

Smart MPC

生産性を改善する制御AIのご紹介

株式会社 Proxima Technology

Confidential

1 会社紹介

2 メンバー紹介

3 MISSION VISION VALUE

4 弊社の特徴

5 なぜ今、制御AIなのか？

6 Smart MPCについて

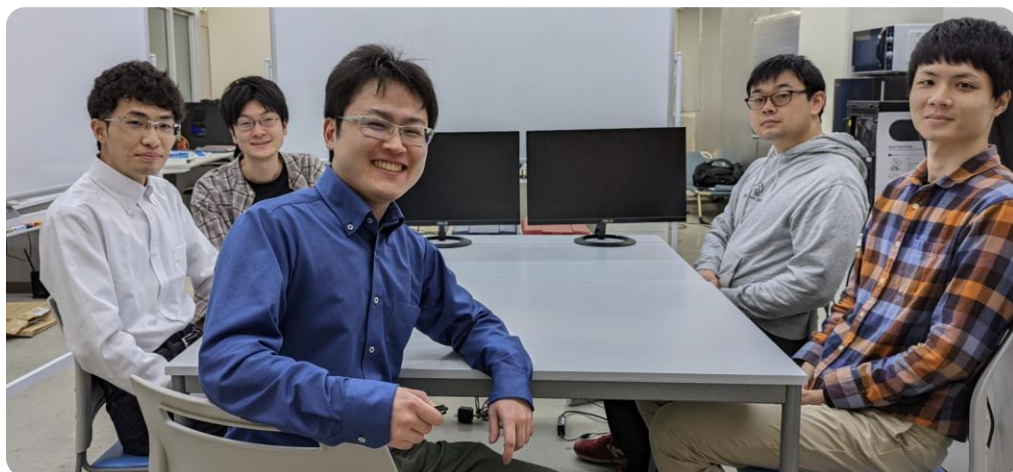
7 事例紹介

8 ご依頼の流れ

9 弊社サービスの期間・価格イメージ

10 よくあるご質問

11 お問い合わせ



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

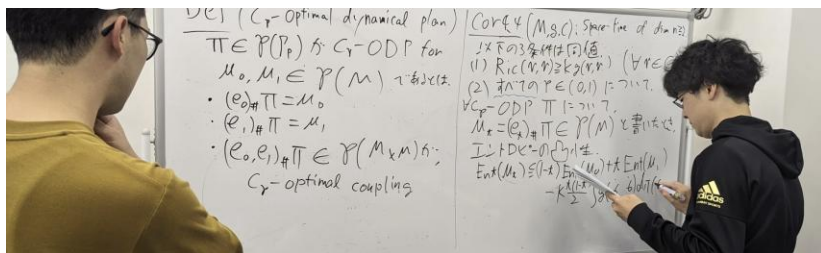
株式会社Proxima Technology（プロキシマ テクノロジー）は多くの方々が数学による恩恵を受けられるような社会を実現するべく設立されました。機械学習/最適化/制御/3次元データ解析等、多くの分野において数理的なアルゴリズムの社会実装を目指しています。

VISION

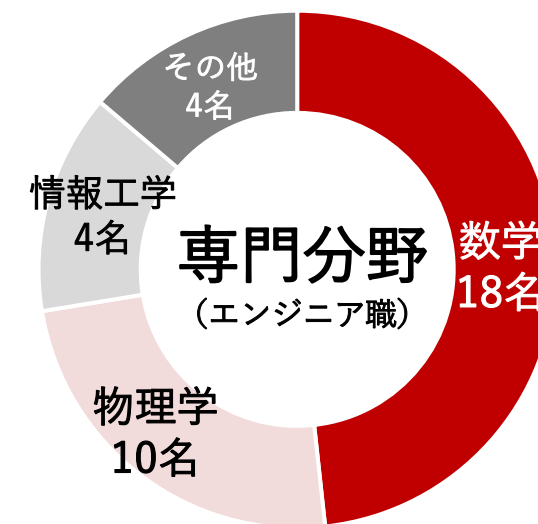
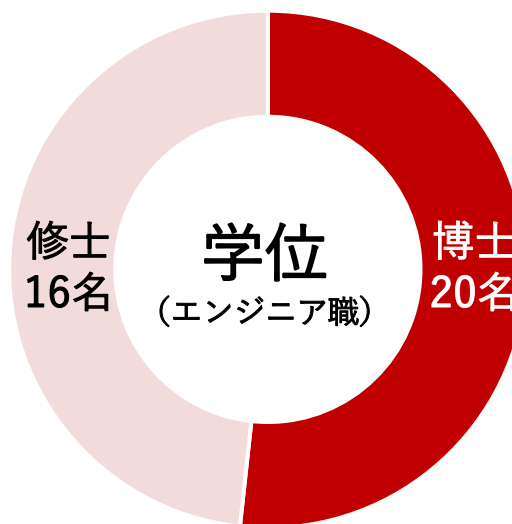
アルゴリズムで世界を変える
Powered by Mathematics

Value

現場で使える
“最適制御”を実現



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

- 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

- 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.



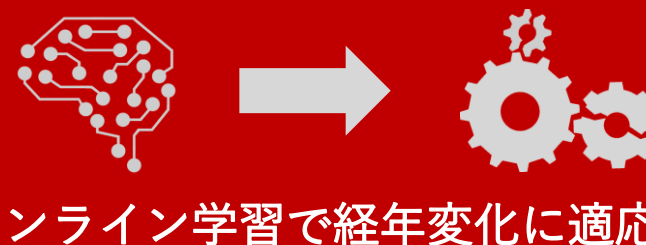
2. 学習機能で自動調整
= 導入が楽（即日導入可）



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



- 空調機最適制御
- 製鉄所内天井クレーンの制御
- 自動運転むけ制御AI
- 汎用PLCへの組み込み制御AI
- 冷却塔ファンのインバーター周波数/台数制御
- 製袋工程における印刷ずれの修正
- ガラス溶融炉の温度制御
- 水素バーナー炉の温度制御
- ロータリーキルンの温度制御
- 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
- 浄水場における汚泥脱水プロセス制御
- コンプレッサーの空気圧制御

事例紹介

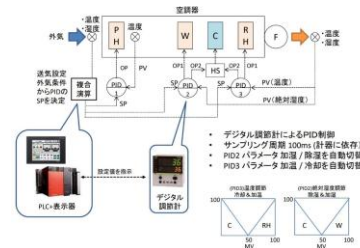


空調機の高性能な制御を手軽に、かつ迅速に実現することが可能に

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

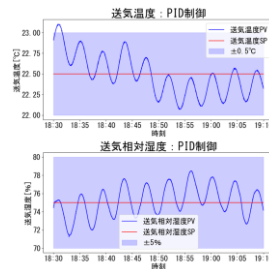


低性能な制御

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

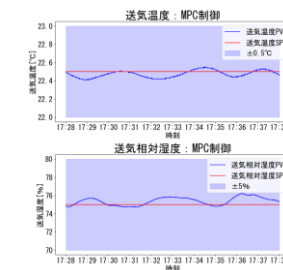
Smart MPCの学習機能によってデータを集めるだけで運転開始可能
ダイハツ京都やトヨタ自動車（高岡工場）においては即日導入に成功した

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にしか操作できない。そのため高い人件費がかかる。



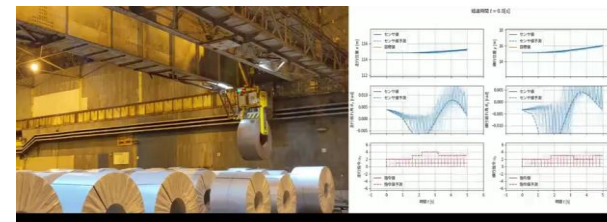
低い生産性、作業者間の熟練度によるばらつき

人間のカンやコツに基づく制御は最適なものであるとはいいがたく、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く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。

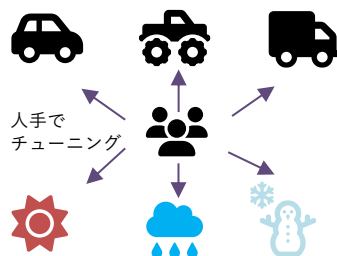
Smart MPCによる実績03 ティアフォー

人手による車種や走行環境ごとのカスタマイズが不要かつ高機能に

導入前

調整コスト高

既存の制御手法では車種や走行環境の違いなどに合わせて制御ロジックを人手で調整する必要があり、非常に導入の調整コストが高い。



限定的な制御対象

4輪の一般的な乗用車は制御できていたが、運転中に重量が大きく変動するようなバスやトラックなどでの自動運転は実現できない。

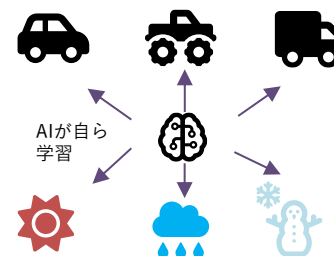
限定的な制御条件

時速40km以下の一般道でのみ自動運転が可能。

導入後

調整コスト低

Smart MPCでは走行データを集めるだけでAIが制御ロジックを学習し、低コストで導入が可能に。



幅広い制御対象

乗用車以外にもバス、トラックなどへの自動制御も実現可能に。

幅広い制御条件

時速40km以上での走行や、高速道路上での運転が可能に。

汎用PLC（e-RT3）での高度な制御が可能に

導入前

調整コスト高

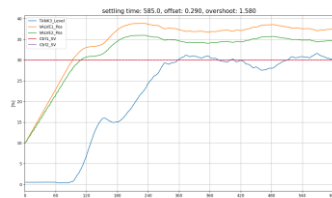
既存のe-RT3には単純なシーケンス制御やPID制御ベースの手法のみが実装されており、調整には熟練者が何日もかける必要がある。



e-RT3 Plus

低性能な制御

PID制御などの単純な制御手法では制御精度は低く最適性が無いため無駄なエネルギーの消費などが存在する。



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℃まで一分間に10℃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

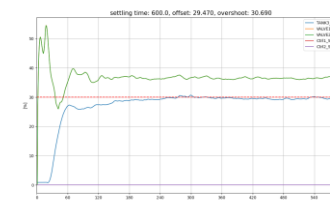
Smart MPCのe-RT3上への実装により、組み込み向けのAI制御が実現。即日で高性能な制御を可能に。信頼性の高いPLC上でのAIソリューションは導入しやすい。



e-RT3 Plus

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。



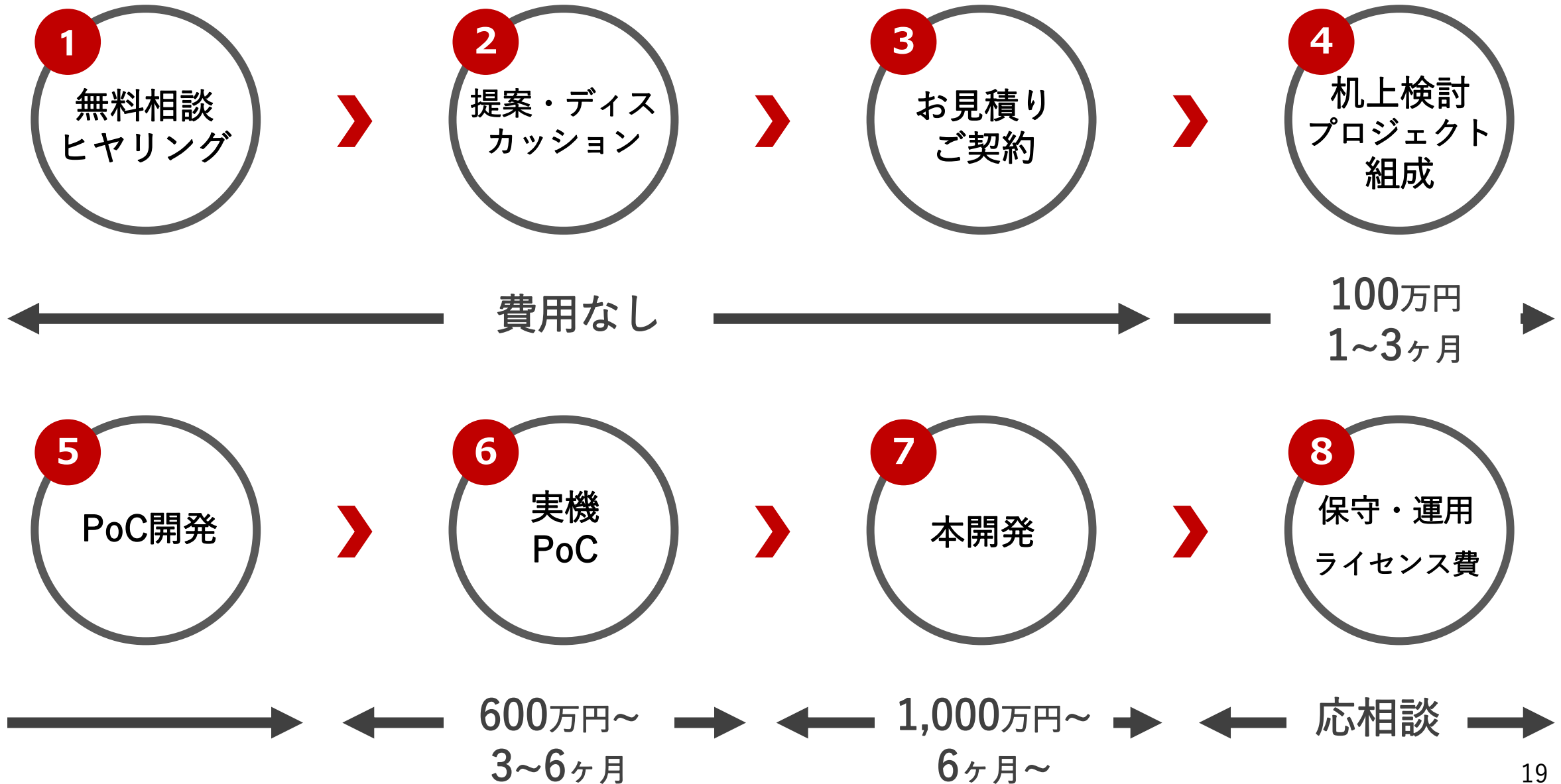
柔軟で賢い制御条件

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。

ビジネスモデル







株式会社 Proxima Technology

〒110-0005 東京都台東区上野5-24-16 KDX御徒町ビル 6F



<https://proxima-ai-tech.com/contact>



<https://proxima-ai-tech.com/>

まずは、無料相談・ヒヤリングを承ります。お気軽にご連絡ください



Proxima Technology Inc.はこちら→



付録

出資状況



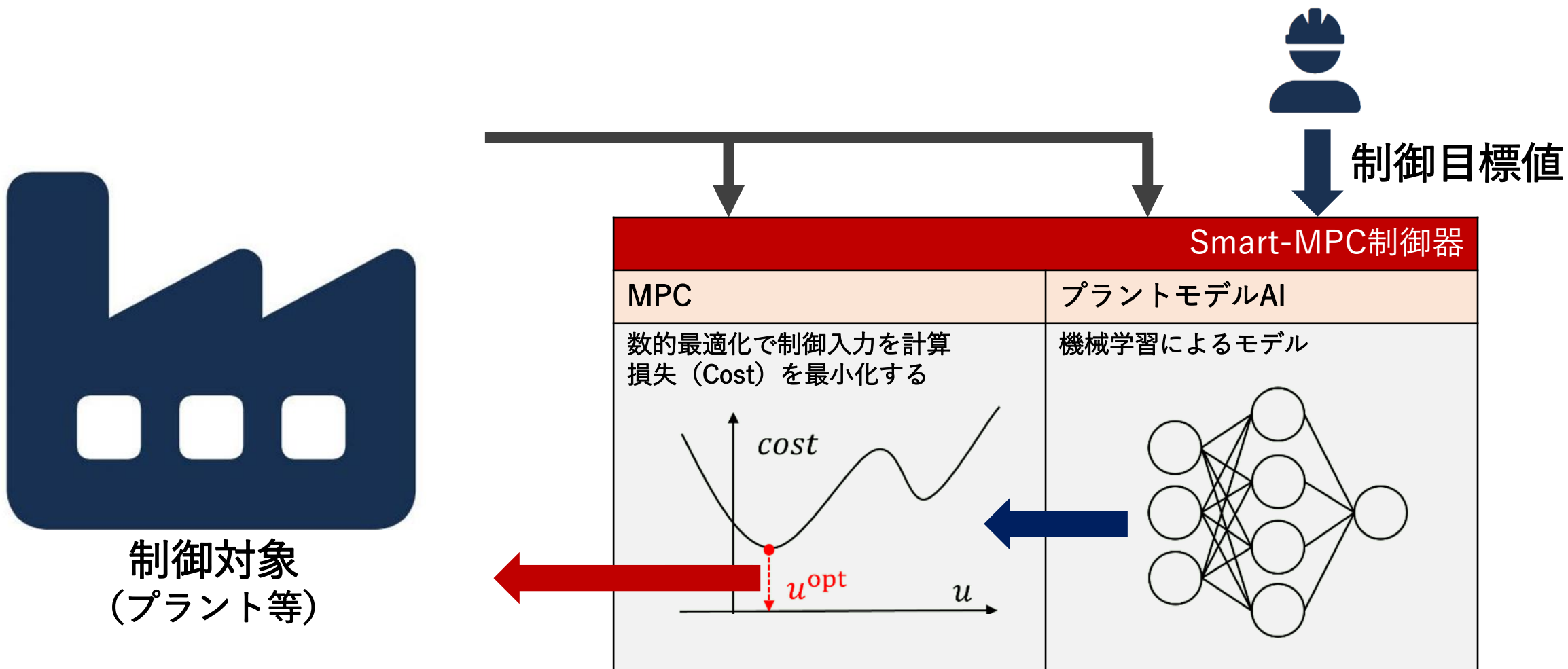


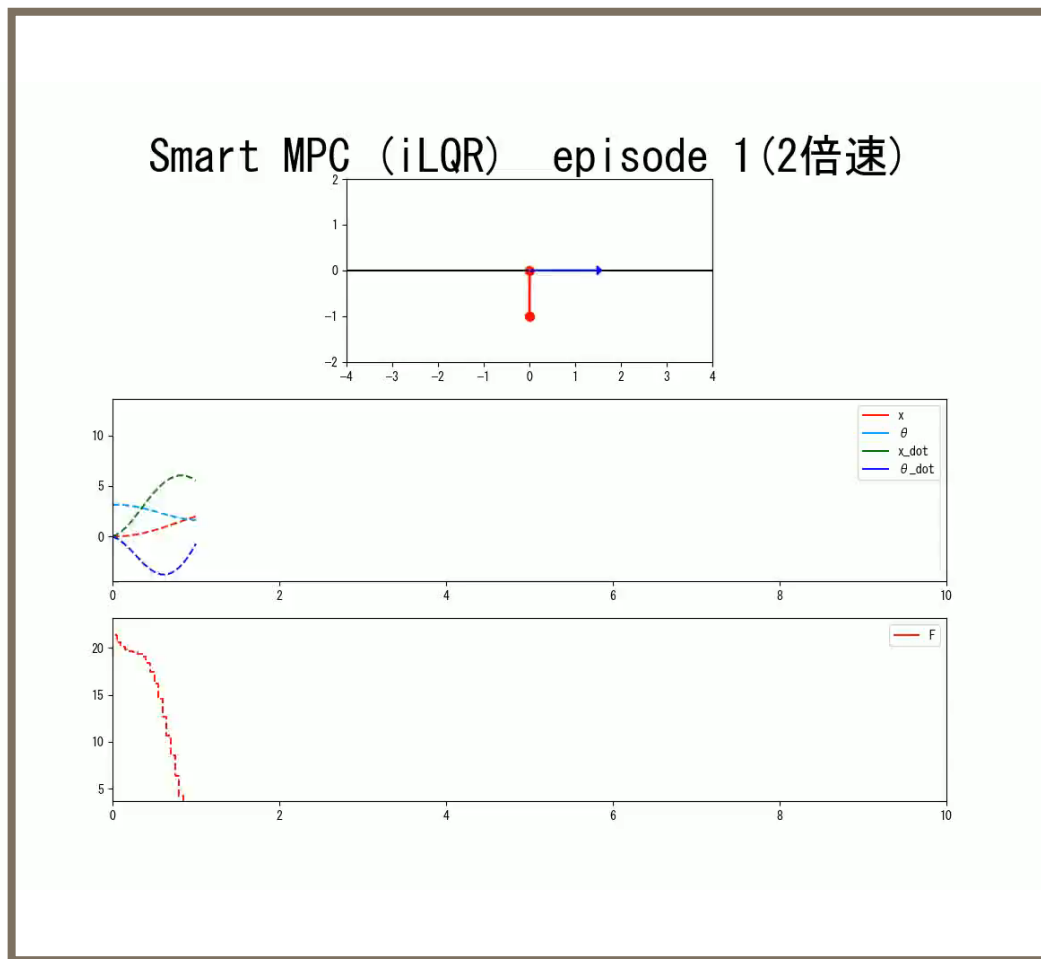
ラウンド	時期	金額	投資家	累計調達額
プレシリーズA	2023年8月10日	9,000万円	DEEPCORE	9,000万円
プレシリーズA エクステンション	2024年1月24日	5,000万円	DRONE FUND (J-KISS型新株予 約権)	1.4億円
シリーズA	2024年12月12日	3.0億円	DRONE FUND、 DEEPCORE (第三者割当増資)	4.4億円

付録

Smart MPCとは







- ✓ 数エピソードで収束
- ✓ 強化学習 (DQN) を使うと数百エピソードが必要
- ✓ ノートPCで学習可能な計算量

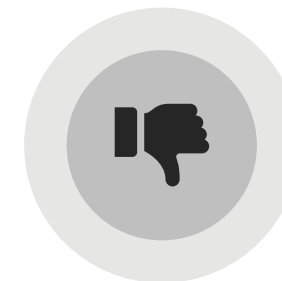


プラント（実機）での学習が可能



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



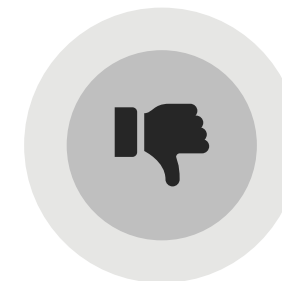
デメリット

- 👎 モデルの設計が必要



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

モデル予測制御とPID制御との比較

PID制御



モデル予測制御



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

付録

事例紹介

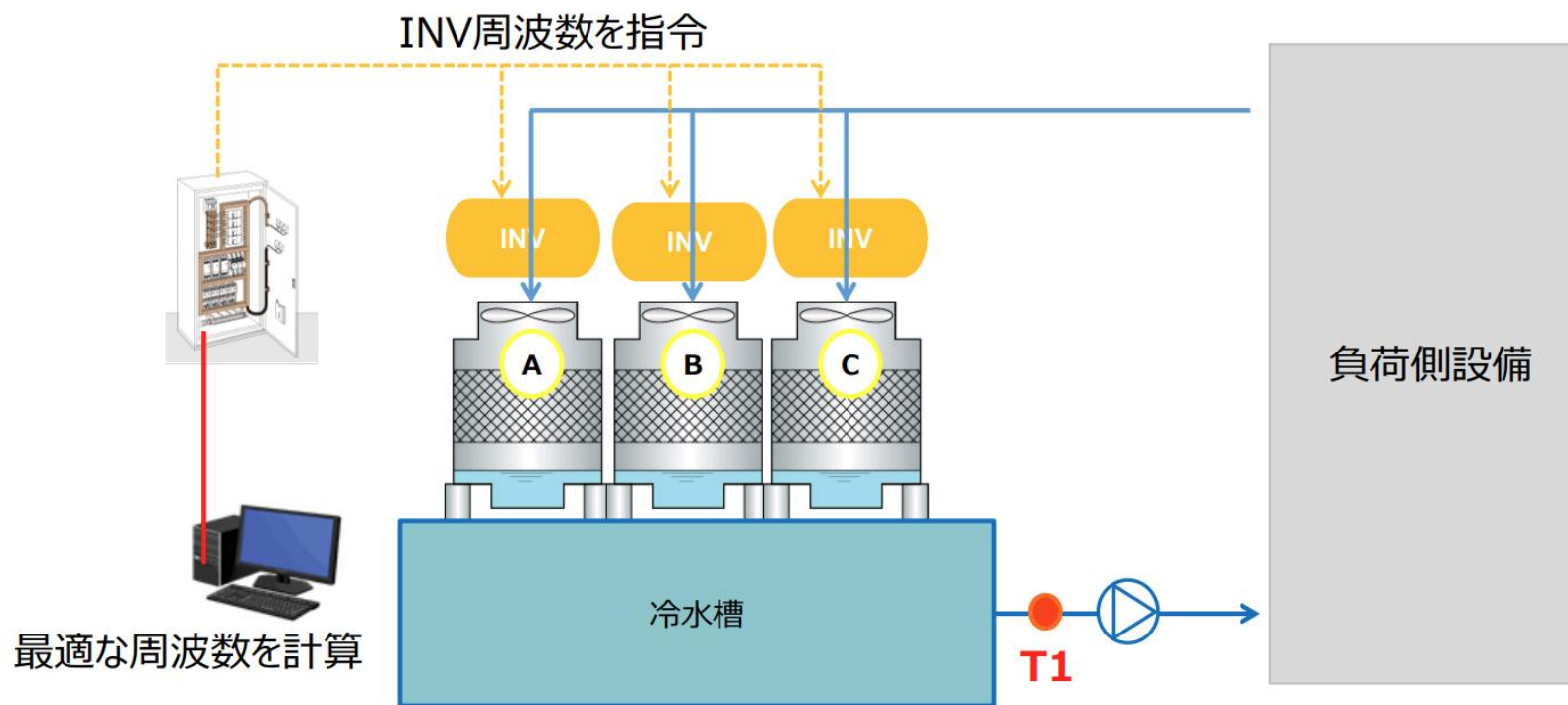


冷却塔ファンのインバーター周波数制御 (ガス会社)

背景：冷却塔による水温安定化ニーズ

あらゆる気象状況や負荷状況において冷却水温度(T1)を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ に安定させる制御を開発したい

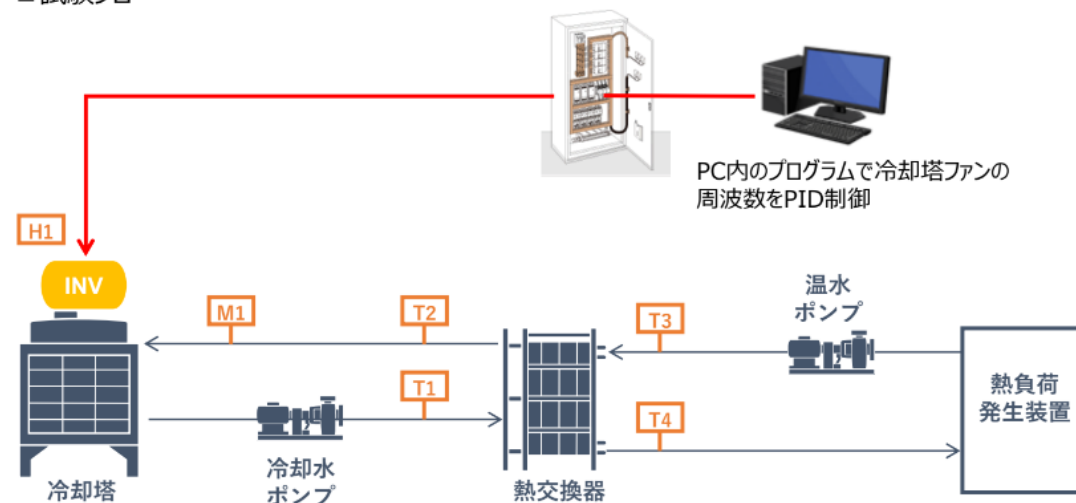
<想定システム>



問題設定

- 利用可能なセンサ値
 - 冷却水往温度 [°C]、冷却水還温度 [°C]、温水往温度 [°C]、温水還温度 [°C]、ブロー弁開閉 [0/1]、電気伝導度 [mS/m]、外気温度 [°C]、外気湿度 [%]
- 制御対象
 - 冷却水往温度 [°C]
- 制御入力
 - ファンINV周波数 [Hz]
- 目的（検収条件）
 - 熱負荷運転（バーナー点火）状態のもと30分以内に冷却水往温度を目標値の ± 1.0 °C以内に制御する
 - 熱負荷停止（バーナー停止）状態のもと30分以内に冷却水往温度を目標値の ± 1.0 °C以内に制御する

■試験フロー



■測定データ

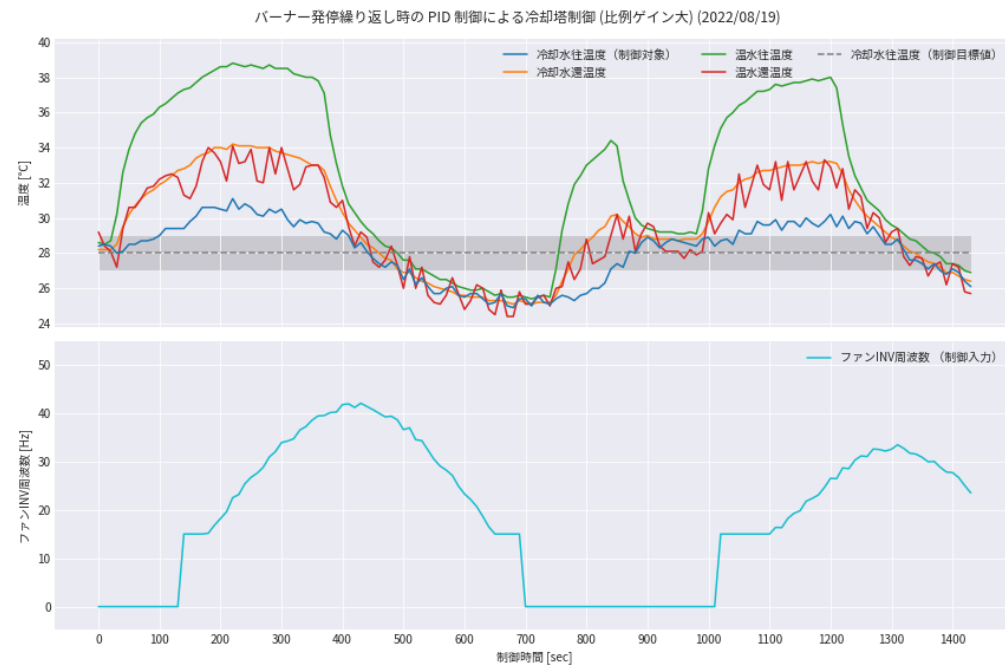
センサー番号	測定項目
T1	冷却水往温度(°C)
T2	冷却水還温度(°C)
T3	温水往温度(°C)
T4	温水還温度(°C)
M1	循環水流量(m3/h)
H1	ファンINV周波数(Hz)

※お送りいただいた
試験フローの説明画像

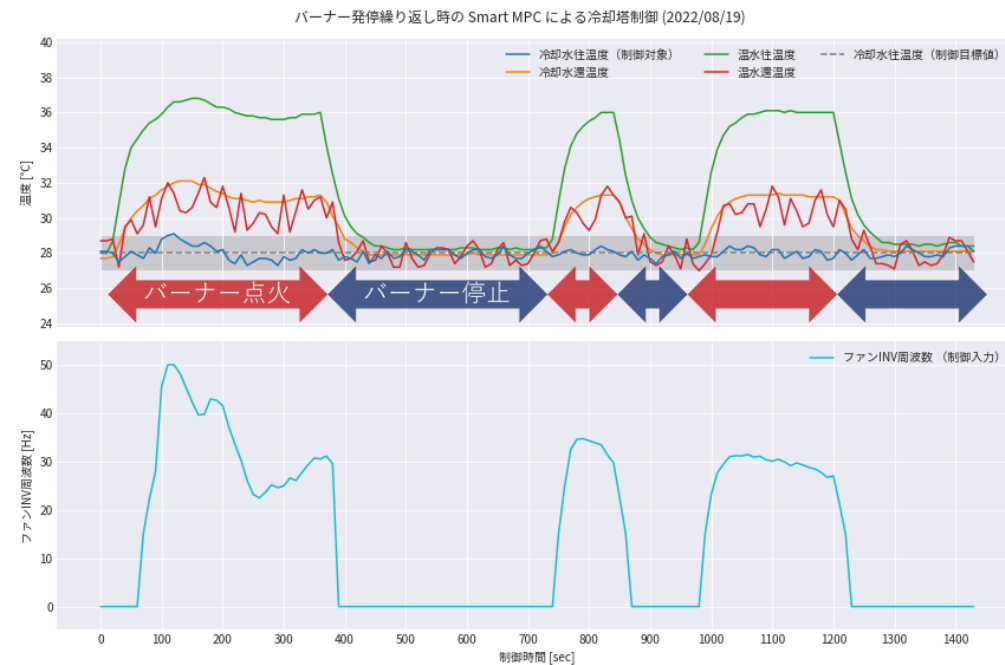
外乱印加時（バーナー発停時）の PID制御とSmart MPCの比較

- バーナーは図のように6分、2分、4分の間隔で点火と停止を繰り返す
- 青線が制御対象である冷却水往温度
- 灰色点線が制御対象の目標値
- 灰色領域が目標値 ± 1.0 °C の範囲を示す

PID制御



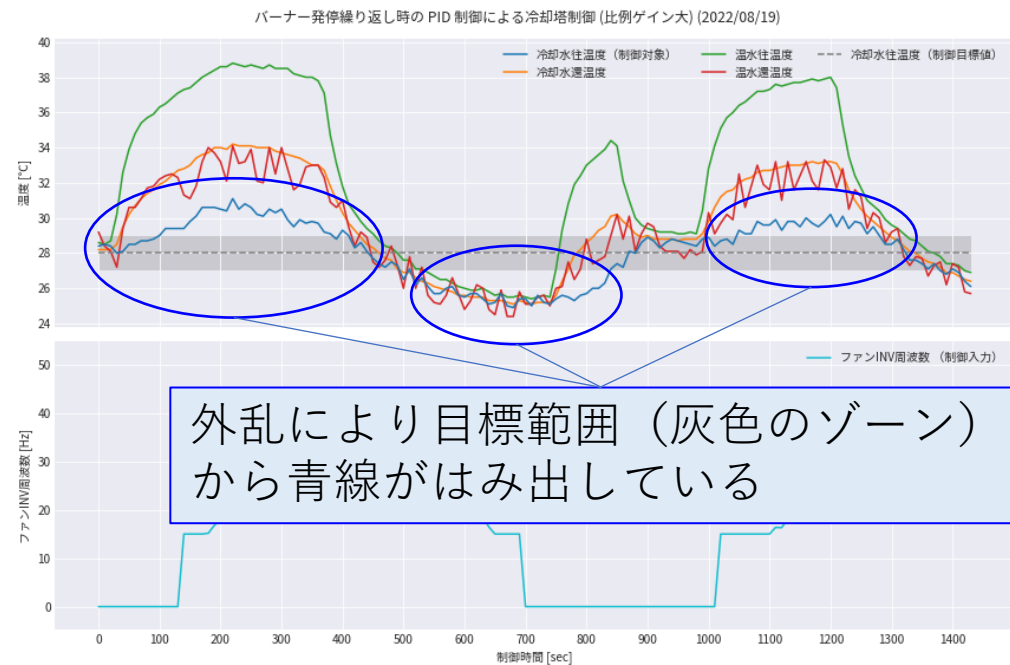
Smart MPC



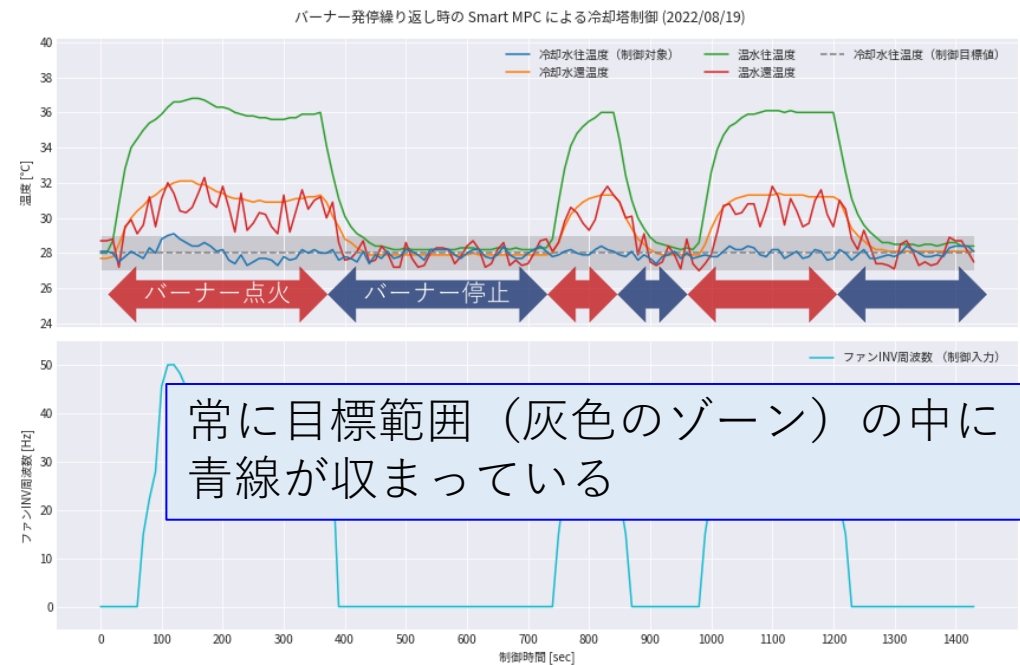
外乱印加時（バーナー発停時）の PID制御とSmart MPCの比較

- バーナーは図のように6分、2分、4分の間隔で点火と停止を繰り返す
- 青線が制御対象である冷却水往温度
- 灰色点線が制御対象の目標値
- 灰色領域が目標値 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の範囲を示す

PID制御

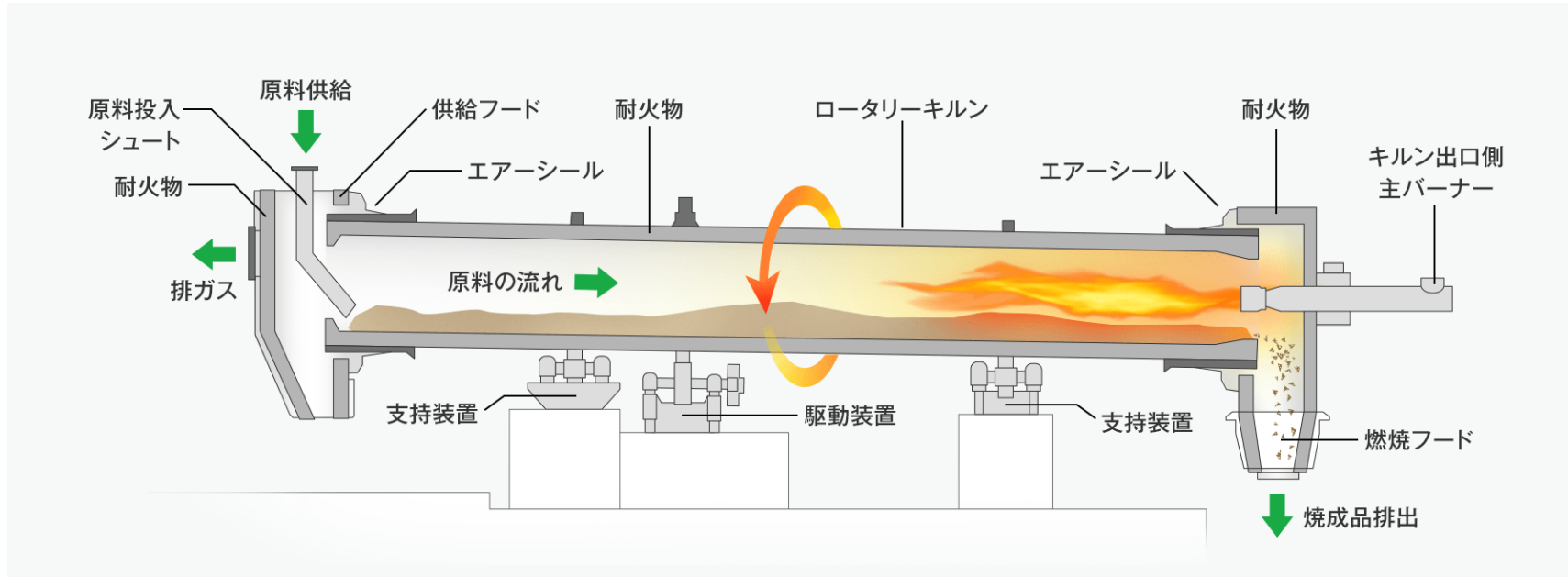


Smart MPC



ロータリーキルンの温度制御（炉メーカー）

ロータリーキルンとは？



ロータリーキルン (Rotary Kiln) は、円筒形の炉が回転しながら加熱され、内部の材料を処理する装置であり、主にセメント製造や鉱物の焼成、廃棄物処理などで広く用いられている

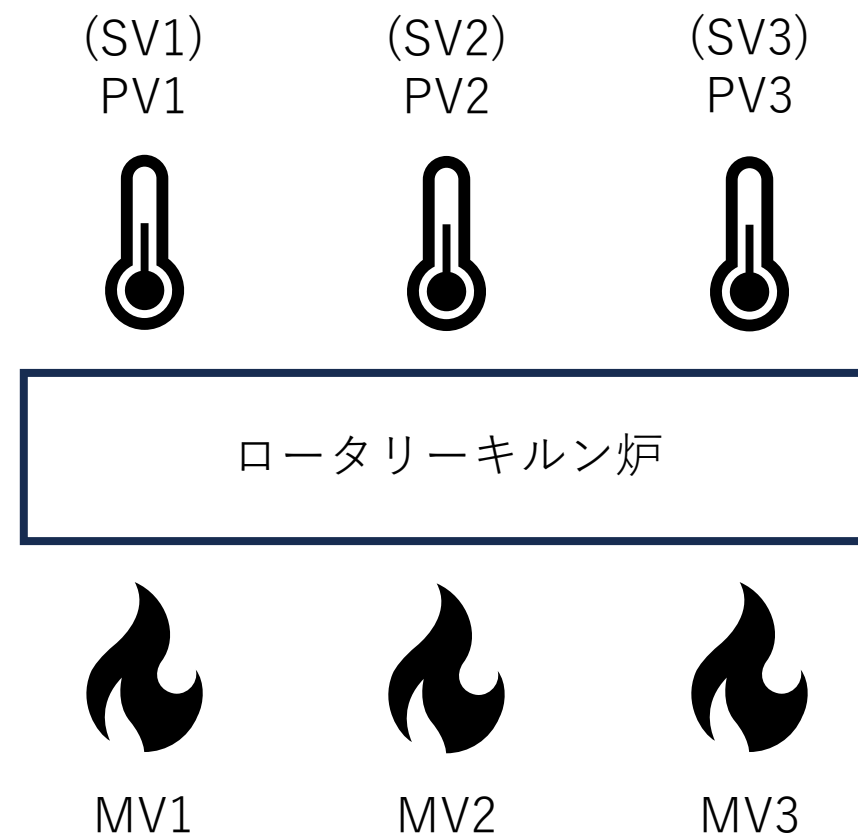
特徴と構造

- **円筒形の回転炉**で、わずかな傾斜が付いている
- ゆっくり回転することで、材料が攪拌され、均一な加熱が可能
- 高温の燃焼ガス (1000～1600℃程度) が炉内を通り、材料を焼成

対象のロータリーキルン（3入力3出力）

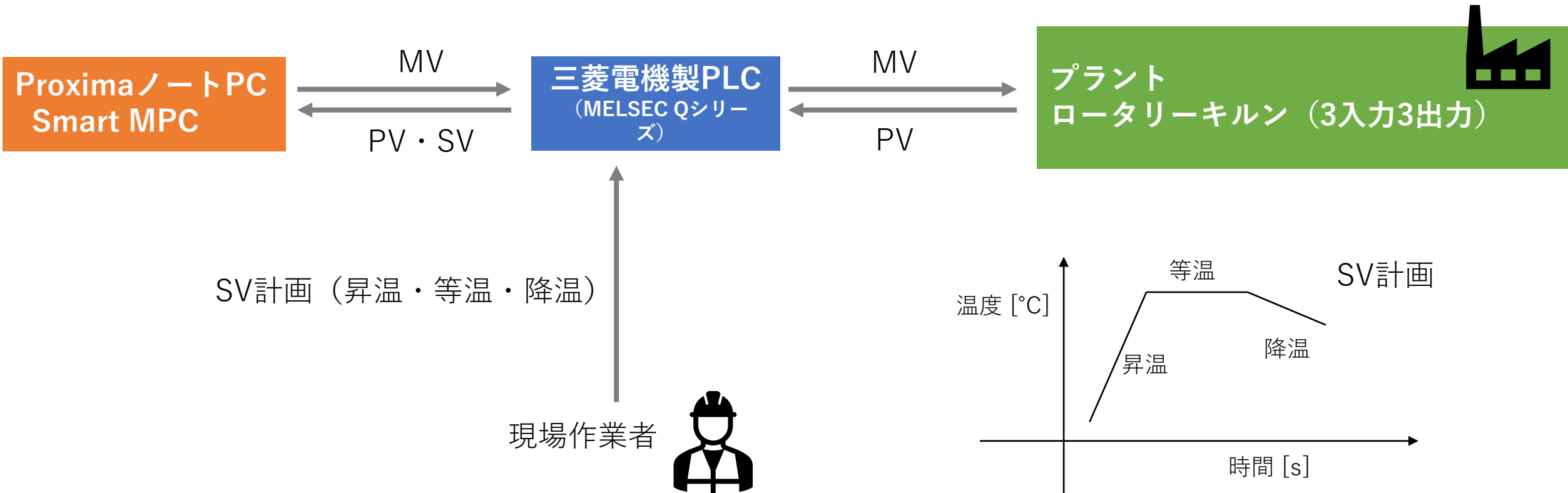
物理的な位置関係から PV2 が温まりやすい（分布定数系）

→ 各MVとPV同士の関係を学習しないとうまく制御できない



制御目的とシステム構成

- PV: 炉内温度センサ値 [°C]
- MV: バーナー指令値 [%]、MVの値を大きくするほど炉内の温度が上昇する
- SV: PVを追従させる目標温度 [°C]、1つのPVに対して1つのSVが対応
 - 傾き一定で温度を上昇させ（昇温）、その後一定の温度を保ち（等温）、最後に傾き一定で温度を下げる（降温）ような時間変化する目標値（SV計画）
- **制御目的:** 炉内温度PVと目標温度SVから最適なバーナー出力MVを決定し、PVをSVに追従させる



ランダム加振による初期学習データ収集

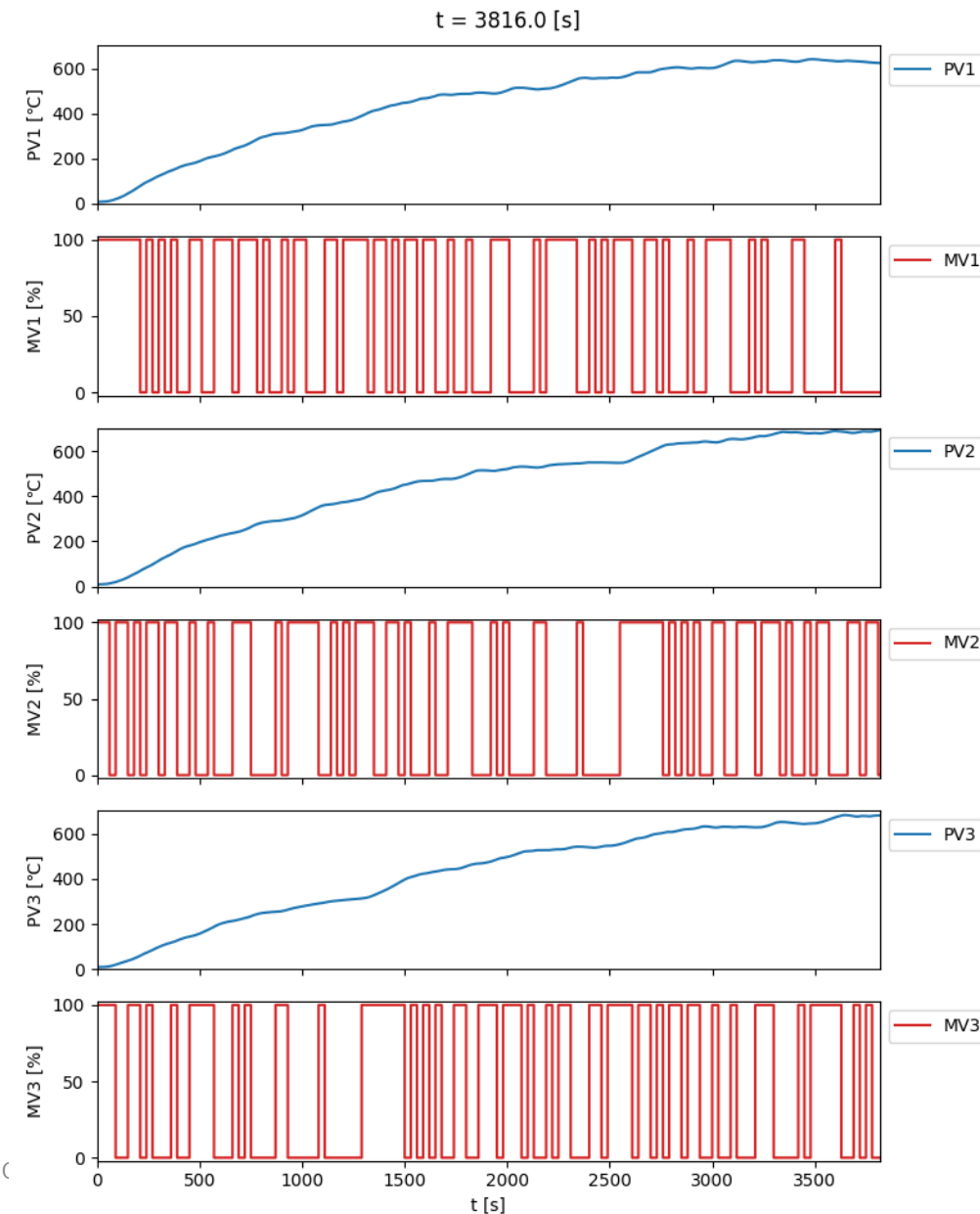
初期学習データの収集としてランダム加振を行った

ランダム加振のパラメータ

- 印加する2値MVの 0 %, 100 %
- (最小の) 切り替え間隔 30 秒
- データ収集にかける時間：**合計 60 分強**

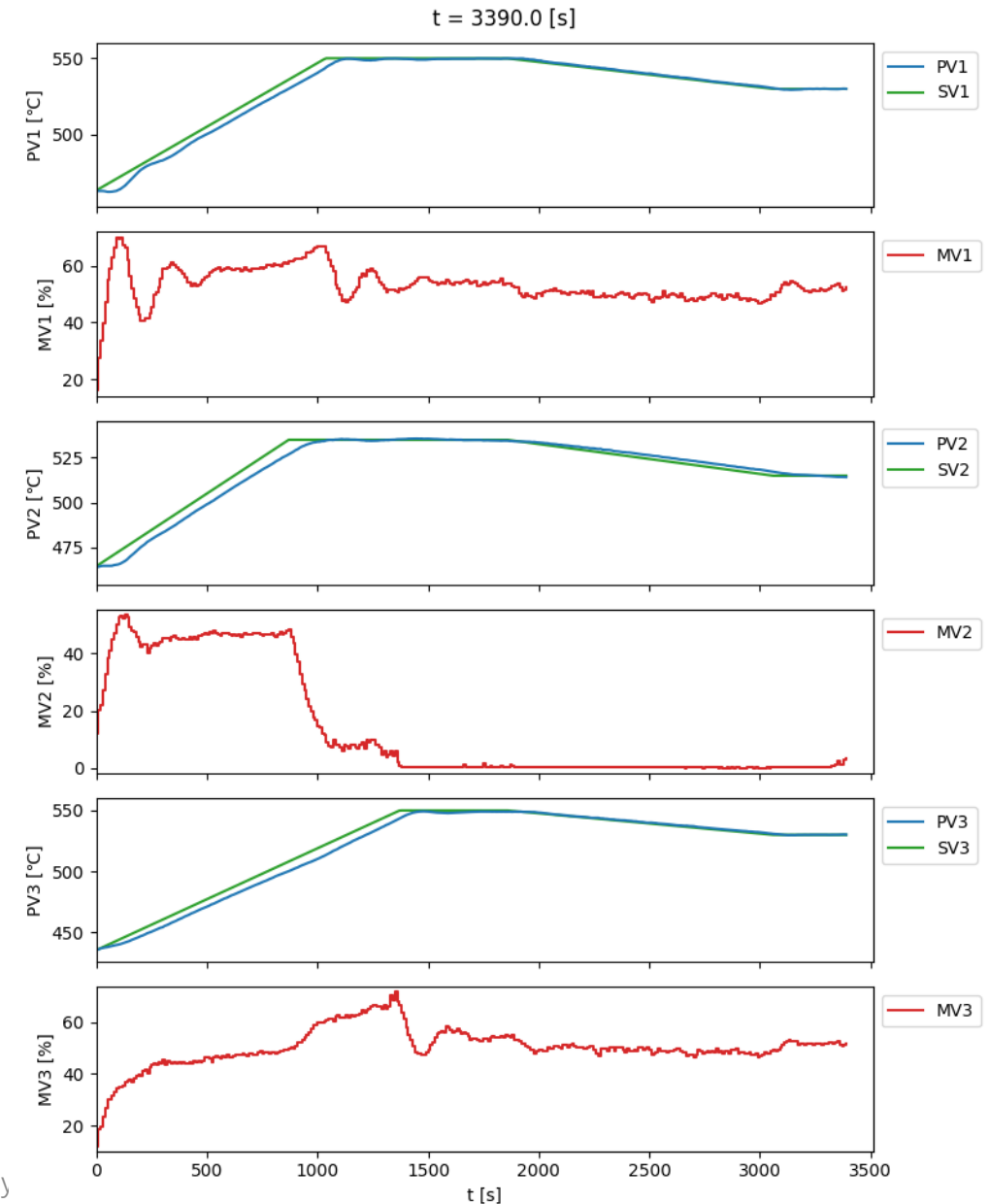
以上のパラメータは以下を考慮して、
お客様と相談して決めた

- プラントの負担とならない
- 炉内温度PVが実際の制御するときのSV付近となる
- $MV = 100\%$ のとき温度PVが上昇し、 $MV = 0\%$ のとき温度PVが下降する様子がグラフで確認できる



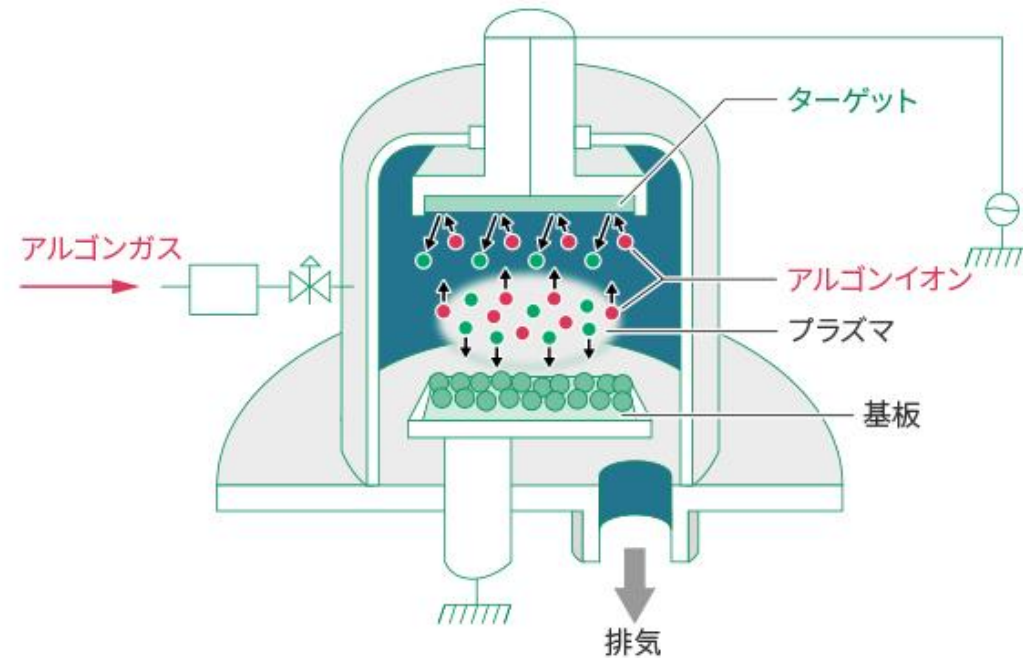
Smart MPCによる実際の運転

- オーバーシュート、ハンチングを小さく抑えつつSVに追従できている
- PID制御の場合はSV計画ごとにゲインを調整すれば同程度の性能になる
- この図以外にも異なるSV計画に対して試験運転を行ったが、Smart MPCは運転ごとにパラメータチューニングをせずとも一定の性能を出せる点が優れている
- **制御がうまくできていることから、各MVとPV同士の学習ができている**



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 (光学材料メーカー)

スパッタリングプロセスとは？



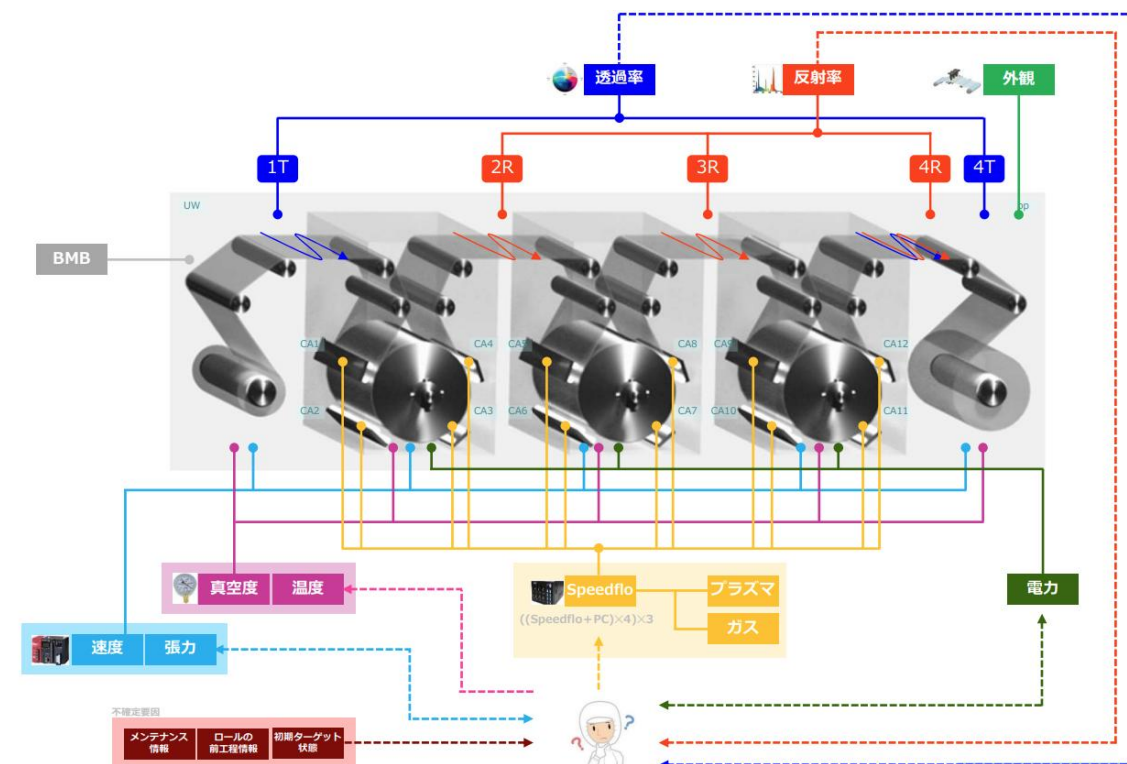
スパッタリングプロセス（Sputtering Process）とは、真空中でプラズマを利用してターゲット材（被膜にしたい材料）から原子や分子を放出させ、基板上に薄膜を形成する物理的蒸着法の一つ
ターゲットにイオンをぶつけ、その衝撃でターゲットの原子が叩き出されて基板上に薄膜として堆積する

対象スパッタリングプロセス概要

スパッタリング電圧を適切に制御することで、
多層構造の膜厚を調整し、反射防止効果を最適化できる。
各層の特性に合わせた電圧設定が、
高性能な光学フィルムの実現に不可欠。

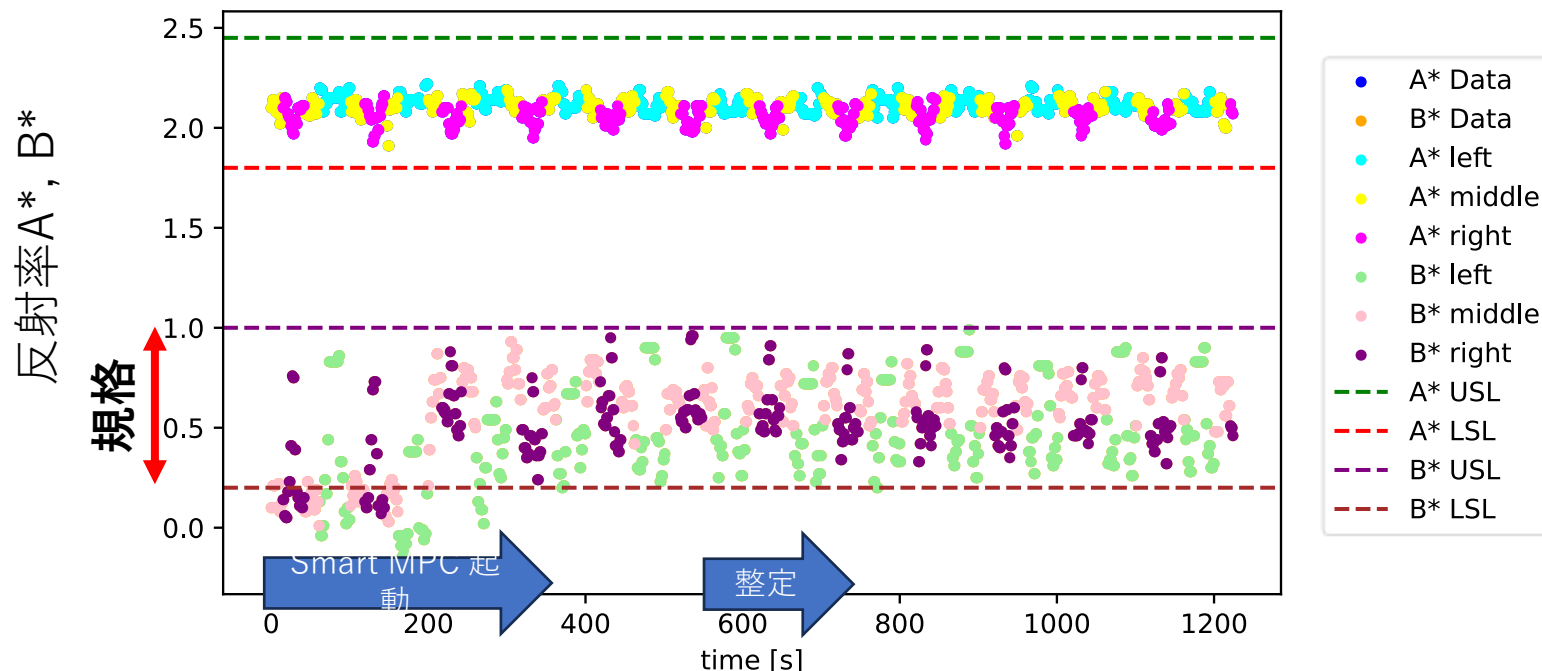
スパッタリング電圧制御

- **SV設定（目標反射率）**
 - 反射率を規格内に収める
- **PVの測定（実測反射率）**
 - 成膜中の反射率をリアルタイム測定
- **MVの調整（フィードバック制御）**
 - PVとSVから、最適化計算によりスパッタリング電圧（MV）を決定
 - 反射率が高すぎる場合 → 電圧を調整して膜厚を増減し、屈折率・干渉効果を最適化。



Smart MPC によるスパッタリング制御

Smart MPC による制御



- 目標通り、整定後には**反射率がすべて規格内に収まっている**。
 - left, middle, right はフィルムの幅方向の位置
 - 反射率の性能としては、オペレータと同程度**
 - Smart MPC の導入によりオペレータの**人件費削減**を目指す
(現状のオペレータの制御では、1日約16時間、人が張り付きで操作している)