

2025年9月16日（火）

第10回 OmegaLand ユーザー会

～スマートオペレーション実現に向けた現場活用と継続的な価値創出～

ミラープラントと強化学習AIを用いた 非定常状態のプラント最適運転支援

三井化学株式会社

生産・技術本部

生産技術高度化推進室

遠藤 雅紀

三井化学概要

1. 生産・技術部門のDX推進体制と基本戦略
2. ミラープラントとAI強化学習による最適運転支援のコンセプト
3. 茂原訓練プラントでの実証試験
4. 大阪大型ボイラー設備での実運転テスト
5. まとめと今後の展望



三井化学概要

社名	三井化学株式会社
創立年月日	1997年10月1日
代表取締役	橋本修
本社	〒104-0028 東京都中央区八重洲二丁目2番-1号 東京ミッドタウン八重洲 八重洲セントラルタワー
資本金	125,738百万円
従業員	19,861（連結）
国内拠点	製造拠点7、研究所1、営業拠点4
主な事業内容	ライフ&ヘルスケア・ソリューション、モビリティソリューション、 ICTソリューション、ベーシック&グリーン・マテリアルズ



売上高1兆7,497億円。

それは1兆7,497億円分の、社会の役に立つ製品を産み出すこと。

売上高構成



モビリティ
ソリューション

PPコンパウンド・タフマー®
アドマー®・三井EPT™・ミラストマー®

5,440 億円



ライフ&ヘルスケア
・ソリューション

メガネレンズ材料
歯科材料・不織布

2,717 億円



ICT
ソリューション

アペル®・イクロステープ™
高機能食品包装材料

2,375 億円



ベーシック&
グリーン・マテリアルズ

フェノール・ポリオレフィン
ポリウレタン材料

8,818 億円

その他: 147 億円

連結売上高

17,497 億円

素材のイノベーションを可能にする、主要拠点

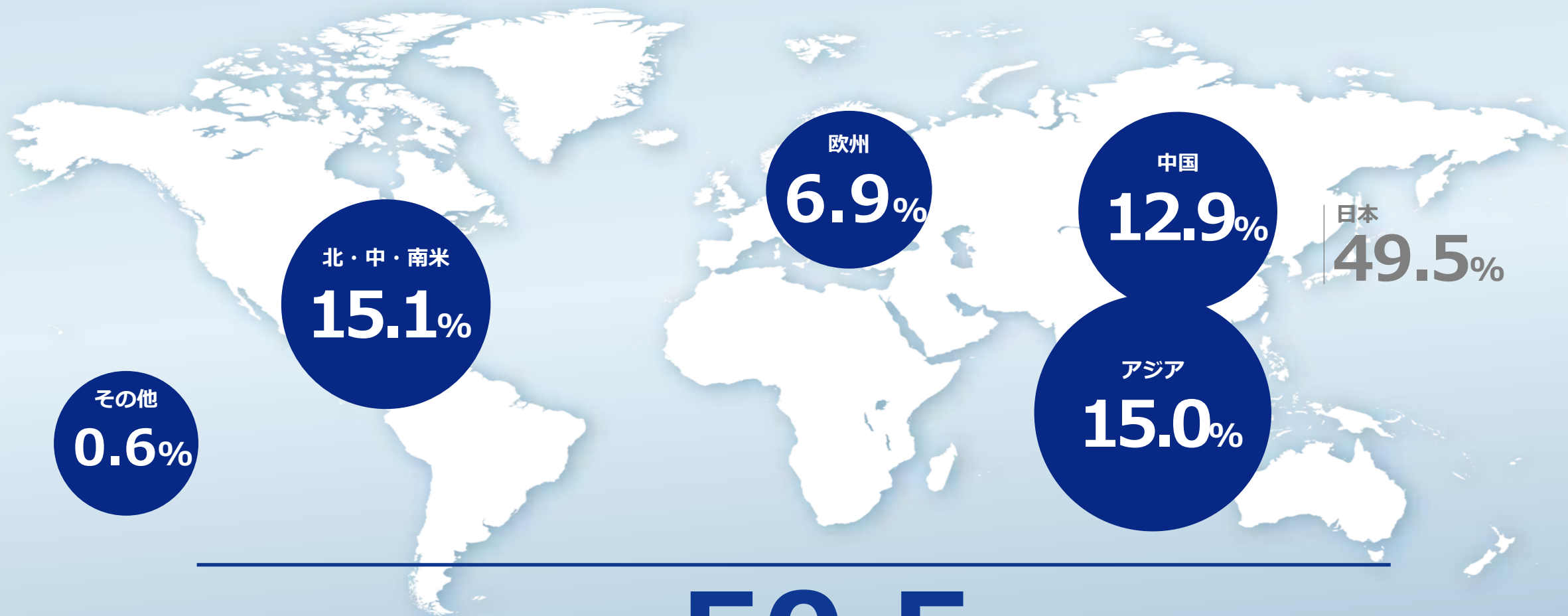
国内拠点

日本のグループ関係会社、53社

- 本社・支店 : 4 拠点
- 工場 : 5工場、2分工場
- 国内関係会社 : 55社
- R&D拠点 : 1 拠点



開発は、ミクロレベルに。
経営は、ワールドワイドに。



海外売上高比率 **50.5%**

海外グループ会社数 108社

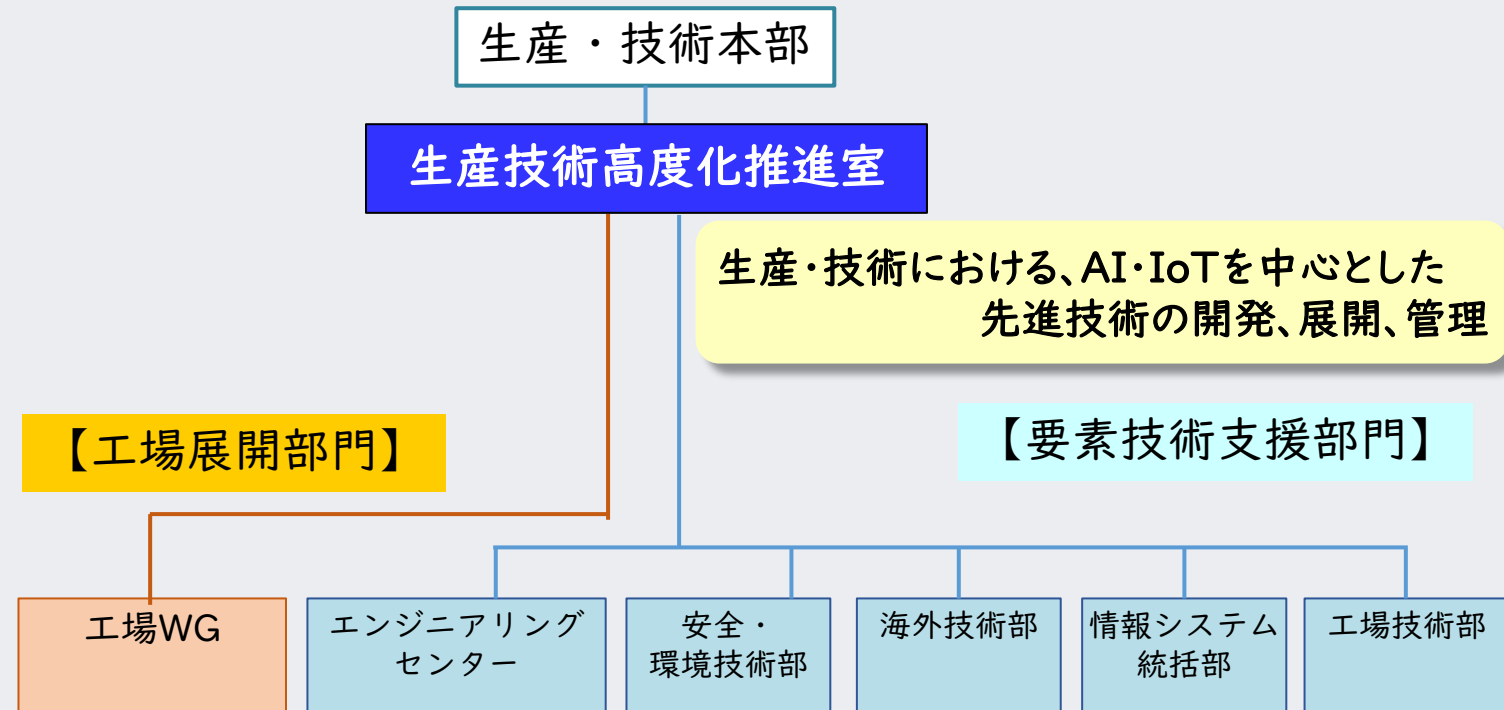


Ⅰ．生産・技術部門のDX推進体制と 基本戦略

生産・技術部門の組織

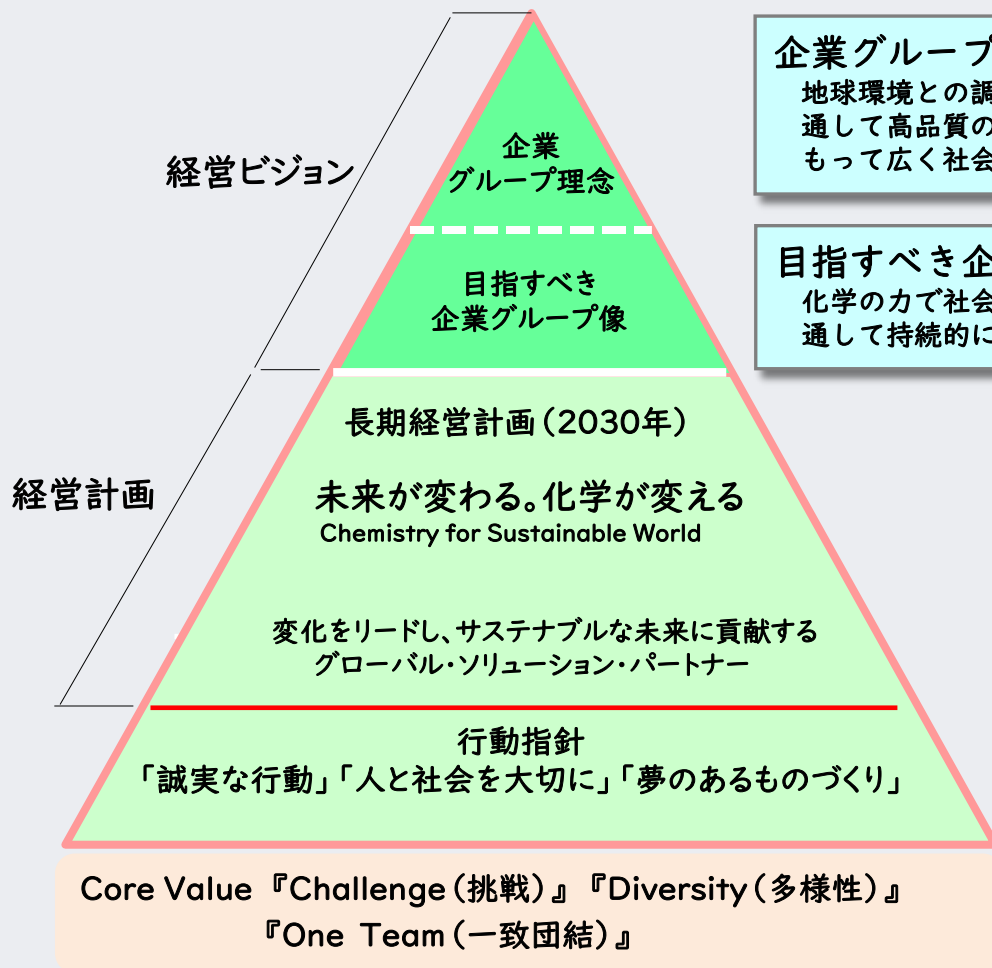


先進技術導入の推進体制



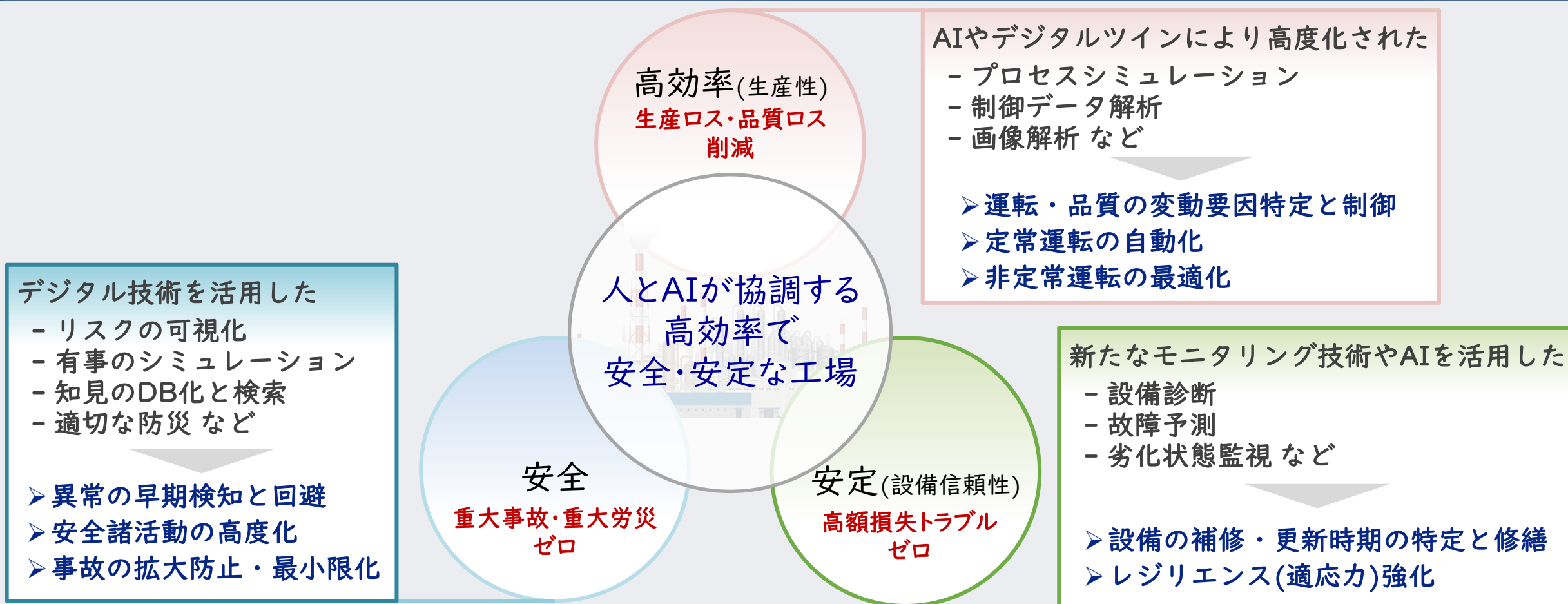
- 生産技術高度化推進室は、IoT・ビッグデータ・AI等の先進技術の開発や生産拠点への適用を推進し、プロセス・設備・保安に関する三井化学グループの生産技術力変革を加速する。
- 工場展開部門や要素技術支援部門と連携して、先進技術の実証試験や実用評価を行う。

経営ビジョン — 経営計画 — 行動指針



長期経営計画（2030年）





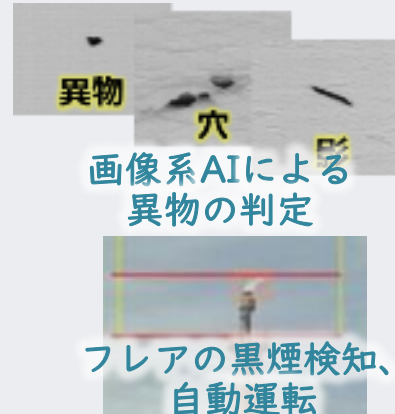
基盤構築 (デジタルインフラ、生産技術系人材、技術データ電子化)

安全性、設備信頼性、生産性の向上に寄与する先進技術を積極的に導入し、
「2030年の目指すべき姿」を実現させる

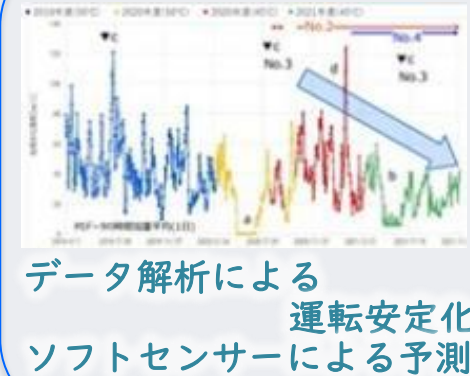
計測・点検・可視化



自動化



解析・予測



最適化



情報の電子化・可視化

作業の効率化

意思決定の高度化

- 紙から**電子情報**へ
- 数値だけでなく**言語や画像**も解析対象に



現場作業効率化



音声・画像通信
チャット
点検記録
資料共有

モバイル端末を活用した
運転・保全業務

安全支援

言語系AI

社内データベース



言語系AIによるリスク抽出

- 現在の状態監視だけでなく**将来の状態予測**へ
- 多くの情報から必要な情報を抽出・解析し**判断をサポート**

IoTやAIなどの先進的な技術を積極的に導入して、**高効率で安全・安定な工場を実現**

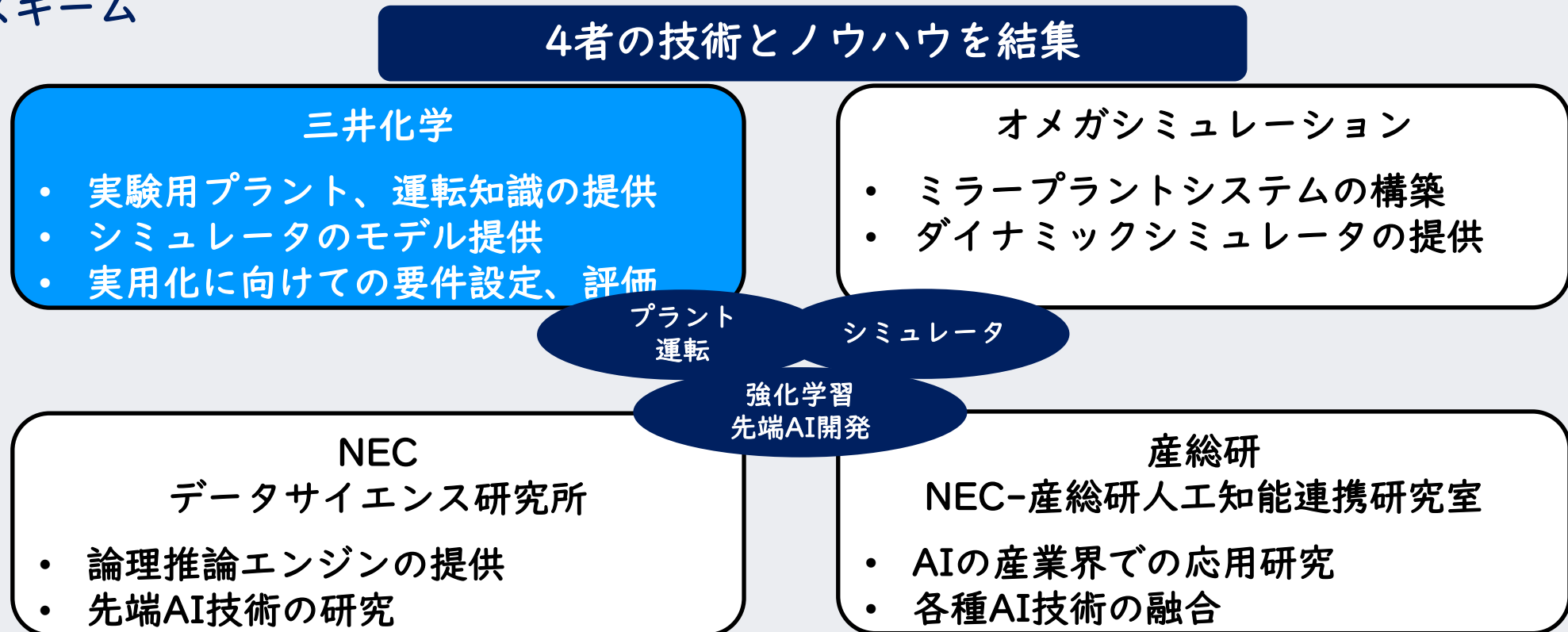


2. ミラープラントとAI強化学習による 最適運転支援のコンセプト

目的：

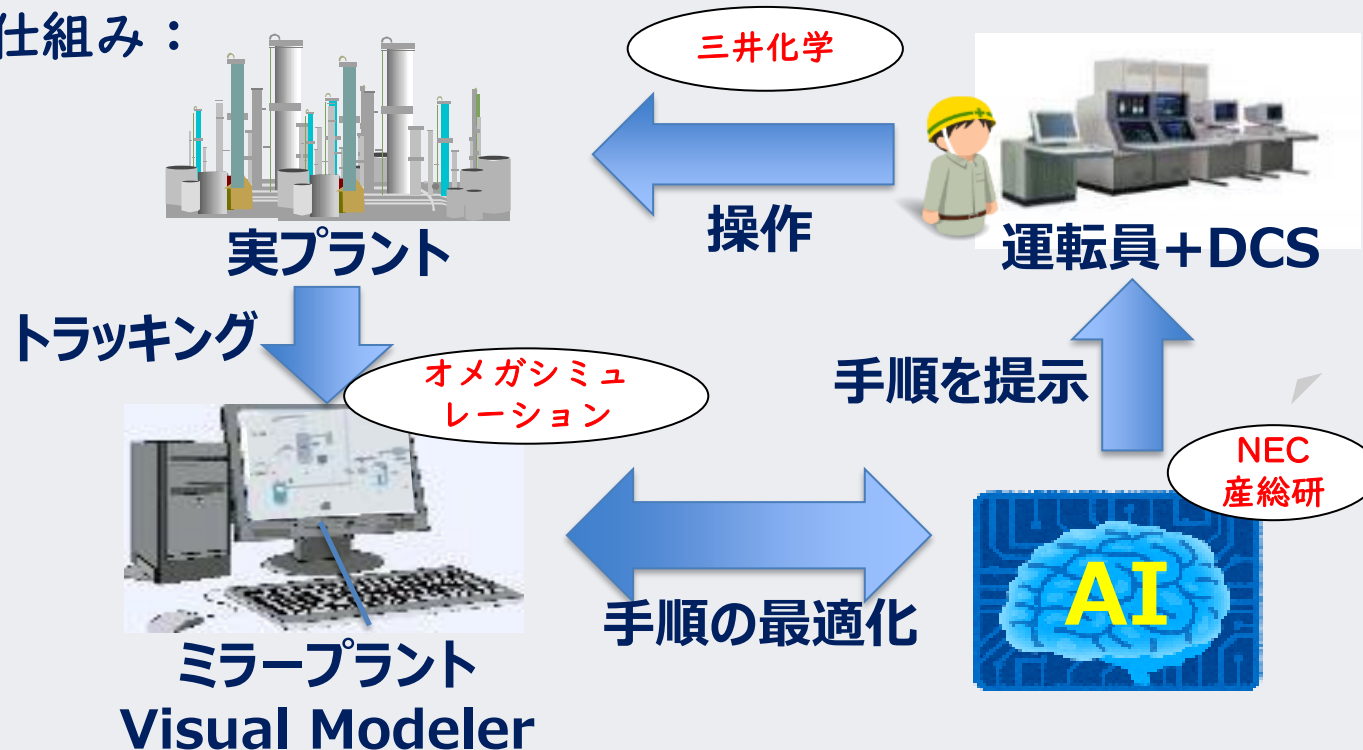
少子高齢化、ベテラン運転員の大量退職を迎えつつある現在、プラントを運転する上で最もベテランのノウハウや人手を要する非定常作業（スタートアップ、運転条件変更等）を高精度オンラインシミュレータであるミラープラントとAIによる強化学習で、最適化する技術を開発し、効率運転、運転の安定化を目指す。

共同研究スキーム



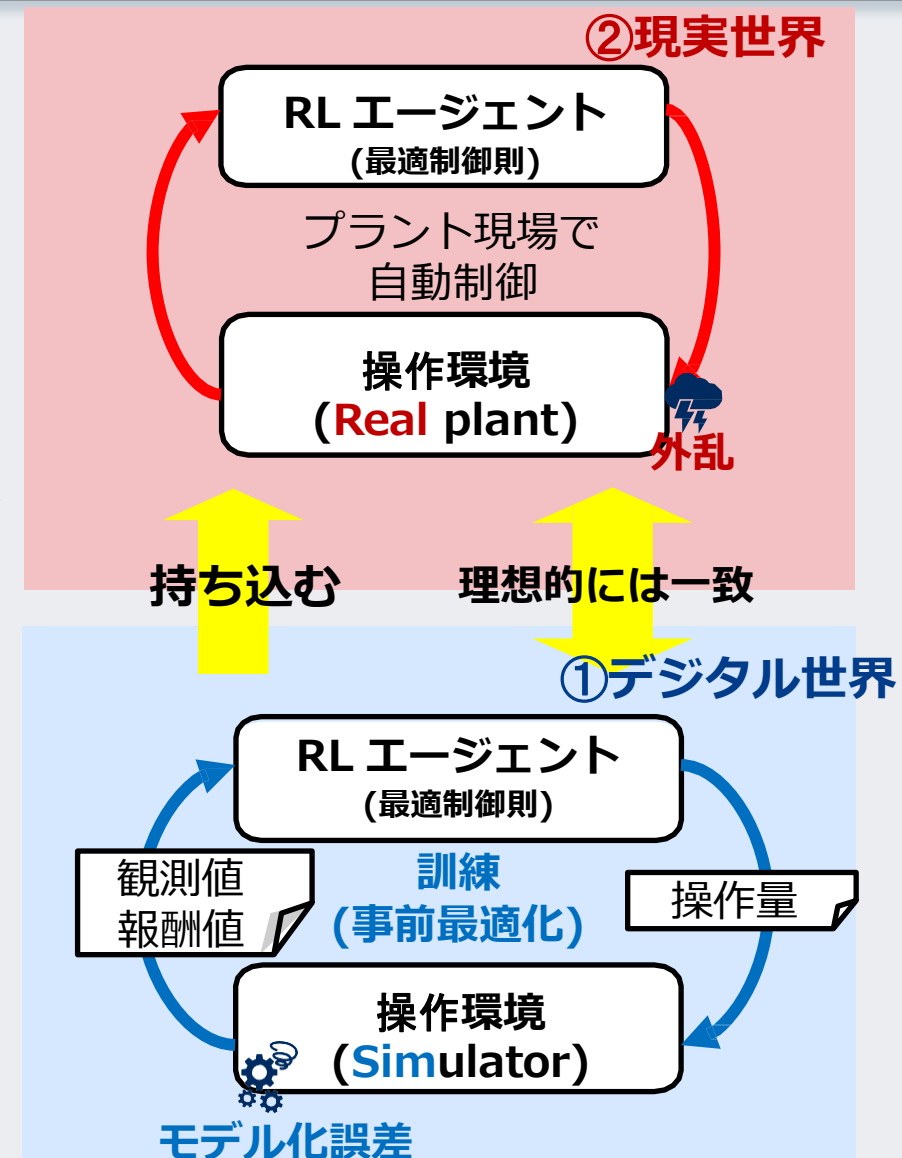
2-2. ミラープラントと強化学習による運転の仕組み

運転の仕組み：



- ①あらかじめオフラインシミュレータ（Visual Modeler）と強化学習（RL）エージェントで運転手順を事前最適化
- ②これを現実世界に持ち込み、オンラインシミュレータ（ミラープラント）で実環境での外乱を含めた状況をトラッキング、別のRLエージェントが現場で補正した手順を計算、指示、運転員はそれを見ながら操作していく

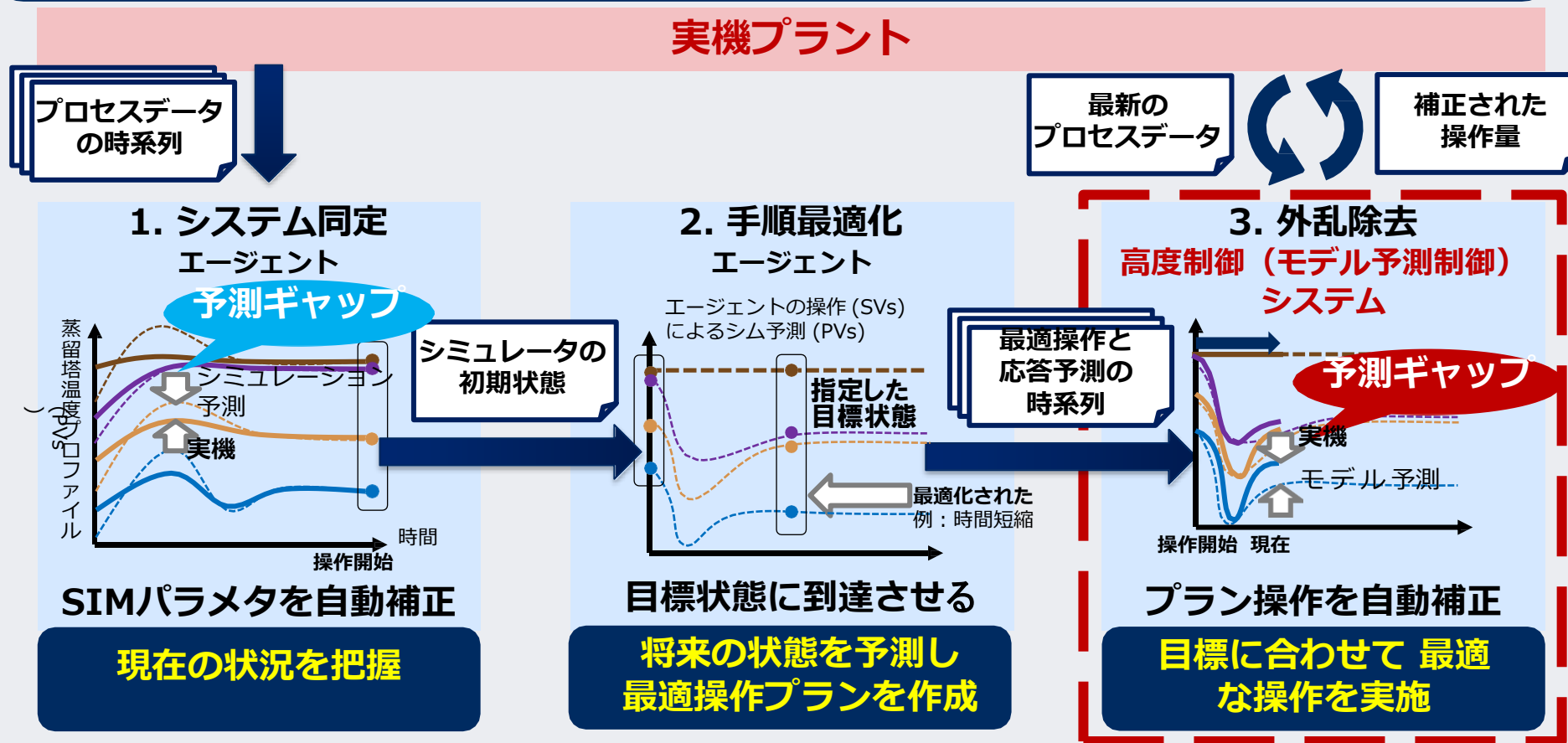
課題：現実的には **SIM2REAL** 予測ギャップが存在



*Visual Modeler 及びミラープラントは株式会社オメガシミュレーション、横河電機株式会社の登録商標または商標です

2個のRLエージェントと高度制御の協調

3個の問題に分割し、それぞれRLで解き、全体で協調動作



事前準備：2. 全体の最適プラン（手順）を作成

当日：1. プラント状態/外部環境を把握 → 2. 最適プラン微調整 → 3. プランと実際とのずれをリアルタイム補正

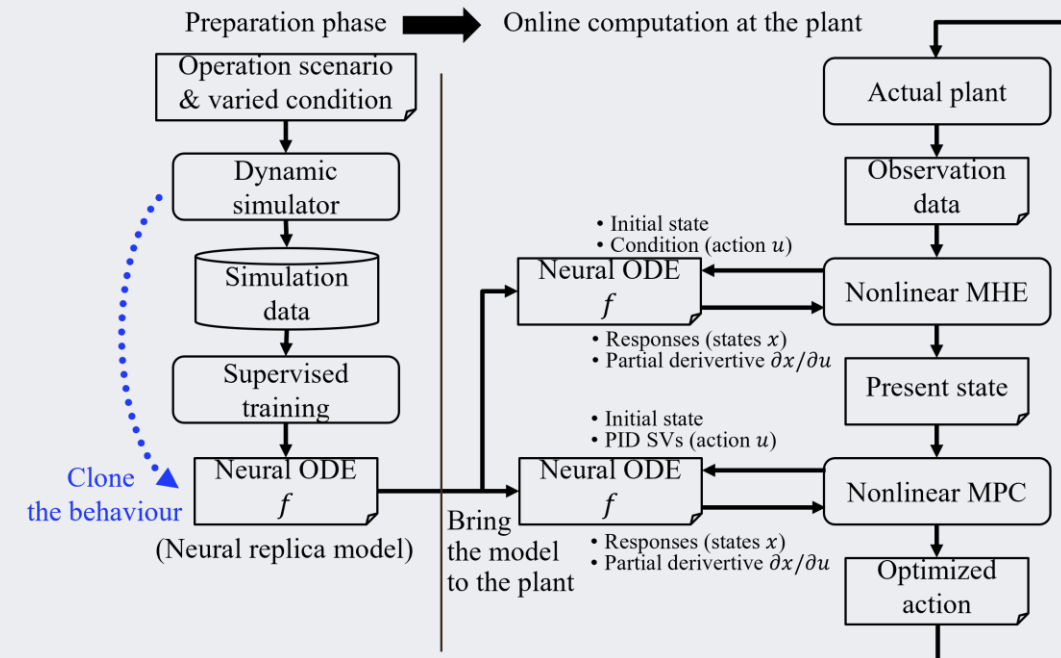
本PJにおける高度制御（モデル予測制御）のしくみ

シミュレータを操作して得られる入出力（時系列）データから、偏微分可能な機械学習モデルであるニューラル常微分方程式（N-ODE: Neural Ordinary Differential Equation）を事前に学習し、モデル予測制御に利用[†]

- 「シミュレータのデータから学習した予測モデル＝レプリカモデル」を利用した予測制御
- レプリカモデル $\frac{ds}{dt} = f(s, a)$ （ s : 目的値、 a : 操作値）の f をニューラルネットワークで表現しシミュレータでフィッティング

N-ODEのレプリカモデルを利用するメリット

- 外乱に対してリアルタイムでの最適化が可能
 - あらかじめ学習したものに近い状態への対応で最適化する強化学習と異なり、学習していない範囲でも逐次状況変化に応じた対応が可能
- モデル予測制御を簡単に構築
 - シミュレータを基にして将来の動きを再現、実機のStepテスト等が不要
- シミュレータより高速な予測モデル
 - モデル予測制御の構築だけでなく、予測モデルは強化学習にも利用可能
 - スループット向上による学習期間短縮 = より多くのケースを学習可能
- 任意のブラックボックスシステムにも適用可能のために汎用性が高い
 - 物理法則などシステムの原理・仕組みが明確でなくても予測モデルを構築できる



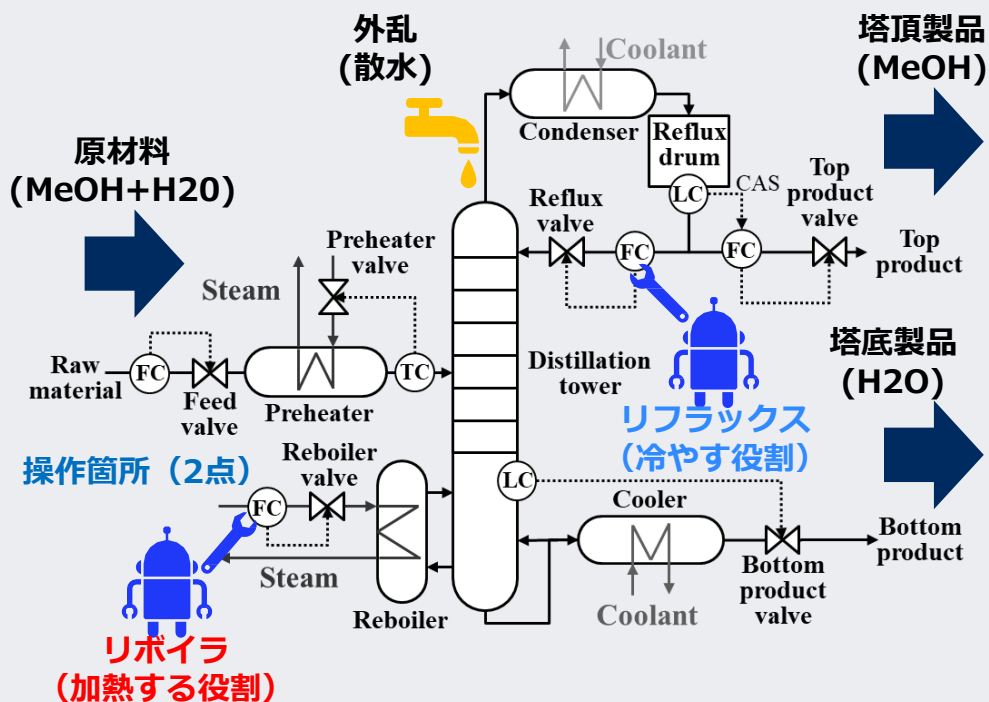
[†]Kubosawa, S., Onishi, T., & Tsuruoka, Y. (2023, September).

Nonlinear Model Predictive Control using Neural ODE Replicas of Dynamic Simulators. In *PHM Society Asia-Pacific Conference* (Vol. 4, No. 1).



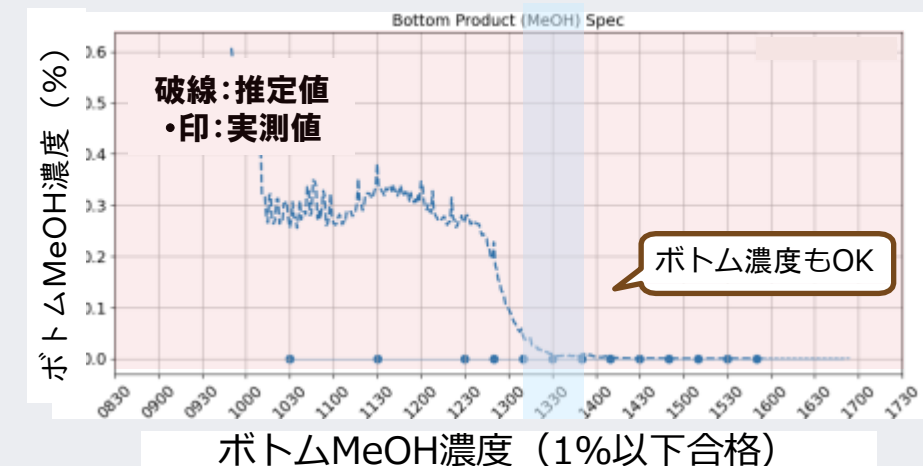
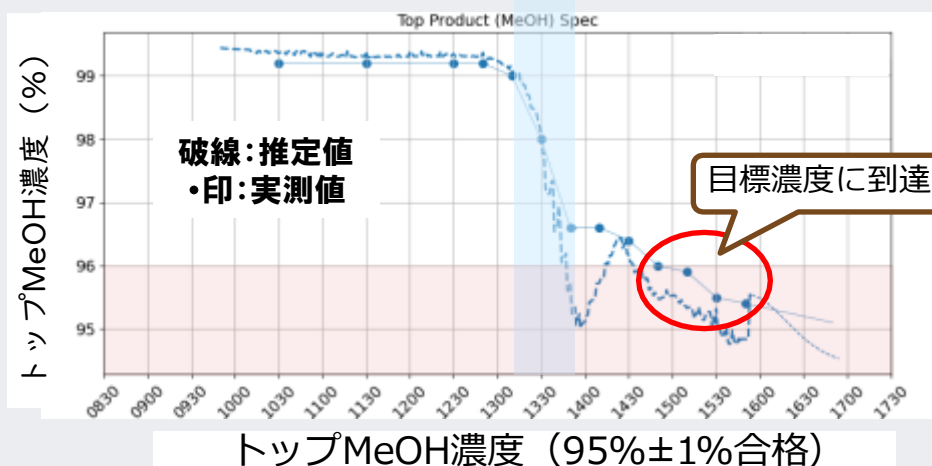
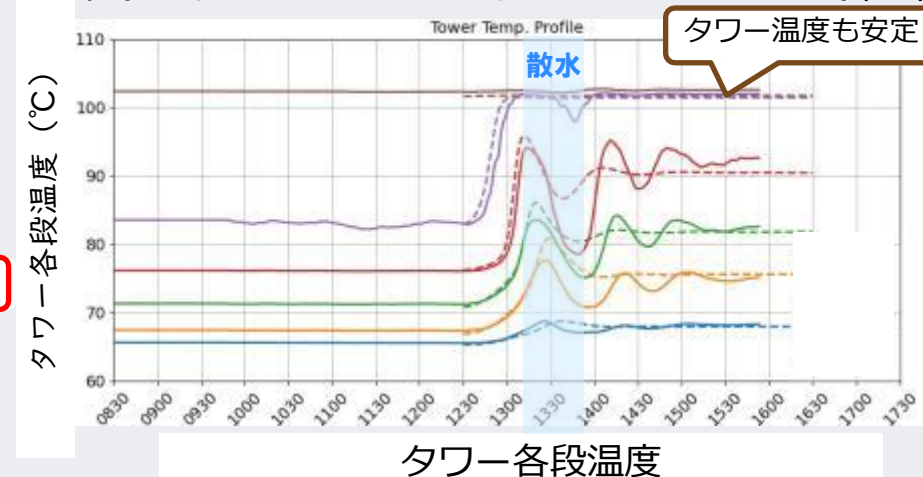
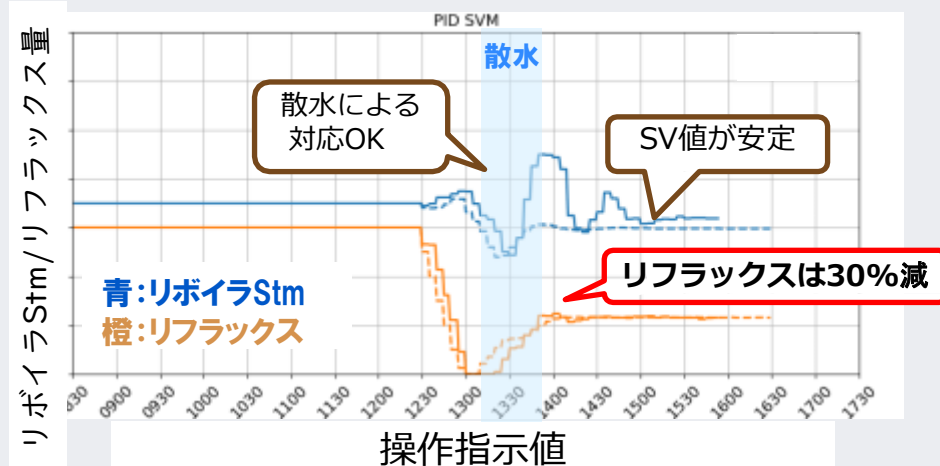
3. 茂原訓練プラントでの 実証試験

訓練用の小規模プラントのため
雨が温度低下として影響しやすい
(容積に比べて表面積が大きい)



3-2. 茂原訓練用メタノール (MeOH) 蒸留プラントでのテスト結果

蒸留塔Top濃度を99→95% (±1%)に下げる。 リフラックスを下げた省エネ運転を
ゴールとする。操作途中で散水 (豪雨想定) を実施。これを先述の3つのAIで操作指示。

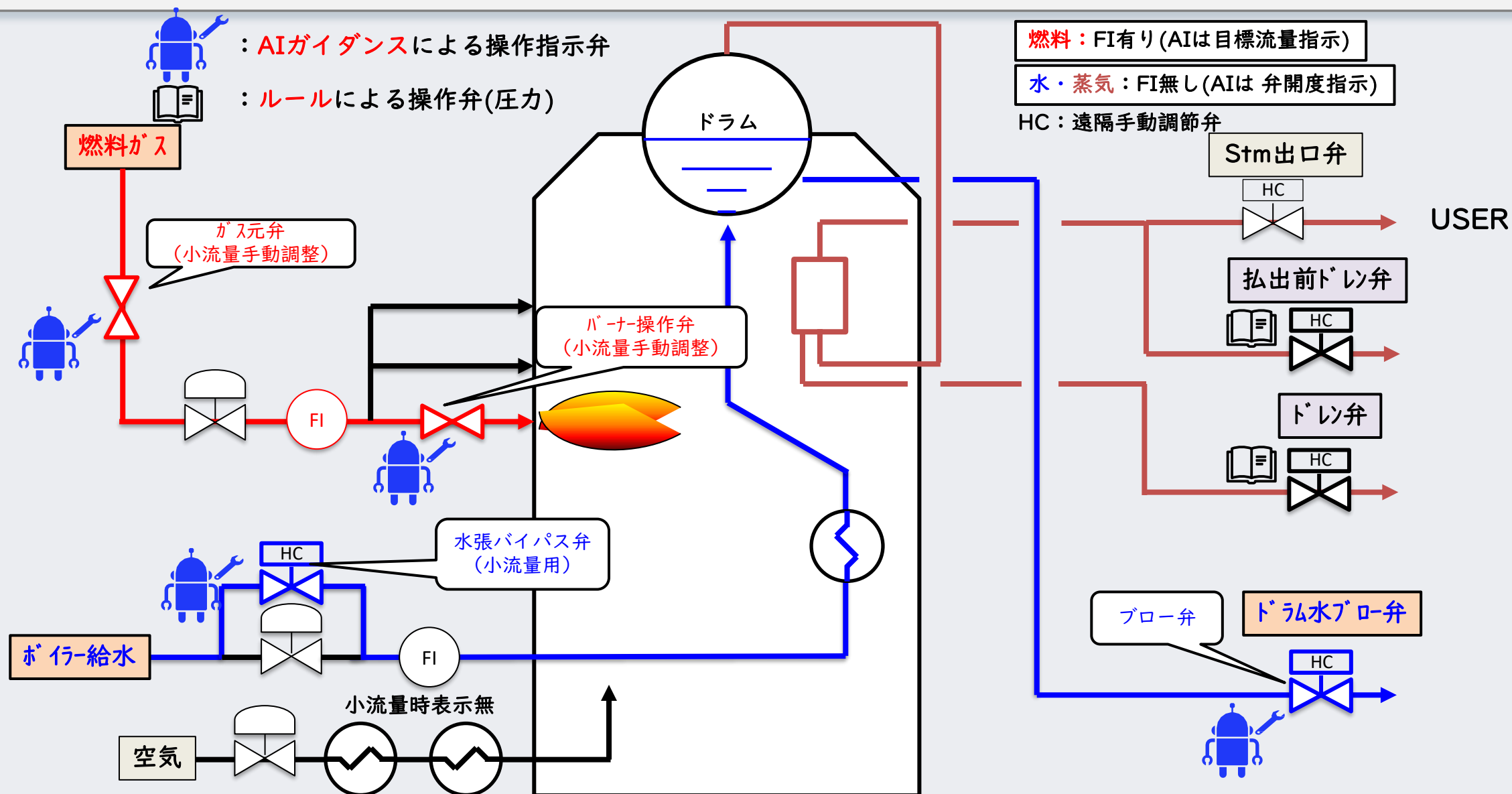


運転員の感想「目標を達成するのに必要なStm量、リフラックス量はわかる。雨が降って
温度が下がったらStmを増やすこともわかる。しかしどれだけStmとリフラックスを同時に
調整するのがよいのかを、操作中にその場の状況に合わせて定量的に示せるAIはすごい」



4. 大阪大型ボイラ設備での 実運転テスト

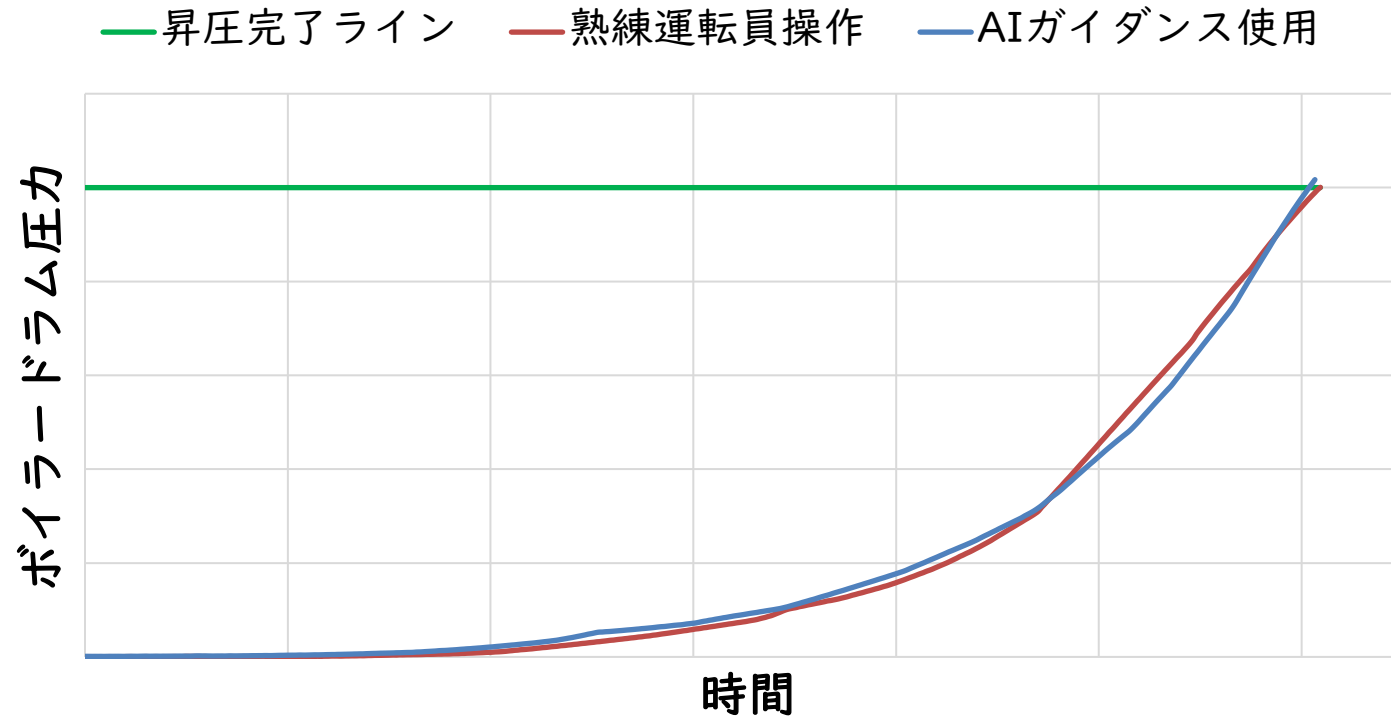
4-1. 大阪の実機設備：大型ボイラープラント



2024年度より ミラープラント+AIによるスタートアップ最適化テストを実施

AIの指示値を基に、ボイラーの昇圧操作（スタートアップ）作業を実施

AIガイダンス使用有無比較



[AIガイダンスにより、熟練運転員と同等のボイラー昇圧操作を実施に成功]



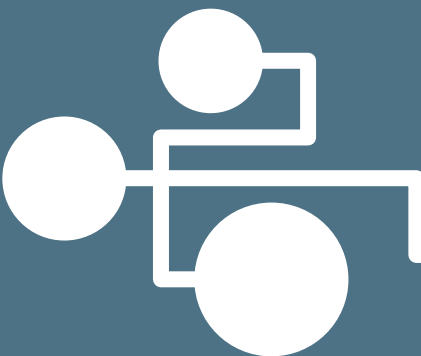
5. まとめと今後の展望

まとめ

- ・ シミュレータと強化学習AIを組み合わせた、非定常操作計画の最適化手法は確立されつつある。
- ・ 現実とシミュレーションのGapを埋めるためには、想定外の外乱にリアルタイムに対応するためにも、N-ODE高度制御手法を組み合わせることは有用である。
- ・ これらの手法を組み合わせた実プラントでのテストも概ね良好な結果が得られた。

今後の展望

- ・ プラントのスタートアップ等の非定常作業は、最もベテランのノウハウや人手を要する一方でなかなか自動化が進んでいない。この現状を打破する技術として、本手法をさらにブラッシュアップしていきたい。
- ・ 他方、スタートアップの自動化だけでは頻度が低く、経済的効果が得られにくいという課題があるため、より非定常作業頻度の高い、あるいはコストのかかっているプロセスや、定常作業における本技術の適用可能性についても検討を進めていく。



ご清聴誠にありがとうございました。

