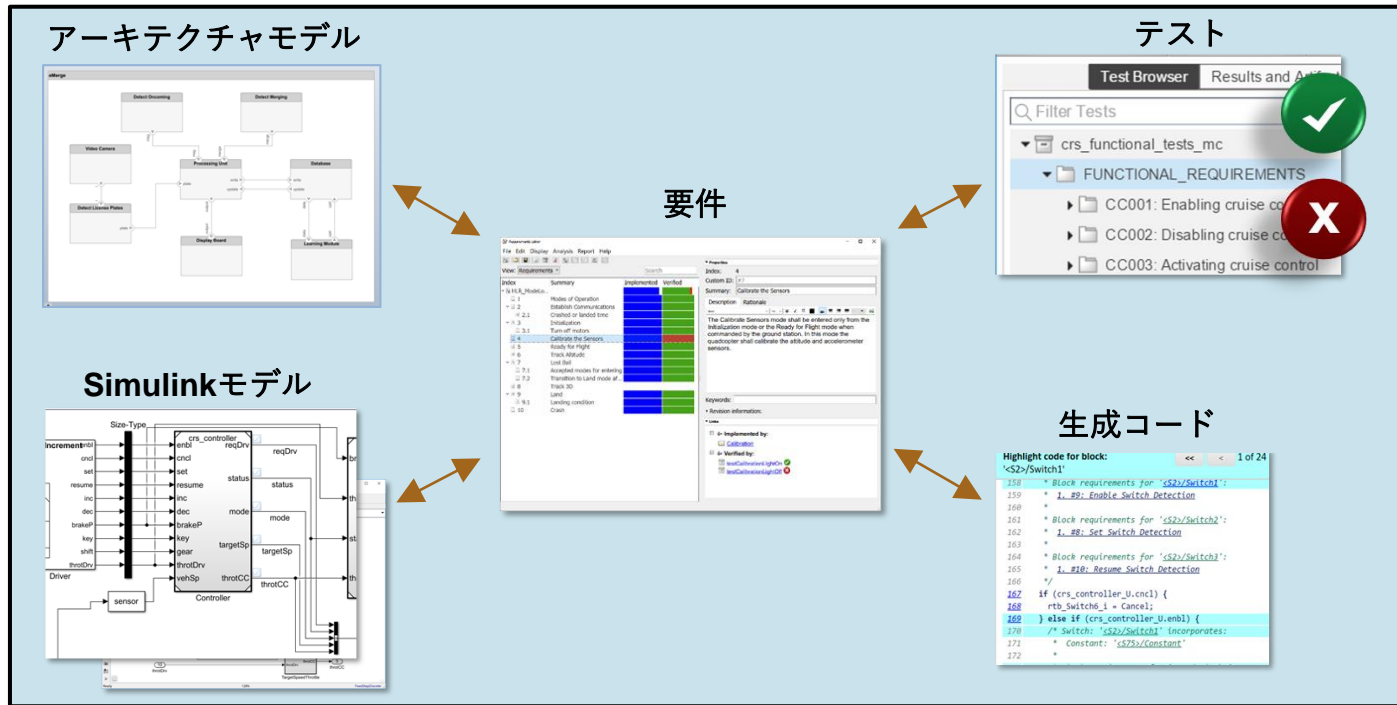
Requirements Toolbox

実装ステータス

Summary	Implemented
...	<div><div></div></div>
Driver Switch Request Handling	<div><div></div></div>
Switch precedence	<div><div></div></div>
Avoid repeating commands	<div><div></div></div>
Long Switch recognition	<div><div></div></div>
Cancel Switch Detection	<div><div></div></div>
Set Switch Detection	<div><div></div></div>
Enable Switch Detection	<div><div></div></div>
Resume Switch Detection	<div><div></div></div>
Increment Switch Detection	<div><div></div></div>

実装ステータス

- 実装済み
- 正当化
- リンクなし



- ・ 要件を紐付けることでモデルに設計の意図・狙いといった情報を付与
- ・ “実装ステータス”で要件された機能が漏れなく実装できているかを視覚的にチェック

Requirements Toolbox, Simulink Testを使う場合は Simulink 標準機能Projectの活用をおすすめします

複数要素の情報を

Projectで集約管理し

まとめて展開

設定要素

Path設定

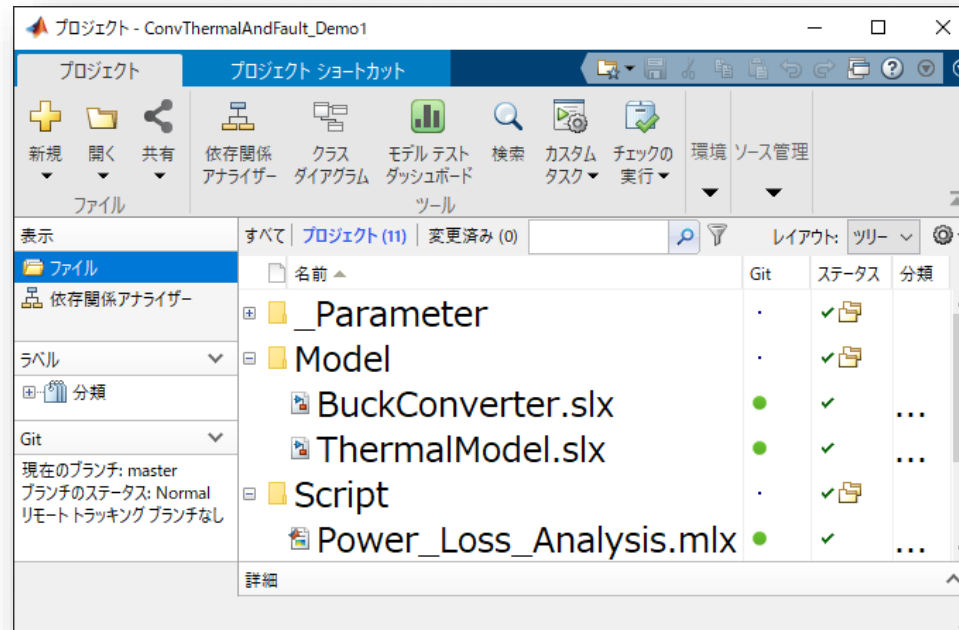
起動・終了時の
定形動作

ファイル

Simulinkモデル

要件ファイル

テストファイル

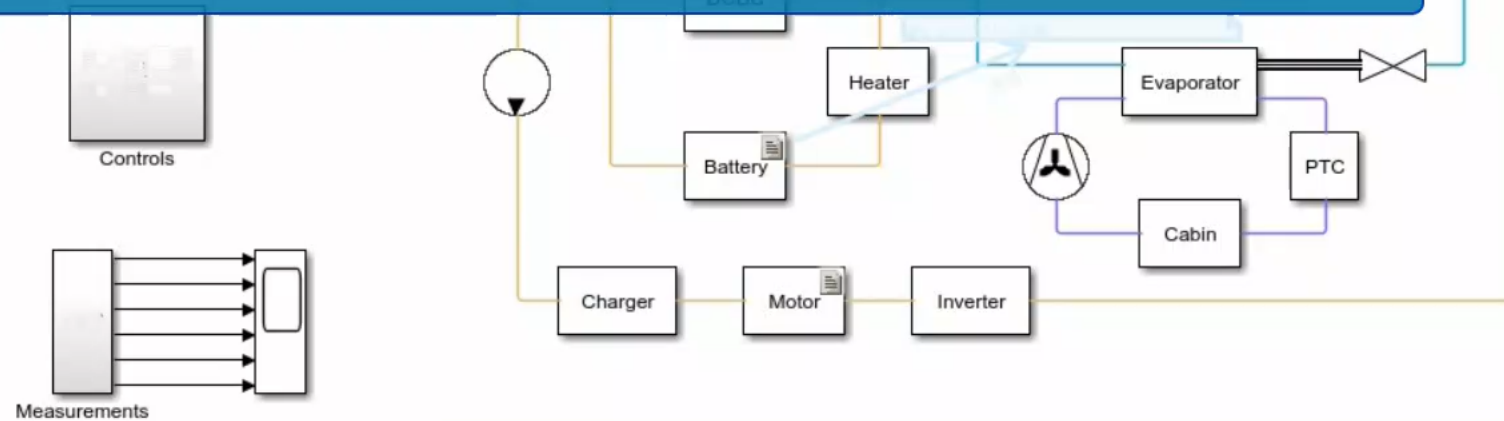


.zip等



GitHub/GitLab等
リポジトリ

モデル要件間のトレーサビリティカバレッジを可視化し 漏れなく要件がモデルに紐づくことを確認



実装ステータス

- 実装済み
- 正当化
- リンクなし

モデル要素に紐づけると
Implementedバーが伸びていく

要件 - ElectricVehicleThermalManagement

表示: 要件 フィルター ビュー

Index	ID	Summary	Implemented
▼ SampleRequirements			
▼ 1	#1	各コンポーネント温度の上下限設定	<div style="width: 80%;"></div>
1.1	#3	DCDC温度	<div style="width: 100%;"></div>
1.2	#4	モータ温度	<div style="width: 100%;"></div>
1.3	#5	バッテリー温度	<div style="width: 100%;"></div>
▼ 2	#2	HVACシステムによる車内エアコン動作の温度制定時間と許容誤差温度	<div style="width: 0%;"></div>
2.1	#6	温度制定時間	<div style="width: 0%;"></div>
2.2	#7	許容誤差温度	<div style="width: 0%;"></div>

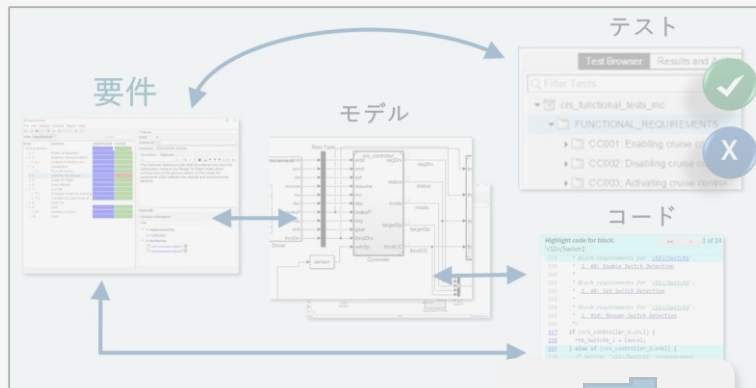
**Requirements
Toolbox**
Requirements
Manager

モデル上での検証をサポートするオプション製品機能

理想の姿：要件情報 + 要件を達成する具体的な合否判定基準

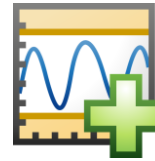


要件・モデル
テストのリンク

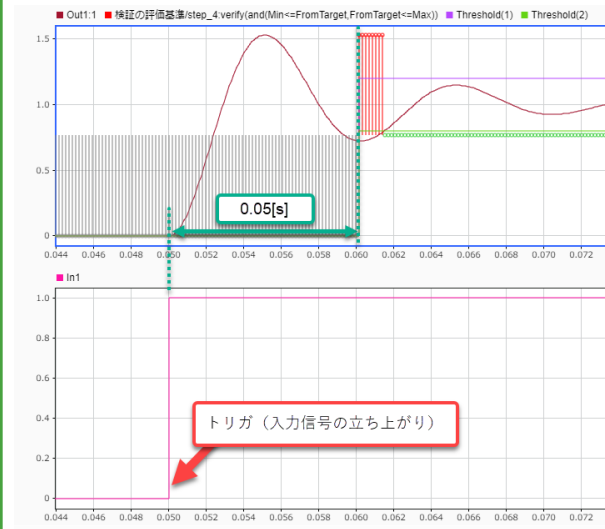


Requirements
Toolbox

Requirements
Manager



テスト対象信号に
達成基準を設定



Simulink Test



複数テストの
一括実行

名前	ステータス
▼ 結果: 2021-Jul-08 14:36:03	1 1
▼ 2ndOrderTF_StepTest	1 1
▶ Delta=0.4	
▼ Delta=0.8	
▼ verify ステートメント	
<input type="checkbox"/> 検証の評価基準/step_...	



Simulink
Test

要件情報に基づいたテストケース作成

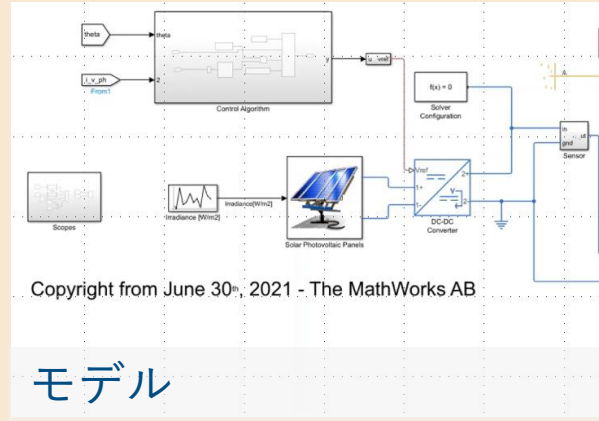
Simulink Testで入力信号 + モデル + 判定条件・結果をまとめて登録

Simulink Test

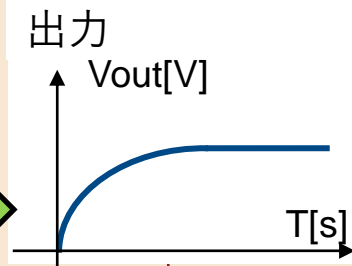


テストケース

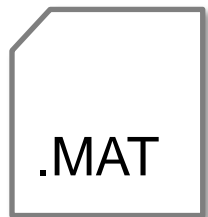
名前	値
Cin	2.0000e-04
Cout	3.0000e-04
Diode_VF	1.5000
Inductor	1.0000e-04
Vin	100



モデル



判定条件



or



Input :
パラメータセット、時系列データなど

Requirements Toolbox

Summary	Implemented	Verified
Driver Switch Request Handling	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Switch precedence	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Avoid repeating commands	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Long Switch recognition	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Cancel Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Set Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Enable Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Resume Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Increment Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>

検証ステータス

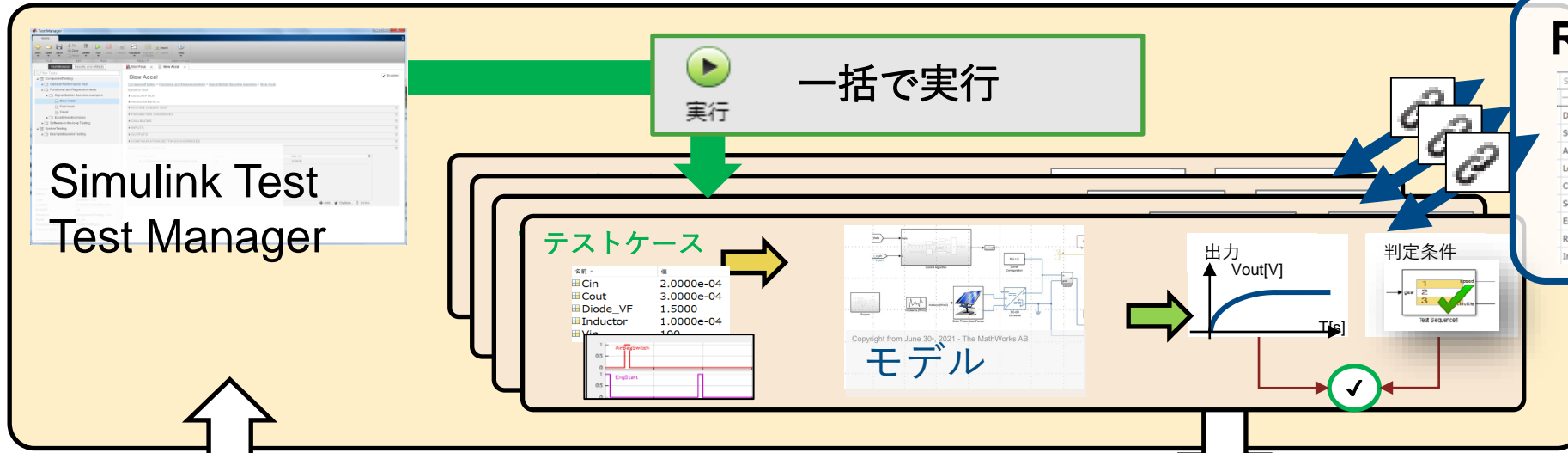
- 合格
- 失敗
- テスト未実施
- 正当化
- テストなし

要件情報に基づいたテストケース作成 複数のテストケースをテストマネージャに集約

Simulink Test



Simulink
Test



Requirements Toolbox

Summary	Implemented	Verified
Driver Switch Request Handling	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Switch precedence	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Avoid repeating commands	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Long Switch recognition	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Cancel Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Set Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Enable Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Resume Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Increment Switch Detection	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>

Input :

複数のパラメータセット、時系列データなど

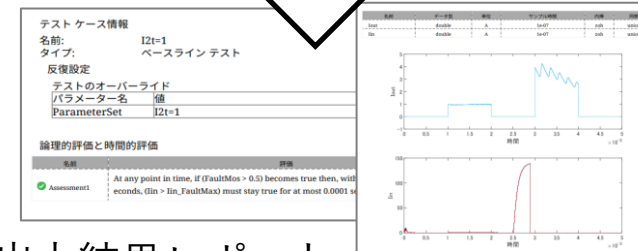
.MAT

or

X

Output :

判定結果・出力結果レポート



- 要件に対応するテストが漏れなく Pass されたかを視覚的に確認
- 一括実行でテスト管理工数削減 / レポート生成で Review 資料作成工数削減



モデル上での検証をサポートするオプション製品機能

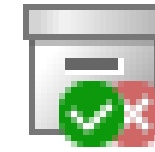
理想の姿：要件情報 + 要件を達成する具体的な合否判定基準



要件・モデル
テストのリンク

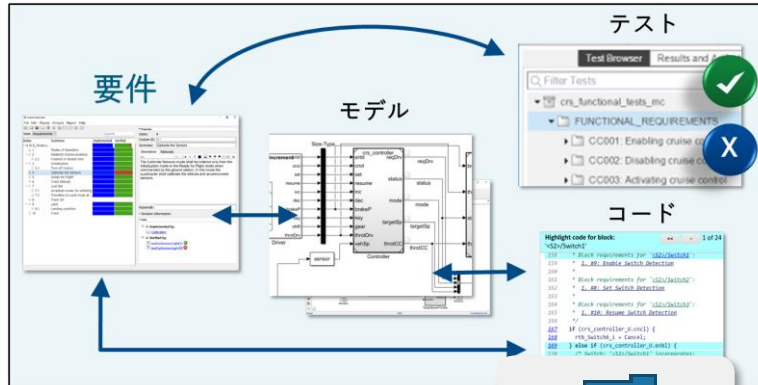


テスト対象信号に
達成基準を設定

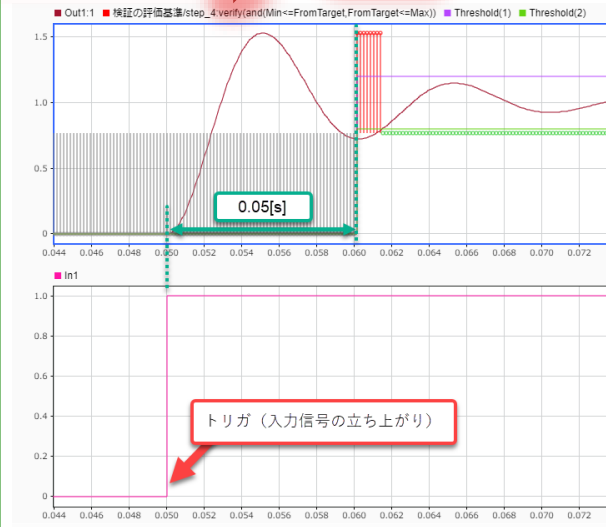


複数テストの
一括実行

テストと要件のリンク

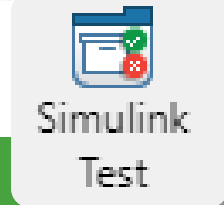


Requirements
Toolbox



Simulink Test

名前	ステータス
結果: 2021-Jul-08 14:36:03	1 1
2ndOrderTF_StepTest	1 1
Delta=0.4	1 1
Delta=0.8	1 1
verify ステートメント	1 1
検証の評価基準/step_...	1 1



要件エディター

Requirements Toolbox

Requirements Manager

要件の追加

リンクの追加

要件の表示

リンクの表示

検索

トレーサビリティマトリクス

トレーサビリティダイアグラム

モデルテストダッシュボード

エクスポート

Index	ID	Summary	Implemented	Verified
SampleRequire...				
1	#1	各コンポーネント温度の上下...		
1.1	#3	DCDC温度		
1.2	#4	モータ温度		
1.3	#5	バッテリー温度		
2	#2	HVACシステムによる車内エア...		
2.1	#6	温度制定時間		
2.2	#7	許容誤差温度		

テストマネージャー

テスト

データインスペクター

形式

新規

開く

保存

切り取り

コピー

削除

貼り付け

テスト仕様レポート

実行

ステップで実行

停止

並列

レポート

可視化

モデル内の強調表示

エクスポート

モデルテストダッシュボード

基本設定

ヘルプ

テストブラウザー

結果とアーティファクト

名前またはタグで結果をフィルター (たとえば、1)

名前

ステータス

結果 2023-Oct-30 16:18:25

2

コンポーネント温度試験

ElectricVehicleThermalManagementExample » EV熱マネ試験 » コンポーネント温度試験

シミュレーションテスト

☐ テストケースを外部ファイルから作成

タグ

説明

要件*

テスト対象システム*

モデル: ElectricVehicleThermalManagement

テストハートネス

シミュレーション設定とリリースのオーバーライド

パラメーターのオーバーライド

コールバック

入力

シミュレーション出力*

コンフィギュレーション設定のオーバーライド

回復

論理的評価と時間的評価*

カスタム基準

カバレッジの設定

テストの実行 - SampleRequirements:

テスト	テストソース	テストの状態	検証
コンポーネント温度...	ElectricVehicleTh...	パス	1.1, 1.2, 1.3
HVAC車内温度制...	ElectricVehicleTh...	パス	2.1, 2.2

テストの実行 閉じる

プロパティ

ファイルパス: C:\LocalWS\MyGitLab\ElectricVehicleTherm

リビジョン: 5

作成者: ykamatan

作成日: 28-10月-2023 20:44:55

更新者: ykamatan

変更日: 30-10月-2023 13:39:37

説明:

プロパティ

名前: 結果: 2023-Oct-30 16:18:25

ステータス: 2

開始時間: 10/30/2023 16:18:26

終了時間: 10/30/2023 16:24:28

検証ステータス

合格

失敗

テスト未実施

正当化


テストなし


テスト実行後、判定が合格になると検証ステータスが更新されます


Solution1 : まとめ

 Solution1 を活用することで複雑な要件情報 + 検証項目をモデルと連携して管理し、
複雑な熱マネジメントシステム設計を効率化しましょう！

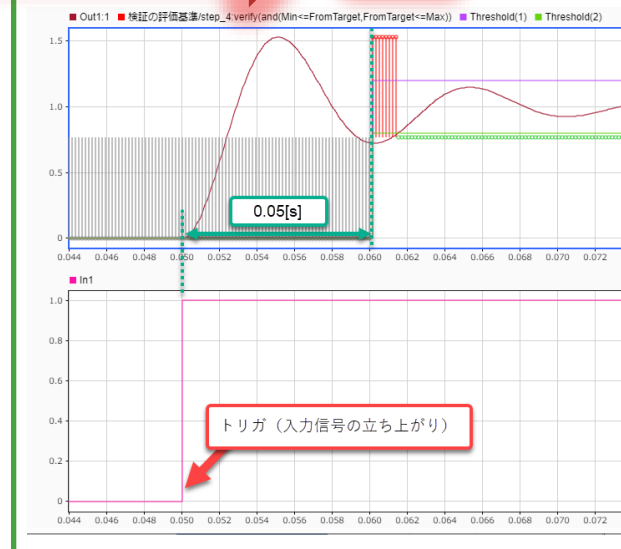
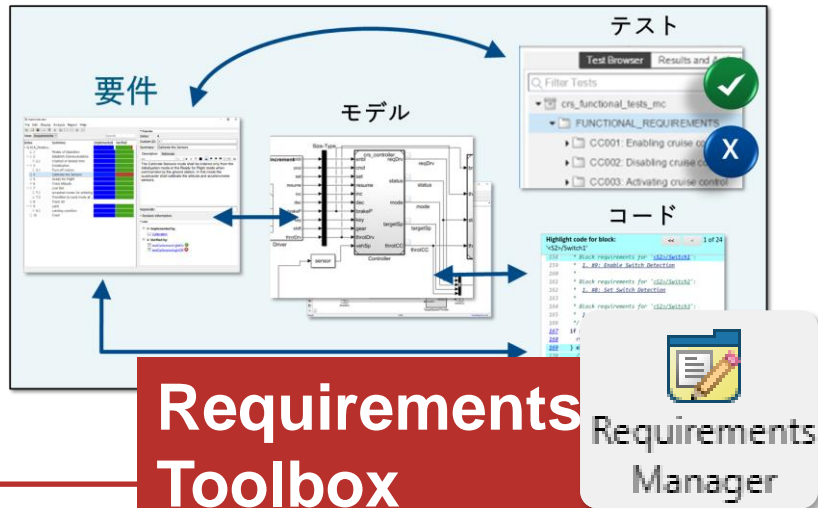
理想の姿：要件情報 + 要件を達成する具体的な合否判定基準

 要件・モデル
テストのリンク

 テスト対象信号に
達成基準を設定

 複数テストの
一括実行

テストと要件のリンク



名前	ステータス
結果: 2021-Jul-08 14:36:03	1 1
2ndOrderTF_StepTest	1 1
Delta=0.4	1 1
Delta=0.8	1 1
verify ステートメント	1 1
検証	1 1

Simulink Test

Simulink
Test

MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



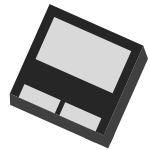
要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート

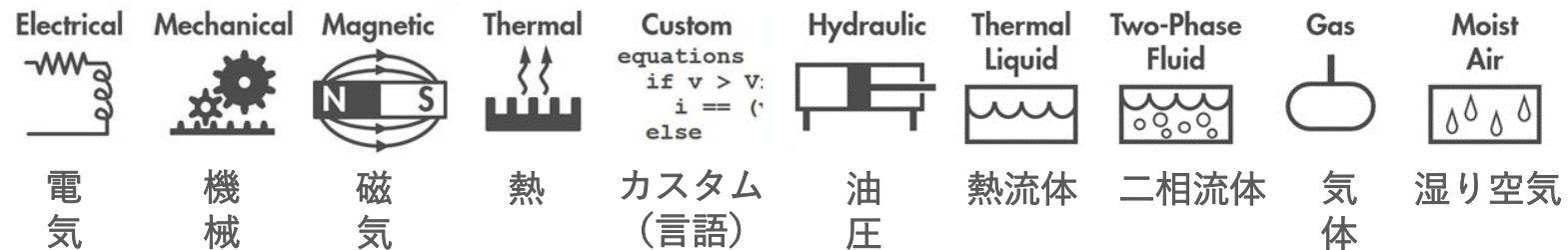


Training/Consultingで
ナレッジを習得

Simscape はエンジニアリング設計の問題解決を支援するための物理システムのモデリング・シミュレーション環境です

基本ブロック
+ ソルバ

Simscape



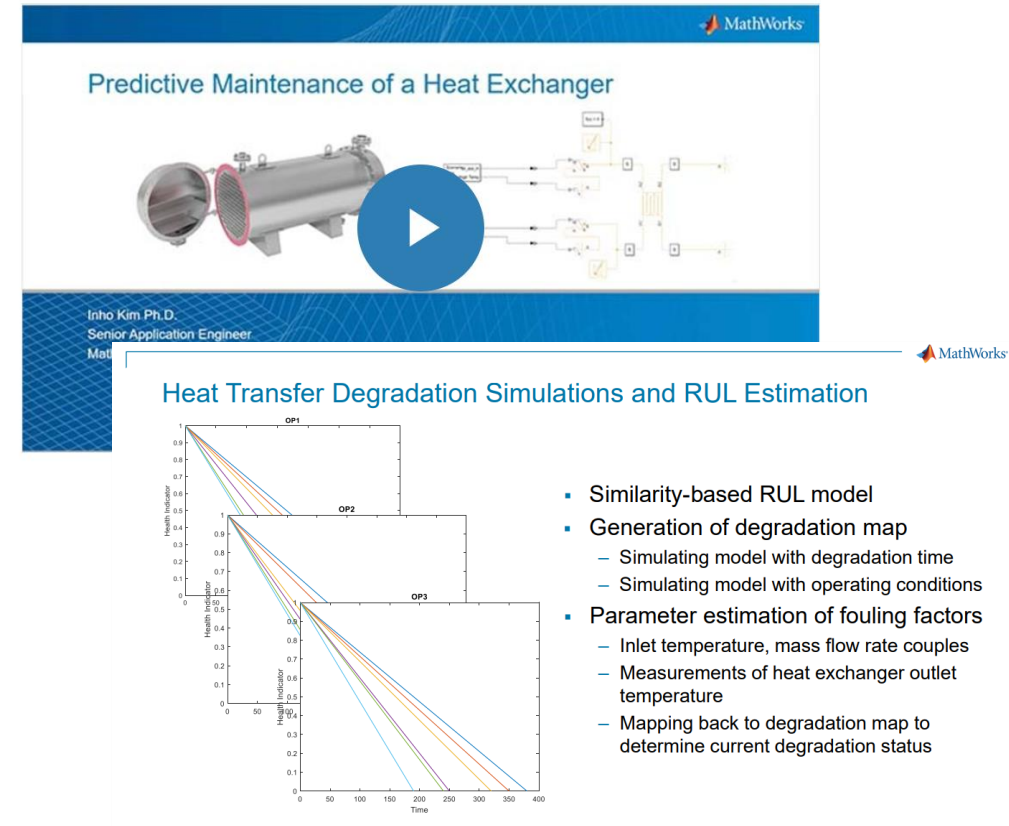
- ✓ 特徴1: MATLAB + Toolboxesとの連携した設計検証
- ✓ 特徴2: アドオン製品追加で幅広い物理表現をサポート
- ✓ 特徴3: 抽象度が異なる複数のブロックをサポート



Simscape特徴 1 :MATLAB + Toolboxesとの連携した設計検証

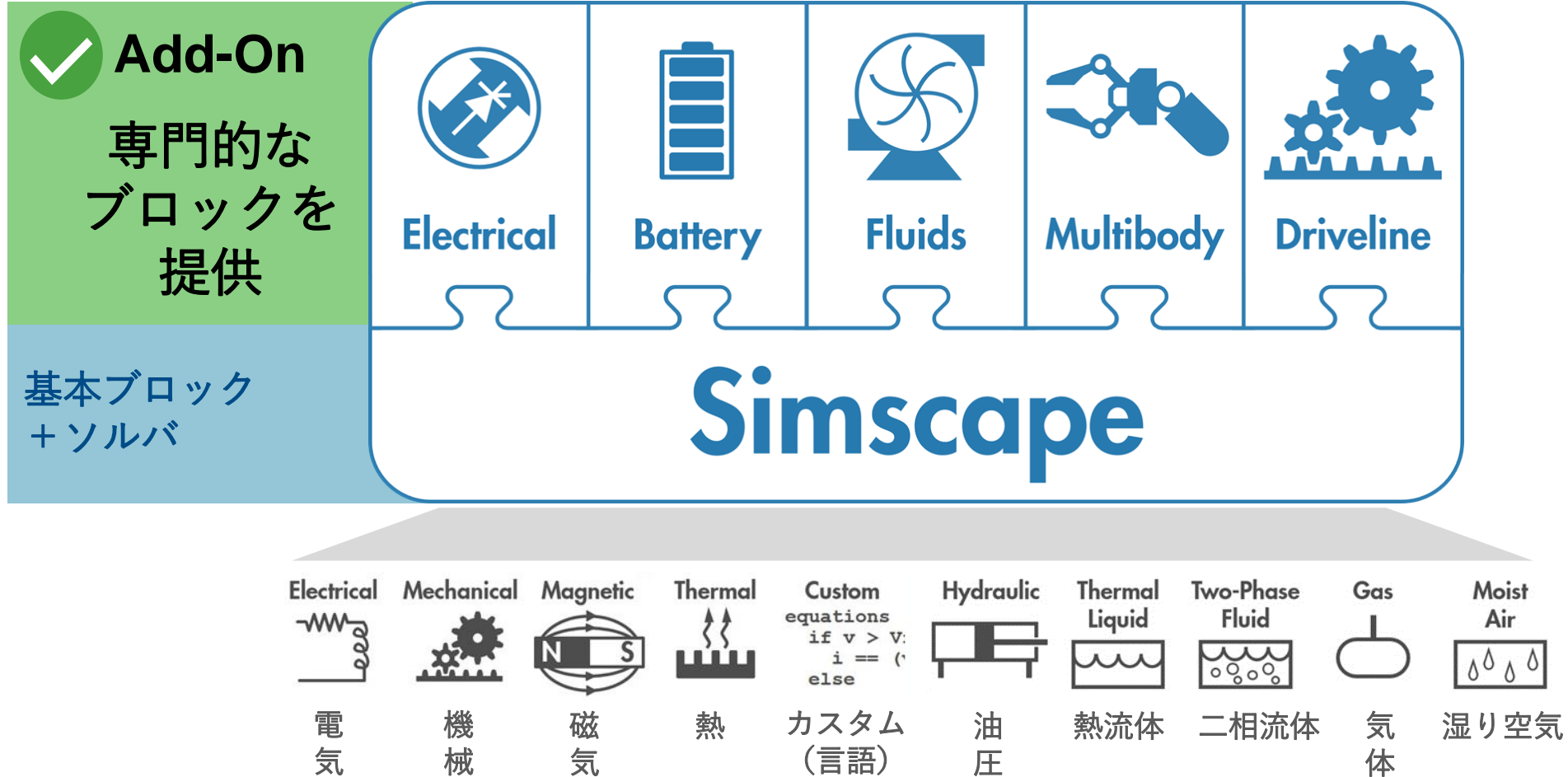
例：【MATLAB + Simscape Fluid】熱交換器の予知保全

- 熱交換器に予知保全プログラムを実装することで、熱交換器の寿命を延ばすために動作を変更する時期と、洗浄のために熱交換器を一時停止する時期を特定
- Summary
 - Simscape Fluidを活用した熱交換器の熱流体モデル化
 - Simulink Design Optimizationを活用した（異なる劣化条件と稼働条件下における）熱交換器の汚れ係数の特定
 - 様々なシナリオにおける劣化度合いのシミュレーション
 - Predictive Maintenance Toolboxを用いたRUL*モデルの構築と、汚れ係数の逆解析によるRULの予測
 - *RUL: Remaining Useful Life（残存耐用期間）
- Related Sample
 - [サンプル：類似性ベースの残存耐用期間推定](#)

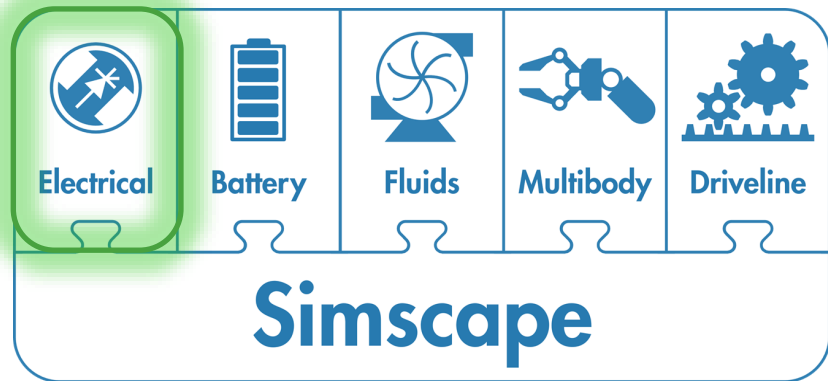


Check [Web Seminar](#)

✓ Simscape特徴 2: アドオン製品追加で幅広い物理表現をサポート

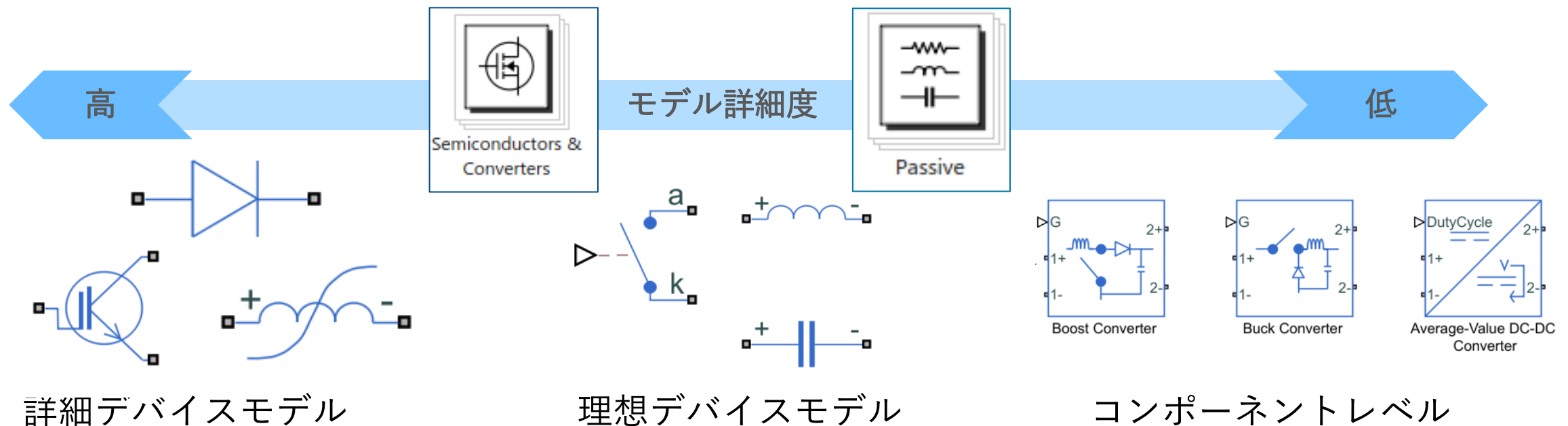


✓ Simscape特徴3: 抽象度が異なる複数のブロックをサポート

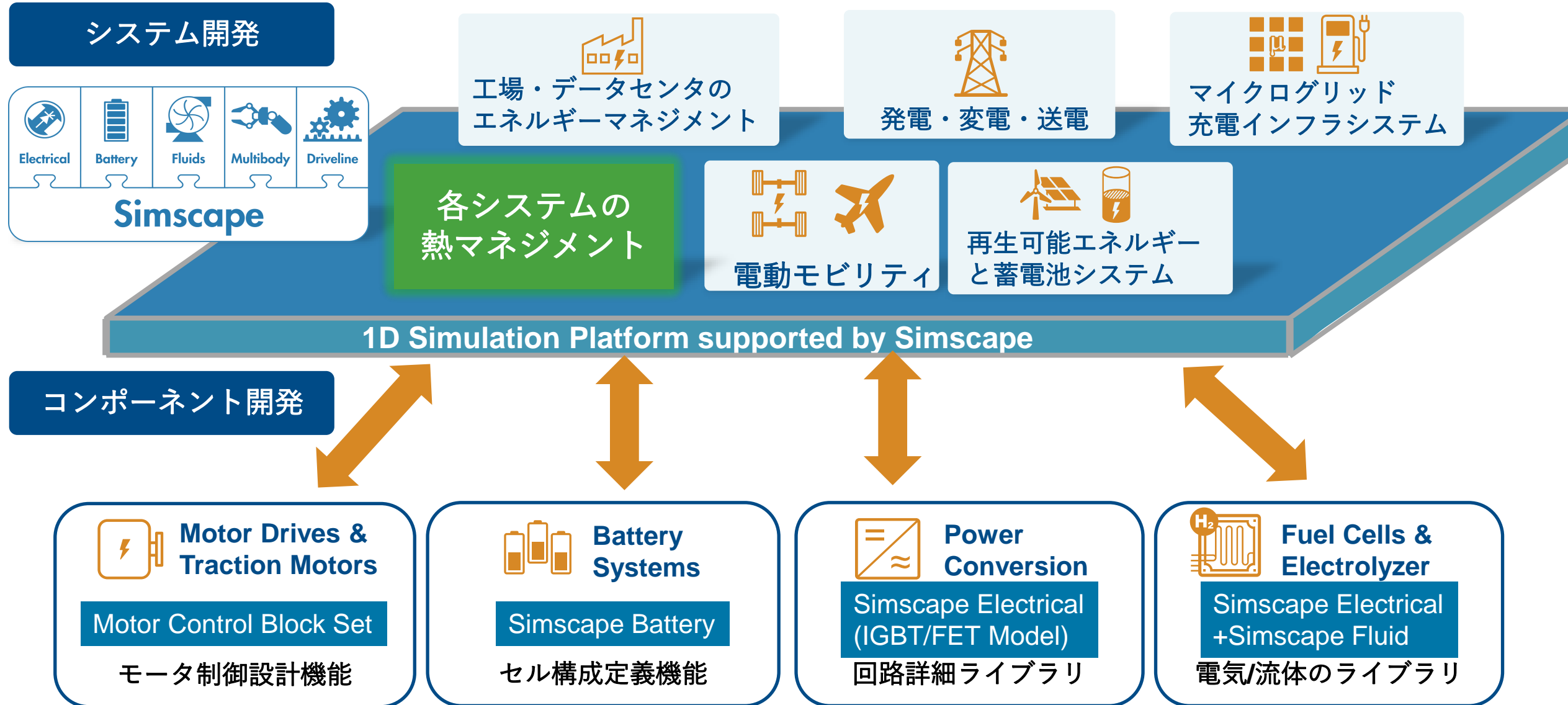


✓ 同じ部品ブロックでもこれだけ種類を提供

- ・ 詳細なコンポーネントシミュレーション
 - ・ 全体俯瞰を目的としたシステムシミュレーション
- 両方に対応できる適応範囲の広さが特徴！



Simscapeを中心に複数の製品を使い分けることで 複雑なシステム設計に対応します



MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1. 設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



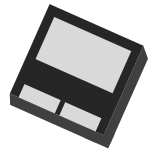
要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2. シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3. モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート

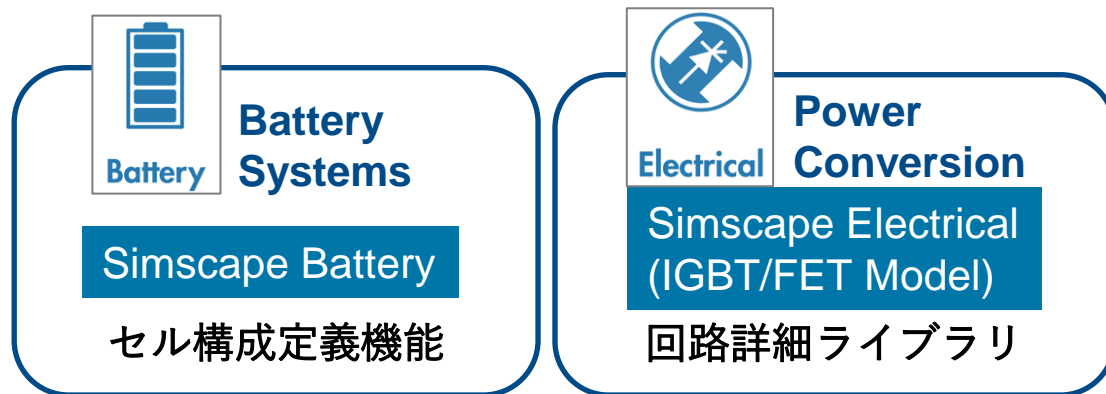


Training/Consultingで
ナレッジを習得

Simscape による熱解析のワークフロー

コンポーネント開発

目的：バッテリー・パワーエレクトロニクスシステム粒度の熱解析



関連セミナー：

[【モデルベースで解決】 バッテリーマネジメントシステムのモデリング、設計、ソフト開発を加速](#)

関連セミナー：

[Simscape Electricalによるコンバーター熱解析と故障検知](#)

システム開発

目的：システム全体の熱解析

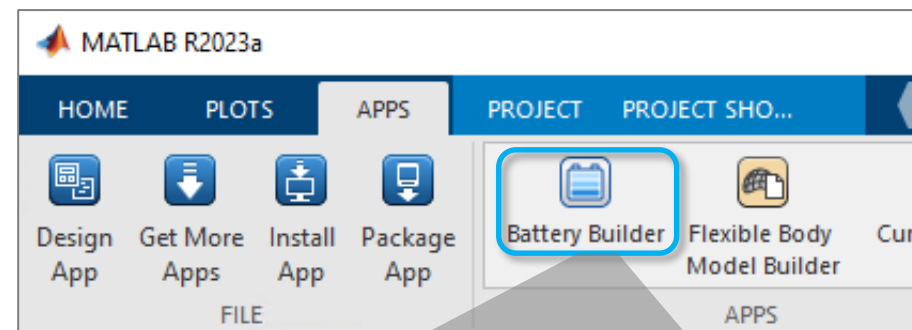


コンポーネント粒度の詳細モデルでいかに熱量を見積もれるかがポイントの一つ
→バッテリー熱解析・損失分析関連の最新Updateについてご紹介!

バッテリービルダー

アプリを使ってパックをモデリング

- バッテリーパックモデルをアプリで対話的に設計
 - 新しいバッテリーオブジェクトを作成
 - バッテリーオブジェクトの構造を3Dの図によって可視化し、バッテリーパックの構造を確認※
 - 空間的な大きさや熱抵抗などのバッテリーオブジェクトのプロパティを編集
 - バッテリーオブジェクトをSimscapeのライブラリへ変換

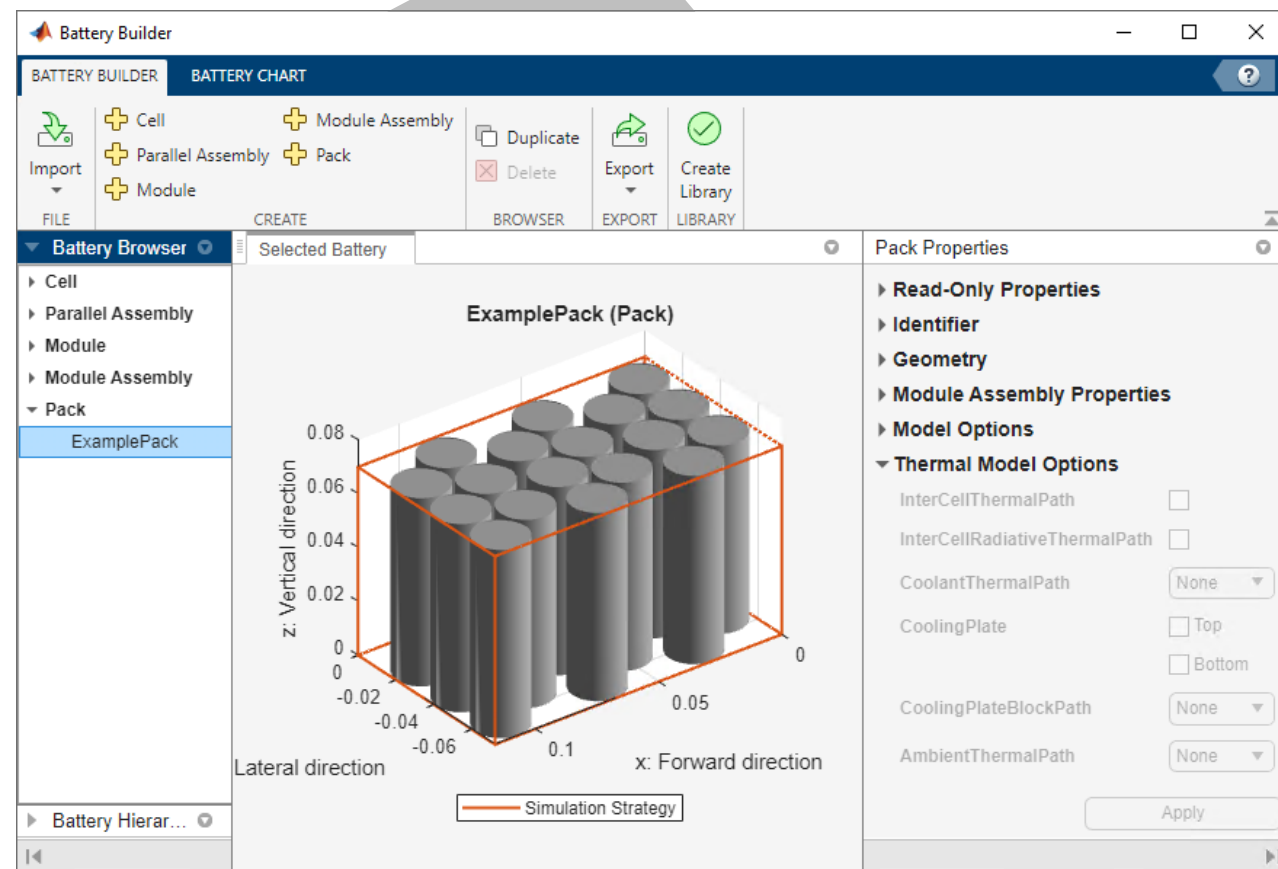


Simscape
Battery



Battery

R2023a



関連セミナーで詳しく操作を紹介しています：

【モデルベースで解決】 バッテリーマネジメントシステムのモデリング、設計、ソフト開発を加速

バッテリー状態の可視化 ([BatterySimulationChart](#))

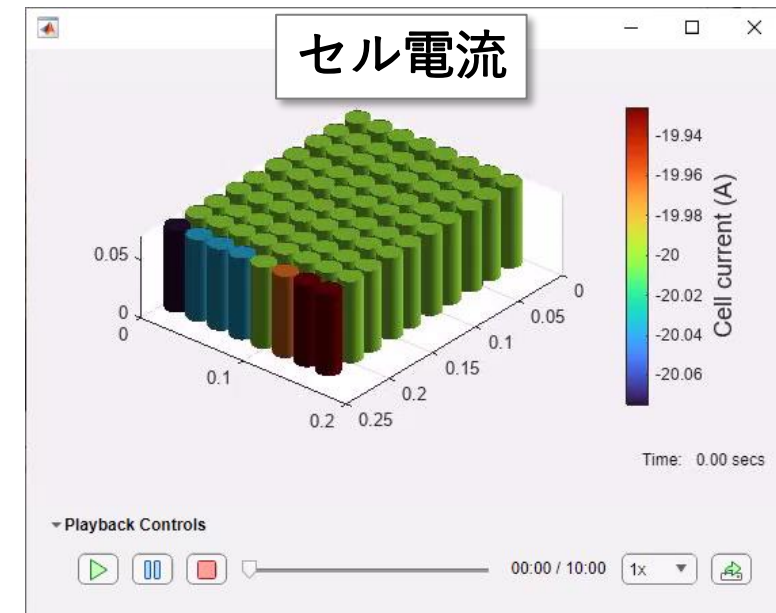
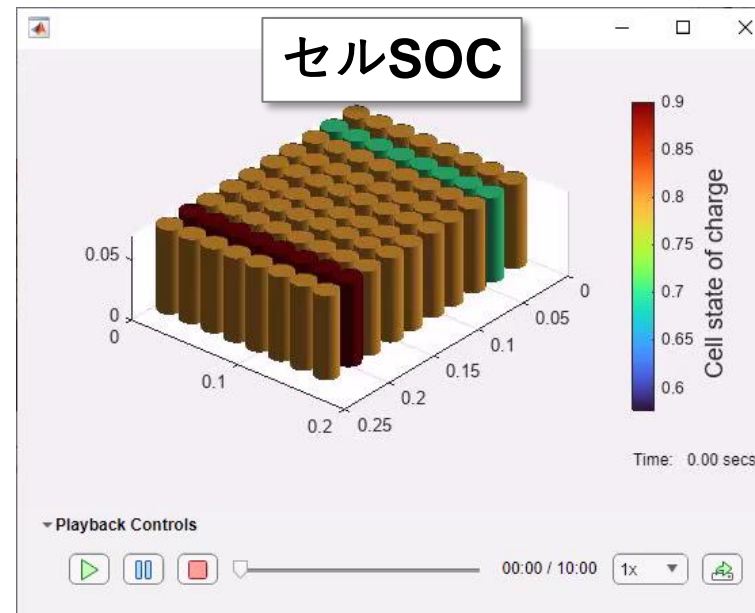
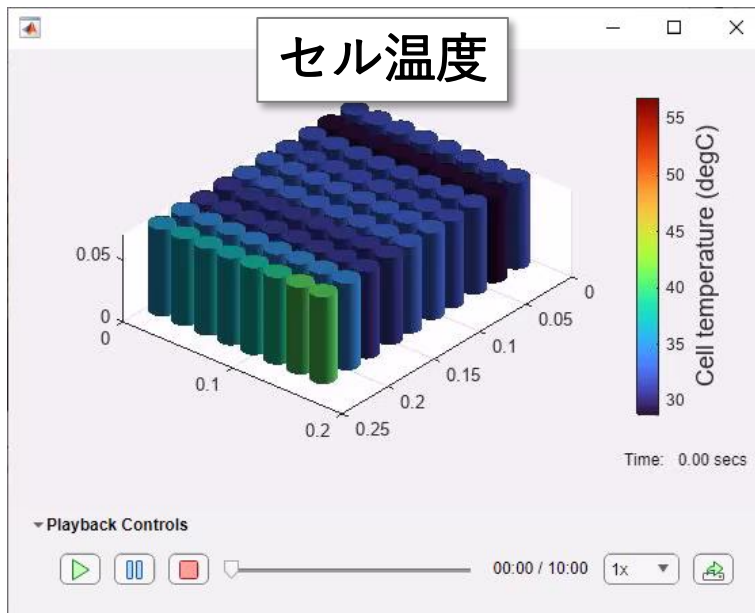
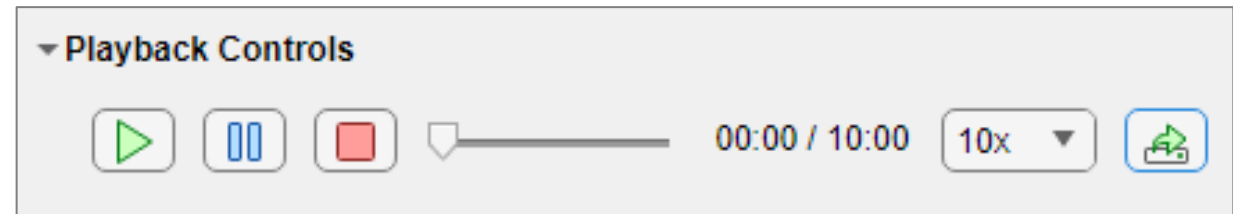
R2023b

Simscape
Battery



- シミュレーション結果を使用して
バッテリーパックをアニメーション化
して可視化する
 - バッテリーパック内の各セルの電流、
温度、SOCなどの量を表示

- 再生コントロールを使用して、アニメーションを制御し、
ビデオファイルに保存する

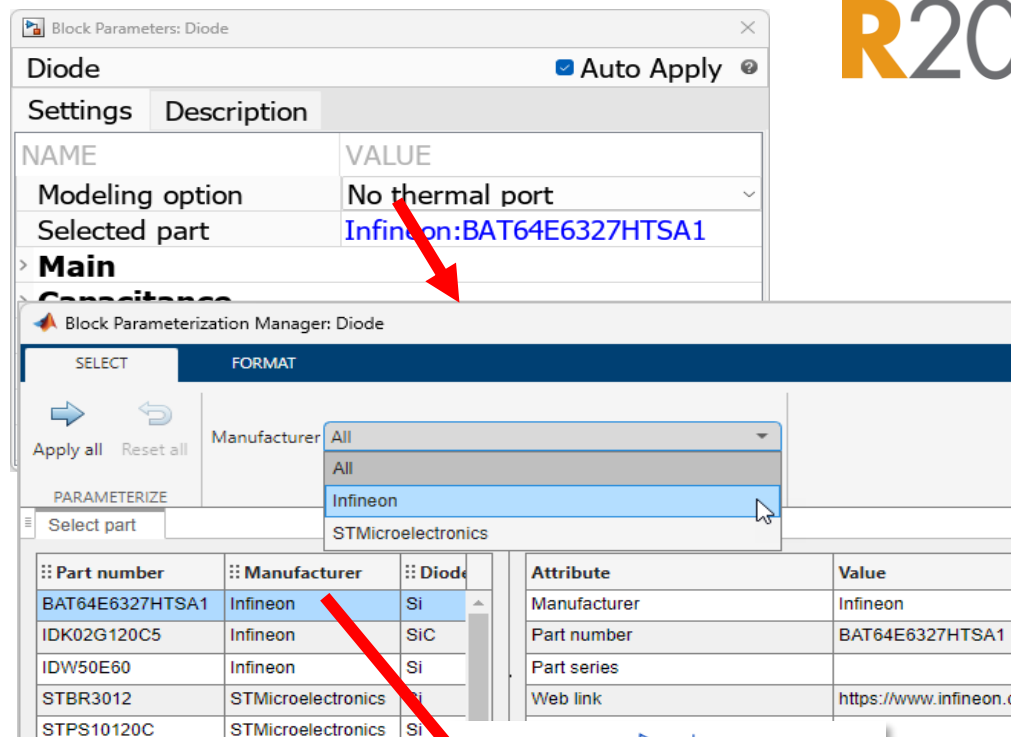
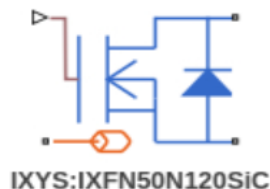
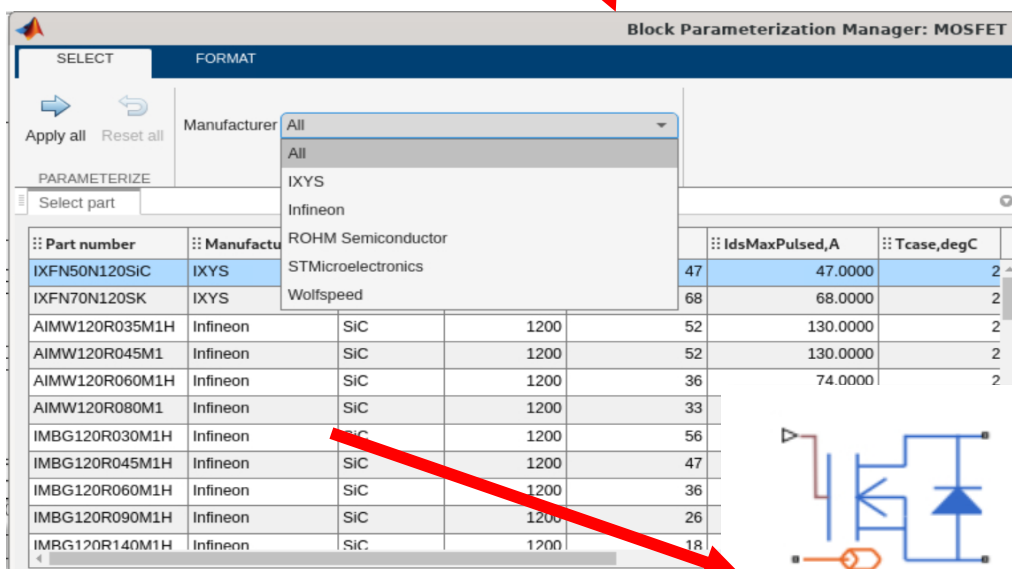
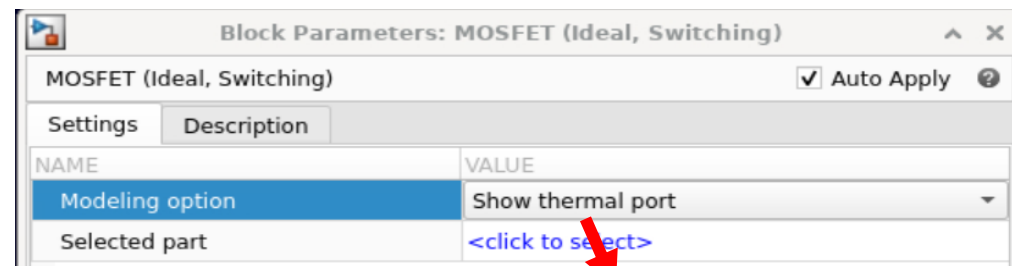


※ 3D-CAE (xyz空間方向の微分方程式) のモデリングではなく熱伝搬経路が限定された”1Dモデル”を構築します

理想スイッチ半導体デバイスへのアップデート

プリセットパラメータ追加 (64 SiC MOSFETs, 15 SiC MOSFET half-bridges 7 Diodes)

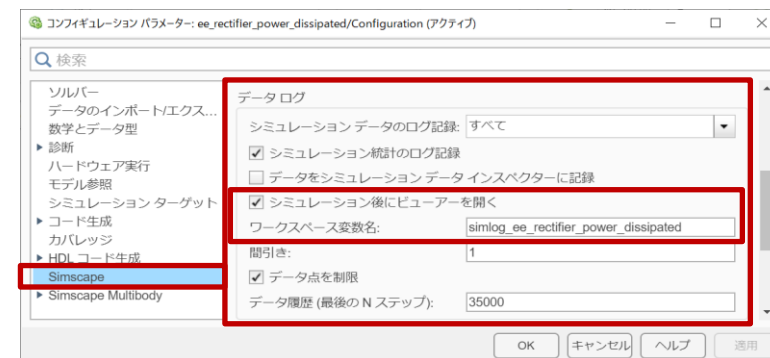
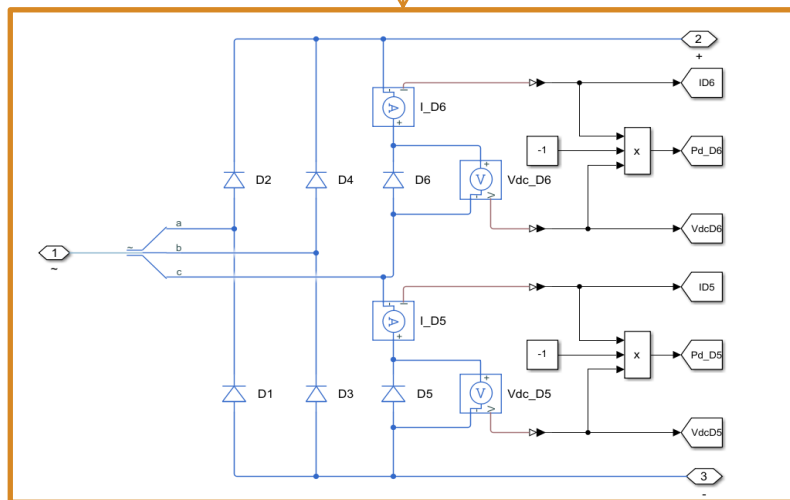
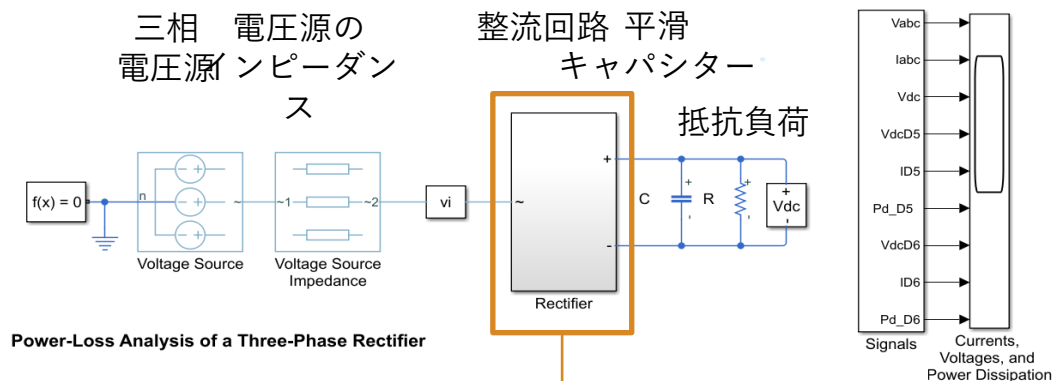
R2023b



- 各社が公表しているデータシート値と一致するパラメータプリセット
- テーブル表現されたスイッチング損失データも含まれています: $E_{on}(T_j, I_{ds})$, $E_{off}(T_j, I_{ds})$

電力変換コンポーネント単位の損失の計測 (指定時間での平均損失[W]) ee_getPowerLossSummary 関数

R2021a



```
modelName = 'ee_rectifier_power_dissipated';
open_system(modelName);
```

```
tabulatedLosses =  
ee_getPowerLossSummary(Node,startTime,endTime)
```

```
>> tabulatedLosses = ee_getPowerLossSummary(simlog_ee_rectifier_power_dissipated)  
tabulatedLosses =
```

9 × 2 table

LoggingNode	Power
'ee_rectifier_power_dissipated.R'	26507
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D6'	52.222
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D3'	52.222
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D4'	52.194
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D5'	52.194
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D1'	52.194
'ee_rectifier_power_dissipated.Rectifier.D2'	52.194
'ee_rectifier_power_dissipated.Voltage_Source_Impedance'	19.076
'ee_rectifier_power_dissipated.C'	1.448e-05

関連セミナーで詳しいデモがあります！：Simscape Electricalによるコンバータ熱解析と故障検知

MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート

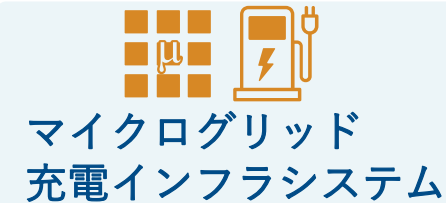


Training/Consultingで
ナレッジを習得

複数の条件での静特性を表現するモデルが必要な場合
→コンポーネントモデルを直接システムモデルに繋がられない

システム開発

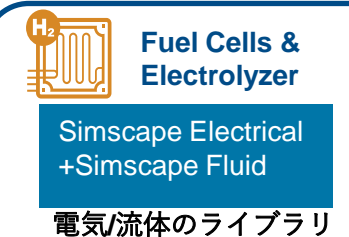
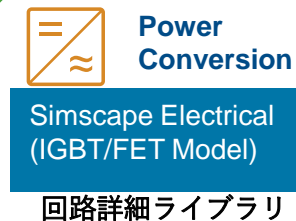
目的：システム全体の熱解析



モデル粒度の壁

目的：
詳細なコンポーネント設計

コンポーネント開発



Solution：サロゲートモデルの活用

サロゲートモデルで利用される方法分類

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Acceleration	Cylinders	Displacement	Horsepower	Model_Year	Weight	Origin	MPG	
41	12	8	400	175	71	5140	USA	13	
42	13.5	6	258	110	71	2962	USA	18	
43	19	4	140	72	71	2408	USA	22	
44	14	4	122	86	71	2220	USA	23	
45	19.5	4	79	70	71	2074	France	30	
46	14.5	4	88	76	71	2065	Italy	30	
47	19	4	71	65	71	1773	Japan	31	
48	18	4	72	68	71	1613	Japan	35	
49	19	4	97	68	71	1834	Germany	27	
50	20.5	4	140	165	71	1955	USA	26	
51	(x_1, x_2, \dots, x_n)					2278	Japan	24	
52						2126	USA	25	
53	23.5	4	140	165	72	2254	Germany	23	
54			140	165	72	2408	USA	24	
55			122	165	72	2226	USA	24	
56			350	165	72	4274	USA	14	
57	12	8	400	175	72	4385	USA	14	
58	13.5	8	318	150	72	4135	USA	15	
59	11.5	8	304	150	72	3672	USA	17	
60	11	8	429	208	72	4633	USA	11	
61	13.5	8	350	155	72	4502	USA	13	
62	12.5	8	400	190	72	4422	USA	13	
63	13.5	3	70	97	72	2330	Japan	19	

(x_1, x_2, \dots, x_n)

予測子

f

応答

サロゲート
モデル

静特性表現

Look up table

回帰分析

etc.

過渡特性表現

機械学習

深層学習

etc.

モデル構築の目的・システムの粒度に応じて適切な手法を選択することが大切！

サロゲートモデルの活用

→モデル粒度・環境などが異なるモデル間をつなぐ

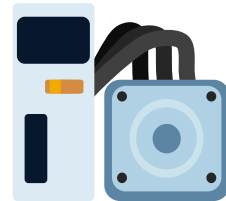
①システムオブシステムズ シミュレーション

システム全体の成立性検証



②パワエレシステムシミュレーション

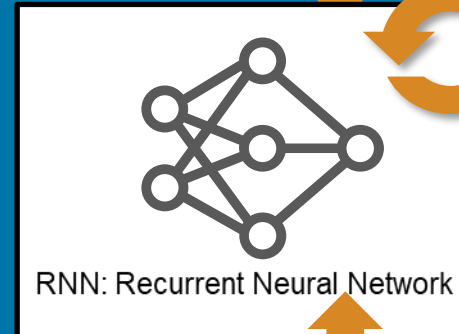
回路・制御の統合検証
パワエレシステム全体の損失分析



機械学習モデルを用いたサロゲート化 (一部 過渡特性まで表現可能)

Step3:
軽量化モデルをシステムモデルに組み込む

Step2:
同じ入力を入れたときに詳細モデル結果と等価な振る舞いになるように学習



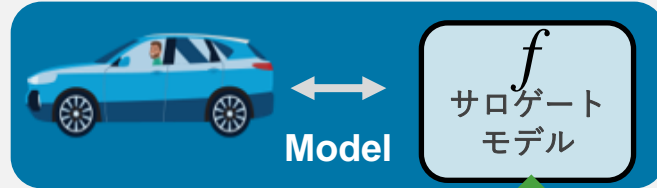
Step1:
詳細モデルの入出力データを取得

このワークフローにおいてはどのような入力データを使うか？
どの条件でデータを学習させるかという観点でテクニカルな知見が必要になります。
もしTryされる場合は
弊社のコンサルティングサービスを活用した導入をおすすめします。

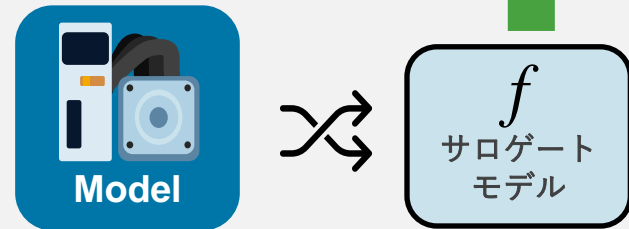
我々のお客様がサロゲートモデルを活用されるよくある目的

1. モデルの軽量化

システムモデル

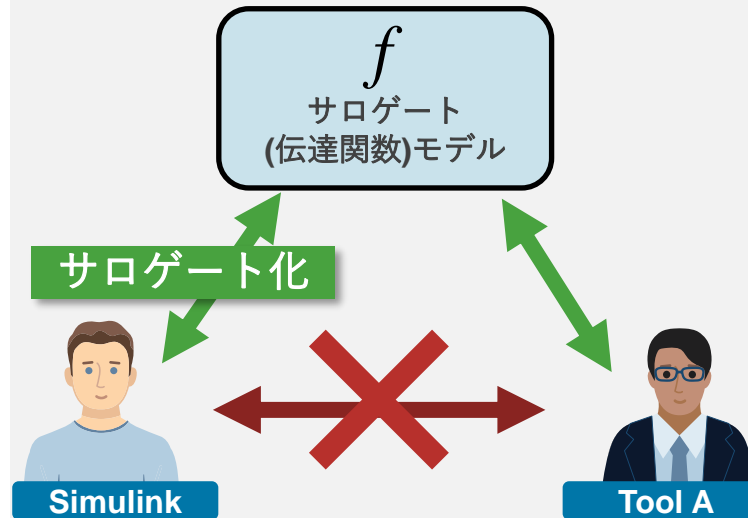


モデル粒度の壁



軽いサロゲートモデルに変換し
システムモデルの一部として活用

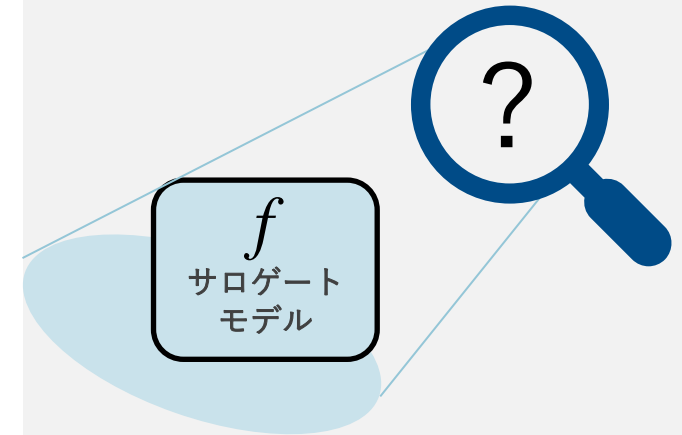
2. 異なるツール間でのモデル連携



(例) そのままのモデルは連携できないが
たとえば伝達関数モデルなら両方のツールで解釈可能

シンプルなモデルに変換すること
でツール連携の敷居を下げる

3. 隠蔽化

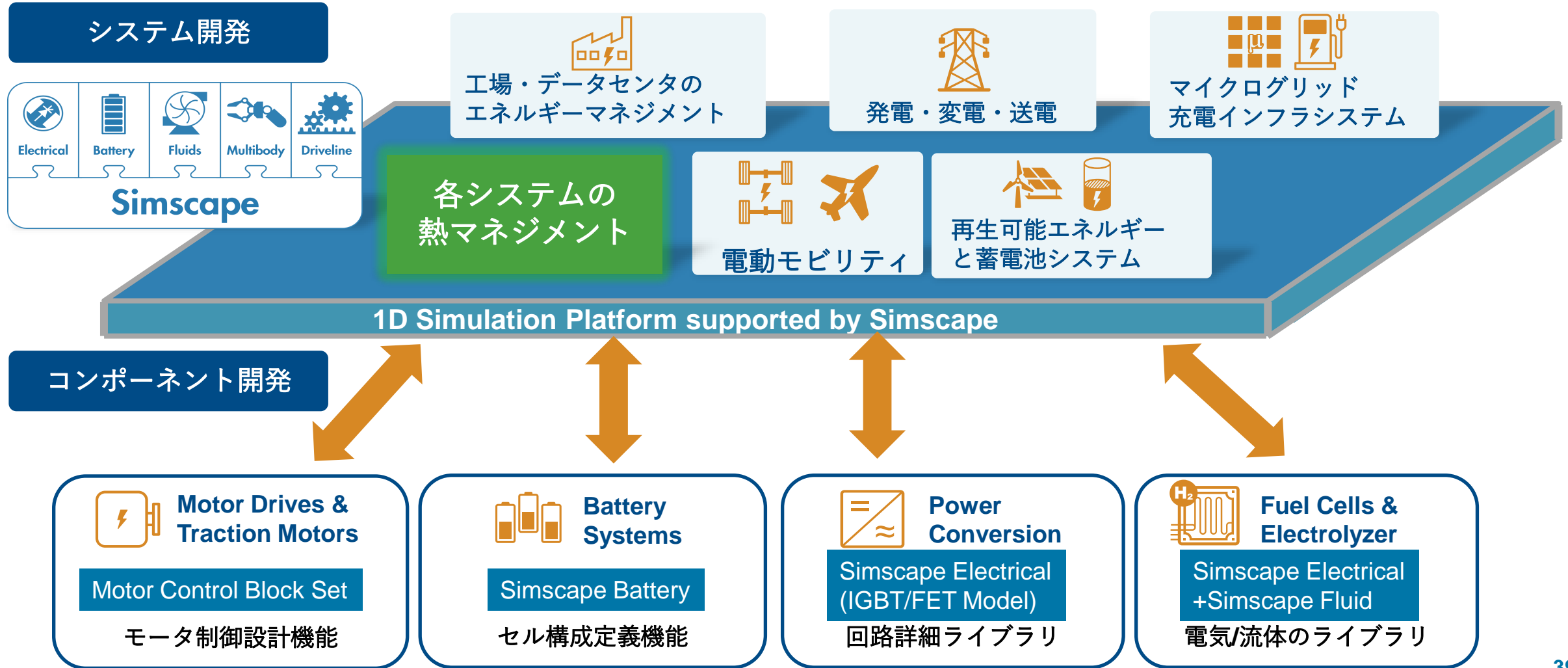


機械学習モデルに置き換えて
モデルを無意味化させる

Solution2 : まとめ



Solution2 を活用することで目的に合わせた複数のモデルを連携できます。
システム・コンポーネントを繋げて熱マネジメント設計を効率的に遂行しましょう！



MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決していく

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート



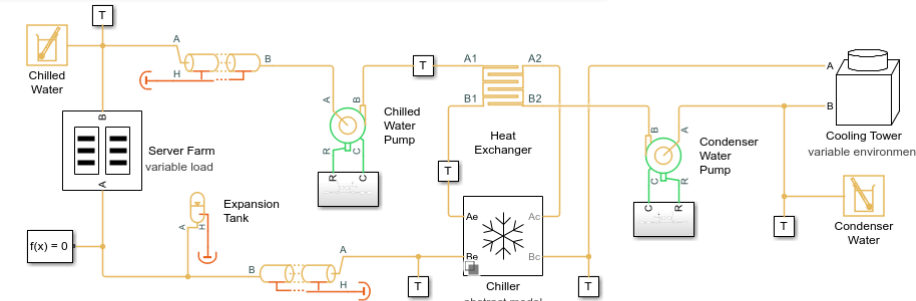
Training/Consultingで
ナレッジを習得

熱流体システムのエネマサンプル

Simscape Fluids



データセンタークーリング

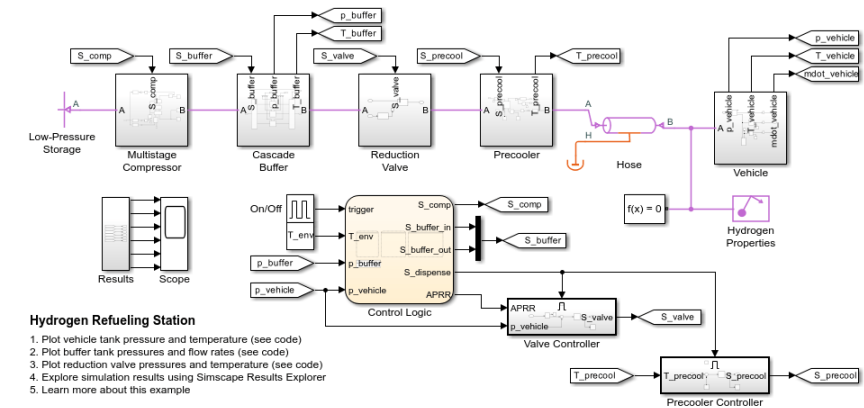


Data Center Cooling

1. Set chiller model: abstract or refrigeration cycle
2. Set environmental conditions: variable or constant
3. Set heat load: variable or constant
4. Plot temperatures and flow rates of water (see code)
5. Plot heat transfer and evaporation in cooling tower (see code)
6. Plot performance of chiller and system (see code)
7. Explore simulation results using Simscape Results Explorer
8. Learn more about this example

Copyright 2022 The MathWorks, Inc.

水素ステーション

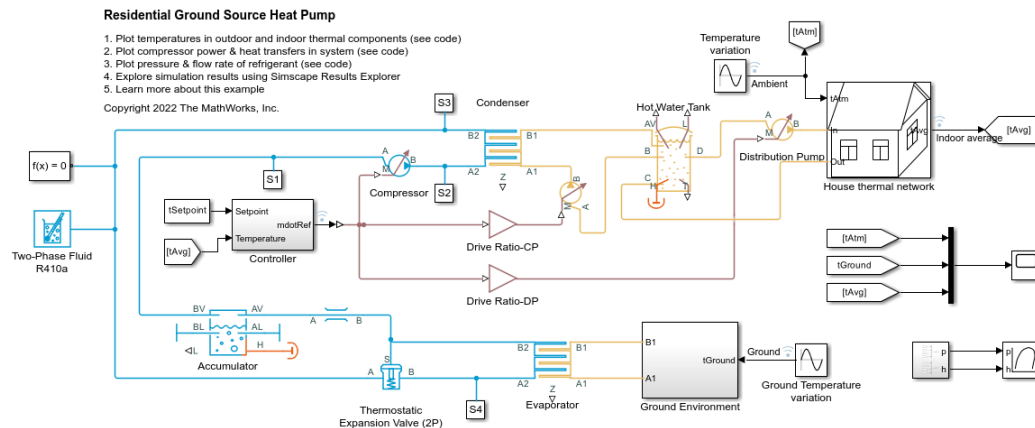


Hydrogen Refueling Station

1. Plot vehicle tank pressure and temperature (see code)
2. Plot buffer tank pressures and flow rates (see code)
3. Plot reduction valve pressures and temperature (see code)
4. Explore simulation results using Simscape Results Explorer
5. Learn more about this example

Copyright 2022 The MathWorks, Inc.

住宅用地中熱ヒートポンプ

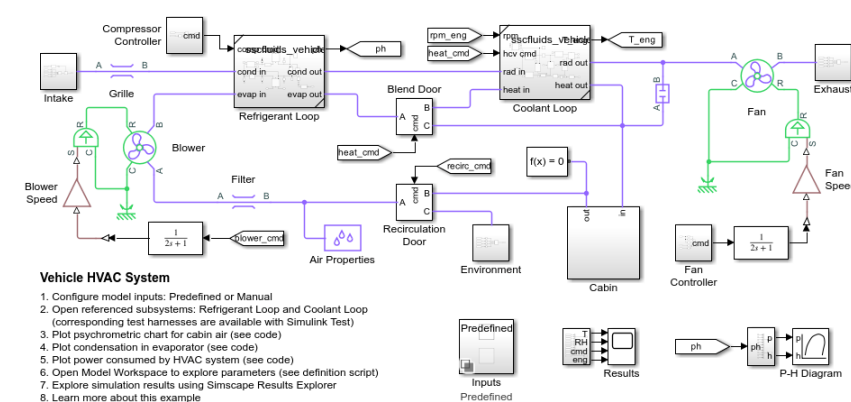


Residential Ground Source Heat Pump

1. Plot temperatures in outdoor and indoor thermal components (see code)
2. Plot compressor power & heat transfers in system (see code)
3. Plot pressure & flow rate of refrigerant (see code)
4. Explore simulation results using Simscape Results Explorer
5. Learn more about this example

Copyright 2022 The MathWorks, Inc.

車両HVAC



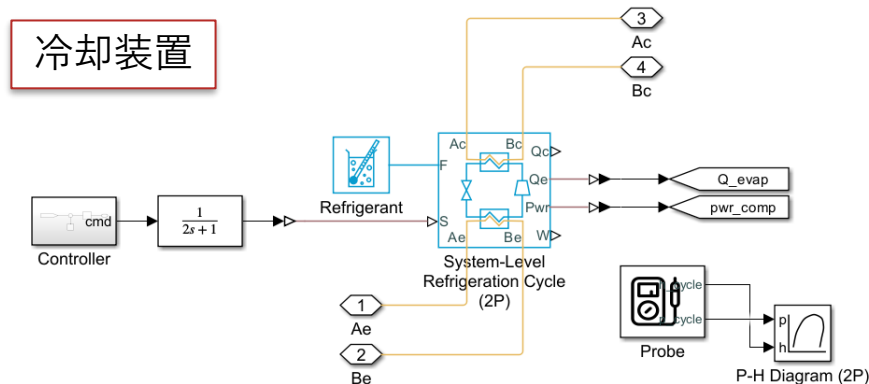
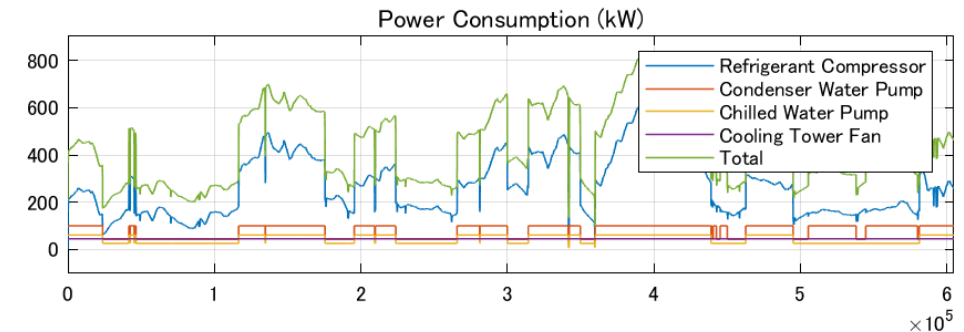
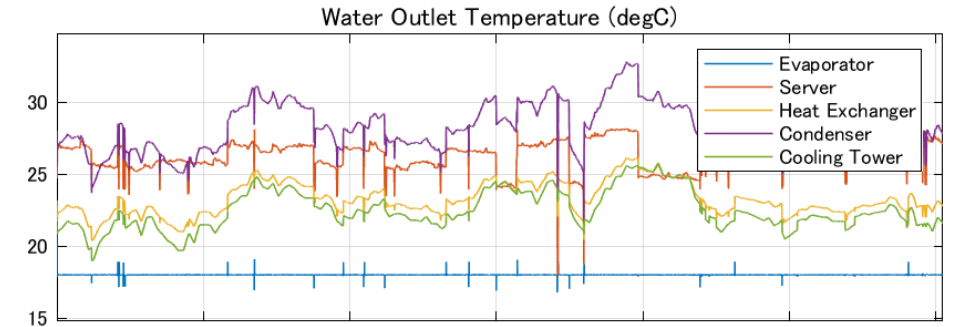
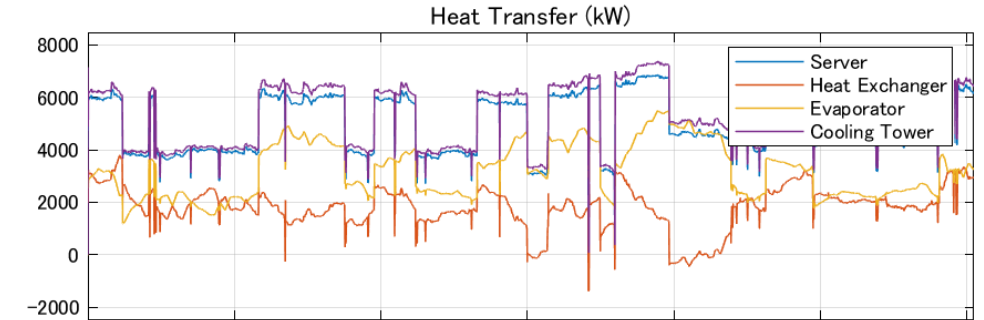
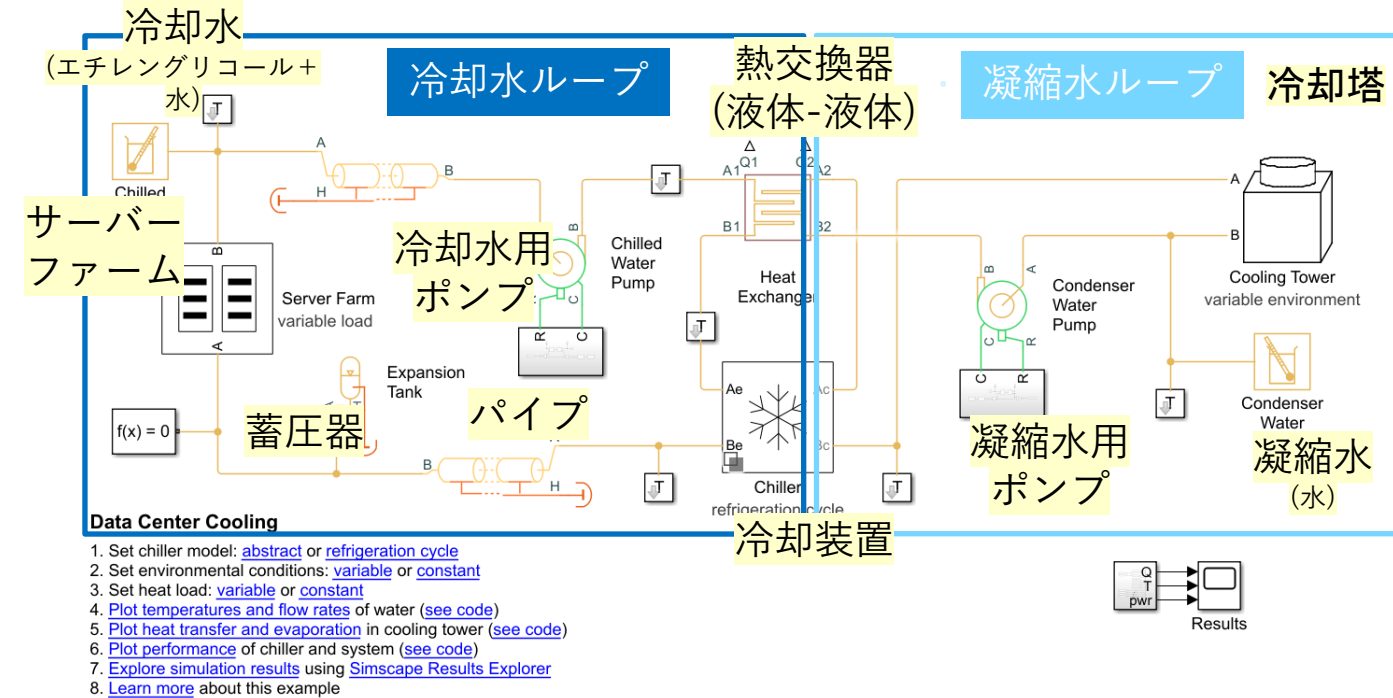
Vehicle HVAC System

1. Configure model inputs: Predefined or Manual
2. Open referenced subsystems: Refrigerant Loop and Coolant Loop (corresponding test harnesses are available with Simulink Test)
3. Plot psychrometric chart for cabin air (see code)
4. Plot condensation in evaporator (see code)
5. Plot power consumed by HVAC system (see code)
6. Open Model Workspace to explore parameters (see definition script)
7. Explore simulation results using Simscape Results Explorer
8. Learn more about this example

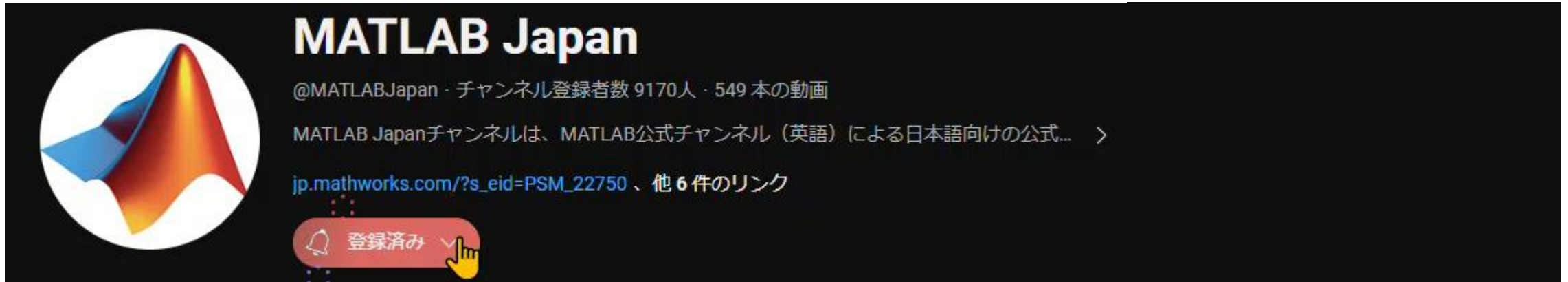
Copyright 2022 The MathWorks, Inc.

データセンタークーリングモデルで活用方法を学ぶ

例) データセンターの冷却性能の検討(データセンターの冷却システムの消費電力、冷却性能を確認)



オンデマンドWebセミナー 電力変換器・モータ制御・燃料電池のセミナーを聴講



MATLAB Japan
@MATLABJapan · チャンネル登録者数 9170人 · 549 本の動画
MATLAB Japanチャンネルは、MATLAB公式チャンネル（英語）による日本語向けの公式... >
jp.mathworks.com/?s_eid=PSM_22750、他 6 件のリンク
登録済み

MathWorksセミナーをクリックして見る



Simscape Electrical
コンバーター熱解析
と故障検知

**パワーエレクトロニクス制御設計
(Power Electronics Control Design)**

MATLAB Japan
16 本の動画 2,395 回視聴 最終更新日:...

モーター、パワーコンバーター、バッテリーシステムの
デジタル制御の設計と実装をご紹介します ...さらに表示

すべて再生 シャッフル

お客様活用事例をクリックして見る



**燃料電池システム
シミュレーターの開発**

物理モデルベース

MATLAB EXPO

33:10

有償のトレーニング/コンサルティングサービスで お客様と協力してより効率的に、最短経路で次のステップに繋ぐ

■ Training サービス

「Simscape™ Fluids™ による流体システムのモデリング」

受講目標・コース概要

- ・ Simscape Fluidsによる流体システムの1Dモデリングを習得できます。以下の2例を扱います。

- ・ 油圧駆動の制御システム
- ・ 空冷、水冷の冷却システム

お客様の声



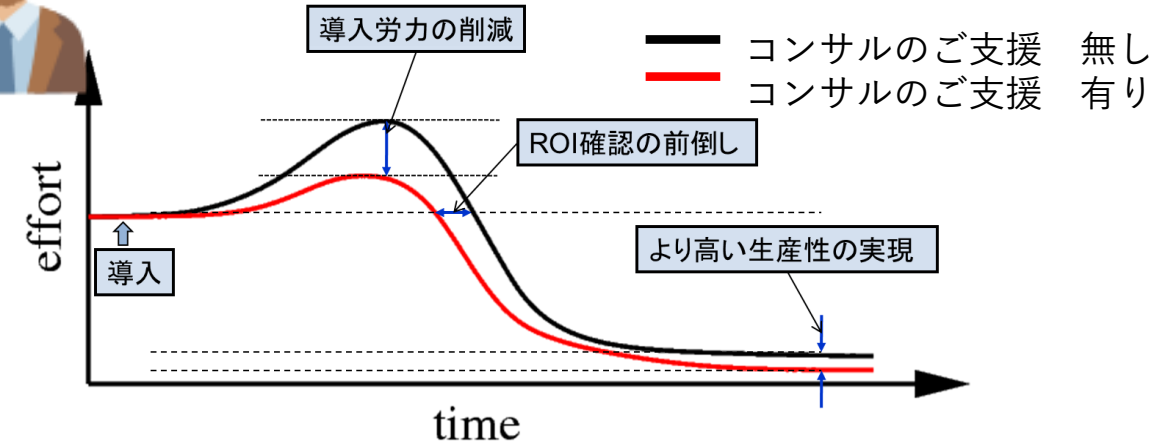
・ Simscape Fluidsはほぼ初めての状態だったが、画面を見ながら、講師の方がフォローしていただき理解を深めることができました。

	油圧	等温流体	熱流体	気体	二相流体	湿り空気
温度変化はあるか	いいえ	いいえ	はい	はい	はい	はい
流体の相	液体	液体	液体	気体	液体と気体の混合	気体と水蒸気の混合
Simscape Fluids内に特別なライブラリがあるか	はい	はい	はい	はい	はい	いいえ*

*メモ: Simscape Fluids ICは湿り空気ドメインを使用する熱交換器ブロックが用意されています。

■ Consulting サービス

技術コンサルティング・サービス活用で、
無償コンテンツ活用より早く、少ない労力で、
効果的に弊社製品を導入できます！



ボタンクリックで
MathWorks Trainingコンテンツを

[Check!](#)

ボタンクリックで
コンサルティングソリューションを

[Check!](#)

EVLO Energy Storage、モデルベースデザインによりエネルギーマネジメントシステムの開発を加速

Challenge

次世代 EMS の設計による、大規模なエネルギー貯蔵システムの性能の向上とライフスパンの延長

Solution

モデルベースデザインを使用した、EMS コントローラーのモデル化、シミュレーションに基づくテストによる設計の検証、複数ターゲット向けのコードの生成

Results

- 数時間でアルゴリズムをプロトタイピング
- 再利用可能なバーチャル ESS を展開
- 品質が継続的に向上



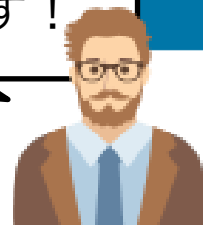
カナダ、モントリオール近郊の太陽光発電施設に接続されている 4 MWh のエネルギー貯蔵システムに組み込まれた 2 台の EVLO 500。(画像著作権: EVLO Energy Storage Inc., 2021)

「当社がエネルギー貯蔵システムを販売する際、顧客は多くの場合、自社の送電網でそのシステムが動作するかどうかを検証する必要があります。そこで EMS ソフトウェアスイートの開発に使用したのと同じ Simulink プラントモデルを提供することにしました。その結果、顧客の送電網に機器を設置する前に正確なシミュレーションを行うことができ、このサービスを競争力のあるコストで提供できています。」

- Adile Ajaja, EVLO

本事例はコンサルティング導入で効果を効率的に達成しました

技術コンサルティング・サービス活用で、
無償コンテンツ活用より早く、少ない労力
で、効果的に弊社製品を導入できます！



ユーザー事例

EVLO Energy Storage、モデルベースデザインによりエネルギー管理システムの開発を加速

Challenge

次世代 EMS の設計による、大規模なエネルギー貯蔵システムの性能の向上とライフスパンの延長

Solution

モデルベースデザインを使用した、EMS コントローラーのモデル化、シミュレーションに基づくテストによる設計の検証、複数ターゲット向けのコードの生成

Results

- 数時間でアルゴリズムをプロトタイピング
- 再利用可能なバーチャル ESS を展開
- 品質が継続的に向上



カナダ、モントリオール近郊の太陽光発電施設に接続されている 4 MWh のエネルギー貯蔵システムに組み込まれた 2 台の EVLO 500。 (画像著作権: EVLO Energy Storage Inc., 2021)

「当社がエネルギー貯蔵システムを販売する際、顧客は多くの場合、自社の送電網でそのシステムが動作するかどうかを検証する必要があります。そこで EMS ソフトウェアシステムの開発に使用したのと同じ Simulink プラントモデルを提供することにしました。その結果、顧客の送電網に機器を設置する前に正確なシミュレーションを行うことができ、このサービスを競争力のあるコストで提供できています。」

- Adile Ajaja, EVLO

[Link to user story](#)

40

ソリューション

EVLO のエンジニアは、設計ワークフローにおいて、Simulink® を使用して EMS コントローラーとプラントの両方をモデル化しています。製品オンボーディングのサポートとワークフローの合理化のため、MathWorks のアプリケーション エンジニアとコンサルタントが EVLO に協力しました。現在では、EVLO のチームは完全に自立して作業を行っています。

エンジニアは Stateflow® とともに Simulink を使用して、インバーターやその他の EMS コンポーネントとのインターフェイスを提供するハードウェア抽象化層、電力平滑化や周波数制御アルゴリズムを含むアプリケーション層、電力効率とコンポーネント寿命を最大化する最適化層という複数の層でコントローラーをモデル化しています。

また、Requirements Toolbox™ を使用して、IBM® DOORS® Next のシステム要件と高レベルの要件を Simulink コントローラーモデルの対応する要素にリンクし、その後、要件の検証に使用するテストケースにリンクさせています。

Solution3: まとめ

Solution3 を活用することで熱マネジメントシステムのMBD環境を素早く立ち上げましょう！

■ Trainingサービス

「Simscape™ Fluids™ による流体システムのモデリング」

受講目標・コース概要

- ・ Simscape Fluidsによる流体システムの1Dモデリングを習得できます。以下の2例を扱います。

- ・ 油圧駆動の制御システム
- ・ 空冷、水冷の冷却システム

	油圧	等温流体	熱流体	気体	二相流体	湿り空気
温度変化はあるか	いいえ	いいえ	はい	はい	はい	はい
流体の相	液体	液体	液体	気体	液体と気体の混合	気体と水蒸気の混合
Simscape Fluids内に特別なライブラリがあるか	はい	はい	はい	はい	はい	いいえ*

*メモ: Simscape Fluids ICは湿り空気ドメインを使用する熱交換器ブロックが用意されています。

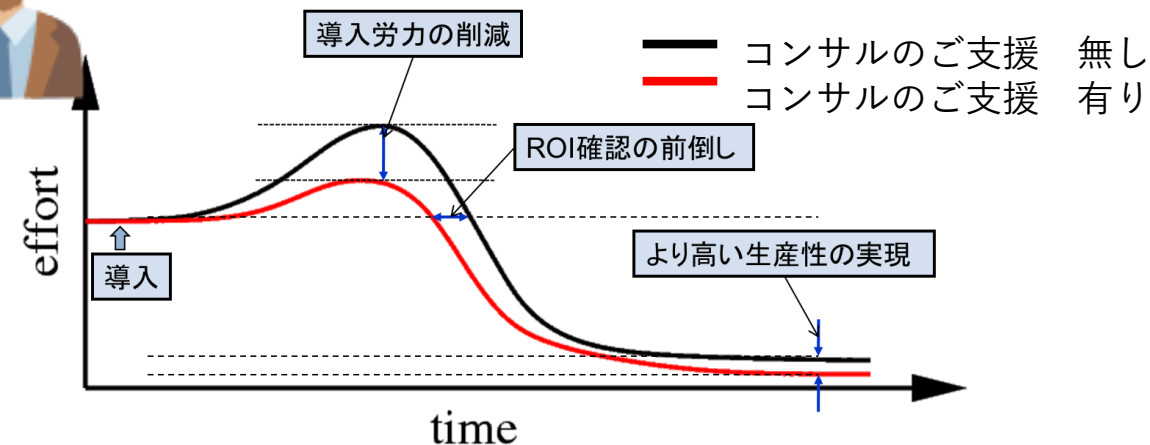
お客様の声



・ Simscape Fluidsはほぼ初めての状態だったが、画面を見ながら、講師の方がフォローしていただき理解を深めることができました。

■ Consultingサービス

技術コンサルティング・サービス活用で、
無償コンテンツ活用より早く、少ない労力で、
効果的に弊社製品を導入できます！



アジェンダ

- Introduction：熱マネジメントシステム設計の難しさ
- Solution：MathWorksが提供する熱解析関連の機能・例題紹介
 - 繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる
 - 繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる
 - 繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる
- まとめ

MathWorksの“繋げる”ソリューションで難しさを解決しましょう！

1.設計プロセスの課題：
要件情報と実装の対応付け管理

繋げるSolution1: 要件・設計モデル・テストを繋げる



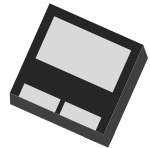
要件・モデル
テストのリンク



複数テストの
一括実行

2.シミュレーションの課題：
様々な抽象度・観点での設計が必要

繋げるSolution2: モデル同士を賢く繋げる



半導体デバイス特性
をモデルに定義



サロゲートモデルで
モデル同士を繋ぐ

3.モデル構築の課題：
モデルを
ゼロベースから構築するのが困難

繋げるSolution3: サービスソリューションで次に繋げる



サンプルモデルを
使ってすぐスタート



Training/Consultingで
ナレッジを習得

ソリューションに関心があるお客様は弊社営業までお問い合わせください！



Accelerating the pace of engineering and science

© 2023 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

Appendix

パワーエレクトロニクスは
各領域の技術革新を元に拡張し続けています

Electronics

Power

**Power
Electronics**

Control

- ワイドバンドギャップ半導体 (GaN/SiC/GaO...)
- 新素材/構造を持つ受動部品
- 高電力密度を実現する電池

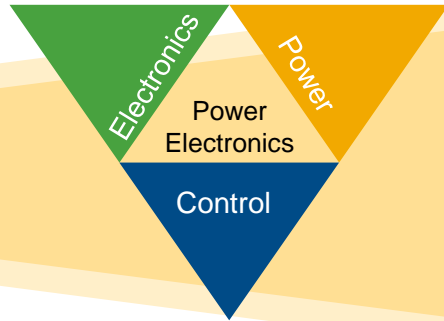
- 高効率な新規回路トポロジ
- 高周波駆動ゲートドライバ回路
- EMC達成に向けた回路パターン

- デジタル制御(DSP,FPGA)
- データ駆動制御/(MPC/RNN...)
- 複数のパワエレ機器による協調制御

主に電動化のトレンドにより様々な機器でパワーエレが活躍！
→一方でシステムが複雑化し、設計工数が増加

Power Electronics System

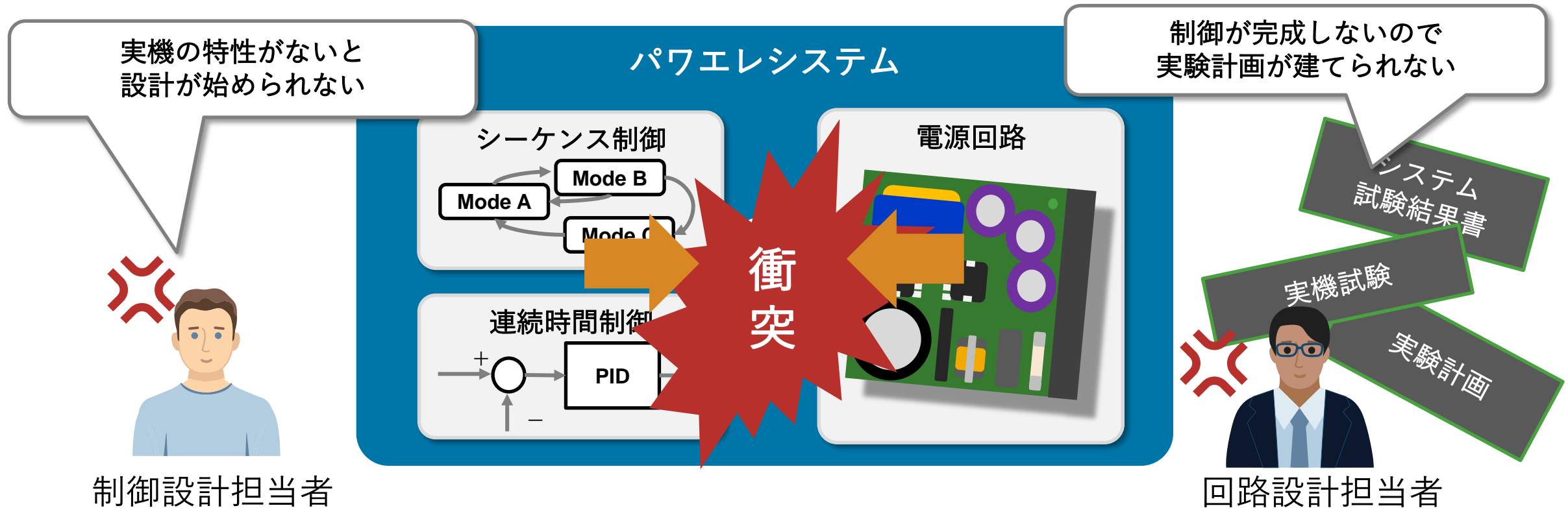
Power Electronics
System of Systems



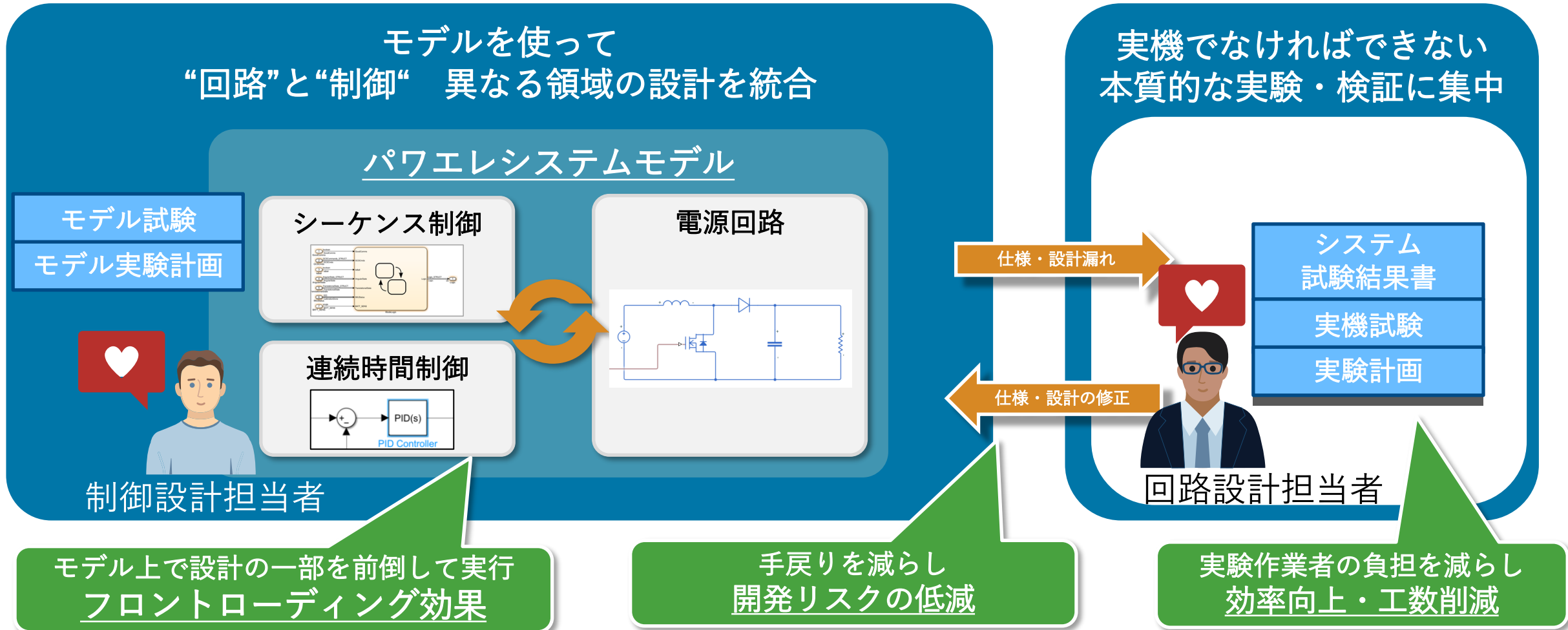
Battery / Motor / Converter



設計が複雑になるとハードとソフトの整合をとるのが困難に →設計の見通しが立たずプロジェクト推進のリスクに



モデルベースデザイン(MBD)で健全で安定なプロジェクト運用を目指す 電動化設計におけるMBD適応で得られる3つの恩恵



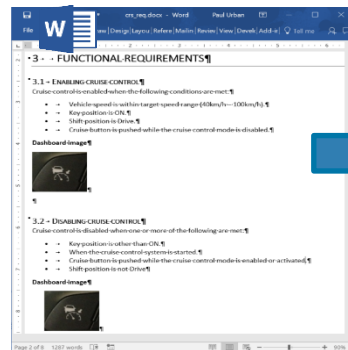
仕様書をSimulink環境に取り込む or 作成

Requirements Toolbox

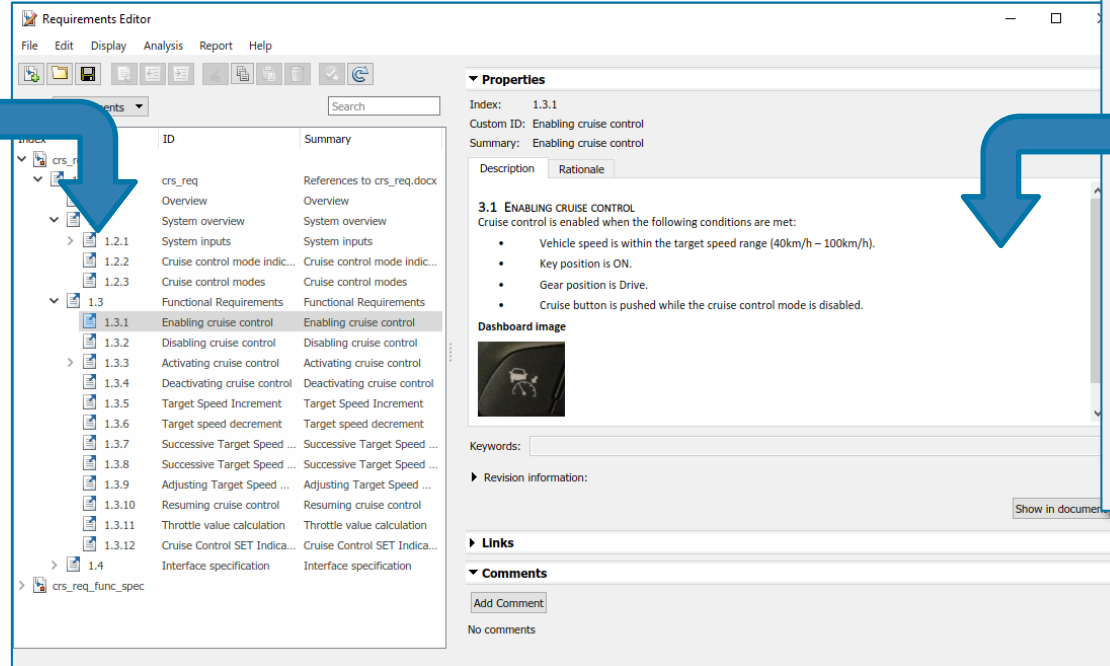
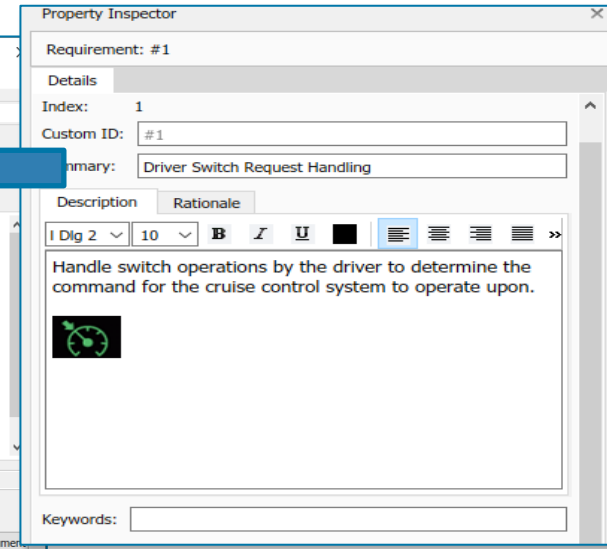


- Simulinkモデルに対する要件項目を要件エディタ機能でイチから作成
- Word/Excelで作成された外部仕様書は、要件エディタに取り込むことも可能
 - 要件エディタ上の各要件を「読み取り専用」として取り扱うことで、参照という形で取り込み可能
 - 外部要件を更新した場合、影響を受けそうなモデルやテストを検出可能(要トレーサビリティ設定)
- ReqIF経由で外部要件管理ツールとの連携も可能(※)

外部仕様書の取り込み



新規要件の作成



外部要件管理ツールとの連携

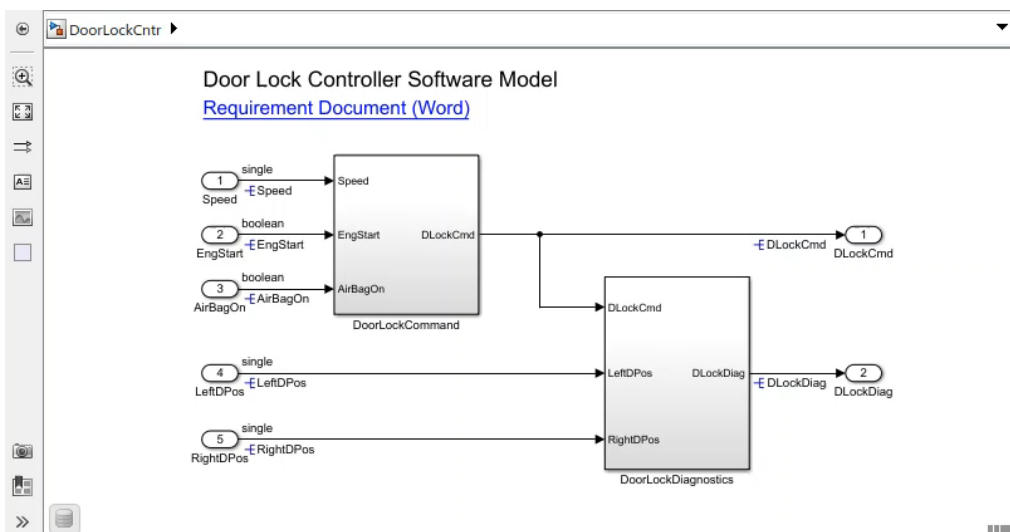
(※) R2018a ReqIFのインポート対応
R2019a ReqIFのRound Trip対応

簡単操作でモデル/要件トレーサビリティを定義

Requirements Toolbox



- 要件情報を選択して
ドラッグアンドドロップで紐付け



要件ビューワー：取り込んだ要件を表示

Index	ID	Summary	Implemented	Verified
▼ ドアロック制御ソフト要...				
▼ インポート1				
1	1. 制御周期 [REQ1]	制御周期 [REQ1]		
2	2. 前提条件 [REQ2]	前提条件 [REQ2]		
3	3. 初期化 [REQ3]	初期化 [REQ3]		
4	4. 制御指令算出機能 [REQ4]	制御指令算出機能 [REQ4]		
5	5. 診断機能 [REQ5]	診断機能 [REQ5]		
6	6. 入出力インターフェース [REQ6]	入出力インターフェース [REQ6]		
7	7. 機能テスト用タイミングチャート [REQ7]	機能テスト用タイミングチャート...		

- 双方向のトレーサビリティを確保

