



ENEOS

令和6年度デジタル・AI省エネフォーラム (R7/3/30)

実プラントへの強化学習AI制御システムの適用

株式会社ENEOS マテリアル

目次

1. 強化学習AI制御システムへのチャレンジ
 - サマリー
 - 背景
 - 対象プロセス
 - 導入ステップ (STEP1~4)
 - 結果
2. 導入時の課題
3. 導入成功の要因
4. まとめ

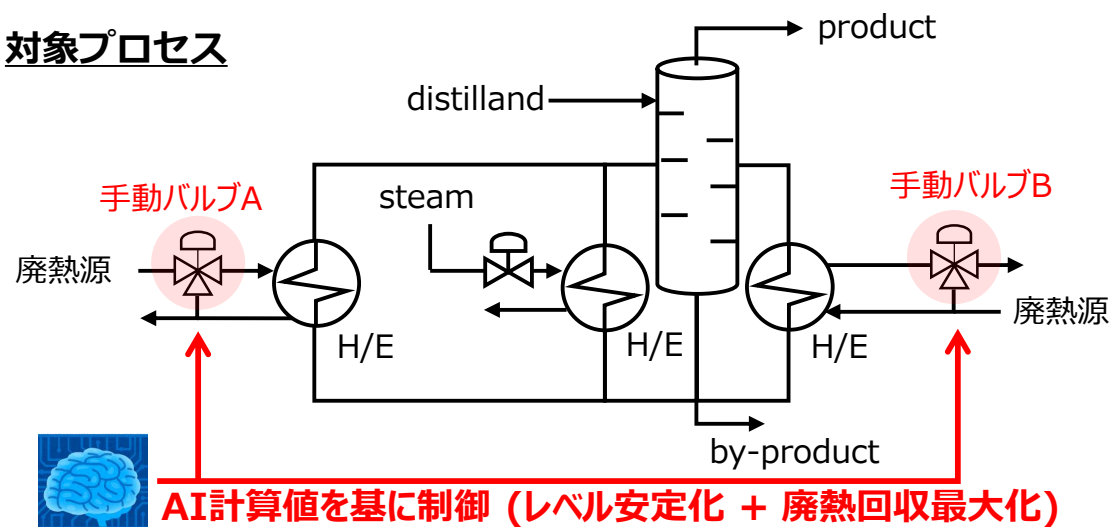
Appendix 株式会社ENEOSマテリアル 会社概要

1. 強化学習AI制御システムへのチャレンジ

今回の取組みのサマリー

取組みの経緯	横河電機様より「令和2年度 産業保安高度化推進事業」として新しいプラント制御AI技術の検証への参加提案を受けた
検証対象	ブタジエンプラント精製塔の廃熱回収において、手動制御(開度調整)しているバルブをAIで代替する
方法	<ul style="list-style-type: none"> ■ 横河電機の独自技術を含めた強化学習によりAIモデルを構築 ■ 5STEPによる導入 STEP0:シミュレータ構築 / STEP1:強化学習によるAI制御モデルを構築 / STEP2:AIモデルの妥当性/安全性検証 / STEP3:AI指示値を手動設定 / STEP4:自動制御
成果	35日間、AIによる連続自律制御を達成(世界初：横河様と共同プレスリリースを配信)

対象プロセス



社内の検討体制

窓口役：生産技術部(本社) 1名

技術検討：製造部 2名

機器導入：エンジニアリング部 1名

今回の取組みの背景

■ 当社におけるプロセス制御の現況

モノマープラント、パワープラントでは、大部分の運転が自動化されているものの、まだ人による介入が必要なプロセスが存在しており、 属人性やヒューマンエラーに課題意識を抱えている。

⇒AI技術を使った自動化によってスマート保安を促進して、保安力や生産性の向上を図る

■ 横河電機株式会社の取り組み

IA2IA(Industrial Automation to Industrial Autonomy*)を提唱し、そのキーとなる自律制御AIを理論から実用に範囲を広げている。

2018年：「プラントへ活用可能な強化学習技術」としてFactorial Kernel Dynamic Policy Programmingを開発

2019年：プラントを模した制御トレーニング装置での実験に成功

2020年：プラント全体を対象にしたシミュレータ上での制御の可能性を確認



ENEOSマテリアルのプラントにおける実証実験にて、当該制御技術の確立を図る

*IA2IA:

“産業における自動化から自律化への動き、潮流、流れ、革新”の呼称。
プラントの設備や操業自体が、学習し、適応する機能を持つようになり、
人間の介入が最低限に留まることでより高いレベルの最適化に取り組める状態

実証実験対象プロセス

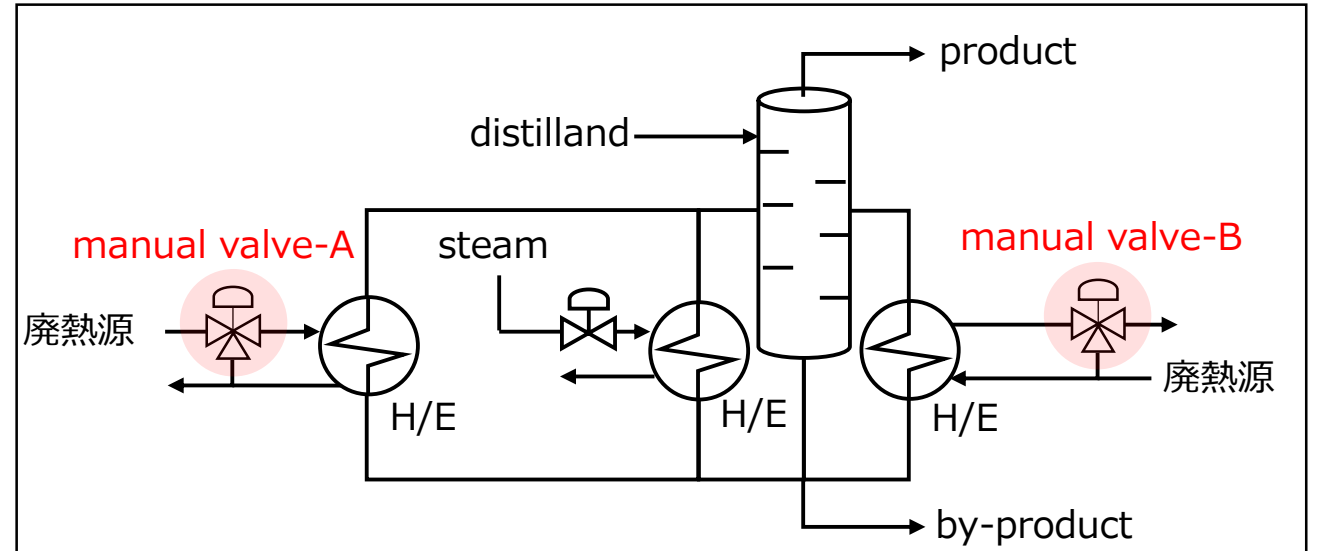
手動制御によるブタジエンプラントの廃熱回収をAIによる自動制御で代替する

■ 当社ブタジエンプラントにおける課題

ブタジエンプラント精製塔では一部手動制御を行っており、オペレータの監視負荷やスペックアウトの原因になっている。

■ 検証対象：精製塔の液面レベル制御

- ・上流工程で使用した溶剤の熱回収を行いつつ、
高圧蒸気を使ったPID制御で液面を制御
- ・外乱(外気温、組成変動等)による影響が大きく、
溶剤の廃熱回収バルブA,Bの開度はオペレータが都度、
手動で設定
*最大1回/約15分の間隔で手動操作を実施
- ・過去に高度制御パッケージによるモデル予測制御や
経験則によるルールベースの自動化を検討したが
自動化に至らず



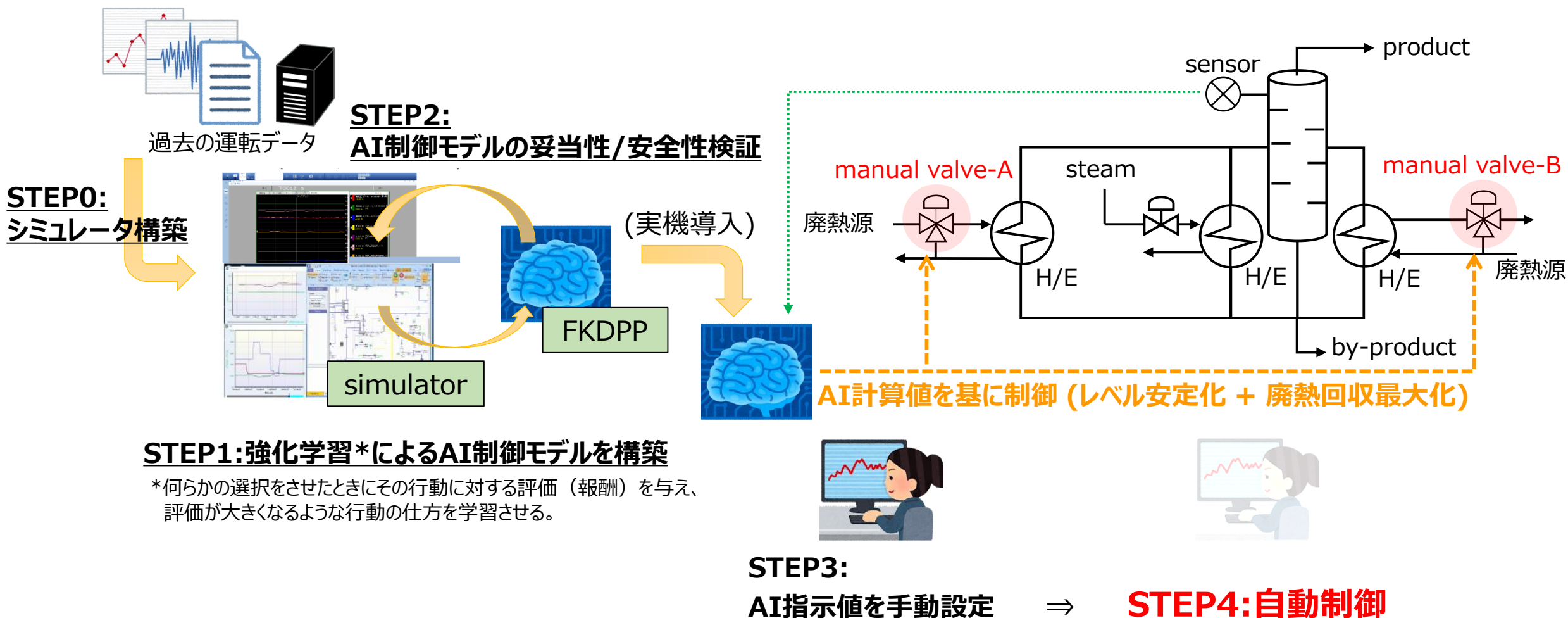
検証対象工程(精製塔)の概略図

手動バルブを効果的に操作するAI制御モデルを構築する

導入ステップ

AI制御モデル構築/導入フロー

プラントシミュレータ上で強化学習AIモデルを構築し、段階的に実プラントへ適用する



STEP1: 強化学習*によるAI制御モデルを構築

*何らかの選択をさせたときにその行動に対する評価（報酬）を与え、評価が大きくなるような行動の仕方を学習させる。

STEP1: 強化学習によるAI制御モデルを構築

横河電機の独自技術を含めた強化学習によりAI制御モデルを構築

① 強化学習によるモデル構築

報酬は単一の行動に対して即座に与えられる必要はなく、時間経過とともに適切な判断を繰り返さないと良い結果が得られない複雑な問題設定にも対応できる。

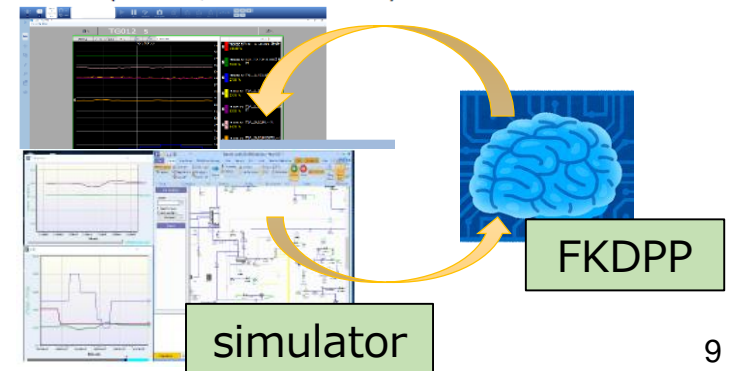
② プラントシミュレータの活用

強化学習AIでは試行錯誤が必要で、安全面から実プラントで実際に試行錯誤することはできない。
⇒実プラントを模したシミュレータ上で構築し、安全かつ高速に学習する。

③ 強化学習の独自アルゴリズム : FKDPP (Factorial Kernel Dynamic Policy Programming)

- ・横河電機と奈良先端科学技術大学院大学の共同研究成果物
- ・強化学習型のAIアルゴリズムで、少ない試行錯誤(学習)回数で安定解を導くことができる。

★一般的な強化学習型AIアルゴリズムでは100万回以上の試行錯誤が必要なところ、FKDPPでは30~40回の学習で安定解を出すことができる。



STEP2:AIモデルの妥当性/安全性検証

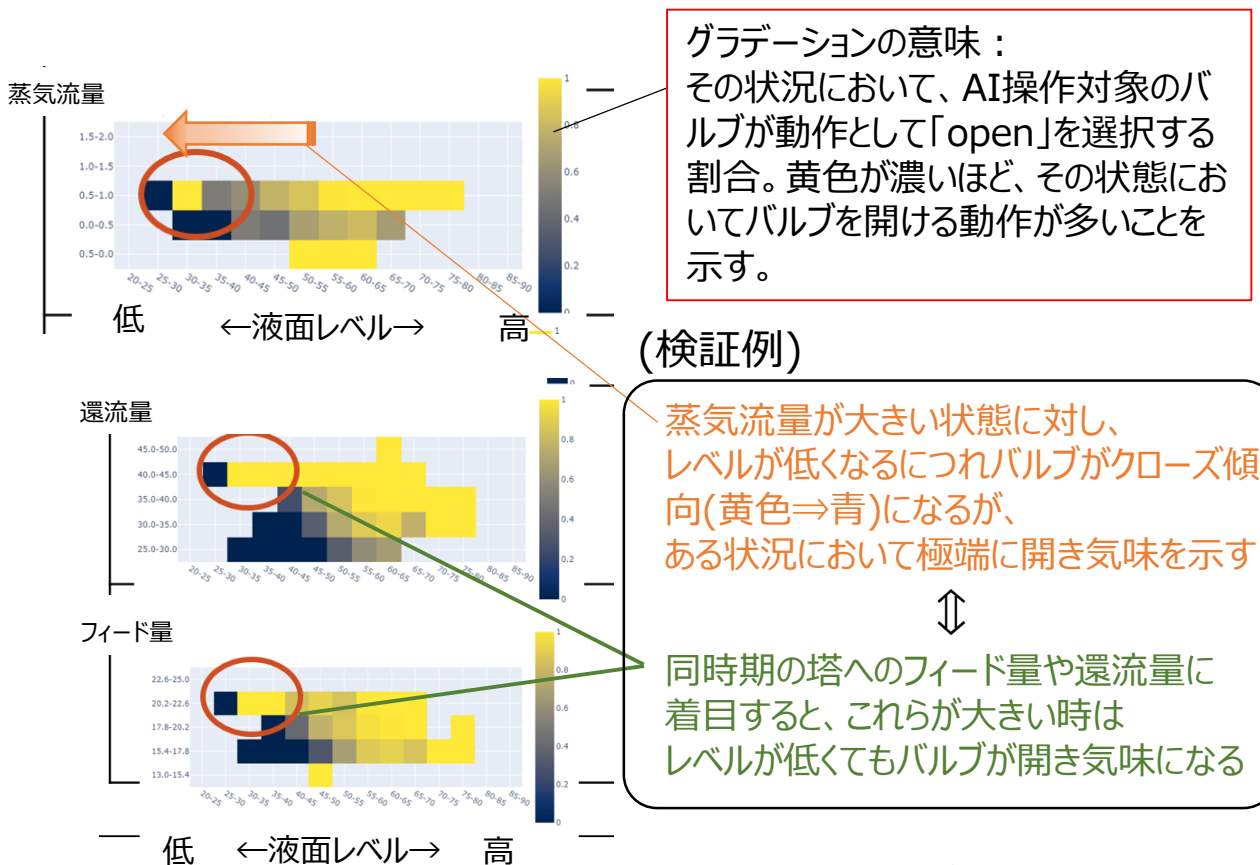
シミュレータ上での稼働データからAIモデルの妥当性/安全性を検証

■ AI制御モデルの行動マップ

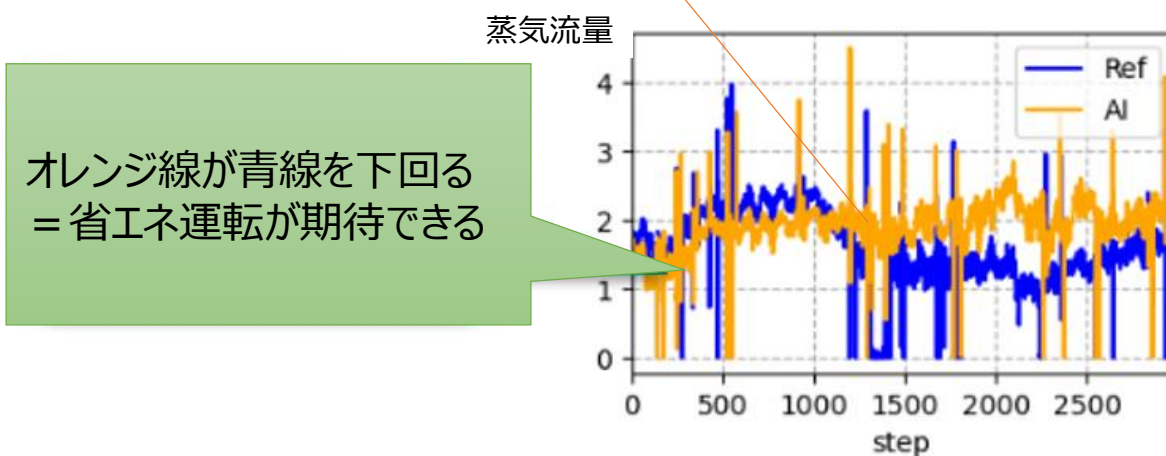
過去の実データをAI制御モデルに与え、AIがとる行動をマッピング
= AIが理屈に反した動きをしていないかを検証

■ 省エネ評価グラフ

過去の実データと比較し、
AIの行動で省エネが期待できるかを検証



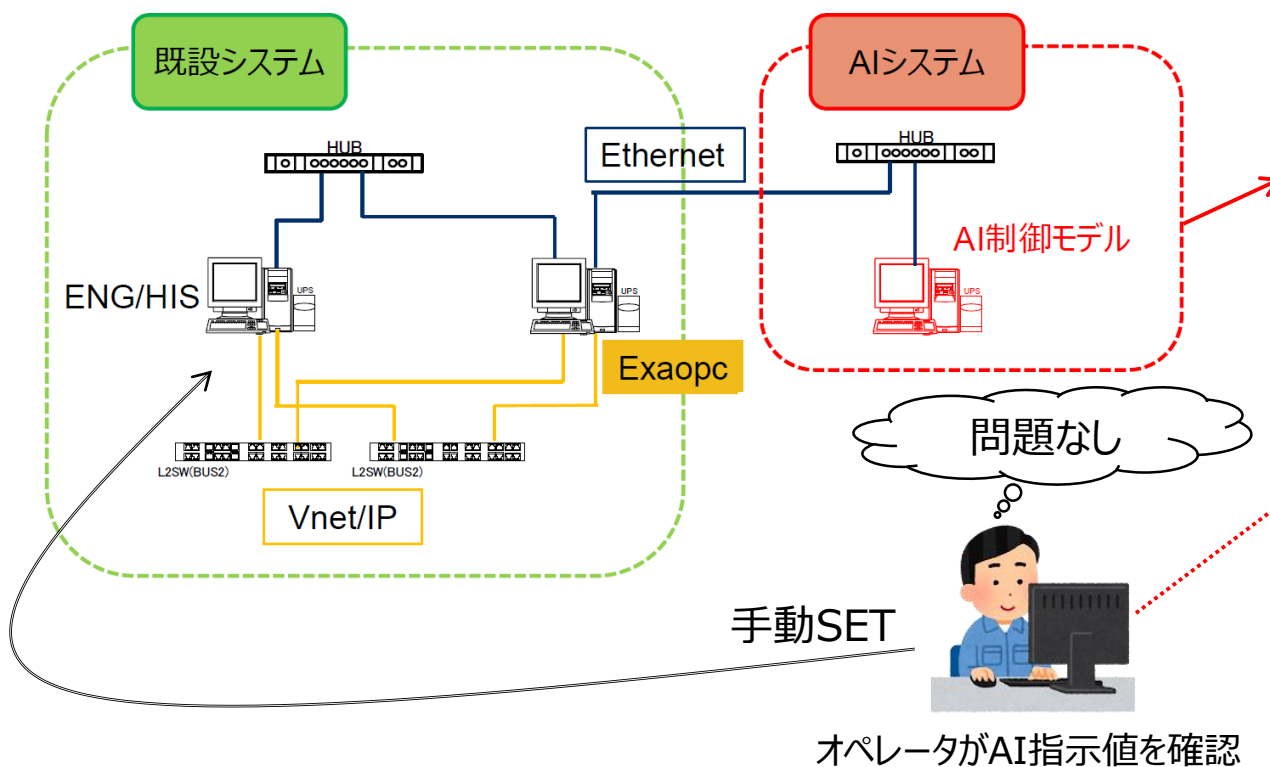
シミュレーションにおける蒸気消費量



※非合理的な動作がみられる場合、観測パラメータや報酬式を見直してモデルを再構築する

STEP3: AI指示値を手動設定

オペレータがAIの指示値の妥当性を確認しながら、手入力で設定する



AIによる指示値

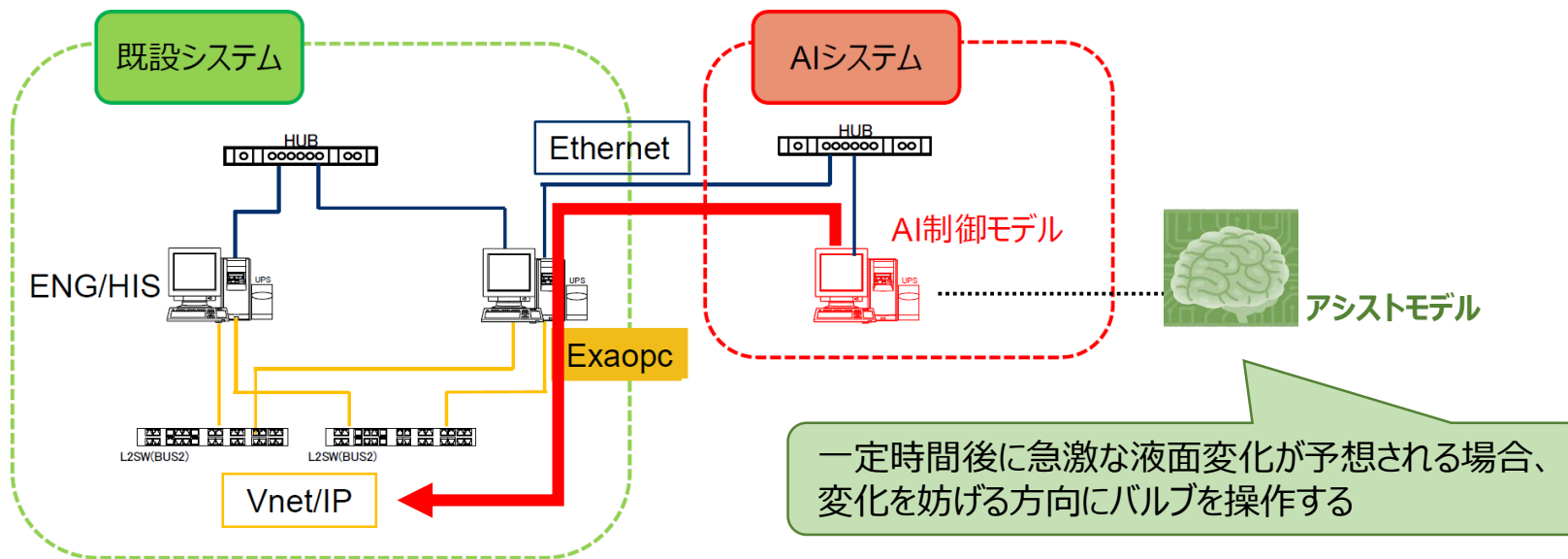
【テスト方法】

- ・オペレータが定間隔でAIの指示値を確認し、妥当と判断できれば設定値として反映する
- ・オペレータの意に反する指示が継続した場合、STEP3を中断してモデルの解析/再構築に戻る

⇒ STEP2~3を繰り返し、一定期間連続で動作できるモデルを構築する

STEP4:自動制御

安全対策や補助機能を導入したうえでAIによる自動制御を開始



【安全対策】

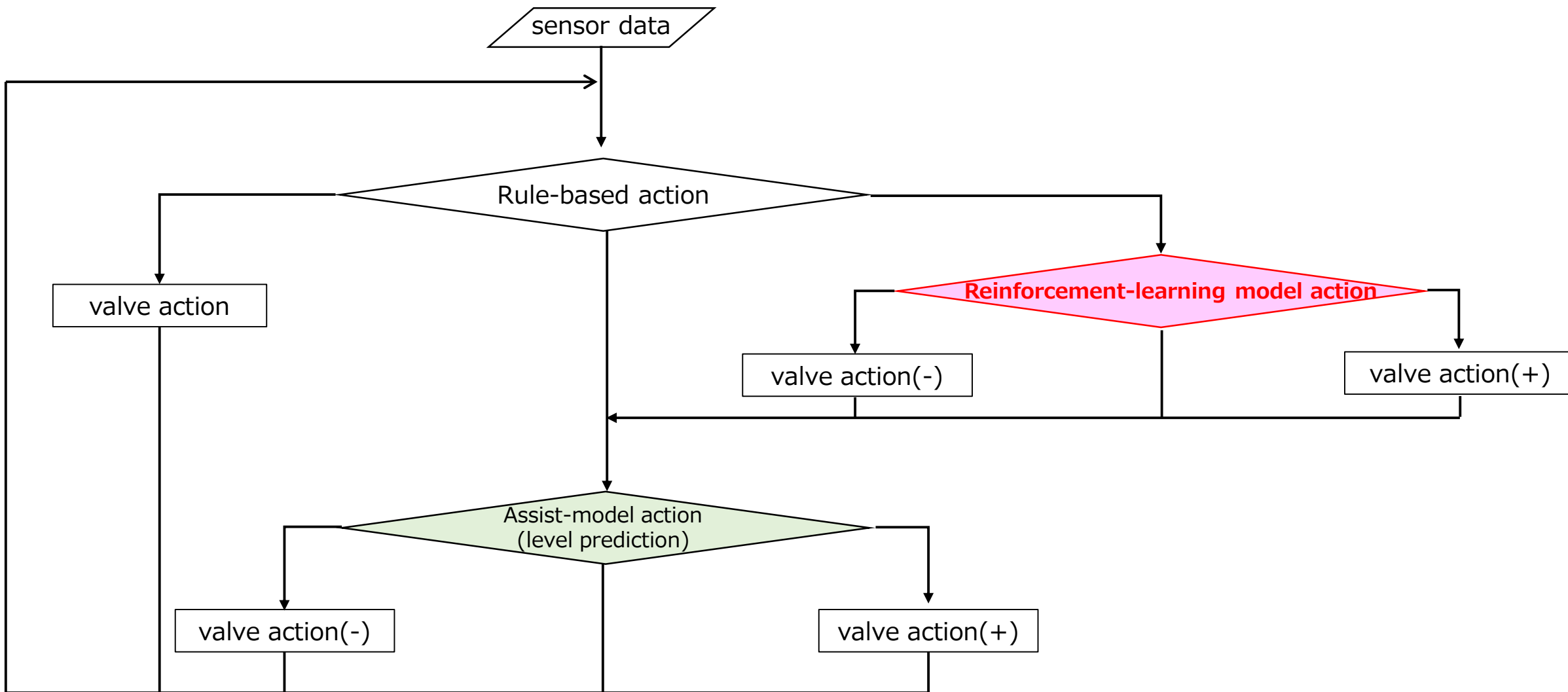
①ルールベースによるAI出力の制限	制御周期を規定(1回/N分 等)、バルブ開度変化量を制限
	特定条件下(液面レベルが極端に高い/低い状態 等)では固有のバルブ操作を実施
②システムのフォロー	既存のDCSのアラームをそのまま活用
	AI制御システムの動作不全の際、DCSのアラームを通してオペレータに通知

【補助機能】

③アシストモデル導入	別機構により一定時間後の液面レベルを予測し、予測結果に応じてバルブ操作を追加
------------	--

導入した制御モデル

強化学習AIモデルだけではなく、ルールベースの制約や別の制御機構に支えられている

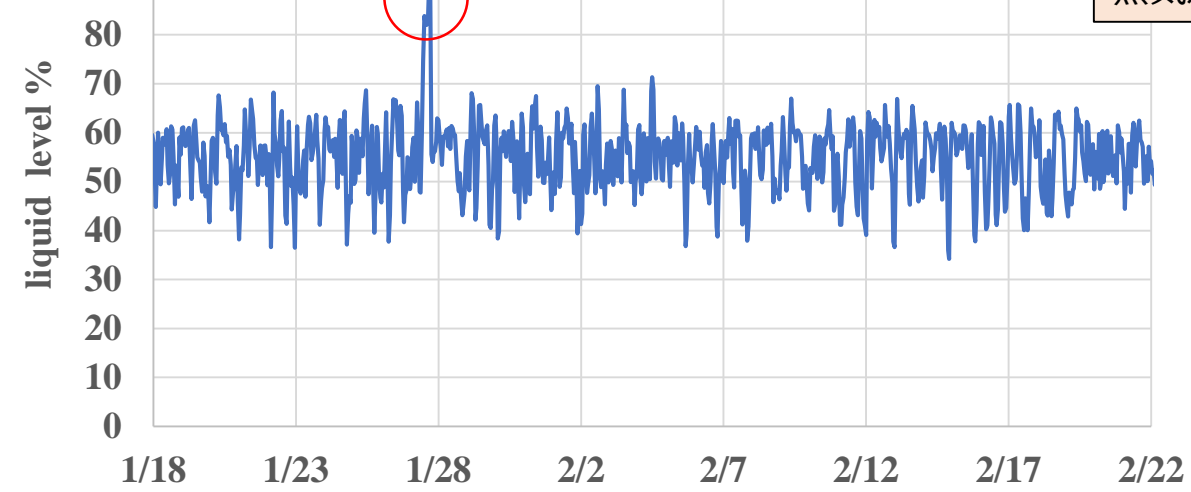


結果

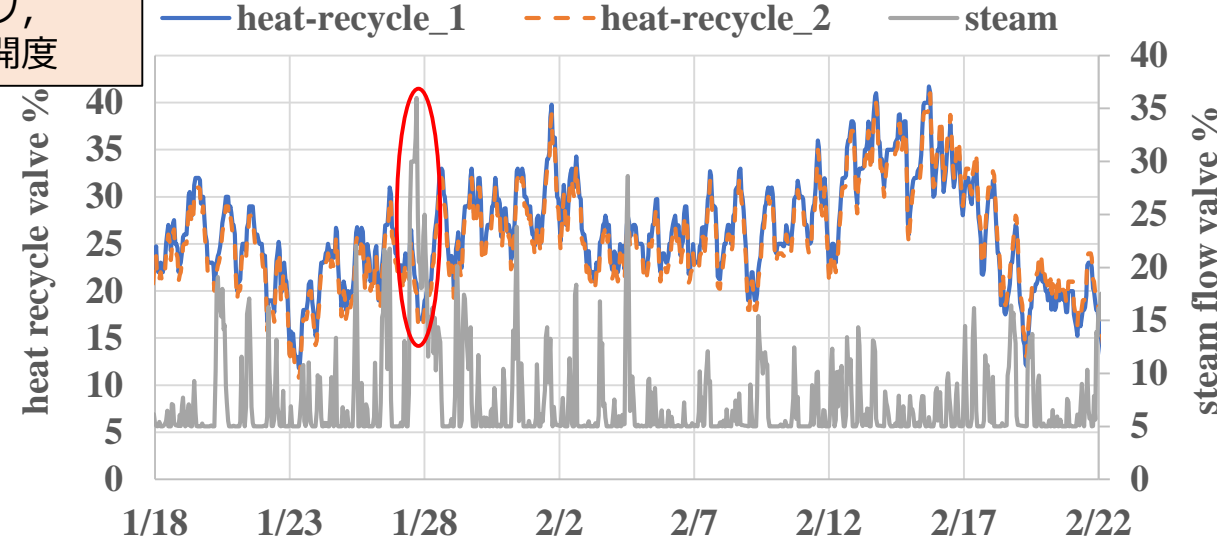
AI制御の性能～STEP4:2022/1/17-2022/2/22～

一部レベル変動が発生するも、AIによる35日間の連続制御を達成

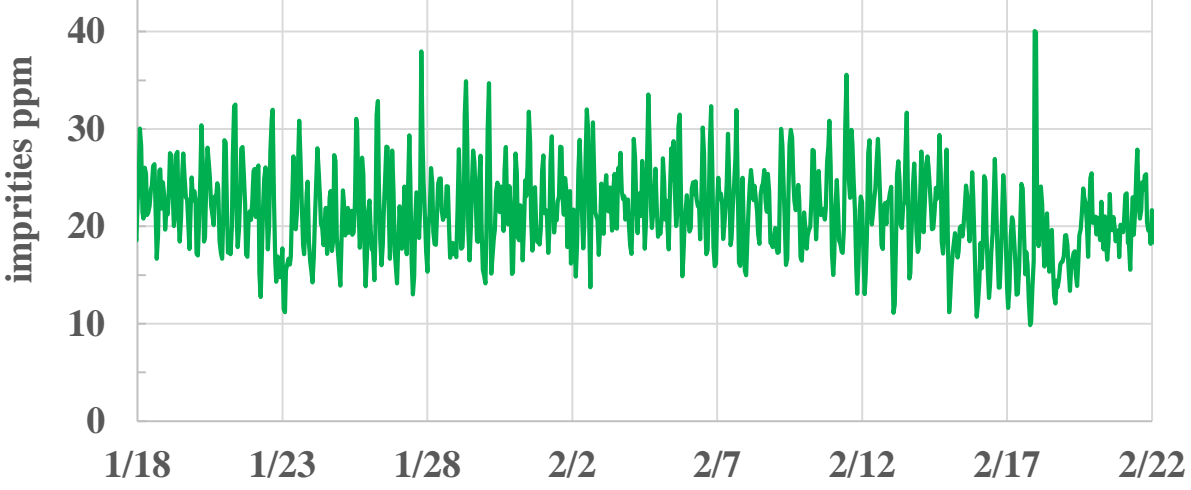
液面レベル



熱回収バルブ,
蒸気バルブ開度



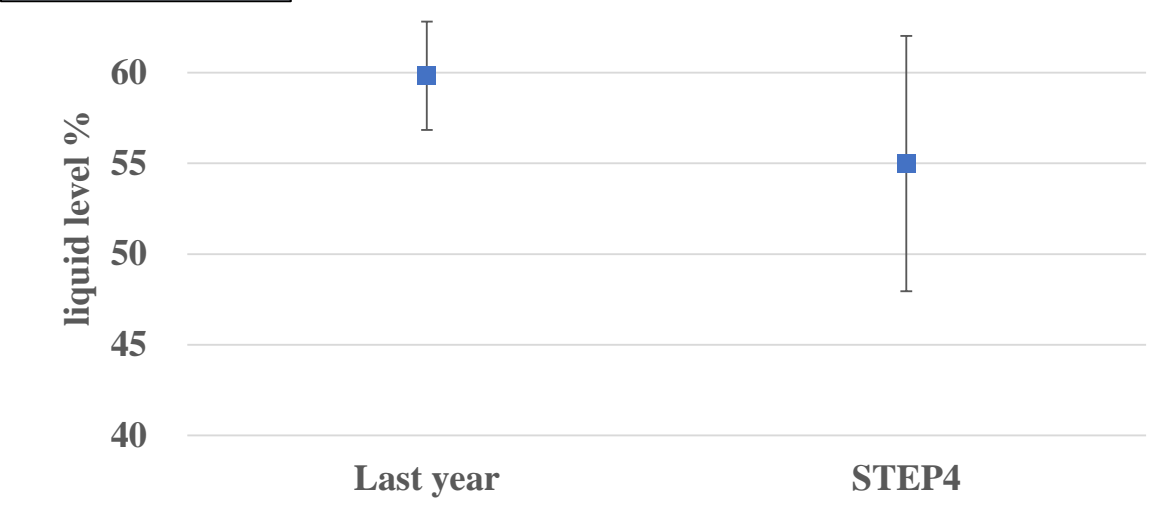
Product不純物



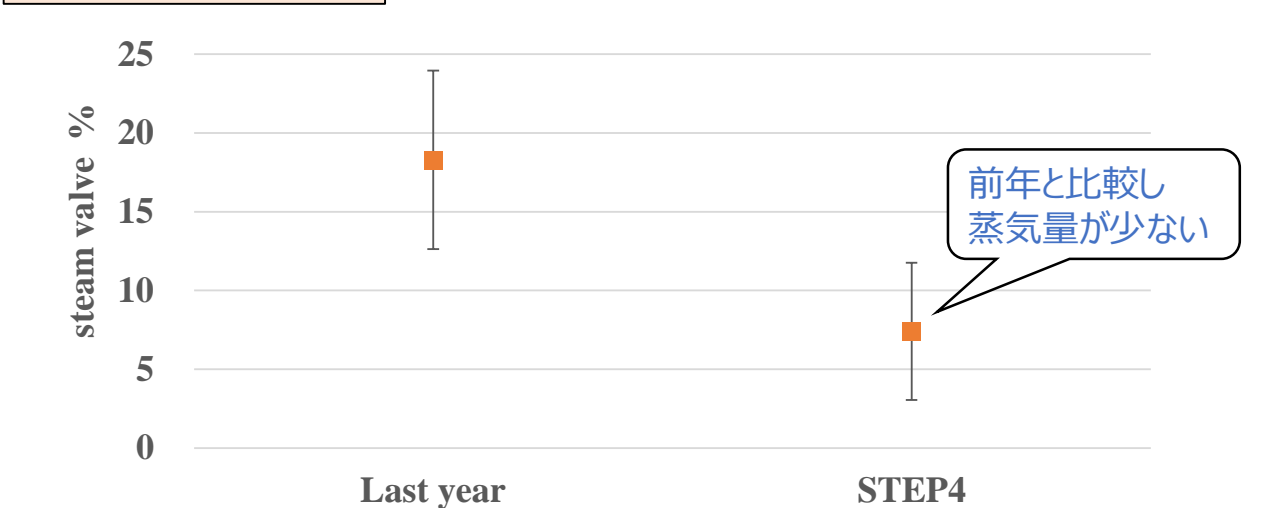
AI制御の性能～STEP4:2022/1/17-2022/2/22～

一部レベル変動が発生するも、AIによる35日間の連続制御を達成

液面レベル

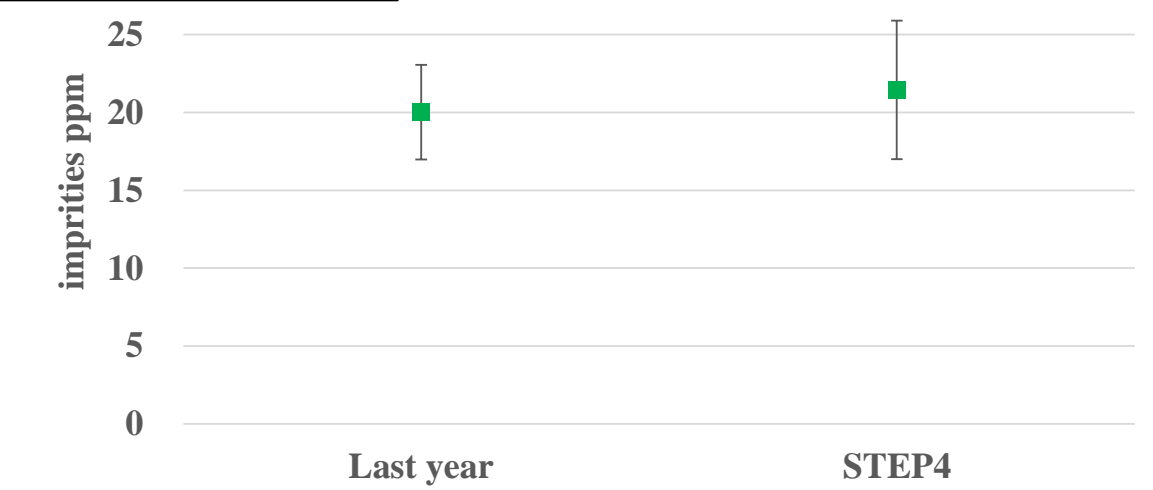


蒸気バルブ開度



*エラーバーは標準偏差を示す

Product不純物



- その後も改善検討に取り組み、2022年度途中より年間通じた連続運転を継続中。
- 他プラントへの展開についても鋭意検討中。

2. 導入時の課題

導入ステップごとの課題

STEP0～STEP2 (シミュレーター構築～AI制御モデル作成・妥当性検証)

- ・ 横河デジタルへのデータ提供のみ。計器類の追加等は無し。
既存データからシミュレーターの構築とAI制御の妥当性検証を実施。

STEP3 (AI指示値の手動入力)

- ・ 特に初期モデルでは運転の乱れが頻発。
テスト開始から数日で使用不可となるモデルも。

STEP4(自動制御)

- ・ 35日間連続運転達成時には品質面への影響から継続/中止の判断に悩む場面も発生。
AI制御モデルが運転員からの信頼を得るには時間と実績が必要。

導入後の改善検討

- ・ 運転データの解析を行い、改善要望の共有を実施。
⇒ 運転特性だけでなくAI制御システムの特徴を理解した技術者が
改善要望を構築する必要がある。(技術者の育成はSTEP1～4を通じて実施)

3. 導入成功の要因

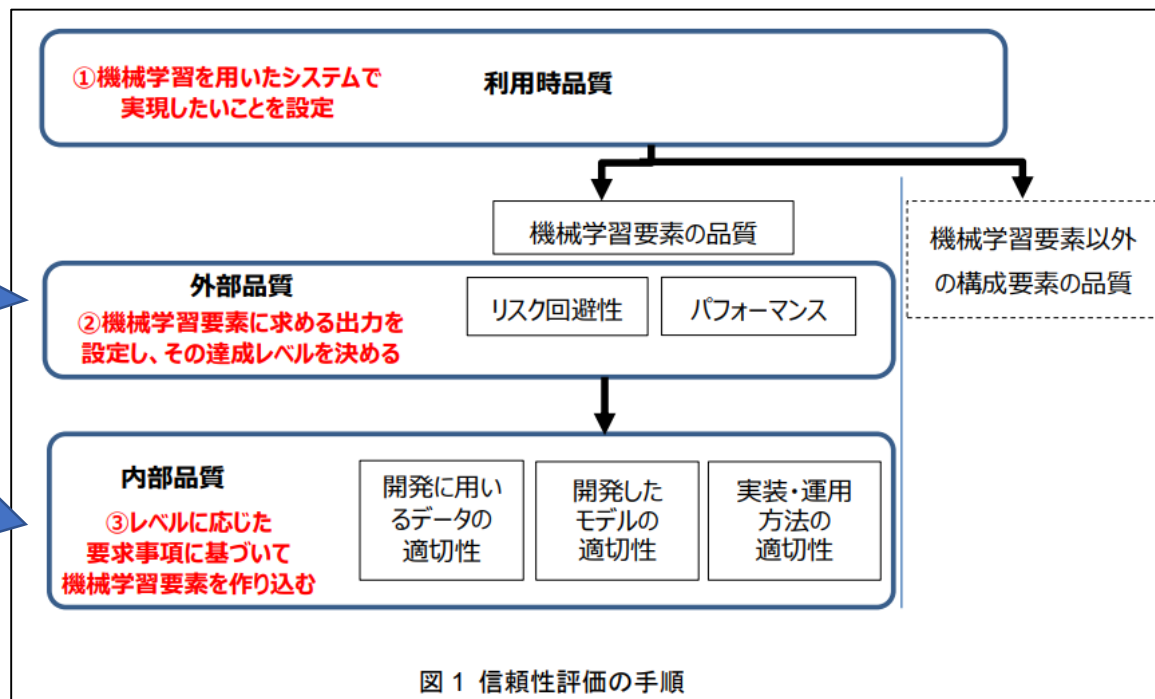
導入成功の要因① (AI信頼性評価ガイドラインの活用)

- AIをプラント分野で活用するために、信頼性を適切に評価するためのガイドライン

「プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン第2版 (石油コンビナート等災害防止3省連絡会議,2021年3月)」
 リンク：[プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン](#)

- 当社の実施例も掲載されている (但し、“STEP-3”段階での実施例)
- システム全体の要求品質を整理するのに有効

→ **過剰に怖がることなく、リスクを適切に評価して導入を進めることができる**



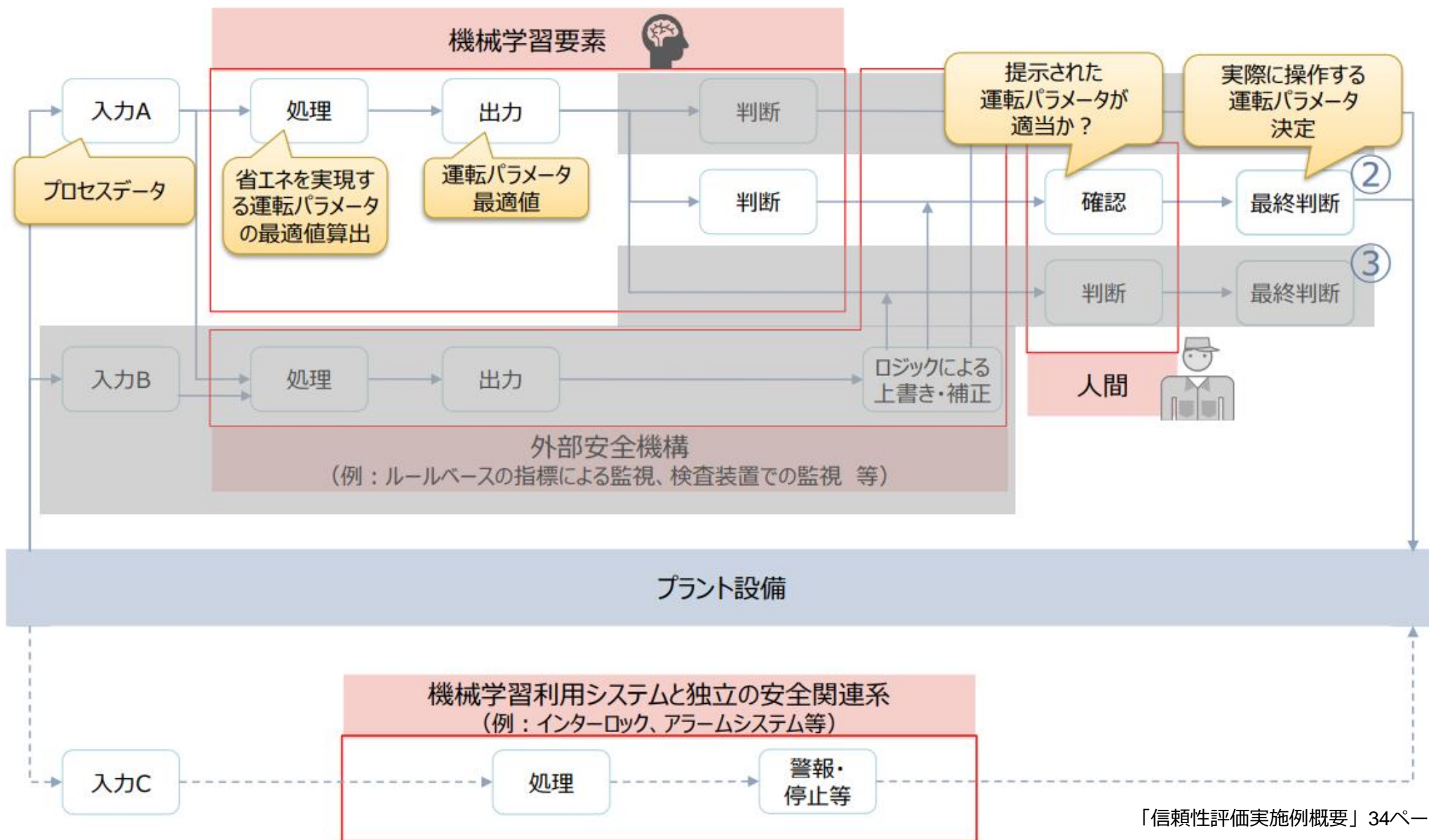
例) 求める出力は都度状況に応じてバルブを「開けるか」「閉めるか」の判断

例) あらゆる状況（運転パターン）で判断できるようデータを網羅する必要あり
 絶対値の精度要求はそこまで厳しくない

AI制御を導入した場合も元々のシステムが持つアラーム、インターロック、安全弁等の安全装置、製品品質保証のしくみは変わらず有効

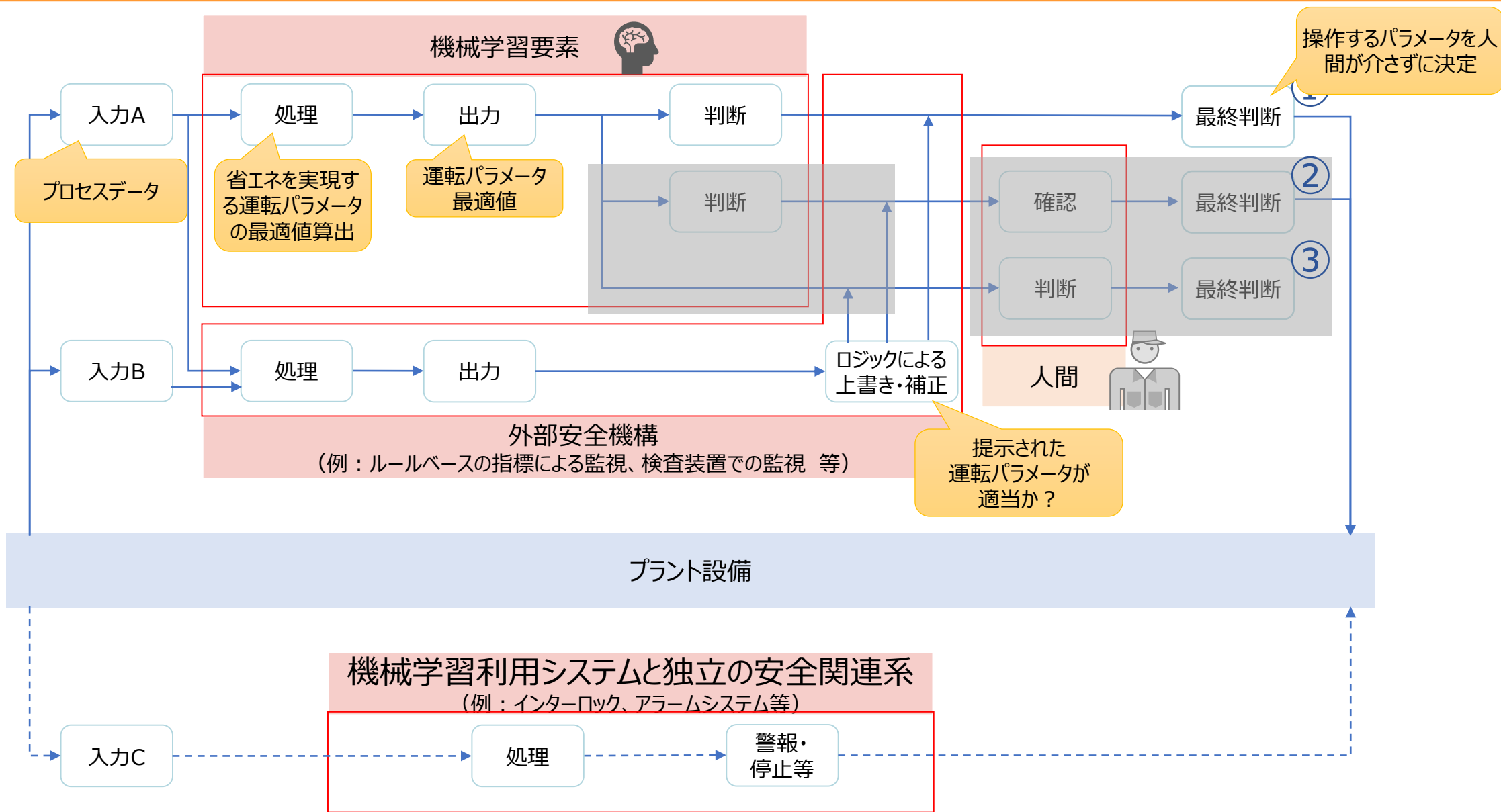
「プラント保安分野AI信頼性評価ガイドライン第2版」より

他システムとの関係 (STEP-3における実施例)



「信頼性評価実施例概要」34ページより

他システムとの関係 (STEP-4における実施例)



導入成功の要因②（その他）

- **「実証実験」という位置づけでのチャレンジ**

先進技術の投資対効果予測は困難だが、「実証実験」という位置づけで、令和2年度 産業保安高度化推進事業の支援を得て本テーマにチャレンジすることが出来た。

- **適切な導入箇所の選定**

合成ゴム原料精製の最終プロセスをAI制御システムの導入対象とした。以下2つの利点あり。

①制御エラーの影響が限定的（上流プロセスであれば影響が全系に波及）

②精製される原料はON SPEC品との混合で調整が可能

⇒初期段階からAI制御モデルを使用した運転期間を十分に確保。

「AIがうまく運転できていない状態」を把握し、改善を図ることができた。

- **導入目的に対する現場の納得感**

AI制御システム導入の目標は「コストダウン」と「運転員の作業負荷軽減」の両立。

職場全体が一体となってこの取り組みに参画することができた。

（「完全無人化」は導入目標として拳がらなかった）

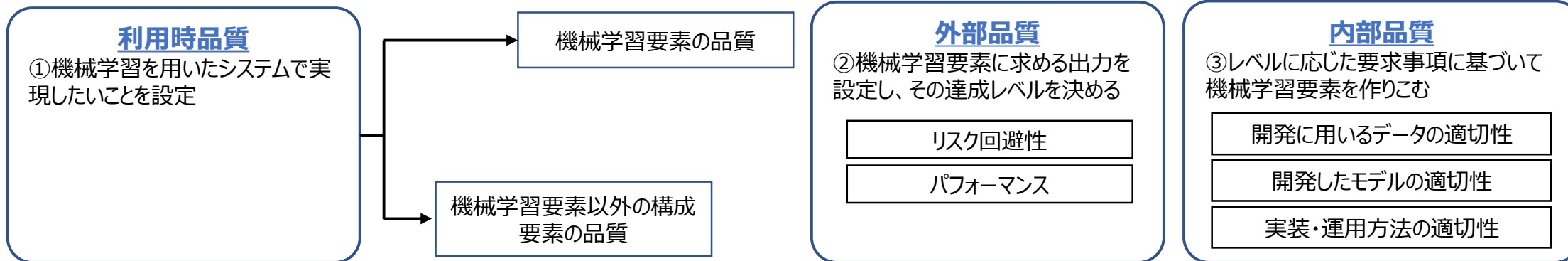
4. まとめ

総括

- 従来手動制御を強いられていた箇所の自動制御を実現
 = 運転員が経験をもとにマニュアル操作で運転している工程は強化学習AI制御モデルで代替できる可能性がある
- AI制御モデルとは独立したシステムを組み合わせることで安全性を担保
- 段階的に実プラントへ導入し、AI制御モデルの課題抽出や妥当性検証を安全に遂行
 (同時にAI制御モデルの挙動に対するオペレータの理解を得る)

※その他：AI信頼性評価ガイドライン(経産省)の活用

AI制御システム導入にあたって考慮すべき要素を体系的に網羅しており、本取り組みの要求仕様の明確化やプロジェクトの進捗管理において有効に作用した。



AI信頼性評価ガイドラインによる信頼性評価の手順

Appendix. 株式会社 E N E O S マテリアル 会社概要

株式会社ENEOSマテリアル 概要

株式会社ENEOSマテリアル ENEOS Materials Corporation

本社所在地	東京都港区東新橋一丁目5-12 汐留シティセンター
資本金	10億円
株主	ENEOSホールディングス株式会社 100%
代表取締役社長	志賀 智
設立	2022年4月1日
従業員数	単体1,414名（25年4月1日時点） 連結 約3,000名
売上高	単体1,793億円（25年3月期決算）
事業内容	合成ゴム、合成樹脂その他の化学工業製品の製造・加工・販売
製造拠点	工場：四日市,鹿島,千葉,タイ,ハンガリーなど
グループ会社	国内：(株)エラストミックス, ENEOSマテリアルトレーディング(株)、 ENEOSクレイトンエラストマー(株)、日本ブチル(株)、他 海外：BEE（BST ENEOS Elastomer） EMSR（ENEOS MOL Synthetic Rubber）、他

沿革

1957
日本合成ゴム株式会社設立

1960
四日市工場本格稼働

1968
千葉工場新設

1971
鹿島工場新設

※1969 民間会社に移行



1997
JSR株式会社へ社名変更

2011
四日市工場SSBR生産能力増強

タイに製造拠点新設

2014
ハンガリーに製造拠点新設



2022
 JSR株式会社の
 エラストマー事業を分社化

株式会社ENEOSマテリアル
 として発足



株式会社 ENEOS マテリアル

取り扱い製品

	タイヤ材料事業	機能性エラストマー事業	エマルジョン事業
種類	汎用合成ゴム	特殊合成ゴム・ 熱可塑性エラストマー	合成ゴムラテックス
特徴	石油等を原料として化学的に合成されたゴム状弾性体の総称。	<ul style="list-style-type: none"> ・耐油性、耐候性などに優れる ・常温ではゴム、高温状態では塑性変形が可能な製品もあり 	合成ゴムの分子が水中に分散した懸濁液
製品	S-SBR, E-SBR, BR, IR, IIR	NBR, EP, IIR, TPV, RB, TR, SIS, DYNARON etc.	PCL, LTX, 電池用バインダー etc.
主用途 (最終製品)	タイヤ、ゴルフボール etc.	自動車部品、靴底、アスファルト・樹脂改質材 etc.	塗工紙用材、工業用粘接着剤、二次電池 etc.

