

データを用いた制御，および， 制御仕様の実現可能性の解析とその更新

電気通信大学 情報理工学研究科

教授 金子 修

2024年5月14日

今日のお話しのコンテンツ

データを直接使って制御器を設計・更新する技術（制御）

データを直接使って制御系を変えずに応答実現（信号生成）

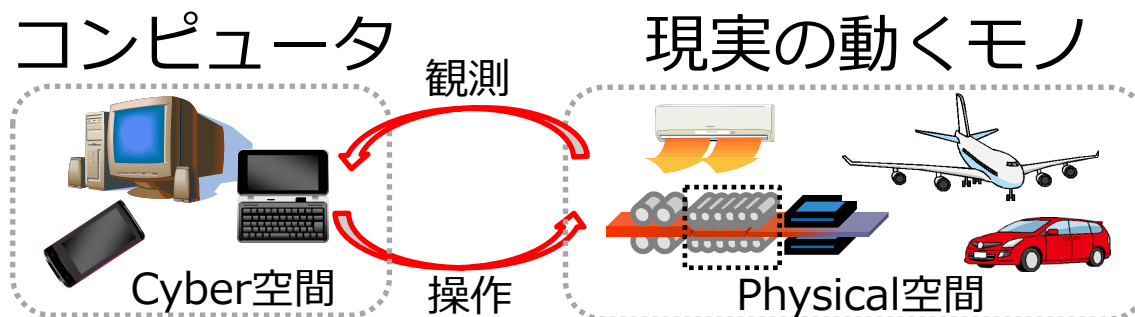
データを直接使って目標応答も更新（実現可能性を知る）

スマート QoLのための技術…制御

スマート Quality of Life…

- 安心・安全な社会インフラ：安定した操業・運転
飛行機・船・電車・電力・水道…
- 健全な生産活動：ハイコストパフォーマンス・高精度
製鉄・化学工業・食品・FA・OA…
- 日常生活に息吹を与える：便利さの追求・高品質
エアコン・冷蔵庫・自動車・電子機器…

「モノ」や「コト」の動きを見極め自在に操る方法—制御—

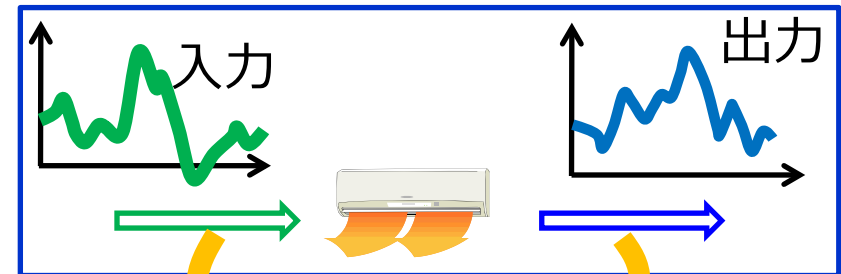
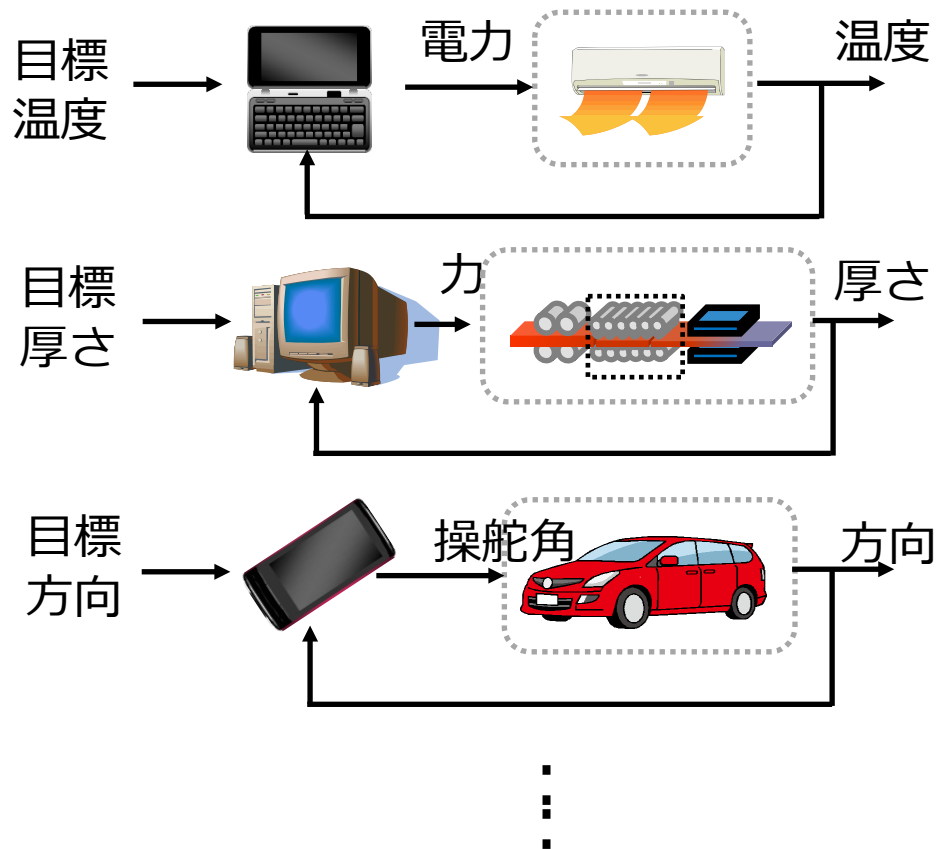


Cyber Physical Systems (CPS)

従来技術とその問題点

制御器を設計するにはモデルが（通常）必要

制御器を作るには動き方の法則（数式モデル）を知る必要



入出力データから
動き方の法則を抽出

$$Y(s) = G(s)U(s) \quad \begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases}$$

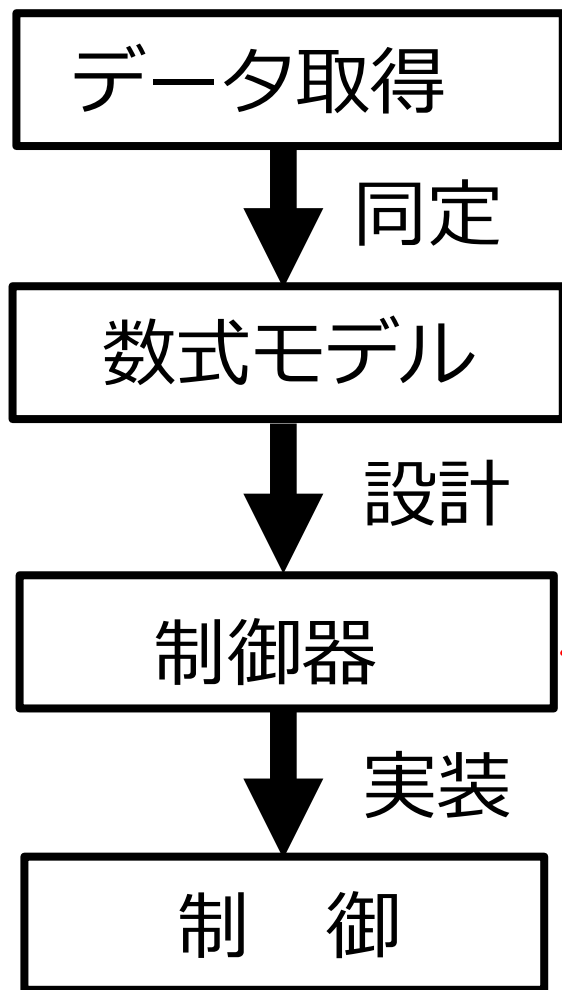
適切な制御器を設計・更新

どのような場合でも「モデル」を得ることはできるだろうか？
得られない場合はどうしたらよいだろうか？

新技術の特徴

データを直接用いて制御器を設計

動特性を表す数式モデルを
データより構成：システム同定（重要）



理想的な同定実験ができない
状況への対応も重要

安全性

プラントや装置の励振が×
→ 操業データの有効活用

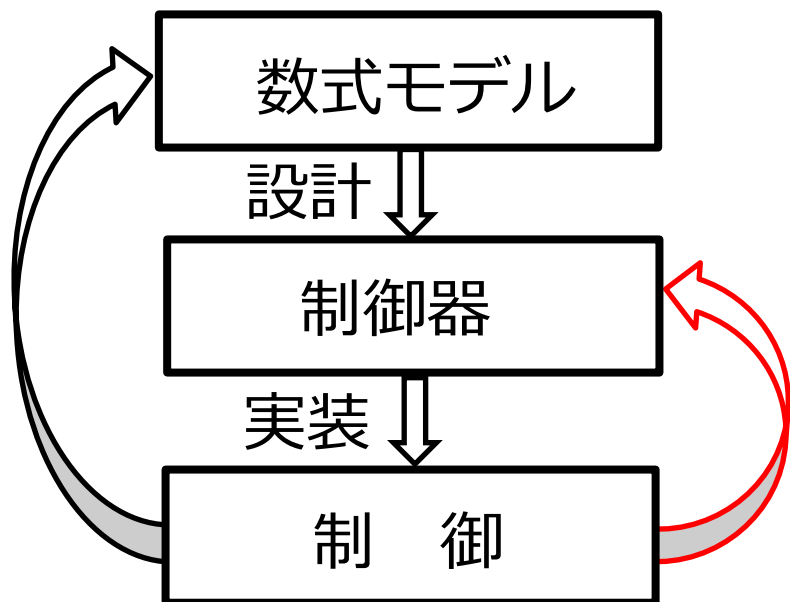
運用・操業

コスト（時間，人件費）が×
→ 短時間で性能上げる

新技術の特徴

データを直接用いて制御器を更新

既に装置やプラントは
稼働・操業



実装制御器の性能劣化への対応
⇒ 保守・点検時における**効率的なパラメータ更新・調整**

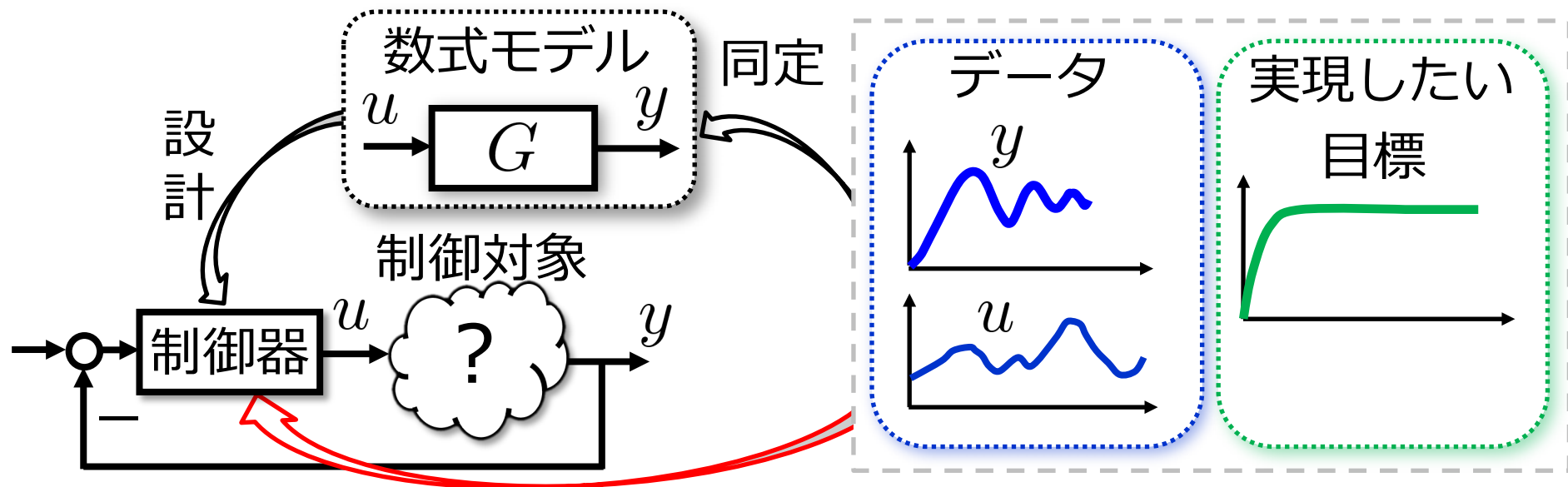
同一製造装置の多品種少量生産
⇒ **製品・材料ごとの
ファインチューニング**

老化・経年変化・異常等
⇒ **劣化に対する効率的性能改善**

熟練者は挙動をみて直接調整
⇒ **定量的・効率的な調整の再現
コストダウン・データ有効活用**

新技術の特徴

データを直接用いた制御：データ駆動制御



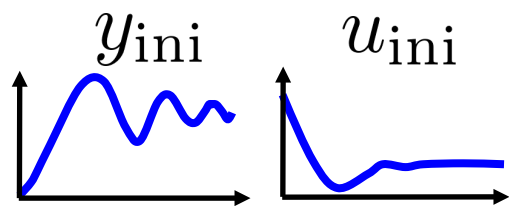
データ駆動制御
データからダイレクトに制御器を作る (設計・更新)

[どのようなときに役に立つか?]

- 対象の特性が複雑すぎる時
- 生産・設計にかかる時間やコストを抑えたい時
- 装置等のメンテナンスを簡単に実行したい時
- 多品種・少量生産での個別設定をしたい時
- 操業データ・実験データを有効活用したい時

Fictitious Reference Iterative Tuning (FRIT)

(1) 対象のデータを
を取得



(2) 擬似参照信号 $\tilde{r}(C)$ を構成

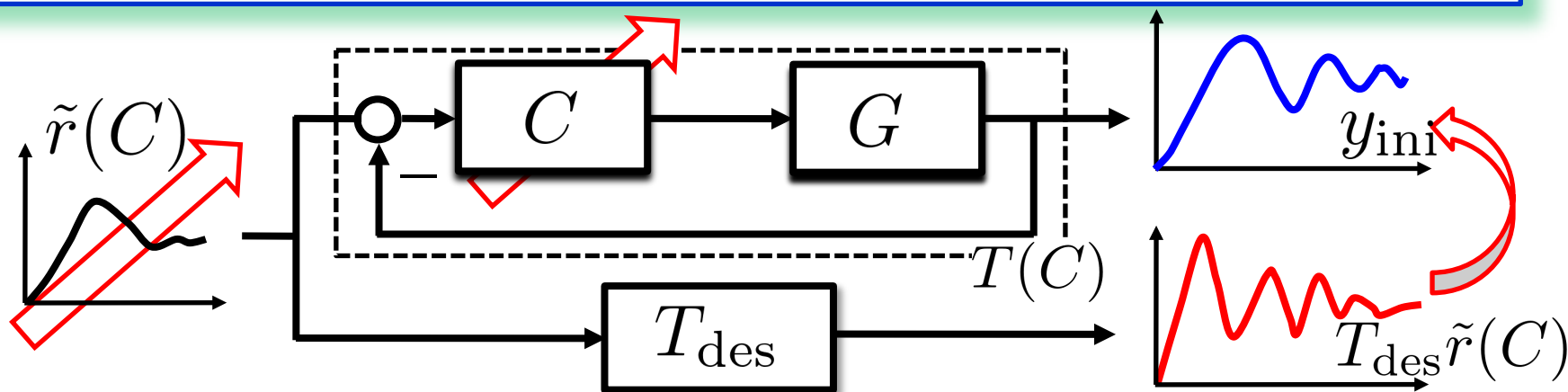
Fictitious Reference

$$\tilde{r}(C) = C^{-1}u_{ini} + y_{ini}$$

仮想閉ループ系 $T(C)$ に印加

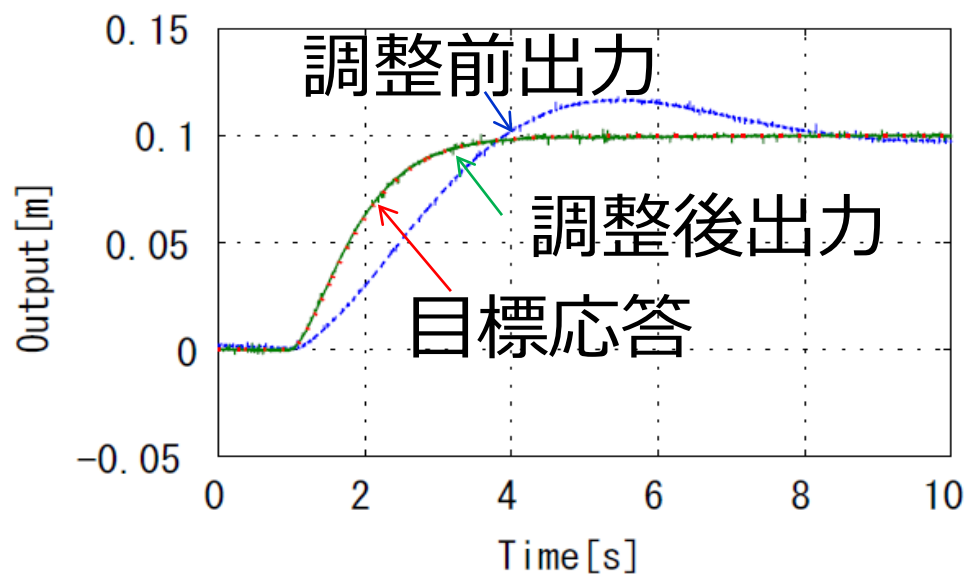
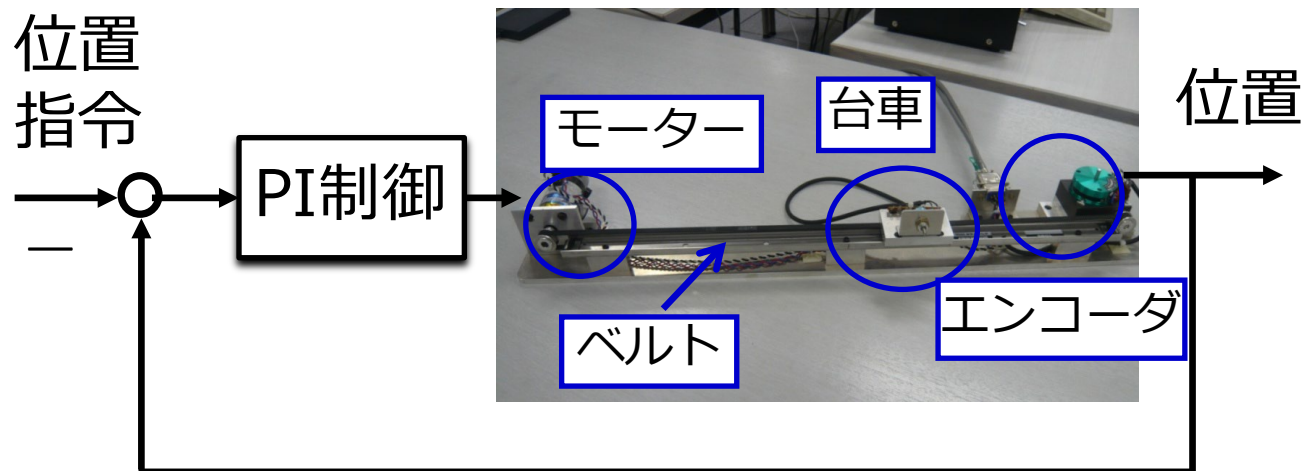
$$T(C)\tilde{r}(C) = y_{ini} \quad \forall C$$

(3) オフライン最適化 $\min_C \|y_{ini} - T_{des}\tilde{r}(C)\|$



一組のデータとオフライン最適化のみで所望の制御器を獲得

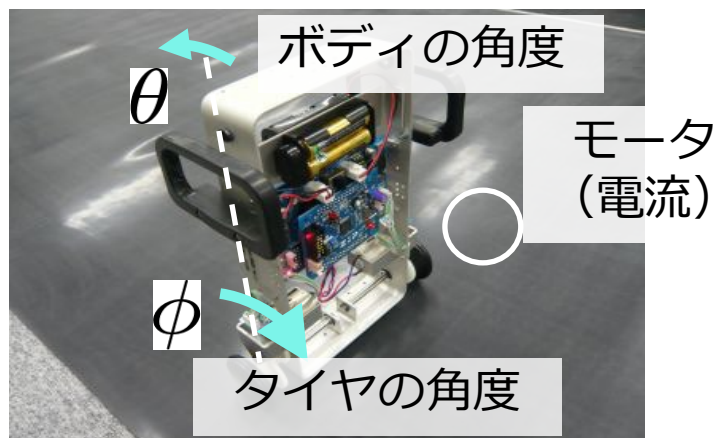
FRITの適用例：高精度位置決め制御



データ
だけで可能！

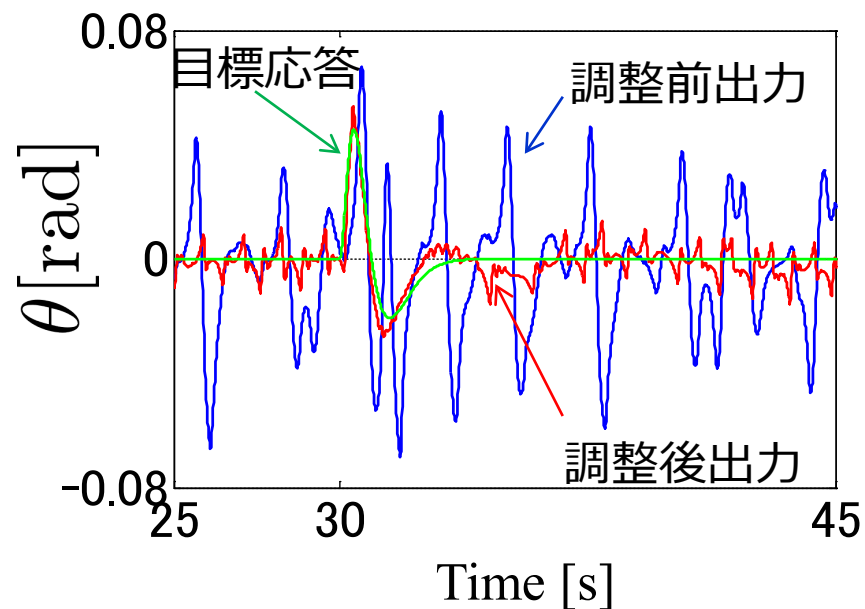
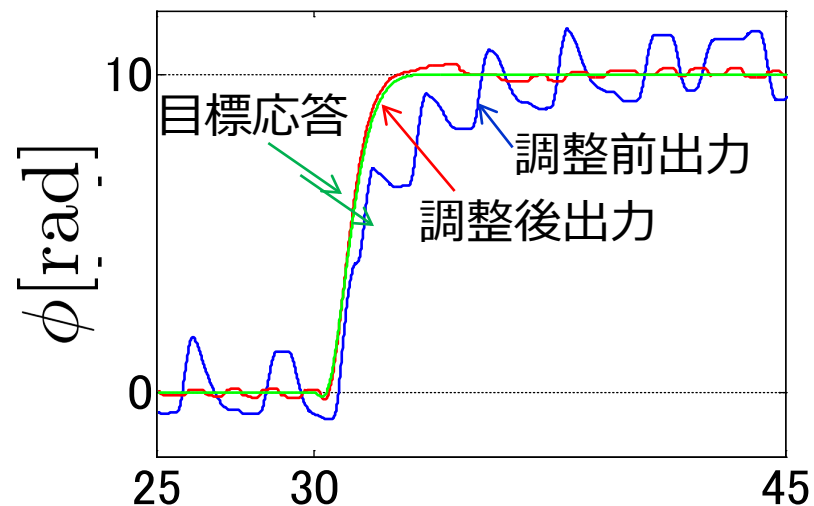
一組のデータのみで高精度な位置決め
制御性能を実現！

FRITの適用例:安定な動作を手に入れる

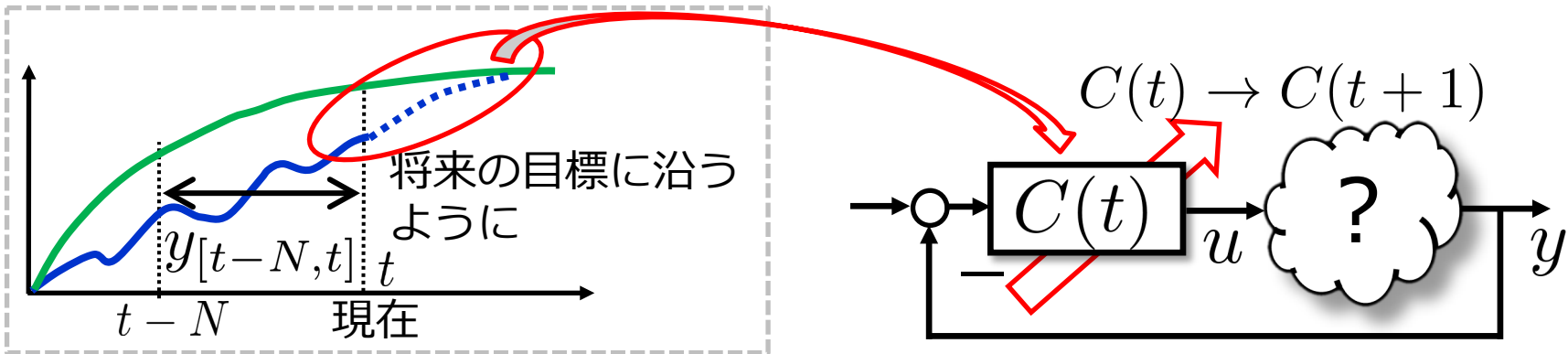


自走式倒立移動二輪 e-neuvo WHEEL
(株式会社ゼットエムピー製)

一組の実験データのみで
より安定な動きを実現!



FRITのリアルタイム化 —特性変動を抑える・故障に耐える—



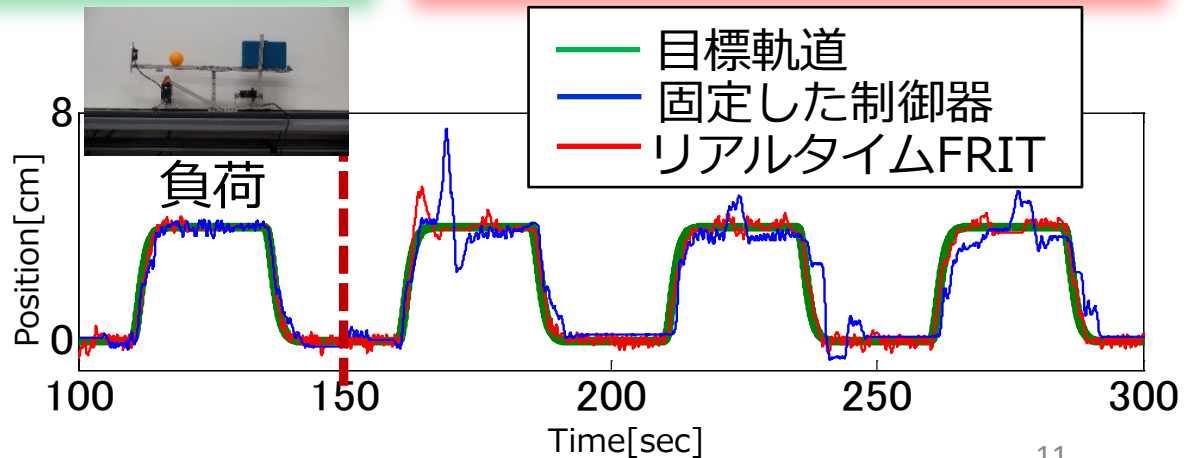
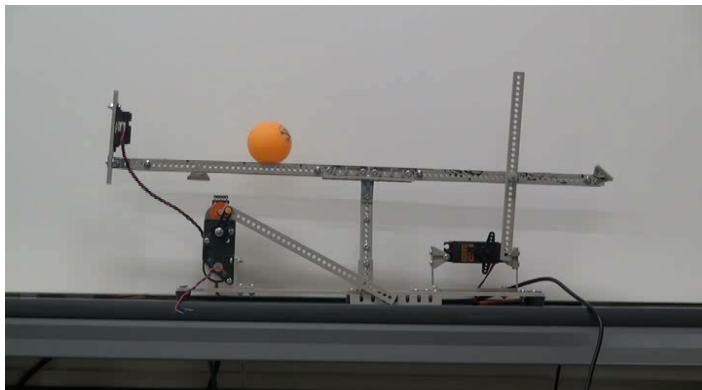
過去の有限データを利用した最適化

$$\tilde{r}(C) = C^{-1}u_{[t-N,t]} + y_{[t-N,t]}$$

$$C(t+1) = \min_C \|y_{[t-N,t]} - T_{des}\tilde{r}(C)\|$$

- データのみで目標軌道をリアルタイムに実現
- 耐故障制御にも期待

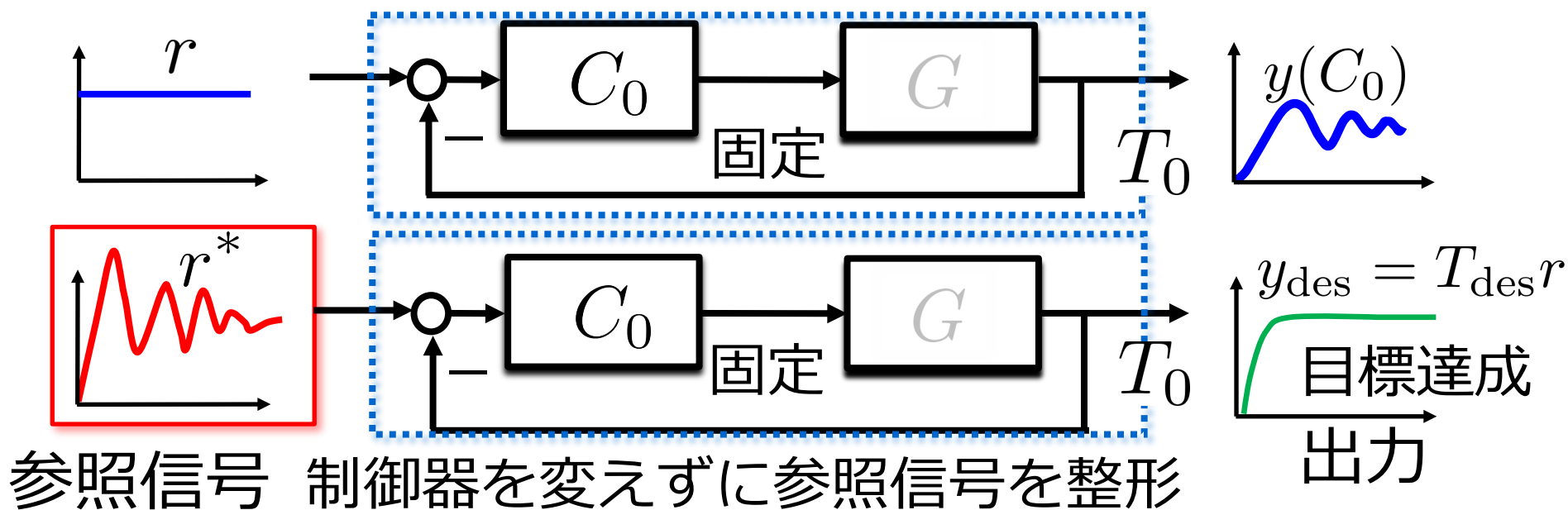
例：ボールバランシング



新技術の特徴

制御器を変えずに望ましい応答？ データ駆動参照値整形

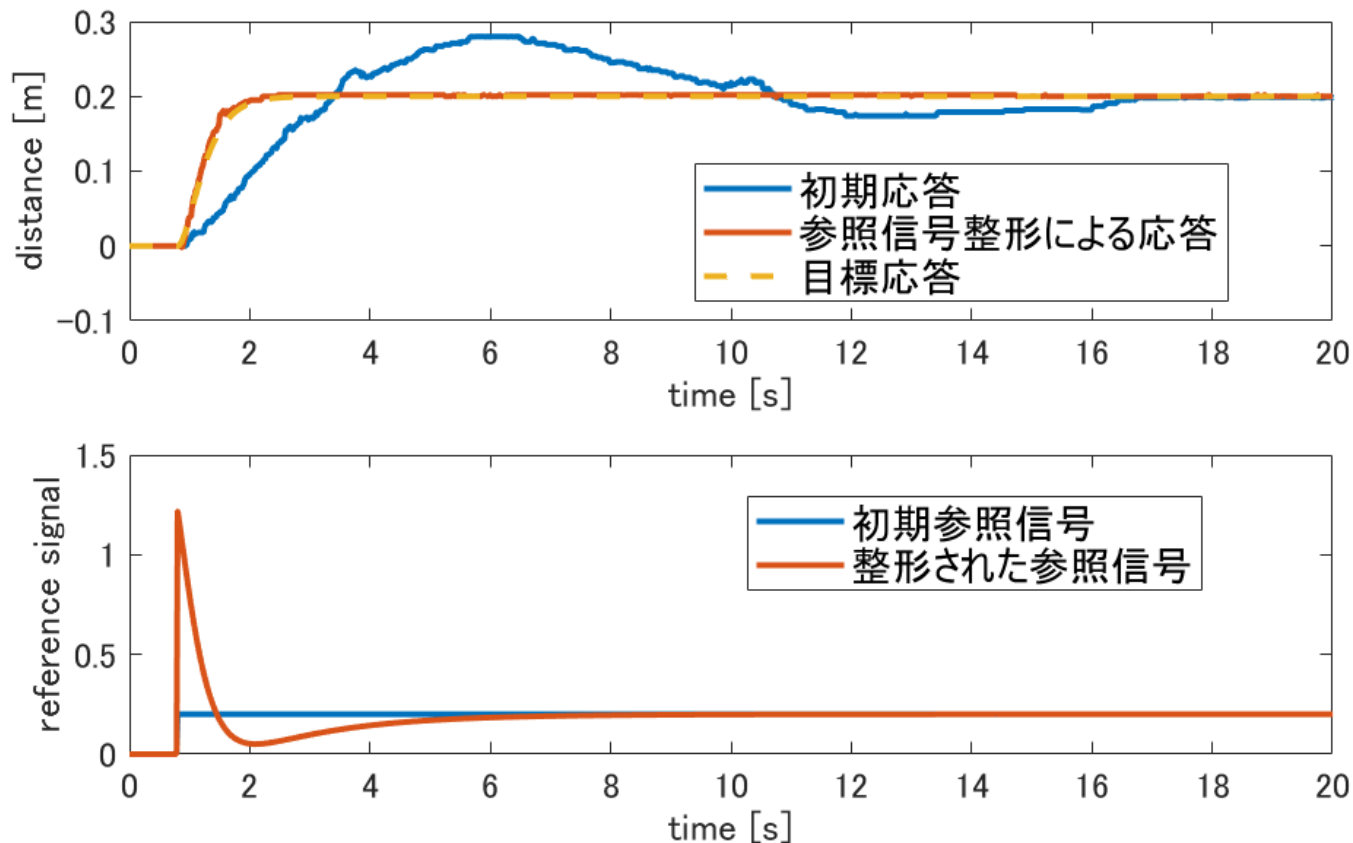
- 制御器を変更が不可
- ・安全操業・運転は維持したい
 - ・組込済みで変更自体不可能



桑原・池崎・金子 特許2019-039430出願中 (2019)

データを直接与えて制御器を変えずに望ましい応答へ

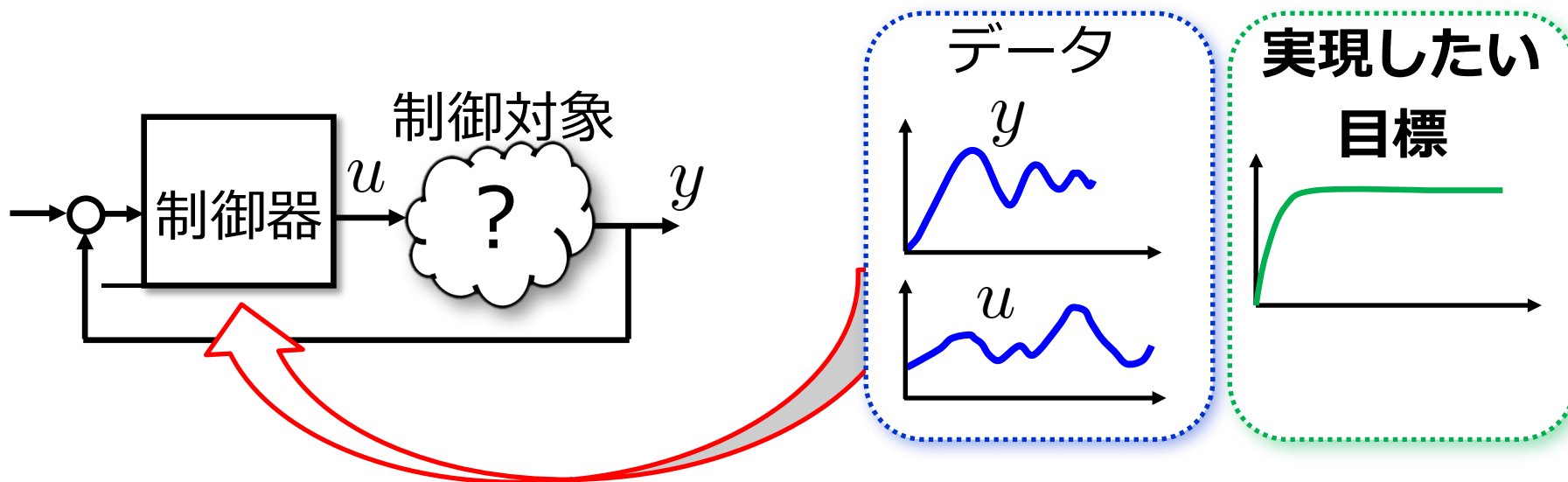
データ駆動参照値整形：実験例



制御系を変えずに適切なデータを印加して目標応答を達成

従来技術とその問題点

データ駆動制御におけるニーズ



IFT, VRFT, FRIT, ERIT, ...

与えられた目標に対して忠実に実現するための方法論

目標応答はどうやって決めるのか？

目標応答が「最適」とは？

…範疇を超えるのでここでは除外

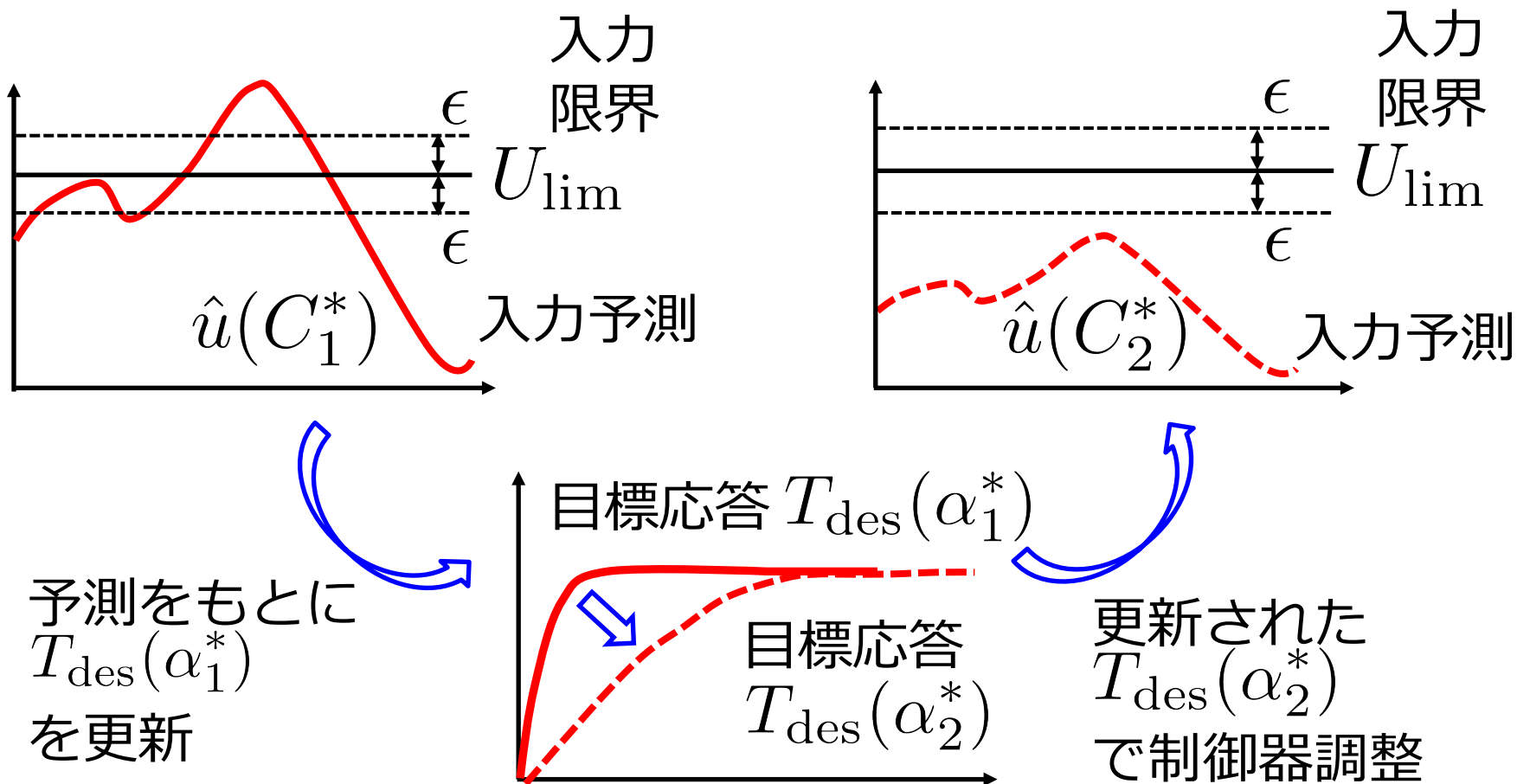
実現しうる目標はどのように決めるのか？

相対次数, 安定性, 定常ゲイン, 他には？

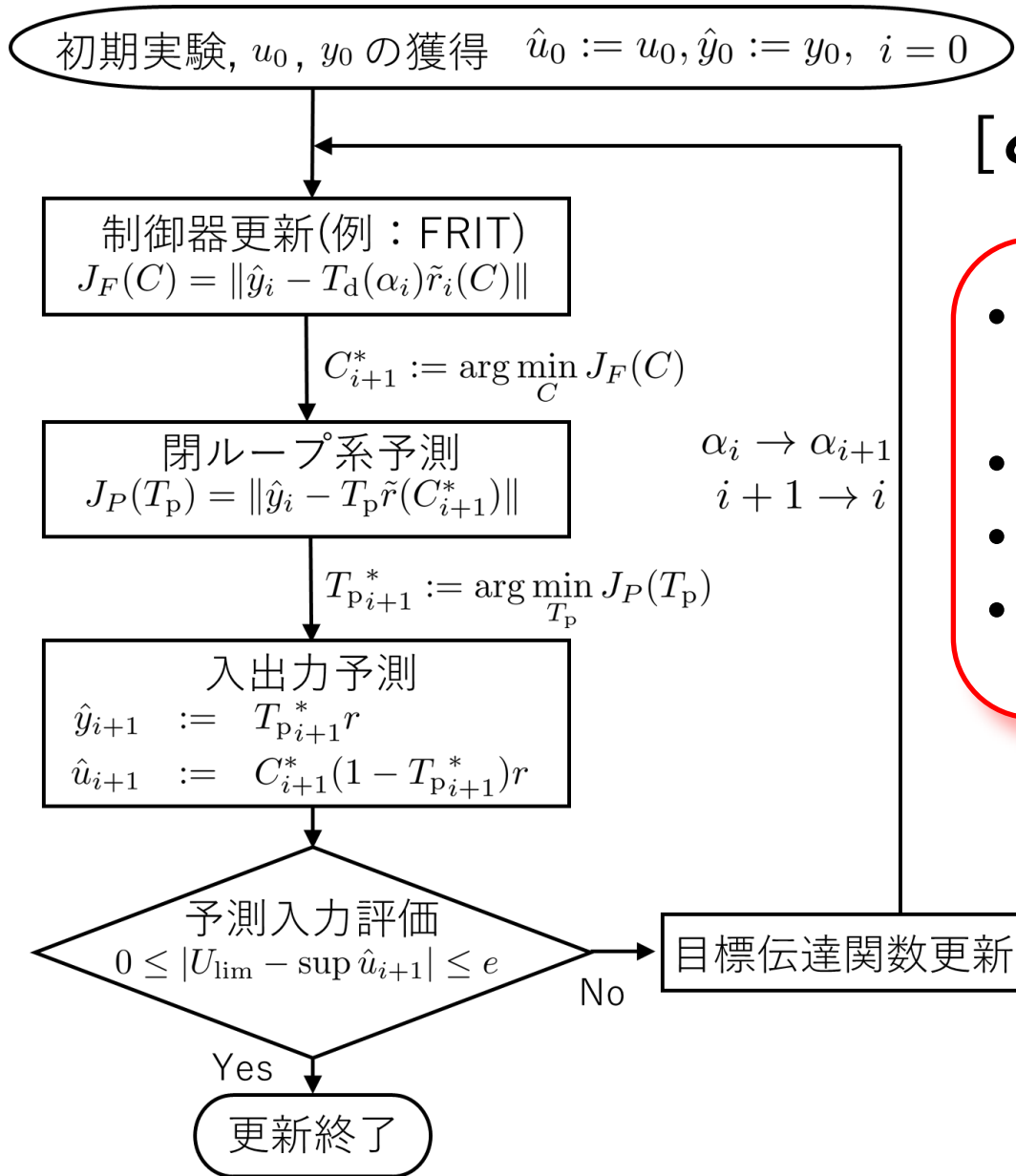
新技術の特徴

データを使って目標応答も適切に更新

データ駆動予測により，事前に入力，出力制約を満たすかどうかをチェック…その範囲内で最良の応答性を持つ目標応答伝達関数に更新



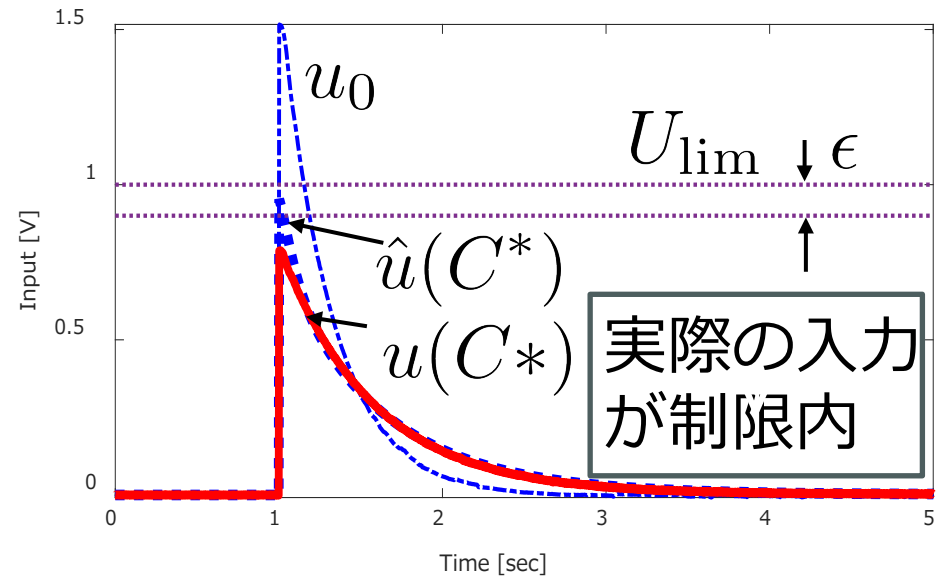
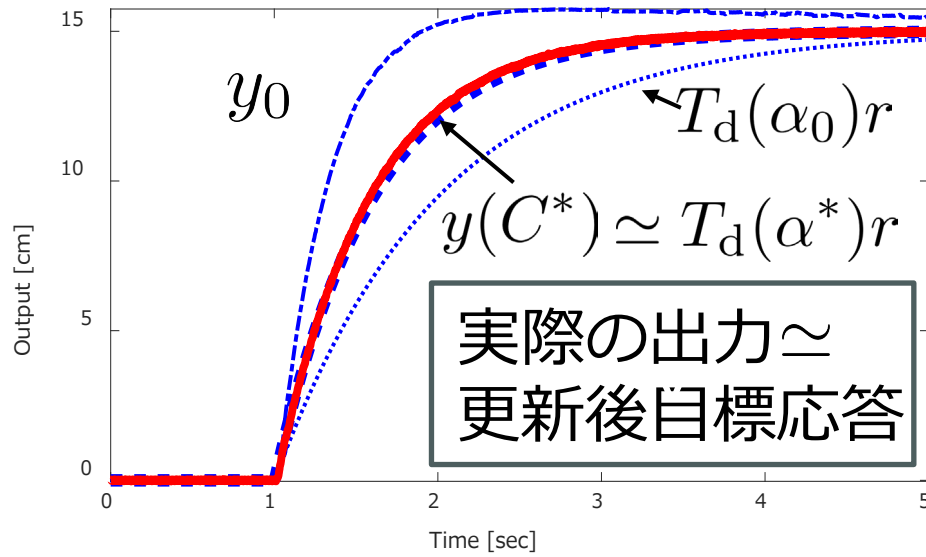
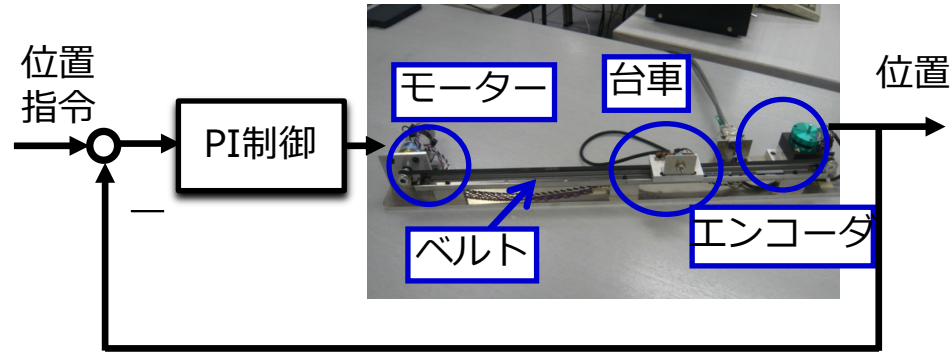
データ駆動制御・予測・目標更新アルゴリズム



[どういうときに役に立つか?]

- 対象にとって適切な仕様が不明な時
- ゴールが不明なとき
- 限界を知りたいとき
- 限界を考慮した応答をさせたいとき

データ駆動制御・予測・目標更新の実験例



想定される用途

- 工場の生産設備やプラントなどの社会インフラの制御
- 自動車や家電など複雑な特性を有する組み込み機器の制御
- 運用中のデータを利用した迅速な保守更新
- 医療関係など、余分な実験をおこなえないような分野

実用化に向けた課題

- 現在、データ駆動制御方式の原理確認および基本的な特性評価を完了。
- 今後、工場の生産設備や自動車、家電などの組み込み機器で実験実験を行い、実用化する上での設定条件などを検証する予定。

企業への期待

- 工場の生産設備や民生用組み込み機器などで制御に関する課題を有する企業との共同研究を希望。
- また、制御機器の精度改善などで課題を有する企業との共同研究なども対応可能。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、制御機器の動作をモデル化することなく、データから直接制御することができるため、企業における生産性の向上や製品のコスト削減などに貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : フィルタ装置, フィルタプログラム, フィルタ設計プログラム, 参照信号生成装置及び参照信号生成プログラム」
- 出願番号 : 特許7253233
- 出願人 : 電気通信大学
- 発明者 : 桑原圭佑、池崎太一、金子修

産学連携の経歴

- エレベータドアの開閉制御
- 真空プラズマチャンバーのインピーダンス制御
- 印刷事務機器の制御
- ホーニングマシンの穴径制御
- 精密加工機器の制御
- 熱間圧延システムの制御
- 管路内の弁制御…等

お問い合わせ先

国立大学法人電気通信大学
産学官連携センター
産学官連携ワンストップサービス

TEL 042-443-5871

FAX 042-443-5725

E-mail onestop@sangaku.uec.ac.jp