

# 制御系設計ソリューション

2020年6月

MathWorks Japan

# 内容

- 制御系設計における課題
- 制御系設計ソリューション
- 導入効果
- まとめ

# 今後、産業界において「制御系設計」の役割は一段と重要になる

## 制御系設計の課題

- 制御性能向上・開発工数削減
  - － 複雑化する制御系に、高性能・高品質化かつ迅速な開発が求められる
- 次世代に向けた価値創発
  - － 製品/サービスの高度化を実現する先進的な制御技術が求められる
- システム制御工学が提供する解決手段の浸透
  - － 設計や実装における問題解決(例: 目標性能維持、実装コスト削減)の手段として、システム制御工学視点の考え方やアプローチを定着させる
- 社会・組織における認知度向上
  - － 制御系設計はあらゆる産業において必要不可欠な存在であり、社会・組織におけるさらなるアピールが必要となる

## 制御の難易度は上昇

- 厳しい要求
  - － 規制、性能、信頼性
  - － 制約条件
- システムの複雑さ
  - － コンポーネント増加
  - － 場合分け増加
  - － 複雑な相互作用
  - － 複雑な非線形性
- バラつき・不確実性
  - － 環境変化、部品、劣化
  - － 人・環境・経済の介在

# 制御系設計のサイクルを「早く、賢く繰り返す」ことが課題

## 制御系設計の目的

- ・ 制御方式/アルゴリズムと定数の導出
- ・ 制御系の振る舞いを予測

## 各工程の課題

- モデル精度向上
- モデル簡略化
- 計測データ活用

## 制御対象モデル化

検証用

設計用

## 制御系定義

## 制御対象解析

## 性能要件定義

## 制御方式設計

## 制御定数適合

## 性能評価・検証

## 制御対象の特性解析

- ・ 静特性(定常動作点)
- ・ 動特性(時間/周波数応答)

## 制御系のモデル化

- ・ 制御系構造・I/O
- ・ 制御器・アルゴリズム

## 制御定数の調整/適合

- ・ 性能要件出し
- ・ ゲインの目途づけ
- ・ 性能要件の達成

## 制御系のシミュレーション

- ・ 制御性能評価・検証

## 各工程の課題

手軽に素早く解析

手軽に素早くモデル化  
保守性・再利用性の向上  
先進アルゴリズムの拡充

試行錯誤の削減  
制御性能の向上

定型作業の効率化

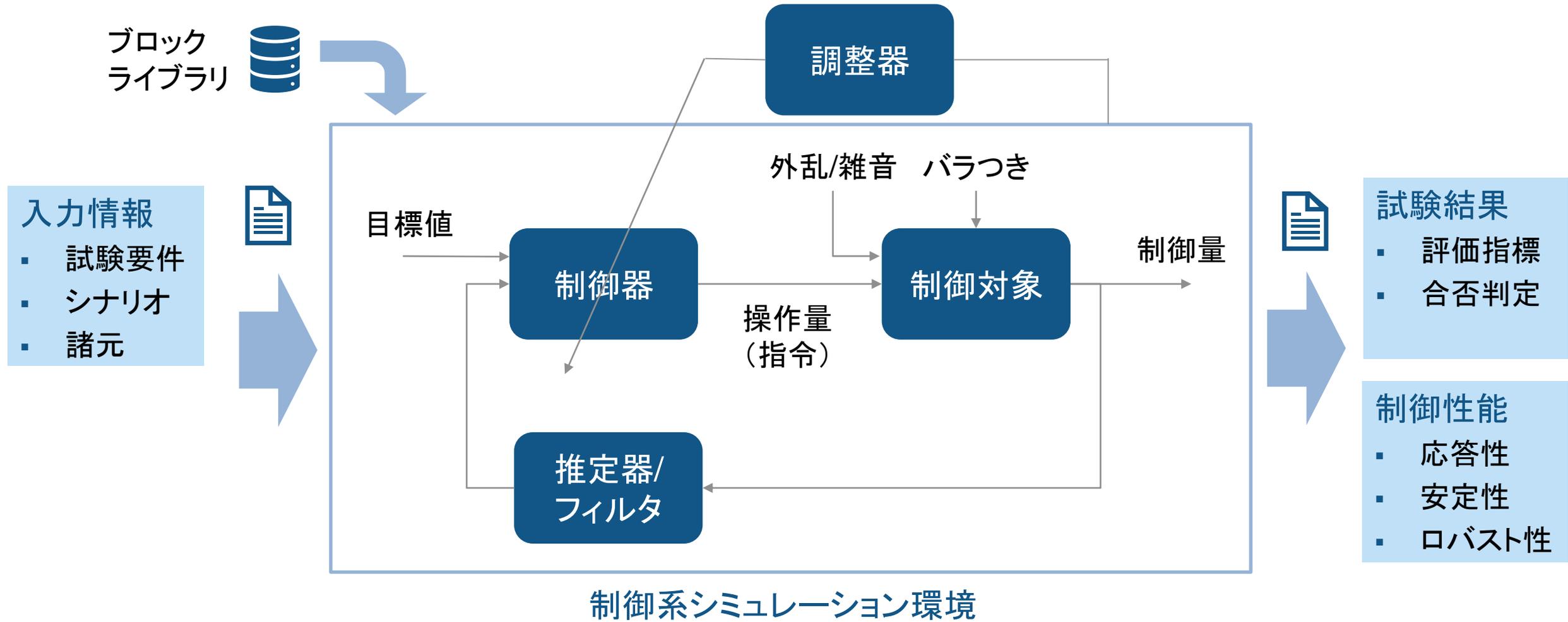
制御対象モデル獲得ループ

要求獲得ループ

ナレッジ・ノウハウの蓄積



# シミュレーション環境には「カスタマイズ」や「自動化」が求められる



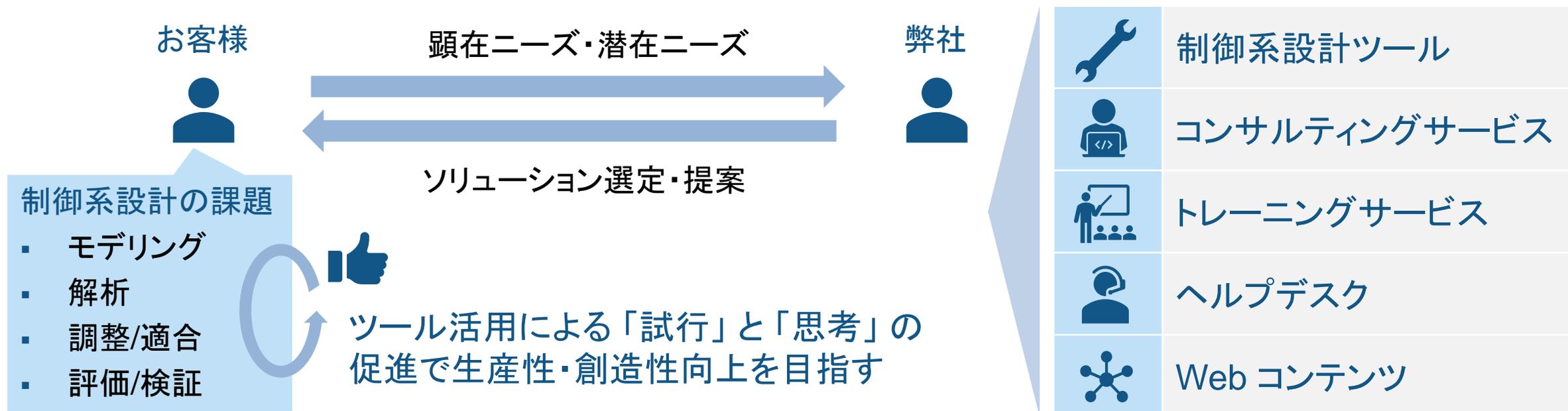
# 内容

- 制御系設計における課題
- 制御系設計ソリューション
- 導入効果
- まとめ

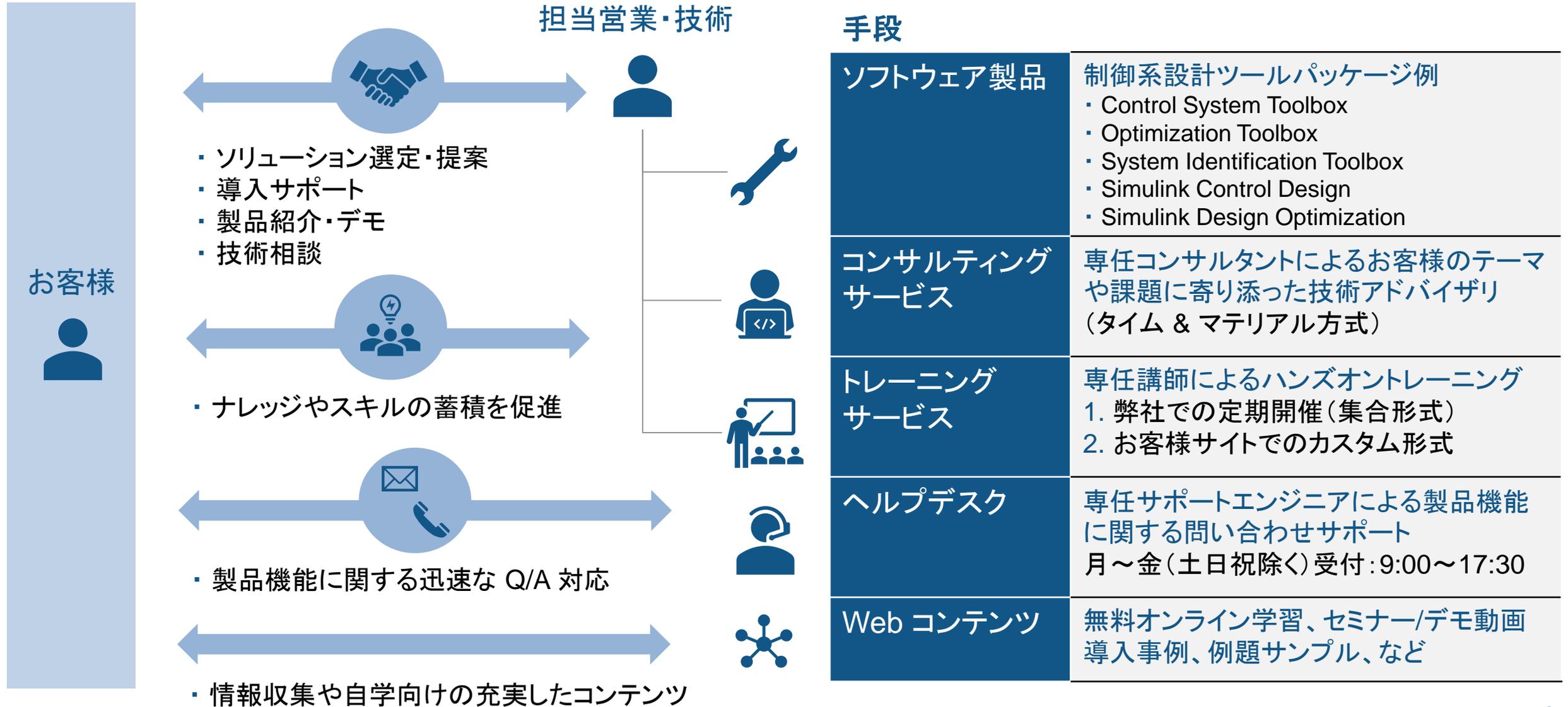
# 生産性・創造性向上を支える制御系設計ソリューションを提供

## 制御系設計ソリューション

- 制御系設計の各工程を素早く遂行し、円滑にサイクルを回すための「ツール」を提供します
- ナレッジやスキルの蓄積を加速する「サービス」を提供します
- 課題を先回りし、最善な手段の組み合わせを提案・サポートします



# お客様に寄り添ったソリューションを提供するサポート体制



# MathWorks 制御系設計ツール一覧

製品	概要	
1 Control System Toolbox	線形制御理論(古典/現代)に基づく制御系のモデリング・解析・設計	
2 System Identification Toolbox	ブラックボックスモデリング(システム同定)、グレーボックスモデリング	
3 Robust Control Toolbox	不確かさをもつプラントに対するロバスト制御系解析・設計	
4 Model Predictive Control Toolbox	モデル予測制御の設計・シミュレーション	
5 Fuzzy Logic Toolbox	ファジーロジック系の設計・シミュレーション	
6 Simulink Control Design 線形制御理論	Simulink モデルを起点とした制御系解析・設計 <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム応答解析(時間/周波数領域)</li> <li>・システム動作点/平衡点計算</li> <li>・制御器の自動調整(PID はじめ任意構造の線形 SISO/MIMO 系)</li> </ul>	
7 Simulink Design Optimization 数値最適化	Simulink モデルのパラメータ自動調整 <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラントモデル精度向上: モデルの測定データ(応答波形)への合わせ込み</li> <li>・応答最適化: 制御性能要件(時間/周波数領域)を満たす自動調整</li> <li>・感度解析: 要件に対するパラメータの感度評価</li> </ul>	
8 Predictive Maintenance Toolbox	状態監視・予知保全向けアルゴリズムの設計・評価	R2018a
9 Reinforcement Learning Toolbox	強化学習による方策(Policy)の設計・学習	R2019a

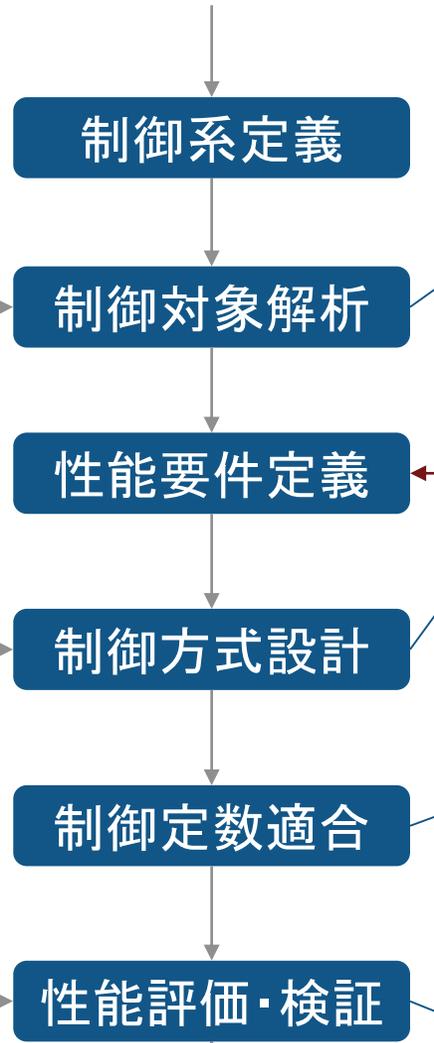
# 各工程を支援する「ツール」を活かし、サイクルを早く、賢く繰り返す

**制御系設計の目的**

- ・ 制御方式/アルゴリズムと定数の導出
- ・ 制御系の振る舞いを予測

- アプリ・機能**
- パラメータ推定器  
Simulink Design Optimization
  - システム同定  
System Identification Toolbox
  - モデル・リデューサー  
Control System Toolbox

**制御対象モデル化**



- 制御対象の特性解析**
- ・ 静特性(定常動作点)
  - ・ 動特性(時間/周波数応答)

- 制御系のモデル化**
- ・ 制御系構造・I/O
  - ・ 制御器・アルゴリズム

- 制御定数の調整/適合**
- ・ 性能要件出し
  - ・ ゲインの目途づけ
  - ・ 性能要件の達成

- 制御系のシミュレーション**
- ・ 制御性能評価・検証

**アプリ・機能**

- 定常状態マネージャー  
Simulink Control Design
- モデル線形化器  
Simulink Control Design
- ブロックライブラリ  
Simulink & Add-on libraries
- PID 調整器  
Simulink Control Design
- 制御システム調整器  
Simulink Control Design
- 応答オプティマイザー  
Simulink Design Optimization
- 感度アナライザー  
Simulink Design Optimization

制御対象モデル獲得ループ

要求獲得ループ

# 制御系設計ツールを導入する理由

## 制御系設計ツールの利点

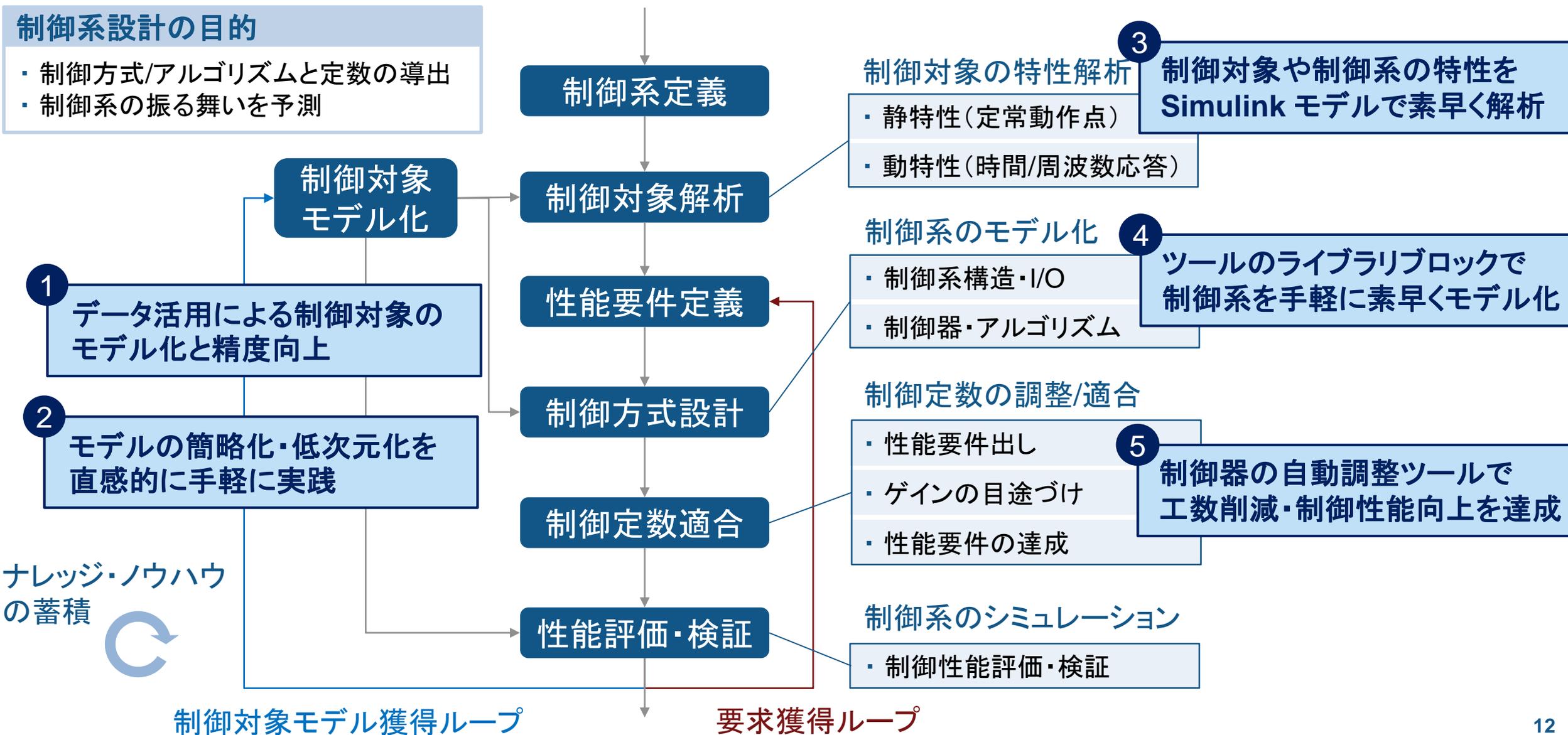
- 1 制御系設計の工程を広く深くサポート
  - ツールによるサポートで PoC や仮説検証のサイクルを素早く回す
- 2 古典から最新的手法までサポート
  - 制御理論の歴史に即した手法を身近に利用できる
- 3 Simulink と連携した設計・解析
  - ブロック線図(制御図面)を起点とした設計・解析で MBD を加速する
- 4 GUI アプリの充実
  - 比較的感覚的に設計・解析が実践できる
- 5 高いカスタマイズ性
  - コマンドを用いて柔軟にカスタム化や自動化を実現する

制御系設計の工程・手法を  
広く深くサポート

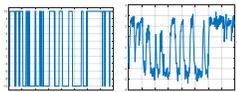
試行と思考を促進し  
サイクルを早く賢く繰り返す

生産性・創造性の向上へ

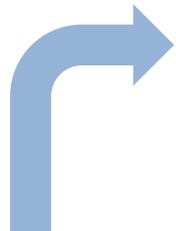
# 各工程における制御系設計ソリューションの例



# ① データ活用による制御対象のモデル化と精度向上

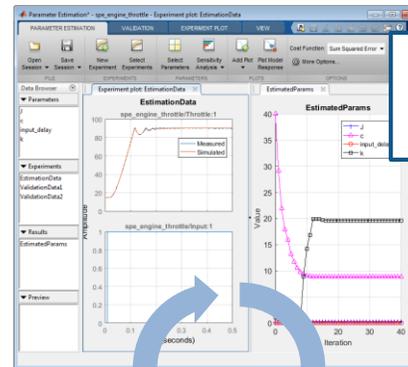


データ



## 所有する制御対象モデルの精度向上

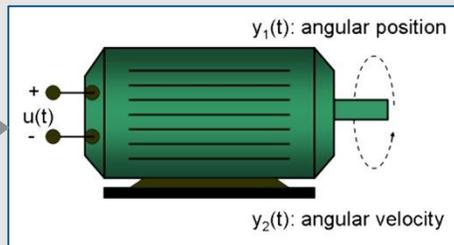
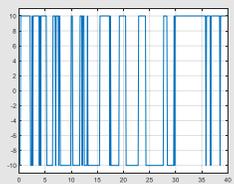
- 測定データ(応答波形)とシミュレーション結果の合わせ込みを行い、モデルパラメータを推定
- データを用意すれば、作成済みの Simulink モデルにすぐに適用可能



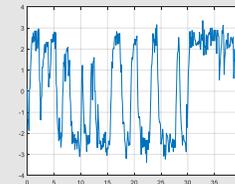
パラメータ推定器  
Simulink Design Optimization

数値最適化技術による  
測定データへの合わせ込み

入力波形

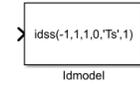
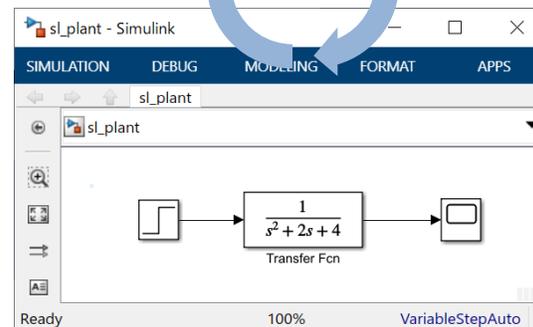


出力波形



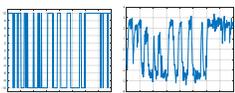
制御対象の実機 or 詳細モデル

モデル化

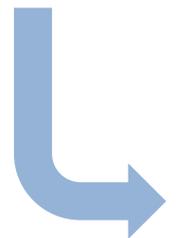


線形モデルの例

- 回帰モデル (ARX など)
- 伝達関数モデル
- 状態空間モデル

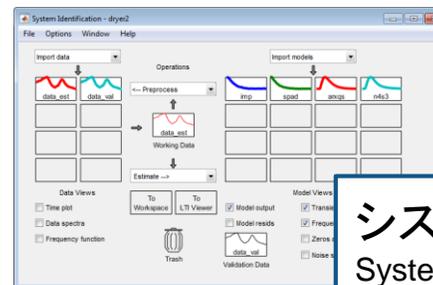


データ



## 入出力データから制御対象モデルを作成

- システム同定技術により、入出力データから動的システムの線形/非線形モデルを作成
- 物理モデルの作成が困難な場合、データから素早くモデルを作成したい場合に有効

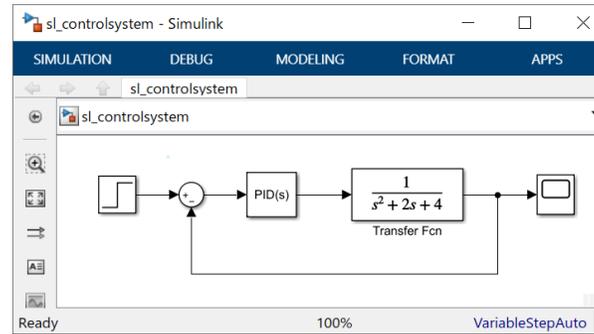
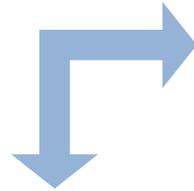


システム同定  
System Identification Toolbox

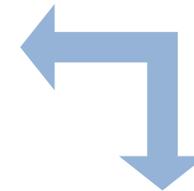


### ③ 制御対象や制御系の特性を Simulink モデルで素早く解析

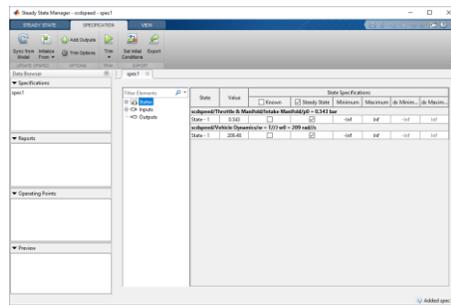
静特性解析



動特性解析



指定した入出力間で「定常動作点」を計算



- 解析入出力
- 動作点仕様
  - 既知の動作点
  - 稼働範囲

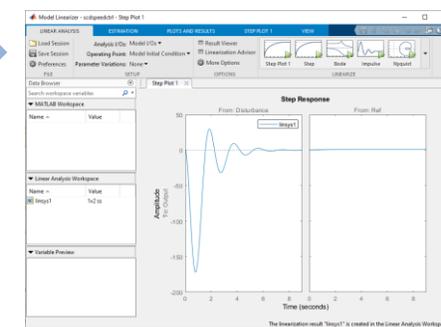
- 未知の動作点
  - 入力
  - 出力
  - 状態

定常状態マネージャー  
Simulink Control Design



数値最適化技術

指定した入出力間で「時間/周波数応答」を計算



- 解析入出力
- 動作点
- プロット種類
  - ステップ
  - インパルス
  - ボード線図
  - etc

- 解析プロット
- 線形化モデル

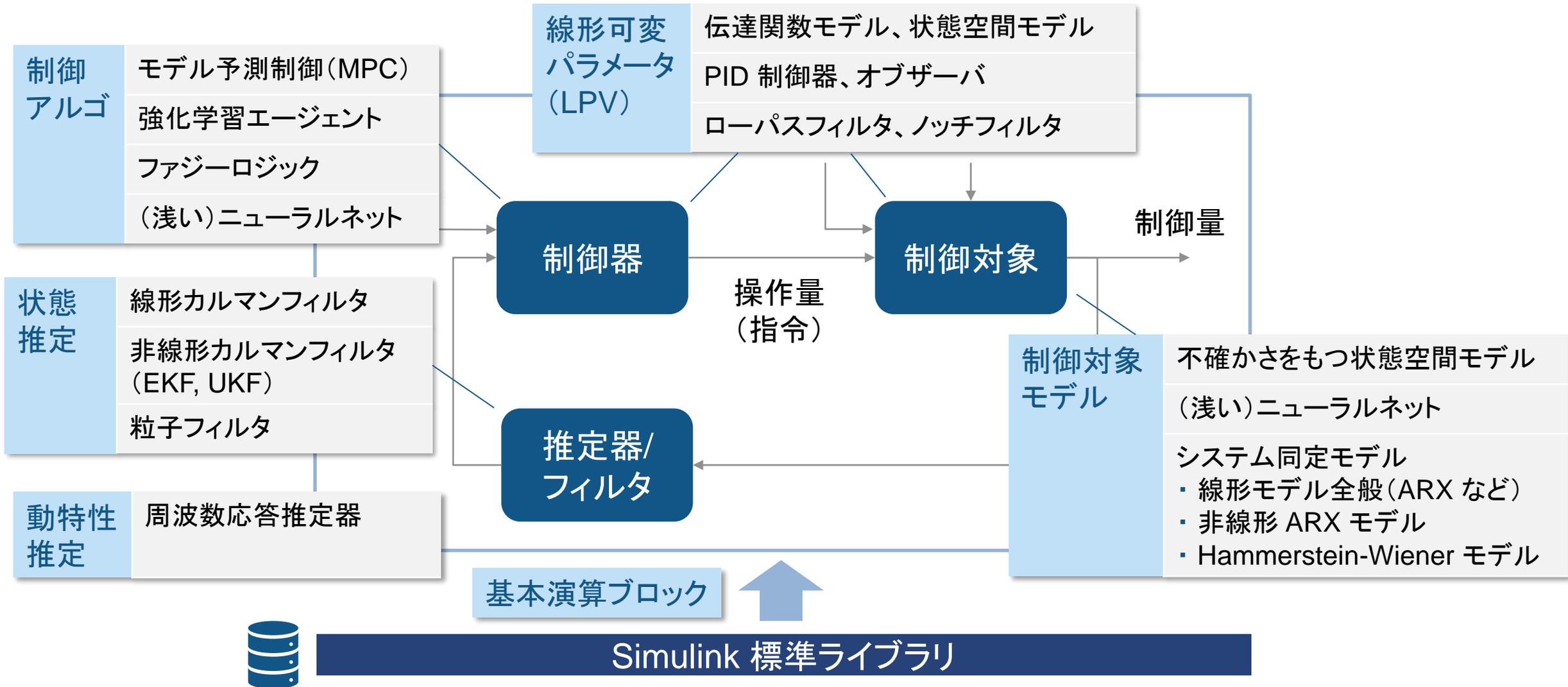
モデル線形化器  
Simulink Control Design



モデル線形化技術

連携

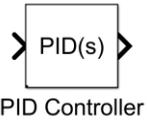
## ④ ツールのライブラリブロックを活用し、制御系を手軽に素早くモデル化



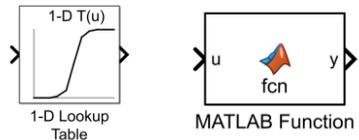
# 5 制御器の自動調整ツールで工数削減・制御性能向上を達成

## 調整対象

### PID 制御器

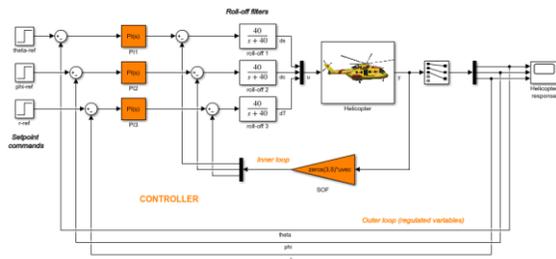


### ゲインスケジューリング マップ・テーブル

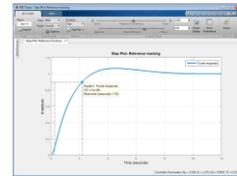


### 一般構造の制御器

多入出力・マルチループ・分散制御



## 1. モデルベース(オフライン)調整



**PID 調整器**  
Simulink Control Design

制御器  
・ PID 専用

特徴

- ・ シンプル
- ・ 直感的

目途付け用に

背景

制御理論  
(線形)



**制御システム調整器**  
Simulink Control Design

- ・ 線形
- ・ テーブル

- ・ 詳細な要件設定
- ・ 調整時間短

中上級者向け



**応答オプティマイザー**  
Simulink Design Optimization

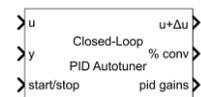
- ・ 線形
- ・ テーブル
- ・ 非線形

- ・ 汎用性高
- ・ 着手容易

まずおすすめ

数値最適化

## 2. モデルフリー(オンライン)調整



**PID Autotuner**  
Simulink Control Design

- ・ PID 専用

調整アルゴリズムの  
C コード生成可

# 内容

- 制御系設計における課題
- 制御系設計ソリューション
- 導入効果
- まとめ

# お客様導入効果

社名・組織名	導入効果	公開方法
日産自動車株式会社	エンジン空燃比制御のコントローラ調整期間を「90%短縮」 NOx や CO の排出を「半減」	<a href="#">導入事例</a> <a href="#">Web 記事</a> <a href="#">MATLAB EXPO 講演</a>
日立オートモティブシステムズ株式会社	渋滞にも使えるアダプティブ・クルーズ・コントロール(ACC)を目指し 先進的なモデル予測制御の実証まで「わずか 6 カ月」で到達	<a href="#">導入事例</a> <a href="#">論文</a> (閲覧入手可) <a href="#">MATLAB EXPO 講演</a>
TATA Steel	製造プロセス設備に欠かせない冷却塔のエネルギー消費を デジタルツインと制御アルゴリズムで「40%削減」	<a href="#">Web 記事</a> <a href="#">MATLAB EXPO 講演</a>
欧州宇宙機関 (ESA)	コントローラの自動調整ツールが 彗星探査機ロゼッタのミッションの「危機を救う」	<a href="#">MathWorks Blog</a> <a href="#">論文</a> (外部)
宇宙航空研究開発機構 (JAXA)	コントローラの自動調整ツールで 実験用航空機の姿勢制御コントローラの規模「半減」を実証	<a href="#">論文</a> (外部)

# 日産自動車が空燃比コントローラーに要するキャリブレーション時間を短縮し、排出ガス性能を改善

## 課題

エンジン排出ガスの削減、および、キャリブレーション時間短縮によるAFRコントローラーの製品開発の加速

## 解決策

モデルベースデザインに Optimization Toolbox と Simulink Design Optimization を使用することで、コントローラー性能を最適化し、パラメーターのキャリブレーションを自動化

## 結果

- NO<sub>x</sub> および CO の排出を半分以上削減
- キャリブレーション時間を 90% 短縮
- キャリブレーション品質の安定化



日産 アルティマ

「日産は、長年にわたり、モデルベースデザインを用いて開発を加速し製品を改善する新しい方法を模索してきました。その中で、MATLAB と Simulink の最適化製品を導入し、既存の AFR コントローラーの性能改善により排出ガスを削減させることができました。」

-日産自動車株式会社、加藤浩志氏

# 最適化技術を導入し、適合時間を 90%削減、排ガス性能を大幅改善

## 課題

- 空燃比制御器の適合時間の短縮
- 制御対象モデルの精度改善

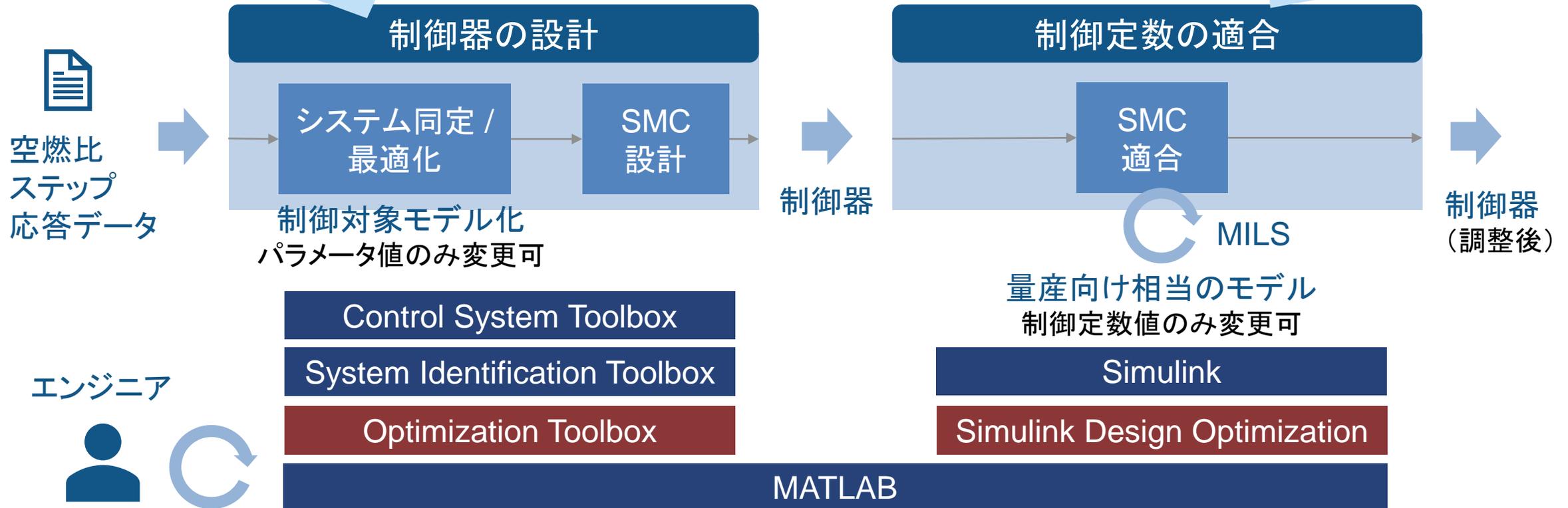
## 結果

- 適合時間 90% 短縮、品質均一化
- 排ガス性能改善

システム同定/最適化による  
制御対象モデルの精度向上

既に量産適用されている  
スライディングモード制御 (SMC) が対象

Simulink Design Optimization  
による適合の自動化



# 日立オートモティブシステムズ、モデルベースデザインによる車間距離制御装置 (ACC) 用のモデル予測コントローラーを開発

## 課題

停止発進が続く交通状況に対応した、高性能な車間距離制御装置 (ACC) の開発

## 解決策

Simulink を使用してモデル予測コントローラーを設計、シミュレーション、および調整し、Embedded Coder を使用して効率的なコードを生成する

## 結果

- コントローラーの開発時間を半減
- 何か月もかかる手作業によるコード作成を排除
- テストの速度と効率が向上



モデル予測制御を使用したACCアルゴリズムの公道テスト

「Simulink でシミュレーションを介して複数のパラメータを検討することで、コントローラーを調整して計算負荷を軽減できました。シミュレーションを行うことで、設計のすみずみまで詳細に把握できます。これにより、調整が必要な場合の精度向上につながり、時間の節約にもなりました。」

- 日立オートモティブシステムズ 高浜琢氏

# モデルベースで「制御設計方針決め」から「実車テスト」に素早く落とし込む

## 課題

- ACC の制御性能向上 (渋滞で高応答、高速で快適性)
- 安価な組み込みマイコンに MPC を実装

## 結果

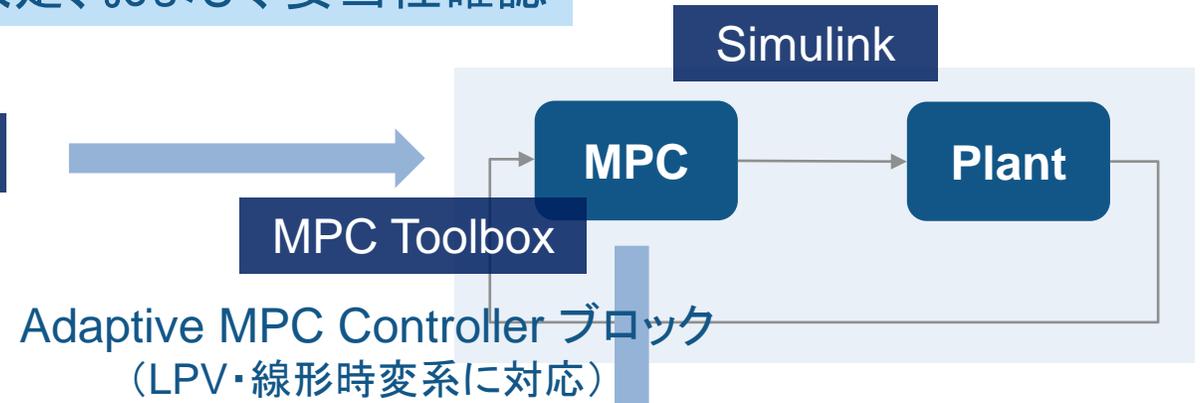
- 渋滞・高速シーンともに良好な ACC を実現
- MPC を Renesas SH4A に実装

## シミュレーション 基本的な制御設計方針の決定、および、妥当性確認



### System Identification Toolbox

システム同定による  
駆動部の予測モデル作成



Simulink

MPC

Plant

MPC Toolbox

Adaptive MPC Controller ブロック  
(LPV・線形時変系に対応)

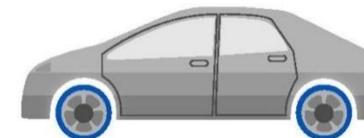
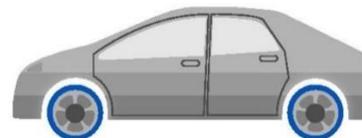
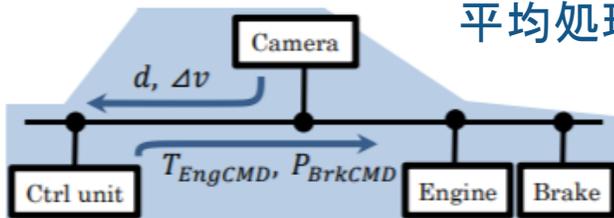
Embedded Coder

自動 C コード生成

Renesas  
SH-4A

## 実車テスト 狙いの性能と演算速度の確認

平均処理時間 = 1.1msec



# MathWorks のツール導入により MPC 実証までの期間を短縮

## 日立オートモティブシステムズ

モデル予測制御による渋滞にも使える  
実用的な ACC の開発

- MPC を Renesas SH-4A に実装
- 渋滞・高速シーンともに良好な ACC の実現



Research Paper

Model Predictive Control Approach to Design  
Practical Adaptive Cruise Control for Traffic Jam

Taku Takahama <sup>1)</sup> Daisuke Akasaka <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Hitachi Automotive Systems, Ltd.

4-7-1 Onna, Atsugi, Kanagawa, 243-8510, Japan (E-mail: taku.takahama.tz@hitachi-automotive.co.jp)

<sup>2)</sup> The MathWorks GK

4-15-1 Akasaka, Minato-ku, Tokyo, 107-0052, Japan

- コントローラの開発時間を半減
- 何か月もかかるコーディング作業を排除

導入事例:

[https://www.mathworks.com/company/user\\_stories/hitachi-automotive-systems-develops-a-model-predictive-controller-for-adaptive-cruise-control-with-model-based-design.html](https://www.mathworks.com/company/user_stories/hitachi-automotive-systems-develops-a-model-predictive-controller-for-adaptive-cruise-control-with-model-based-design.html)

## Voyage

Developing Longitudinal Controls  
for a Self-Driving Taxi



技術記事:

<https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/developing-longitudinal-controls-for-a-self-driving-taxi.html>

## Tata Motors European Technical Centre

TMETC developed autonomous  
driving software and deployed it  
in a Tata Hexa SUV



導入事例:

[https://www.mathworks.com/company/user\\_stories/tata-motors-accelerates-development-of-autonomous-vehicle-control-algorithms-with-model-based-design.html](https://www.mathworks.com/company/user_stories/tata-motors-accelerates-development-of-autonomous-vehicle-control-algorithms-with-model-based-design.html)

# TATA Steel がデジタルツインと制御アルゴリズムにより 冷却塔のエネルギー消費を 40% 削減

## 課題

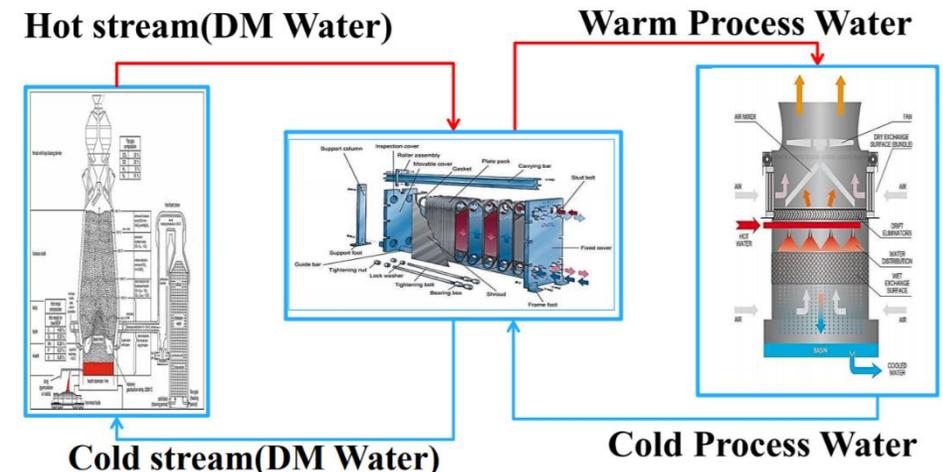
- 冷却塔はエネルギー消費が大きなプロセスであり  
気象条件の変化などに稼働状況が大きく影響
- 最適な稼働を実現する制御アルゴリズムが必要

## 解決策

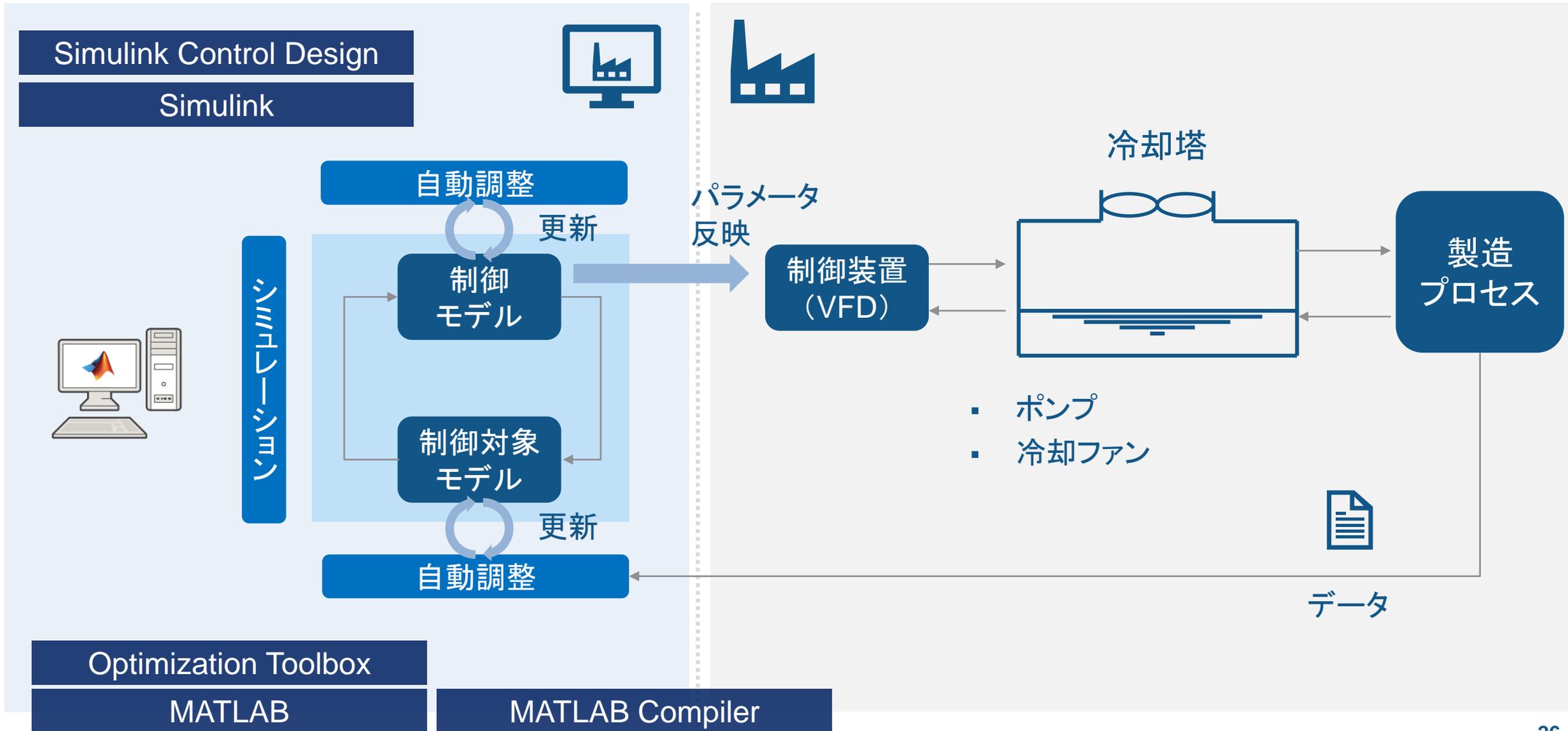
- 制御対象モデルをオンライン更新し、稼働状況に応じた  
精度の高いモデルを取得
- シミュレーションを通じて、適切な制御アルゴリズムのパ  
ラメータを更新し、実稼働に反映

## 結果

- 制御ソフトウェアの変更により、ポンプや冷却ファンを効  
率的に稼働し、40% のエネルギーを節約

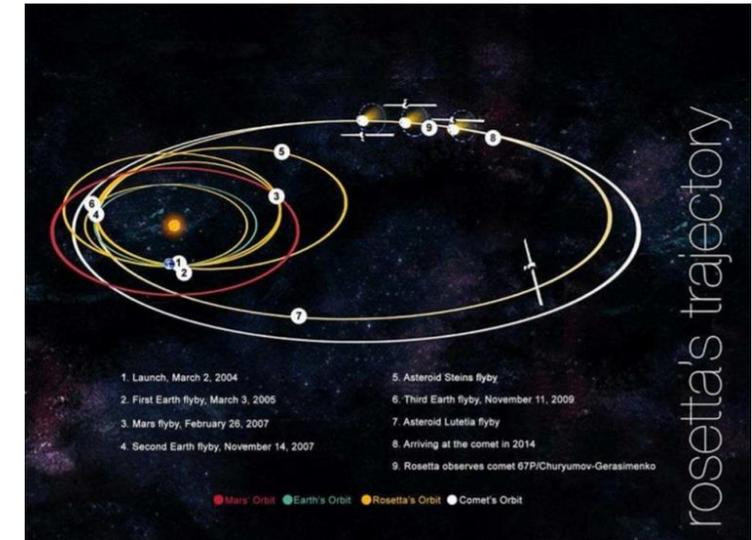


# 現実世界と連動して制御アルゴリズムを更新し、稼働コストを大幅削減



# 欧州宇宙機関 (ESA): 彗星探査機ロゼッタ<sup>1), 2)</sup>

- Robust Control Toolbox の自動調整ツールがミッションの危機を救う
- スラスタ故障の発生や計算機リソースが限られる中、姿勢制御器のパラメータを自動調整し、姿勢制御の性能維持に成功



## 年表

## 出来事

年表	出来事
2004年3月	ロゼッタ探査機を載せてアリアン 5 が打ち上げ
2011年	スラスタの 1 つに故障が発見され、スラスタの効率が低下 搭載されている姿勢制御器ではミッションが困難に
2011-2014年	冬眠期間
2014年3月	Robust Control Toolbox の <code>hinfstruct</code> 関数を利用して姿勢制御器を再設計
2014年5月	ロゼッタに姿勢制御器をアップロード
2014年8月	67P/チュリュモフ-ゲラシメンコ彗星に到達 (周回軌道)
2014年11月	フィラエ (無人ランダー) が彗星に着陸
2016年6月	ロゼッタは歴史的なミッションに幕を閉じる

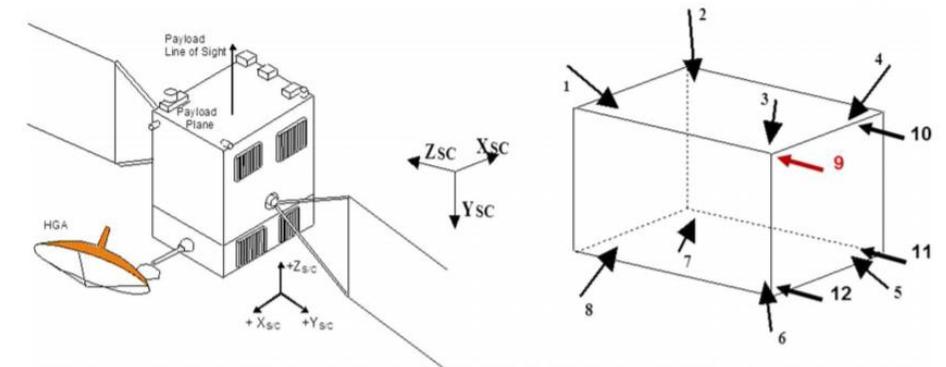


Fig. 1. Axis off-pointing of thruster no. 9 discovered in 2011 just before Rosetta went into a 31 month hibernation. At that time our software was available on request, but not known to operators Airbus or

<https://www.math.univ-toulouse.fr/~noll/PAPERS/rosetta.pdf>

1) A. Falcoz, et al.: Systematic Design Methods of Robust and Structured Controllers for Satellites, *CEAS Space Journal*, 7–3, 319/334 (2015)

2) P. Apkarian and D. Noll: The  $H^\infty$  Control Problem is Solved, *AerospaceLab Journal*, ONERA, 1/11 (2017)

# JAXA: 実験用航空機の機体運動制御<sup>1)</sup>

- Robust Control Toolbox の自動調整ツールで、従来とほぼ同等の制御性能を維持しつつも、制御器の規模(次元)の半減に成功

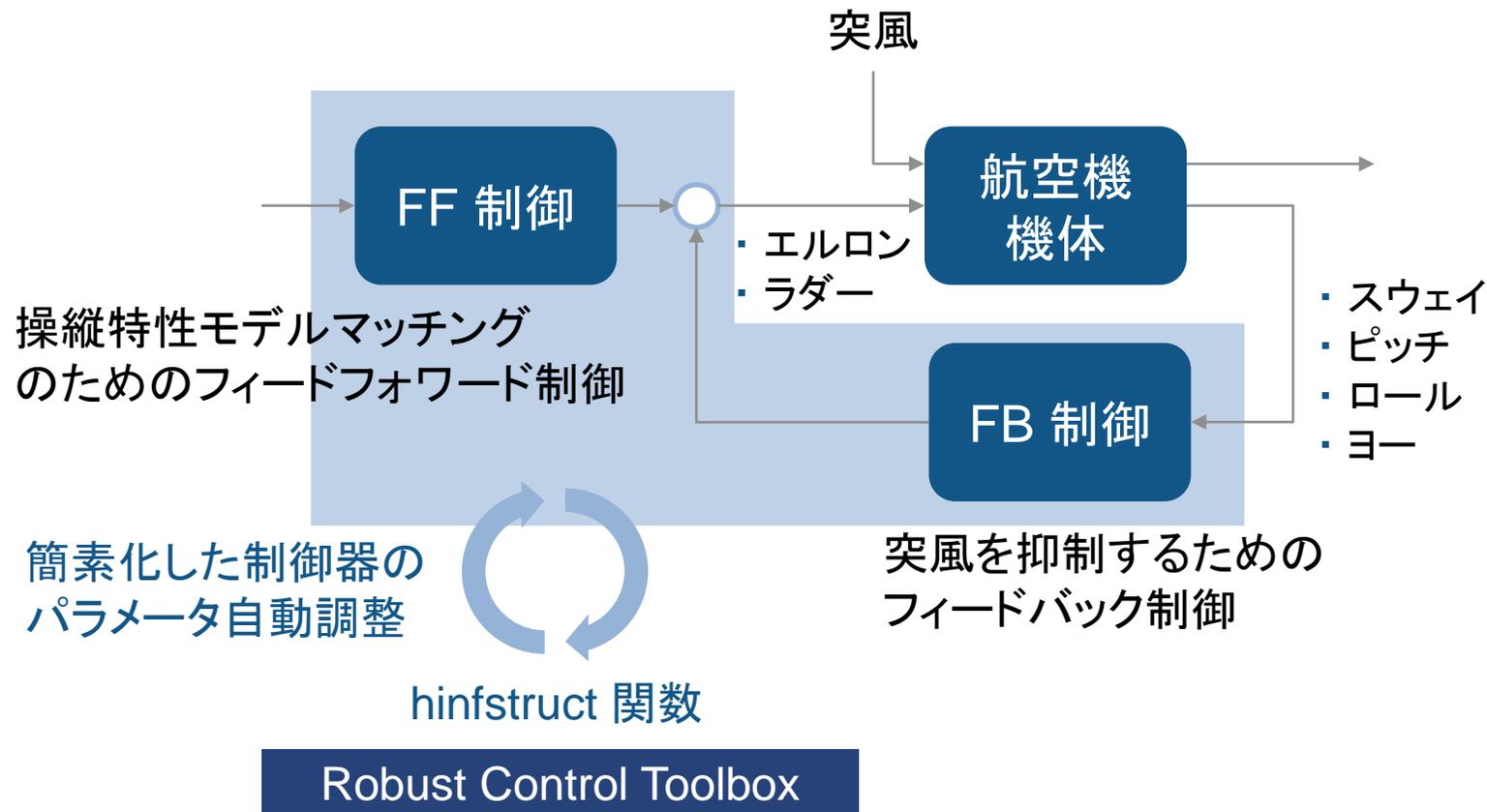


Fig. 1: JAXA's research aircraft MuPAL- $\alpha$

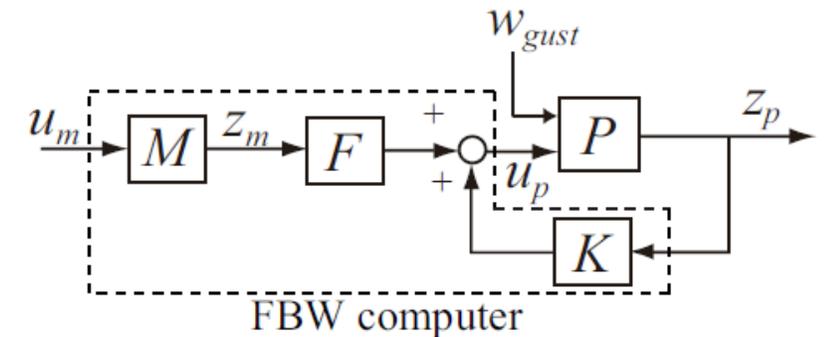


Fig. 2: JAXA-K: 2-DoF controller structure

1) A. Marcos and M. Sato: Flight Testing of An Structured  $H^\infty$  Controller: An EU-Japan Collaborative Experience, in *Proc. of 1st IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, 2132/2137 (2017)

# 内容

- 制御系設計における課題
- 制御系設計ソリューション
- 導入効果
- まとめ

## 制御系設計ソリューションサマリ

- 制御系設計の生産性・創造性向上に向けて
  - 制御系設計のサイクルを「早く、賢く繰り返す」ことが課題
  - シミュレーション環境には「カスタマイズ」や「自動化」が求められる
- 最善な手段の組み合わせを提案・サポート
  - 各工程を素早く遂行し、円滑にサイクルを回すための「ツール」を提供
  - ナレッジやスキルの蓄積を加速する「サービス」を提供
- 導入による制御性能向上・開発工数削減の効果
  - ツール活用により「試行」と「思考」を促進し、生産性・創造性向上を達成
  - 導入による大幅な制御性能向上・開発工数削減の実績

## 次のステップへ

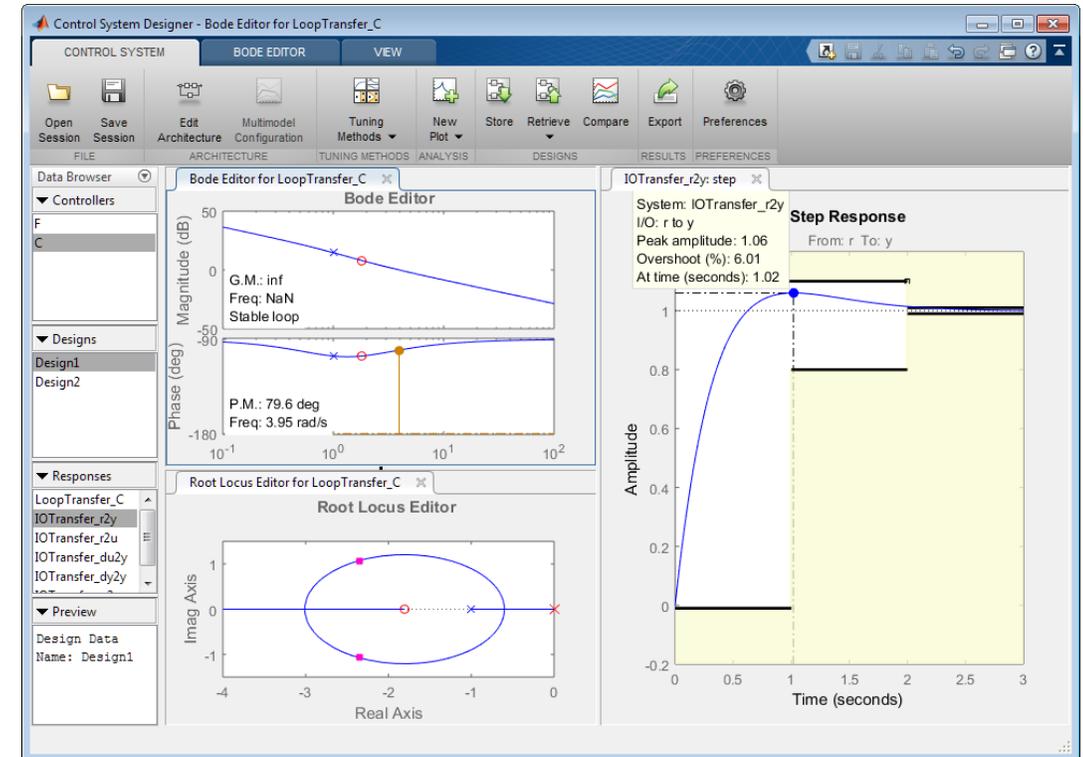
- MathWorks の担当営業・技術に質問・相談してみませんか？
- [Web コンテンツ](#)にアクセスして情報収集してみませんか？
- 30 日間の[無料評価版](#)を試してみませんか？
- [自己学習コース](#) (無料/有償)があるのをご存知ですか？

付録:

# Control System Toolbox

線形制御系の体系的な解析、設計、調整を行うためのアルゴリズムとアプリを提供

- 主な機能:
  - 線形系の伝達関数モデル、状態空間モデル、零点-極-ゲイン モデルおよび周波数応答モデル
  - ステップ応答、ナイキスト線図などの時間領域ツールや周波数領域ツールで安定性と性能を解析
  - PID 制御、ゲインスケジュール制御、および任意の SISO/MIMO 制御系の自動チューニング
  - 根軌跡、ボード線図、LQR、LQG、その他の古典的手法および状態空間設計手法
  - モデル表現の変換、連続時間モデルの離散化、高次系の低次元化

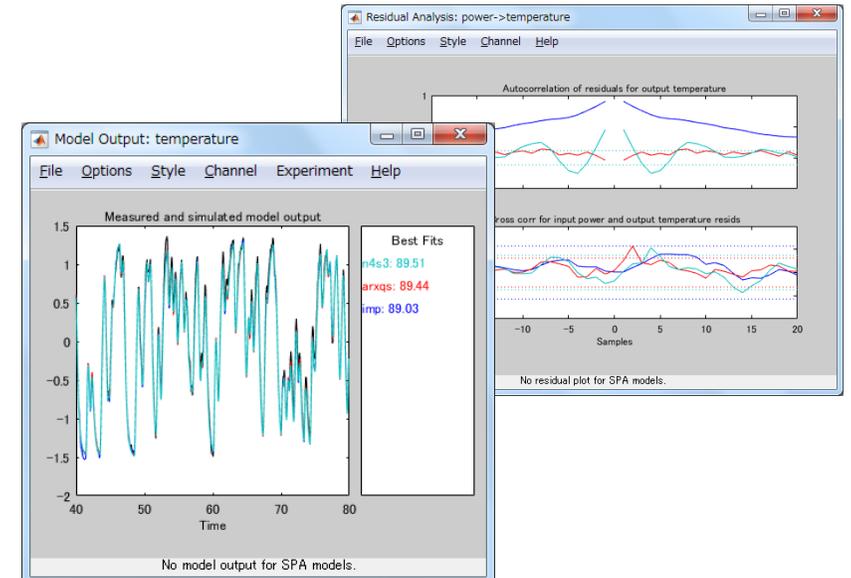
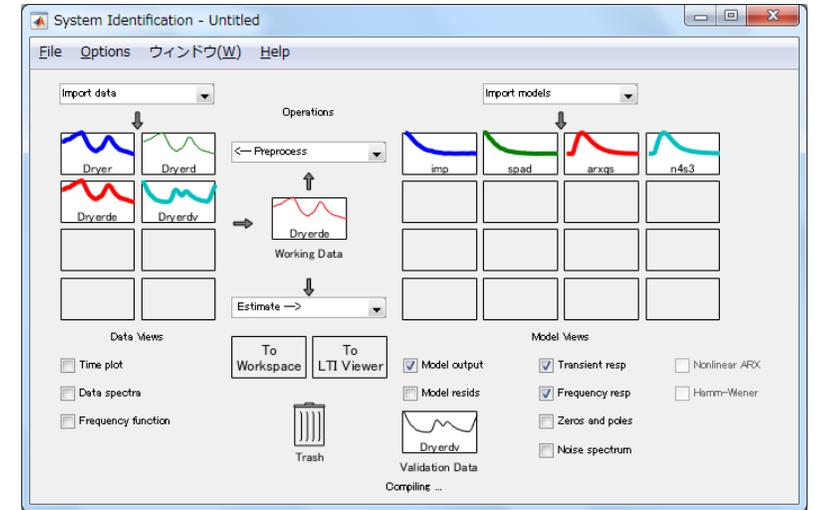


# System Identification Toolbox

## 入出力データから動的システムの線形/非線形モデルを作成

### ■ 主な機能:

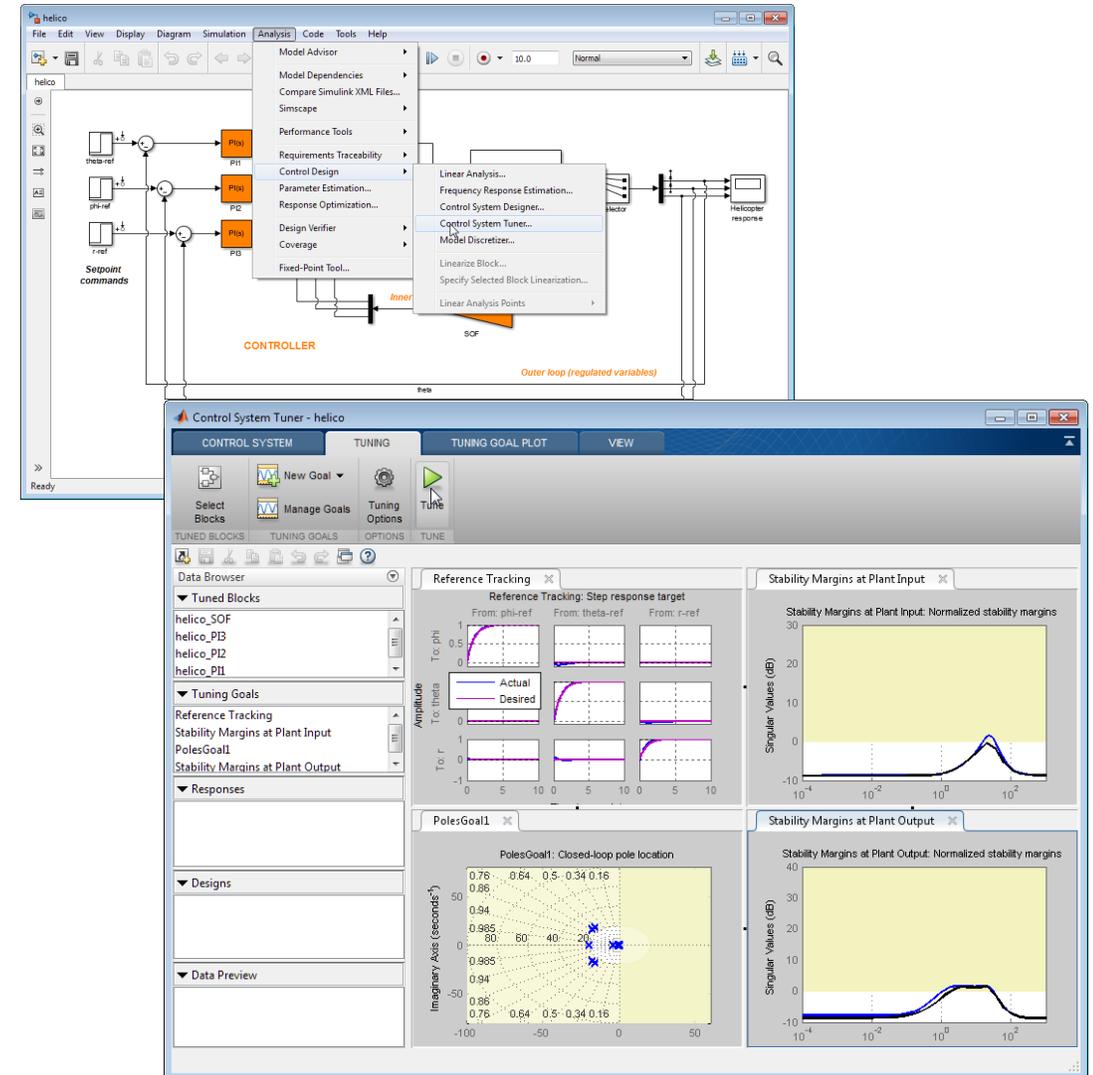
- 時間あるいは周波数領域の応答データから伝達関数、プロセスモデル、状態空間モデルの作成
- 最尤推定、予測誤差最小化 (PEM)、部分空間同定法による、自己回帰 (ARX、ARMAX)、Box-Jenkins、出力誤差モデルの推定
- オンラインモデルパラメータ推定
- 時系列モデリング (AR、ARMA)
- 非線形 ARX モデル、Hammerstein-Weiner モデル
- 線形/非線形グレーボックスモデリング
- 無駄時間推定、トレンド除去、フィルタリング、リサンプリング、欠損データの復元



# Robust Control Toolbox

## 不確かさをもつプラントに対するロバスト制御系解析・設計

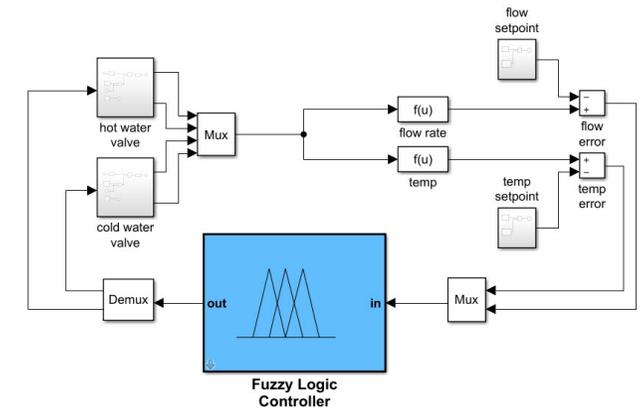
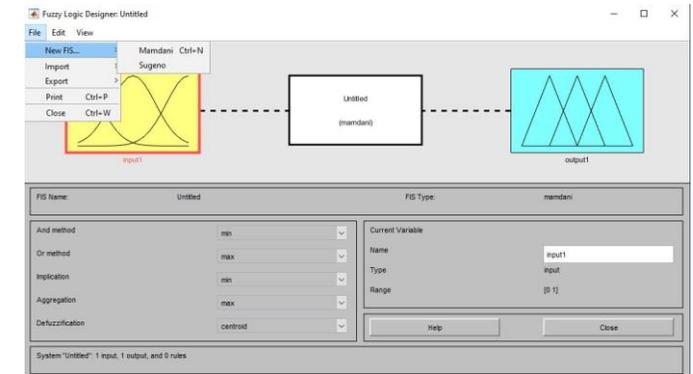
- 主な機能:
  - 不確かなパラメータやダイナミクスをもつ系のモデリング
  - ワorstケース安定性と性能解析
  - 不確かなプラントに対する SISO/MIMO 制御系の自動チューニング
  - Simulink におけるロバスト性解析と制御器のチューニング
  - $H^\infty$  制御や  $\mu$  設計のアルゴリズム
  - 汎用 LMI ソルバー



# Fuzzy Logic Toolbox

## ファジーロジック系の設計・シミュレーション

- 主な機能:
  - ファジィ推論システムを作成するためのメンバーシップ関数
  - ユーザー定義のルール内の AND、OR、NOT ロジックをサポート
  - 標準マムダニタイプと菅野タイプのファジィ推論システムを含む
  - ニューロ適応とファジィクラスタリング学習手法を利用した非線形システムとプロセスのモデリング
  - Simulink モデルにファジィ推論システムを取り込むことが可能
  - 実装可能な C コードやスタンドアロンのファジィ推論エンジンの生成

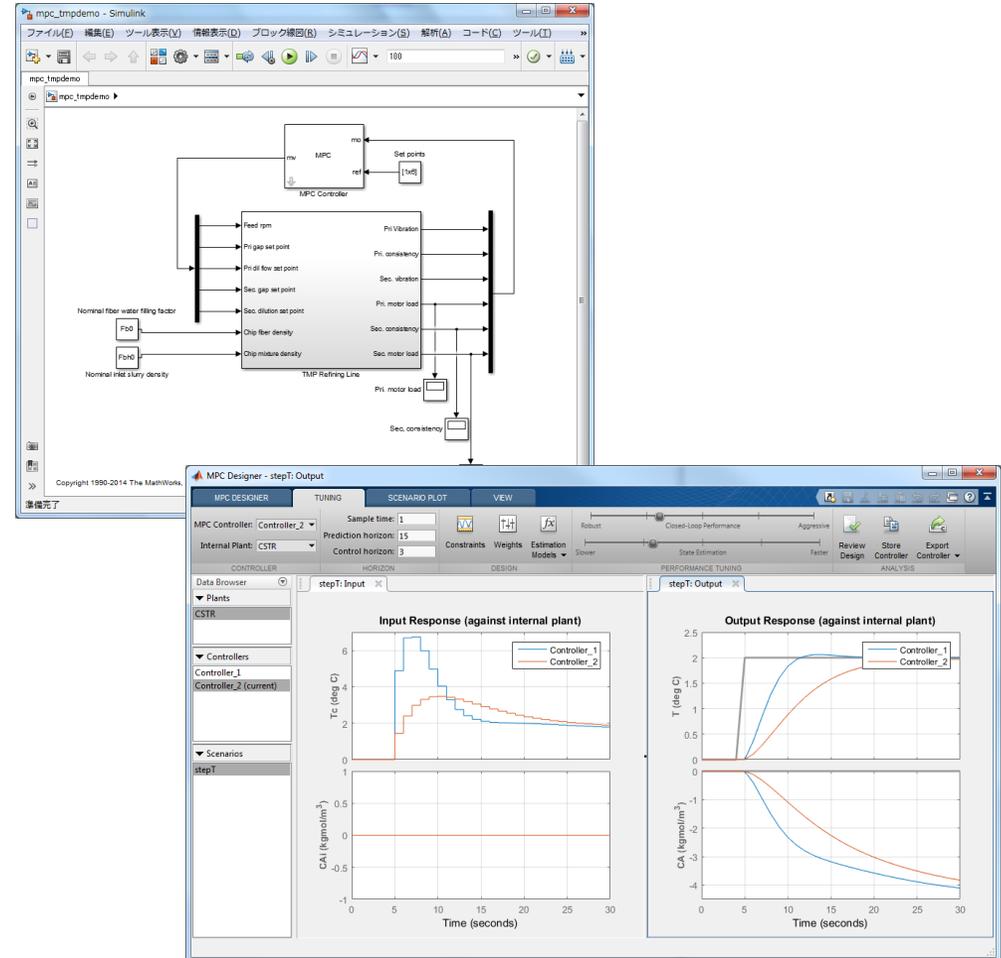


# Model Predictive Control Toolbox

## モデル予測制御の設計・シミュレーション

- 主な機能:
  - 専用の数値最適化(QP)ソルバー
  - 設計・シミュレーション用の GUI アプリ
  - Simulink 用の MPC ブロック
  - 様々なタイプの MPC
    - Adaptive MPC
    - Gain-scheduled MPC
    - Explicit MPC
    - Nonlinear MPC
  - 評価関数重みや制約上下限のランタイム調整
  - 自動Cコード生成対応 \*1

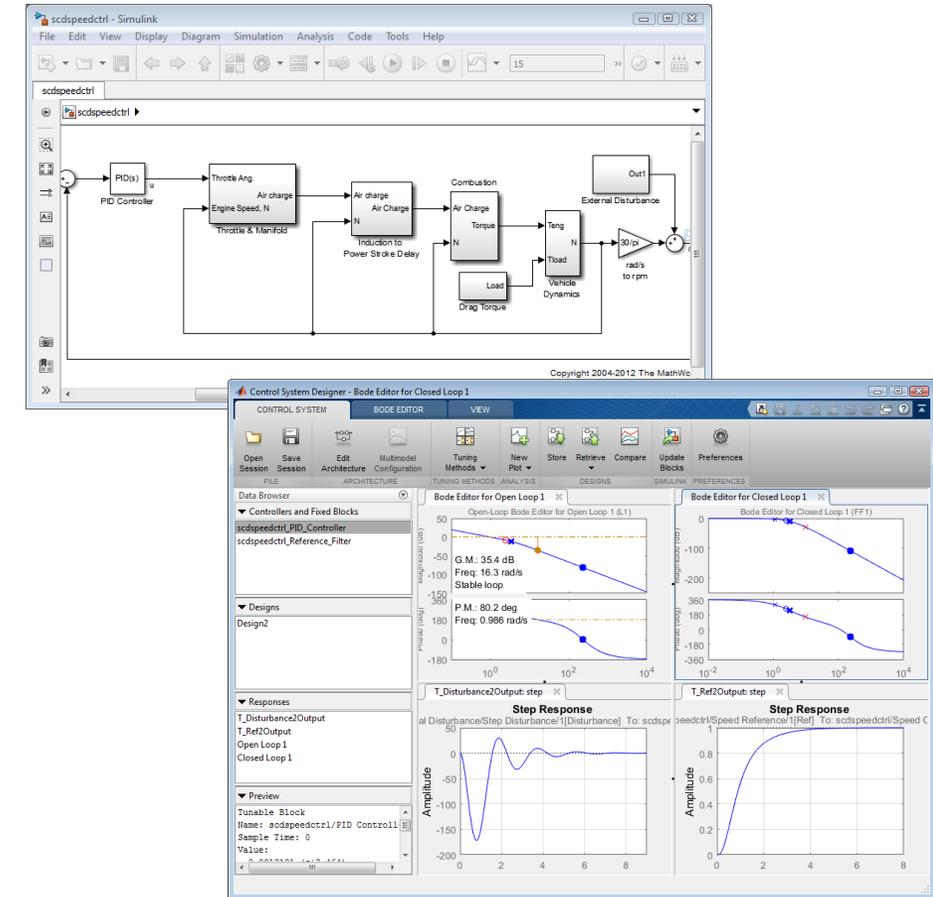
\*1: Nonlinear MPC は R2020a から対応



# Simulink Control Design

## モデル線形化と制御系設計

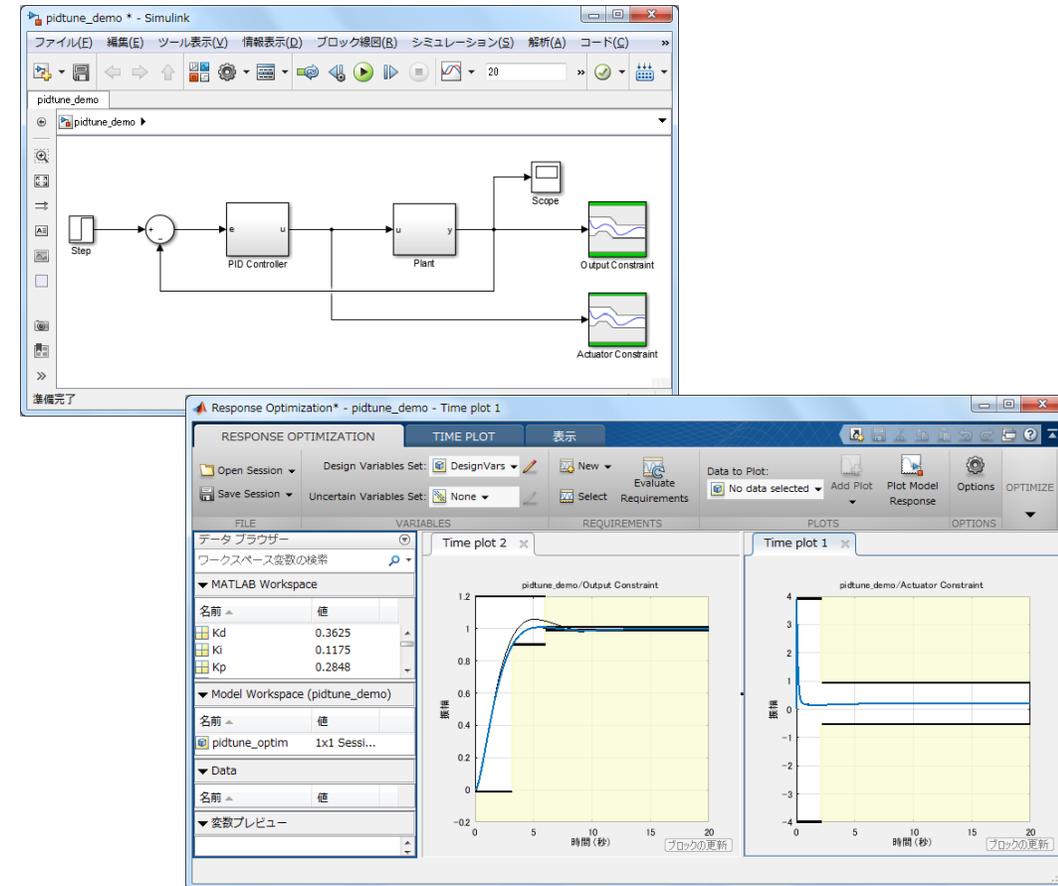
- 主な機能:
  - Simulink での PID 制御、ゲインスケジュール制御、および任意の SISO/MIMO 制御系の自動チューニング
  - 組込ソフトウェアに展開可能な PID 自動調整アルゴリズム
  - 動作点計算(平衡化)とモデル線形化
  - シミュレーションデータからの周波数応答の推定
  - 複数の動作点のバッチ線形化
  - Simulink Design Optimization による時間/周波数領域の要件を満たすように補償器をチューニング



# Simulink Design Optimization

## モデル感度の解析とモデルパラメータのチューニング

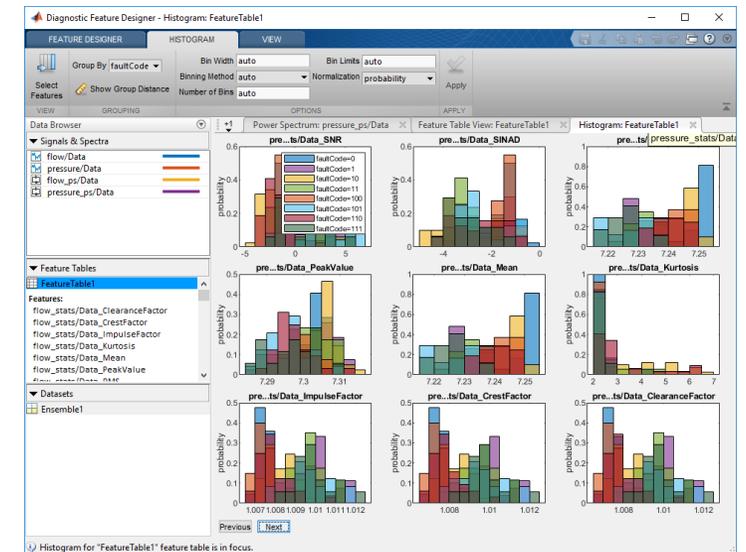
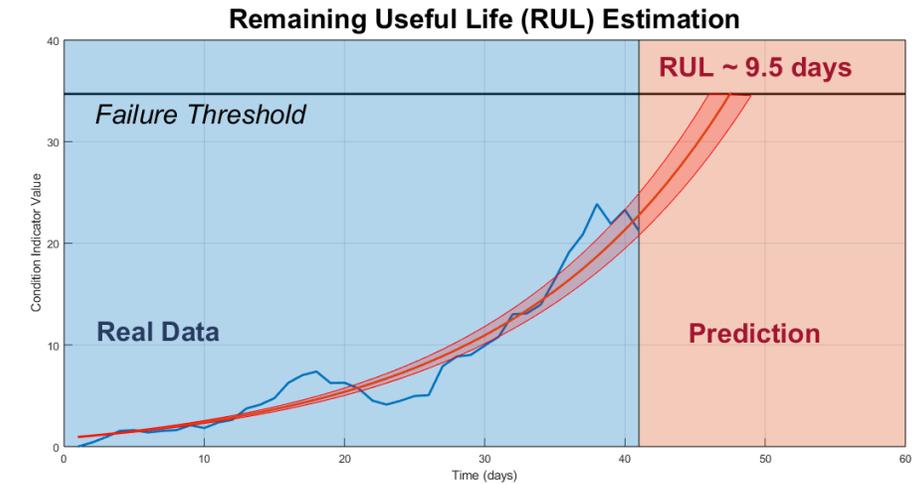
- 主な機能:
  - テストデータからパラメータを推定
  - 時間/周波数領域、あるいは、カスタムの性能要件を満たすようにパラメータをチューニング
  - 設計空間の探索と感度解析
  - グラフィカルな性能要件の指定と最適化の進捗モニタリング
  - パラメータ変動や不確かさを考慮したロバストな設計最適化



# Predictive Maintenance Toolbox

## 状態監視・予知保全向けアルゴリズムの設計・評価

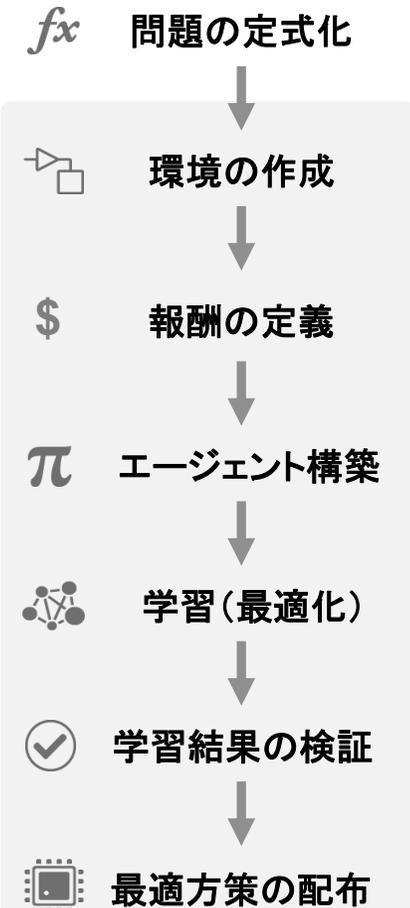
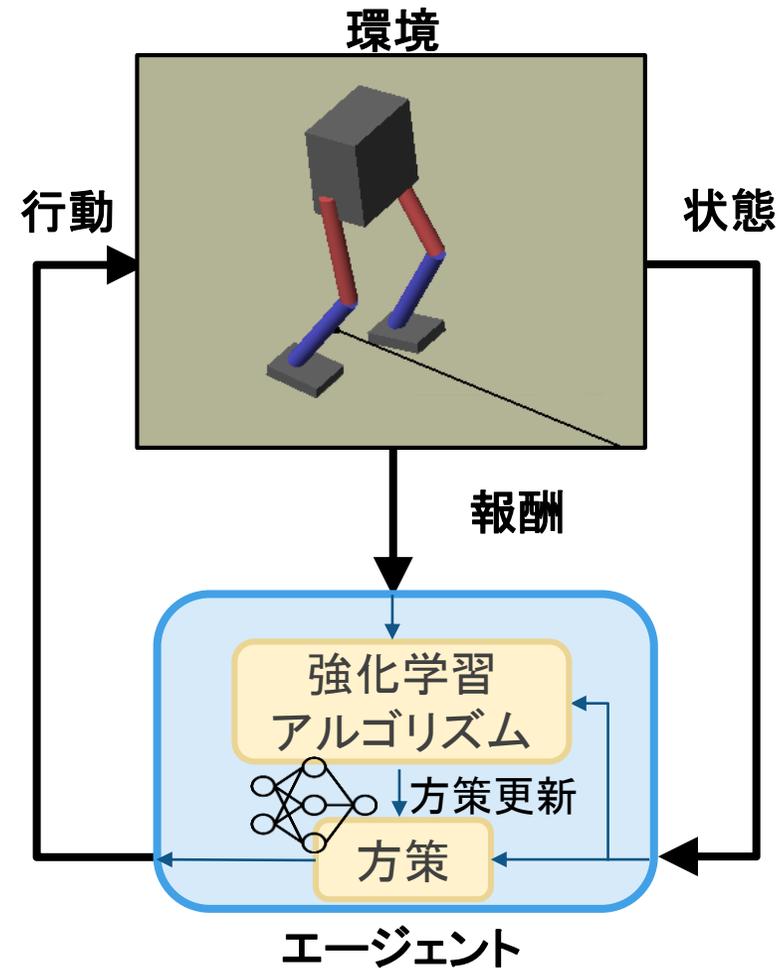
- 主な機能:
  - 寿命 (RUL: Remaining Useful Life) 予測モデル
    - 類似性モデル、劣化モデル、生存モデル
  - 予知保全向けの特徴量抽出
  - Diagnostic Feature Designer アプリ (GUI)
  - Simulink モデルを活用したデータ生成・管理
  - クラウドストレージからのデータインポート
    - Amazon S3, Windows Azure Blob Storage, Hadoop HDFS
  - 予知保全サンプル集
    - モーター、ギアボックス、バッテリー



# Reinforcement Learning Toolbox

## 強化学習による方策の設計と学習

- 主な機能:
  - MATLAB 関数/ Simulink モデルによる環境とのインターフェース
    - 強化学習用「RL Agent」ブロック
  - エージェント作成のためのネットワーク構築環境
  - 学習アルゴリズム
    - Q-Learning
    - DQN / Double DQN
    - SARSA
    - REINFORCE\*<sup>1</sup>
    - DDPG
    - A2C\*<sup>1,\*2</sup>
    - 並列学習 (GORILA / A3C\*<sup>1,\*2</sup>)
    - PPO
  - 配布のための最適方策の関数化



R2019a 時点では

\*1. 行動空間が離散であることを要求します

\*2. 1つのネットワークで状態価値関数および方策関数を表現することができません