

現場で使える制御設計： 周波数応答推定と制御応答最適化

MathWorks Japan

アプリケーションエンジニアリング部

はじめに

本セッションの対象者

- **PID**などのフィードバック制御器を設計している方、興味のある方
- 制御理論に詳しくないが、現場で制御設計をする必要のある方
 - 制御設計をしたいが、知見が無くて何から始めていいか分からない方

本セッションでお伝えしたいこと

- 周波数応答推定によりプラントを同定する方法
- 最適化アルゴリズムを用いた自動ゲイン調整・実装する方法

アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

アジェンダ

■ 背景

- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

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

制御系定義

制御対象解析

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

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

検証用

設計用

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



各工程を支援する「ツール」を活用できます

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

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)

定常状態マネージャー

モデル線形化器

制御系のモデル化

- ・ 制御系構造・I/O
- ・ 制御器・アルゴリズム

ブロックライブラリ

PID 調整器

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

制御システム調整器

応答オプティマイザー

制御系のシミュレーション

- ・ 制御性能評価・検証

感度アナライザー

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
モデル化

設計用

パラメータ推定器

システム同定

モデル・リデューサー

ナレッジ・
ノウハウの蓄積



制御対象モデル獲得ループ

要求獲得ループ

各工程における制御系設計ソリューションの例

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

制御対象モデル化

1 データ活用による制御対象のモデル化と精度向上

2 モデルの簡略化・低次元化を直感的に手軽に実践

制御系定義

制御対象解析

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）

3 制御対象や制御系の特性を Simulink モデルで素早く解析

性能要件定義

制御系のモデル

- ・ 制御系構造・I/O
- ・ 制御器・アルゴリズム

4 ツールのライブラリブロックで制御系を手軽に素早くモデル化

制御方式設計

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

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

制御定数適合

性能評価・検証

制御系のシミュレーション

- ・ 制御性能評価・検証

ナレッジ・
ノウハウの蓄積



制御対象モデル獲得ループ

要求獲得ループ

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

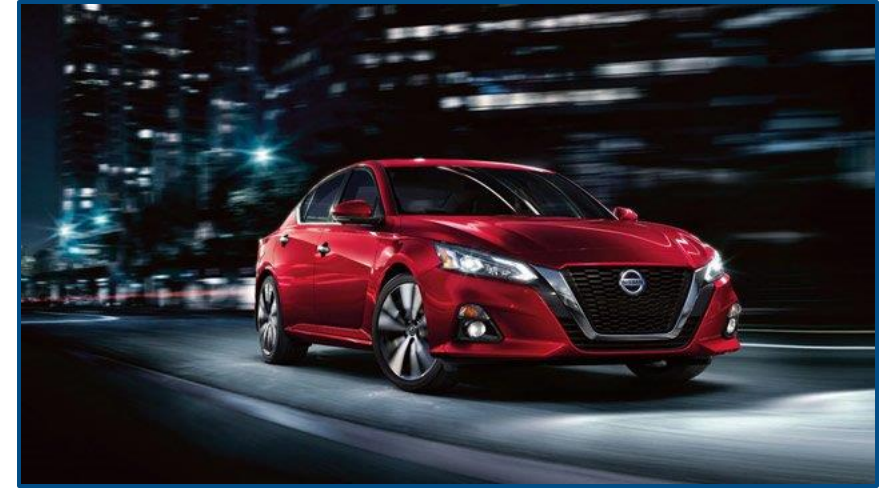
エンジン排出ガスの削減、および、キャリブレーション時間短縮によるAFRコントローラーの製品開発の加速

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_x 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

アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

周波数応答推定の基本

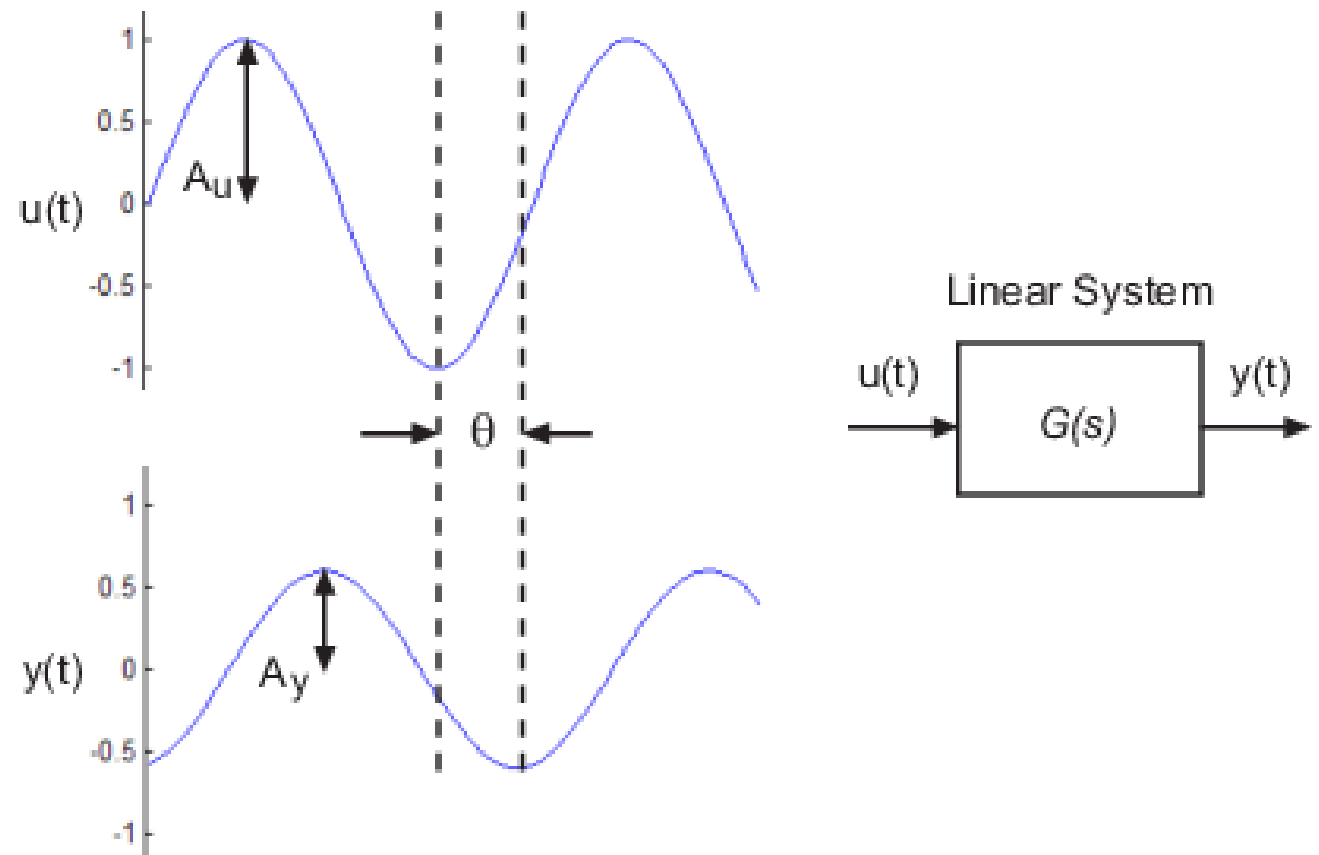
「周波数応答」は、正弦波入力に対するシステムの定常状態応答のこと。

線形システムに正弦波 $u(t)$ を入力する。

$$u(t) = A_u \sin \omega t$$

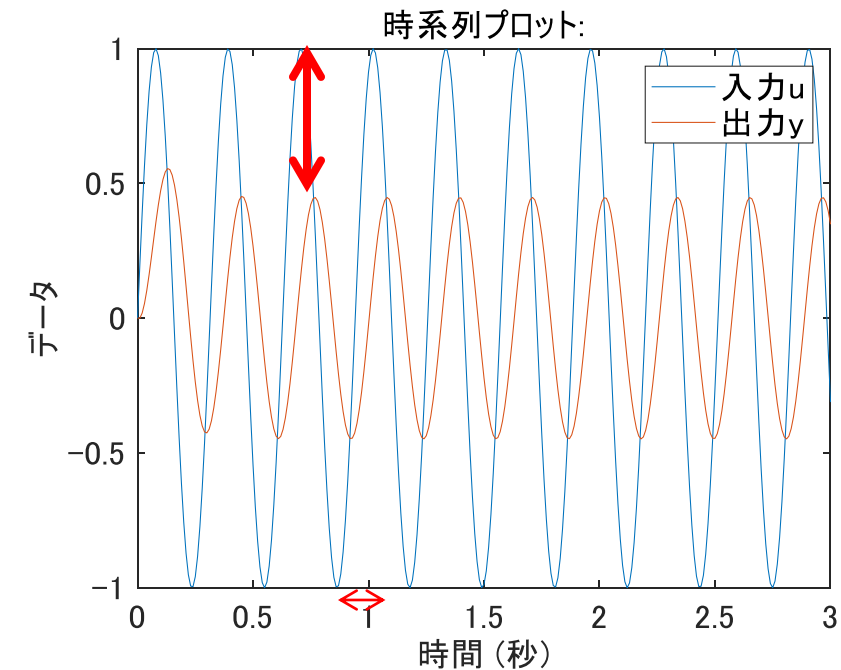
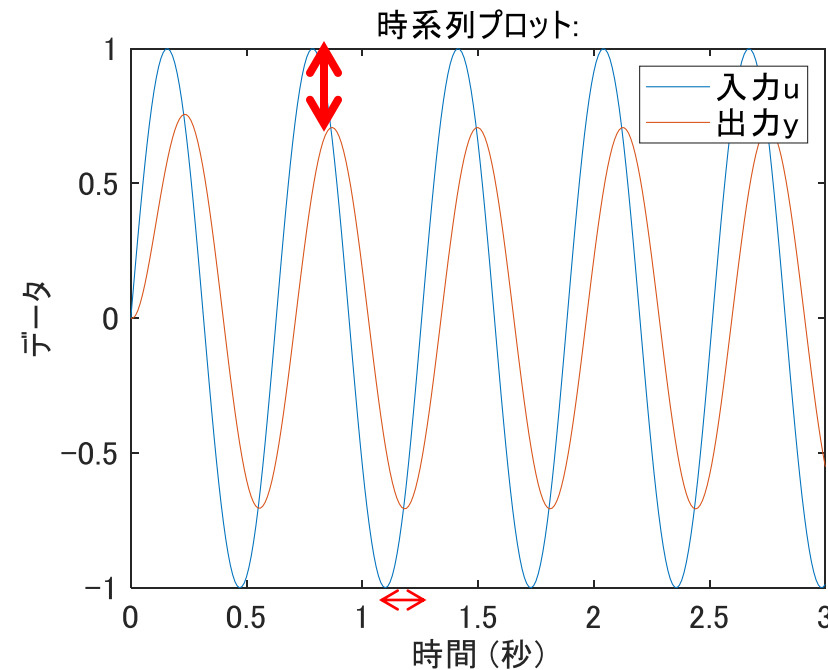
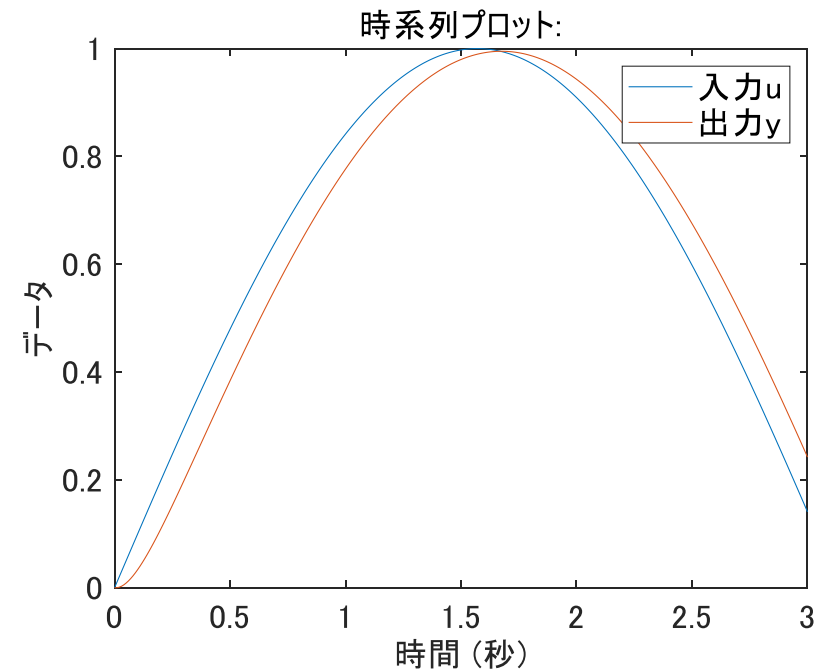
出力 $y(t)$ は、以下のようになる。

$$y(t) = A_y \sin(\omega t + \theta)$$



周波数応答推定の基本

周波数を変えると、振幅比 (A_y / A_u) と位相差 (θ) は変化する。



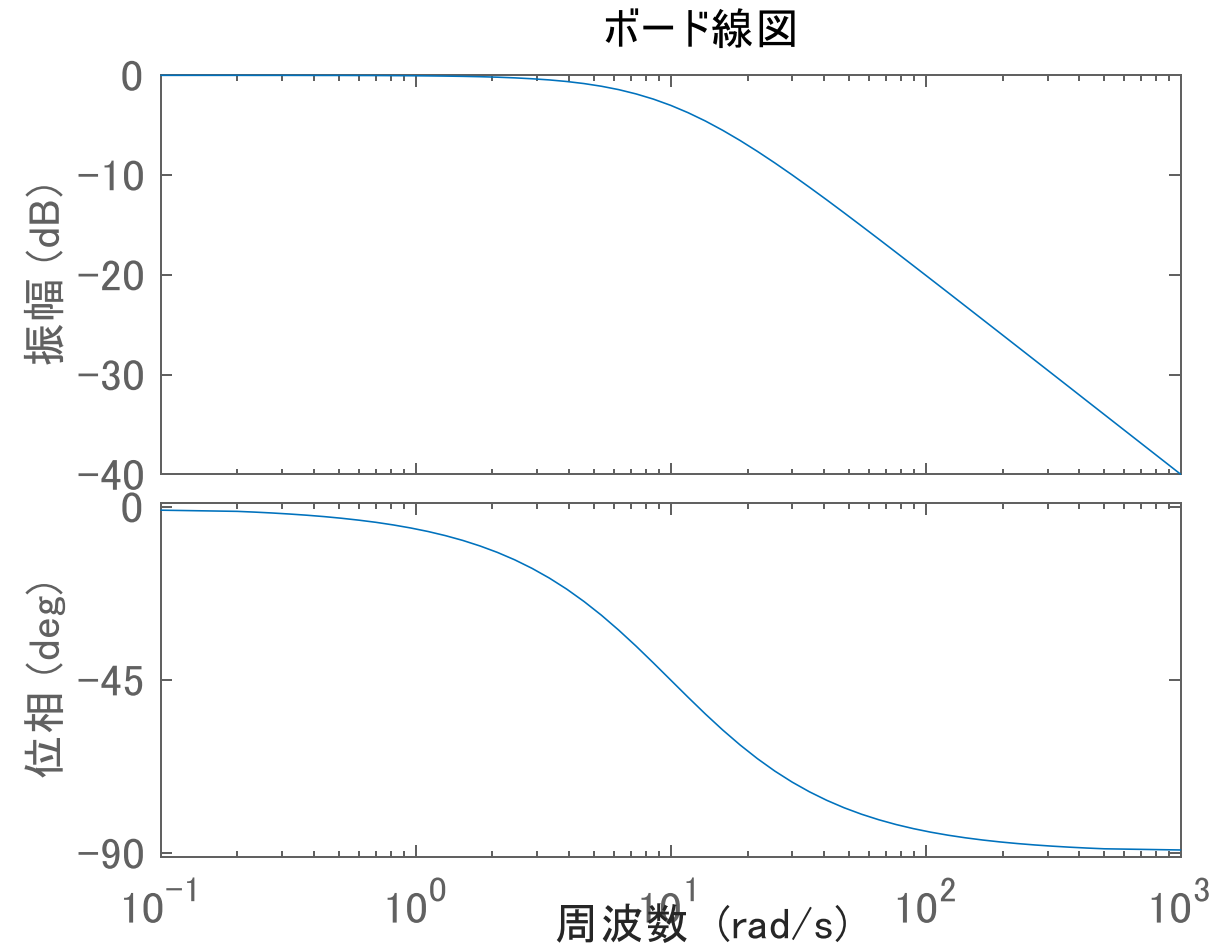
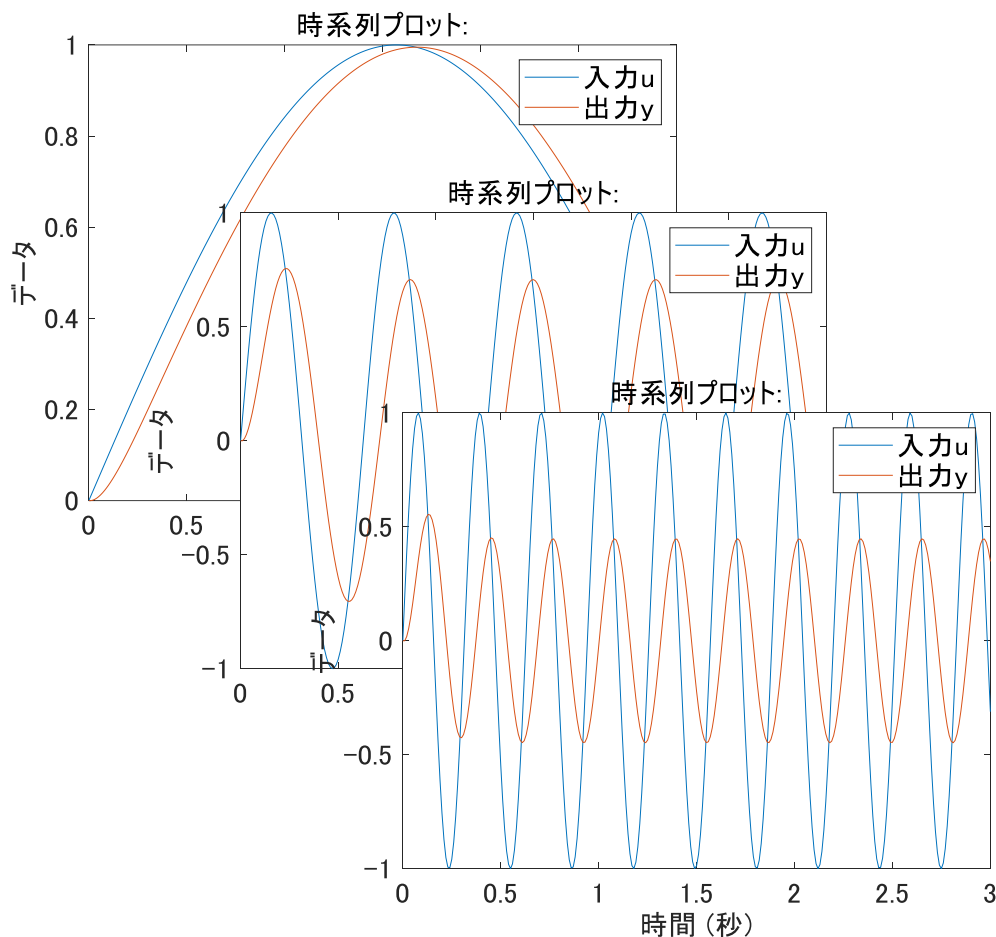
低い

高い

周波数 Hz

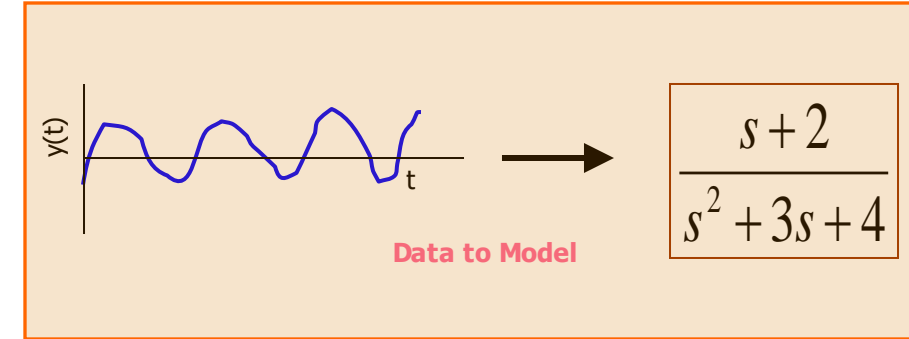
周波数応答推定の基本

各周波数ごとの振幅比、位相差の特性を取れば、プラントの特性が分かる。



周波数応答が分かったら何が嬉しいのか

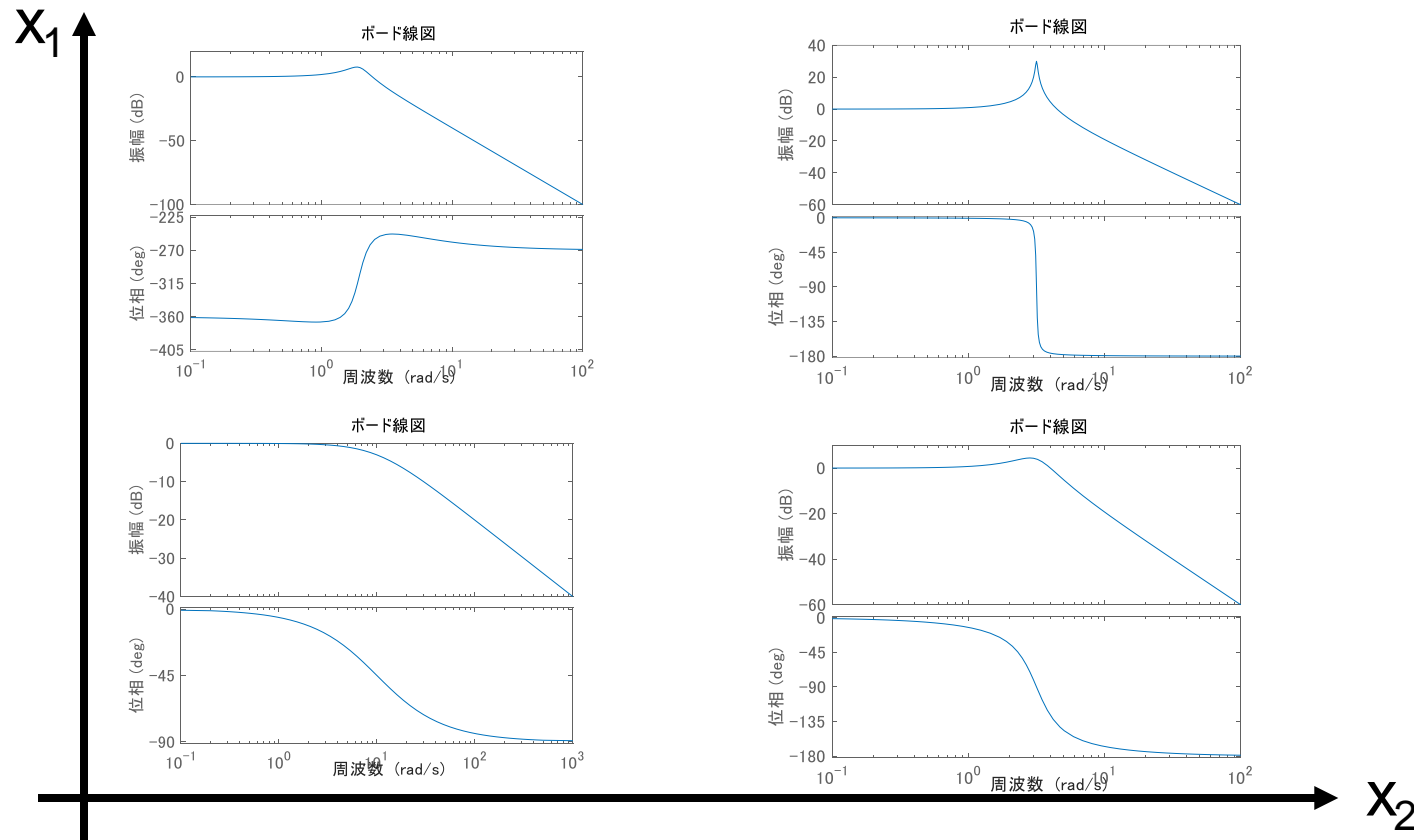
- プラントの特性が理解できる
- プラントの伝達関数を推定できる
 - System Identification Toolboxを用いてシステム同定可能
- 伝達関数モデルを使ってシミュレーションできる
- 制御理論を用いて最適な制御ゲインを導出できる



プラントに対する科学的知識を持っていなくても、周波数特性さえ分かれば制御設計できるようになります！

非線形システムでは？

いくつかの非線形システムでは、特定の状態近傍では線形であると見なすことができる。そうであれば、部分ごとに周波数応答推定を行い、領域全体の特性を掴むこともできる。



強い非線形性を持つシステム（例えば不連続に変化するシステムなど）は、周波数特性を得ることはできませんが、滑らかに特性が変化するシステムであれば、局所的に推定することができます。

アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

使うツールの立ち位置

アプリ・機能

アプリ・機能

制御対象
モデル化

パラメータ推定器

システム同定

モデル・リデューサー

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

定常状態マネージャー

モデル線形化器

ブロックライブラリ

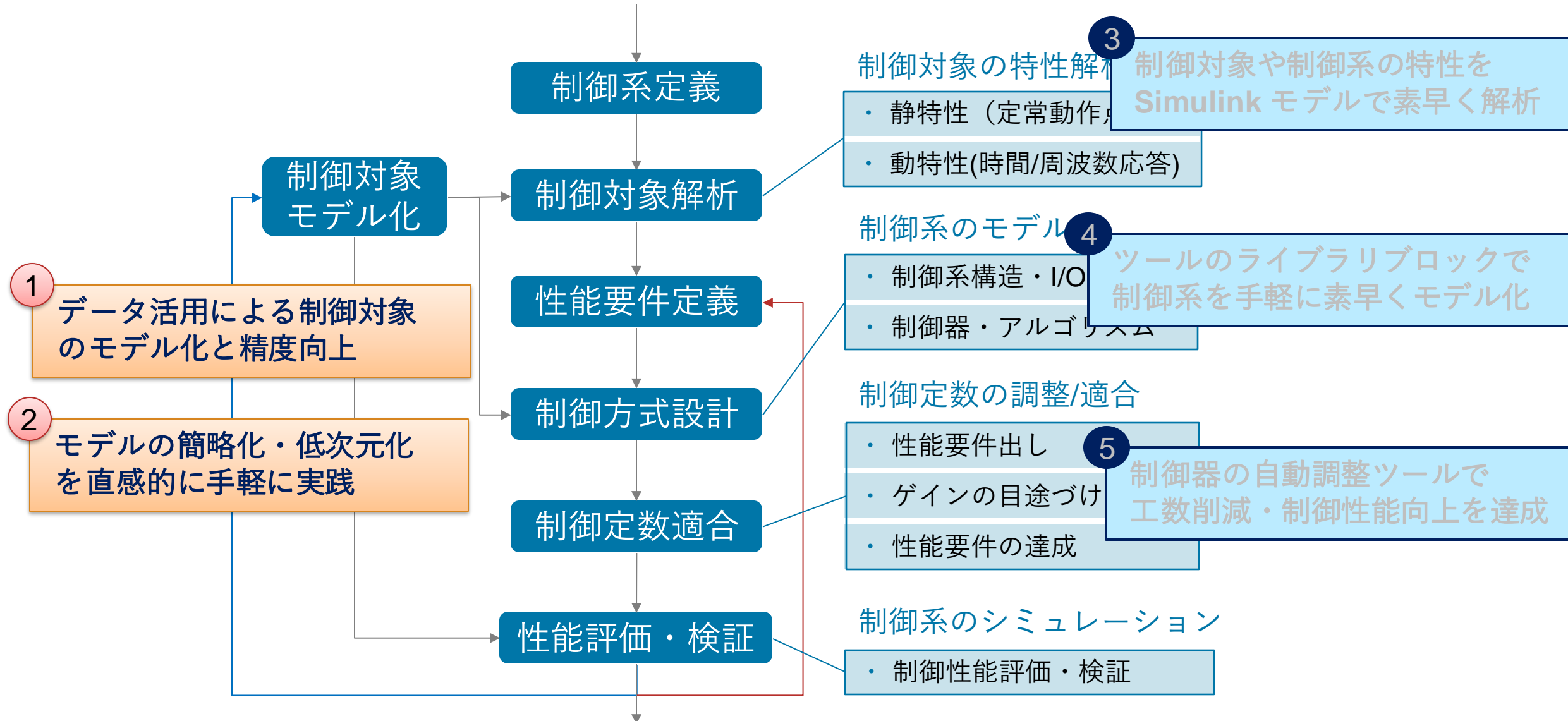
PID 調整器

制御システム調整器

応答オプティマイザー

感度アナライザー

扱うソリューション



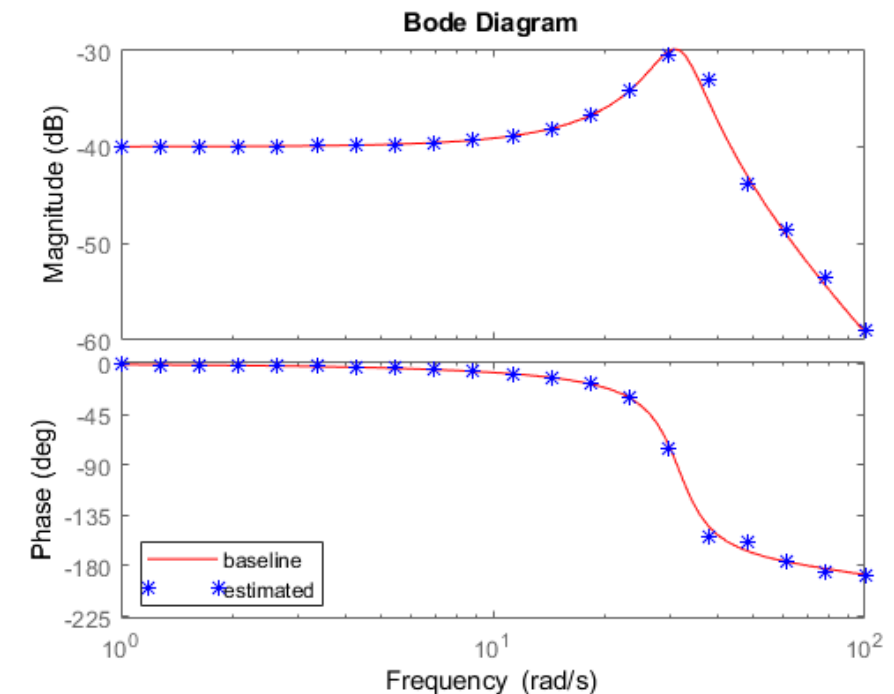
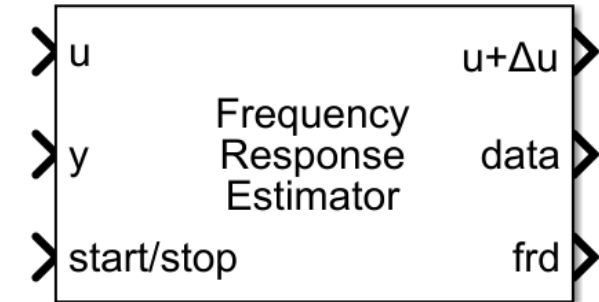
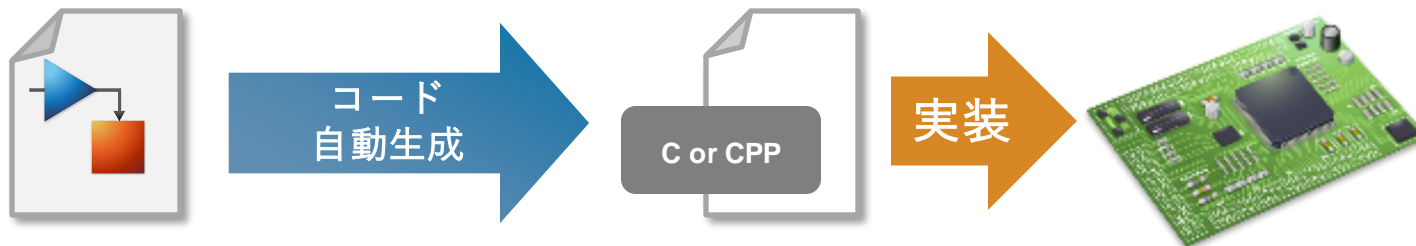
周波数応答推定器, Frequency Response Estimator

R2019a

入力信号に対する応答を計測し、数値解析を行って周波数特性を計算する。

特徴

- SISOのシステムに対して周波数応答の推定が可能
- 推定機能をコード生成して実機に実装可能
- 推定対象が非線形であっても推定実験可能



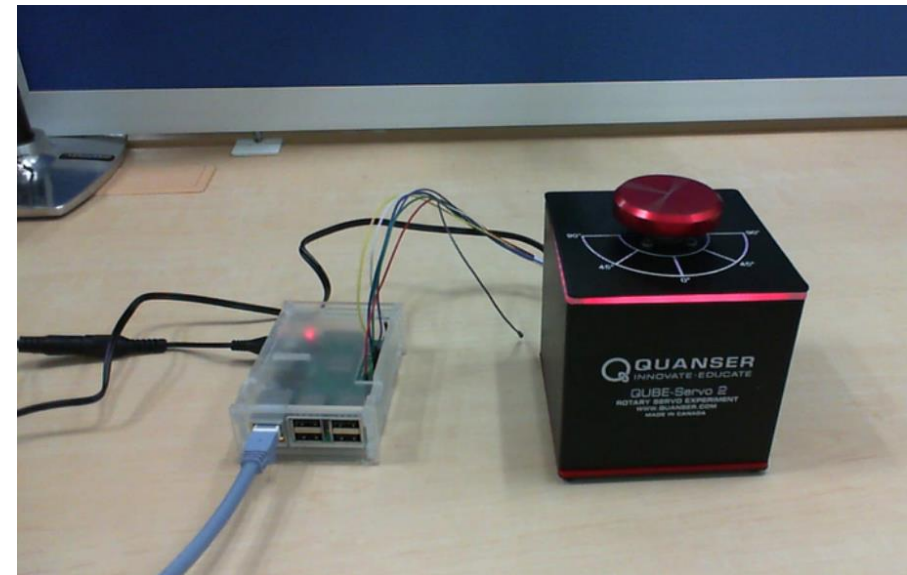
【デモ】 Quanser “QUBE – Servo 2” を用いた推定

- Quanser社の”QUBE – Servo 2”という倒立振り子装置を用いる
- 振り子部分を外し、シンプルな円盤を取り付けることでDCモーターのみのシステムにすることができる

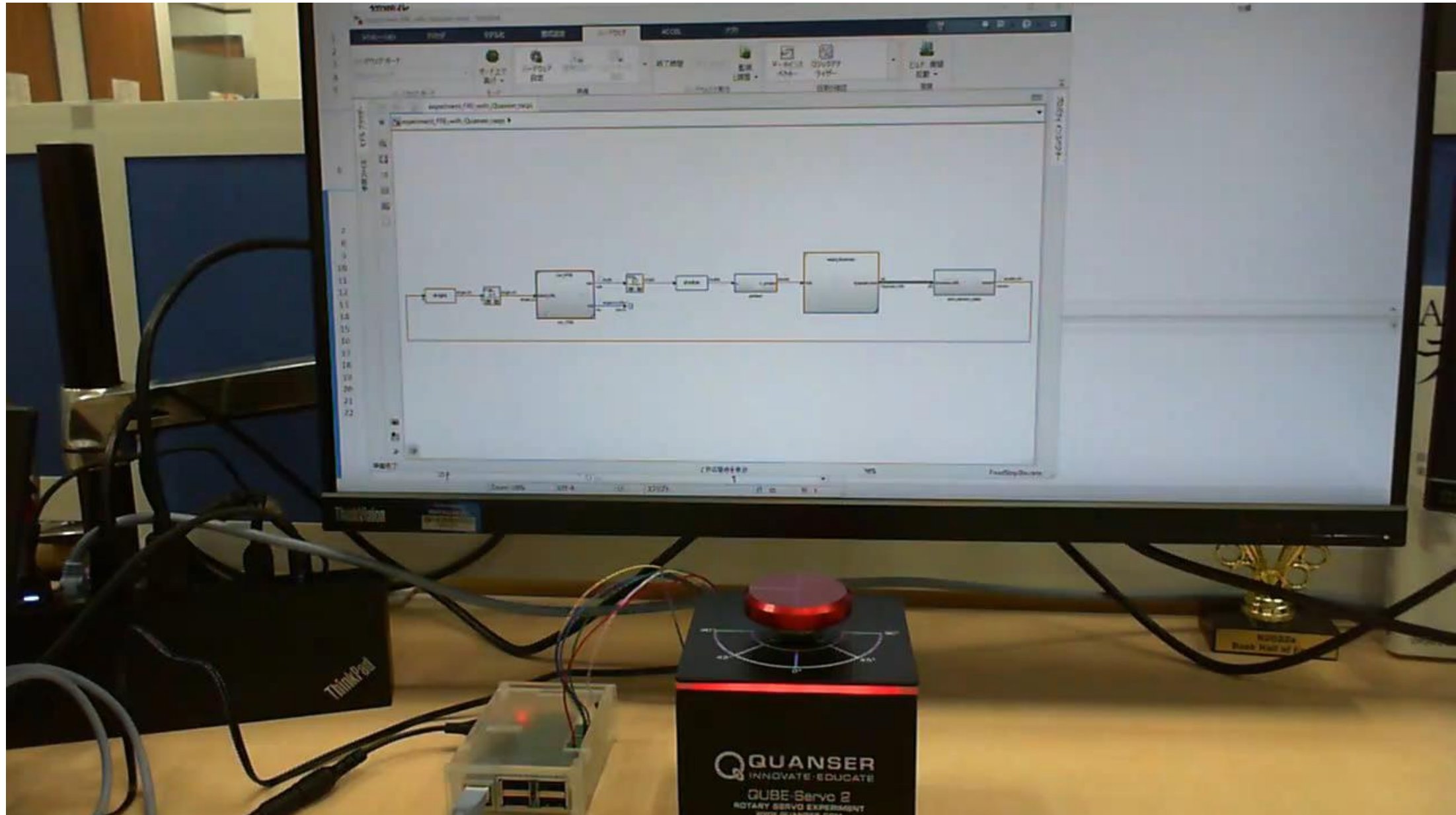
本来は倒立振り子の実験装置であるが、



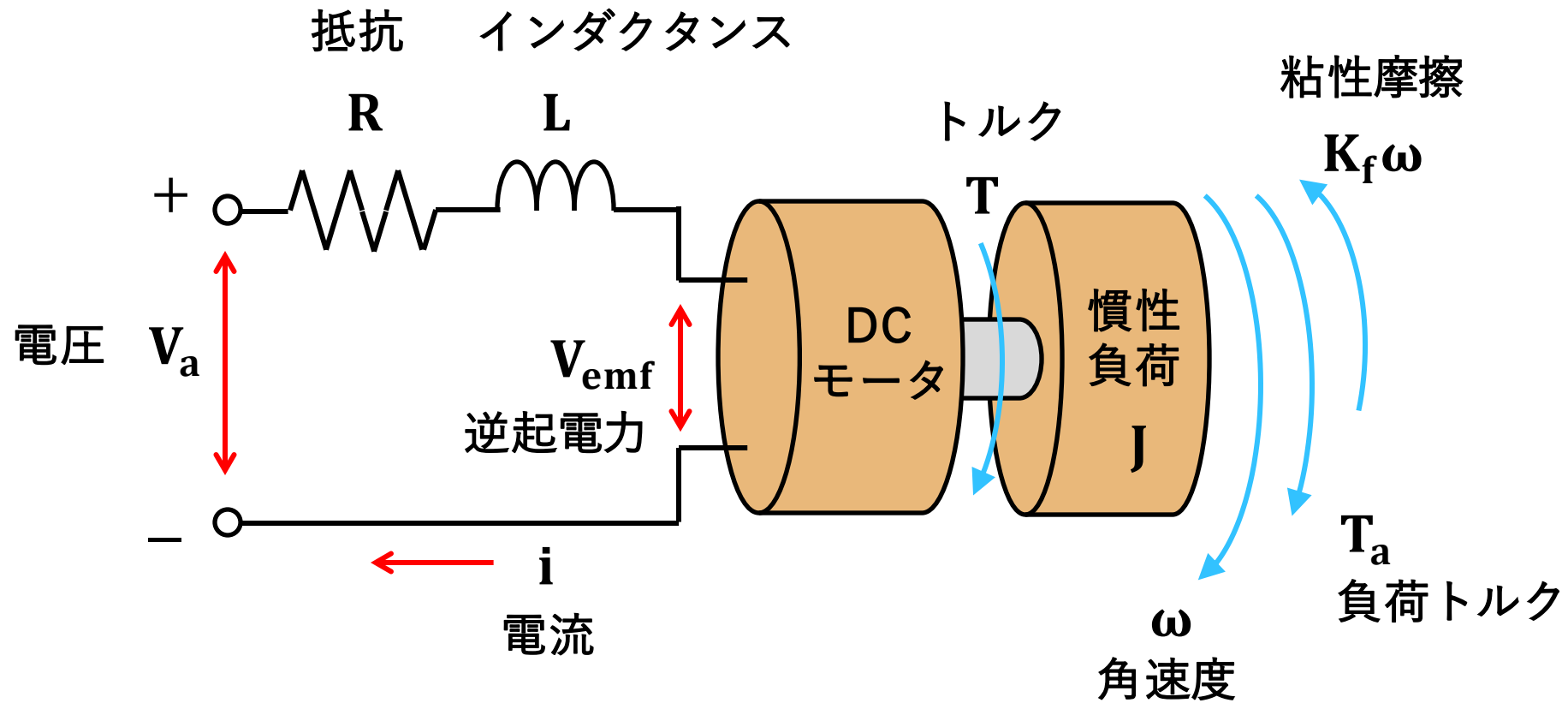
今回は振り子を外して円盤を取り付ける



実機による周波数応答推定



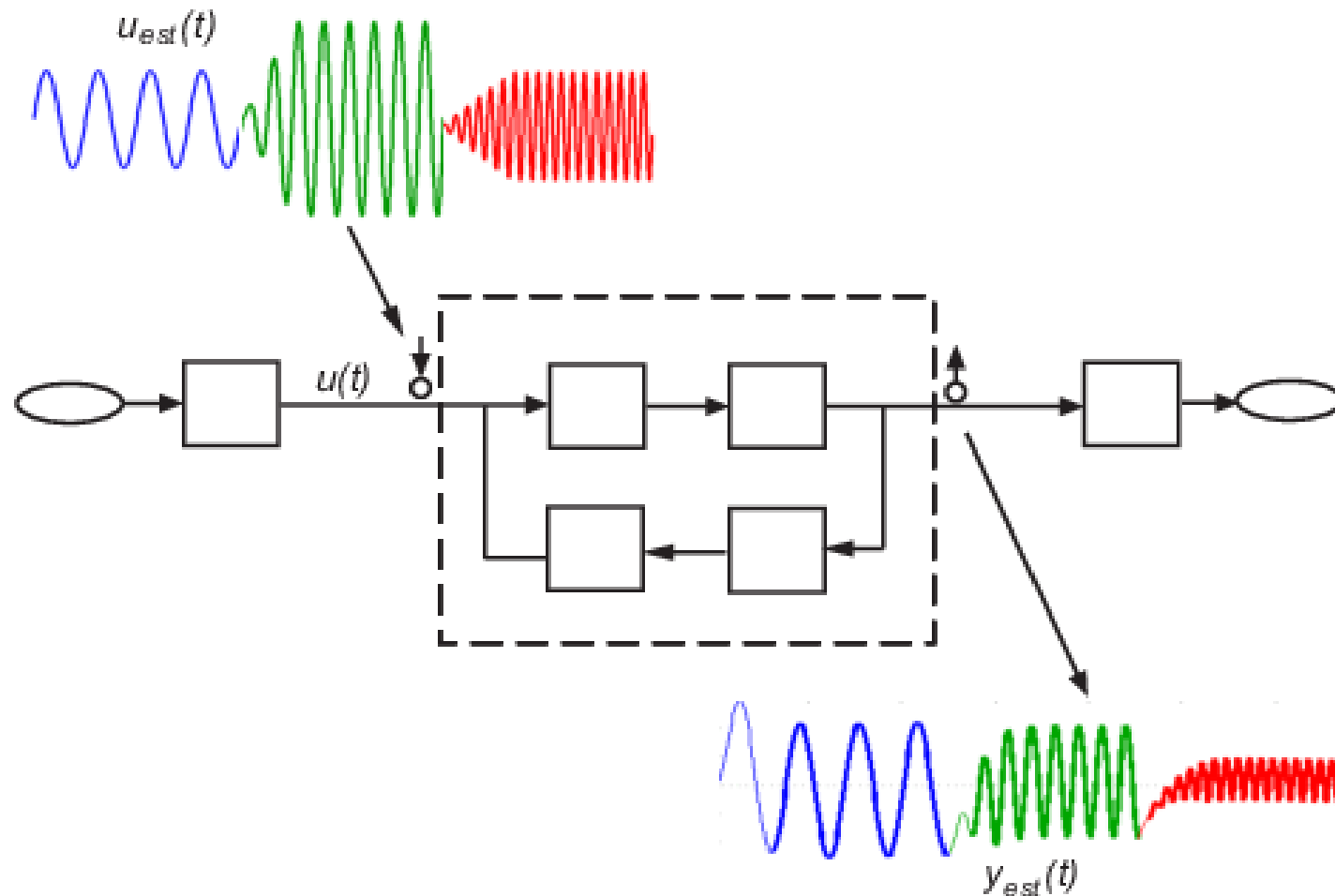
【参考】DCモータの等価回路



推定用の入力信号

■ Sinestream

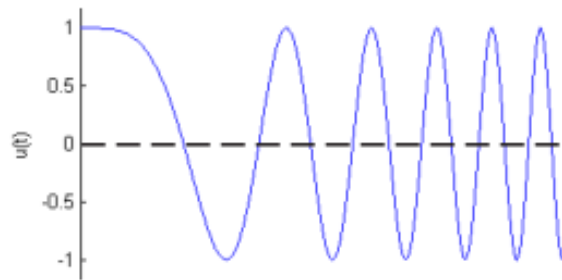
- ある一定の周波数信号を順番に流していく



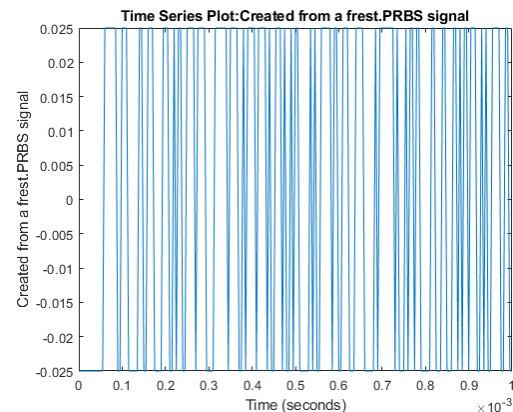
Sinestreamは、特定の周波数点ごとに確実に特性を得ることができるが、推定のための実験時間が長くなる。

Sinestream信号よりも短い時間で推定できる信号

- チャープ
 - 周波数が徐々に変化していく信号

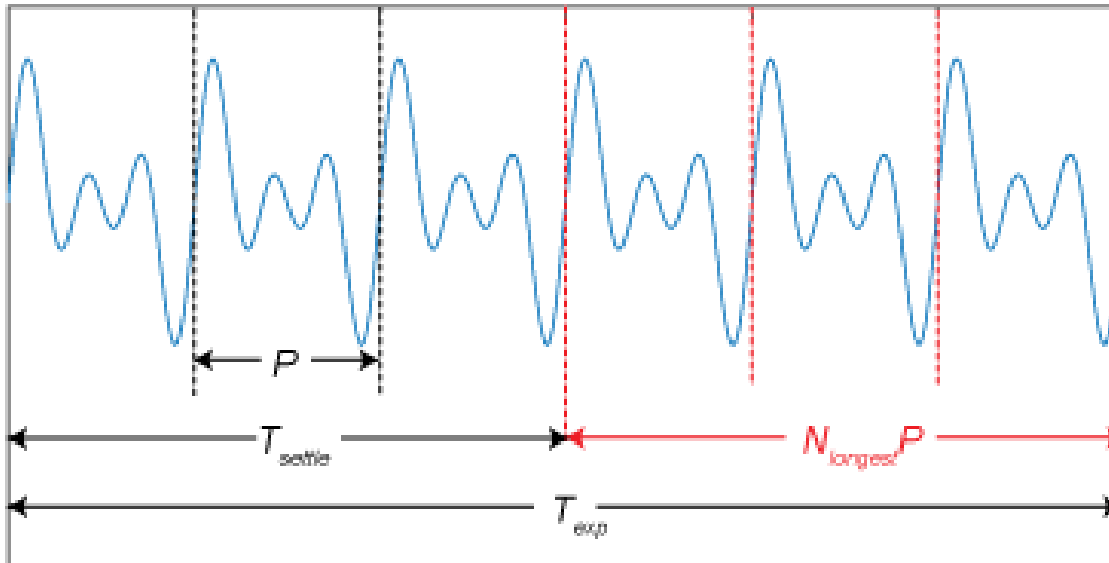


- PRBS
 - 2つの値の間で切り替わるホワイトノイズのような信号



Sinestream信号よりも短い時間で推定できる信号

- 重ね合わせ
 - 特定の周波数、振幅を持つ信号の重ね合わせ

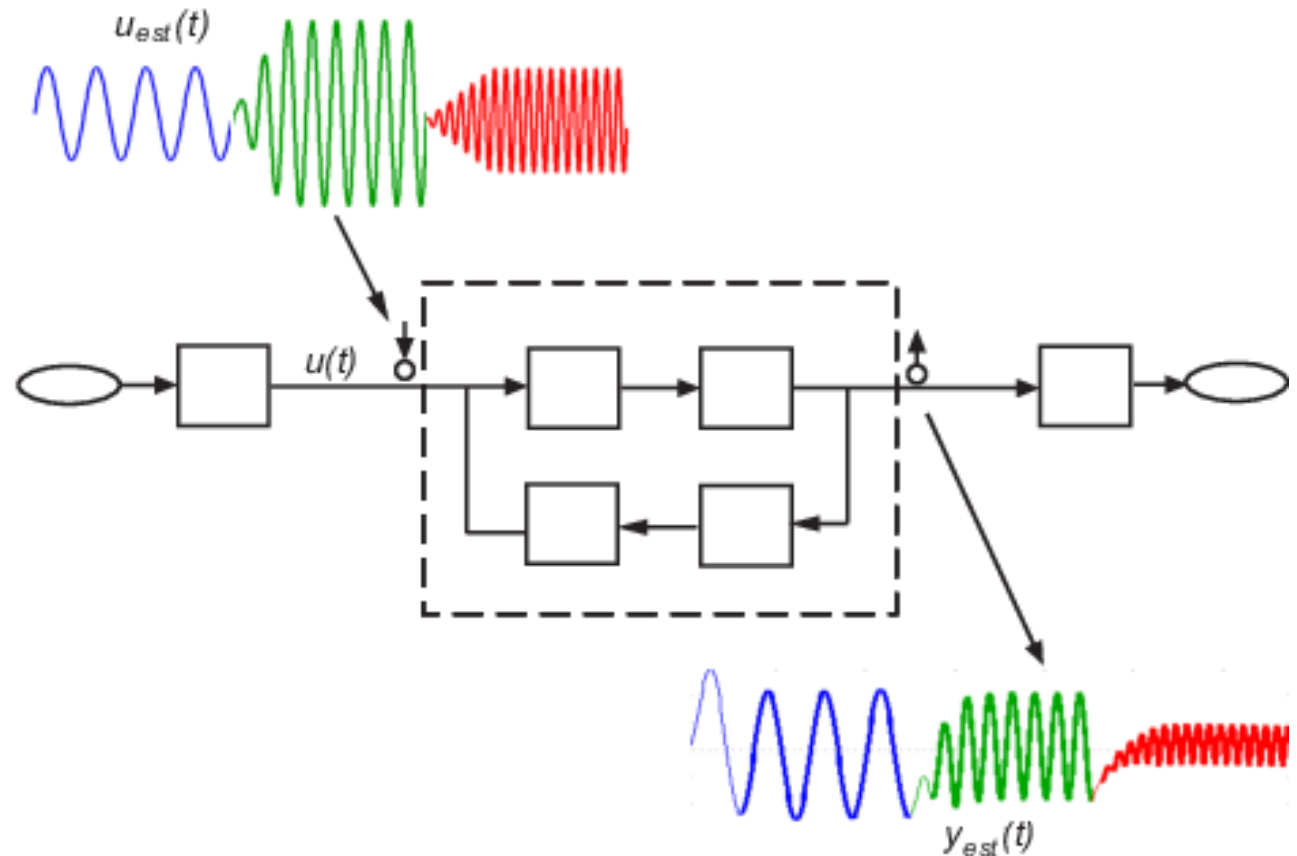


$$\sum_i A_i \sin \omega_i t$$

推定アルゴリズム

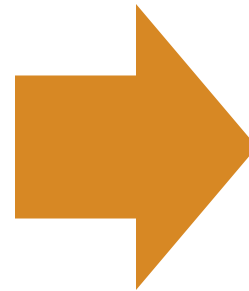
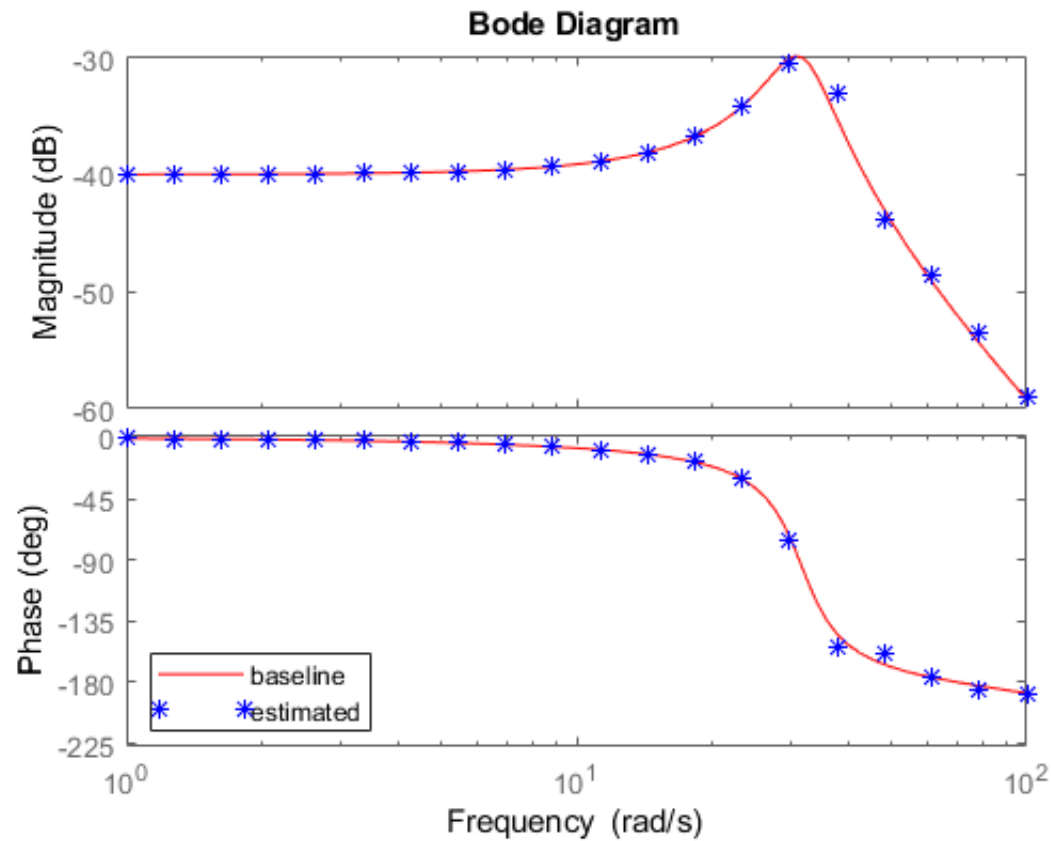
高速フーリエ変換の出力信号と入力信号の比率を計算することで推定する。

$$R_{esp} = \frac{FFT(y_{est}(t))}{FFT(u_{est}(t))}$$



システム同定

周波数応答のデータから伝達関数を得る。



$$\frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

多入力多出力（MIMO）システムに対して周波数応答推定を行う

入力

解析入出力

任意の入出力信号

解析手段

プロット選択

時間/周波数応答

ステップ

インパルス

ボード線図

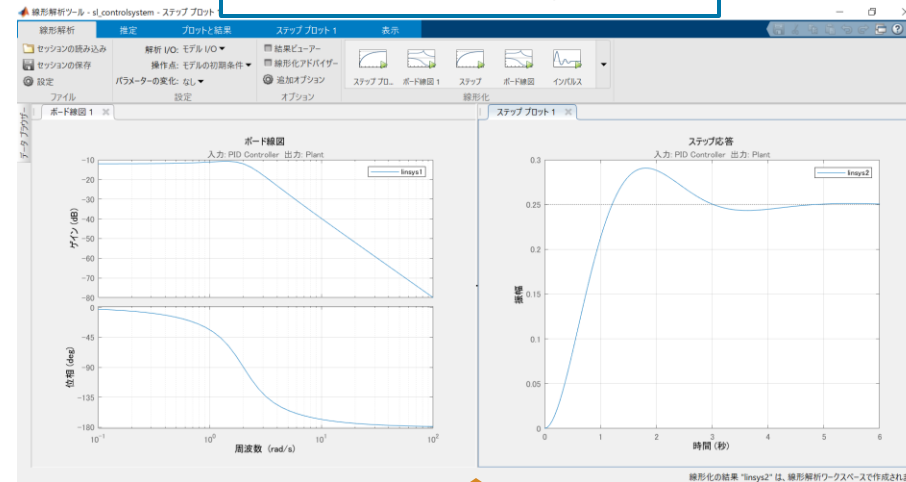
ナイキスト線図

ニコルス線図

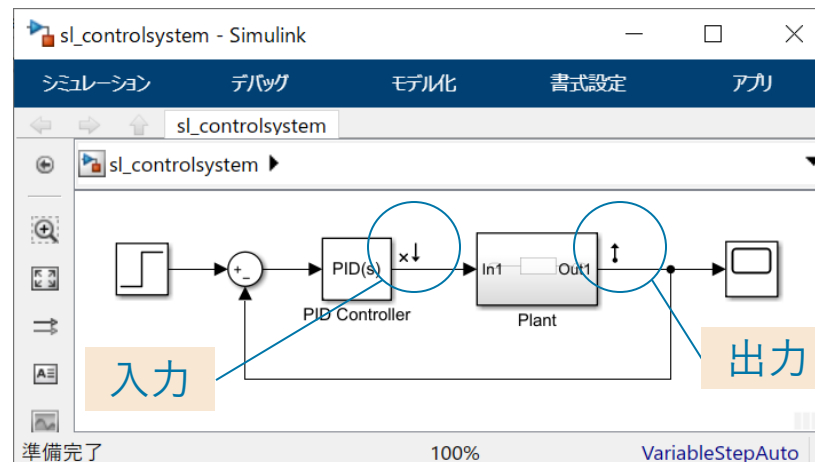
特異値

極/零点

モデル線形化器
Simulink Control Design



モデル線形化



出力

解析プロット

制御対象の動特性

線形化モデル

線形時不変モデル

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}$$

使いどころ

- 制御対象の性格の把握
- 制御系の性能・安定性の把握

デメリット

- 推定機能をコード生成して実機実装することができない

PMSM Field Oriented Control FRE Workflow



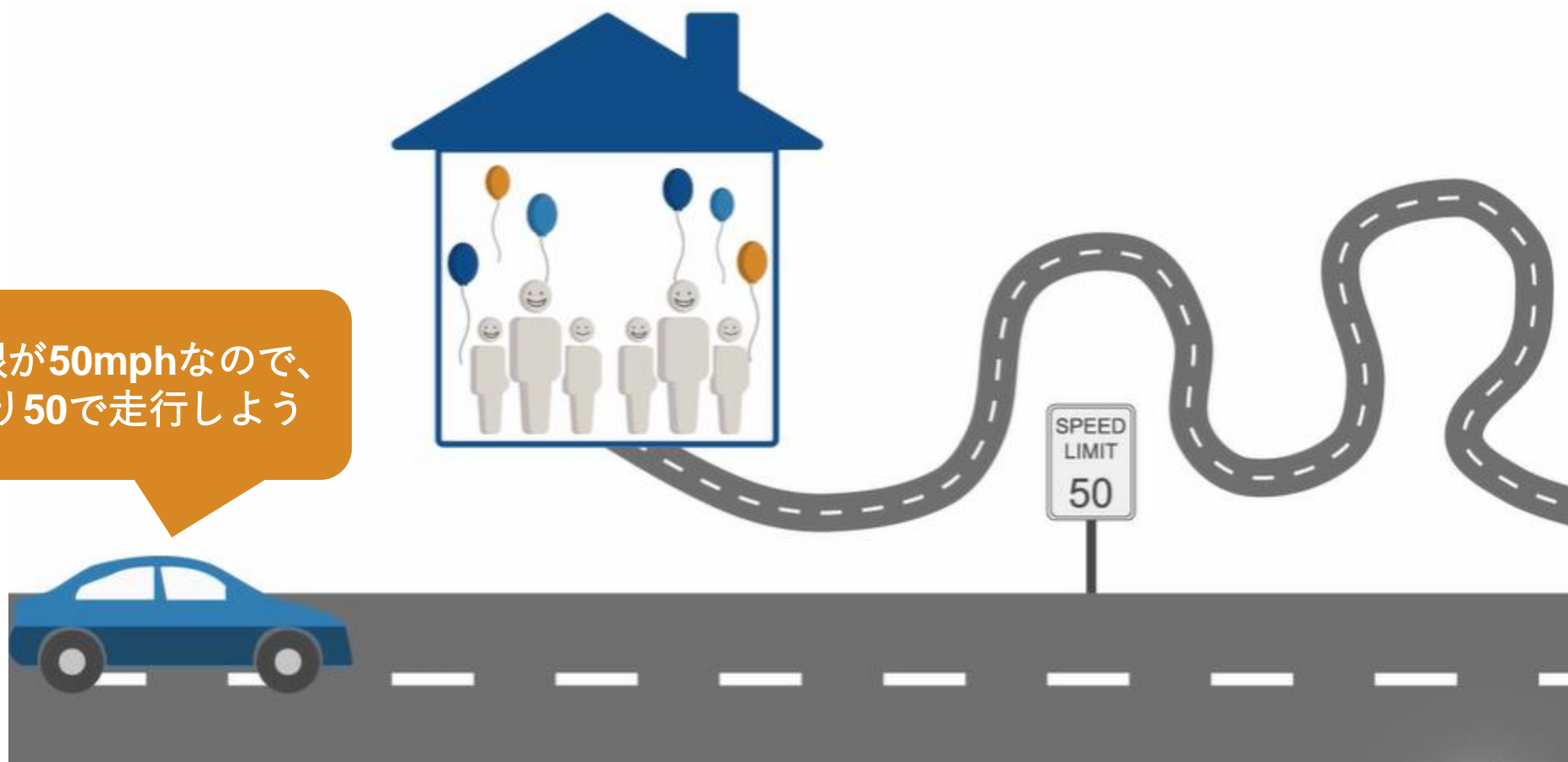
アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

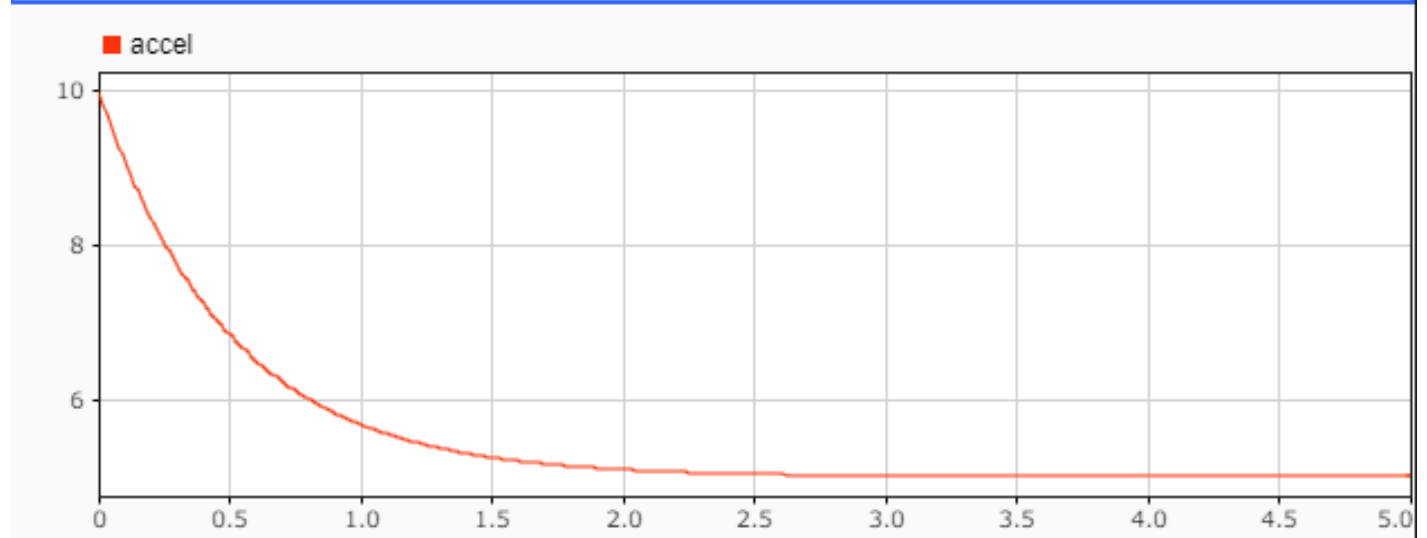
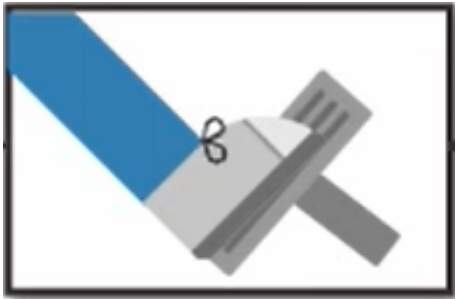
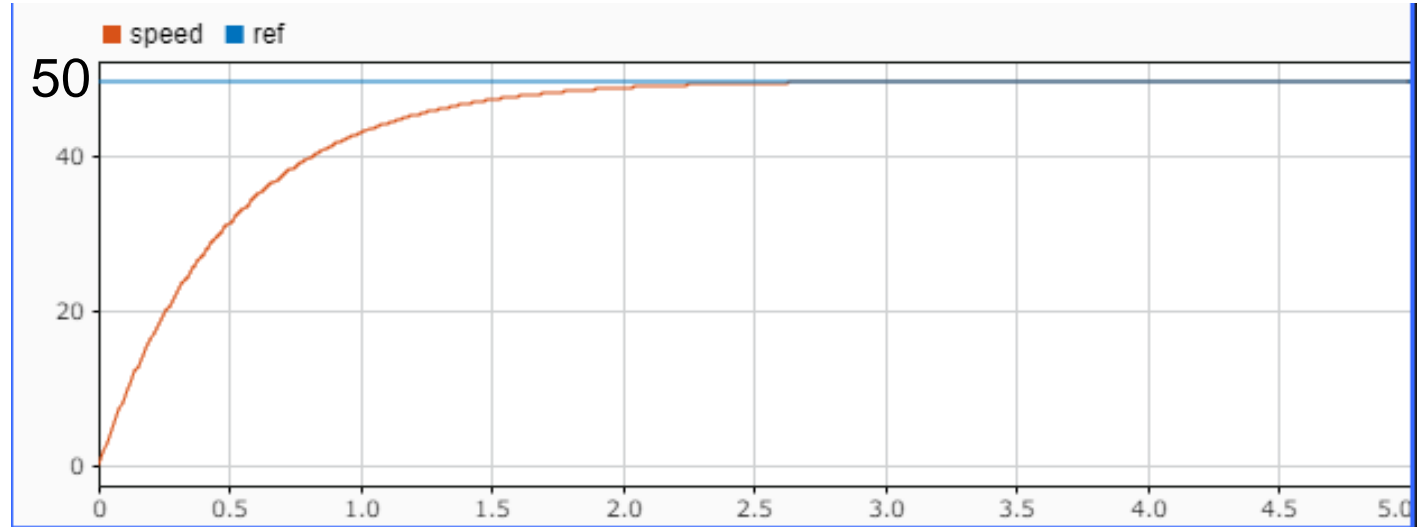
制御とは

- 制御対象の値を目標値に近づける、または可能なら一致させること

速度制限が50mphなので、
ぴったり50で走行しよう

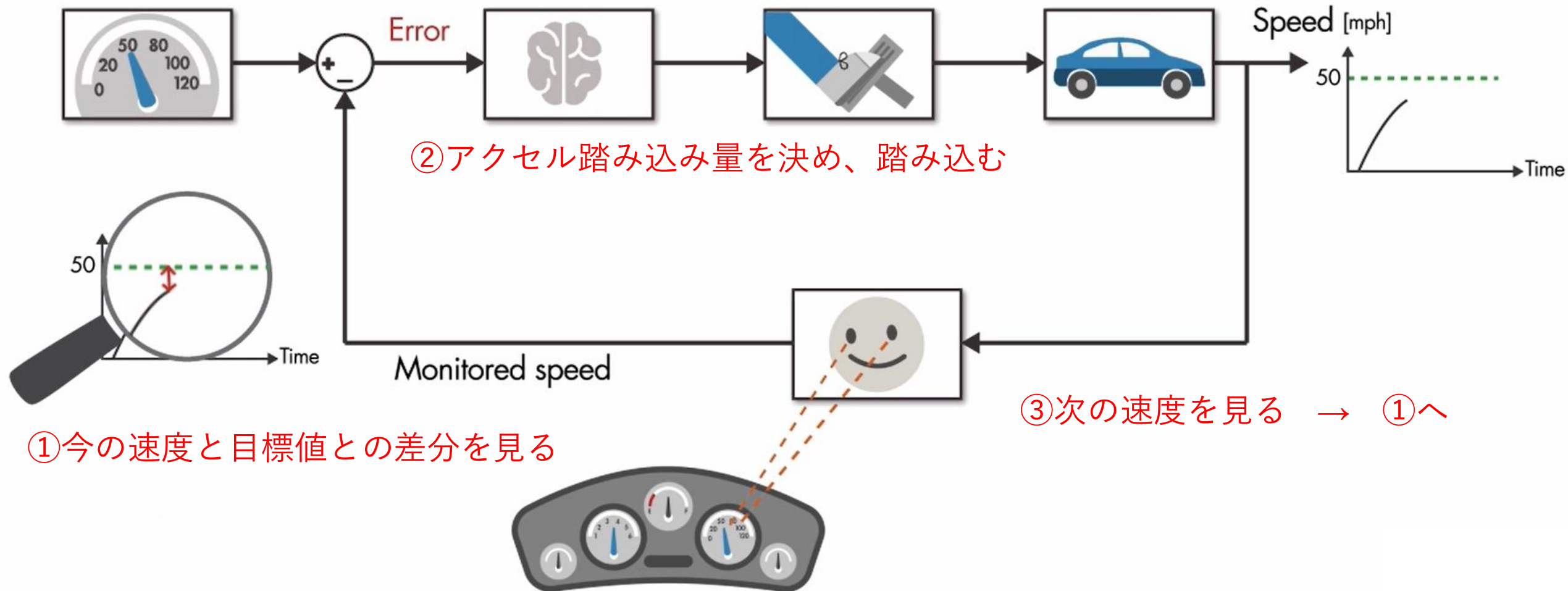


どうすれば50mphになるか

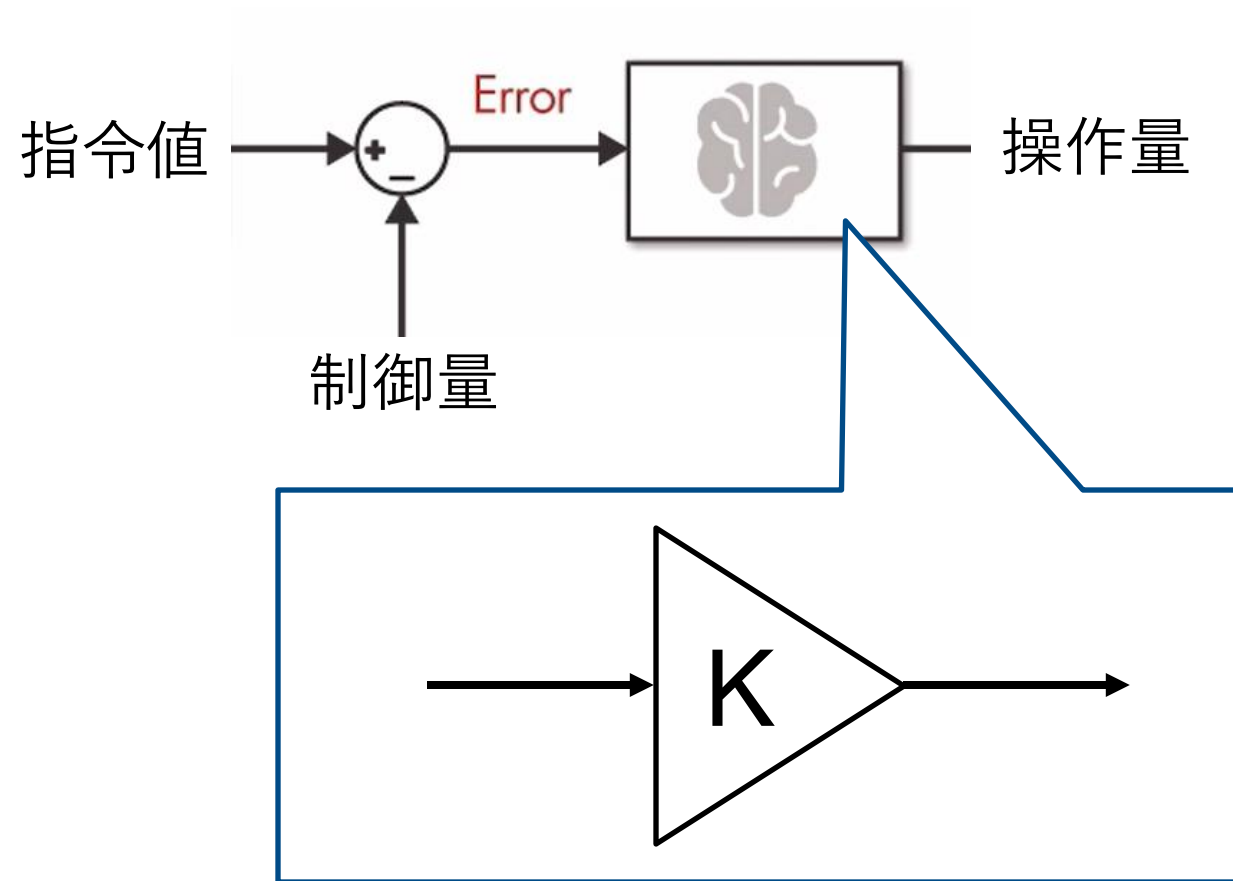


自動的に目標値に追従させる計算アルゴリズム

以下のような形式をフィードバック制御と呼ぶ

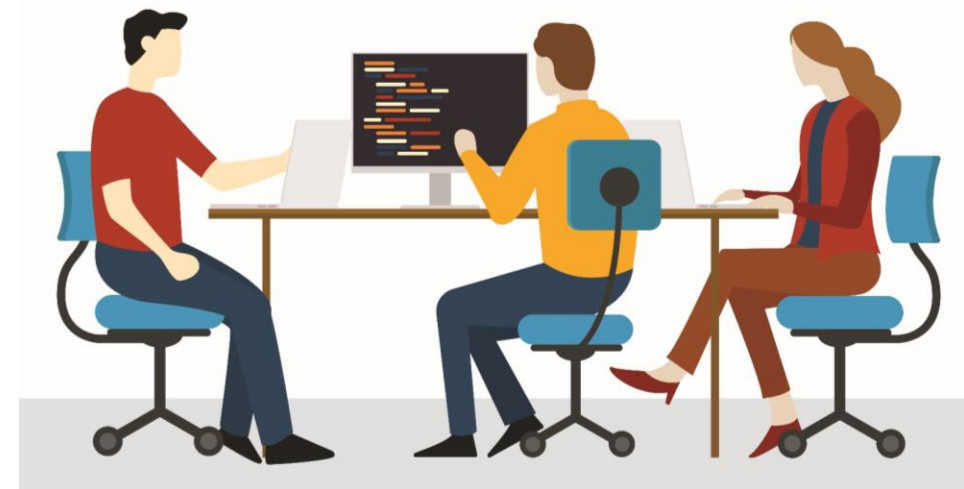


フィードバック制御



差分に対してゲインKを掛け算し、それを操作量として出力する。

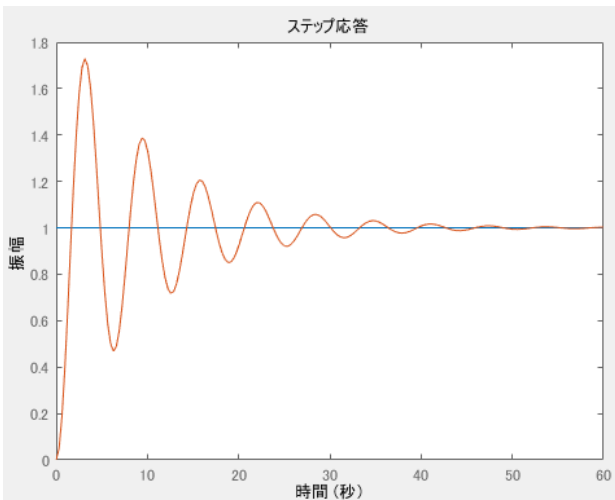
Kを上手く調整して、望む応答を得たい！



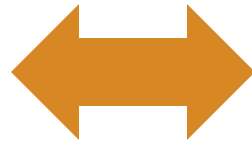
【参考】制御性能評価

- 制御性能が良い = 指令値にピッタリ追従できる
- よく用いられる評価方法は、ステップ応答を見る方法

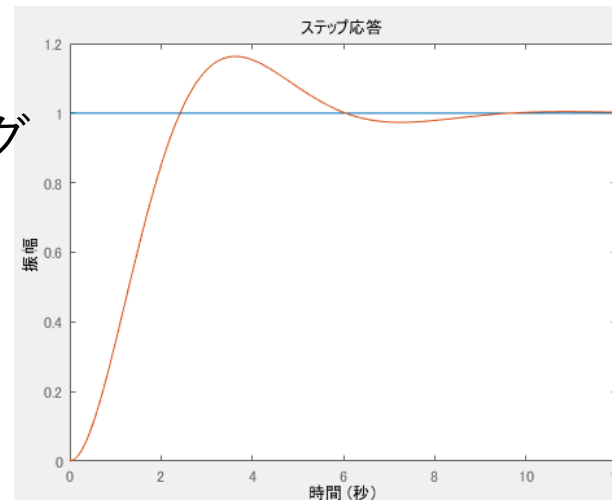
安定がよくないが、
指令値追従が速い



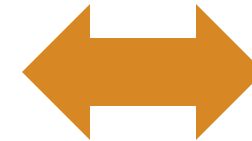
チューニング



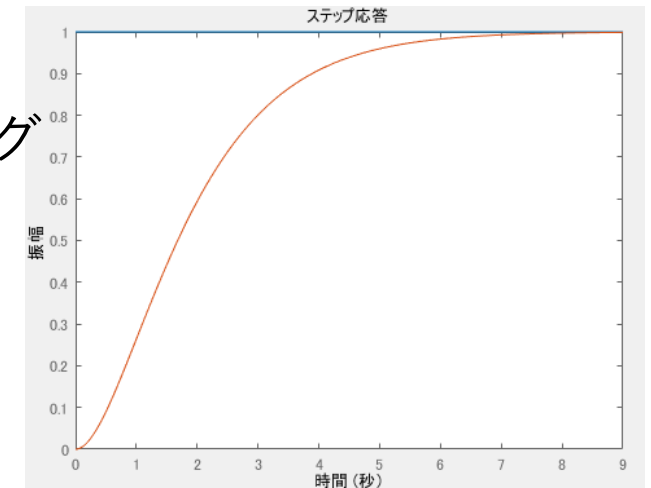
ちょうどよい



チューニング



安定しているが、
指令値追従が遅い

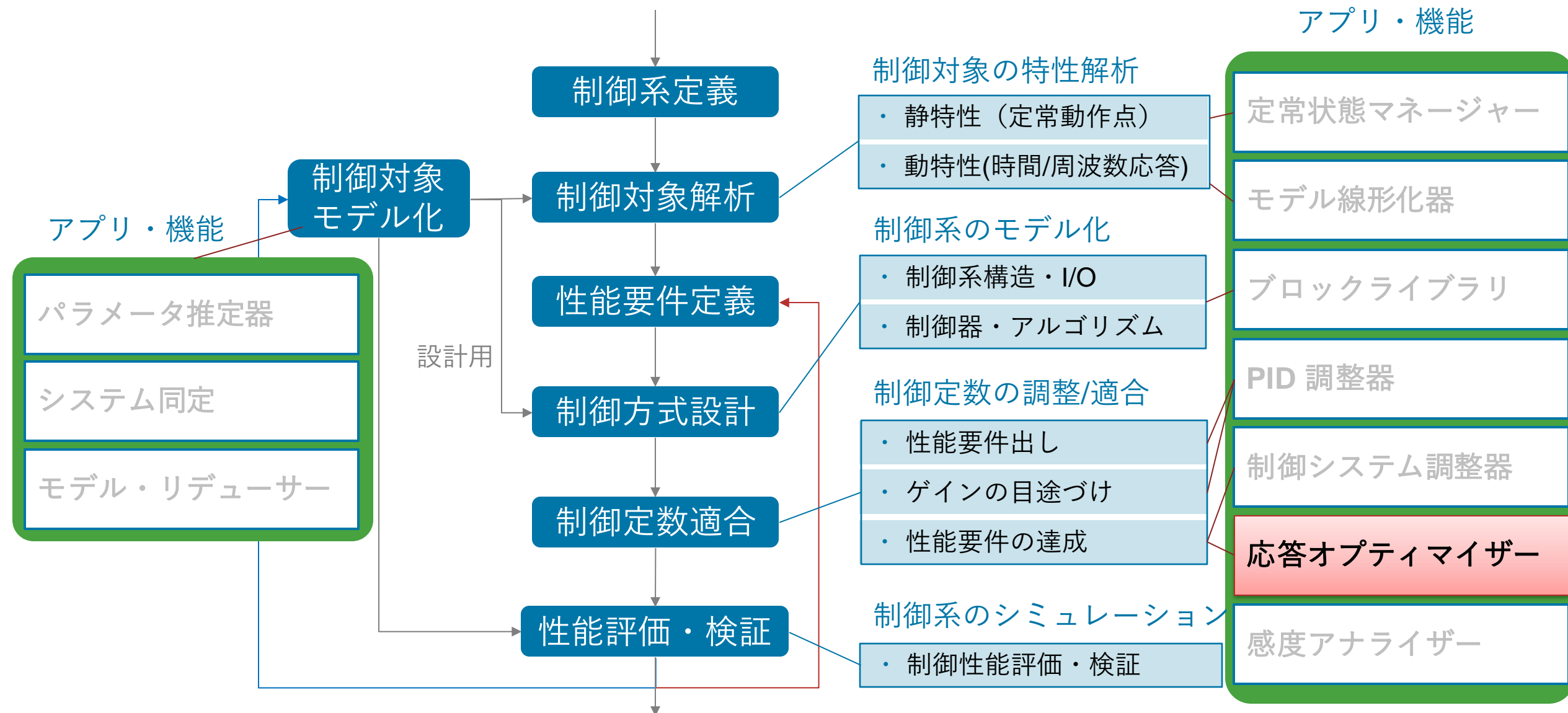


【重要】 指令値に完全追従する、理想的な制御はこの世に存在しない

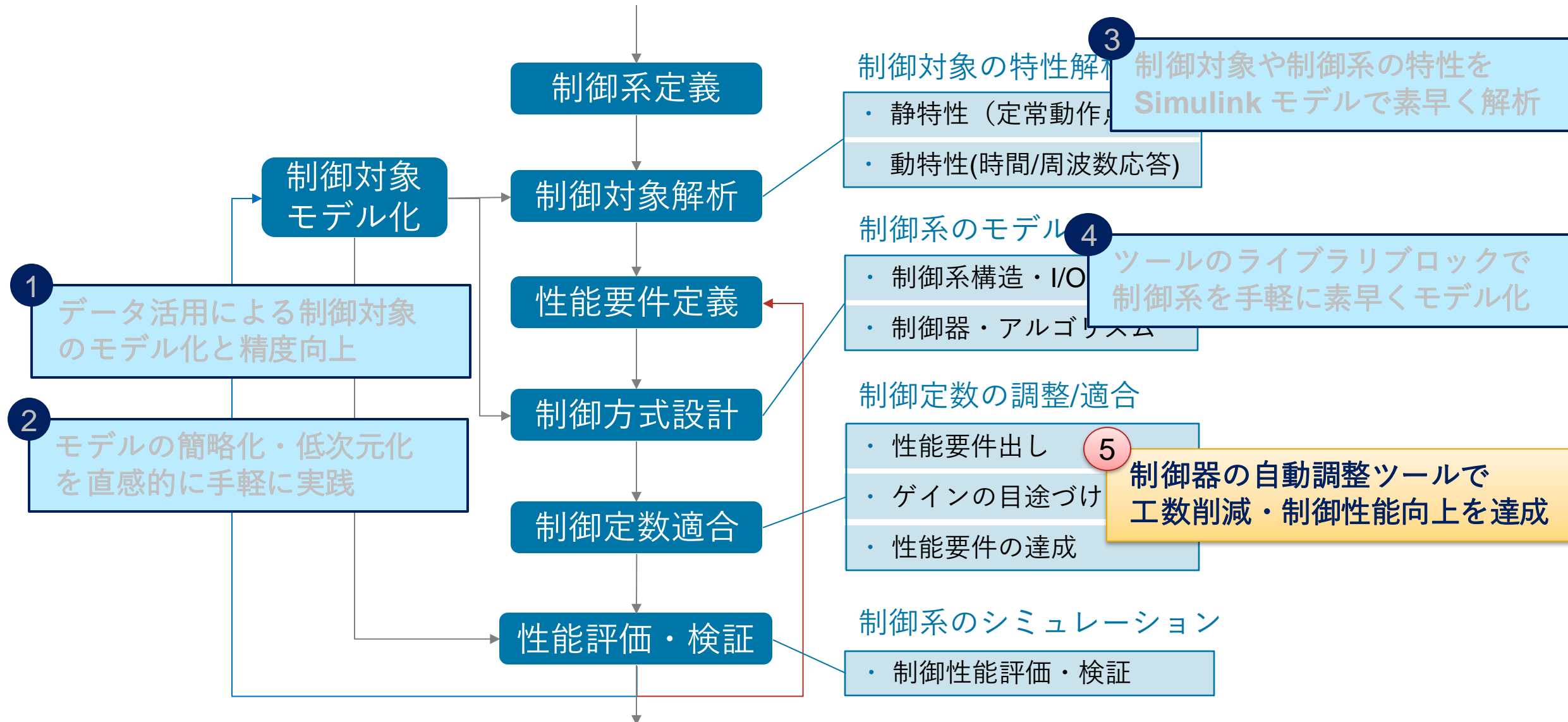
アジェンダ

- 背景
- 実験的な周波数応答推定によりプラントを同定
 - Frequency Response Estimatorブロック
 - モデル線形化器
- 最適化アルゴリズムによる制御ゲイン最適化
 - 応答オプティマイザー

使うツールの立ち位置



扱うソリューション



最適化アルゴリズムを用いて制御ゲインを自動調整

入力

制御定数指定

モデルパラメータ
(ワークスペース変数)

目標性能仕様

性能仕様定義ブロック

応答オプティマイザ
Simulink Design Optimization

出力

調整結果

- パラメータ値
- 応答性能可視化
- 最適化進行状況レポート

自動調整

使いどころ

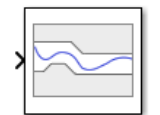
- 制御性能仕様決め
- 制御性能仕様を満足する
制御定数の適合

高速リスタート、
並列化にも対応

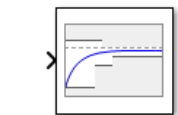
数値最適化技術

Optimization Toolbox

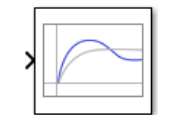
時間
応答



Check Custom Bounds



Check Step Response Characteristics

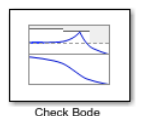


Check Against Reference

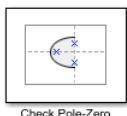
上下限

ステップ応答目標軌道

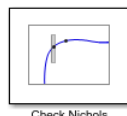
周波数
応答



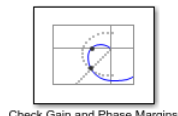
Check Bode Characteristics



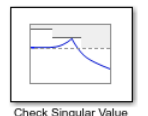
Check Pole-Zero Characteristics



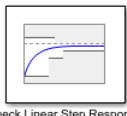
Check Nichols Characteristics



Check Gain and Phase Margins

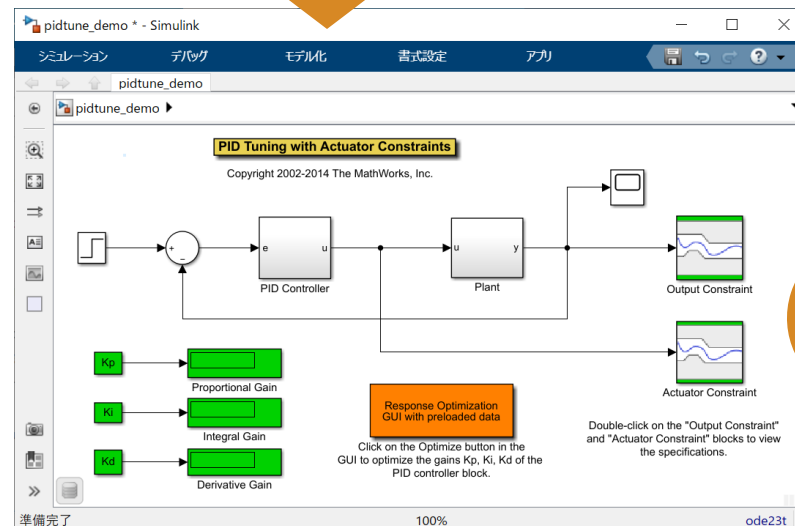
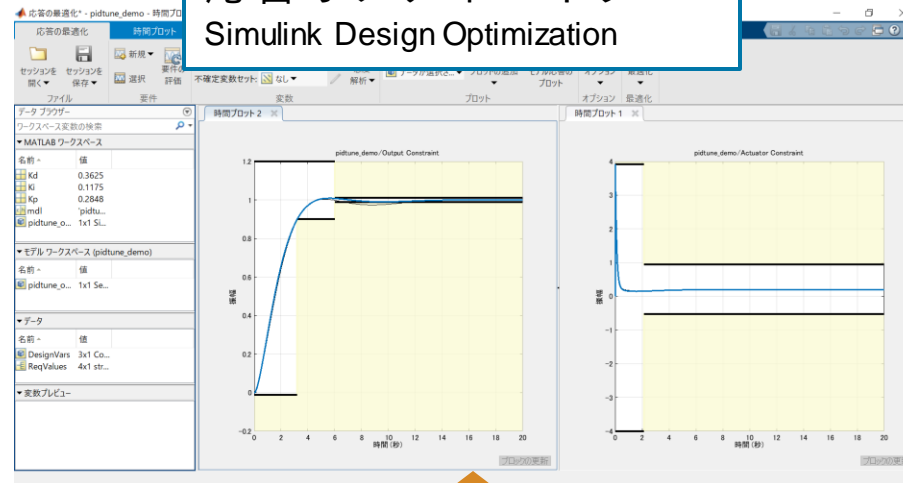


Check Singular Value Characteristics



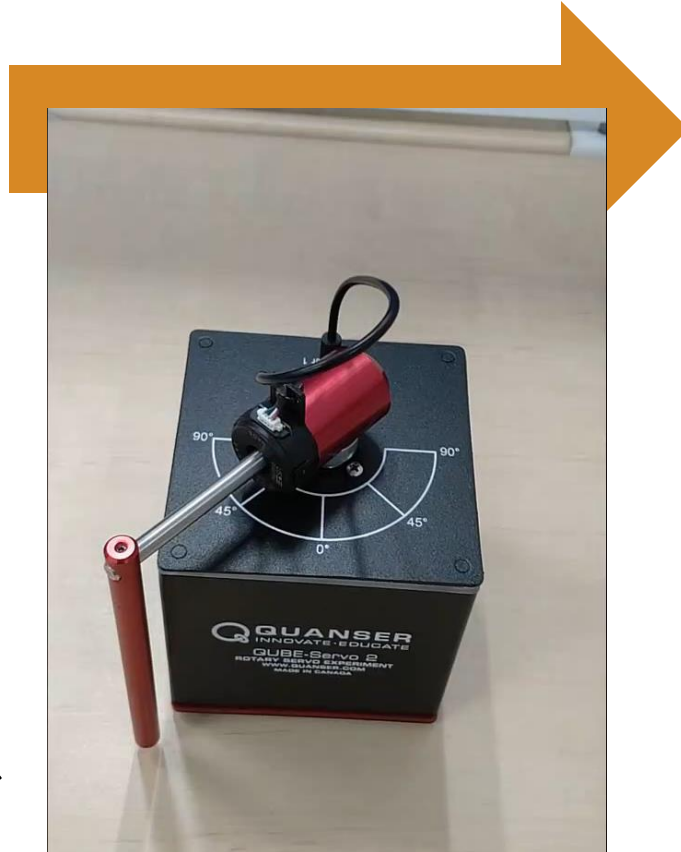
Check Linear Step Response Characteristics

ゲイン上限、極
配置、安定余裕
など



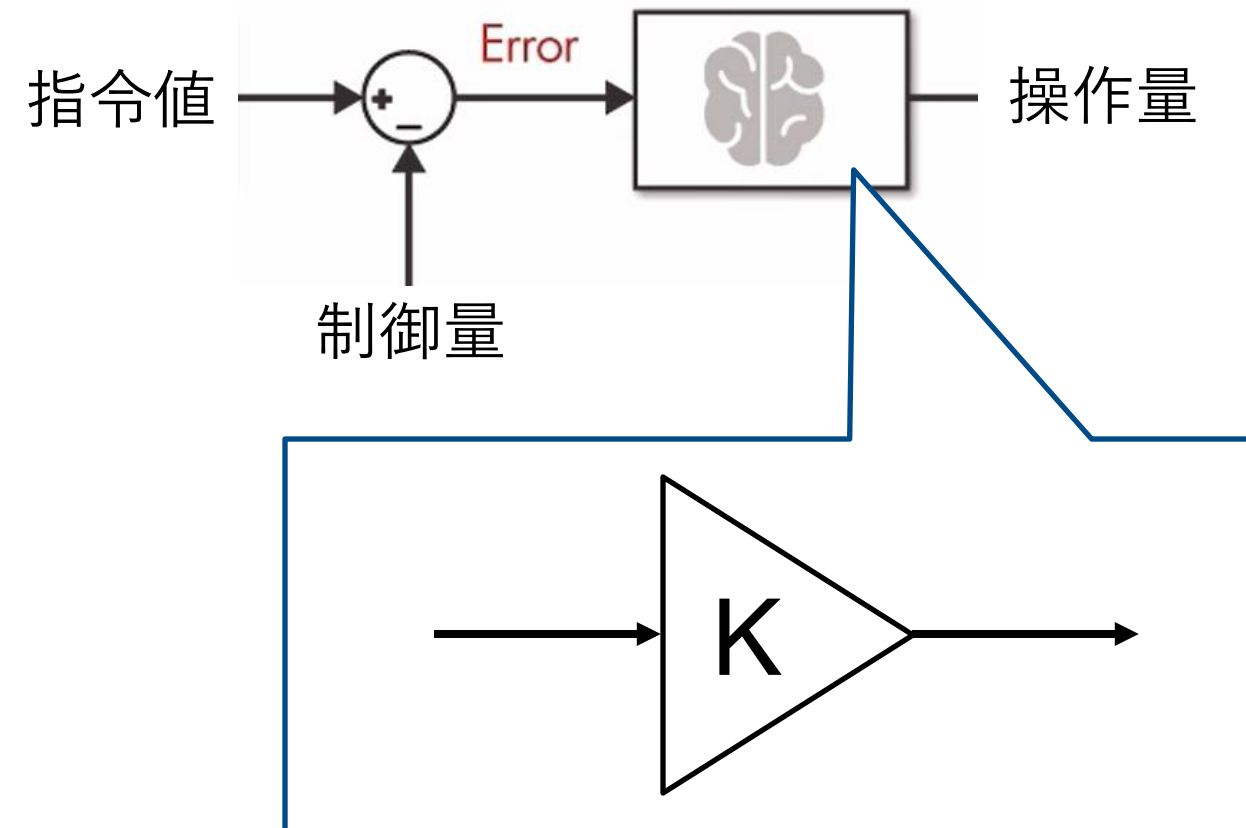
【デモ】 Quanser “QUBE – Servo 2” の振れ止め制御

真下に向いた振り子の振動を抑えながら、振り子の位置を制御する。



振れを意識せずにやると、

フィードバック制御をどのように設計するか



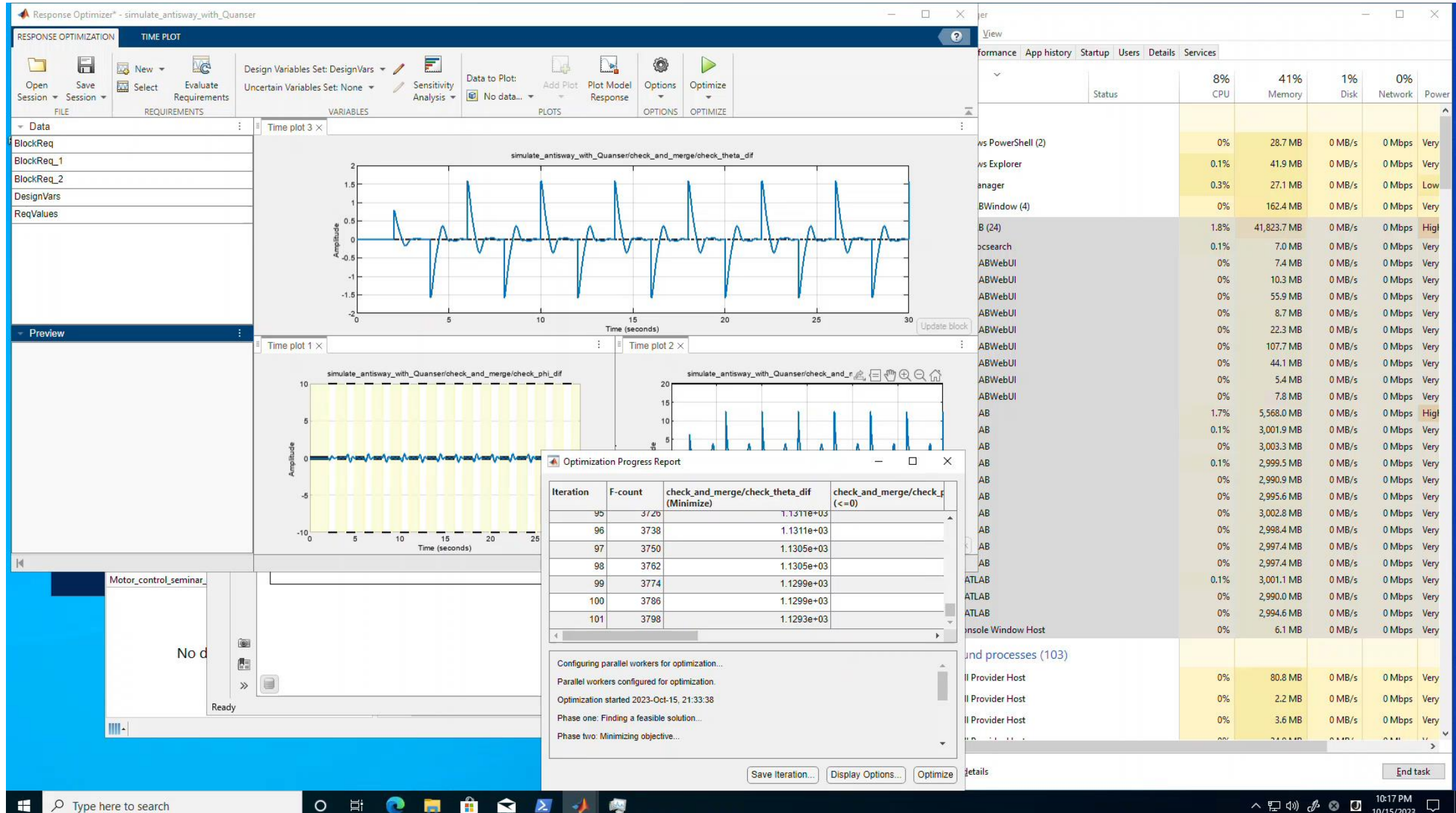
- 指令値
 - モーター角度
 - 振り子角度
- 制御量
 - モーター角度
 - 振り子角度
 - モーター角速度
 - 振り子角速度
- 操作量
 - モーター電圧
- ゲイン
 - ?



変化率が測定できているのであれば、是非制御に活用しましょう。

応答オプティマイザーで調整した結果

最適化にかかった時間：約45分



【参考】応答オプティマイザーを実行したPCの性能

Device specifications

Device name

Processor Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2697 v4 @ 2.30GHz 2.30 GHz (2 processors)

Installed RAM 120 GB

Device ID

Product ID

System type 64-bit operating system, x64-based processor

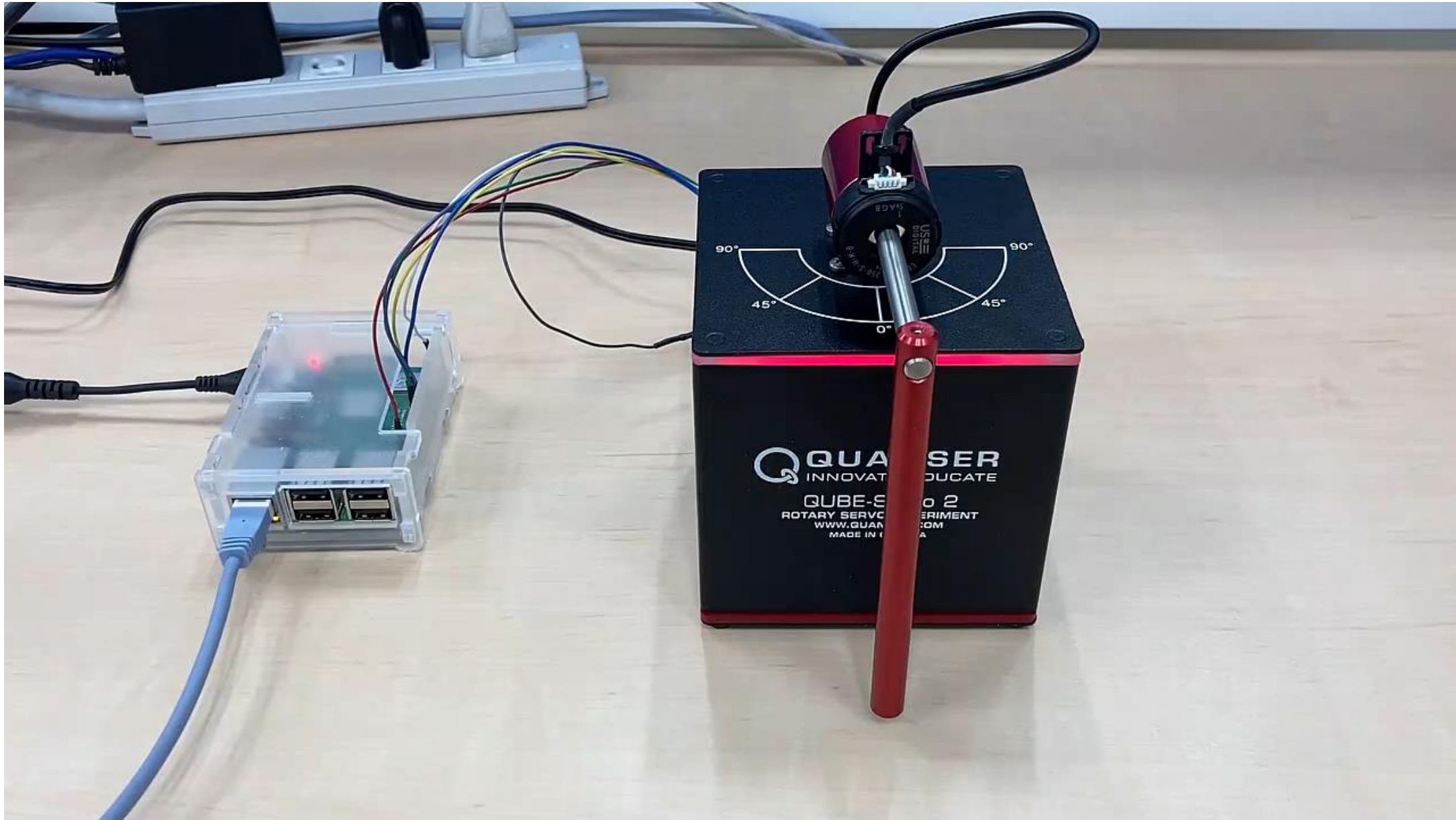
Pen and touch

Rename this PC

Windows specifications

Edition	Windows 10 Enterprise
Version	1909

調整したゲインを使って実機試験



実機試験

angle_ref: 角度指令値[rad]

sensor_sim(1): モーター角度
(シミュレーション) [rad]

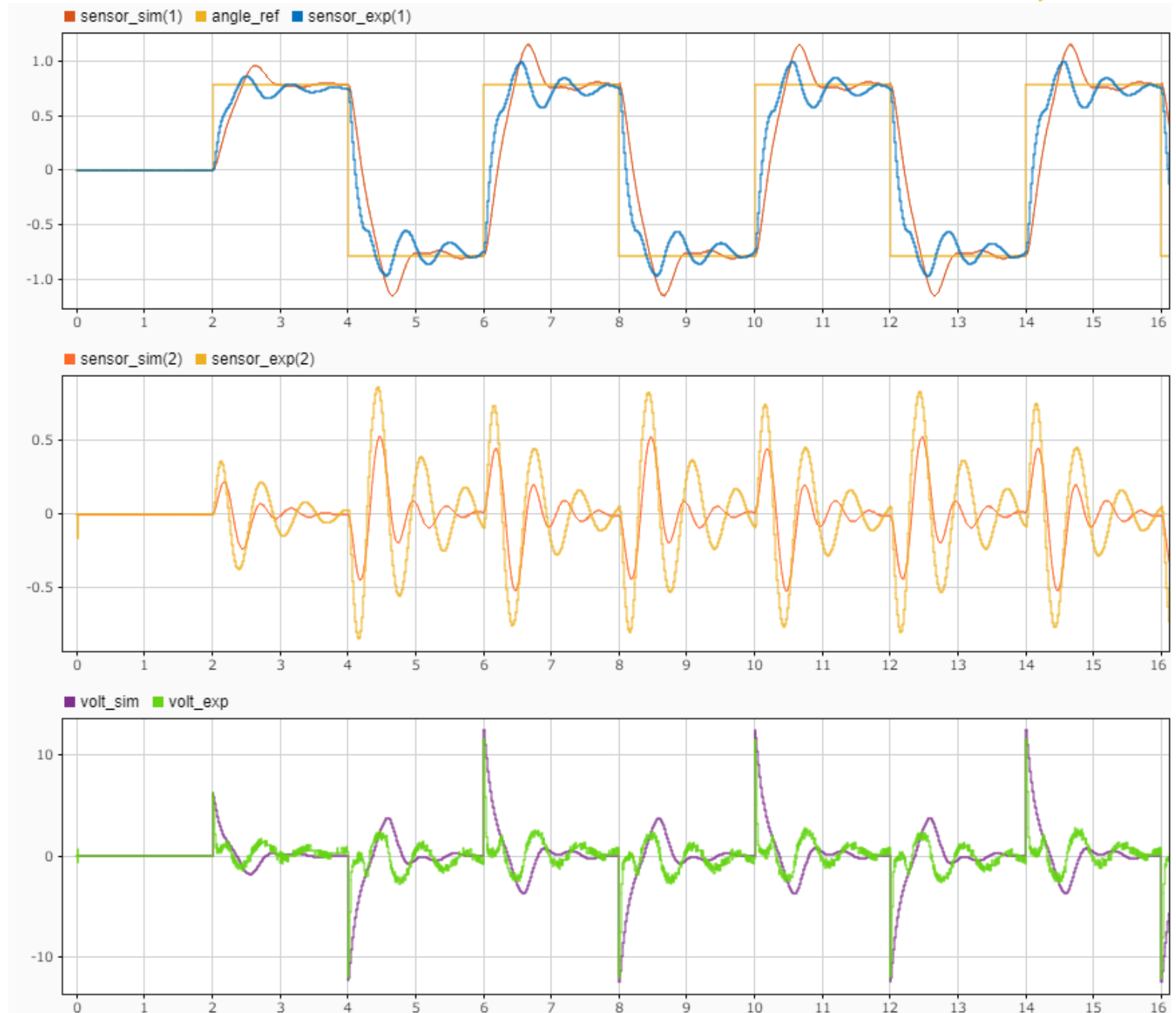
sensor_exp(1): モーター角度
(実機) [rad]

sensor_sim(2): 振り子角度 (シ
ミュレーション) [rad]

sensor_exp(2): 振り子角度 (実
機) [rad]

volt_sim: 電圧指示値 (シミュ
レーション) [V]

volt_exp: 電圧指示値 (実機) [V]

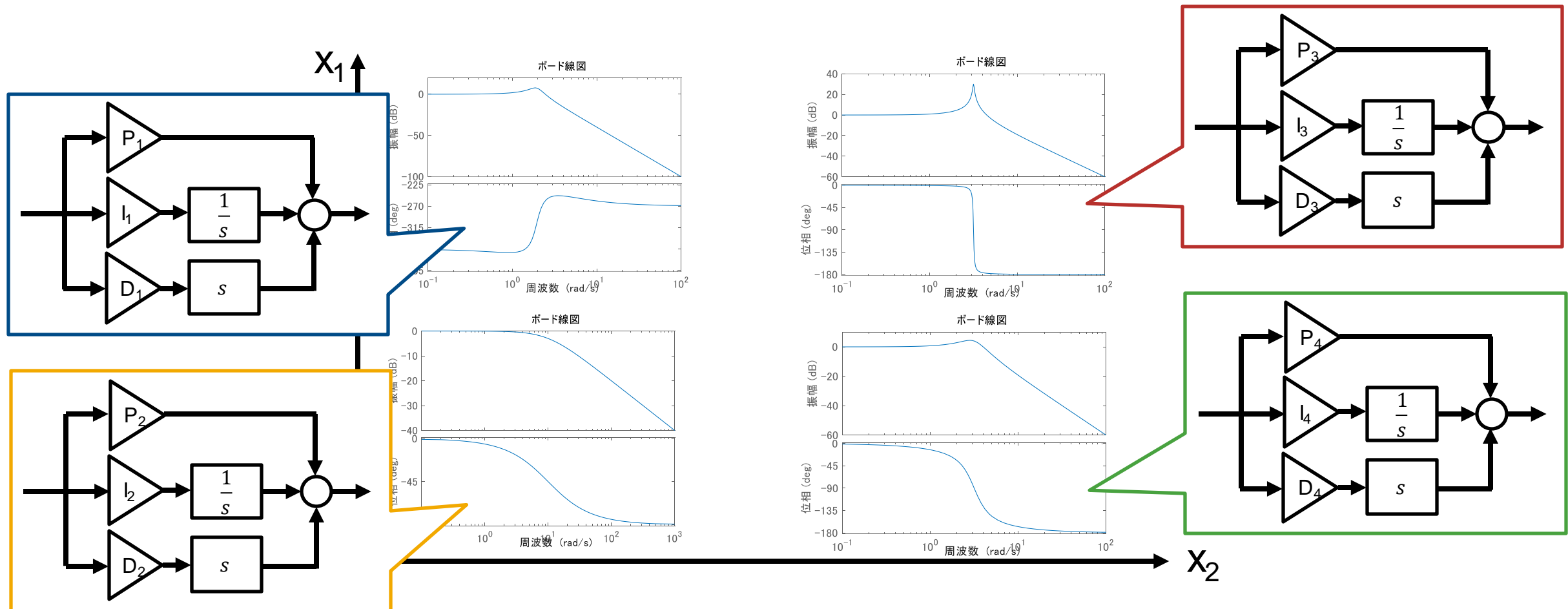


結果の考察

- ある程度プラントモデルが正確であれば、プラントモデルに対して調整したゲインをそのまま実機に適用できる
- プラントモデルが正確であればあるほど良いが、制御目的によっては、完璧な精度を求める必要はない
- 最後のゲイン調整は実機で行う必要があるが、最初から実機でやるよりも、事前にシミュレーションで当たりを付けておく方が効率が良い

ゲインスケジューリングPID制御

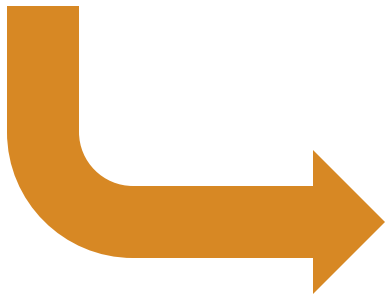
非線形システムを状態の領域ごとに区分し、その領域において最適なPIDゲインを設定する。領域間は線形補間などで繋ぐ。



まとめ

まとめ

- Frequency Response Estimatorブロックを使って、実機からプラントモデルを同定できる
- 多入力多出力システムの場合は、モデル線形化器を使ってシステム同定できる
- 応答オプティマイザーを使って、最適化アルゴリズムによる制御ゲインの調整ができる



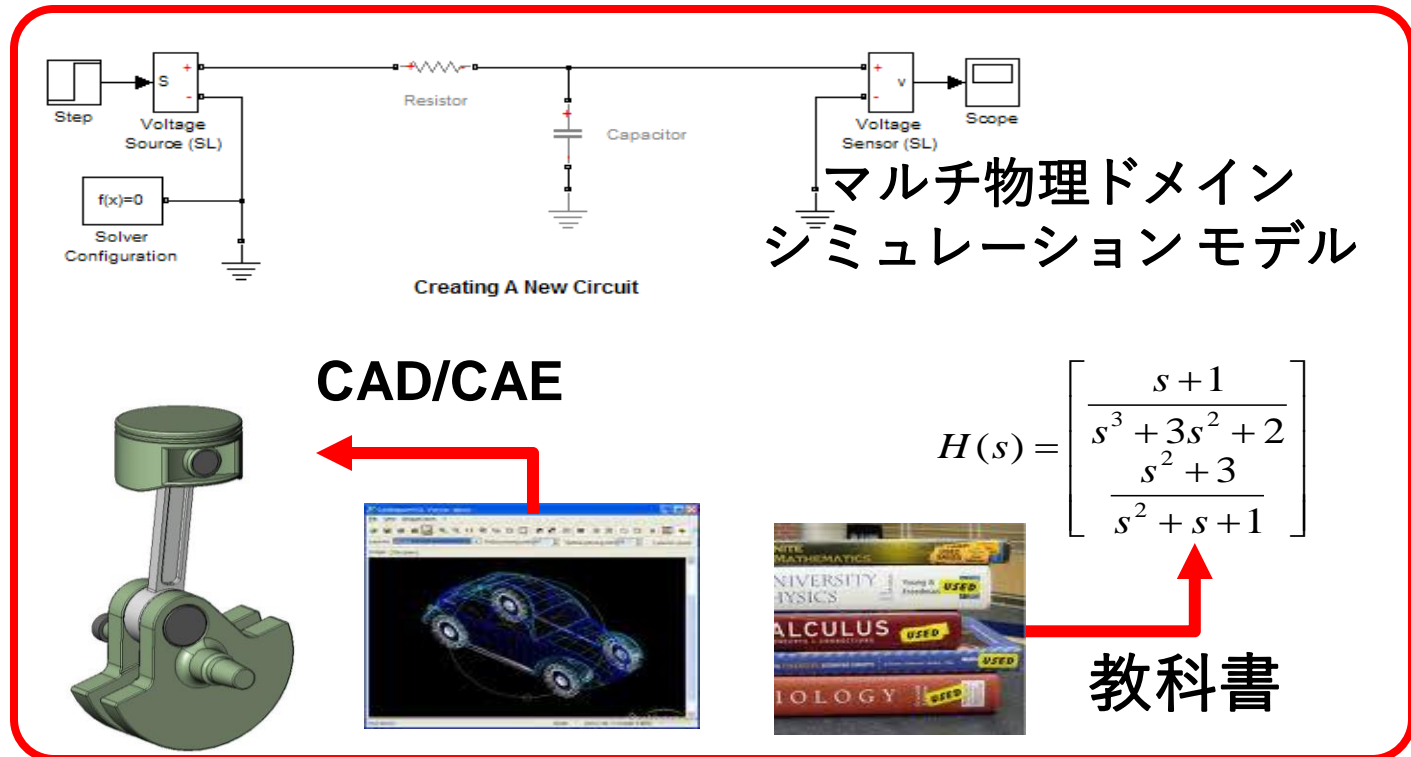
MATLABを使えば、制御理論に関する知見がなくても、すぐに制御設計を始められます！

次のステップ

プラントに対する知見は、あった方がよい

理由：知見があれば、より良いプラントモデルを効率的に作れる

- 数式からモデリング
- ニーズに合わせて詳細度の調整
- パラメーターの当たりづけ
- 分野独特のセオリーが使える



制御理論に対する知見は、あった方がよい

理由：制御系設計業務を効率化でき、より高品質な制御を実現できる

- 古典制御
 - 制御システムの安定性解析、ゲイン位相余裕
- 現代制御
 - 多入力多出力の制御器設計、センサーで計測できない状態をリアルタイム推定（カルマンフィルター）
- ロバスト制御
 - モデル化誤差を許容し、制御性能を担保
- モデル予測制御
 - PID制御では実現できない制御応答を実現

補足資料

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（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 ・ Frequency Response Estimator ブロック ・ 制御システム調整器
7	Simulink Design Optimization 数値最適化	Simulink モデルのパラメータ自動調整 ・ パラメータ調整器 ・ 応答オプティマイザー
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

トレーニング

- Simulinkによる制御設計

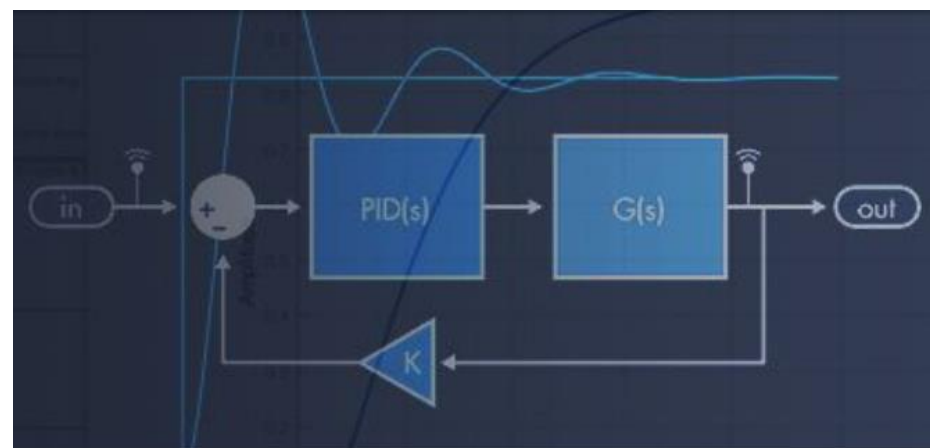
- <https://mathworks.com/learn/training/control-system-design-with-simulink.html>

コースの詳細

この2日コースではモーター駆動システムを取り上げ、MATLAB と Simulink を使用した閉ループ制御システムの設計方法（モデル化、制御設計、検証）について学びます。本コースでは MATLAB、Simulink の他に、主に Control System Toolbox、System Identification Toolbox、Simulink Control Design、Simulink Design Optimization を使用します。

詳しくはコース概要をご確認ください。

- 制御システム設計の概要
- システムモデリング
- システム解析
- 制御設計
- コントローラーの実装



MATLAB/Simulink 関連書籍を検索

<https://www.mathworks.com/academia/books.html>



製品 ソリューション アカデミア サポート コミュニティ イベント

MATLAB を入手する

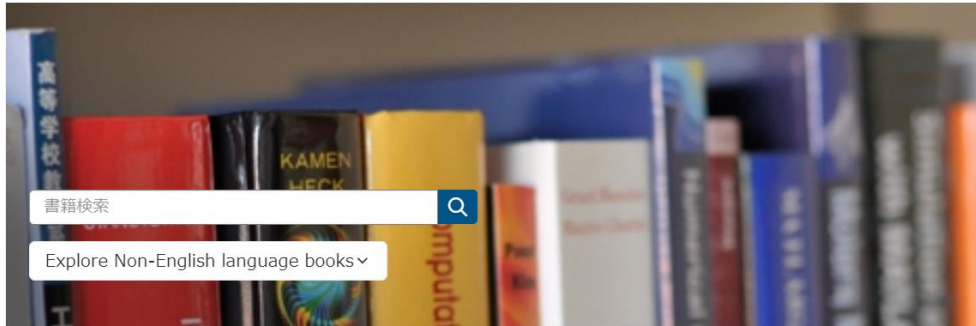


MATLAB/Simulink 関連書籍

書籍検索

書籍 🔍

関連書籍トップページ | 検索 | Book Program に参加する



2000 冊以上の教員、学生、専門家向け書籍

MathWorks のツールの研究や開発用途での普及を反映して、MathWorks 製品の関連書籍の数も増加を続けています。内容には、MATLAB、Simulink などの MathWorks 製品に関する理論、実世界での実践例、および演習が含まれています。エンジニアリング、科学、金融、数学など各分野の講師が使用する教材にもなり、大学や産業界において信頼できる参考文献として活用されています。

MATLAB 入門 - zyBook

このウェブベースの書籍では、インタラクティブな質問やアニメーション、自動評価を通して、MATLAB の基礎全般を学べます。

分野

- Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning
- 生物科学および生物医学
- 化学および化学工学
- 通信システム
- 制御システム**
- Data Science and Statistics
- デジタル信号処理
- 地球科学
- 経済学および金融工学
- エレクトロニクス
- 総合
- 画像および動画処理
- 数学
 - 微分方程式
 - 線形代数
 - 数値的手法
- 機械工学
- ニューラル ネットワークおよびファジー論理
- 神経科学
- 物理学
- プログラミングとコンピューター サイエンス
- ロボット工学
- システム同定
- システム モデリングとシミュレーション
- 実験、計測
- MATLAB および Simulink の使用

結果: 1 - 25 / 299



MATLAB/Simulinkによる制御工学入門

はじめて制御工学を学ぶ読者に最適な、わかりやすい入門書です。電気系と機械力学系を中心として、例や問題を豊富に収録するとともに、図やグラフを多く用いて、理解しやすいよう解説を工夫されています。

作者: 川田 昌克

Copyright: 2020

言語: 日本語

出版社: 森北出版

使用可能なコンパニオン ソフトウェア



自動車業界MBDエンジニアのためのSimulink入門: 4週間で学ぶSimulink実践トレーニング 第2版

本書は、自動車業界で新たにモデルベース開発(MBD) を始めるエンジニアにお勧めの Simulink の入門書です。自動車業界の実際の開発業務で使うことを目的に、基礎的な物理法則の復習モデルからトルクコンバーターやクルーズコントロールといった実製品の機能モデルまで Simulink で作成していきます。

作者: 久保 孝行




Copyright: 2019

言語: 日本語


出版社: TechShare

使用可能なコンパニオン ソフトウェア

制御理論を勉強できる書籍

分類	コンテンツ
書籍	<p>川田 昌克： MATLAB/Simulinkによる制御工学入門, 森北出版 (2020) https://www.mathworks.com/academia/books/introduction-to-control-engineering-with-matlab-simulink.html</p> <p>内容： はじめて制御工学を学ぶ読者に最適な、わかりやすい入門書です。電気系と機械力学系を中心として、例や問題を豊富に収録するとともに、図やグラフを多く用いて、理解しやすいよう解説を工夫されています。</p> 
	<p>南 裕樹： 制御系設計論, コロナ社 (2022) https://www.mathworks.com/academia/books/control-system-design.html</p> <p>内容： モノの動きをデザインするための方法をまとめた制御工学の教科書です。制御工学のスペシャリストとしての素養を身につけたい、断片的に知っている制御工学の知識を整理したい、辞書的な書籍を手元においておきたい、そんな人におすすめです。</p> 
	<p>川田 昌克： MATLAB/Simulink によるわかりやすい制御工学 第2版, 森北出版 (2022) https://www.mathworks.com/academia/books/understanding-control-engineering-with-matlab-simulink.html</p> <p>内容： 電気・機械系の例を中心とし、伝達関数に基づく時間応答/周波数応答による特性解析だけでなく、具体的なコントローラの設計例を通じて、「制御工学」を理解できます。各章の章末には MATLAB、Simulink、Control System Toolbox、Symbolic Math Toolbox を利用した演習があります。</p> 

制御理論を勉強できる書籍

分類	コンテンツ
書籍	<p>平田 光男： ArduinoとMATLABで制御系設計をはじめよう!, TechShare (2022) https://www.mathworks.com/academia/books/getting-started-in-control-system-design-with-arduino-and-matlab.html</p> <p>内容： 本書は、制御系設計をこれから学ぶ方のための入門書です。 Arduino® をベースにした安価な制御実験キットを使って、実際に制御系設計を体験しながら学ぶことができます。実際に自分で制御対象の回路やメカ機構を作成し、自作のコントローラーで制御することを体験できます。</p> 
MATLAB EXPO 公開スライド	<p>実例から学ぶ！ モデルを活用したモータ制御系開発 https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/mathworks-dot-com/images/events/matlabexpo/jp/2016/g1-motor-control-system-development.pdf</p>



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.