

**【PID制御では難しい】
エネルギー負荷が高い工場の
“制御のムダ”を改善する
「次世代スマート制御」とは**

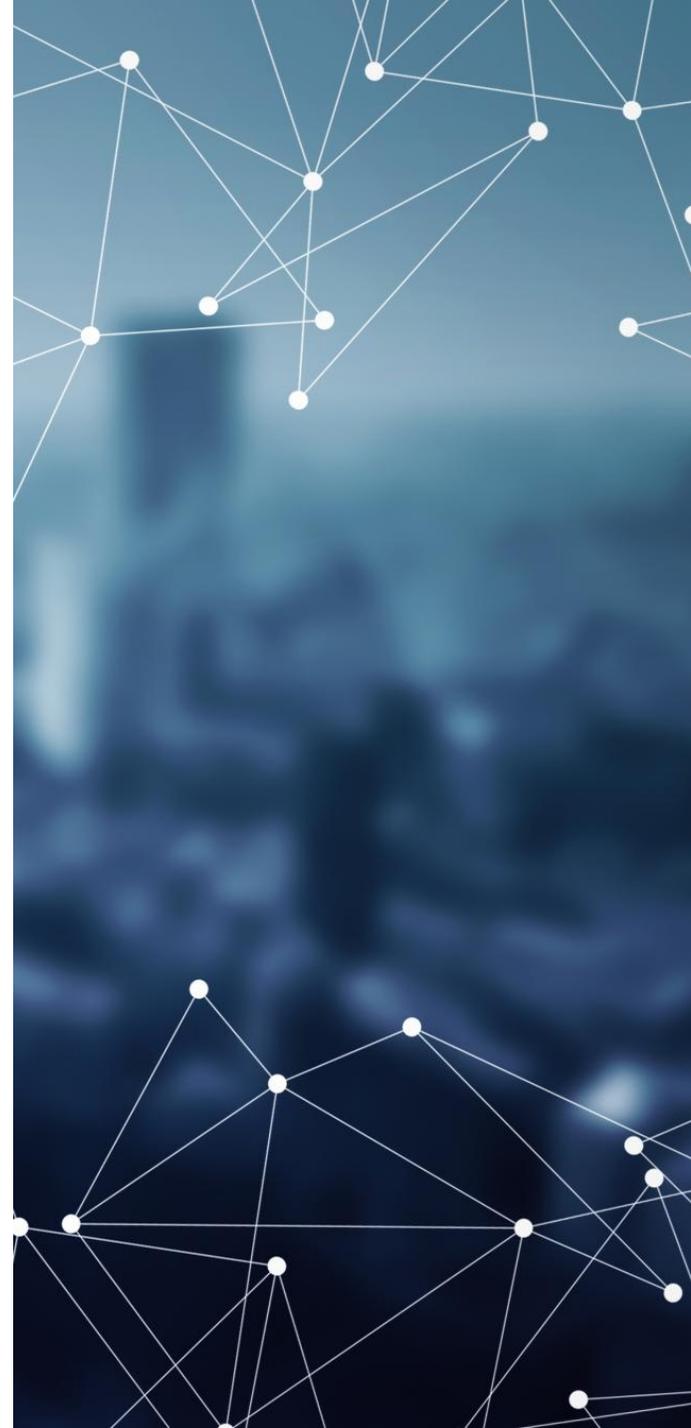
株式会社 Proxima Technology
荒牧大輔

Confidential

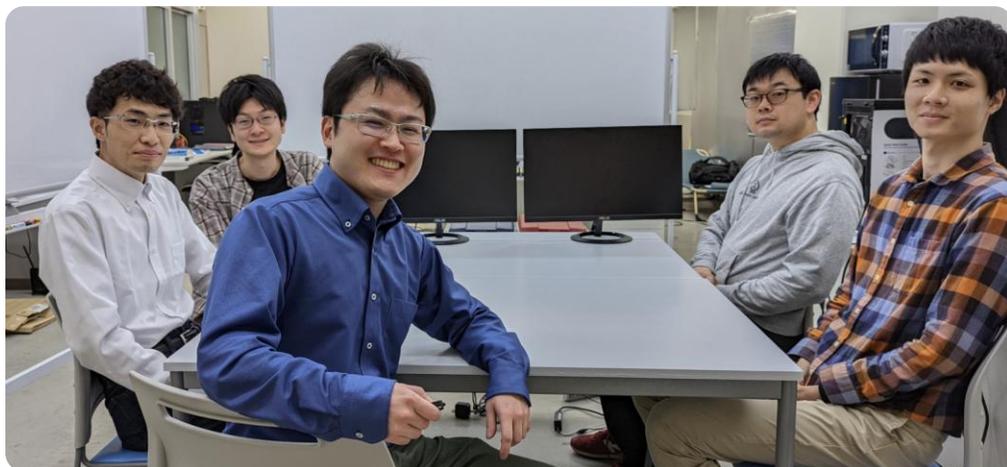
- 複雑化するシステムの制御ニーズの増加
- 省エネルギー・カーボンニュートラルへの対応
- AI・IoT技術の進化と現場への適用拡大
- 人手不足・技術継承の課題解決
- 市場の競争力向上

1. 会社紹介
2. PID制御の課題とは
3. モデル予測制御とは
4. Smart MPCとは
5. 導入実績
6. 導入方法
7. まとめ

会社紹介



会社紹介



シリーズA資金調達累計

4.4億円



会社名

株式会社 Proxima Technology

代表取締役

深津 卓弥

所在地

〒110-0005 東京都台東区上野
5-24-16 KDX御徒町ビル 6F

設立日

2018年11月1日

資本金

5000万円

人数

40 人

事業内容

データ分析関連事業

MISSION

株式会社Proxima Technology（プロキシマ テクノロジー）は多くの方々が数学による恩恵を受けられるような社会を実現するべく設立されました。機械学習/最適化/制御/3次元データ解析等、多くの分野において数理的なアルゴリズムの社会実装を目指しています。

VISION

アルゴリズムで世界を変える
Powered by Mathematics

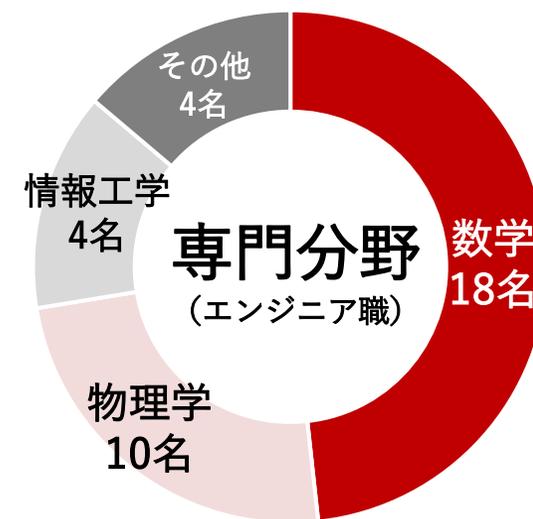
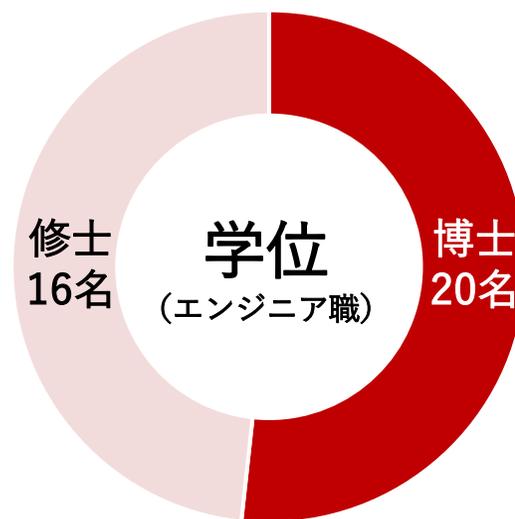
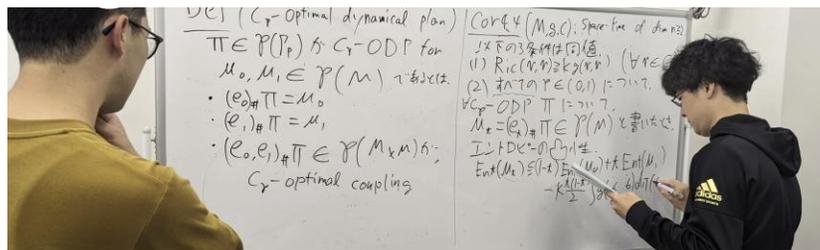
Value

現場で使える
“最適制御”を実現

弊社メンバー紹介



メンバーは40名中36名がエンジニア（兼務含む）
エンジニアはアカデミア出身者（博士号取得者）が半数占める



高度な数学を理解し、使いこなせる数理分野の人材が豊富

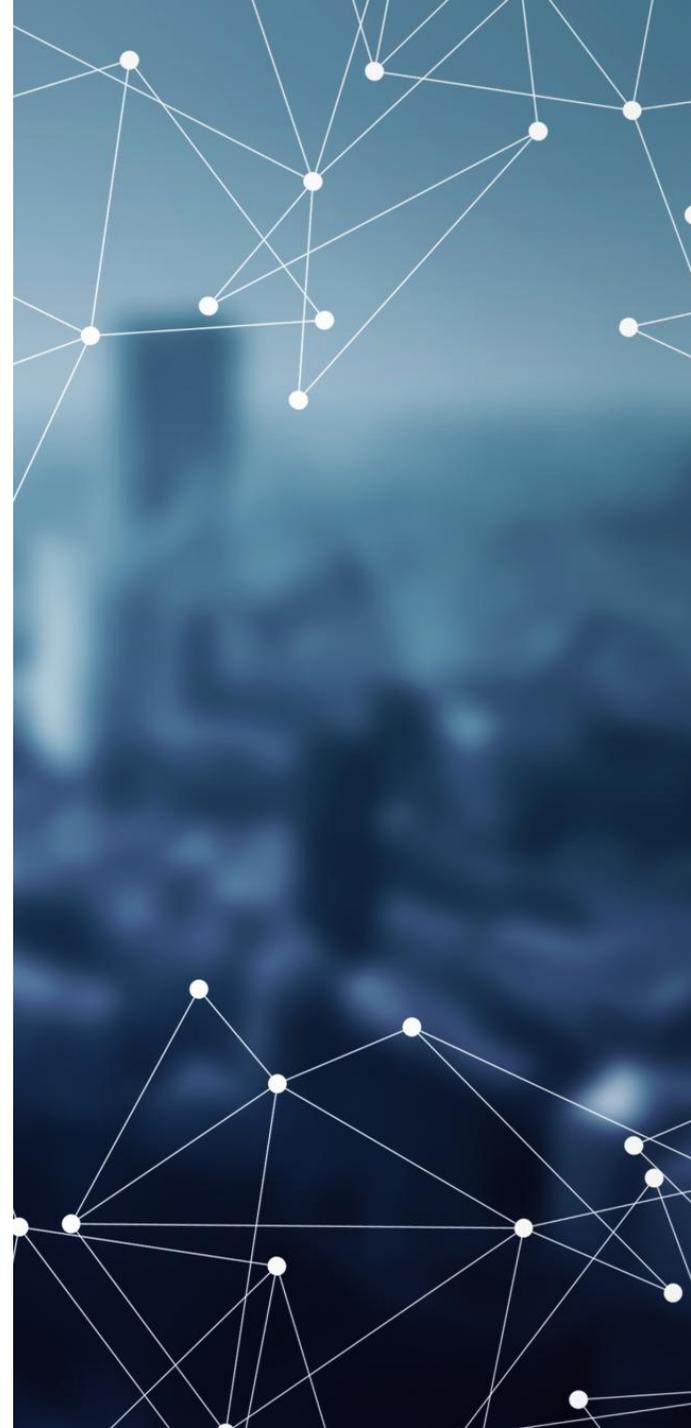
高度な制御AIの構築・提供



PLC・FAシステムとも連携し
実機に接続し、実運用までサポート

- 机上のソリューションではなく、リアルな現場環境で実際に動作させ、ワンストップで支援
- 現地対応可能・様々なメーカーのソフトウェアに対応

PID制御の課題とは



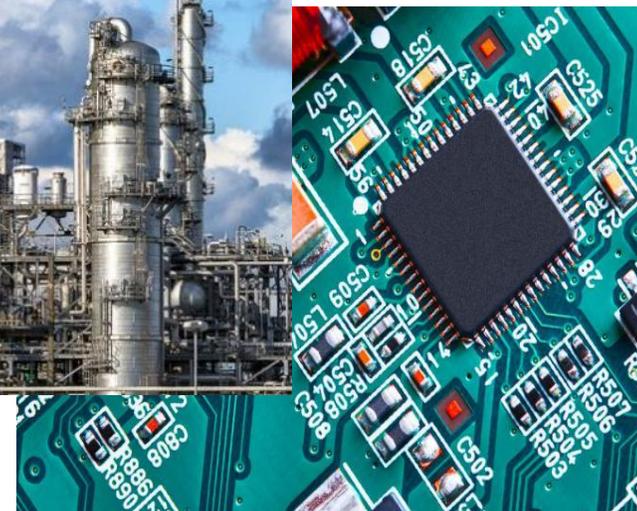
制御とは...

機械や装置などに対して、望みの動作をさせるように適切な操作を加えること



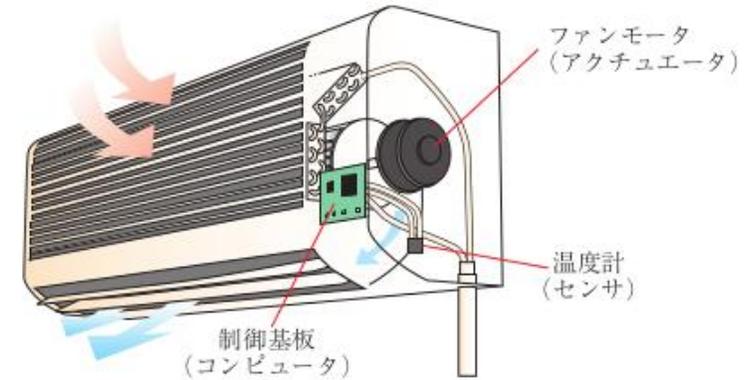
ポイント

- 自動で動くものはみな「制御」されている
- 生産現場の至る所で「制御」は使われている



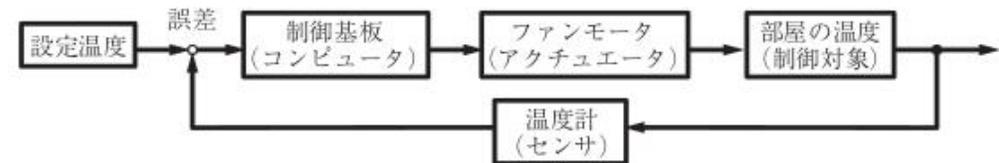
方法

目標値 $r(t)$ と観測量 $y(t)$ の誤差 $e(t)$ を用いて、
制御入力 $u(t)$ をその都度決める



3つの値

- SV: 目標値
- PV: 現在の値
- MV: 入力値

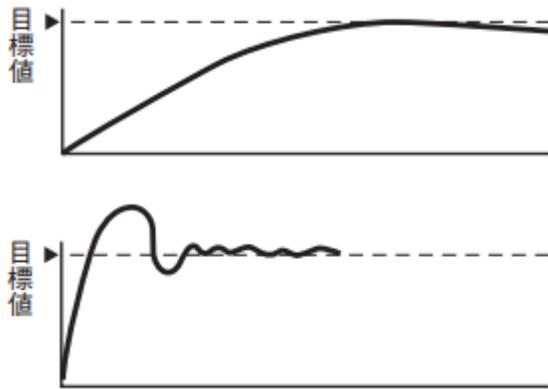


$$e(t) = r(t) - y(t)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

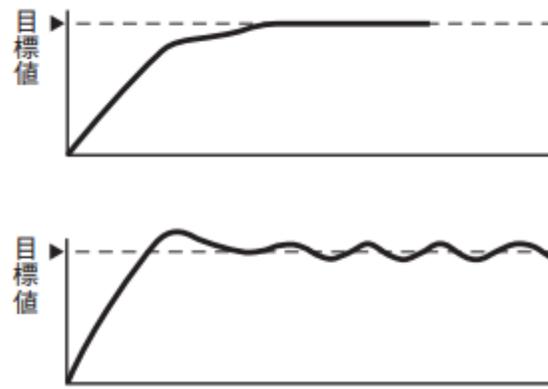
P制御

- 設定値へ到達する速さを調整



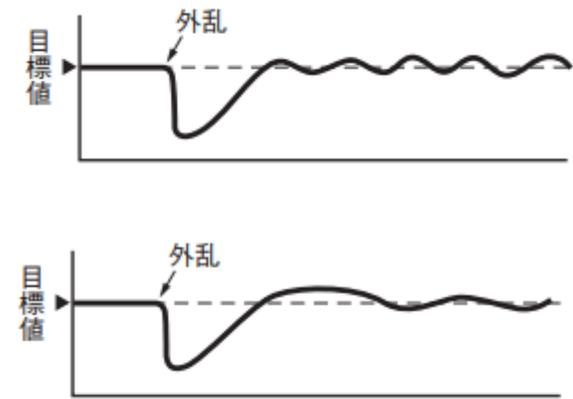
I制御

- 定常偏差を調整



D制御

- 設定値のずれから戻る速さを調整



$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

パフォーマンスの問題

- ハンチングが発生
- 無駄時間・遅れ時間に弱い
- 「最適性」が無い



PID制御の限界

- チューニングに時間がかかる
- 制約条件を考慮できない
- 複雑なシステムに対応するのが難しい



モデル予測制御とは



モデル予測制御とは...

「未来を予測して動く賢い制御」

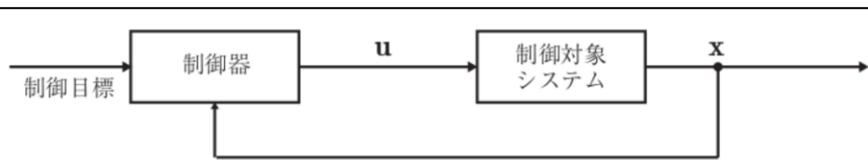
特徴

- 対象の振る舞いを記述するモデルを用意
- 現在の制御入力が将来にどういう影響を与えるかということを考慮しながら、制御入力を逐次決める

$$\mathbf{x}_{k+1} = F(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k, k)$$

$$\phi(\mathbf{x}_{k_s+K}) + \sum_{k=k_s}^{k_s+K-1} L(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k, k)$$

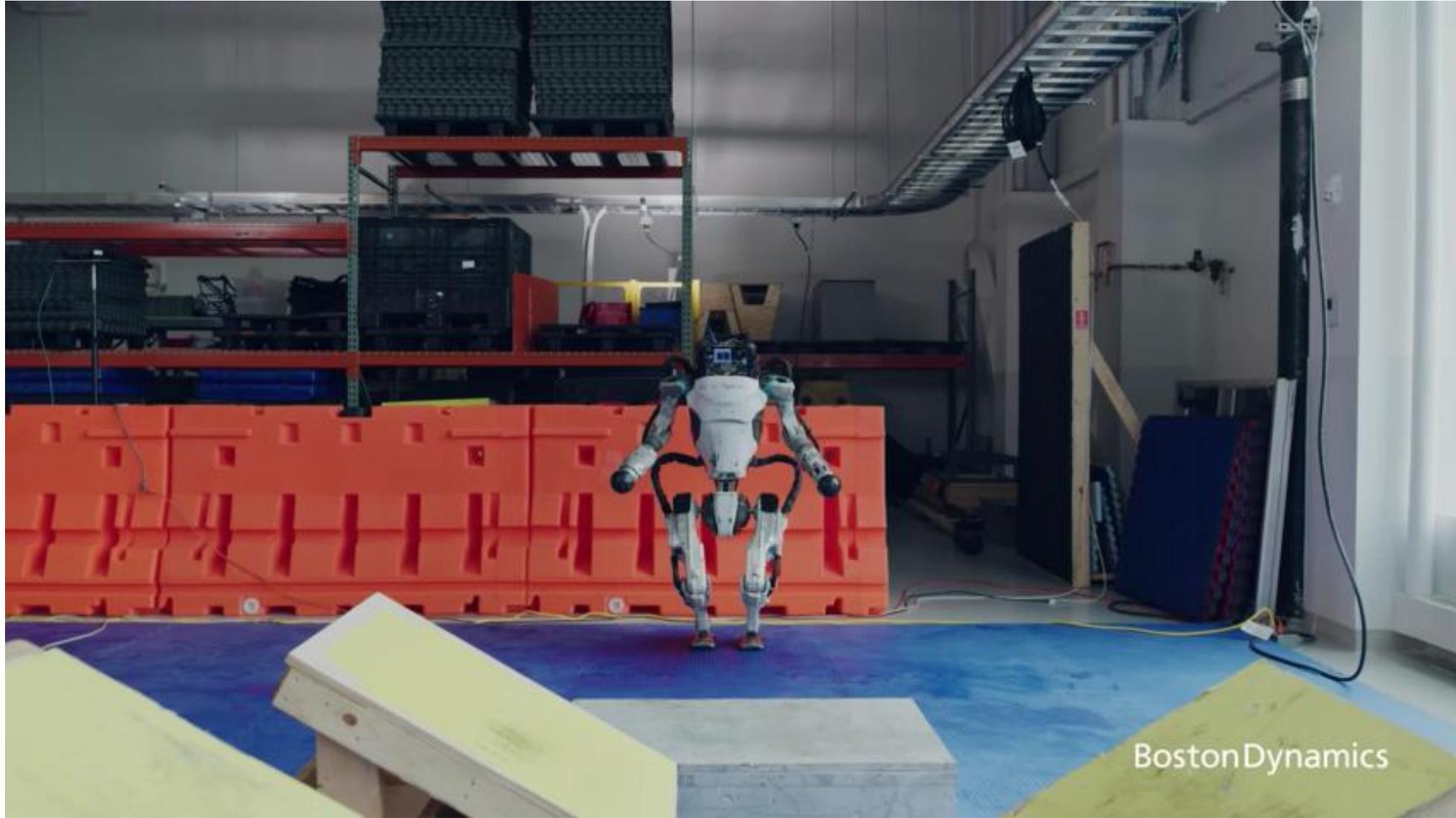
$$\begin{array}{ll} \text{minimize} & \phi(\mathbf{x}_{k_s+K}, k_s+K) + \sum_{k=k_s}^{k_s+K-1} L(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k, k) \\ \text{subject to} & \begin{cases} \mathbf{x}_{k_s} = \bar{\mathbf{x}}_{init} \\ \mathbf{x}_{k+1} = F(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k, k) \\ g(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k, k) \leq 0 \\ g(\mathbf{x}_{k_s+K}, k_s+K) \leq 0 \end{cases} \end{array}$$



(a) フィードバック制御



- 出典：[より良い制御を目指して～モデル予測制御の導入～\(Qiita\)](#)



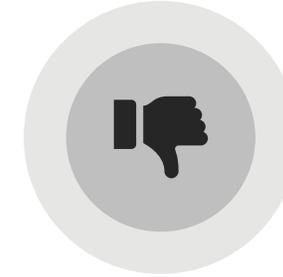


モデル予測制御の特徴



メリット

- 👍 多入力多出力（MIMO）系に対応可能
- 👍 むだ時間などに強くハンチングを起こしにくい
- 👍 拘束条件を扱える



デメリット

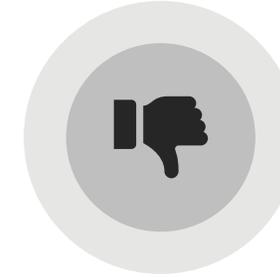
- 👎 モデルの設計が必要

モデル予測制御の特徴



メリット

- 👍 多入力多出力（MIMO）系に対応可能
- 👍 むだ時間などに強くハンチングを起こしにくい
- 👍 拘束条件を扱える



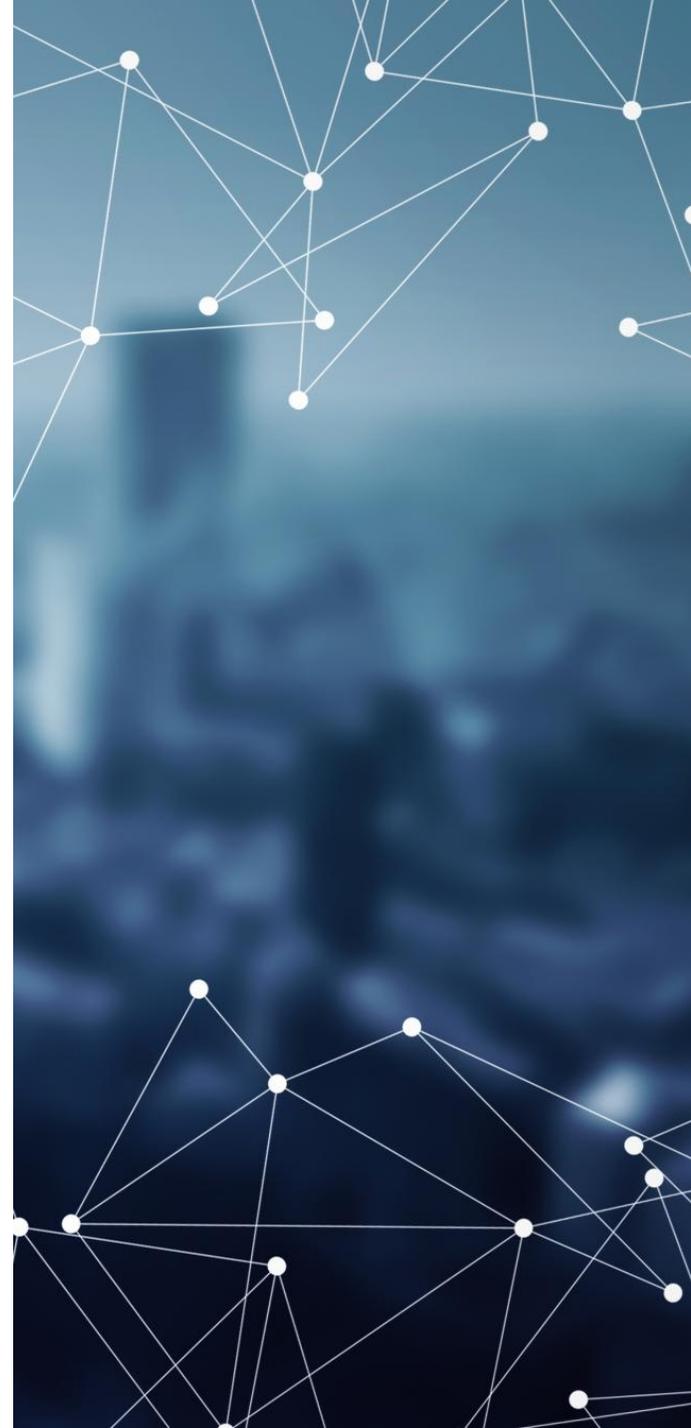
デメリット

- 👎 モデルの設計が必要



モデルの設計を
機械学習によって自動化すれば
簡単に扱えるようになる

Smart MPCとは



- モデル予測制御（MPC） × 機械学習による制御
- データ（体験）から学習し、操作法を憶える
- PID制御より賢く、強化学習より実用的

	ルールベース	PID	MPC	強化学習	Smart MPC
制御入出力	(原則) 一入力一出力	一入力一出力	多入力多出力	任意	多入力多出力
学習機能	なし	なし	なし	あり	あり
必要データ数	0	0	0	膨大	小
チューニング コスト	注	中	大	大	小
制御可能な タスク	単純	比較的単純	比較的複雑	複雑	比較的複雑
最適性	なし	なし	あり	あり	あり

独自の制御AI「Smart MPC」による4つの改善

1. 最適な制御が出来る
= 省エネ、時短、安定、etc.



2. 学習機能で自動調整
= 導入が楽 (即日導入可)

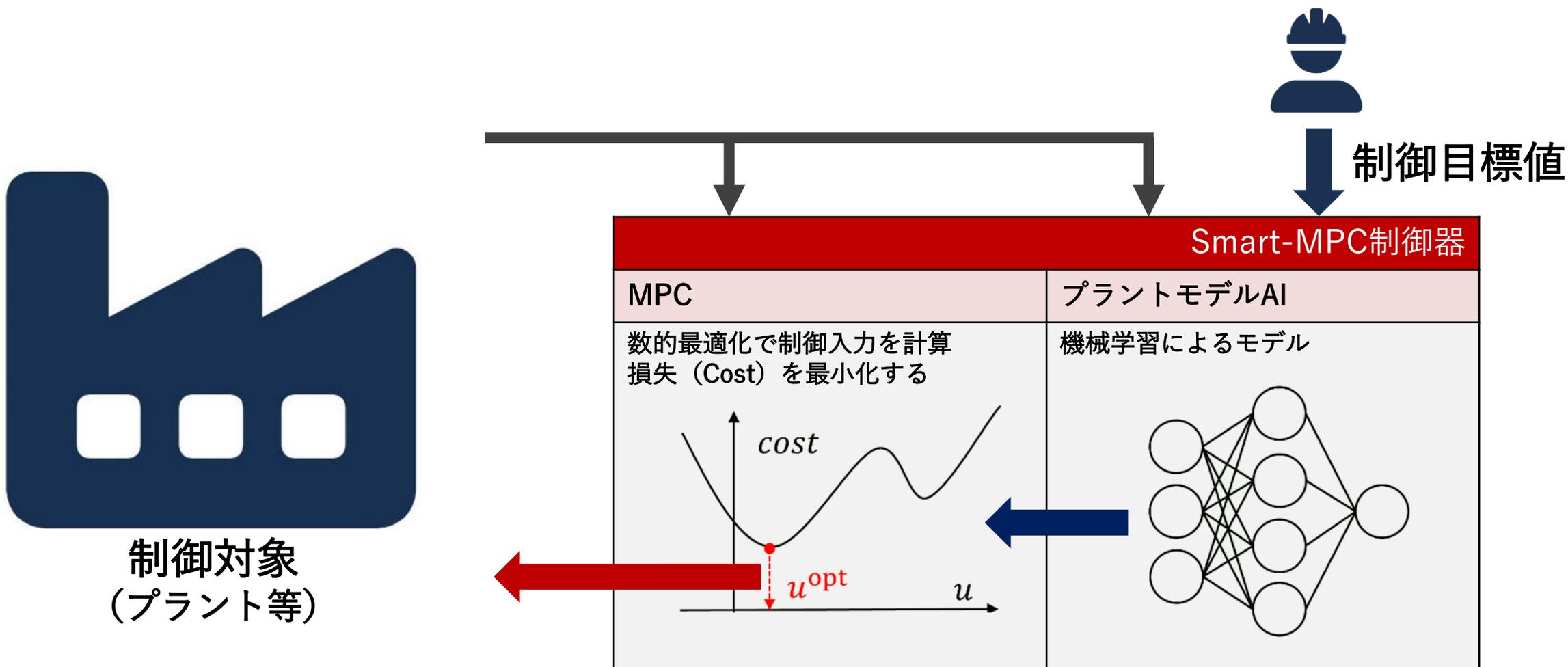


3. 熟練者しか扱えない複雑な
制御対象も扱える
= 人手不足解消



4. 学習機能で経年劣化に追従
= 調整 / メンテナンス要らず





Smart MPC 導入事例



温度・湿度・圧力・濃度制御

- 工場向け空調機の温湿度
- 冷却塔の冷却水温度
- ガラス溶融炉の温度
- 水素バーナー炉の温度
- ロータリーキルンの温度
- コンプレッサーの空気圧制御
- 浄水場における汚泥脱水プロセス制御

モーション制御

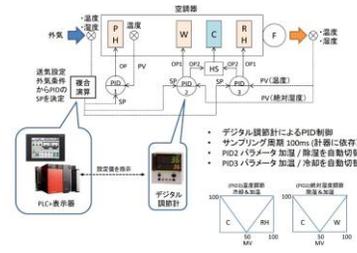
- 製鉄所内天井クレーンの制御
- 自動運転むけ制御AI
- 倒立振子
- 製袋工程における印刷ずれの修正
- 製膜スパッタリングプロセスにおけるイオン注入量制御

空調機の高性能な制御を手軽に、かつ迅速に実現することが可能に

導入前

調整コスト高

複数のPID制御が複雑に絡み合い、調整するのに高度な職人芸が必要
→ 運転開始するのに1週間以上の調整期間を要する場合も

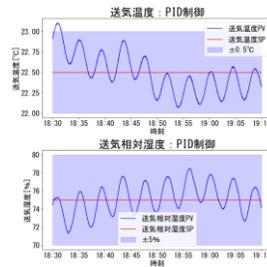


低性能な制御

低い制御性能

- 温度精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- 湿度精度 $\pm 5\%$

無駄な消費エネルギーの存在



頻繁なメンテナンス

季節変動や経年劣化により定期的なパラメータ調整が必要

導入後

調整コスト低

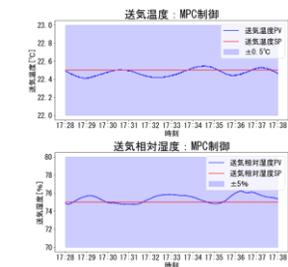
Smart MPCの学習機能によってデータを集めるだけで運転開始可能
ダイハツ京都やトヨタ自動車（高岡工場）においては即日導入に成功した

高性能な制御

高い制御性能

- 温度精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- 湿度精度 $\pm 2\%$

最適制御により5%の省エネ効果
(年間300万円)



メンテナンスフリー

オンライン学習の機能により、変化をAIが吸収
→ 導入後のメンテナンスは限りなく少ない

Smart MPCによる実績02 鉄鋼メーカー

人手でしかできなかったクレーンの操作が自動化

導入前

手動操作

非インバーター型のクレーンは訓練を受けた人間のみしか操作できない。そのため高い人件費がかかる。



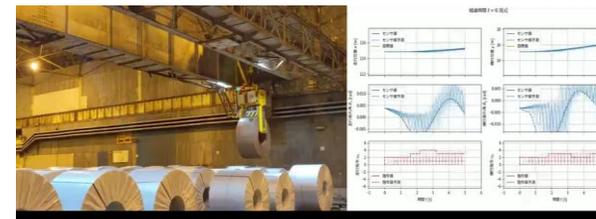
低い生産性、作業者間の熟練度によるばらつき

人間のカンやコツに基づく制御は最適なものとはいいがたく、無駄な時間や操作も多い。また、熟練度によってオペレーションの時間もばらつきたため生産性を一定にすることも難しい。

導入後

自動化による省人化

自動化の成功により、熟練技能者の高い人件費が削減できた。



高く、安定した生産性の実現

Smart MPCの最適化に基づく制御は高い生産性（最短リードタイム）を実現し、同時に生産性の安定化による生産計画の立てやすさも実現した。

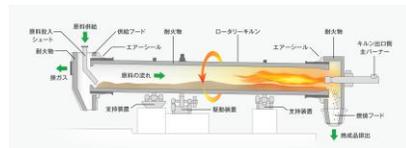
Smart MPCによる実績03 炉メーカー

熱処理炉の制御課題を解決

導入前

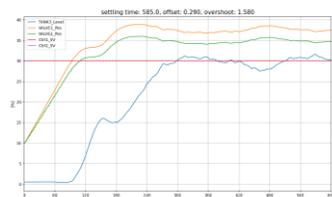
調整コスト高

熱処理炉において、複数ゾーンに対して望みの温度プロファイルに近づくようにバーナー・ヒーターの制御を調整するのは非常に時間がかかる



低性能な制御

PID制御などの単純な制御手法では、ハンチングやオーバーシュートといった現象が頻繁に発生しやすい



限定的な制御条件

PID制御では複雑な制御条件を（明示的には）入れられない。例えば、炉の温度制御において「800°Cまで一分間に10°Cずつ昇温する」といった制御ロジックを調整するのは極めて難しい。

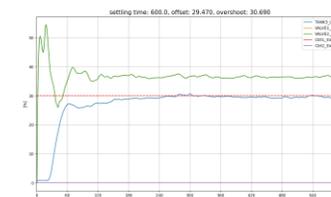
導入後

調整コスト低

PID制御では苦手だった複数ゾーンの最適制御も、短い調整期間で簡単に対応可能

高性能な制御

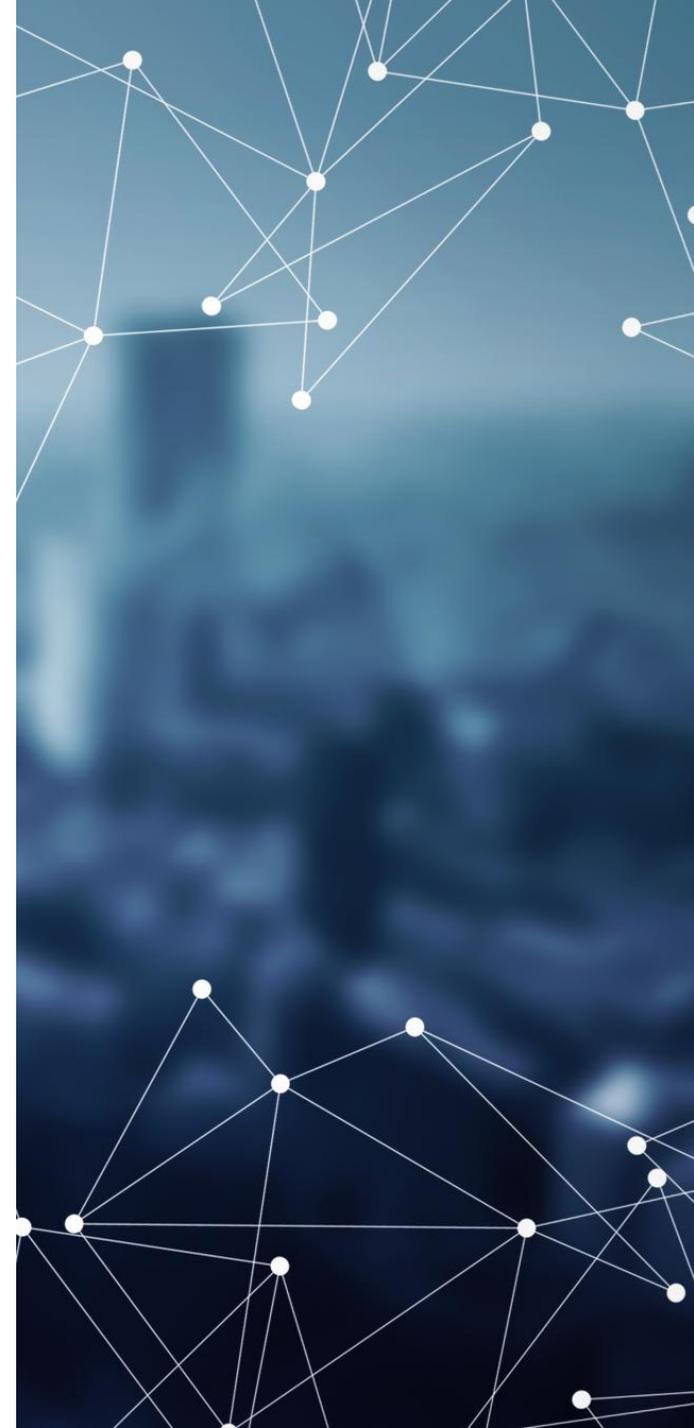
高精度かつ最適な制御を実現し、省エネ化や原料ロスの低減を可能にする。



柔軟で賢い制御条件

複雑で製造プロセスに依存するような厄介な制御条件（制約）にも柔軟かつ容易に対応可能。

Smart MPC 導入の流れ

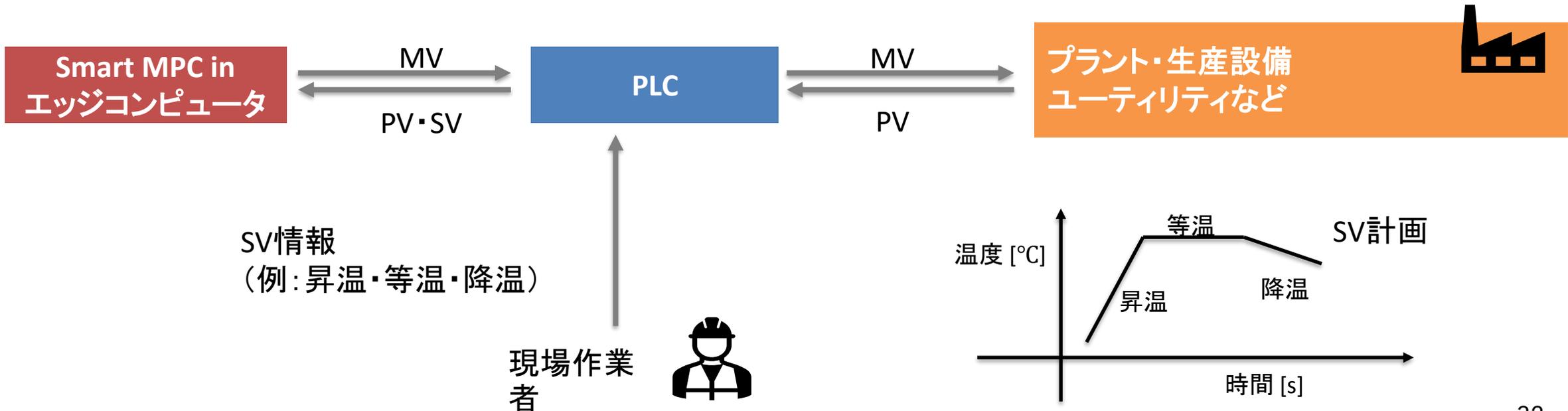


基本構成

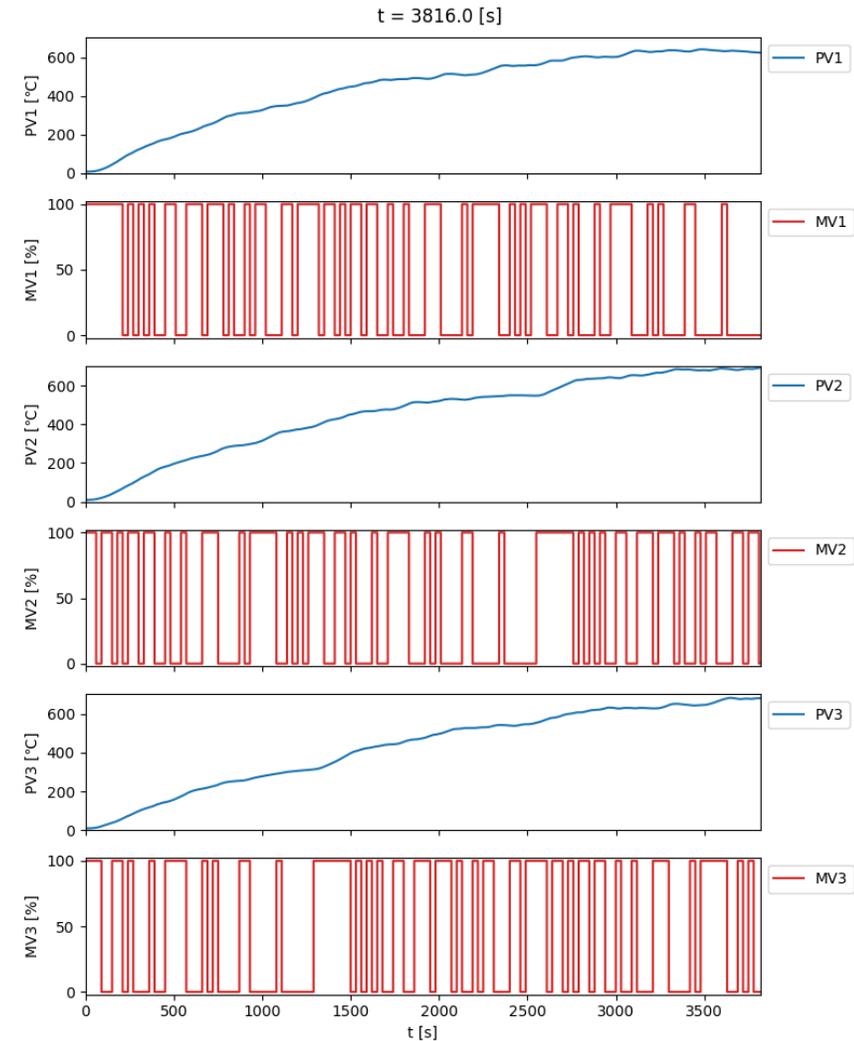
- SMPCが含まれるコンピュータを設置
- 現場のPLCに接続に制御指令値のやり取り
- 基本データは制御対象のPV・SV・MV

対応PLCメーカー（実績あり）

- 三菱電機
- キーエンス



1. システム同定のテストにより、SV・PV・MVの時系列データを入手
2. 時系列データからモデル学習を行う
3. モデル・コントローラーのパラメータ設定を行う
4. SVを設定し、制御ループを実行



SMPCをコンパクトに導入可能！

先月リリースの新製品

特徴

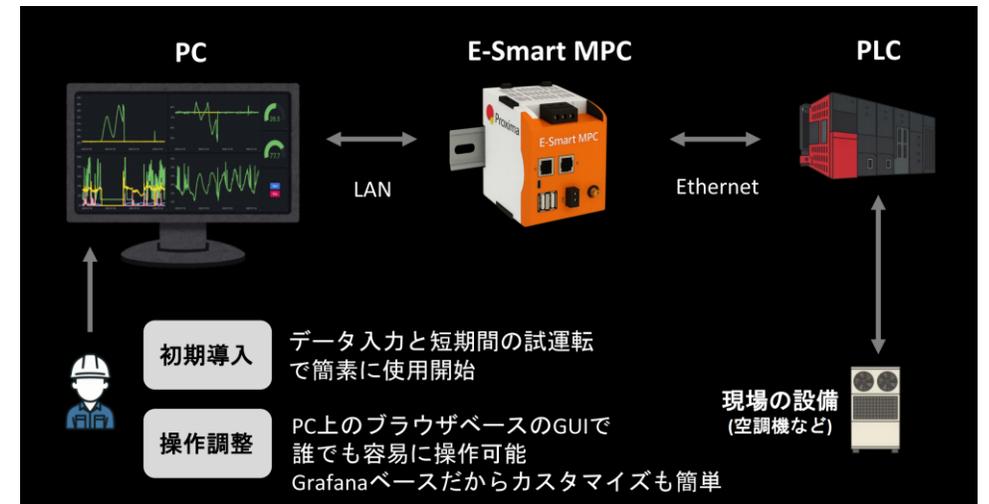
- ハード+ソフトをオールインワンでご提供
- ハードは産業用ラズベリーパイを採用
- ソフトはSmart MPCそのまま
- 制御盤の中に納まるソリューション
- 直感的なUIで操作可能



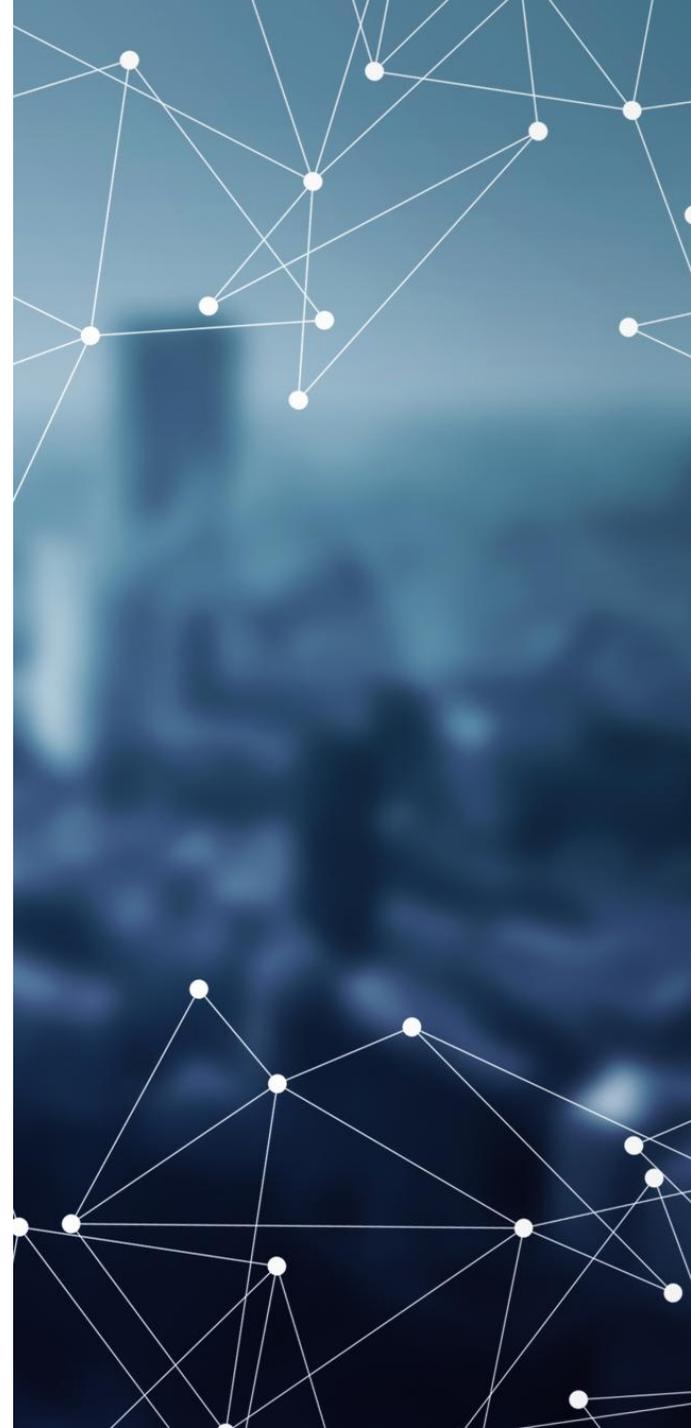
[プレスリリースのURL](#)

構成

- 制御盤内に取り付けPLCとイーサネット
接続を行う
- UIはLAN（有線/無線）で接続
 - データ取り
 - PLCアドレス設定
 - SVの設定
 - 可視化



まとめ



- 「PID制御」にはパフォーマンス面・工数面の課題がある
- 「モデル予測制御」はPID制御の課題を克服できる手法だが、
モデル構築の課題がある
- 「Smart MPC」により制御AIを簡単・コンパクトに導入し、
制御面の課題解決により、省エネ・省人化・品質改善!

個別MTGのご予約をして頂いた方に2つの特典をご用意！

【特典1】

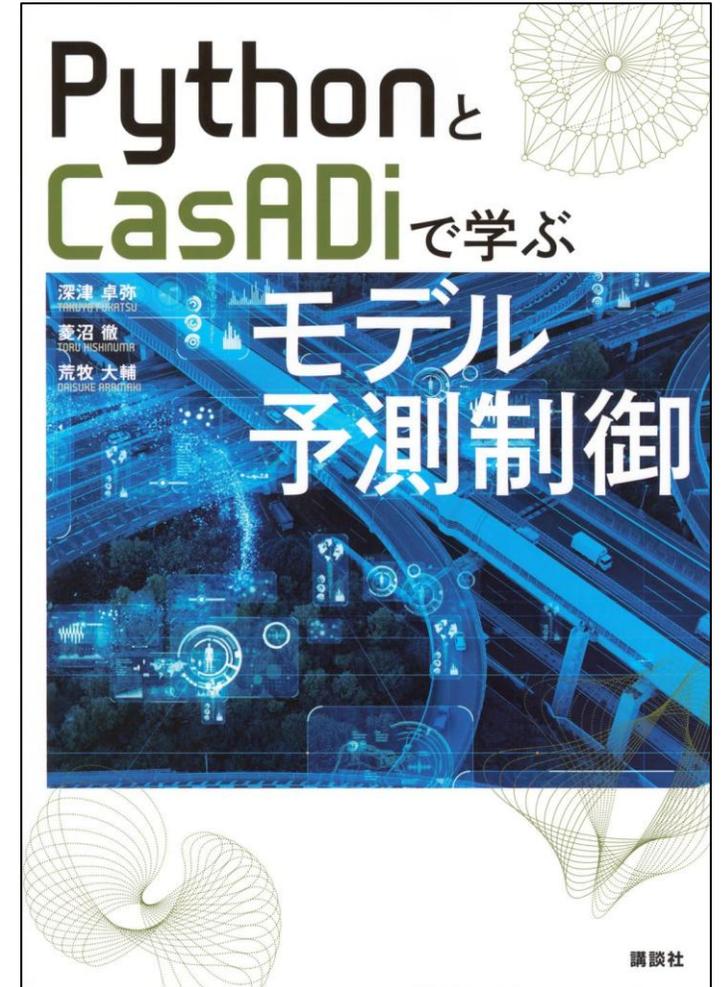
ヒヤリング＋事前データ解析を

無料で承ります！

【特典2】

「モデル予測制御」の教科書を

無料で配布致します！



ご清聴頂き
ありがとうございました！