

# MATLAB EXPO 2019

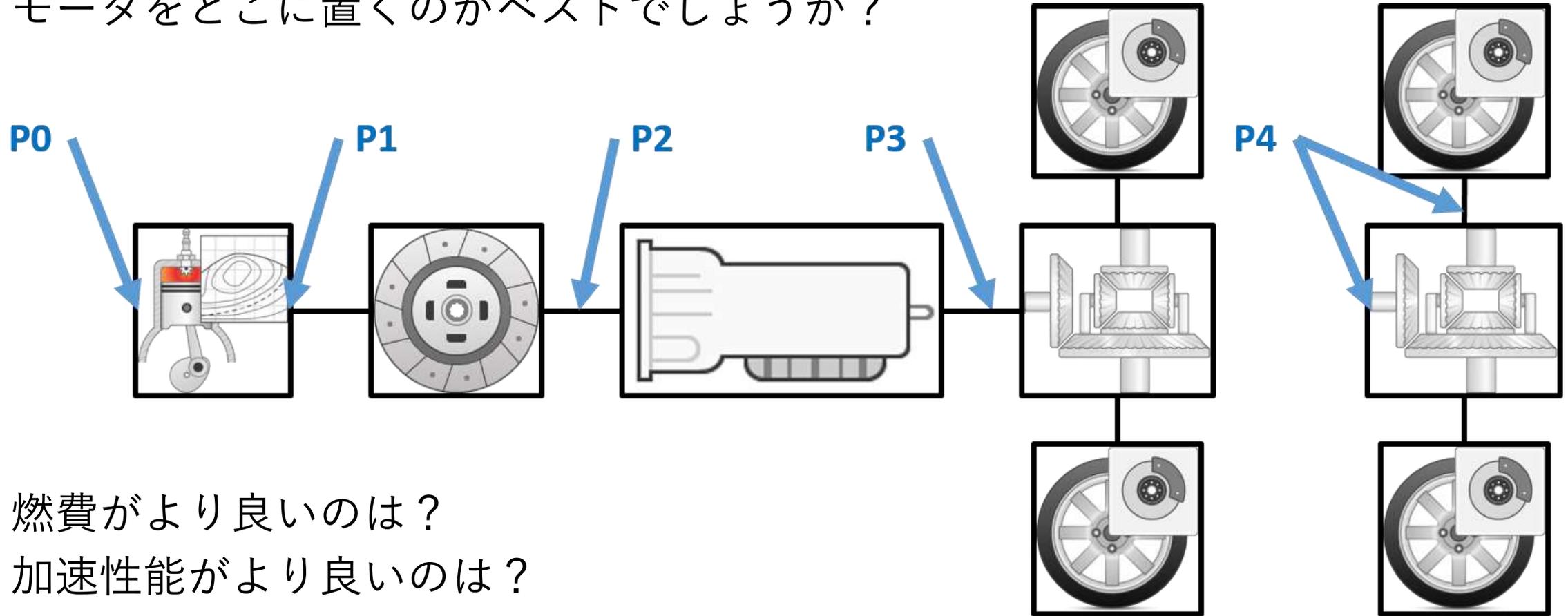
車両全体シミュレーションを活用しよう  
電動パワートレインシステム開発を例題に

MathWorks  
Application Engineering  
宮川 浩



## 電動パワートレインの選択

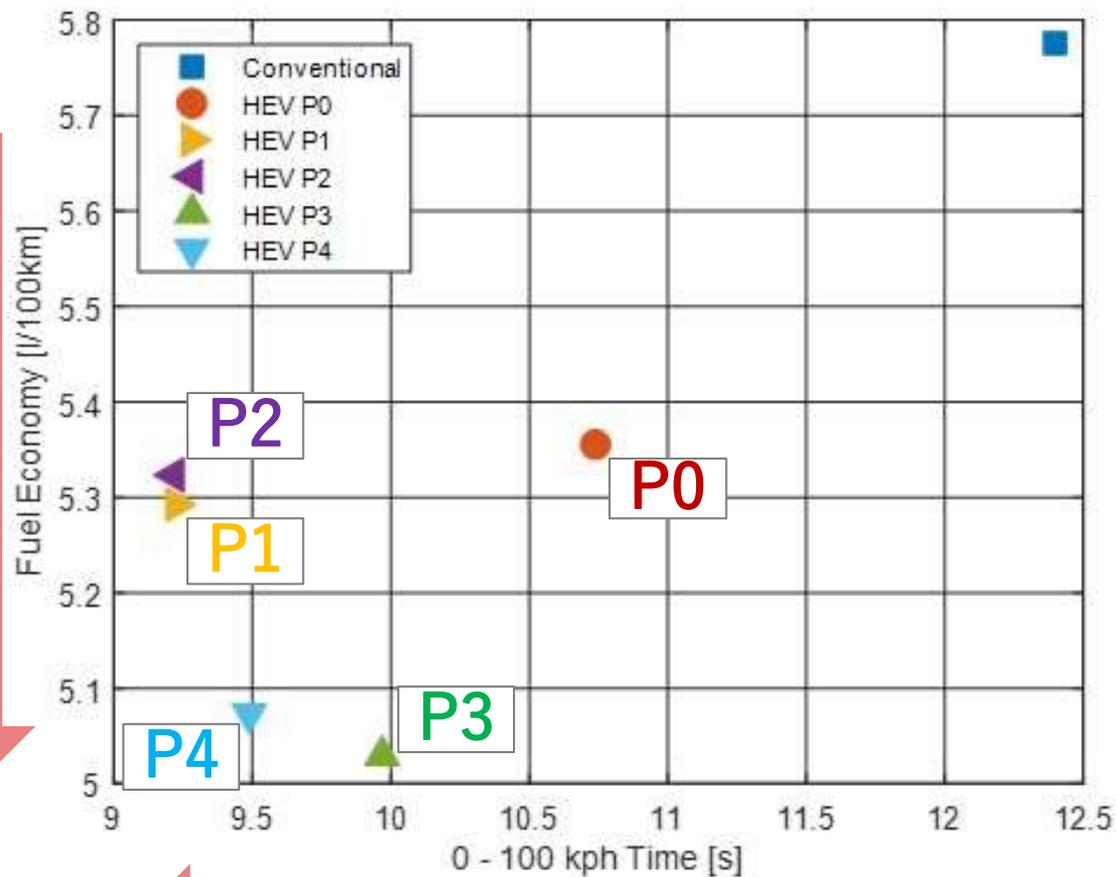
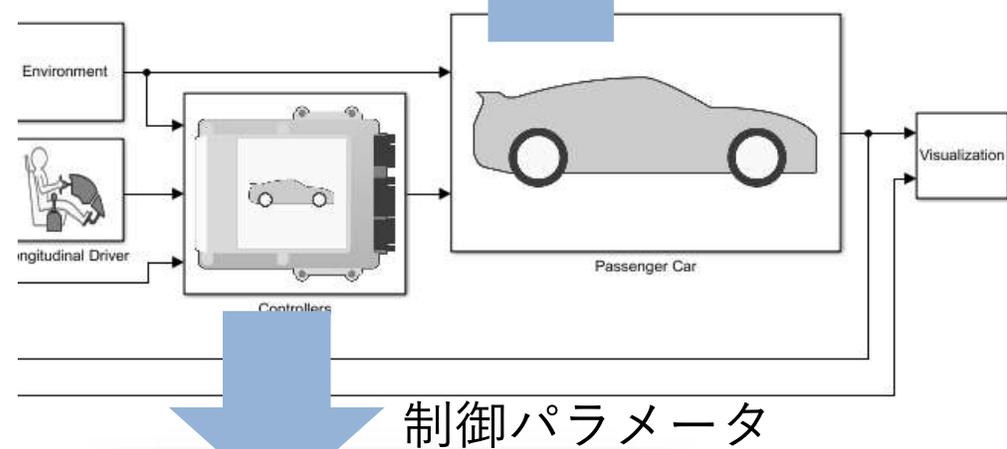
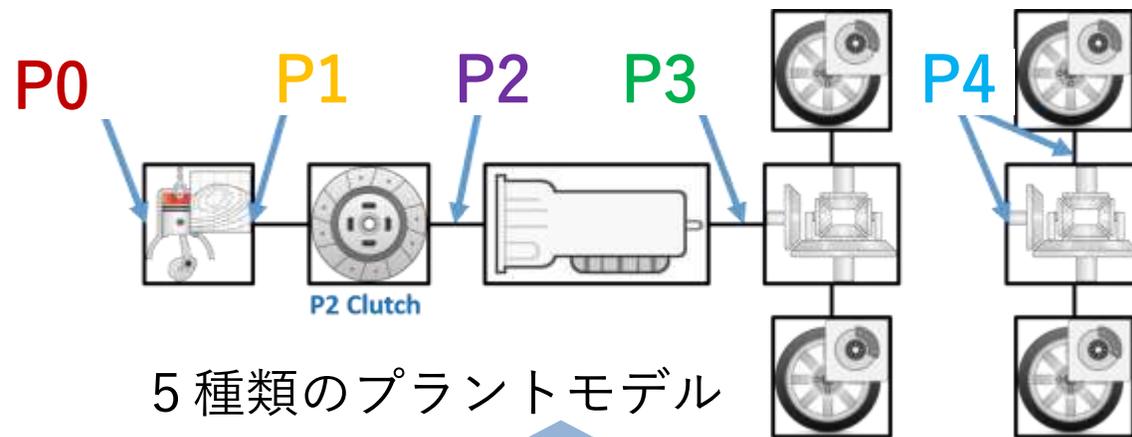
- モータは一つ、パラレルハイブリッド
- モータをどこに置くのがベストでしょうか？



- 燃費がより良いのは？
- 加速性能がより良いのは？

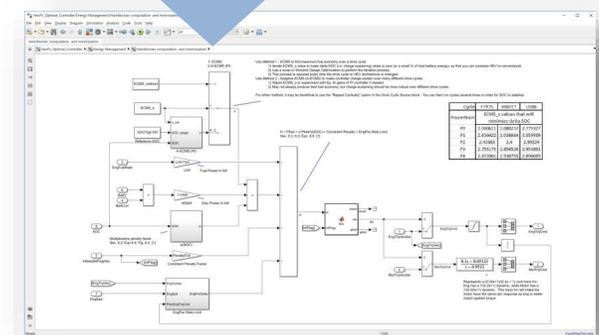
# 電動パワートレイン比較結果

シティー(55%)とハイウェイ(45%)の組み合わせ



悪  
燃費  
↓

良 ← 加速性能 → 悪



# Key Points

- プラントモデリング
  - プリビルドされた車両モデルをスタートポイントに、最小工数でシミュレーション環境を構築
- 設計最適化
  - 制御パラメータを自動調整
- シミュレーション
  - 燃費と加速性能の間のトレードオフの定量化

# Agenda

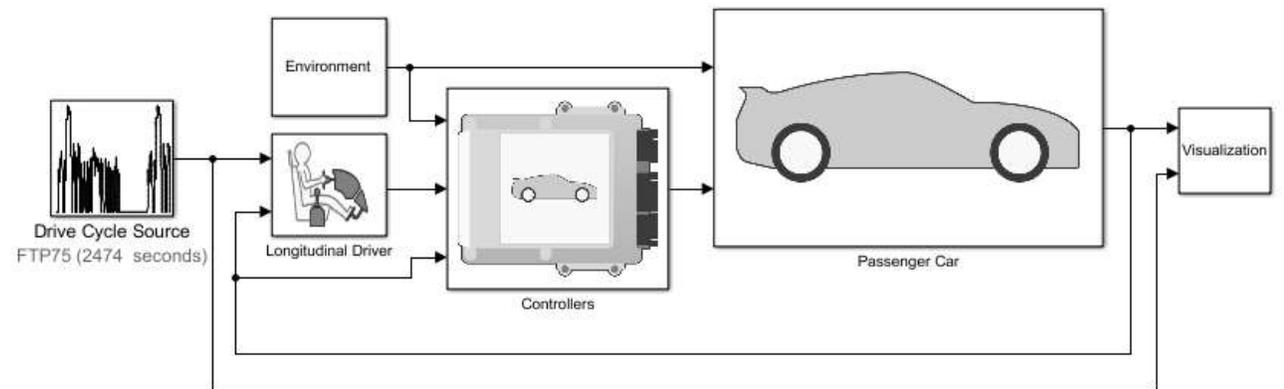
- 使用ツール
- シミュレーションモデルの構築
- ケーススタディの説明
- シミュレーション
- 補足

# Agenda

- 使用ツール
- シミュレーションモデルの構築
- ケーススタディの説明
- シミュレーション
- 補足

# Powertrain Blockset™

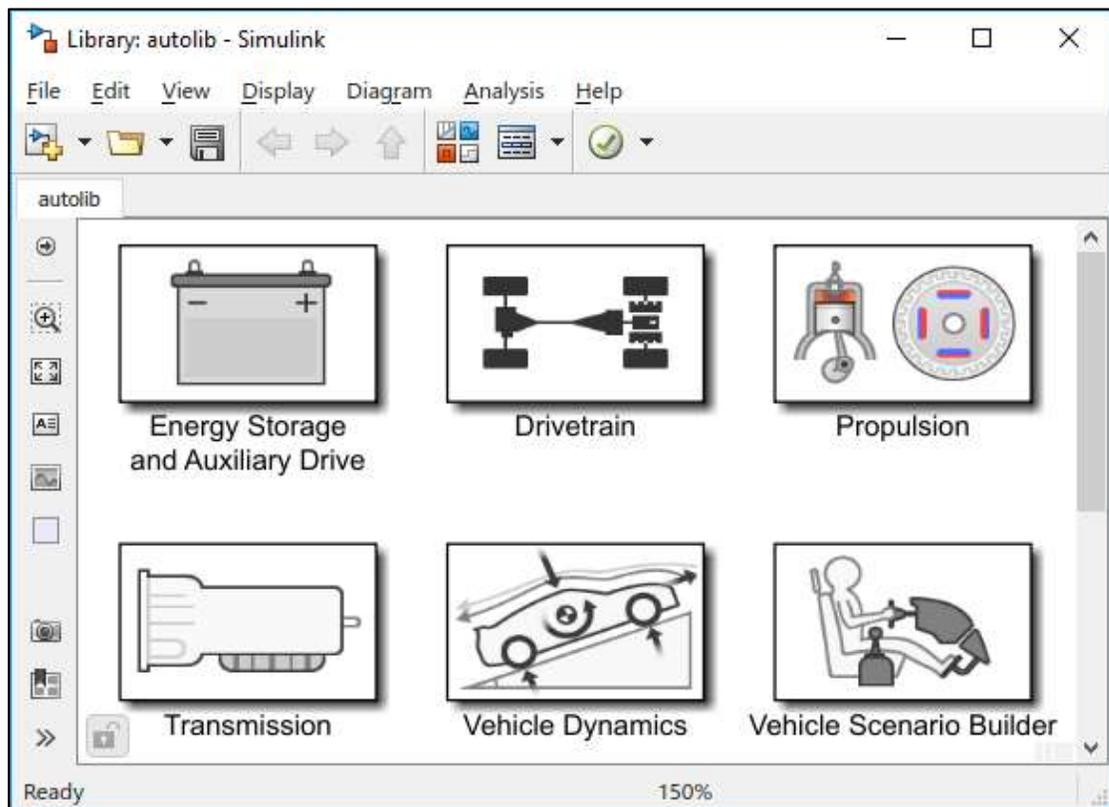
- カスタマイズ可能なプリビルド車両モデルを同梱
- オープンでドキュメントも充実したブロックライブラリとサブシステムモデル
- HILS運用可能な演算負荷が軽いモデル



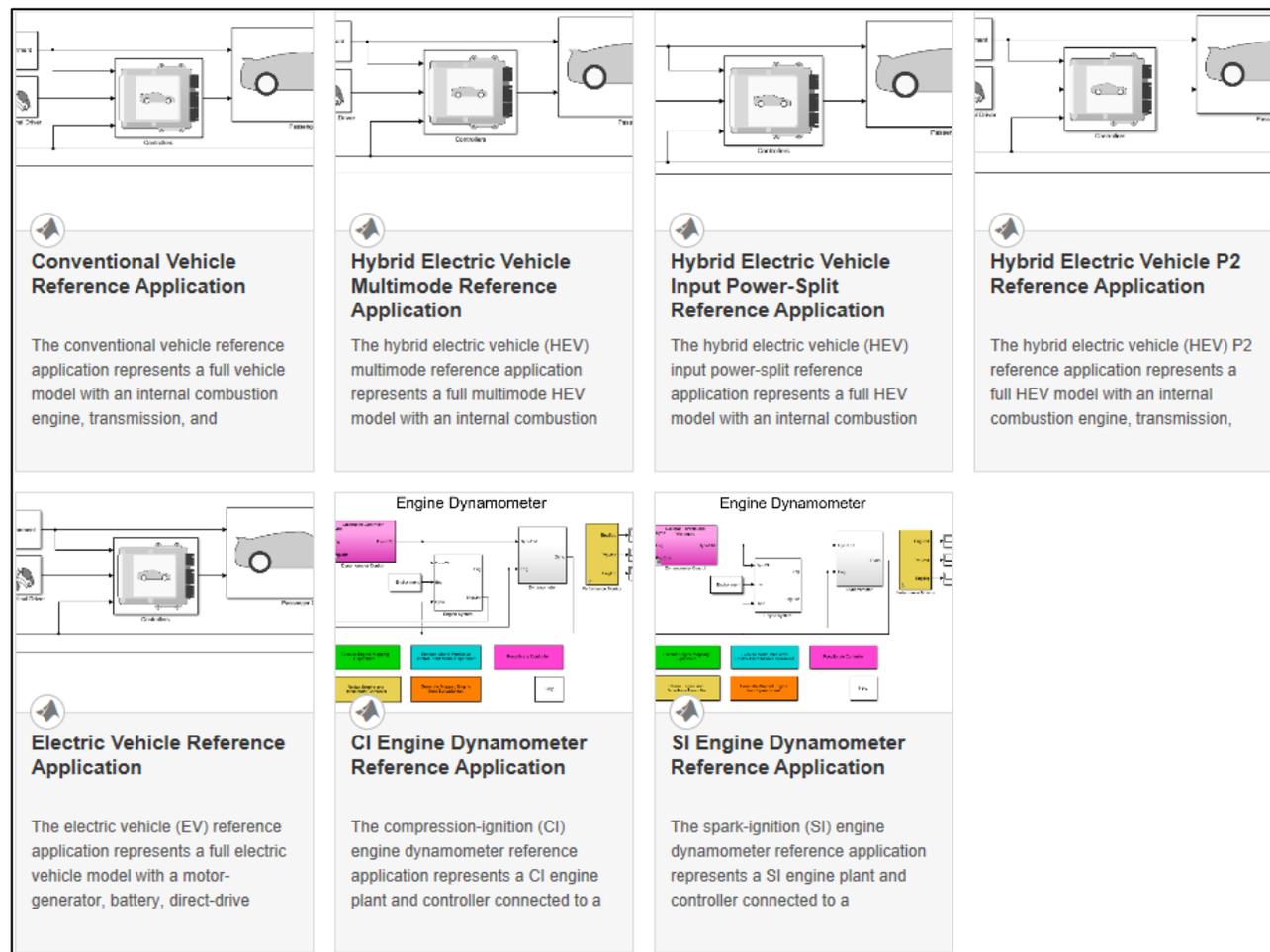
***Lower the barrier to entry for Model-Based Design***

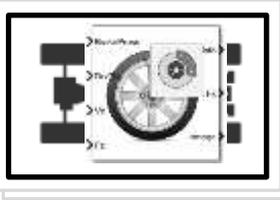
# Powertrain Blockset™

## ブロックライブラリ

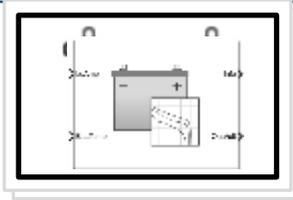


## リファレンスアプリケーション

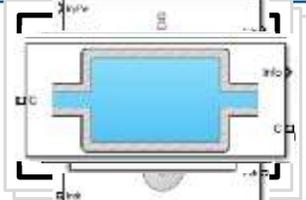




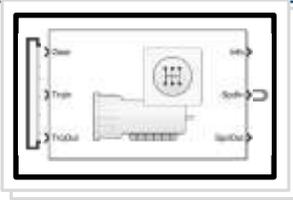
Drivetrain



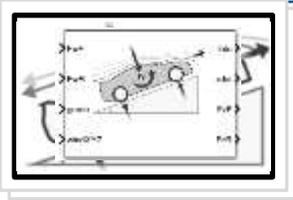
Energy Storage and Auxiliary Drive



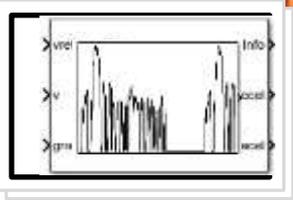
Propulsion



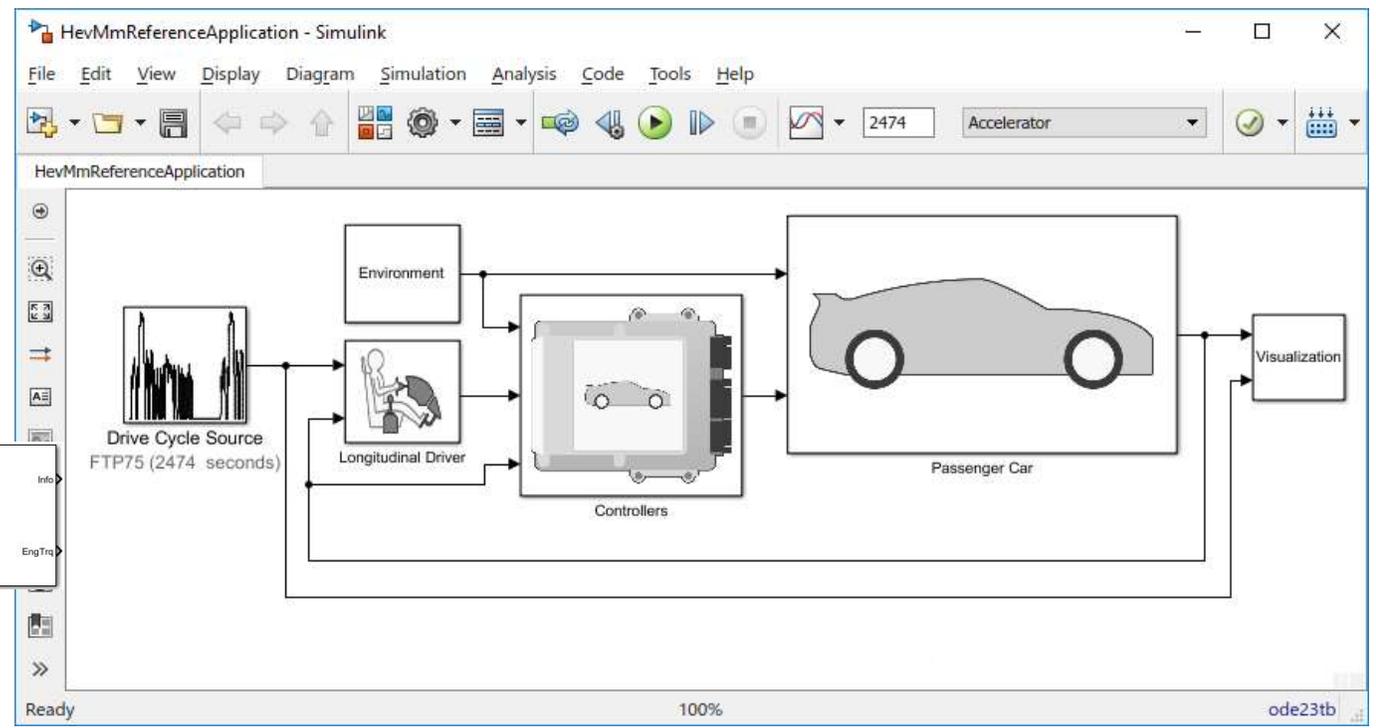
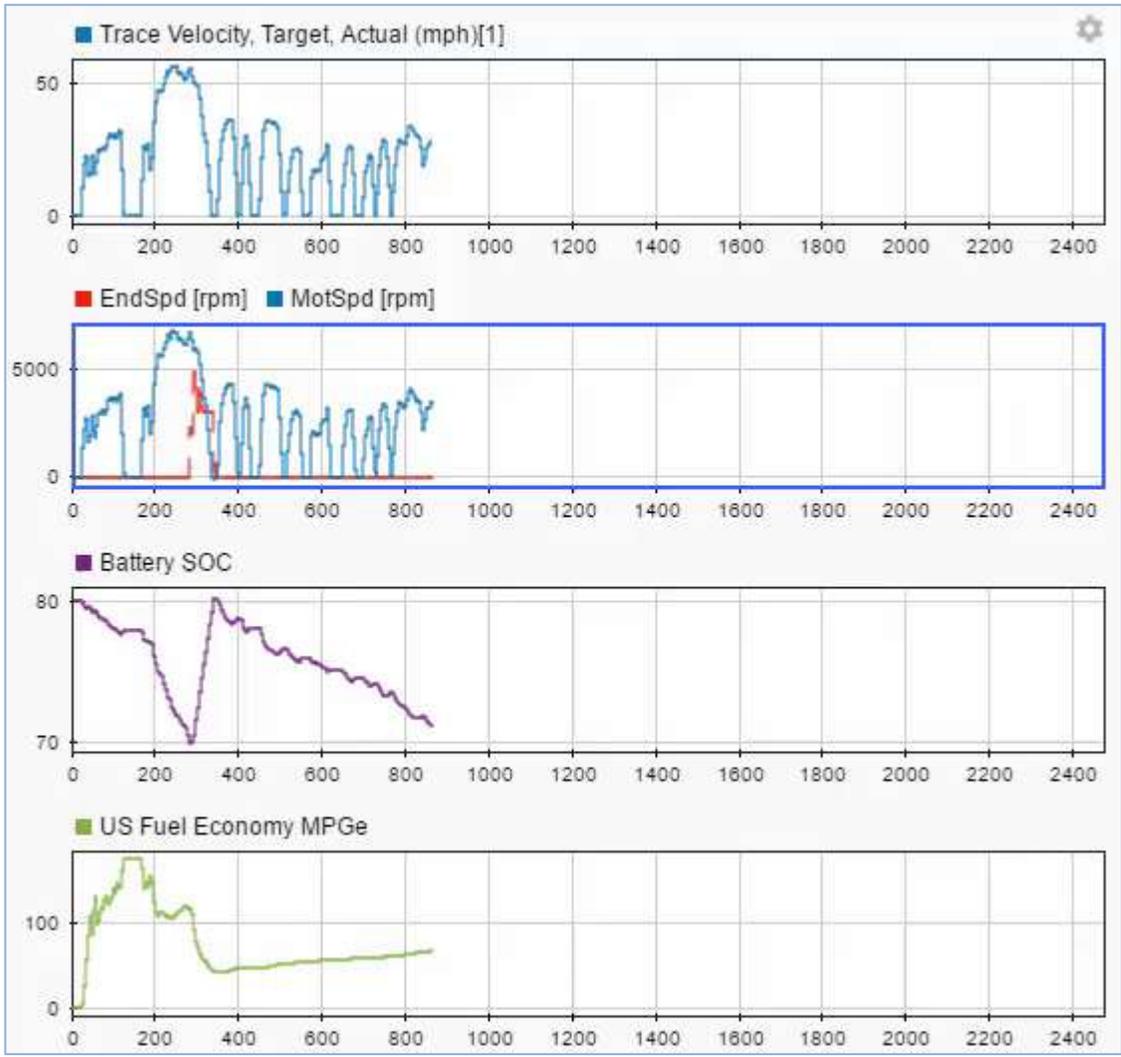
Transmission



Vehicle Dynamics

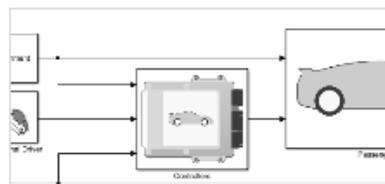


Vehicle Scenario Builder



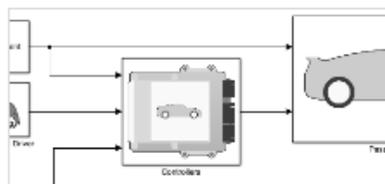
# リファレンスアプリケーション

## 車両全体モデル



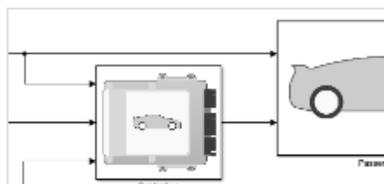
### Conventional Vehicle Reference Application

The conventional vehicle reference application represents a full vehicle model with an internal combustion engine, transmission, and



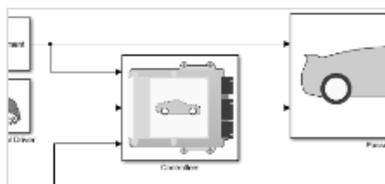
### Hybrid Electric Vehicle Multimode Reference Application

The hybrid electric vehicle (HEV) multimode reference application represents a full multimode HEV model with an internal combustion



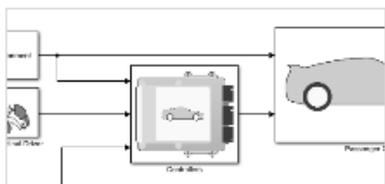
### Hybrid Electric Vehicle Input Power-Split Reference Application

The hybrid electric vehicle (HEV) input power-split reference application represents a full HEV model with an internal combustion



### Hybrid Electric Vehicle P2 Reference Application

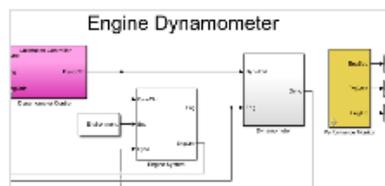
The hybrid electric vehicle (HEV) P2 reference application represents a full HEV model with an internal combustion engine, transmission,



### Electric Vehicle Reference Application

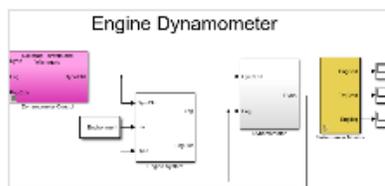
The electric vehicle (EV) reference application represents a full electric vehicle model with a motor-generator, battery, direct-drive

## 仮想エンジンベンチ



### CI Engine Dynamometer Reference Application

The compression-ignition (CI) engine dynamometer reference application represents a CI engine plant and controller connected to a

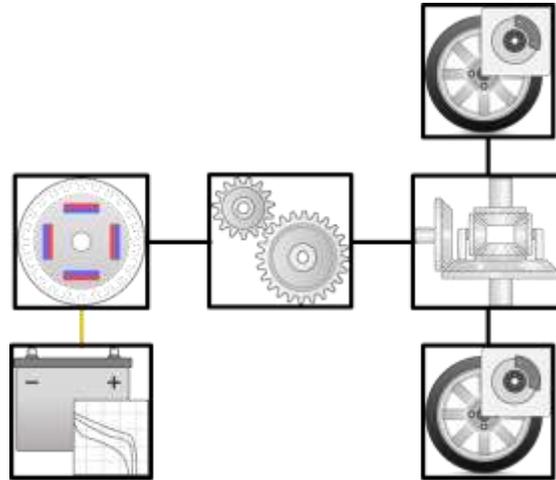


### SI Engine Dynamometer Reference Application

The spark-ignition (SI) engine dynamometer reference application represents a SI engine plant and controller connected to a

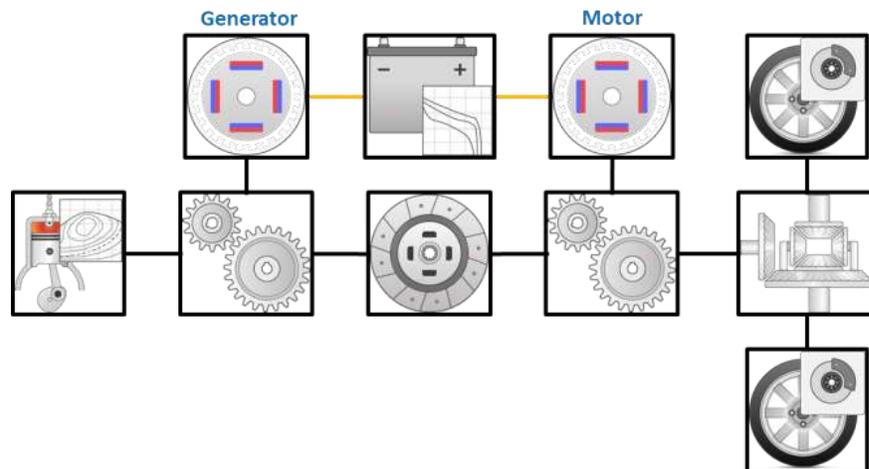
# Powertrain Blocksetに同梱されているEV/HEVモデル

Pure EV



- Released in: **R2016b**
- 似た構成のパワートレインを持つ車両
  - Nissan Leaf
  - Tesla Roadster
  - Chevy Bolt

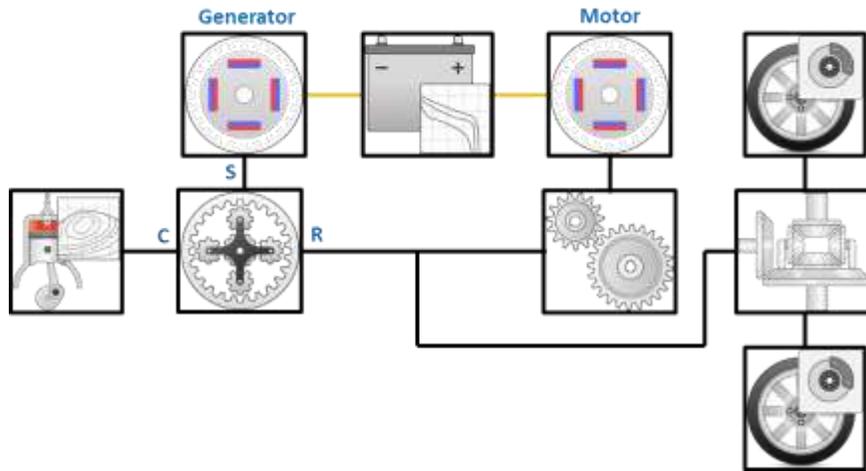
Multi-mode HEV → P1/P3



- Released in: **R2016b**
- 似た構成のパワートレインを持つ車両
  - Hybrid Honda Accord

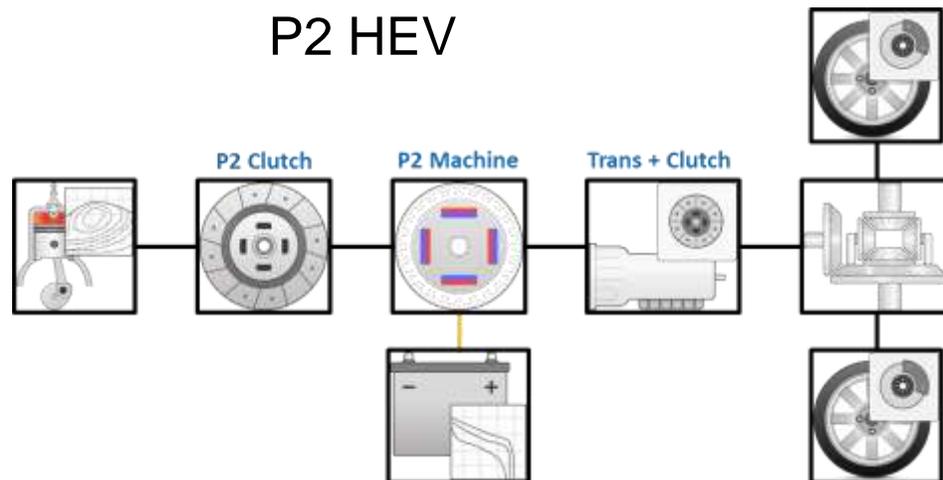
# Powertrain Blocksetに同梱されているEV/HEVモデル

## Input Power-Split HEV



- Released in: **R2017b**
- 似た構成のパワートレインを持つ車両:
  - Toyota Prius
  - Lexus Hybrid
  - Ford Hybrid Escape

## P2 HEV



- Released in: **R2018b**
- 似た構成のパワートレインを持つ車両:
  - Nissan Pathfinder
  - Hyundai Sonata
  - Kia Optima

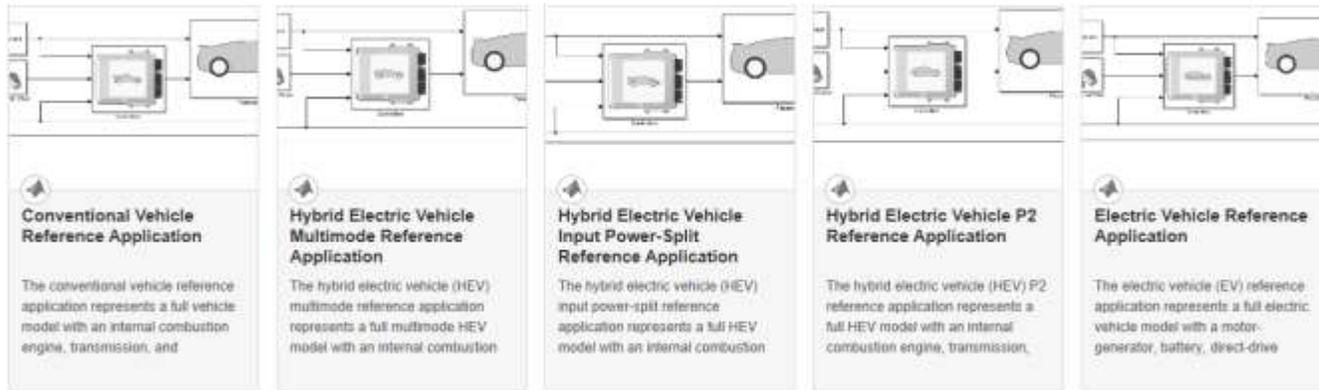
# Agenda

- 使用ツール
- シミュレーションモデルの構築
- ケーススタディの説明
- シミュレーション
- 補足

# フレキシブルなモデリングフレームワーク

## 1. 車両モデルを選択

- スタートポイントとしてリファレンスアプリケーションを一つ選択



## 2. プラントモデルをカスタマイズ

- 各コンポーネントのパラメータ設定
- サブシステムをカスタマイズ
- 独自サブシステムを追加

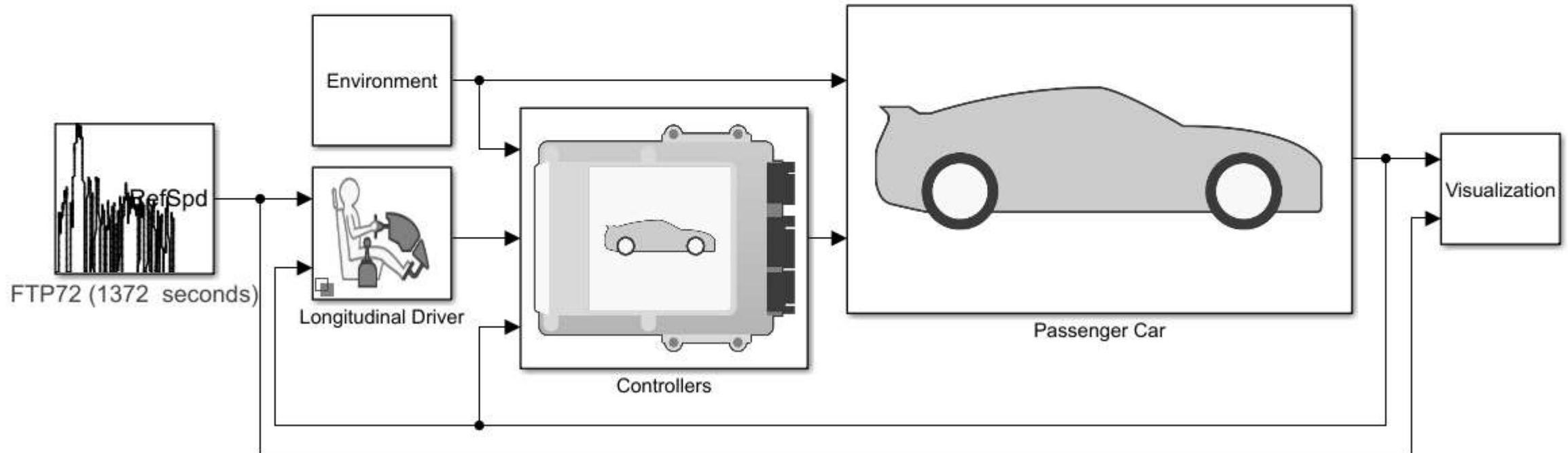
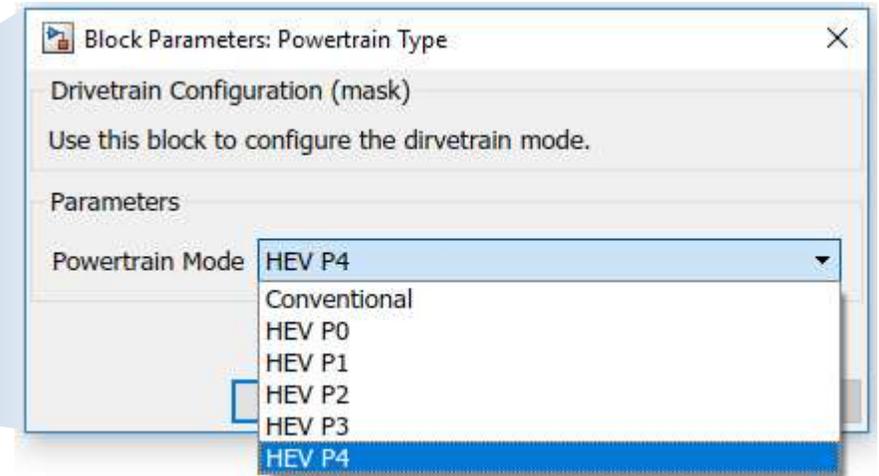
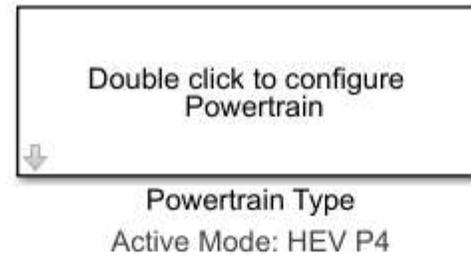
## 3. 制御モデルのカスタマイズ

- 制御モデルのパラメータ設定
- スーパーバイザロジックのカスタマイズ
- 独自制御ロジックを追加

## 4. 閉ループシステムテストを実行

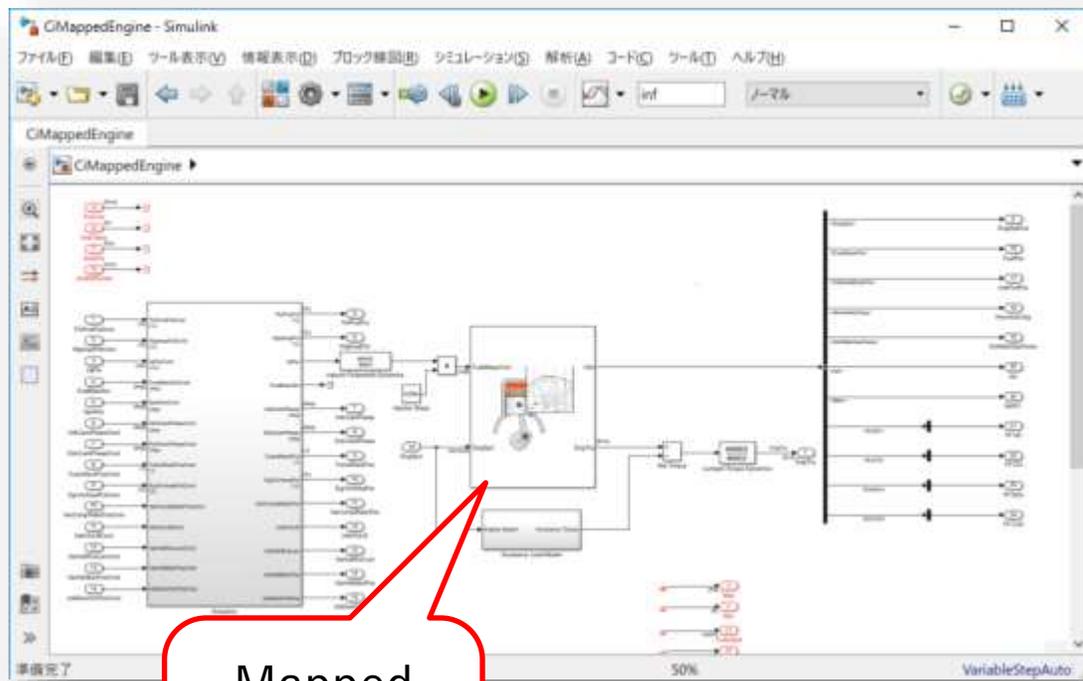
- 設計最適化
- 燃費シミュレーション
- WOT加速シミュレーション

# プラントモデル：システムレベル



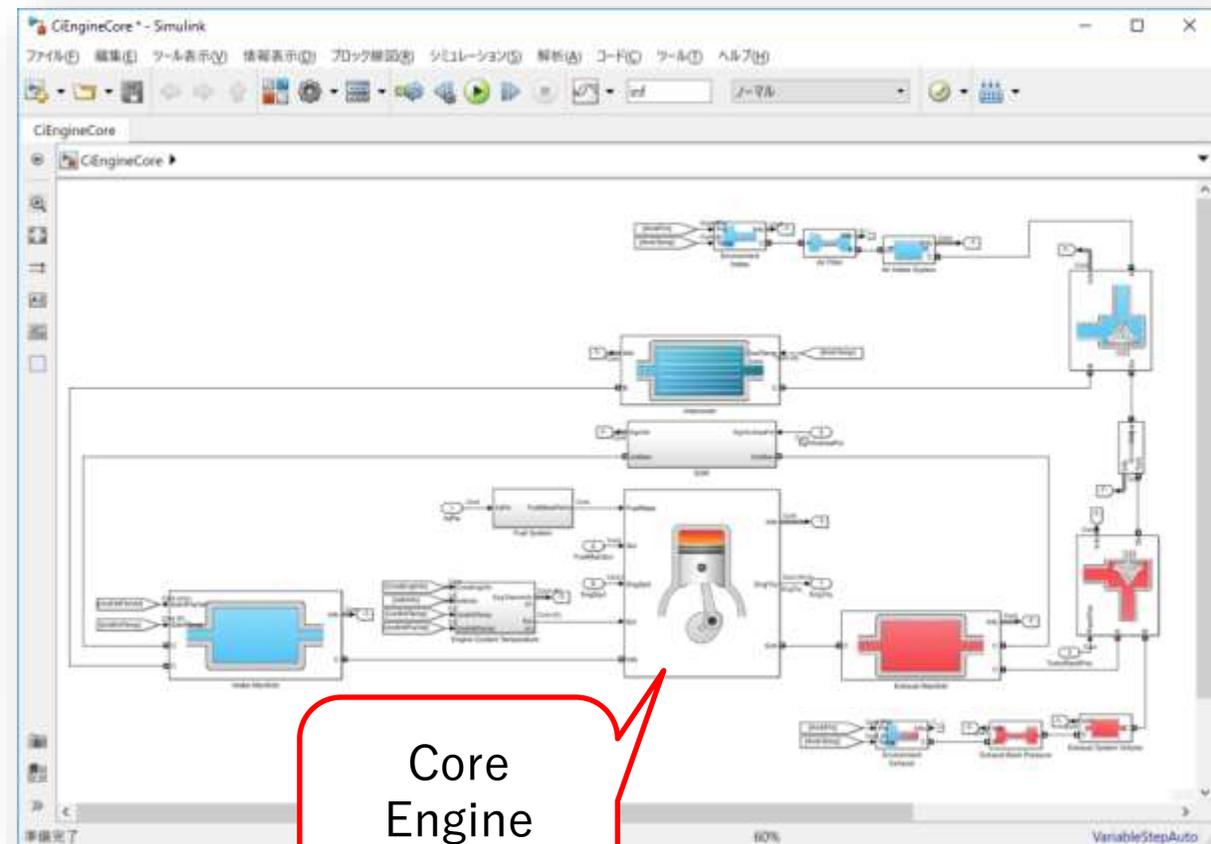
# プラントモデル：エンジン Powertrain Blocksetのエンジンモデル

## マップエンジンモデル



Mapped  
Engine  
Block

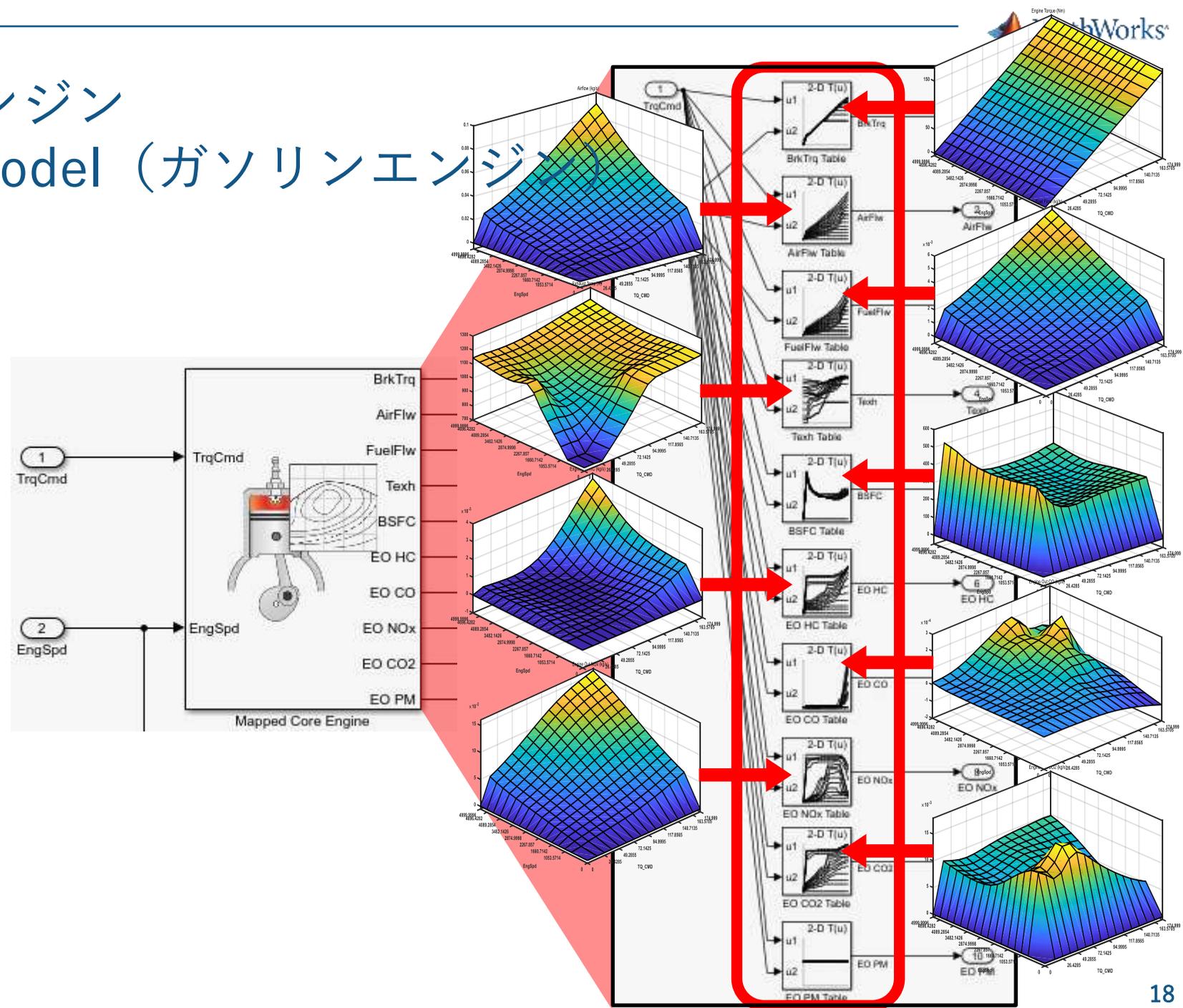
## ダイナミックエンジンモデル



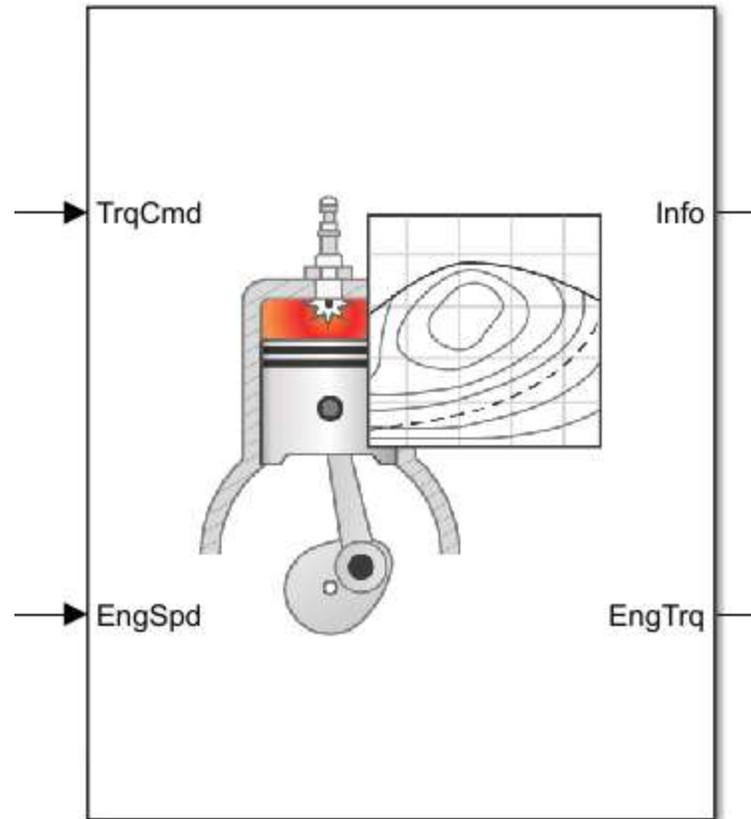
Core  
Engine  
Block

# プラントモデル：エンジン Si Mapped Engine Model (ガソリンエンジン)

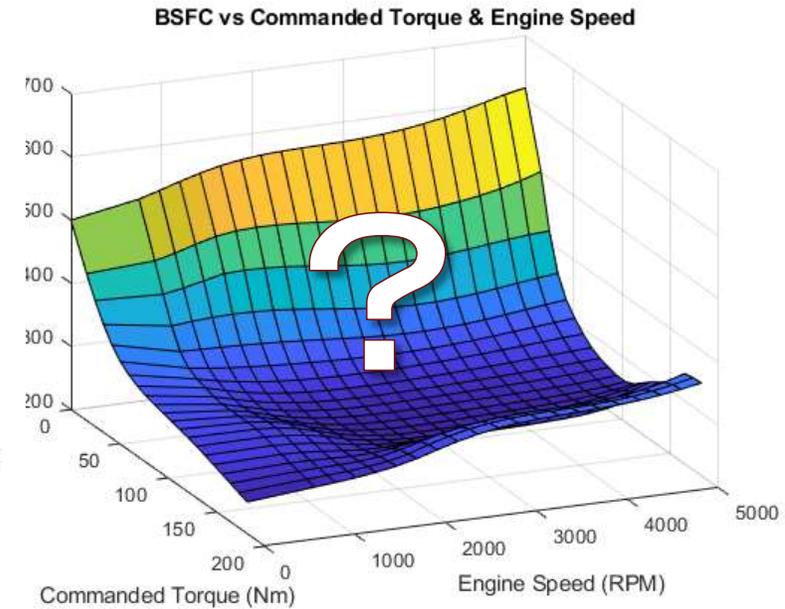
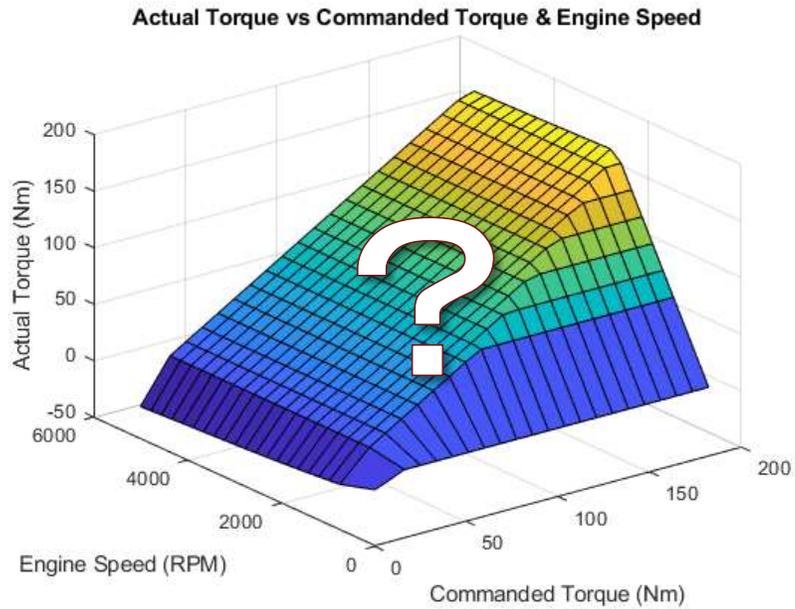
- 出力毎に2Dルックアップテーブル
- 演算負荷低
- システムレベルの設計と開発に最適



# プラントモデル：エンジン



1500cc ガソリンエンジン



# プラントモデル：マップエンジンモデルのパラメータライズ①

エンジンベンチで計測データしたデータからマップエンジンモデルを自動生成

R2018b

[Model-Based Calibration Toolbox™](#)を利用

The screenshot displays two windows from the MATLAB/Simulink environment. The left window, titled 'SiEngineData.xlsx', shows a spreadsheet with engine test data. The right window, titled 'SiMappedEngine - Simulink prerelease use', shows a Simulink block diagram of an engine model.

**SiEngineData.xlsx Data:**

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name:	Torque	EngSpd	AirMassFlwRate	FuelMassFlwRate	ExhTemp	BSPC
2	Unit:	N*m	rpm	kg/s	kg/s	K	g/(kW
3	Data:	33.598	750	0.003756044	0.000257263	767.6445	350.97
4		45.847	750	0.004654959	0.000318832	788.1032	318.76
5		56.568	750	0.005485734	0.000375735	800.8691	304.45
6		68.245	750	0.006440062	0.0004411	880.7776	296.26
7		76.223	750	0.007074802	0.000484576	909.6978	291.3
8		76.223	750	0.007074794	0.000484575	909.6971	291.39
9		28.544	1053.6	0.00502789	0.000344376	864.1794	393.66
10		40.024	1053.6	0.005905243	0.000404469	877.6878	329.91
11		51.453	1053.6	0.006903229	0.000472824	886.9836	299.89
12		62.881	1053.6	0.008056477	0.000551813	900.5524	286.35
13		74.31	1053.6	0.009218835	0.000631427	919.7863	277.26
14		85.738	1053.6	0.010556639	0.000723057	990.6683	275.16
15		95.025	1053.6	0.012052329	0.000825519	1071.628	283.46
16		24.676	1357.1	0.005875772	0.00040245	901.2477	413.12
17		36.983	1357.1	0.007204383	0.000493451	921.4745	338.20
18		48.412	1357.1	0.008373948	0.000573558	926.201	300.20794
19		59.84	1357.1	0.0097533	0.000668034	941.4953	282.79031
20		71.269	1357.1	0.011219721	0.000768474	955.8058	273.14525
21		82.697	1357.1	0.012688208	0.000869055	969.9667	266.19969

**SiMappedEngine Simulink Model:**

The Simulink diagram shows the following components and connections:

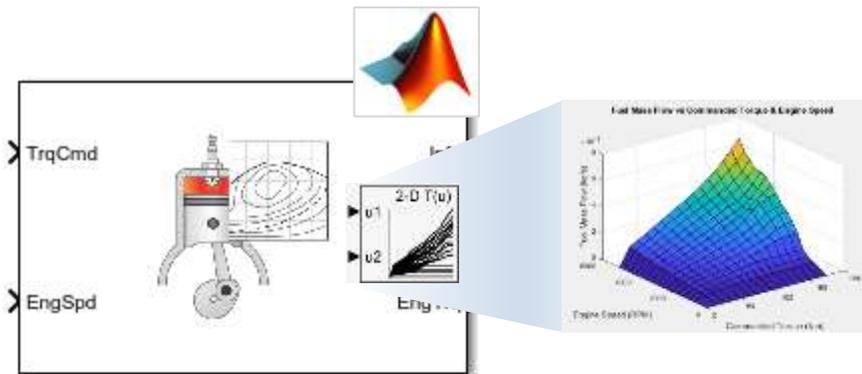
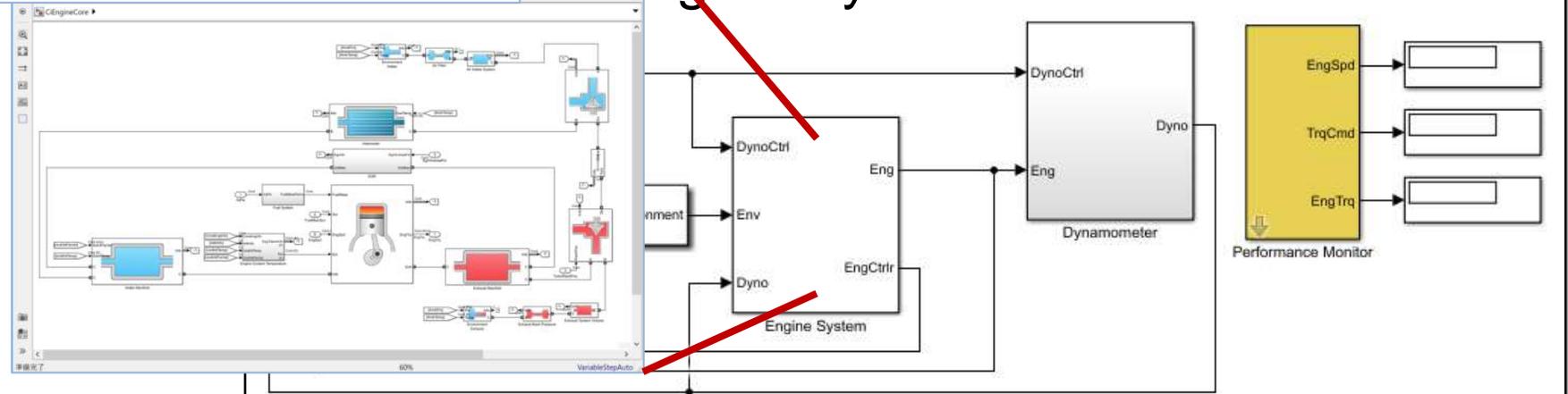
- Inputs:** TrqCmd (15), EngSpd (18), ThrPosPct (5), and WgAreaPct (6).
- Blocks:**
  - Electronic Throttle Actuator Dynamics:** Receives TrqCmd and outputs TrqCmd to the engine.
  - Mapped SI Engine:** Receives TrqCmd and EngSpd. It outputs Info and EngTrq.
  - Accessory Load Model:** Receives EngTrq and outputs Accessory Torque.
  - Net Torque:** Receives EngTrq and Accessory Torque to calculate the final output.
- Outputs:** Info, EngTrq, and Net Torque.

# プラントモデル：マップエンジンモデルのパラメータライズ②

シミュレーションモデルからマップエンジンモデルを自動生成

ダイナミックエンジンモデル

Engine Dynamometer



Execute Engine Mapping Experiment

Execute Model Predictive Control Plant Model Experiment

Recalibrate Controller

Resize Engine and Recalibrate Controller

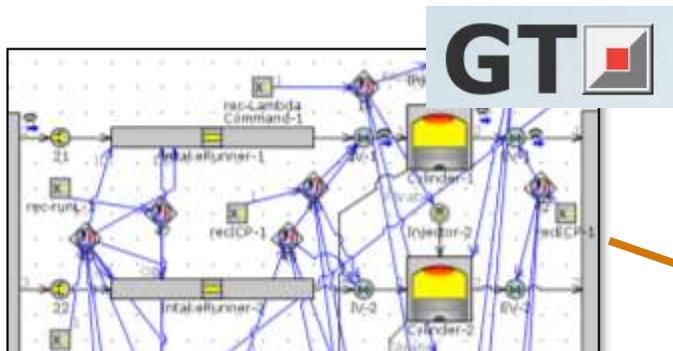
Help

Generate Mapped Engine from Spreadsheet

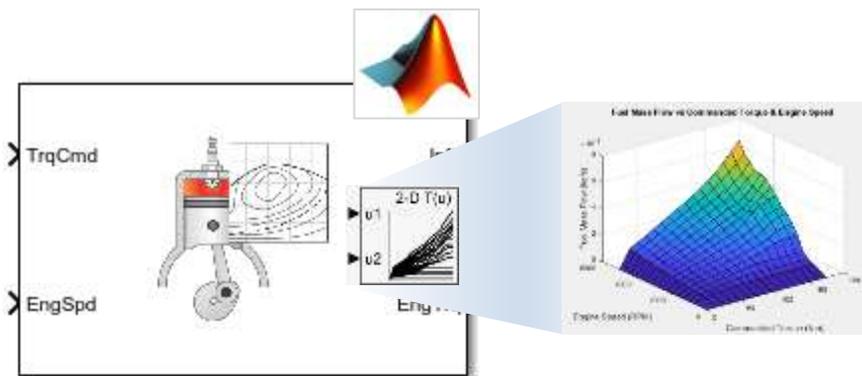
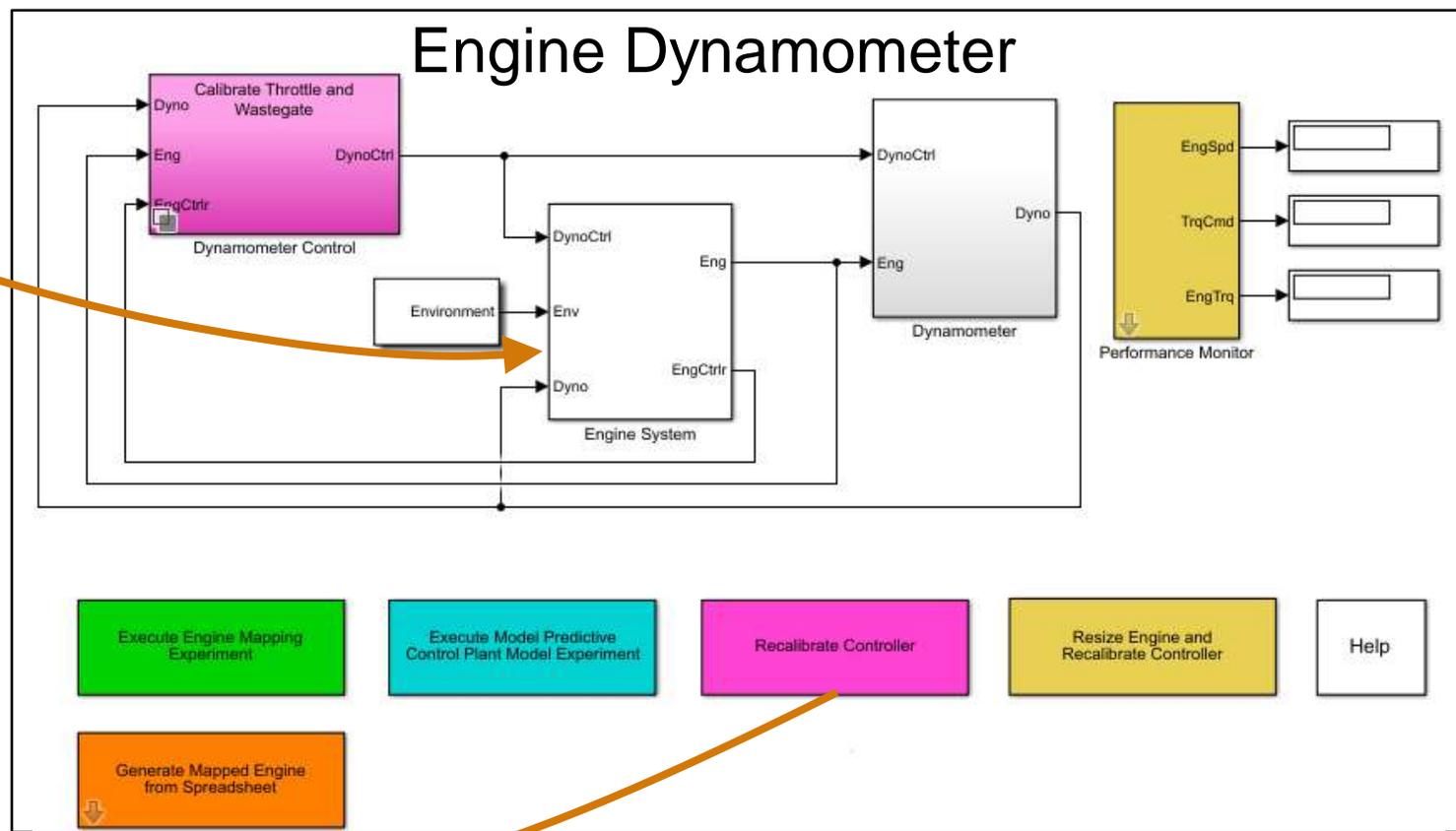
マップエンジンモデル

# 制御ロジック検討用モデルの作成

GT-POWERモデルを元にマップ生成

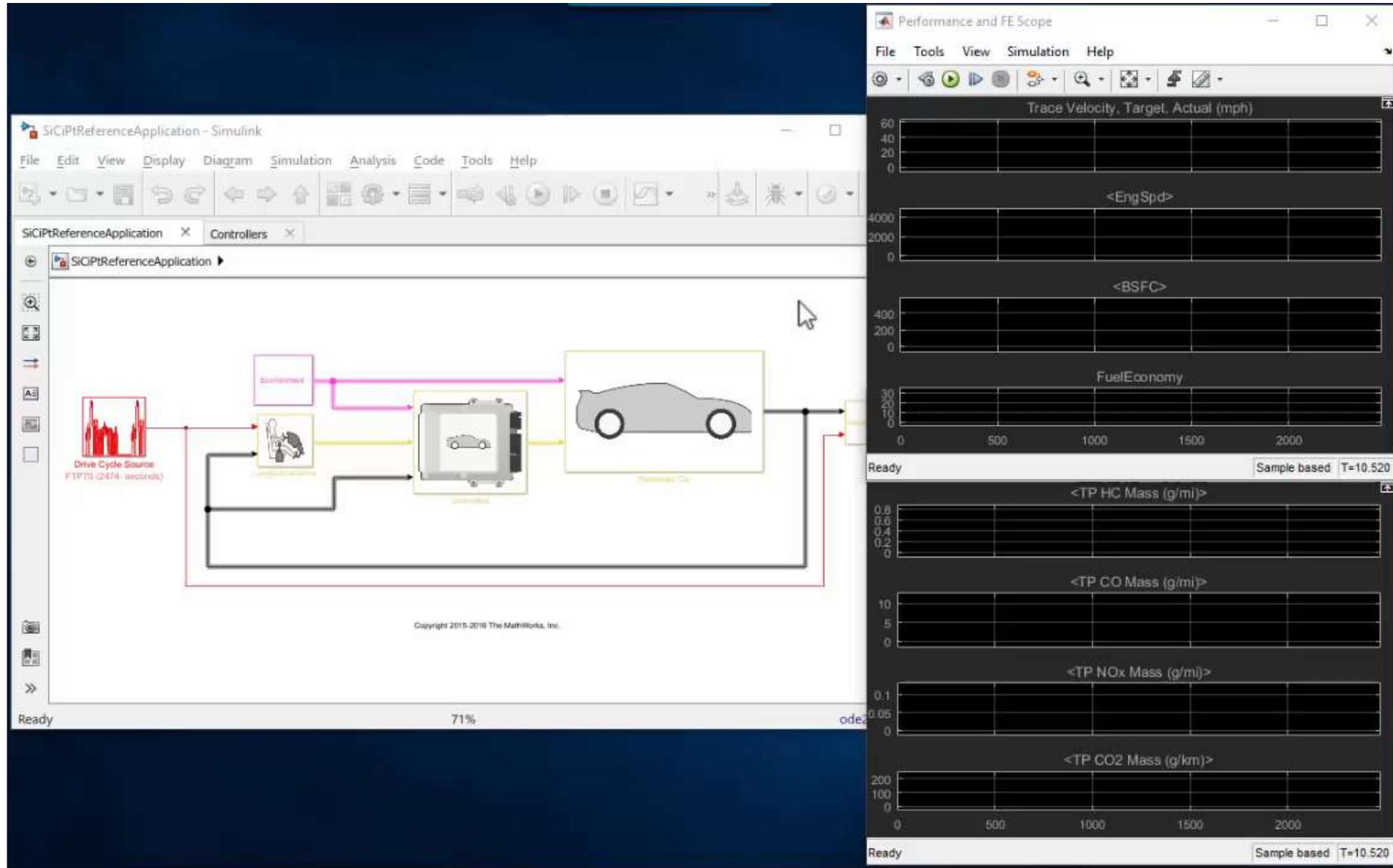


詳細：設計検討用モデル



演算負荷低：制御ロジック検討用モデル（マップエンジンモデル）

# 車両モデルに組み込んで動作確認

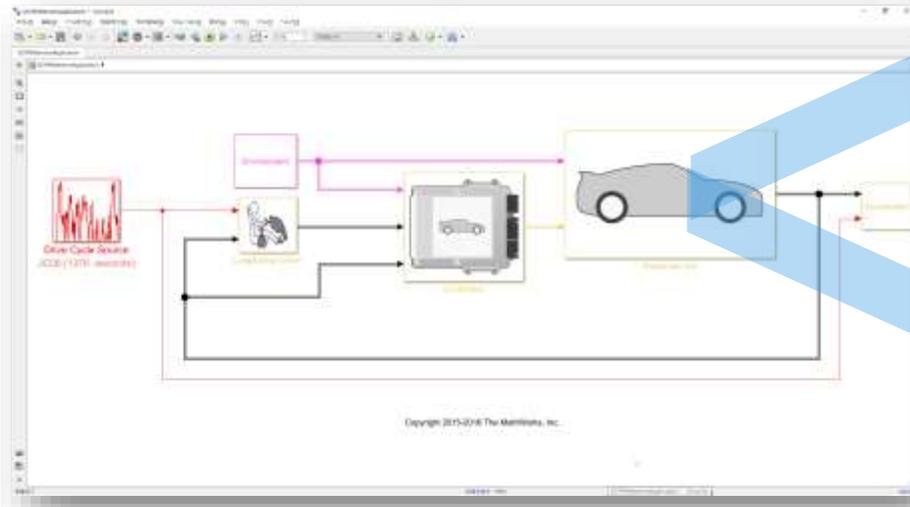
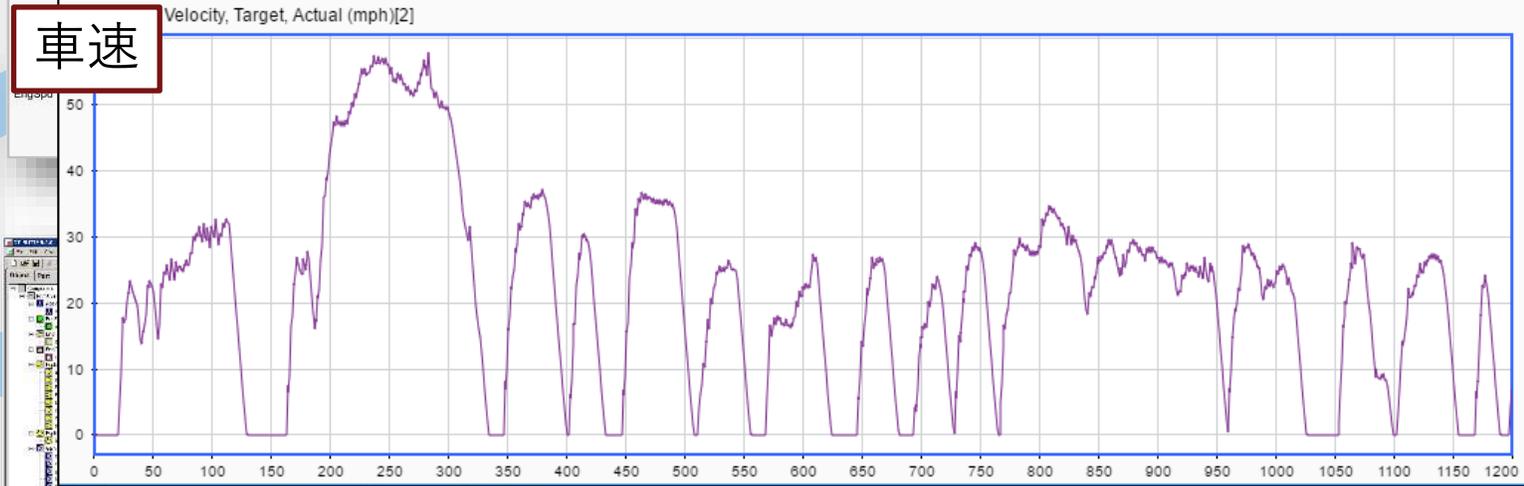
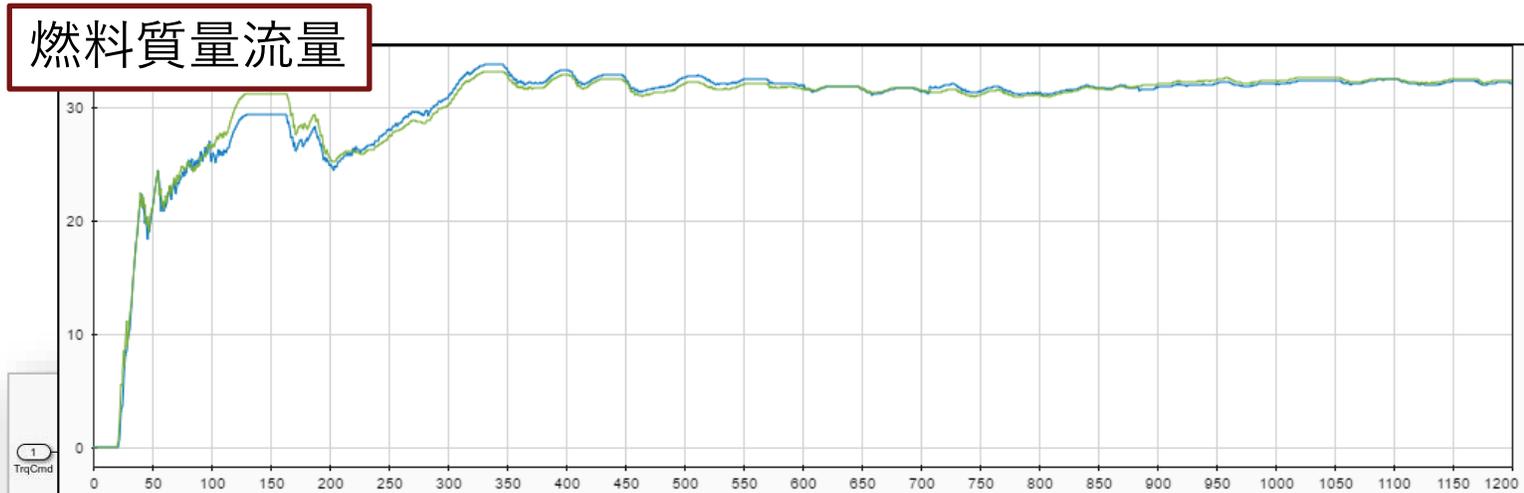


# マップエンジンモデルの精度は？

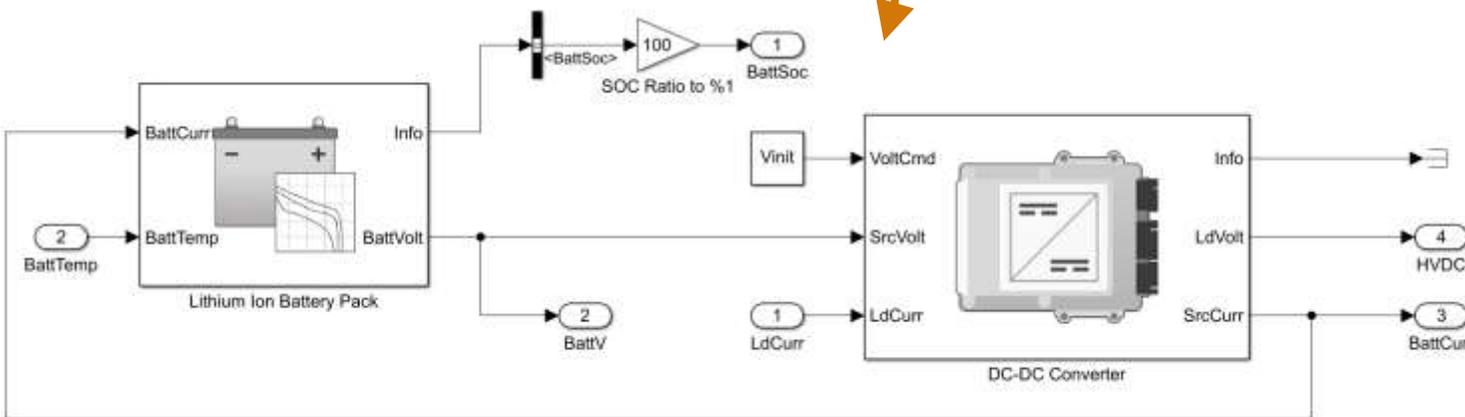
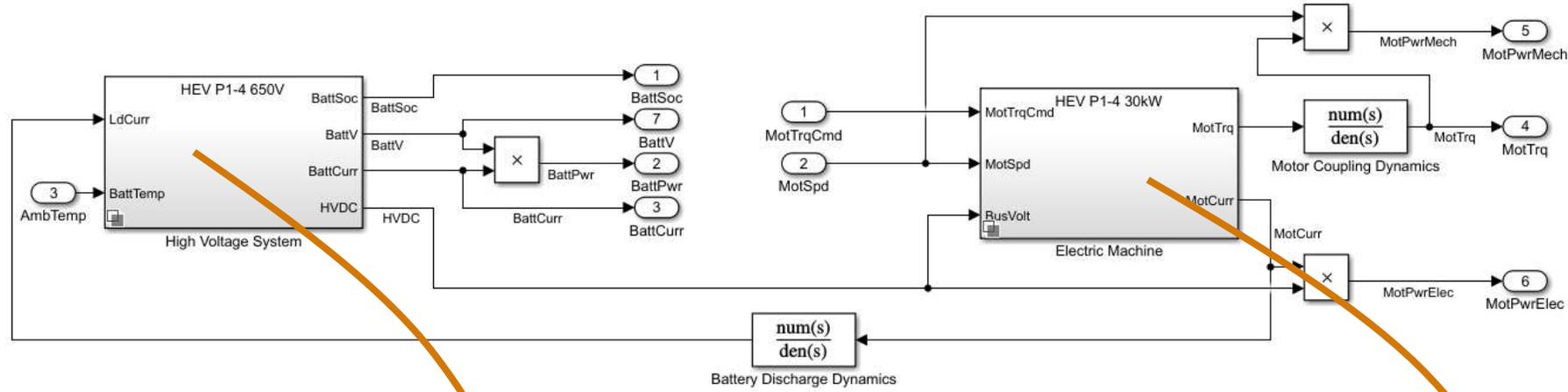
## GT-PowerモデルとPowertrain Blocksetのマップエンジンモデルとの比較

自動生成されたマップエンジンモデル  
と詳細エンジンモデルの比較

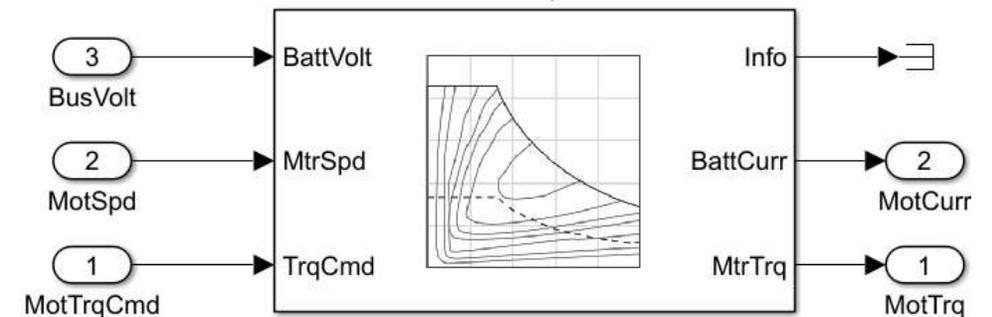
- シミュレーション時間：1/50倍
- 燃費演算の差：0.3%



# プラントモデル：電気系

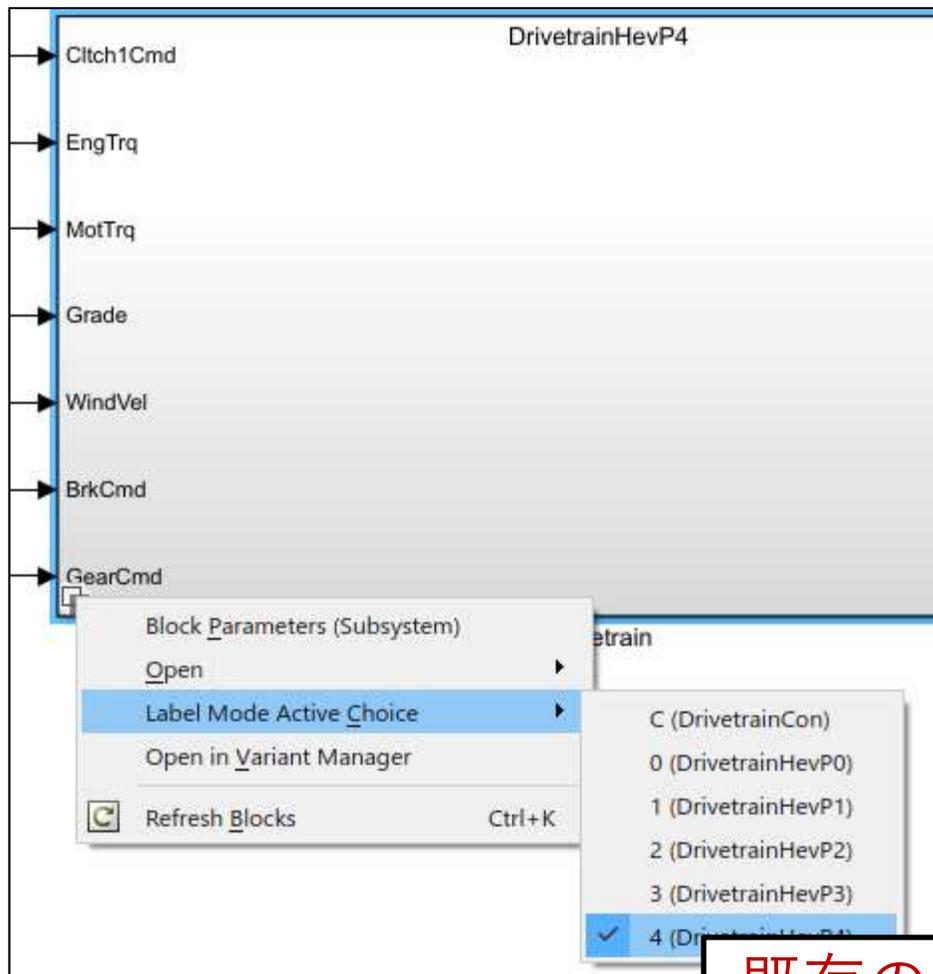


650V バッテリー & DC-DCコンバーター  
(smaller sizing for P0)



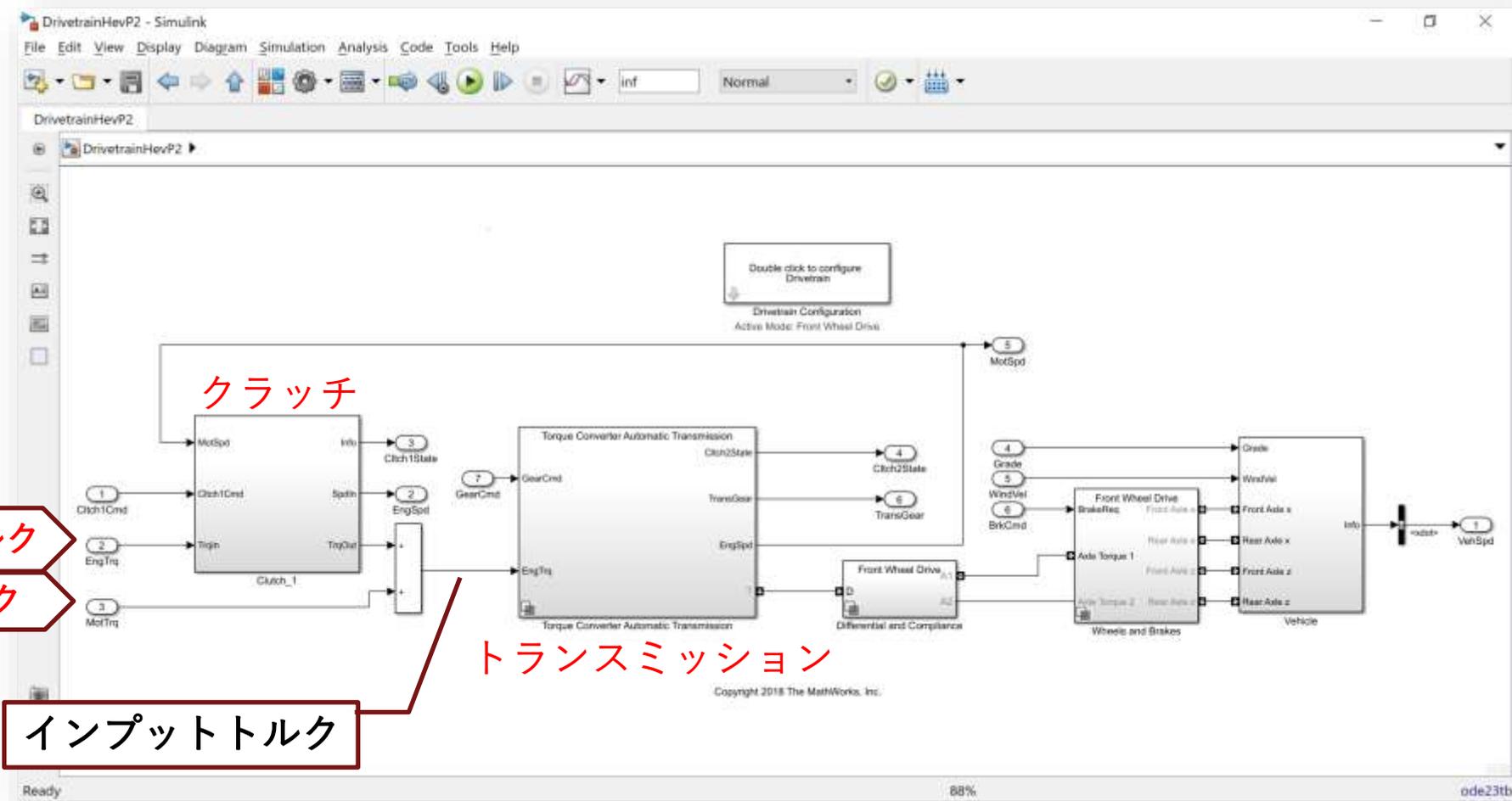
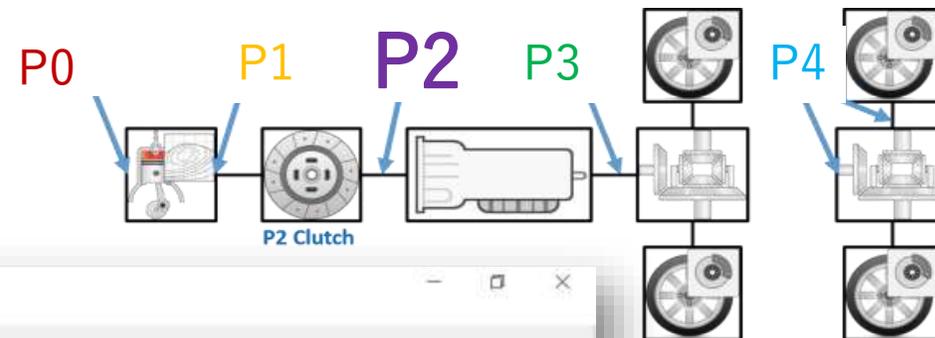
30 kW モーター  
(10 kW for P0)

# プラントモデル：ドライブライン

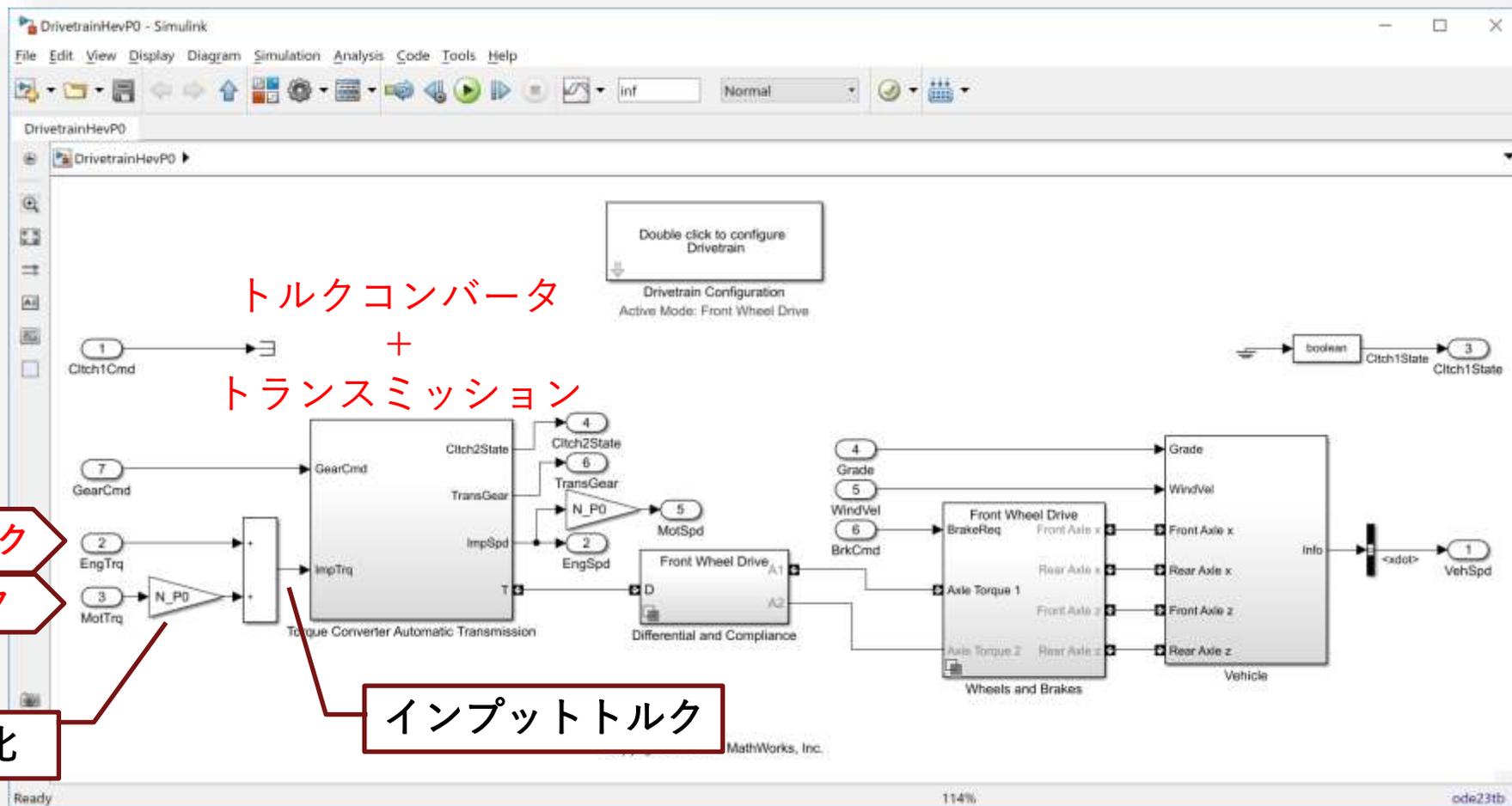
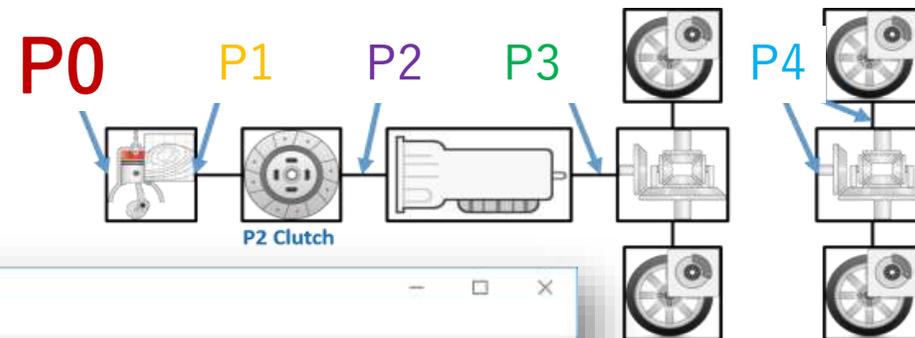


既存のモデル（P2）をベースに他のモデルを手早く作成！

# プラントモデル：ドライブライン P2



# プラントモデル：ドライブライン P0

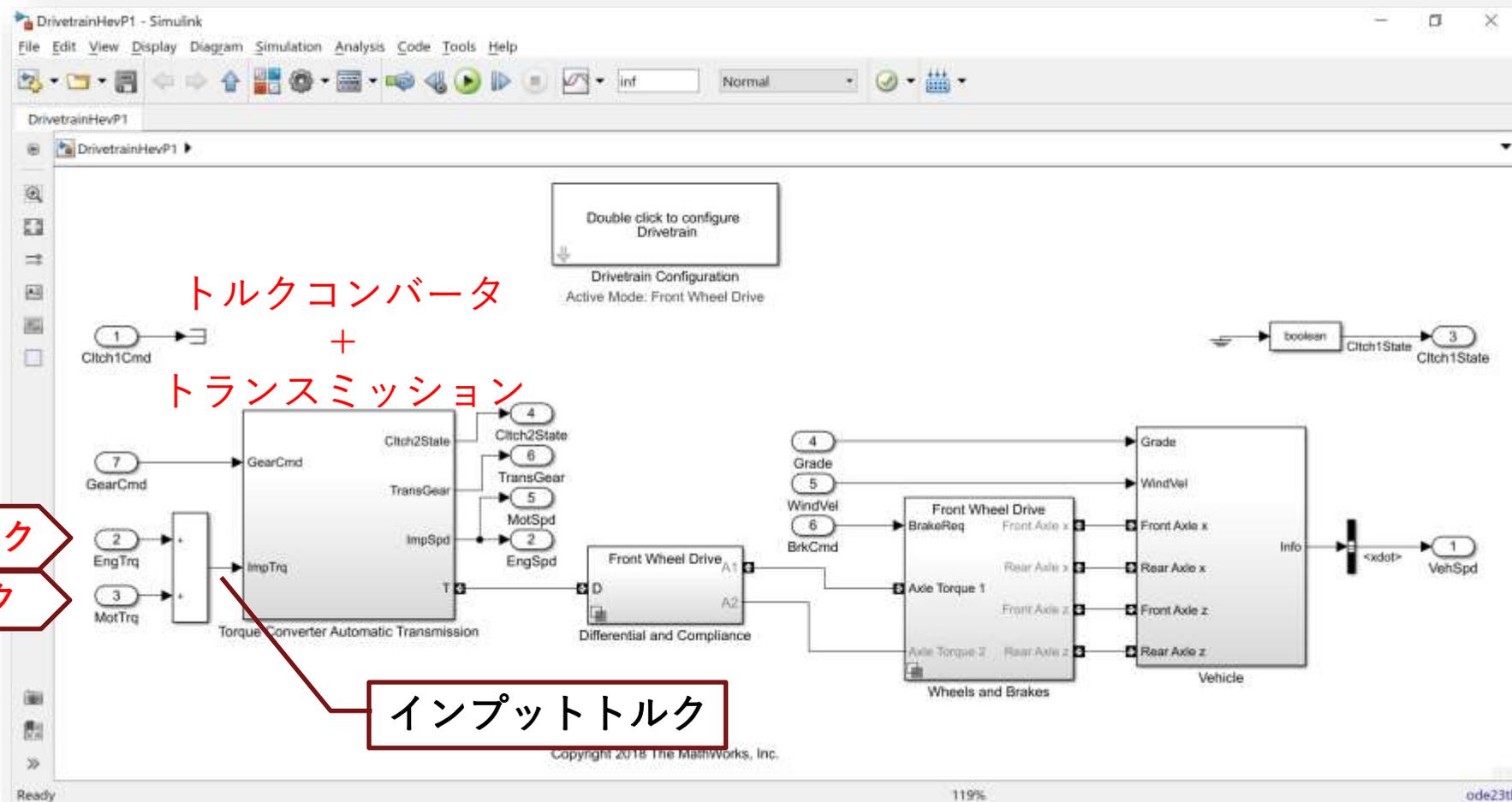
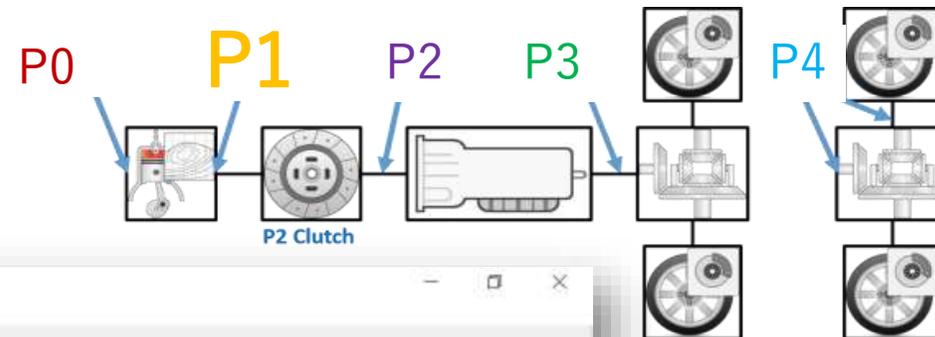


エンジントルク  
モータトルク

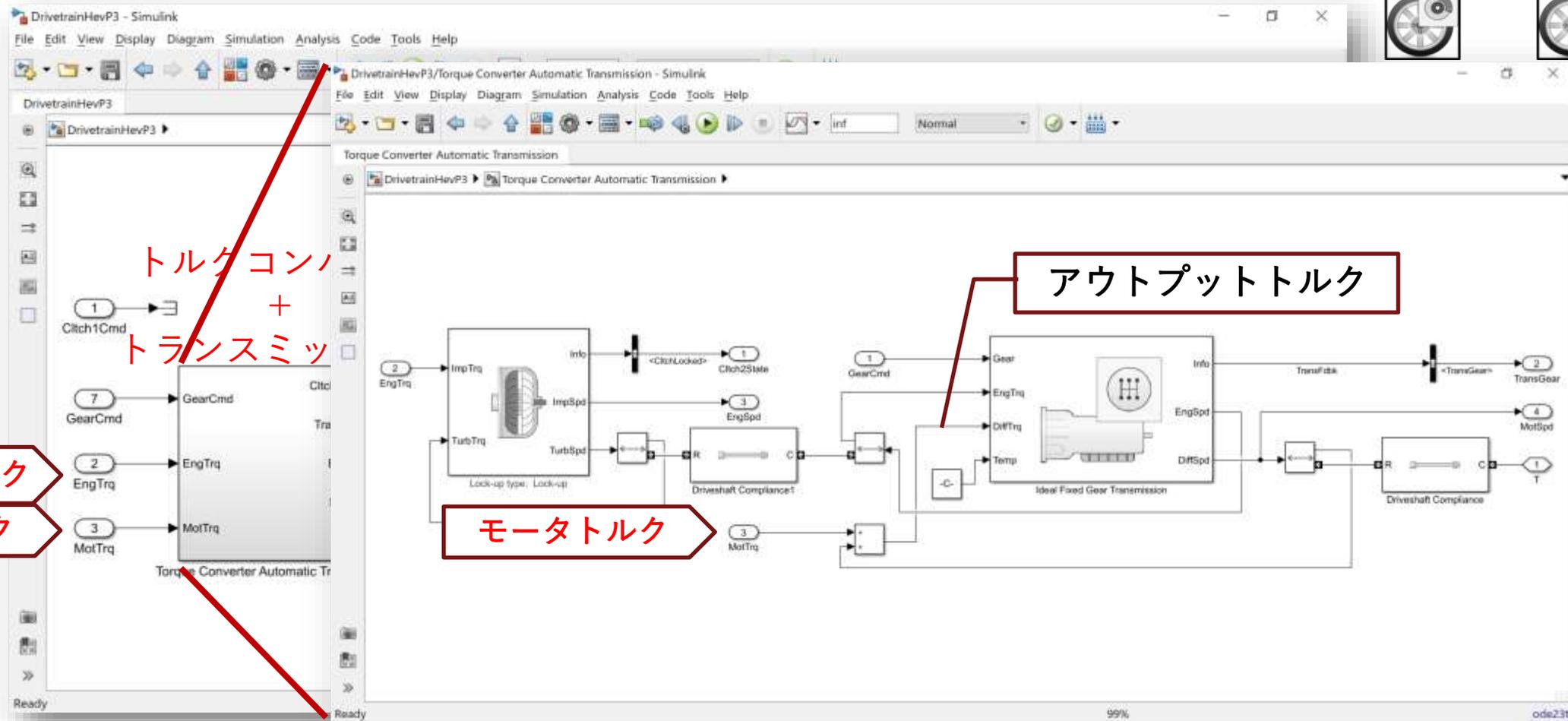
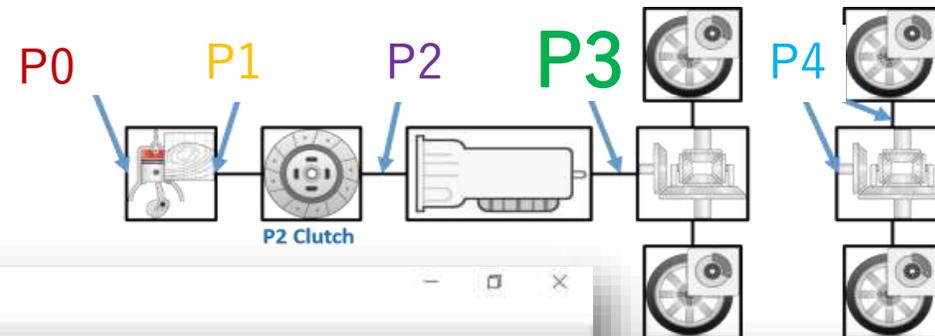
プーリ比

インプットトルク

# プラントモデル：ドライブライン P1



# プラントモデル：ドライブライン P3



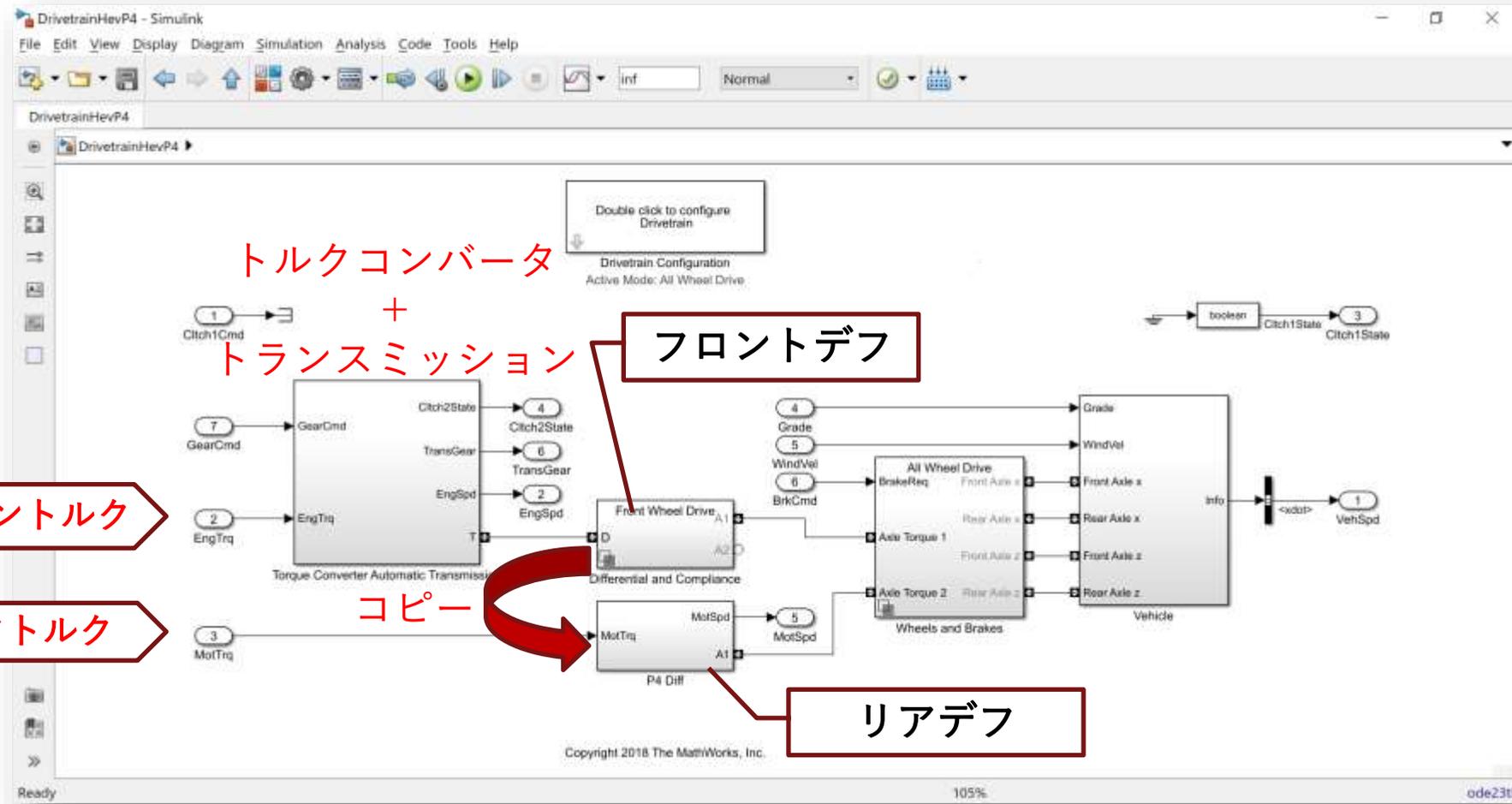
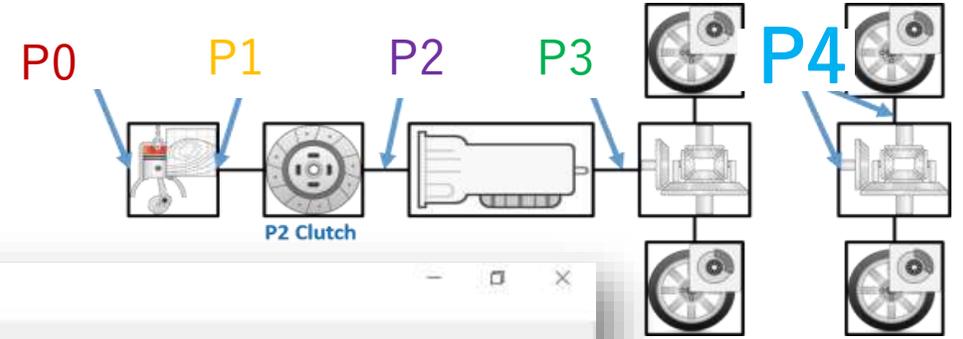
エンジントルク  
モータトルク

トルクコン +  
トランスミット

モータトルク

アウトプットトルク

# プラントモデル：ドライブライン P4



トルクコンバータ  
+  
トランスミッション

フロントデフ

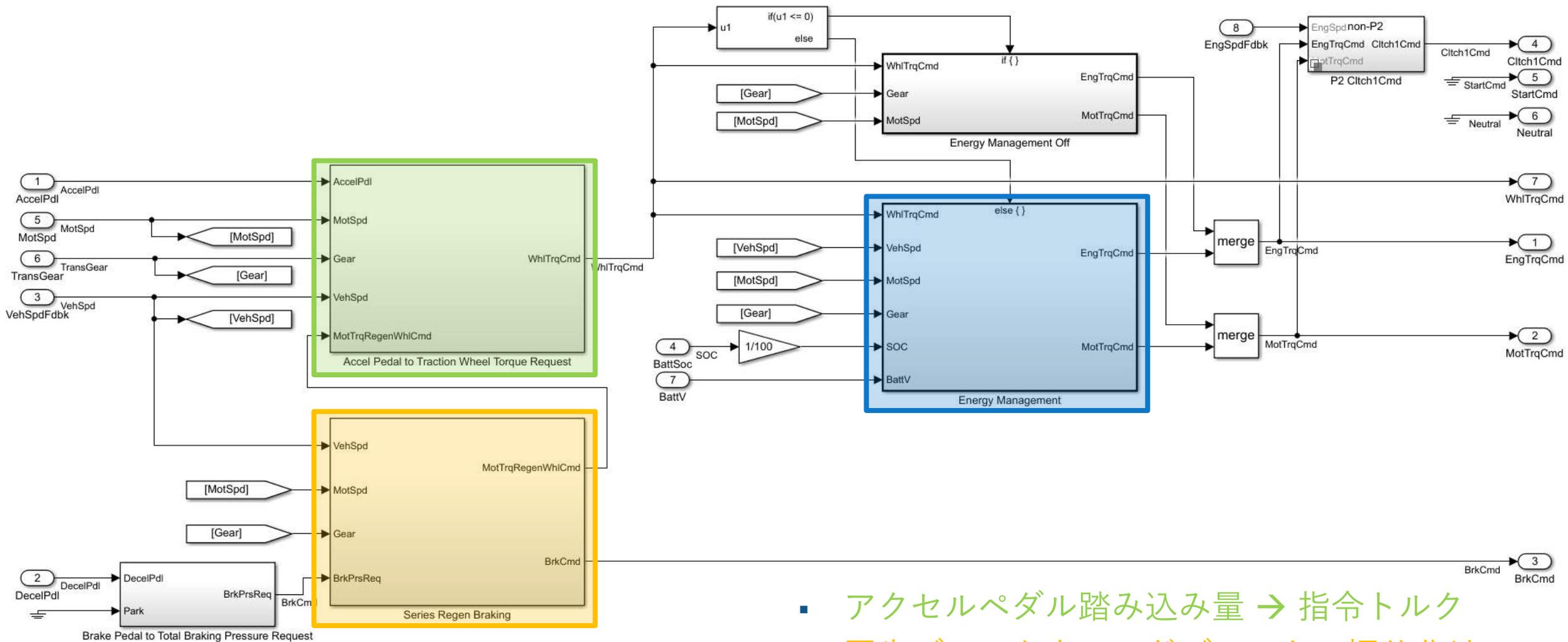
リアデフ

エンジントルク

モータトルク

コピー

# 制御モデル：ハイブリッド制御モジュール



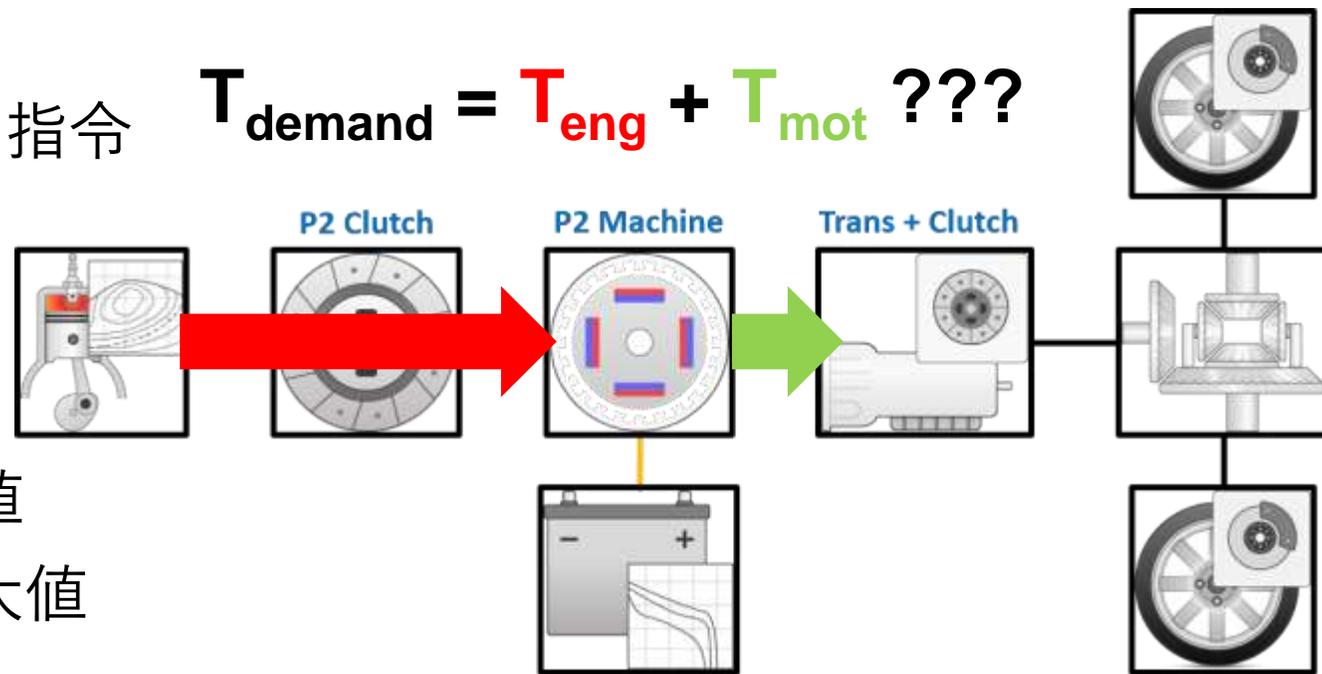
- アクセルペダル踏み込み量 → 指令トルク
- 回生ブレーキをハードブレーキの振り分け
- HEVエネルギーマネジメント

# HEVエネルギーマネジメント

- エンジンやモータへの瞬時トルク指令  $T_{\text{demand}} = T_{\text{eng}} + T_{\text{mot}} ???$

- 制約

- 最小値 < モータトルク < 最大値
- 最小値 < エンジントルク < 最大値
- 最小SOC < SOC < 最大SOC



- エネルギー消費を最小限に抑え、ドライバビリティを保持する

# Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS)

## 等価消費最小化戦略

- ECMSとは?

- エンジンとモータを使用するタイミングを決めるスーパーバイザ
- 電気と燃料の消費を総合的に最適化

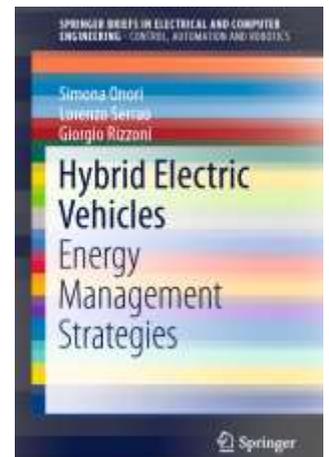
$$\text{Min 等価消費} = \text{燃料消費} + s \times \text{電気消費}$$

( $s$  は等価係数)

- ECMSをつかうのは何故か?

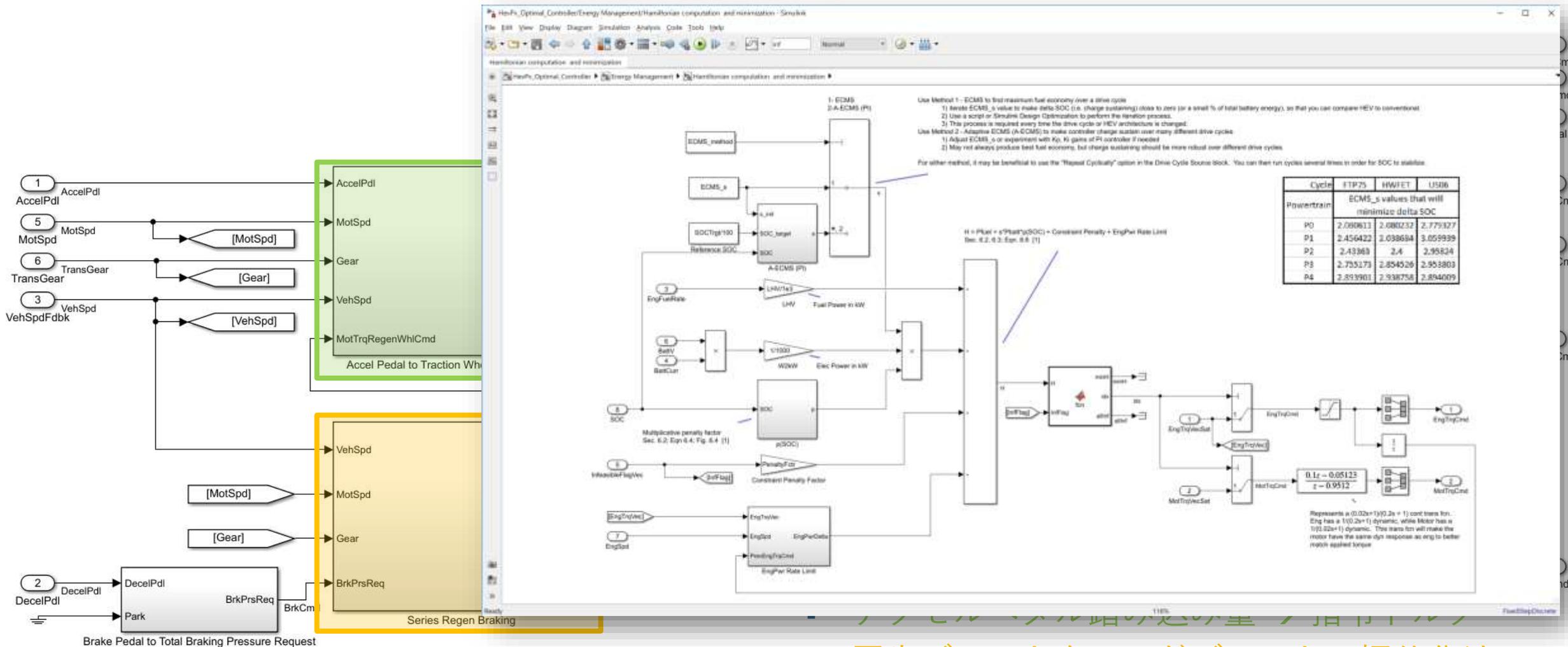
- 運転条件が分かっている場合は、ほぼ最適な制御を提供
- 異なる電動パワートレインに適用可 (等価係数のみをチューニング)

参考文献 ⇒



<https://www.springer.com/us/book/9781447167792>

# 制御モデル：ハイブリッド制御モジュール



- 回生ブレーキをハードブレーキの振り分け
- HEVエネルギー管理

# Agenda

- 使用ツール
- シミュレーションモデルの構築
- ケーススタディの説明
- シミュレーション
- 補足

## ケーススタディ

- 最小化:
  - 燃費[L/100km] (ドライブサイクル：ハイウェイ、シティー、US06)
  - 加速性能 (0 – 100[km/h])
- 制約:
  - ドライブサイクルに沿った走行
  - モータとエンジンの作動可能範囲内
  - 最小SOC < SOC < 最大SOC
  - $\Delta \text{SOC} = |\text{最終SOC} - \text{初期SOC}| < \text{許容値} \rightarrow$  制御パラメータの探索

# Agenda

- 使用ツール
- シミュレーションモデルの構築
- ケーススタディの説明
- シミュレーション
- 補足

## シミュレーションの進め方

### 1. 制御パラメータの探索

$P_i$  アーキテクチャ毎に、

- 各ドライブサイクルで  $\Delta \text{SOC} \leq 1\%$  になるように制御パラメータ  $s$  を求める (イタレーション)

### 2. ドライブサイクル

- シティー、ハイウェイ、US06モードで燃費をシミュレーション

### 3. WOT加速

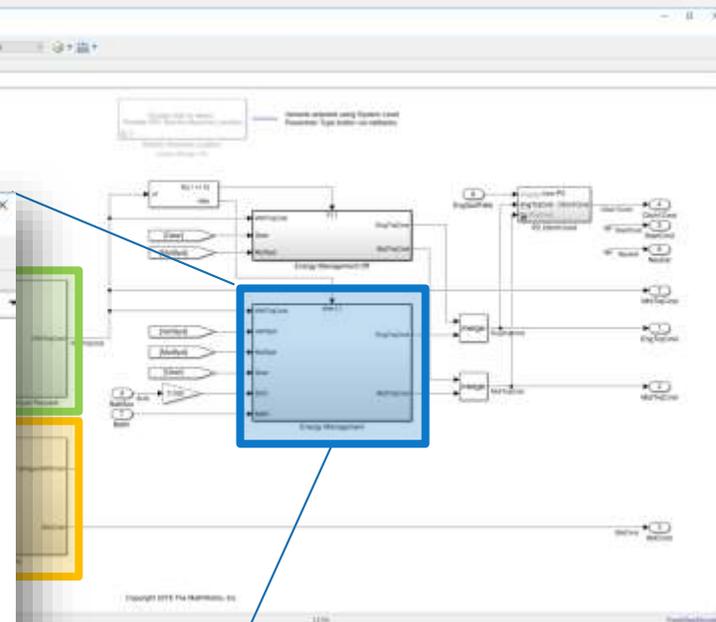
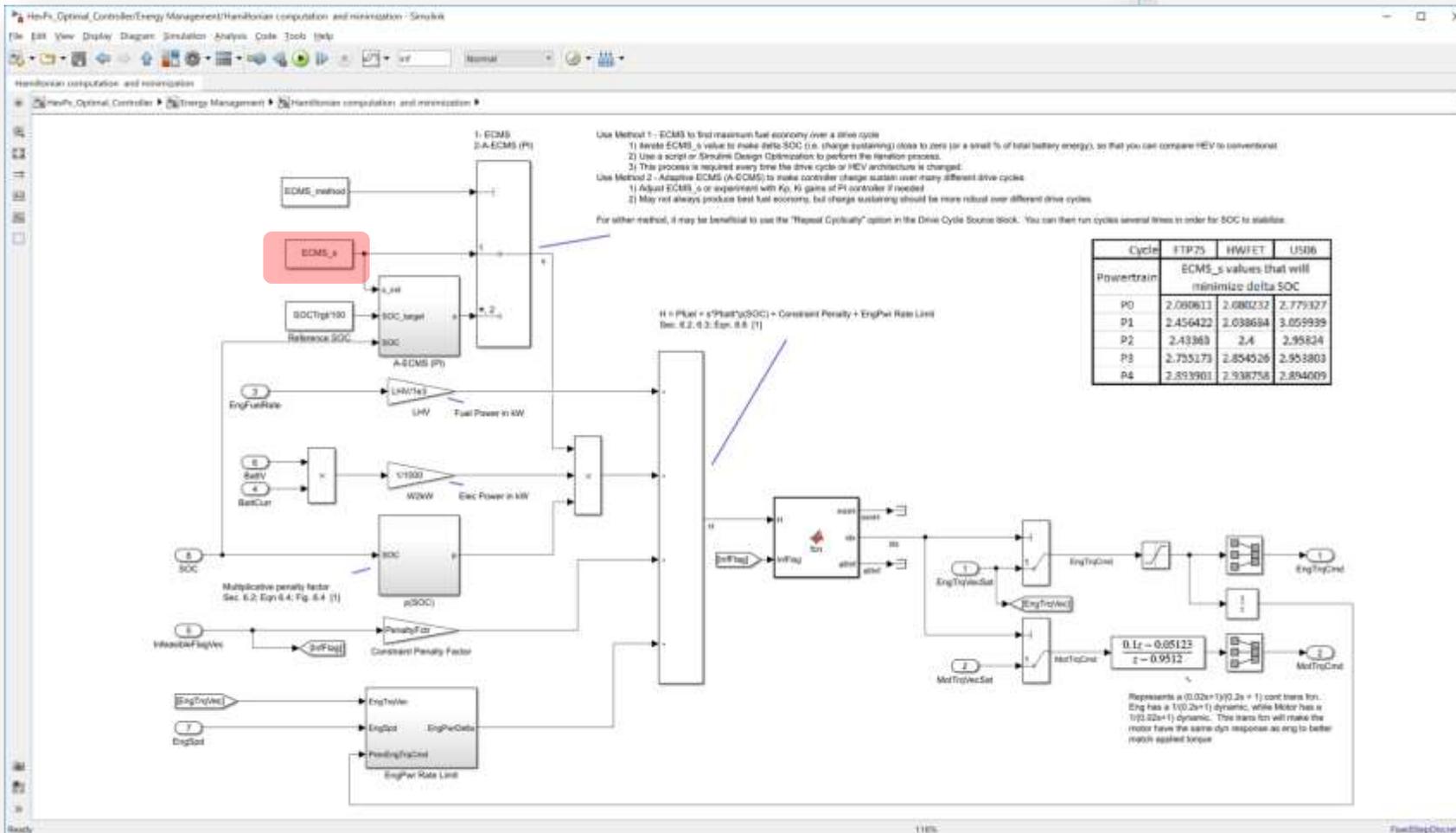
- 0 – 100[km/h]加速をシミュレーション

### 4. 評価

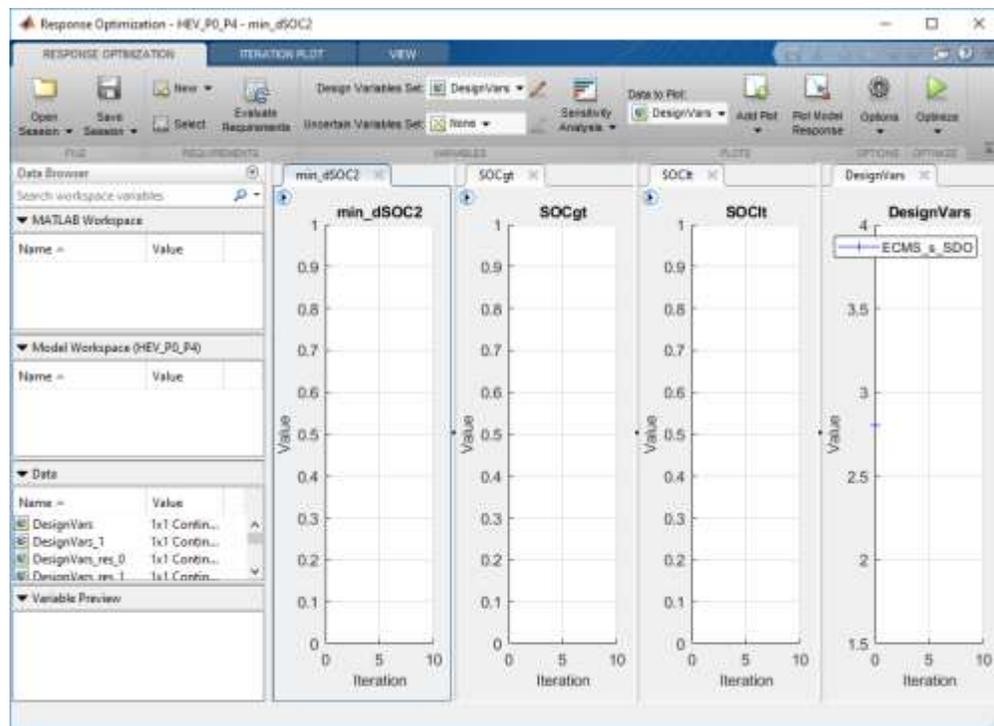
- P0からP4のアーキテクチャの燃費と加速性能を比較

# 制御パラメータの探索

$$\text{等価消費} = \text{燃料消費} + s \times \text{電気消費}$$



# 制御パラメータの探索：フロー

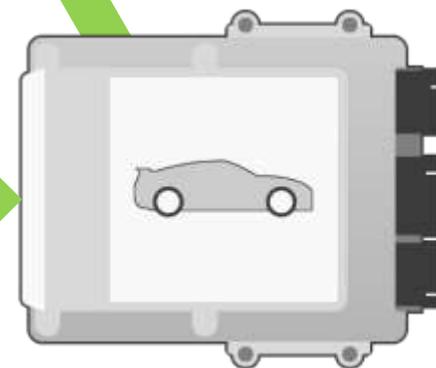


バッテリーSOC



$|\Delta SOC| \leq 1\% ?$

制御パラメータ 's' を更新

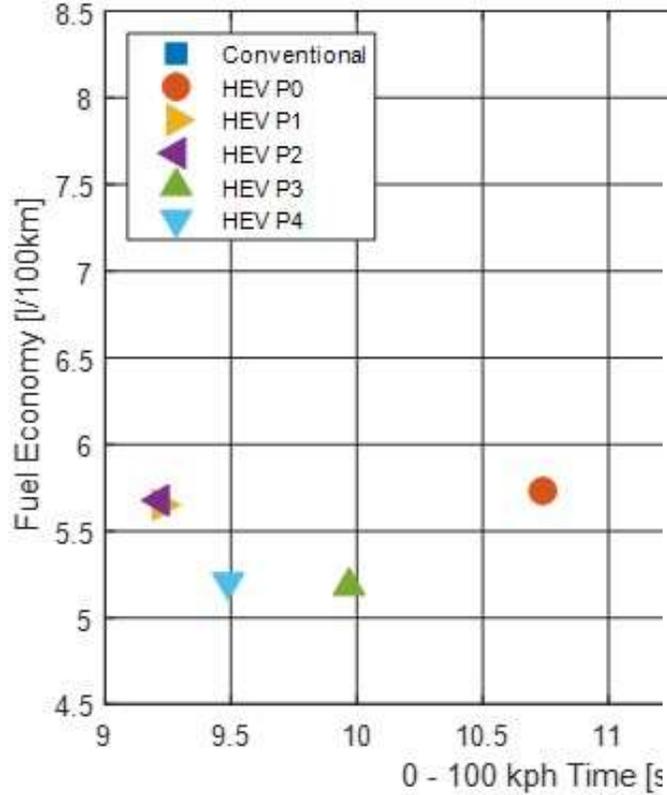


## Simulink Design Optimization™

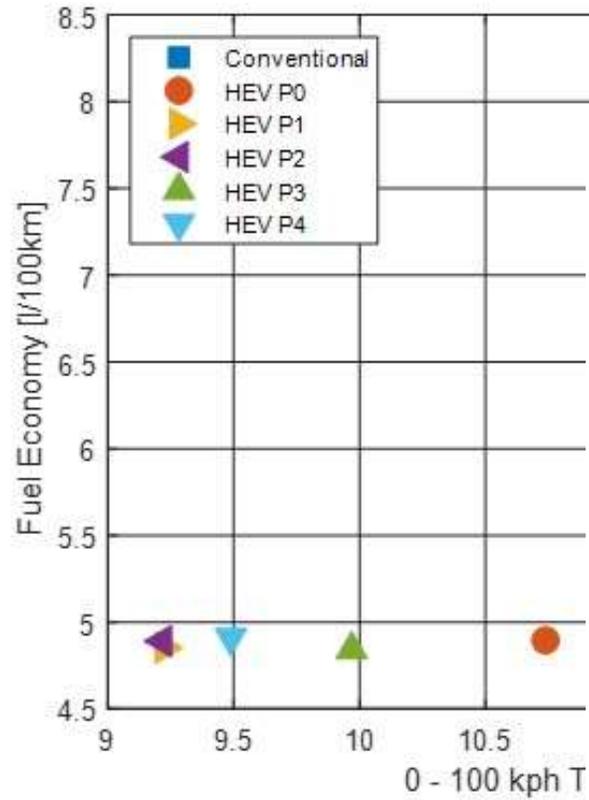
- 最適化演算、応答最適化、感度解析
- 並列演算に対応 (Parallel Computing Toolbox™)

# ドライブサイクル×WOT加速シミュレーション結果

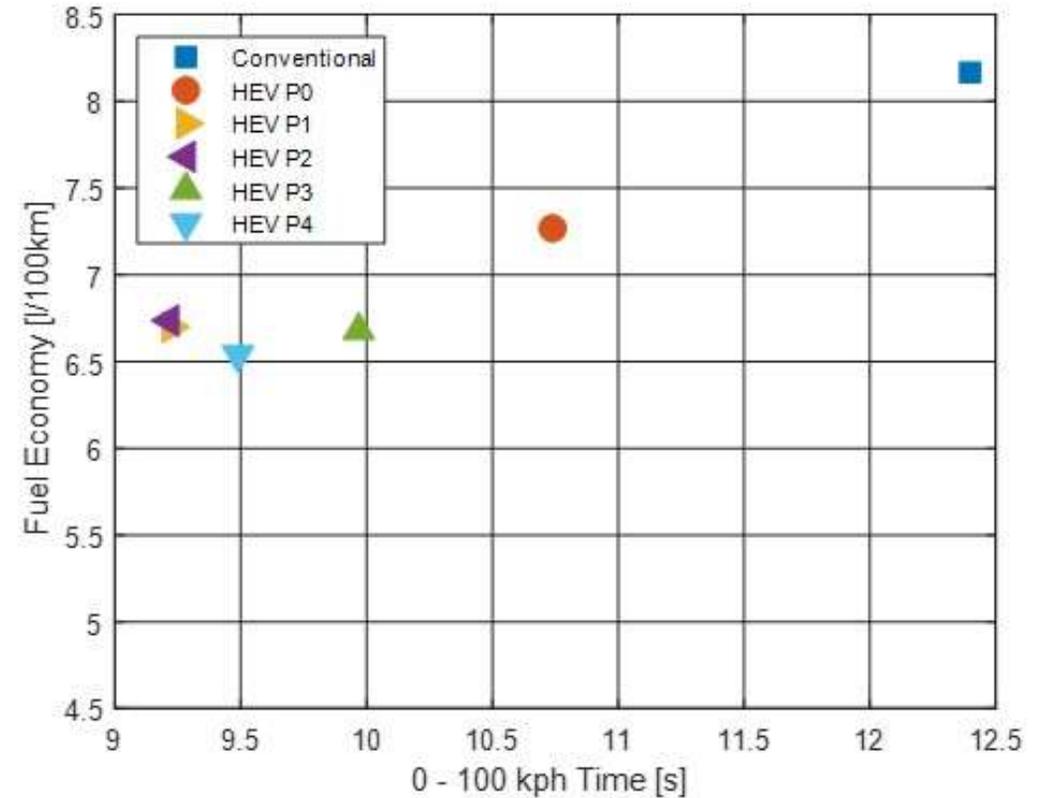
## シティー



ハイウェイ

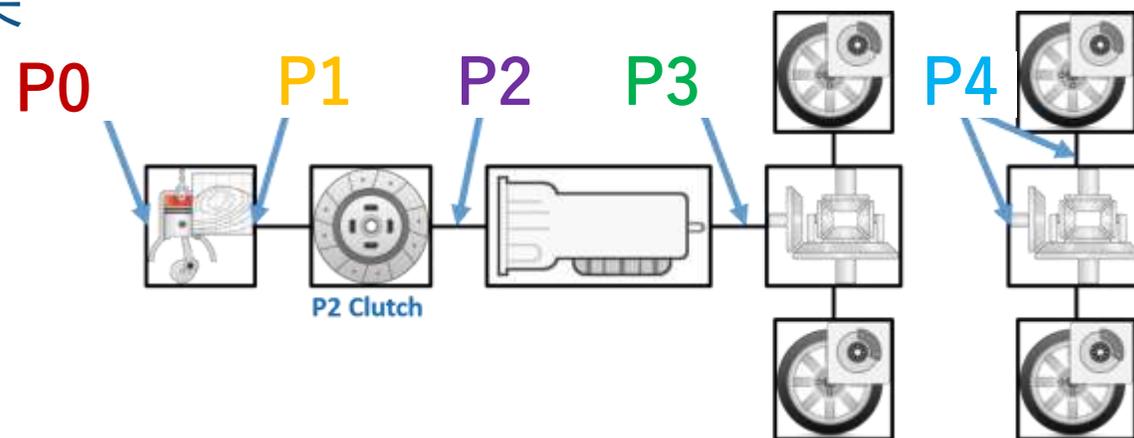


US06

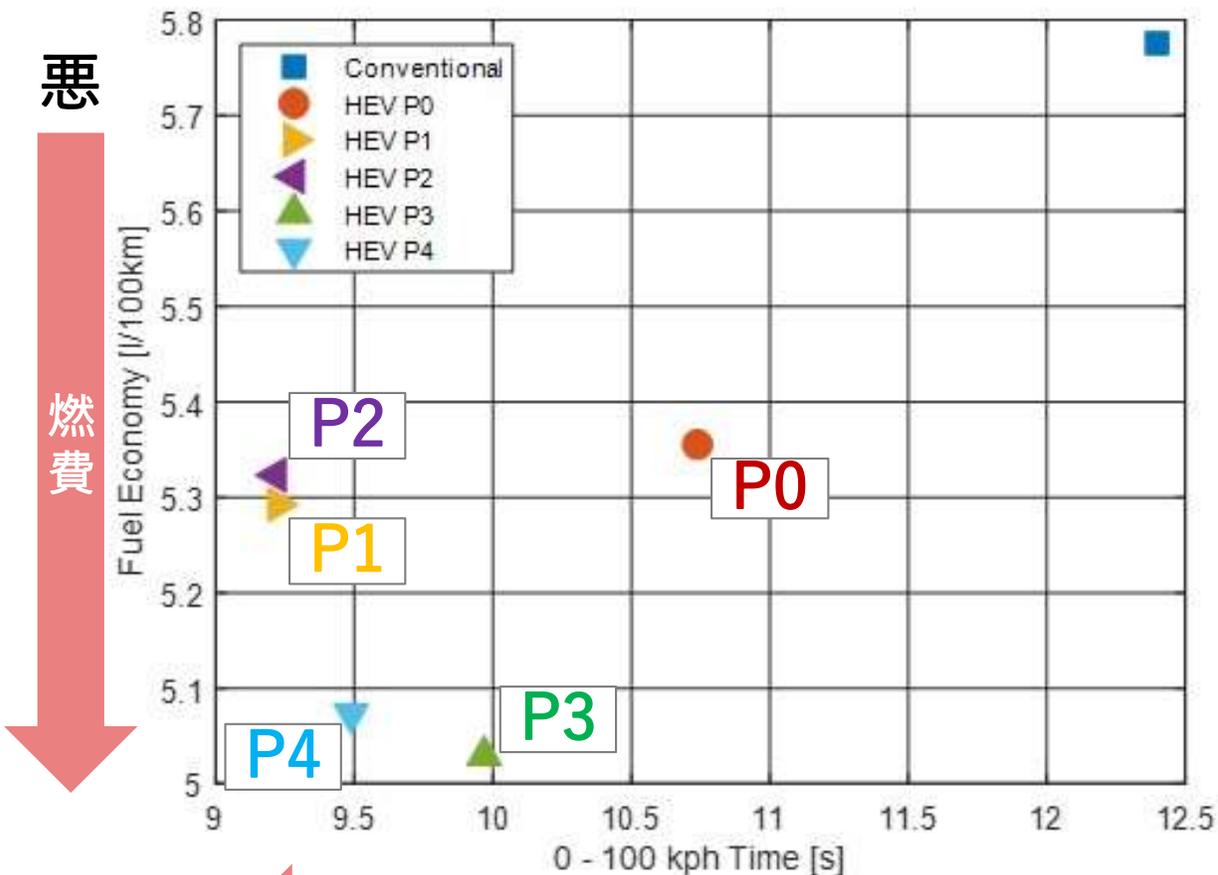


# 評価：電動パワートレイン比較結果

シティー(55%)とハイウェイ(45%)の組み合わせ



- 駆動輪の近くにモータ配置
  - 燃費向上
  - 加速性能低下



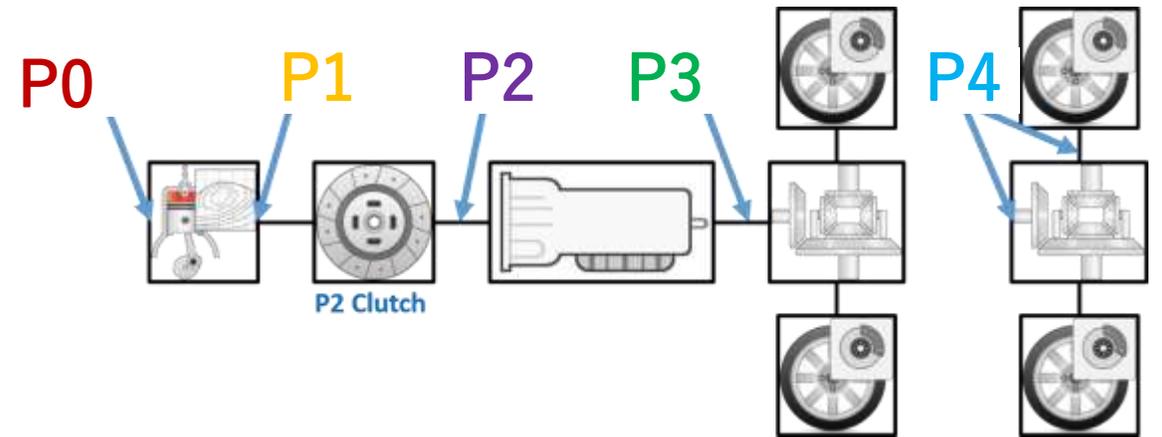
## まとめ

- プラントモデリング
  - プリビルドされた車両モデルをスタートポイントに、**最小工数でシミュレーション環境を構築**
- 設計最適化
  - **最適パラメータを自動調整**
- シミュレーション
  - **燃費と加速性能の間のトレードオフの定量化**

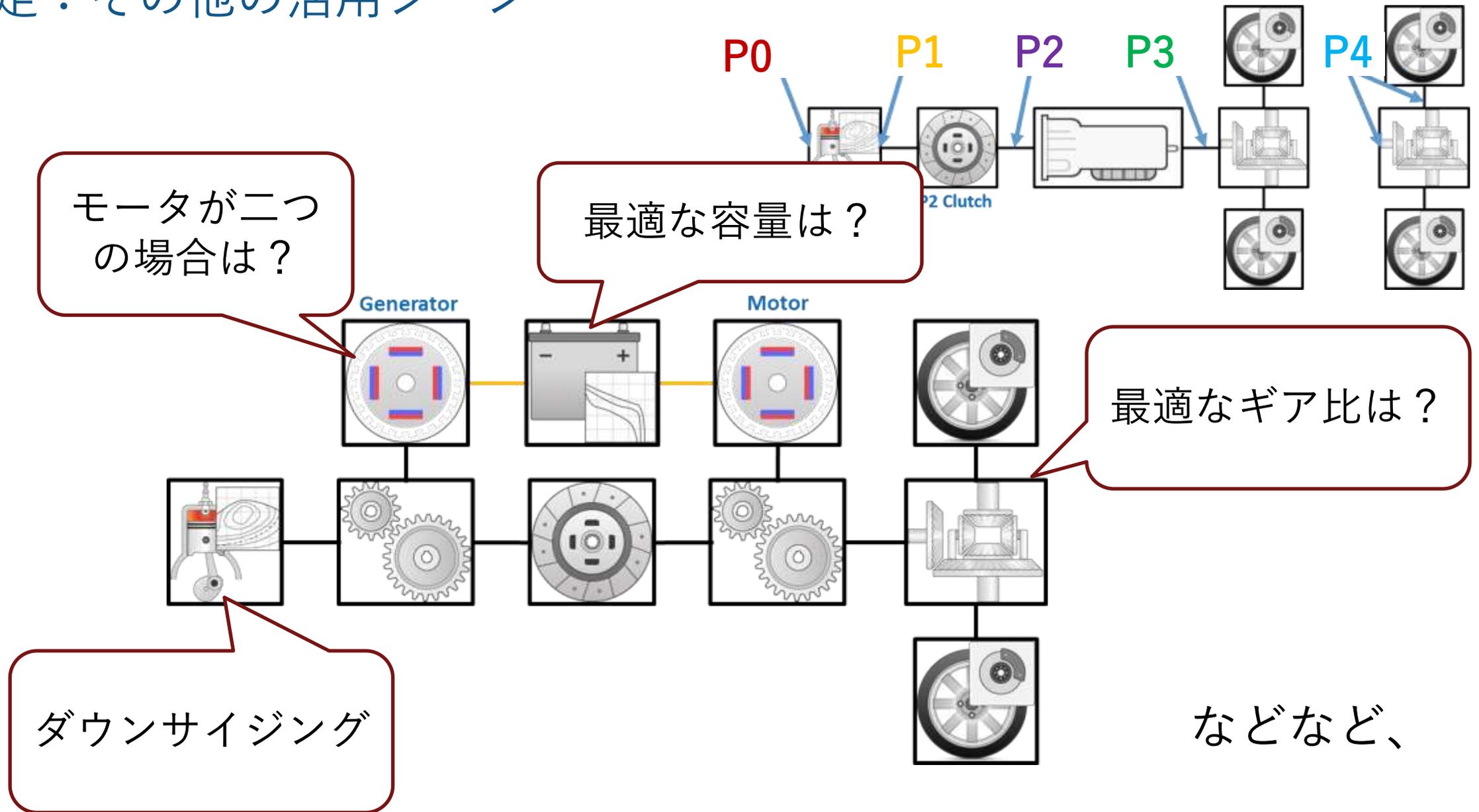
# Agenda

- 使用ツール
  - シミュレーションモデルの構築
  - ケーススタディの説明
  - シミュレーション
- 補足

# 補足：その他の活用シーン

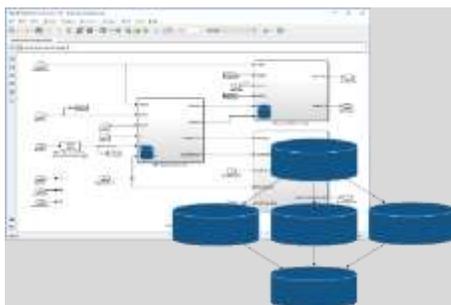


# 補足：その他の活用シーン

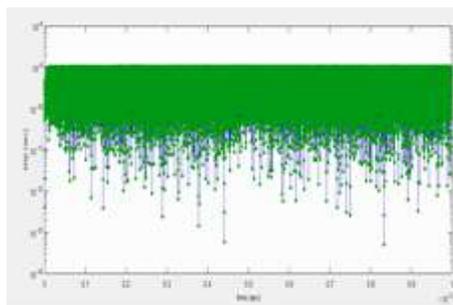


# 補足：シミュレーション統合プラットフォーム

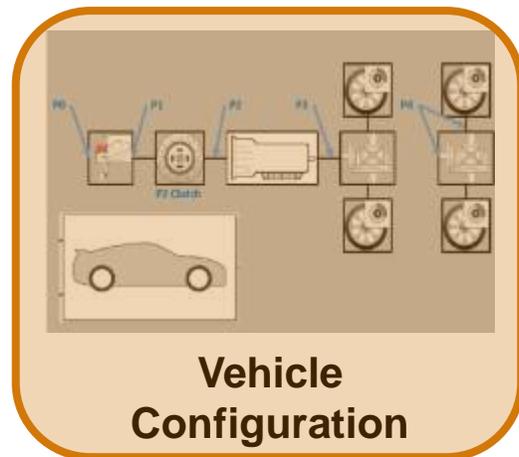
本セッションでのフォーカス



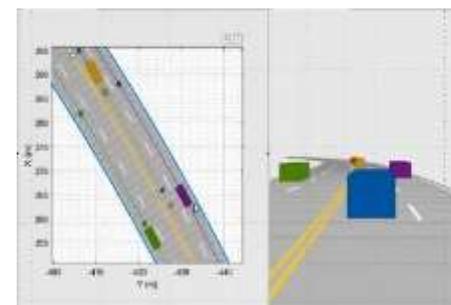
**Data Management**



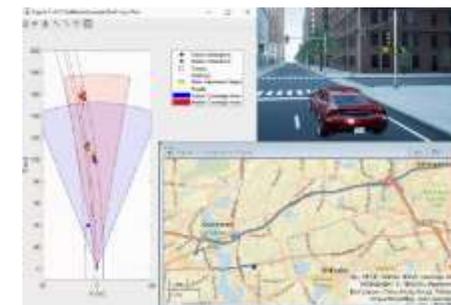
**Solver Technology**



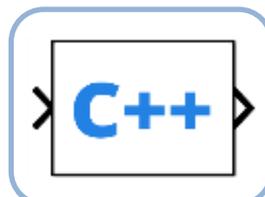
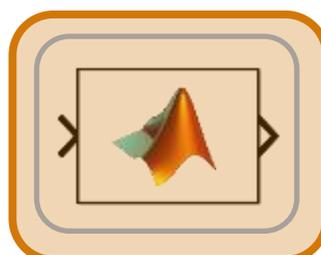
**Vehicle Configuration**



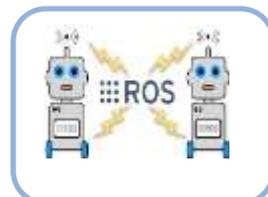
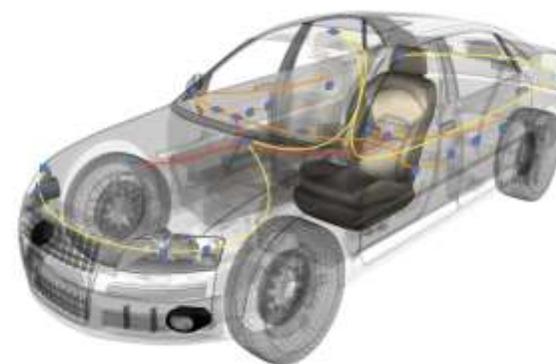
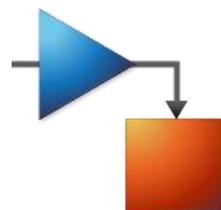
**Multi-actor Scenarios**



**Visualization**



# Simulink





© 2019 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [www.mathworks.com/trademarks](http://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.