

NTTデータ数理システム学生奨励賞

製造業の生産現場を対象とした  
データ駆動型問題発見方法と  
S4 Simulation Systemを用いた改善案検証方法の開発

青山学院大学大学院 理工学研究科  
理工学専攻 マネジメントテクノロジーコース  
松本研究室 35624229 奥田将史  
(指導教員 松本俊之)

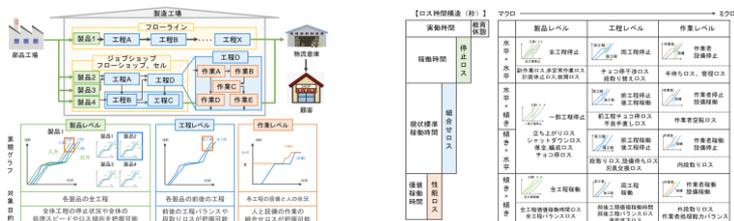
# 発表内容

## はじめに

研究背景・関連研究・先行研究・研究目的

## 研究内容

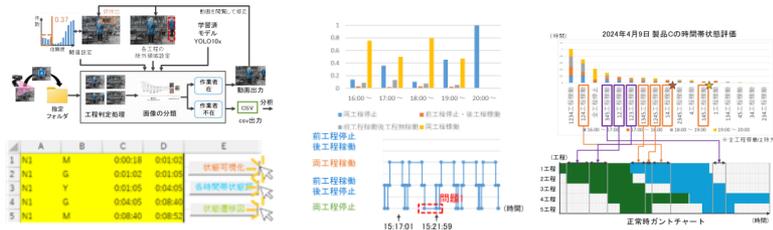
### ①データ駆動型問題発見方法の考案



多様な生産方式に対応する分析

ロス構造表とロスの例

### ②分析ツールの作成と対象企業への適用



分析ツールの作成

評価指標と分析手法の適用

### ③シミュレーションによる改善案の検証

関連研究と本研究の位置づけ  
関連研究・S4 Simulation Systemを選択した理由

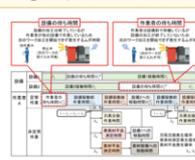
対象企業への提案  
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

#### シミュレーション内容

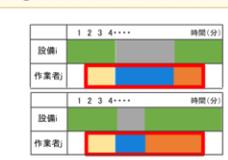
##### ①生産現場の詳細把握



##### ②実装モデルの作成



##### ③現状分析・改善シナリオ



##### ④実験環境の構築



##### ⑤モデルの実装



##### ⑥結果・考察

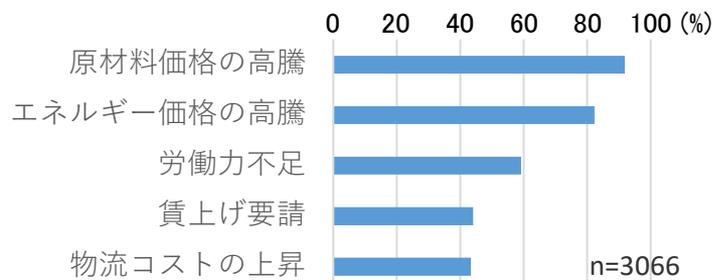


## まとめ

結論・今後の課題

# 研究背景：製造業を取り巻く環境とDXへの取組

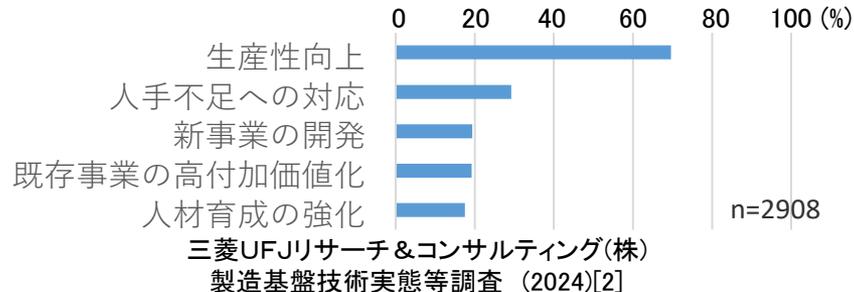
## 製造業に影響を及ぼす社会情勢の変化



三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)  
令和5年度製造基盤技術実態等調査報告書 (2024) [1]

コスト増加と人手不足解消のための  
生産性向上と新たな付加価値が必要である

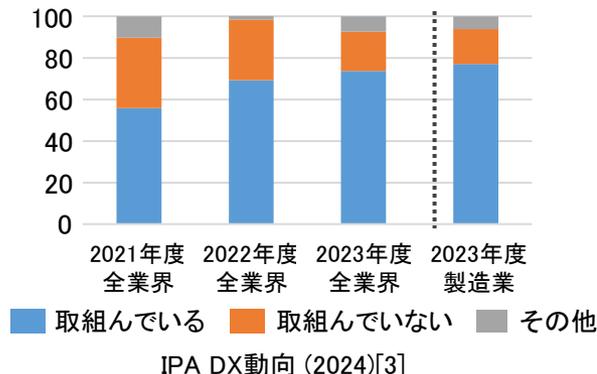
## 製造業のDX<sup>\*</sup>に取り組む目的



\*DX(Digital Transformation):デジタル技術を活用して製品・サービス  
既存の業務プロセス、ビジネスモデル、企業文化を変革すること

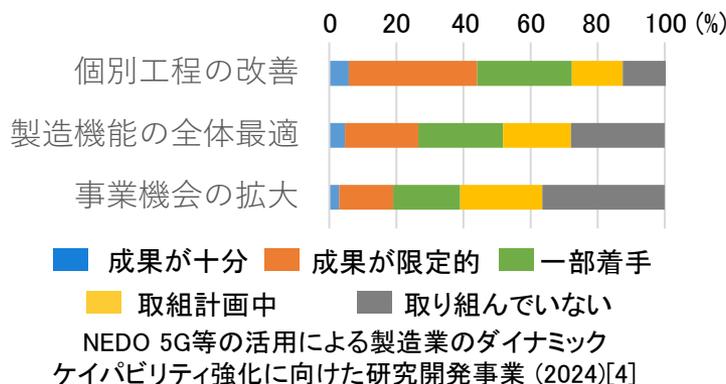
DXに取り組む目的として  
生産性向上や新たな付加価値創出がある

## DX取組状況の比較



DXの取組状況は拡大傾向であり  
製造業では大きな割合を占めている

## 製造業のDXの取組と成果

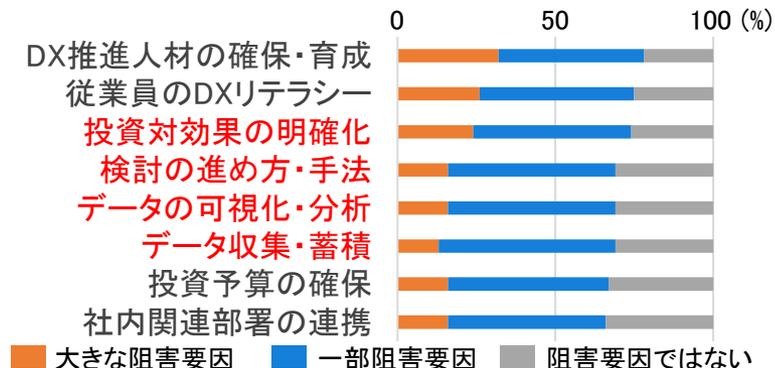


DXの取組は進められているが  
十分な成果が出ていない

生産性向上に向けて製造業におけるDXの取組みは増加傾向にあるが成果を阻む課題が存在

# 研究背景：製造業DXの課題

## 製造業DXを阻害している要因



NEDO 製造業におけるダイナミック・ケイパビリティ向上を実現するための課題体系化等に係る調査事業(2024)[5]

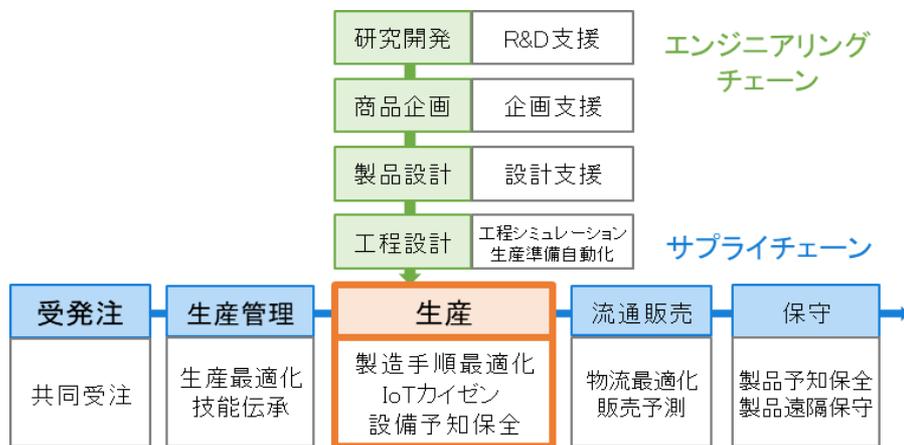
DXを進める上での具体的な方法が明確でない

## 製造業DXにおける変革課題のレベル

レベル	方法	詳細
LV5	現実との双方連携	シミュレーション環境等で得た最適解に基づき現実のプロセスを制御している
LV4	多頻度解析による最適化	多頻度データの収集、シミュレーション等による意思決定材料の提示と最適解の探索と評価がされる
LV3	データによるプロセス連携	データに基づく機能間連携、状態の見える化され最適化に繋がる意思決定に活用される
LV2	情報・データ蓄積	情報・データの収集と蓄積の基盤が整備され、標準ルールに基づきデータベースが構築される
LV1	情報の標準化	どのような形式と項目で情報を蓄積すべきかが議論され標準化されている

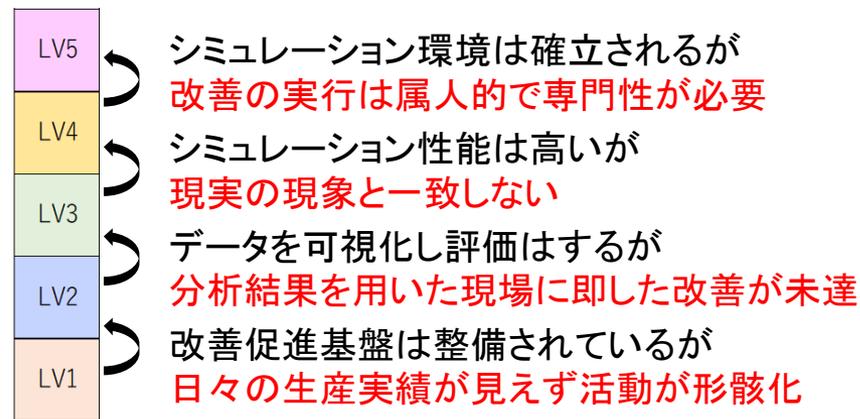
NEDO スマートマニュファクチャリング構築ガイドライン(2024)[6]

## 製造業におけるDX事例



経済産業省 ものづくり白書 (2020)[7]

## 生産における各レベルの具体的な課題



経済産業省 製造業を巡る現状と課題今後の政策の方向性 (2024)[8]

改善を引き出す生産現場で使える具体的なデータ活用方法が未確立

# 関連研究：データを用いた問題発見と改善アプローチ



株式会社 日立製作所データ分析ソリューションの概要より

## データの収集・蓄積に関する研究(IoT)

- 運転制御用センサからのデータに基づくメカトロニクス機器の故障兆候検知法 (2018 栗林)[9]
- 製造工程におけるスマートタグを用いた作業者の動作分類 (2020 佐藤)[10]
- BLEビーコンとLPWAを用いた工程間物流における非定常行動抽出手法の提案と実装 (2020 山口)[11]
- LwM2Mを利用したIoTデバイス情報の管理に関する提案 (2022 小川)[12]
- Unreal EngineとNode-REDの連携によるIoT機器設置検討支援システムの提案 (2024 岩崎)[13]

様々なケースにおける基礎研究は多数あるが  
**データ活用の体系的  
手法は確立していない**

## 評価・分析に関する研究(TPM,TOC,動線分析)

- Pull-Push型生産概念を用いた新たなTOCスケジューリング手法の提案 (2012 柳)[14]
- 動線分析機器開発と動線データによる作業分析に関する研究 (2013 大畠)[15]
- 動線分析機器を用いた設備運転における作業パターンの分析手法に関する研究(2014 大畠)[16]
- 中小製造業における生産の揺らぎ対応とTOC理論による企業スループットに関する研究 (2015 大田)[17]
- Practical Aspects of OEE in Automotive Company - Case Study (2016 Kaczmarek)[18]
- 滞留量に着目した並列型フローシステムへの流動数分析の応用方法(2017 市来寄)[19]
- Devising and Applying an Evaluation Method to Find Problems Using Cumulative Graphs of Multiple Processes(2023 Okuda)[20]

データの可視化と評価に関する研究は多数あるが  
**具体的な生産現場の  
問題発見が乏しい**

## シミュレーションに関する研究(生産計画,作業改善)

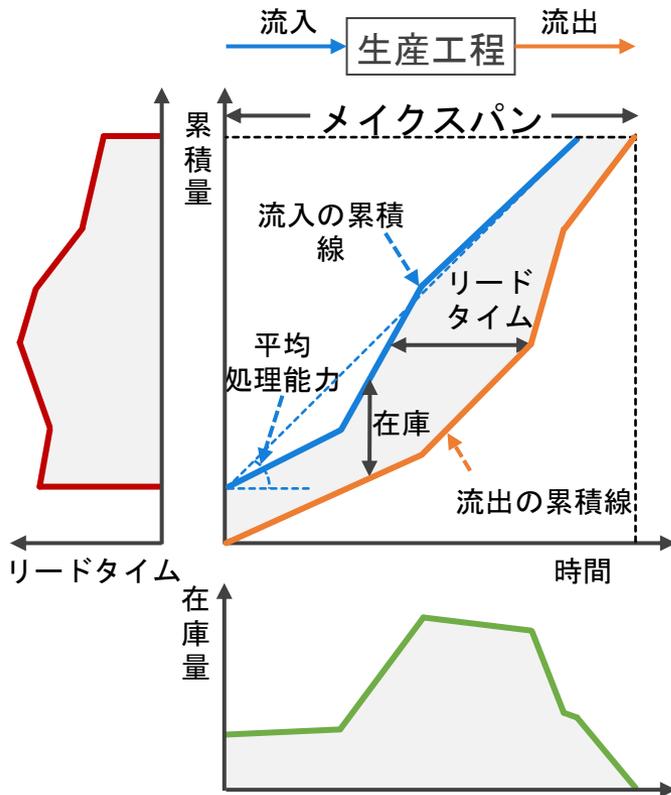
- 生産シミュレーション自動構築に向けた作業時間推定技術の開発 (2019 杉西)[21]
- Study of factory automated guided vehicles systems by using multi-agent system and contract net protocol (2021 Kato)[22]
- フレキシブルフローショップの迅速なスケジューリングを目的としたディスパッチングルールの検討(2022 廣瀬)[23]
- Improvement of Efficiency in Work Systems Including Support Workers Using Discrete Event Simulation (2022 Takeuchi)[24]
- マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度シミュレータの開発 (2023 谷口) [25]

高精度で現場とリンクしたシミュレーション研究は多数あるが  
**生産現場に即した改善の  
検証は実施していない**

生産現場に即したデータを用いた問題発見や具体的な改善案導出のための分析手法の体系化が必要

# 関連研究：累積グラフとTPM

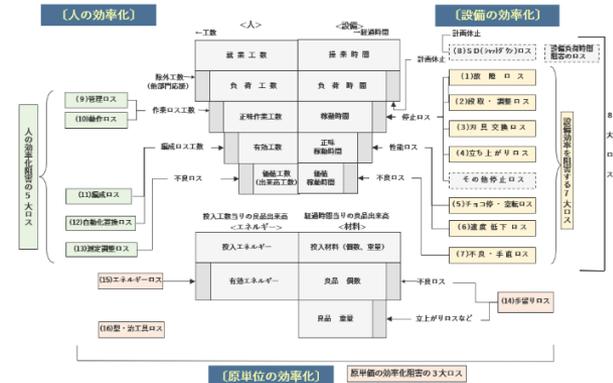
累積グラフ・時間変化におけるものの流れを可視化する分析方法



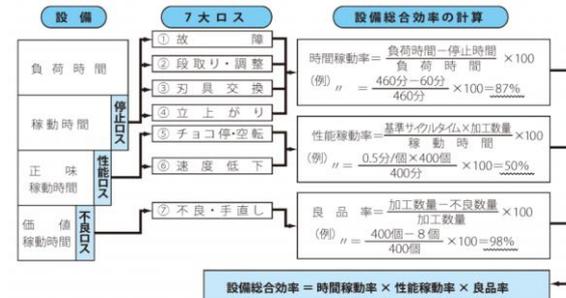
- 累積線の傾き : 処理能力
- 累積線の横軸の差 : リードタイム
- 累積線の縦軸の差 : 在庫量

TPM・生産システムの各種ロスを削減して生産性向上を図る概念[26]

生産活動におけるロス構造[27]



設備総合効率の算出[28]

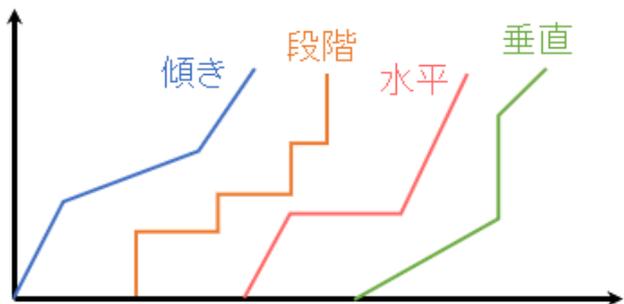


設備や人などに起因するロスを網羅的に定義し分類することで付加価値に着目したロスの削減を実施

# 先行研究①

「累積グラフを用いたリードタイム伸長の評価方法の考案」 (2013 村中)[29]

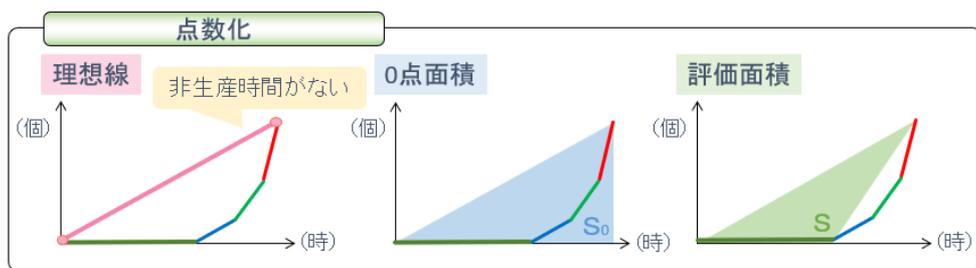
## 【ロス原因となる累積線】



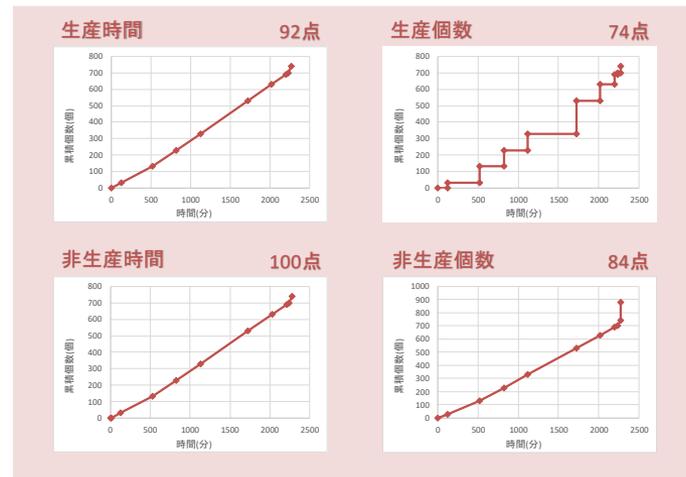
## 【原因の具体化と評価指標の決定】

傾き	標準作業の違い・作業者の習熟不足など	: 生産時間
段階	加エトレの違い・稼動時間不足など	: 生産個数
水平	マシントラブル・清掃・段取り作業・検査など	: 非生産時間
垂直	ジョブショップ・フローショップ・中間組立品など	: 非生産個数

## 【評価方法の考案】



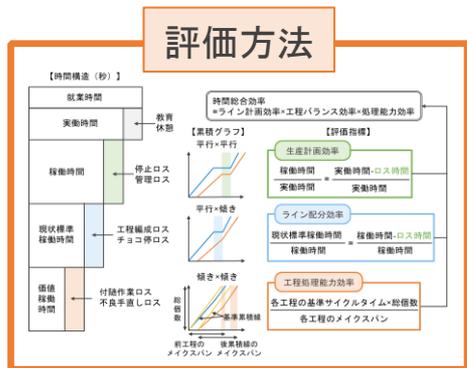
$$\text{非生産時間の評価点数} = \left\{ \frac{S_0 - S}{S_0} \right\} \times 100$$



実際の生産工程を想定して複数の累積線の関係の評価が必要

# 先行研究②

「Devising and Applying an Evaluation Method to Find Problems Using Cumulative Graphs of Multiple Processes」  
(2023 Okuda)[20]



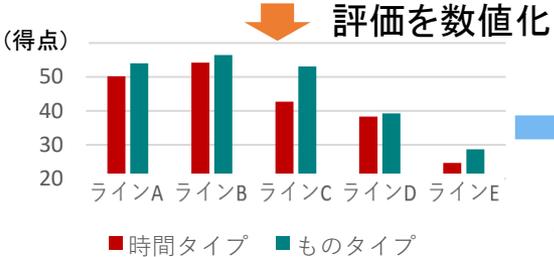
### 【研究成果】

ムダ作業削減に向けモノの流れの問題点の  
評価方法と改善方法を考案し企業へ適用した

### 【課題】

①自働化 ②適用性 ③効果検証

データ収集や分析の自働化 物流業のみならず 製造業への適用 シミュレーションの未実施



- ### 課題
- ①データ収集・蓄積方法の体系化と自働化が必要
  - ②体系的で適用性が高い分析手法が必要
  - ③改善案の実現可能性や効果の検証が必要

先行研究で重点的に実施済

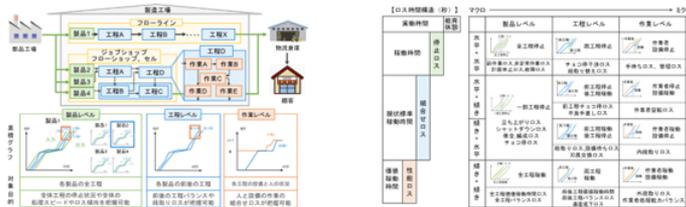
製造業の様々な生産方式に適用可能な一連のデータ活用方法の体系化と自働化が必要

# 研究目的

製造業の生産現場を対象とした問題発見方法と改善方法、データ収集方法を考案し、現場で適用して改善案を導出しシミュレーションによる効果検証をして改善手法を提案する

## 【研究アプローチ】

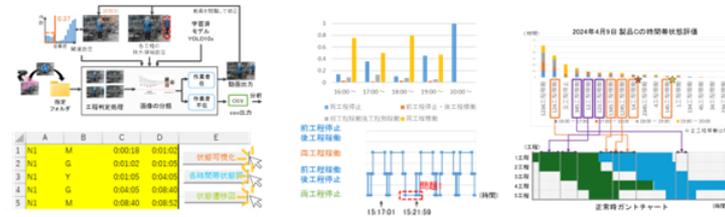
### ① データ駆動型問題発見方法の考案



多様な生産方式に対応する分析

ロス構造表とロスの例

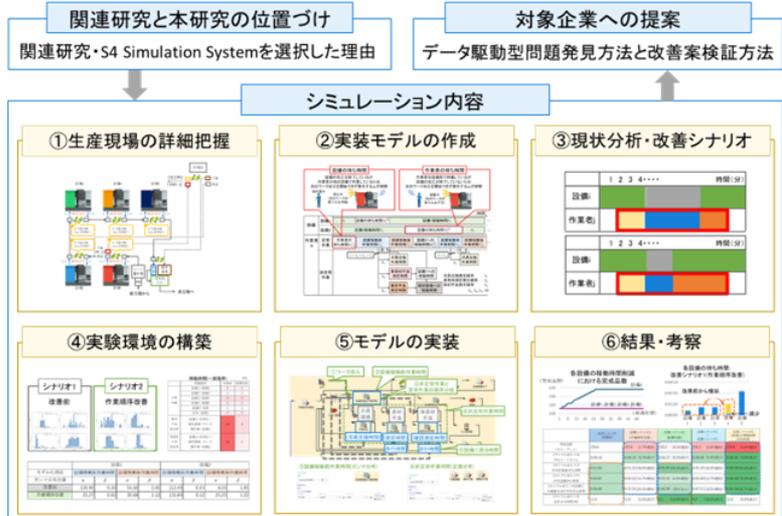
### ② 分析ツールの作成と対象企業への適用



分析ツールの作成

評価指標と分析手法の適用

### ③ シミュレーションによる改善案の検証



関連研究と本研究の位置づけ  
関連研究・S4 Simulation Systemを選択した理由

対象企業への提案  
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

シミュレーション内容

① 生産現場の詳細把握

② 実装モデルの作成

③ 現状分析・改善シナリオ

④ 実験環境の構築

⑤ モデルの実装

⑥ 結果・考察

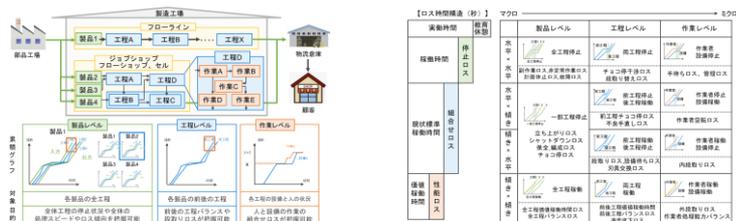
# 発表内容

## はじめに

研究背景・関連研究・先行研究・研究目的

## 研究内容

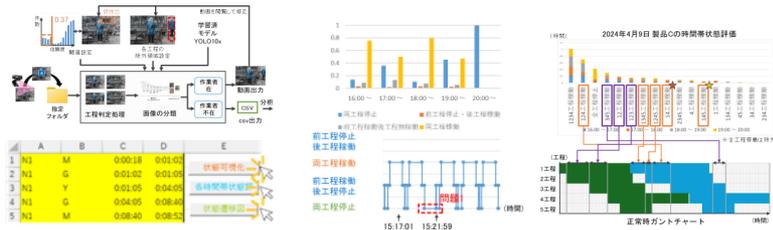
### ①データ駆動型問題発見方法の考案



多様な生産方式に対応する分析

ロス構造表とロスの例

### ②分析ツールの作成と対象企業への適用



分析ツールの作成

評価指標と分析手法の適用

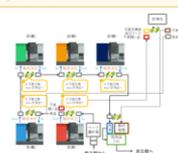
### ③シミュレーションによる改善案の検証

関連研究と本研究の位置づけ  
関連研究・S4 Simulation Systemを選択した理由

対象企業への提案  
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

#### シミュレーション内容

##### ①生産現場の詳細把握



##### ②実装モデルの作成



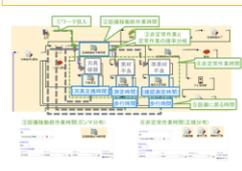
##### ③現状分析・改善シナリオ



##### ④実験環境の構築



##### ⑤モデルの実装



##### ⑥結果・考察

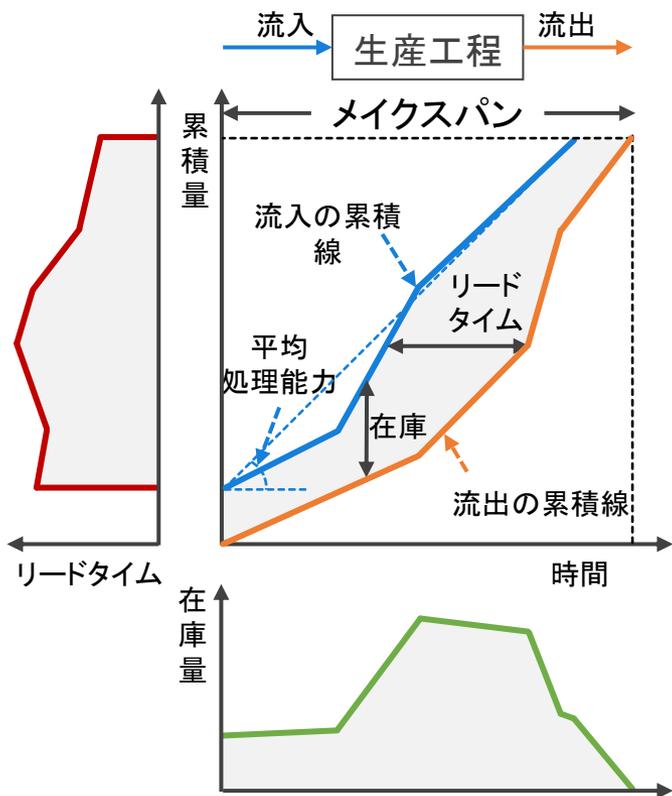


## まとめ

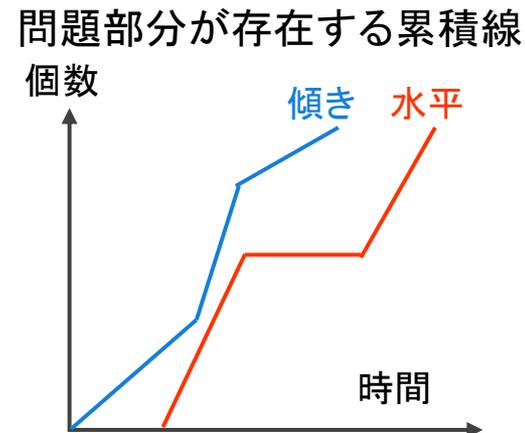
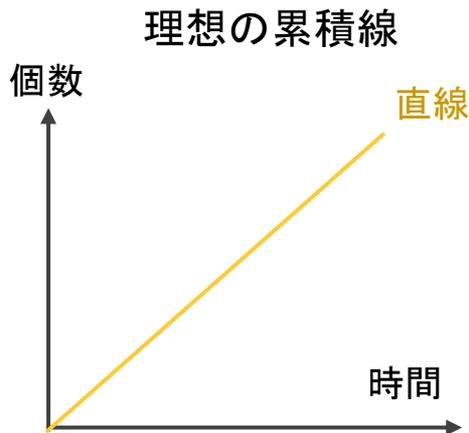
結論・今後の課題

# 累積グラフの特徴

累積グラフ…時間変化におけるものの流れを可視化する分析手法

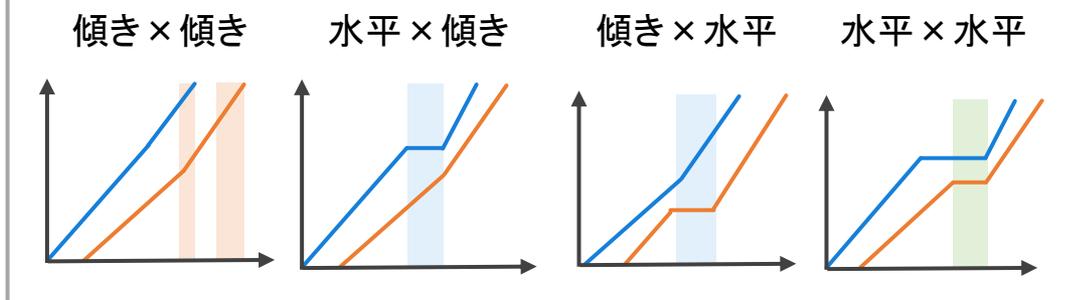


累積線の傾き : 処理能力  
 累積線の横軸の差 : リードタイム  
 累積線の縦軸の差 : 在庫量

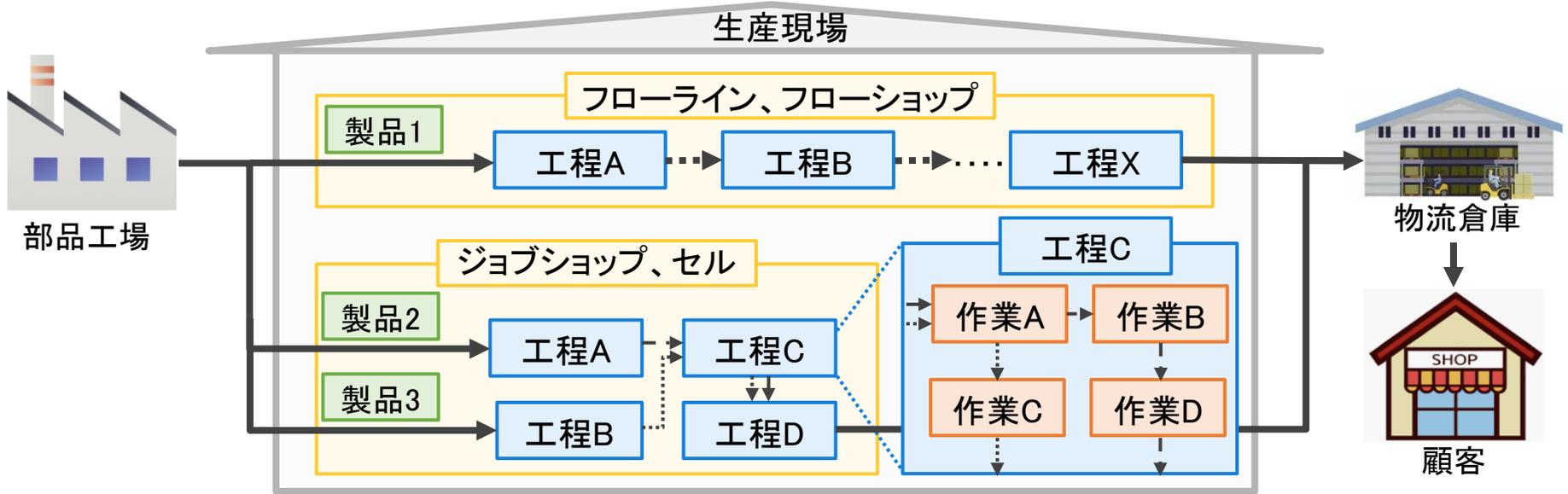


【特徴】	【原因】	【評価項目】
傾き	作業習熟度、設備性能	処理能力のばらつき
水平	設備故障、段取り作業	処理の停止時間

問題部分が存在する累積線の組み合わせ

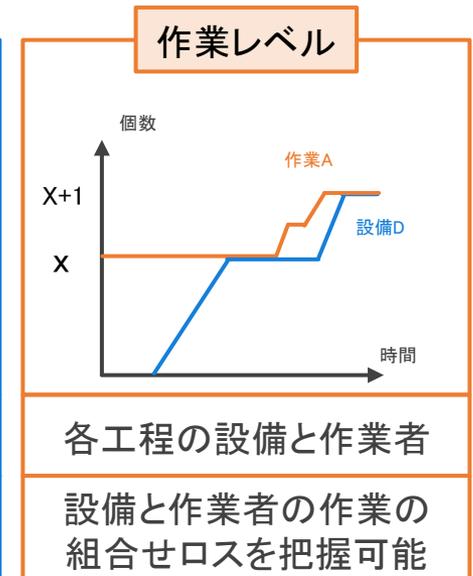
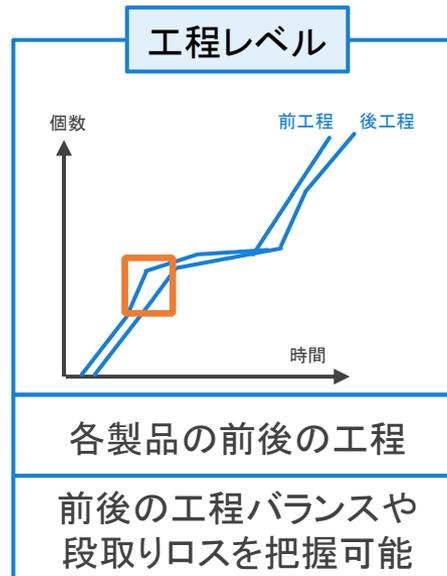
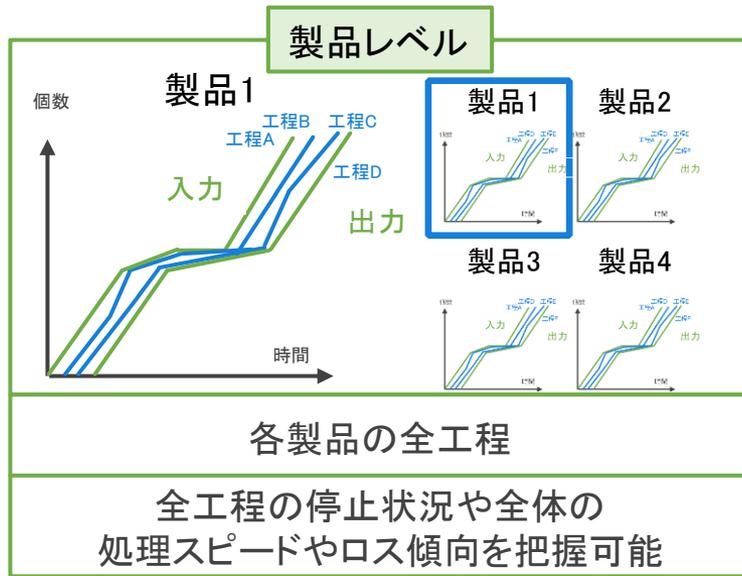


# 多様な生産方式に対応する累積グラフの作成方法



累積グラフ

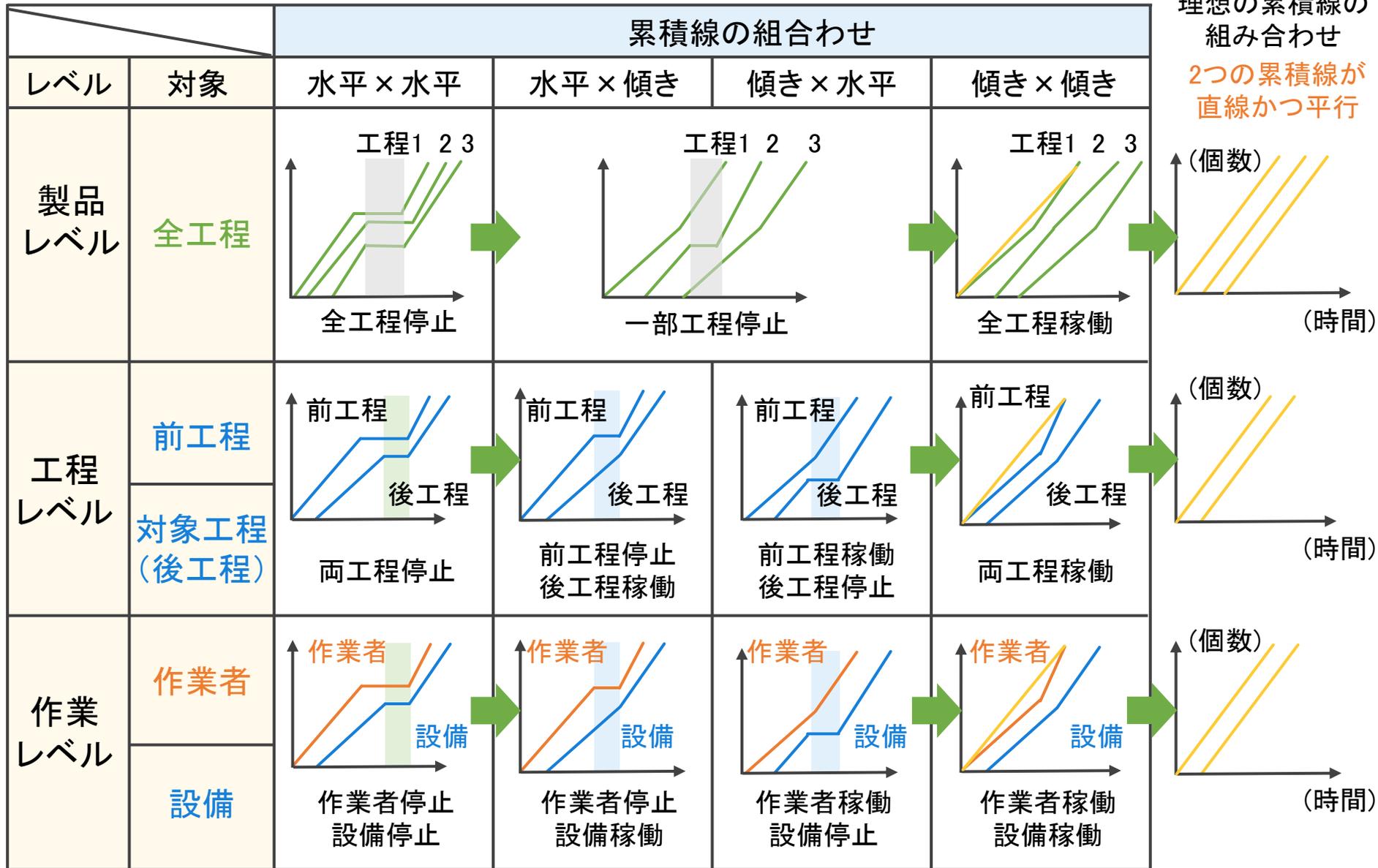
対象目的



マクロ

ミクロ

# 累積グラフを用いた問題部分の構造化

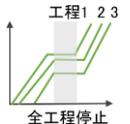
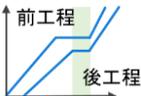
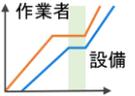
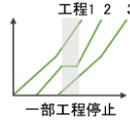
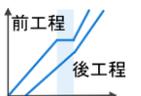
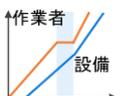
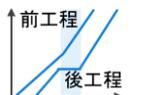
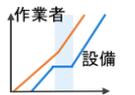
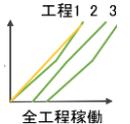
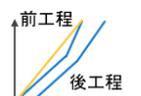
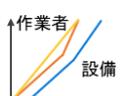


# TPMの理論を用いたロス構造表とロスの例

【ロス時間構造(秒)】

マクロ

ミクロ

実働時間		除外ロス	製品レベル	工程レベル	作業レベル
稼働時間	停止ロス	組合せロス	 <p>全工程停止</p>	 <p>両工程停止</p>	 <p>作業者停止 設備停止</p>
			副作業ロス, 非常常作業ロス 計画休止ロス, 故障ロス	チョコ停干渉ロス 段取り替えロス	設備待機ロス、管理ロス
稼働時間	稼働ロス		 <p>一部工程停止</p>	 <p>前工程停止 後工程稼働</p>	 <p>作業者停止 設備稼働</p>
現状標準稼働時間	組合せロス		一部工程停止	前工程チョコ停ロス 不良手直しロス	作業者空転ロス
理想価値稼働時間	性能ロス	組合せロス	立ち上がりロス シャットダウンロス 保全、編成ロス チョコ停ロス	 <p>前工程稼働 後工程停止</p>	 <p>作業者稼働 設備停止</p>
			傾き×水平	段取りロス、設備待ちロス 刃具交換ロス	内段取りロス
理想価値稼働時間	性能ロス		 <p>全工程稼働</p>	 <p>両工程稼働</p>	 <p>作業者稼働 設備稼働</p>
理想価値稼働時間	性能ロス		全工程価値稼働時間ロス 全工程バランスロス	前後工程価値稼働時間 前後工程バランスロス 速度低下ロス	外段取りロス 作業者処理能力バランス

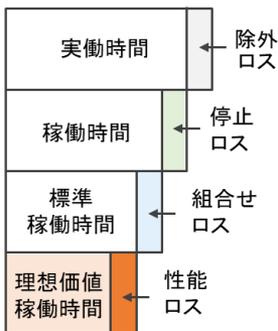
ロス構造表を作成することでロスの網羅的な発見や分類、評価が可能

# 評価指標と分析手法の活用と全体像

## 分析対象とする生産方式

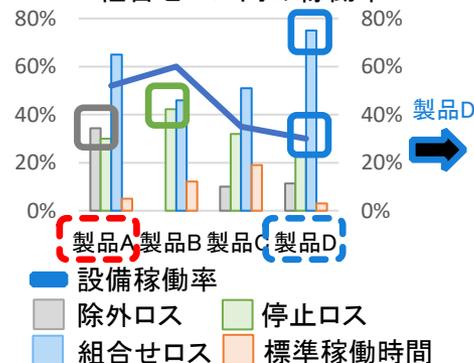
製品のサイクルタイムと作業者の作業時間が把握可能な生産方式

【ロス時間構造(秒)】

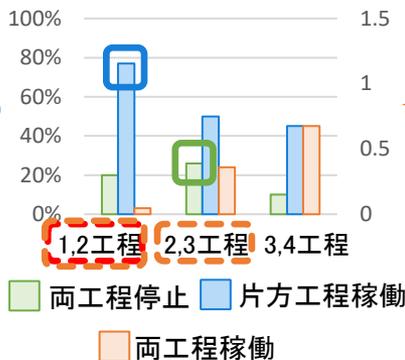


## 評価指標

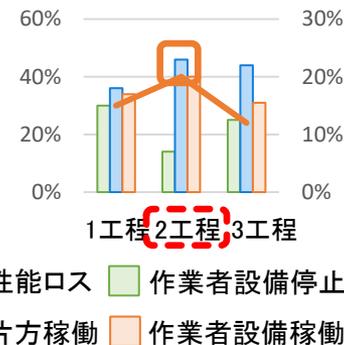
製品別ロス時間割合  
組合せロス内の稼働率



前後工程別稼働状況割合



工程別稼働状況割合と  
性能ロス



## 改善案の導出



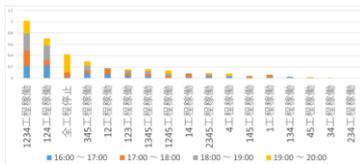
動画分析(イメージ)

分析から把握したロスを  
動画で確認し具体的な  
改善案を導出

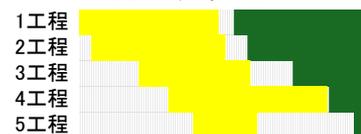
## 分析手法

製品Aを分析

稼働工程時間帯状態評価

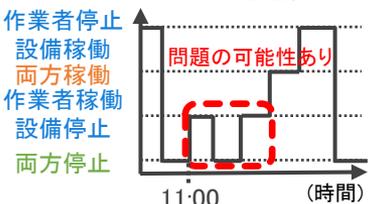
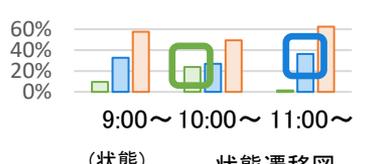


ガントチャート



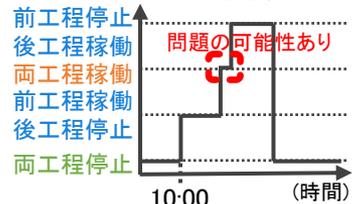
製品Dの1,2工程を分析

前後工程時間帯別状態評価



製品Dの2工程を分析

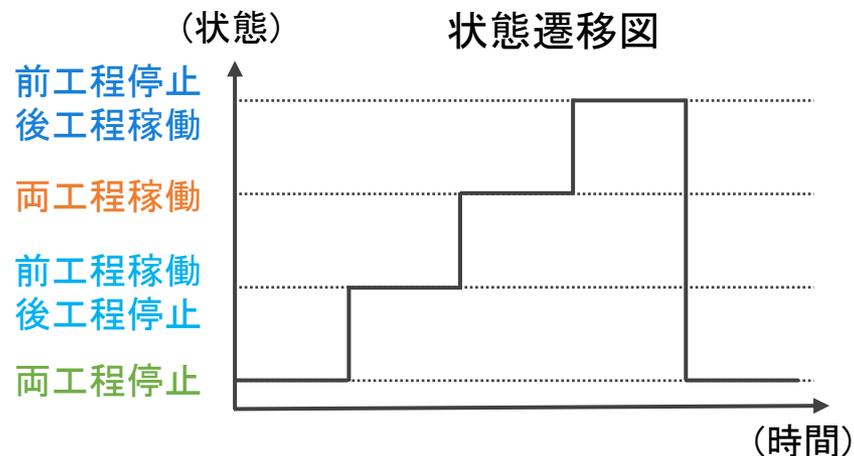
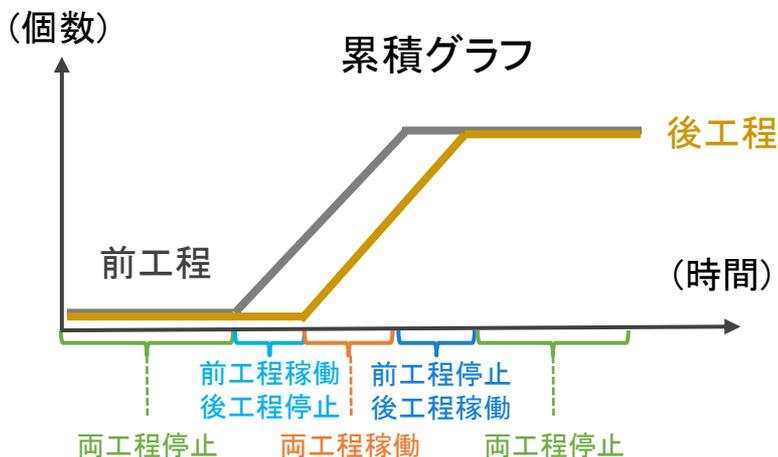
各工程時間帯別状態評価



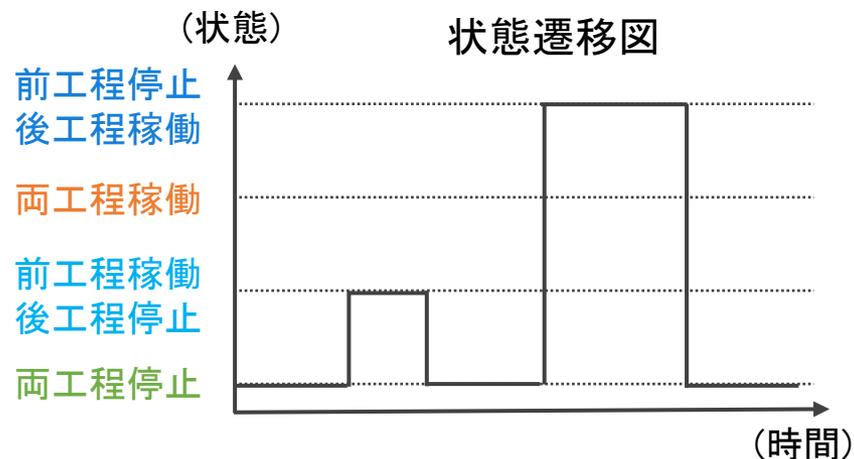
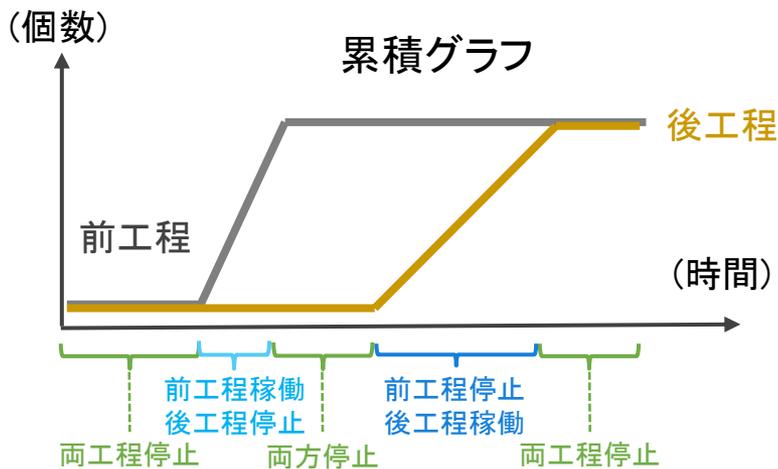
評価指標と分析手法で定量分析し、動画で定性分析することで具体的な改善案を導出

# 工程レベルの状態遷移図の考案と例

## 【工程バランス: 良】



## 【工程バランス: 悪】

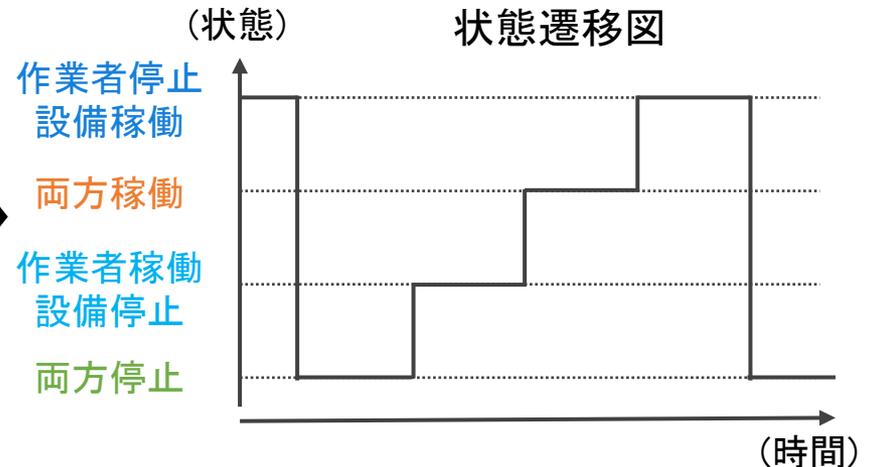
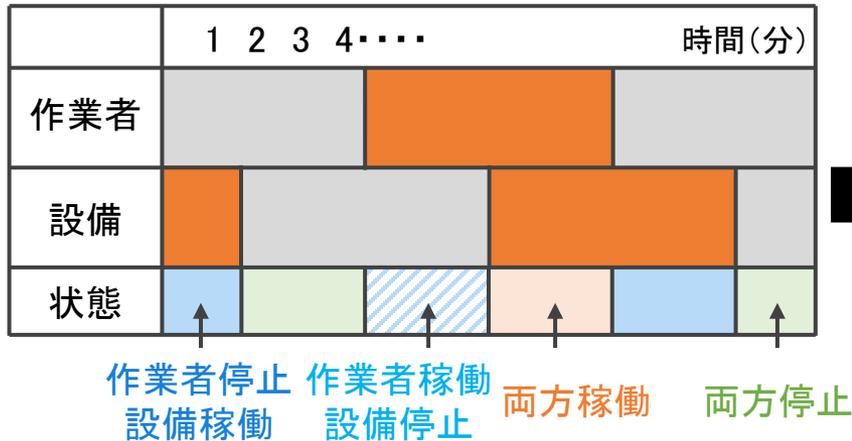


時系列で前後の工程の状態を把握し、正常時との差異から問題を視覚的に発見可能

# 作業レベルの状態遷移図の考案と例

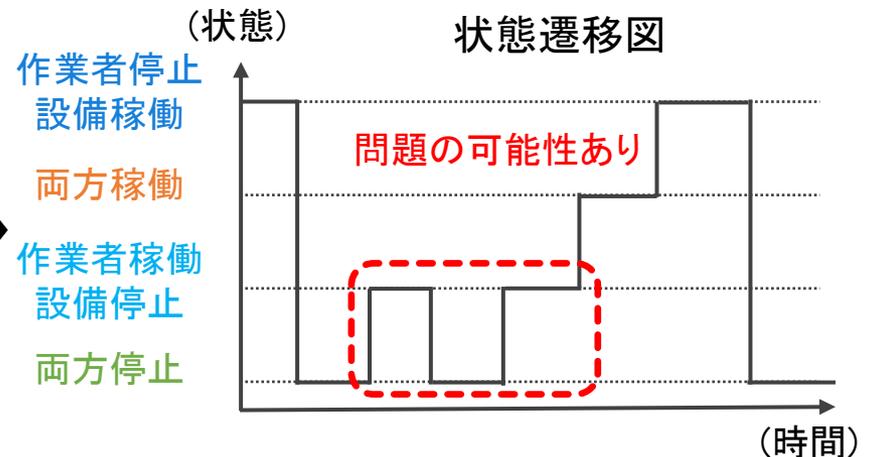
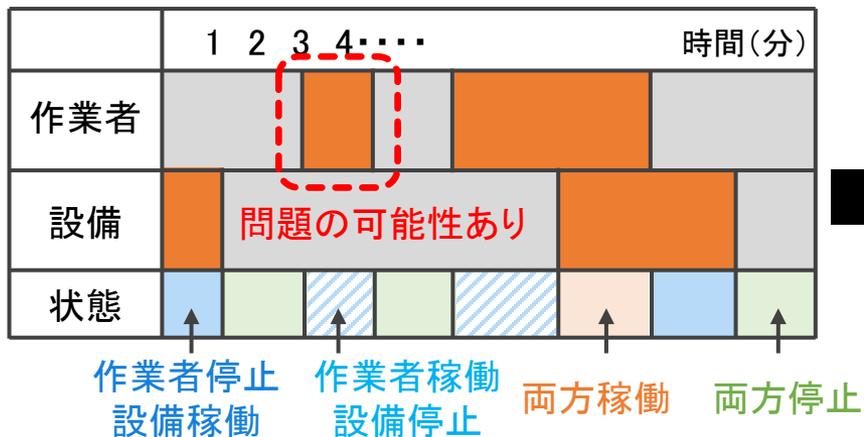
## 【正常例】

マンマシンチャート ■ 停止 ■ 稼働



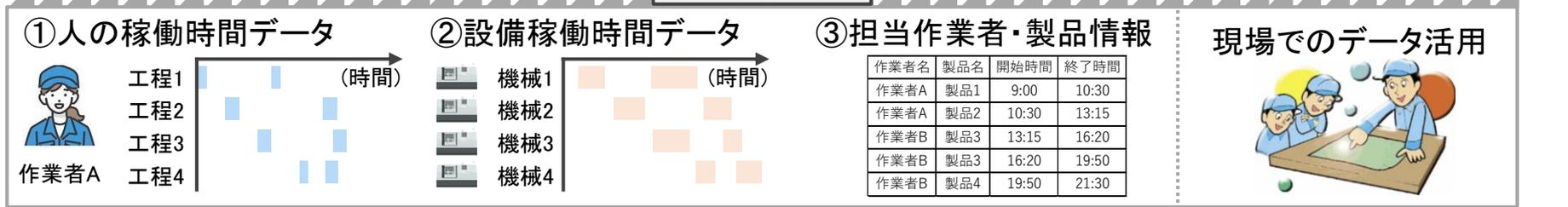
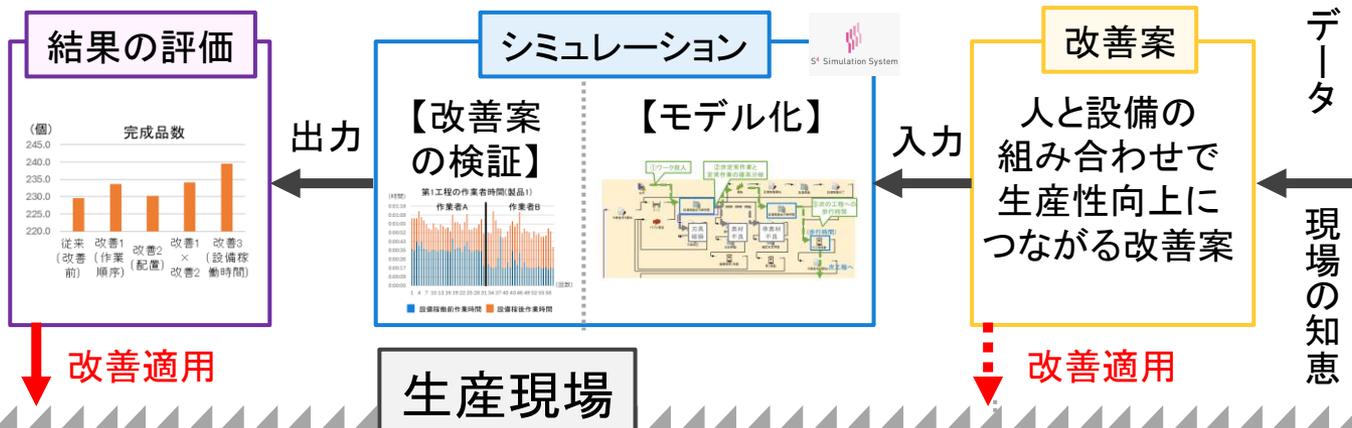
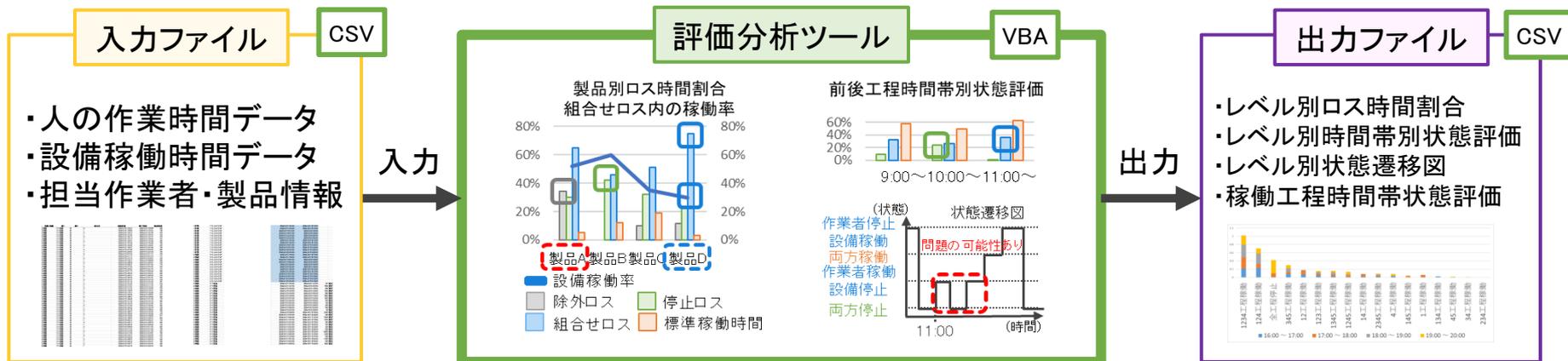
## 【異常例】

マンマシンチャート ■ 停止 ■ 稼働



時系列で設備と作業者の状態を把握し、正常時との差異から問題を視覚的に発見可能

# 問題発見と改善方法の全体像



生産現場から得たデータから問題発見と改善方法を基に改善を適用

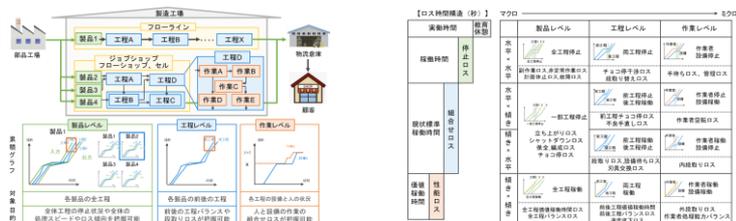
# 発表内容

## はじめに

研究背景・関連研究・先行研究・研究目的

## 研究内容

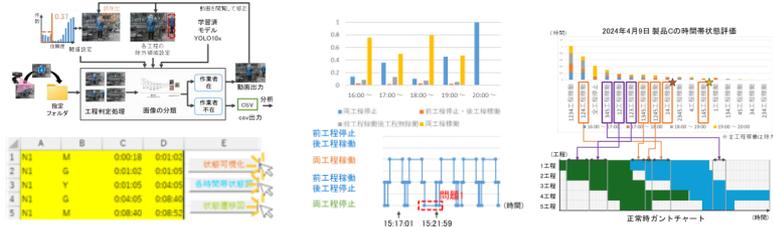
### ①データ駆動型問題発見方法の考案



多様な生産方式に対応する分析

ロス構造表とロスの例

### ②分析ツールの作成と対象企業への適用



## まとめ

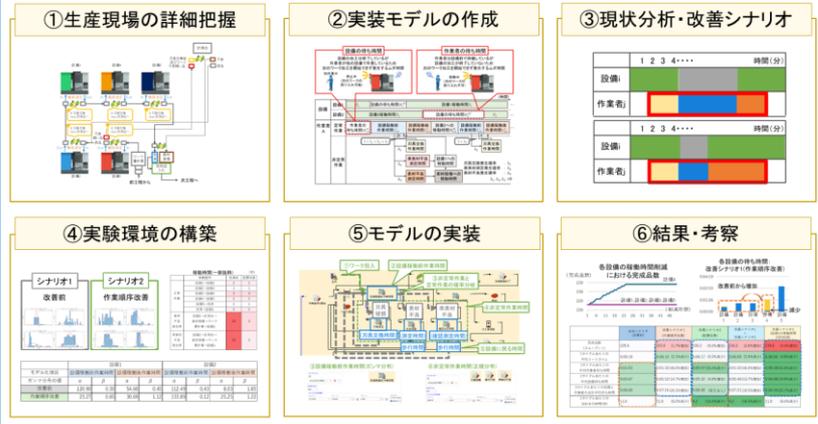
結論・今後の課題

### ③シミュレーションによる改善案の検証

関連研究と本研究の位置づけ  
 関連研究・S4 Simulation Systemを選択した理由

対象企業への提案  
 データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

#### シミュレーション内容



# 対象企業と対象製品

## 【企業情報】

業種	製造業
全従業員数	約2,000名
生産拠点数	約10工場

## 【分析対象日時】

開始日時	2024/4/8 8:50:00
終了日時	2024/4/10 5:22:08
合計時間	44:32:08

## 【対象工程情報】

生産方式	セル生産方式
作業人数	1,2名
設備数	5台

## 【分析対象製品】

製品数	約500個
製品種類	7種類
工程数	5工程

## 【収集データ一覧】

- ・人の作業時間データ
- ・設備稼働時間データ
- ・担当作業員・製品情報
- ・各設備前の動画像



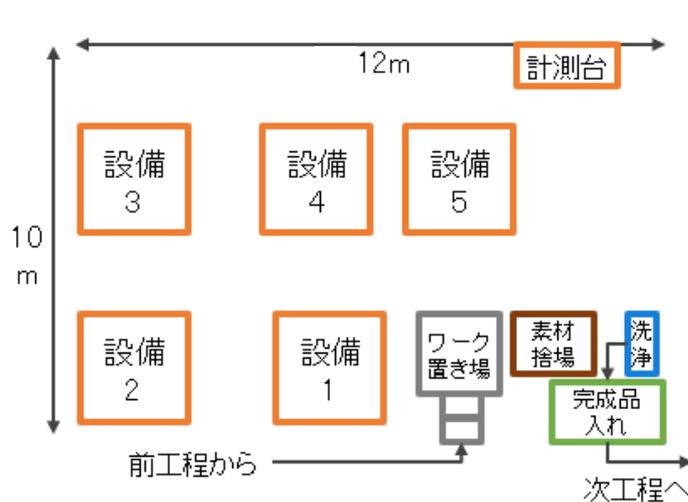
生産工場  
(イメージ)



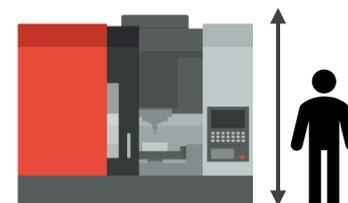
製品や設備、作業員に関するデータ(1秒間隔)



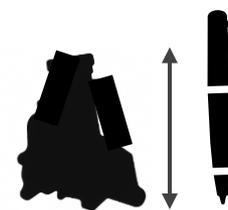
各設備前の動画像  
(1秒30frame)



レイアウト(イメージ)



設備の大きさ(イメージ)



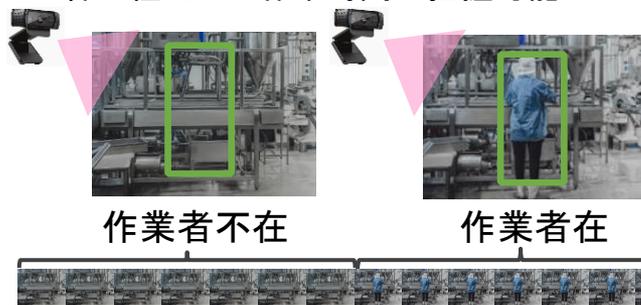
ワークの大きさ(イメージ)

# 対象企業における既存のデータ収集システム

## 【既存のデータ収集システム】

### ①人認識画像分析システム(仮称)

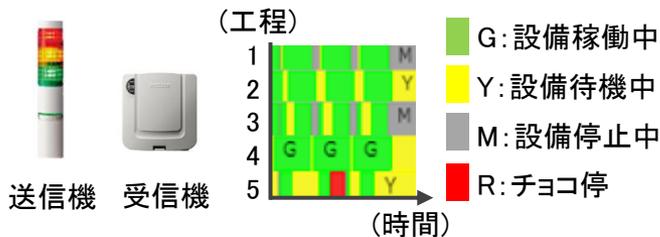
動画の**指定範囲内**で人の在不在を観測し  
各工程内での作業時間が把握可能



現在ライセンス都合上、使用中止  
※画像はイメージ

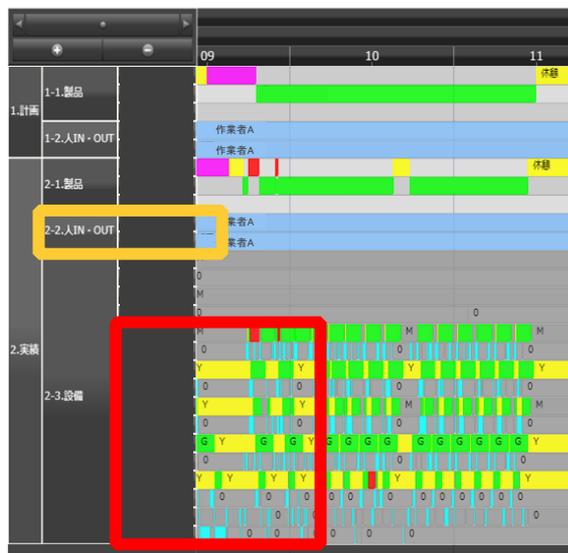
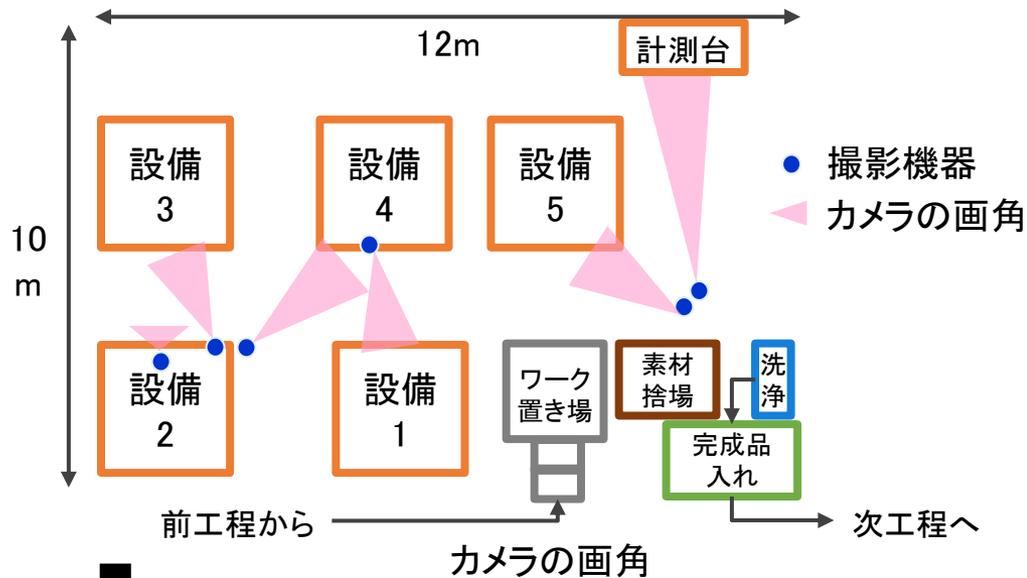
### ②設備稼働監視システム(仮称)

設備の稼働状況が可視化可能



### ③人 IN・OUTシステム(仮称)

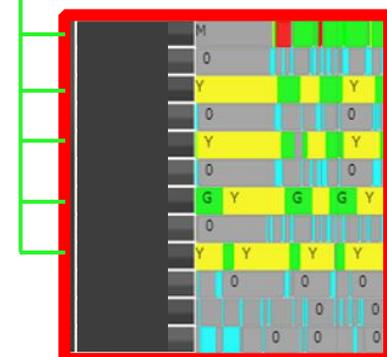
ライン内での作業者の特定が可能



Motion Boardによるガントチャート

### ①人認識画像分析システム

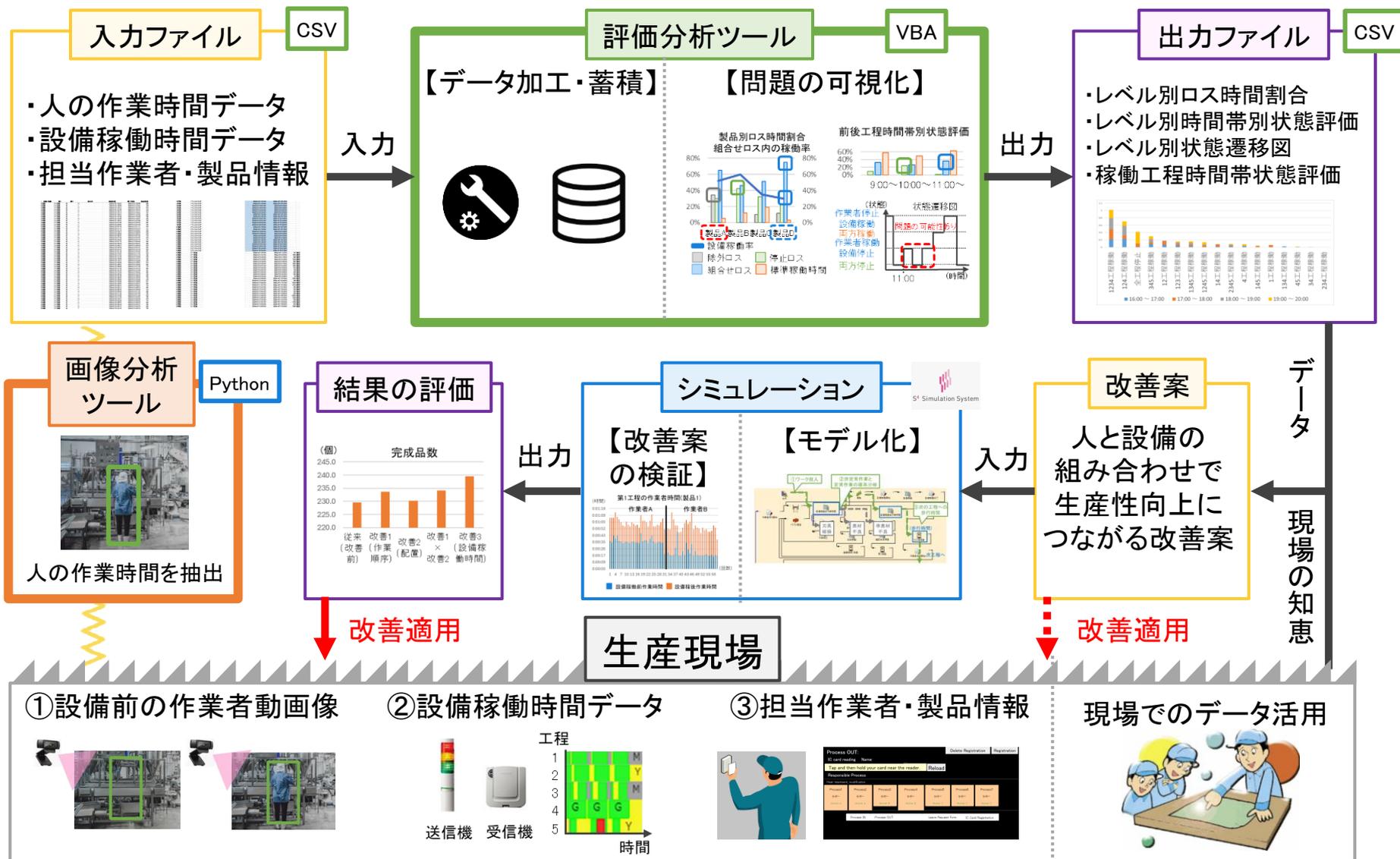
### ②設備稼働監視システム



### ③人 IN・OUTシステム

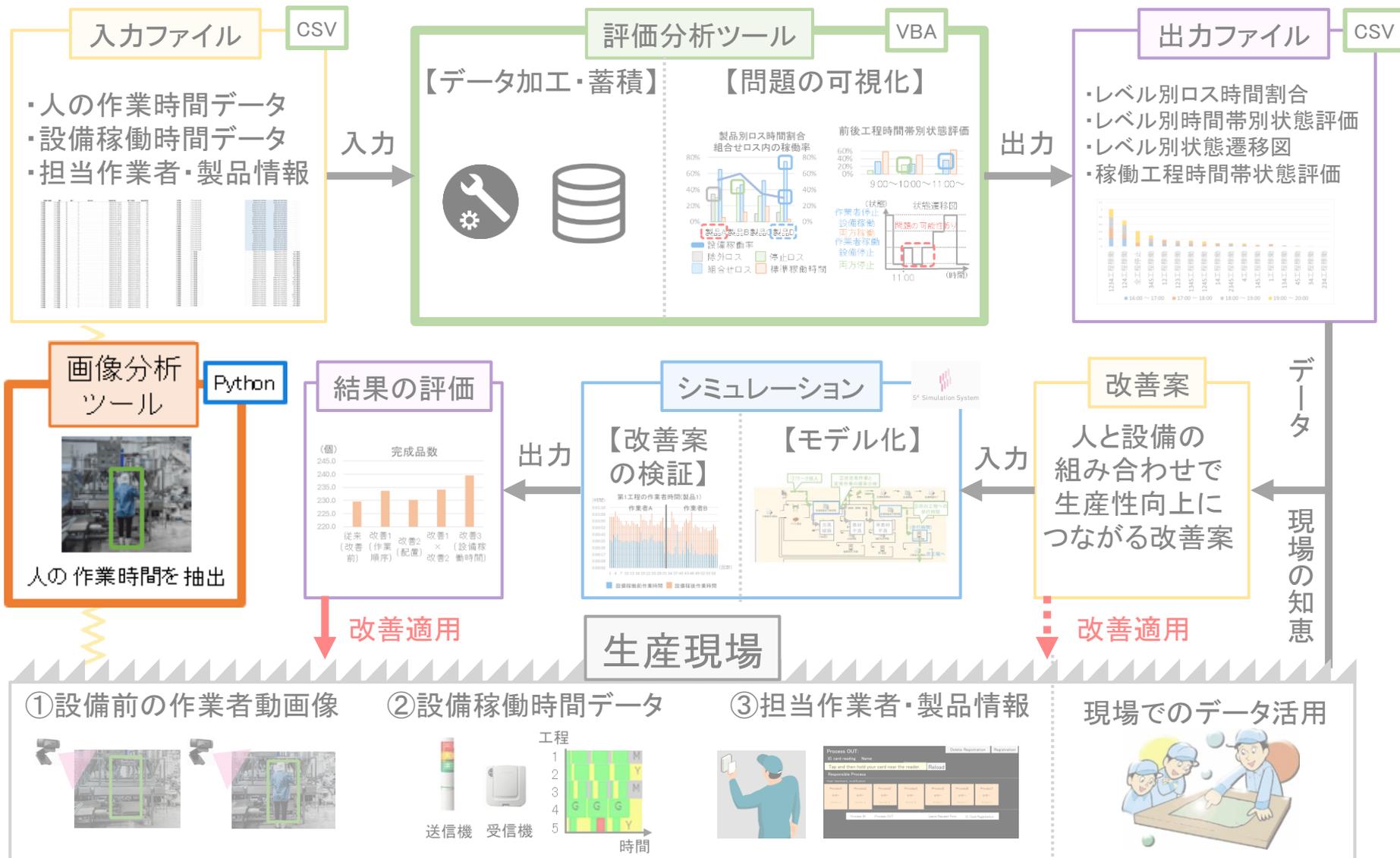


# 作成した問題発見改善支援システムの全体像



評価指標と分析手法の可視化と自動化を実現するために2つのシステムを作成

# 画像分析ツールと評価分析ツールの作成



# 作成した画像分析ツールの概要

## 画像分析ツール作成の目的

作業レベルの評価と分析を実施するために  
設備前での人の作業時間を把握するため

## 【既存システムの問題】

①画角や見切れ  
による未検知



第2工程  
(イメージ)

②設備の近接性  
による検知干渉



左下: 第2工程, 右上: 第3工程  
(イメージ)

生産現場で運用できる高精度で  
処理速度が速いツールの構築が必要

## 【適用手法の概要】

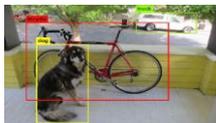
YOLO (You Only Look Once) [30]

### ◆メリット

・高精度で処理速度が速い

### ◆デメリット

・画像の端に物体が一部映る見切れに弱い  
・複雑な背景や模様による精度低下

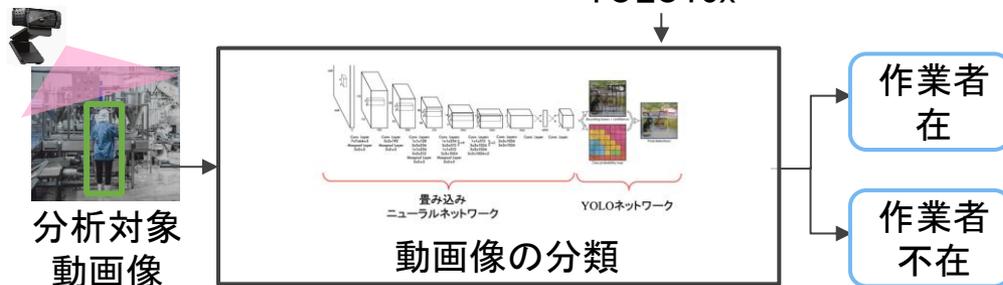


## 【YOLOを用いた画像分析ツールの概要】

- ・30frame(1秒)ごとに推定
- ・閾値はデフォルトの0.25で設定

学習済  
モデル  
YOLO10x

開発言語:  
Python[31]



YOLOを使用して作業者の在不在を時系列で推定する

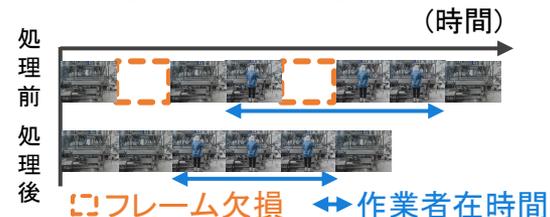
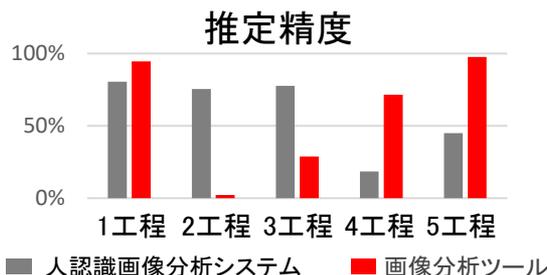
## 【YOLOを用いた画像分析ツールの検証】

使用動画: 5分 × 5工程

### ◆問題点

- ①見切れによる未検知
- ②フレーム欠損による画像分析  
処理後の検知時間のズレ

評価方法:  $IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B}$  A: 正解領域 B: 予測領域



平均推定精度は58.95%でバラツキが多く問題が発生

# 作成した画像分析ツールと精度検証

## 【問題点と改善アプローチ】

- ①バウンディングボックス(人クラス)が端に来たら人存在判定  
バウンディングボックス(物体検出領域)



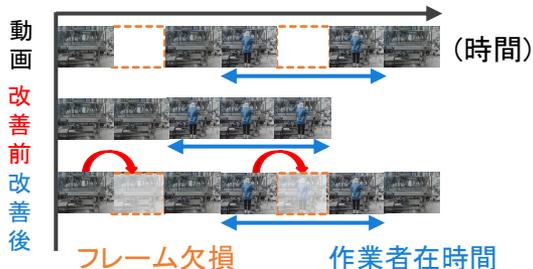
見切れが発生しても検知可能

- ②複数の除外範囲を事前に設定  
除外範囲



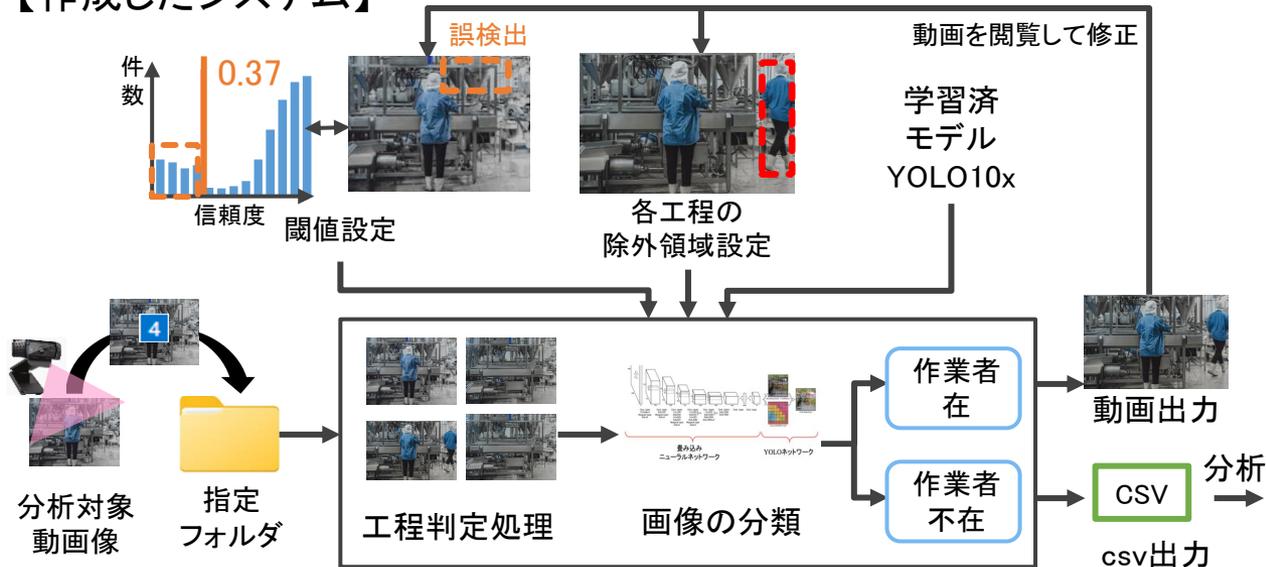
作業者在判定      作業者不在判定  
不要な検知部分の排除が可能

- ③処理フレーム番号を明確に指定し  
欠損フレームを前フレームで補完



フレーム欠損による検知時間のズレ解消

## 【作成したシステム】



## 【実験結果】

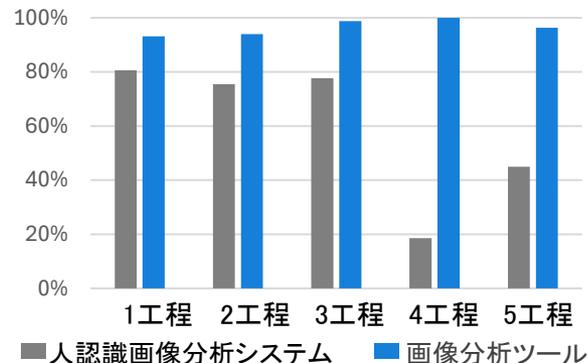
使用動画：計60分

動画処理性能：  
約5時間53分/hの動画を処理可能

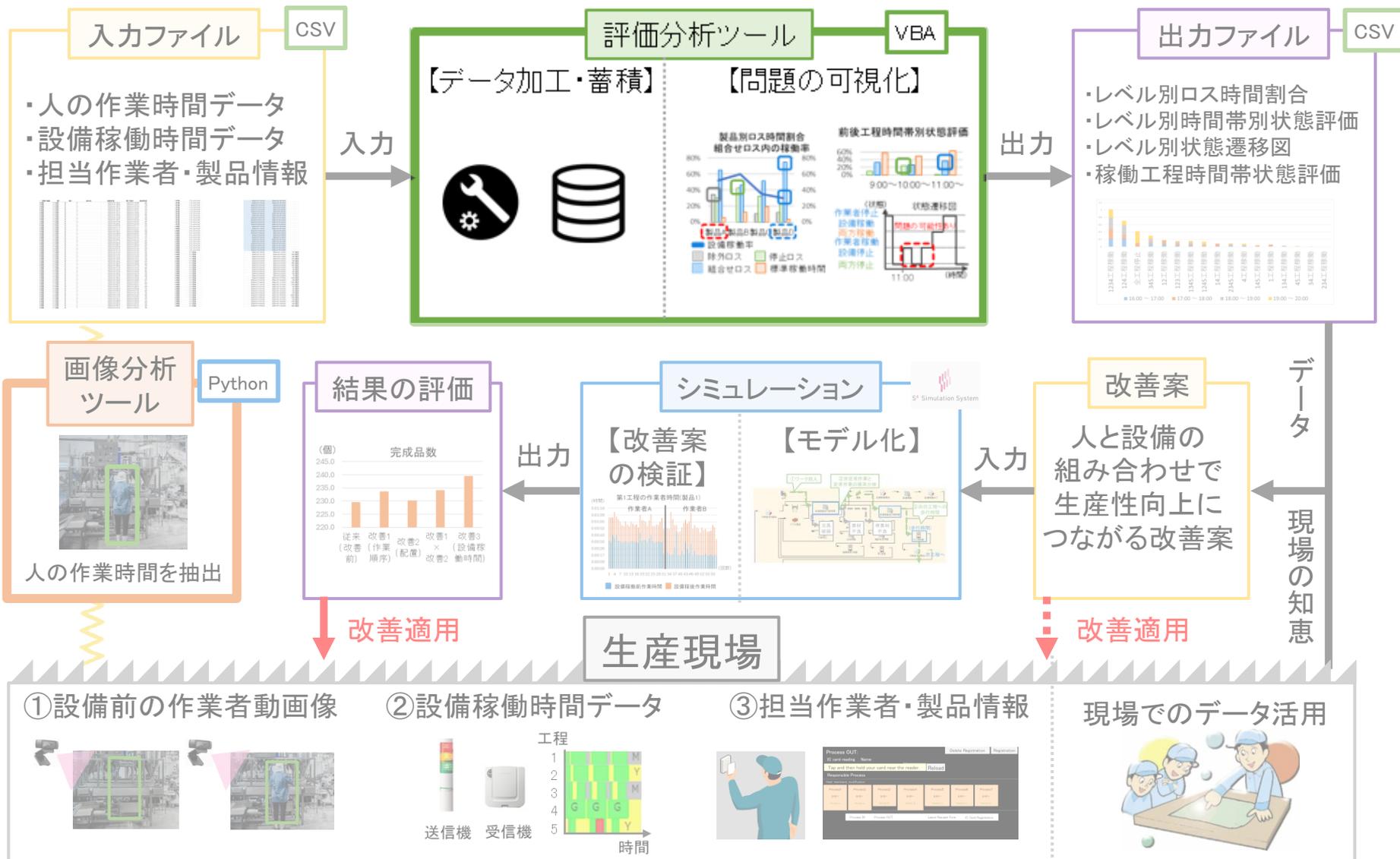
推定精度平均：95.07%

リアルタイムより処理速度が速く  
検知領域をカスタマイズ可能な  
精度高く作業者の在不在が  
検知可能なツールを作成した

## 改善後の推定精度



# 画像分析ツールと評価分析ツールの作成



# 作成した評価分析ツールの全体像

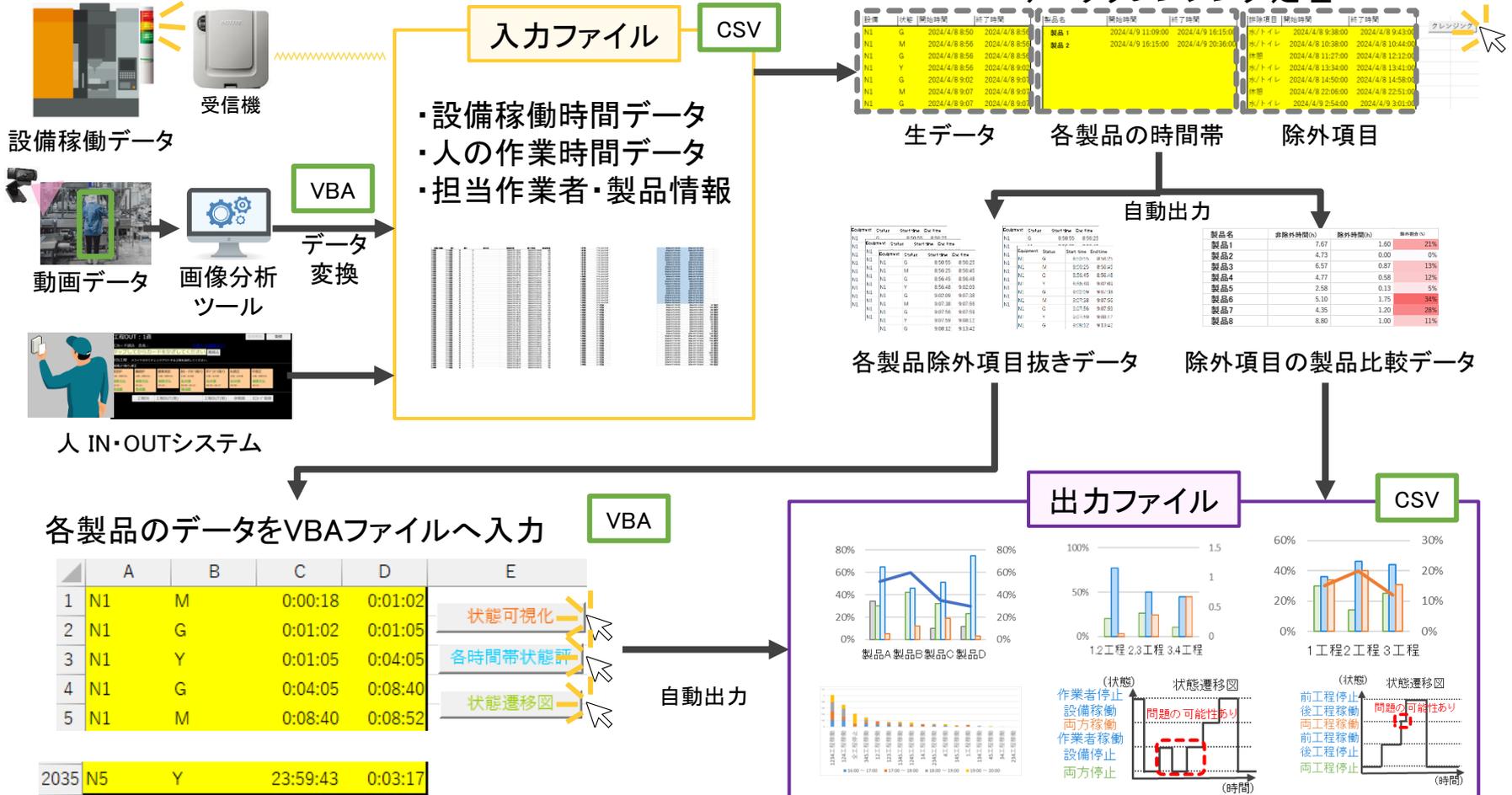
## 評価分析ツール作成の目的

ロス原因がいつ、どの設備、製品、作業者にあるか  
評価し改善に向けた分析を瞬時に実施するため

開発言語:  
Microsoft VBA[32]

除外項目…昼休憩、トイレ休憩など  
ロスとして評価しない項目

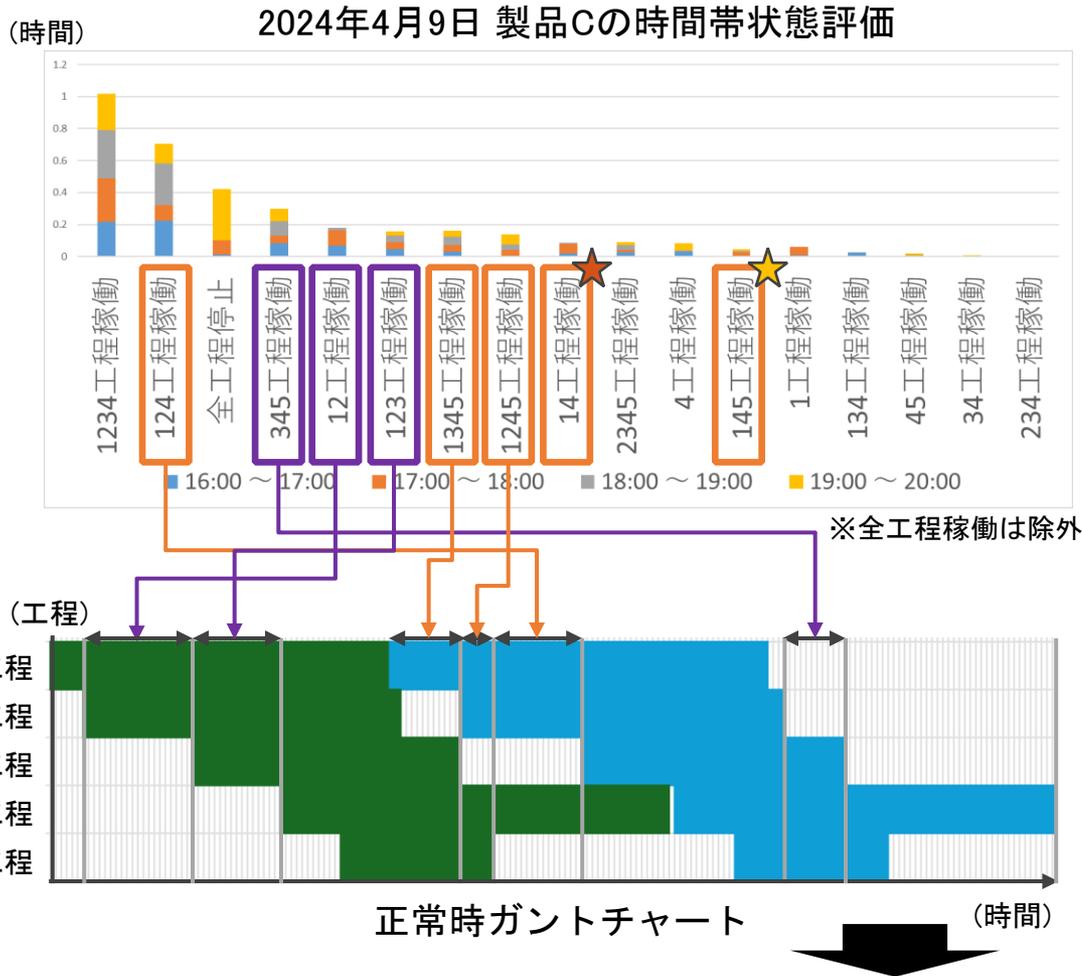
■ データ入力箇所



ロスの発生した製品、設備、作業者、時間帯を即時に判断し改善案が導出可能



# 製品レベルの時間帯状態評価を用いた問題発見



## 【問題発見ポイント】

①連続しない工程が稼働している部分

2、3工程の作業時間が長いことが問題

②連続する工程数が少ない部分

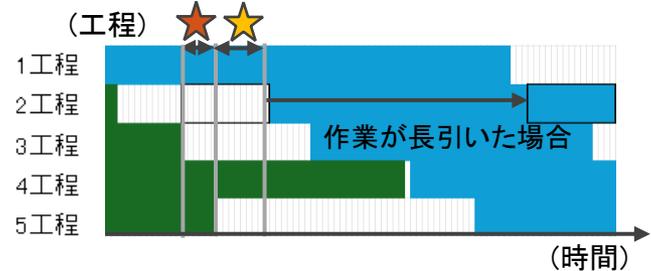
製品切替え時やトラブル後等の開始と終了時に設備の稼働数が低下することが問題

## 【潜在問題の推測】

14工程稼働

145工程稼働

2工程の作業時間が長引くことで問題が発生する可能性がある



- 【改善案の例】
- ・2,3工程の作業時間を短縮する。もしくは別のタイミングで作業する。
  - ・1工程での作業時間が長引くのを防ぐために測定方法を改善する。
  - ・4工程のCTを小さくする。もしくは先に5工程を稼働させる。

時間帯状態評価を用いて正常時だけでなく異常時の工程挙動を推測し具体的な改善案を導出

# 状態遷移図を用いた問題発見

## 【工程レベル】

2024年4月8日 製品C

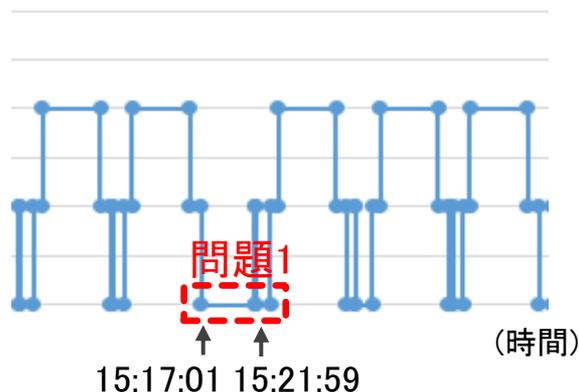
(状態) 1,2工程 状態遷移図

前工程停止  
後工程稼働

両工程稼働

前工程稼働  
後工程停止

両工程停止



### 問題1

計測してから設備を動かすため  
設備の待ち時間が発生

改善案

設備を稼働させる前にすべき計測と  
稼働させた後にすべき計測を定める

設備待機中



1工程  
(イメージ)

## 【作業レベル】

2024年4月8日 製品C

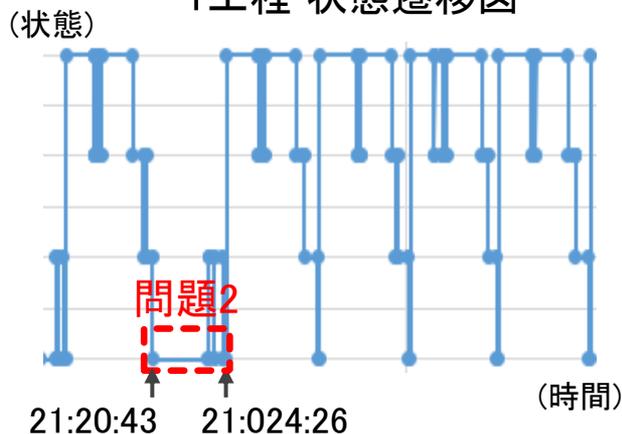
(状態) 1工程 状態遷移図

作業員停止  
設備稼働

両方稼働

作業員稼働  
設備停止

両方停止



### 問題2

計測台への移動のムダが発生

改善案

計測台で計測する頻度が多い  
工程を定量的に分析し  
レイアウトを変更する



1工程  
(イメージ)



計測台  
(イメージ)

状態遷移図を用いて問題を発見し具体的な改善案を導出

# 導出した改善案の分類

## ペイオフマトリクス

効果と実現性の2軸で優先順位をつけて意思決定するためのフレームワーク

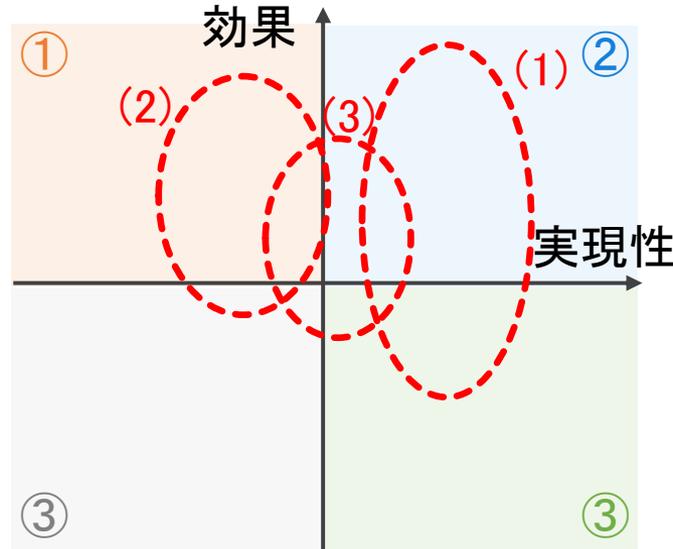
効果 : リターンや成果  
実現性 : 難易度やコスト, 時間

### 【①実現性低×効果高】

多くのリソースをかけて  
取り組むべき改善  
刃具破損予兆による  
ムダ段取りの改善 etc

### 【③実現性低×効果低】

優先度が低い改善  
設備のレイアウト改善 etc



### 【②実現性高×効果高】

最も取り組むべき改善

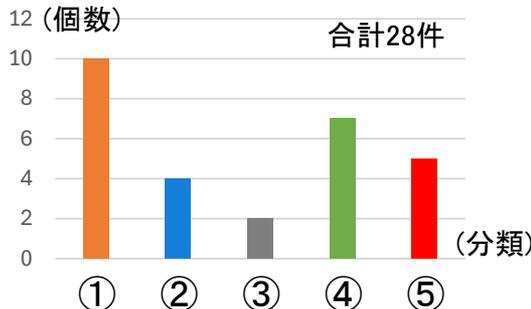
- ・完成品の移動タイミングの改善
- ・測定機器の配置改善 etc

### 【④実現性高×効果低】

優先して実行してもよい  
日々の改善

- ・ワーク設置場所の位置改善
- ・工具ホルダーの配置改善 etc

各分類における導出した改善数



### 【⑤効果が不明なもの】

- (1) 作業順序や作業方法の改善
- (2) 計測台のレイアウトの変更
- (3) 設備の稼働時間の短縮

シミュレーションによる  
効果検証を実施

※特に実現性が比較的低く効果と比較して実行に移すべきか決めかねている改善案を優先的に検証

ペイオフマトリクスで改善案を5つに分類し、効果が不明な改善案のシミュレーションを実施

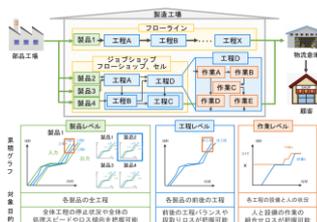
# 発表内容

## はじめに

研究背景・関連研究・先行研究・研究目的

## 研究内容

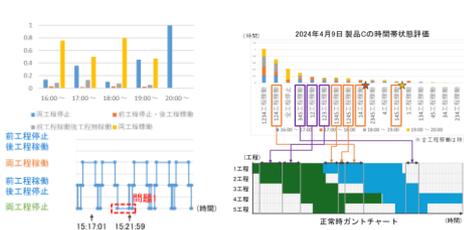
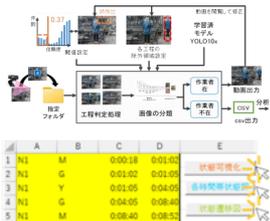
### ①データ駆動型問題発見方法の考案



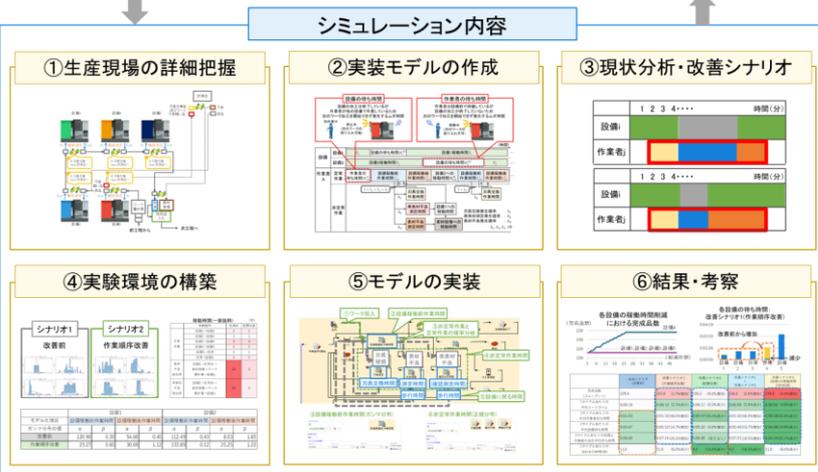
ロス種類	発生原因	発生場所	発生時期	発生頻度	発生量	発生率	発生コスト
待機ロス	作業待ち	作業台	作業時間	高頻度	高	高	高
移動ロス	搬送待ち	搬送ライン	搬送時間	中頻度	中	中	中
不良ロス	不良発生	作業台	作業時間	低頻度	低	低	低

ロス構造表とロスの例

### ②分析ツールの作成と対象企業への適用



### ③シミュレーションによる改善案の検証



## まとめ

結論・今後の課題

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

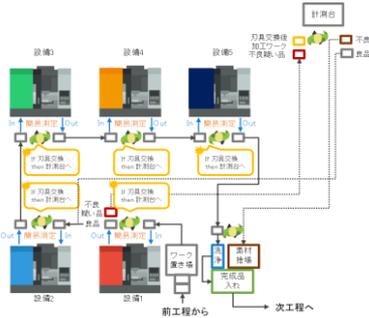
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

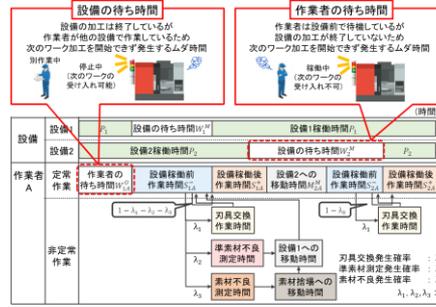
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

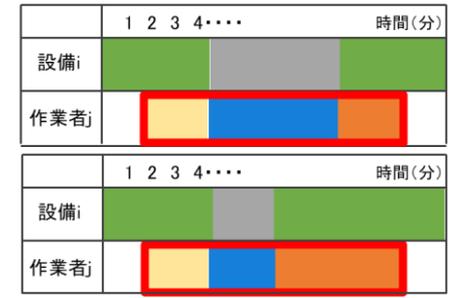
### ①生産現場の詳細把握



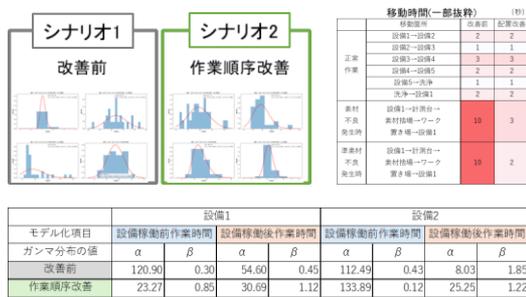
### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ



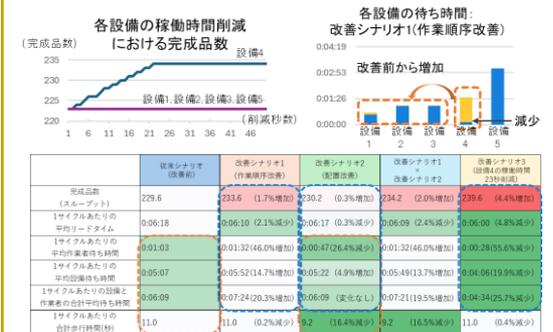
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装



### ⑥結果・考察



# 製造業におけるシミュレーションに関する関連研究

関連研究の問題点	本研究の実施項目
<p>不確実性を考慮した生産スケジューリング法の検証 (2022 出口)[33] : 三角分布                      ファジィ作業時間を持つスケジューリング問題の簡便解法 (1997 董)[34] : ファジィ数                      作業者の加工時間のばらつきを考慮した                      スケジューリングシステムの開発 (2010 岩村)[35] : 正規分布</p> <p>作業時間が生産現場に即しておらず                      あいまいな確率分布を用いたモデル化となっている</p>	<p>現場に即した                      確率分布でモデル化する</p>
<p>突発事象が金型加工工程の生産性に与える影響 (2021 渡井)[36]                      生産シミュレーション自動構築に向けた作業時間推定技術の開発 (2019 杉西)[37]                      金型工場におけるディスパッチングルールが生産性に及ぼす影響に関する研究 (2020 出口)[38]</p> <p>シミュレーション後に目的関数の結果の出力だけで                      細かな要因分析が十分にされていない</p>	<p>改善サイクルを回すために                      詳細結果や細かなログを                      有効活用する</p>
<p>検査設備配備計画の評価 (2023 田中)[39]                      船舶建造工程シミュレーションを用いた生産計画立案手法の                      現場適用に関する研究 (2023 大久保) [40]                      WearablePCと組立シミュレーションツールのIE活動への活用に関する研究 (2003 佐々木)[41]</p> <p>ライン生産方式などの順次処理生産の実装が多く                      セル生産方式の実装はまだされていない</p>	<p>複雑な並列型セル生産方式                      を実装する</p>

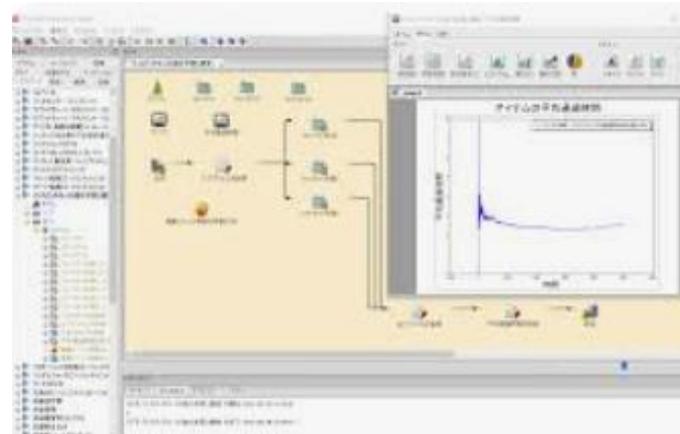
# S4 Simulation Systemの選択理由



## S4 Simulation System[42] (NTTデータ数理システム)

### (特徴)

- ・GUIによるモデル作成と編集
- ・アニメーションの表示が可能
- ・感度分析や最適化などの豊富な分析機能
- ・Pythonによるカスタマイズなどの外部連携



実行画面例

### 他のシミュレーションツールと比較した際の強み

- ・学習コストが低く、GUI設計により現場の作業者が直感的に扱いやすい
- ・アニメーション機能があるため、ものの滞留や動きがわかりやすく改善促進の判断材料となる
- ・GUIだけでは表現しきれない複雑なモデリングもPythonによるカスタマイズができる
- ・細かなログの記録機能があるので、検証後のPDCAサイクル促進のために有効活用ができる
- ・カスタマイズがしやすく数値変更などの手間が少ない

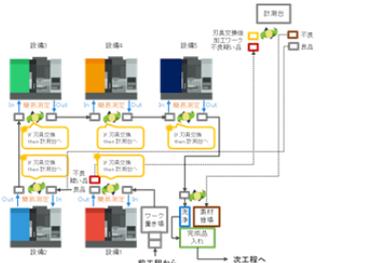
# シミュレーションの目的と内容

分析手法を現場へ適用して導出した改善案に関して  
S4を用いたシミュレーションモデルに適用し  
効果検証結果から改善実行を促進する

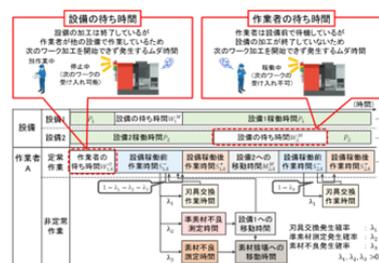
## 【内容】

### シミュレーション内容

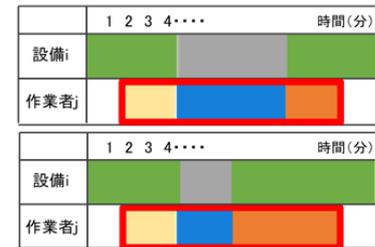
#### ①生産現場の詳細把握



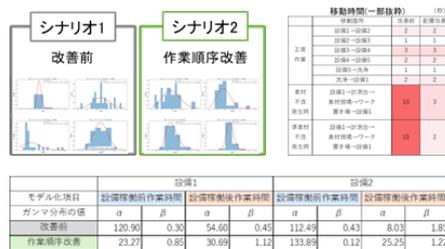
#### ②実装モデルの作成



#### ③現状分析・改善シナリオ



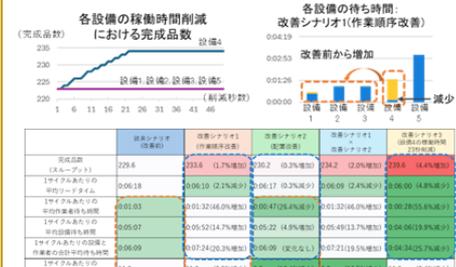
#### ④実験環境の構築



#### ⑤モデルの実装



#### ⑥結果・考察



# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

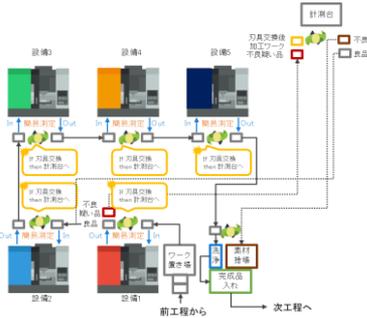
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

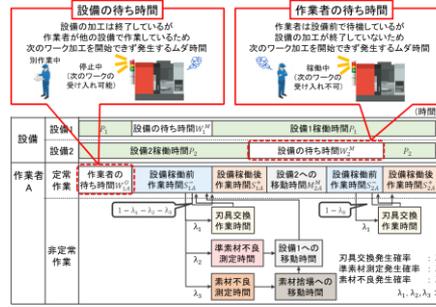
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

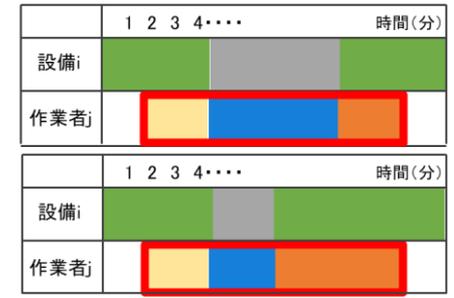
### ①生産現場の詳細把握



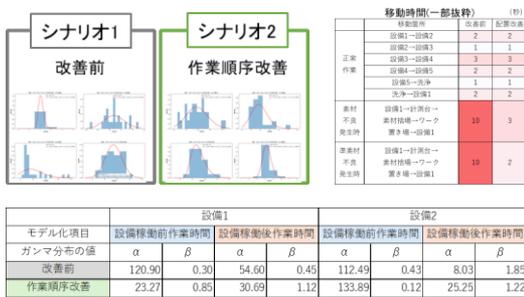
### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ



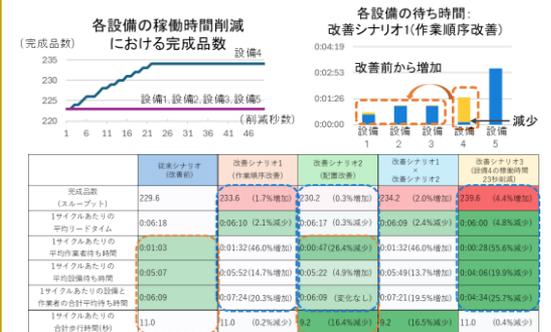
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装



### ⑥結果・考察

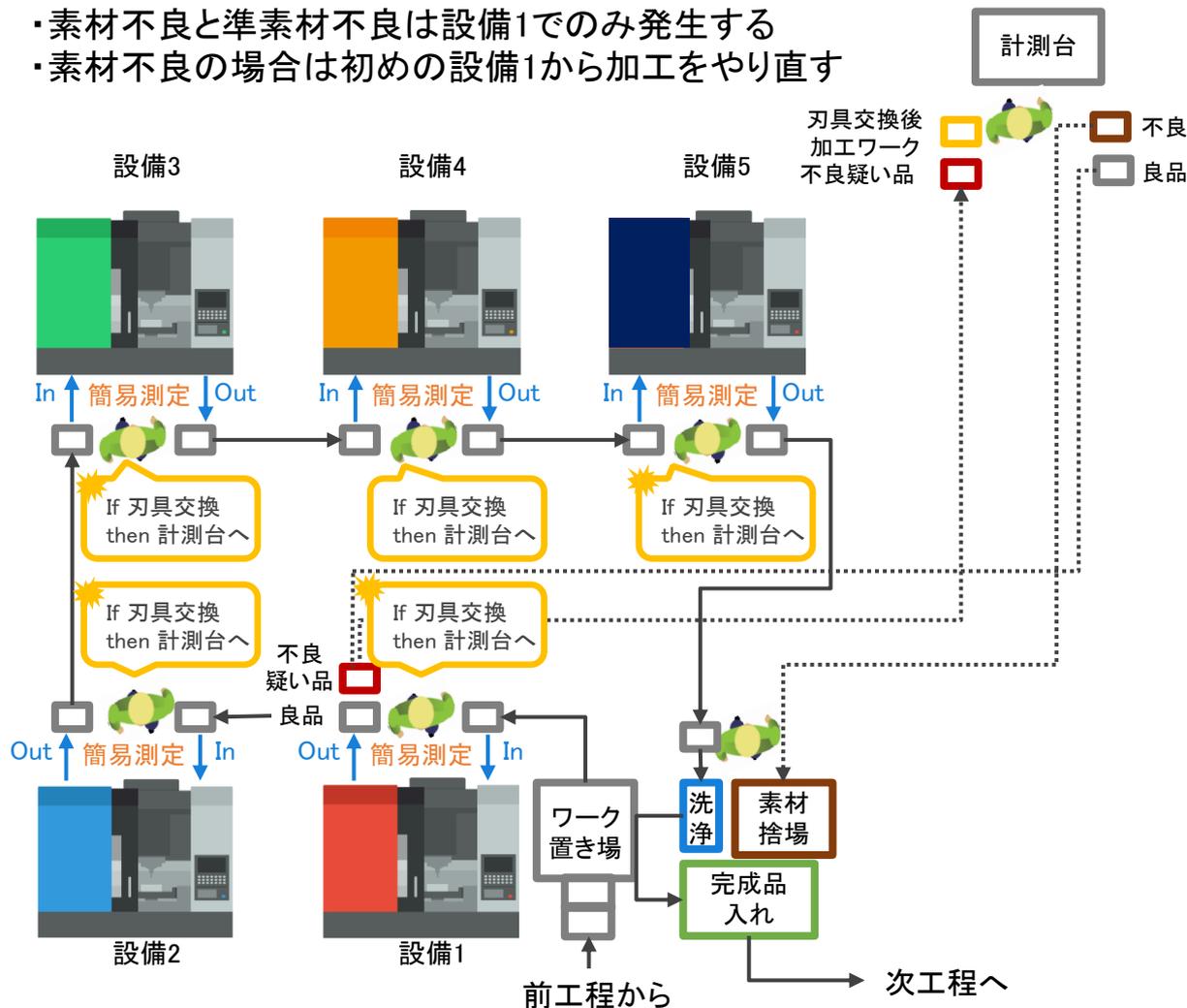




# 生産現場のモデルの詳細

## 【前提条件】

- ・刃具交換の発生確率は各設備で同値とする
- ・素材不良と準素材不良は設備1でのみ発生する
- ・素材不良の場合は初めの設備1から加工をやり直す



## 【定常作業】

### 入れ替え作業

設備での加工が終了すると新しいワークを加工済のワークと入れ替えて設備に設置し加工済ワークを次工程へ移動する

### 簡易測定

設備での加工が終了すると簡易的に測定を実施して、不良品の疑いがあるワークは計測台で計測する

## 【非定常作業】

### 刃具交換

設備で加工するの刃具が破損した場合交換作業をした後、加工後のワークを計測台に持ち込み計測する

### 素材不良

加工後の簡易測定で不良の疑いがあり計測台で計測した後、不良品であると発覚すると素材捨場へワークを投入する

### 準素材不良

加工後の簡易測定で不良の疑いがあり計測台で計測した後、良品であると発覚すると引き続き次工程へ移動する

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

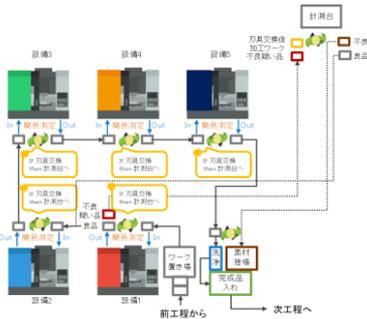
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

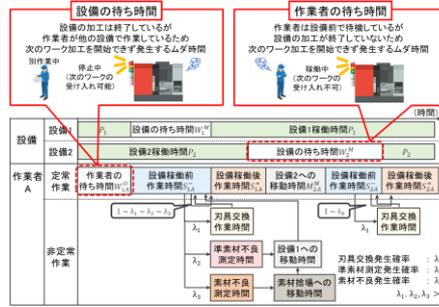
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

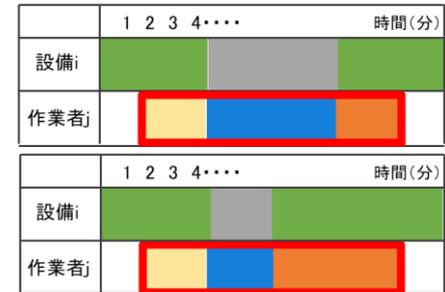
### ①生産現場の詳細把握



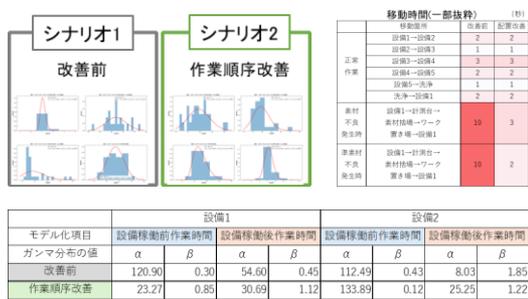
### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ



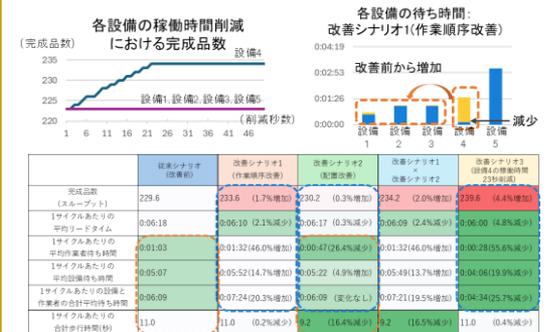
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装

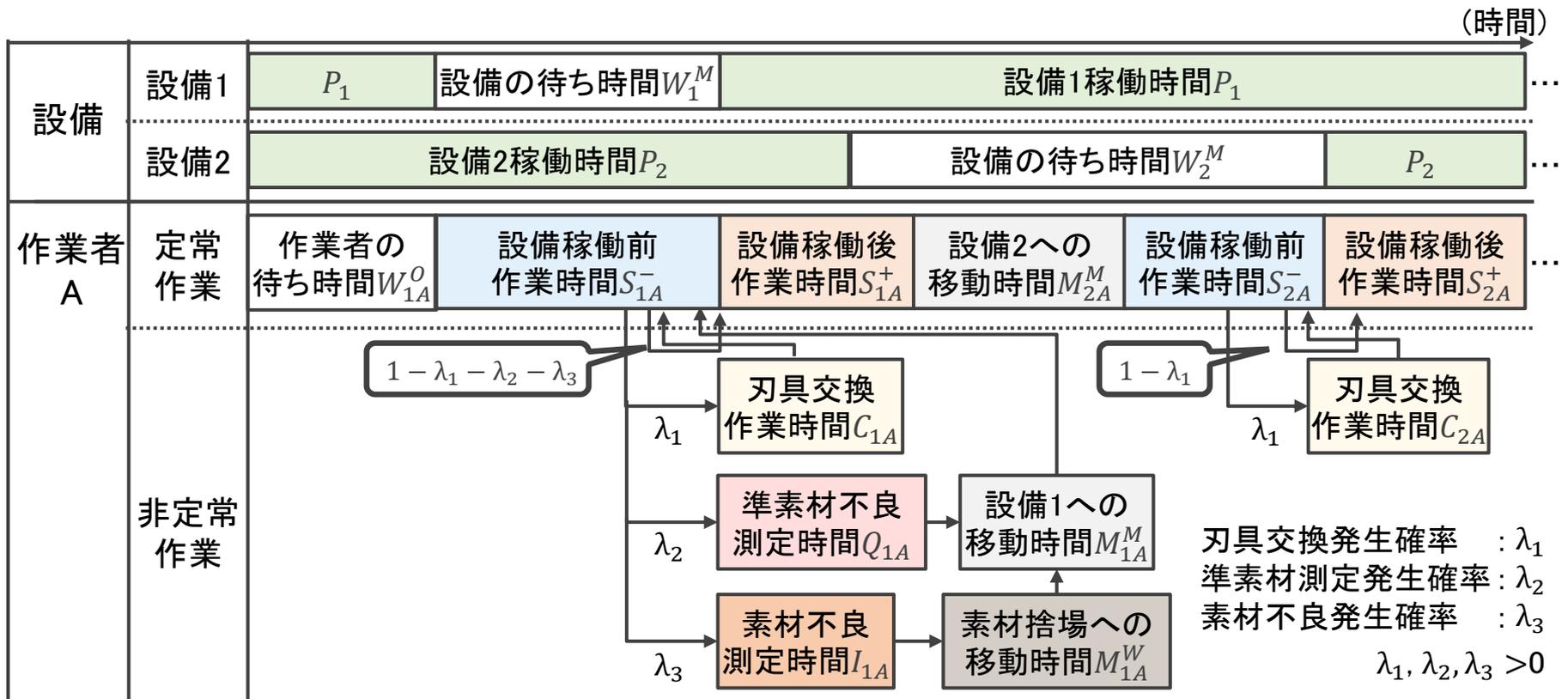


### ⑥結果・考察



# モデルの定義

記号	$i$	$j$	$P_i$	$W_i^M$	$W_{ij}^O$	$S_{ij}^-$	
説明	設備	作業員	設備 <i>i</i> の稼働時間	設備 <i>i</i> の待ち時間	設備 <i>i</i> における作業員 <i>j</i> の待ち時間	設備 <i>i</i> を稼働前作業時間	
記号	$S_{ij}^+$		$C_{ij}$	$Q_{ij}$	$I_{ij}$	$M_{ij}^M$	$M_{ij}^W$
説明	設備 <i>i</i> を稼働後作業時間		刃具交換測定時間	準素材不良測定時間	素材不良測定時間	設備 <i>i</i> への移動時間	素材捨場への移動時間



# モデルの詳細説明①

## 設備の待ち時間

設備の加工は終了しているが  
作業者が他の設備で作業しているため  
次のワーク加工を開始できず発生するムダ時間

別作業中



停止中  
(次のワークの  
受け入れ可能)

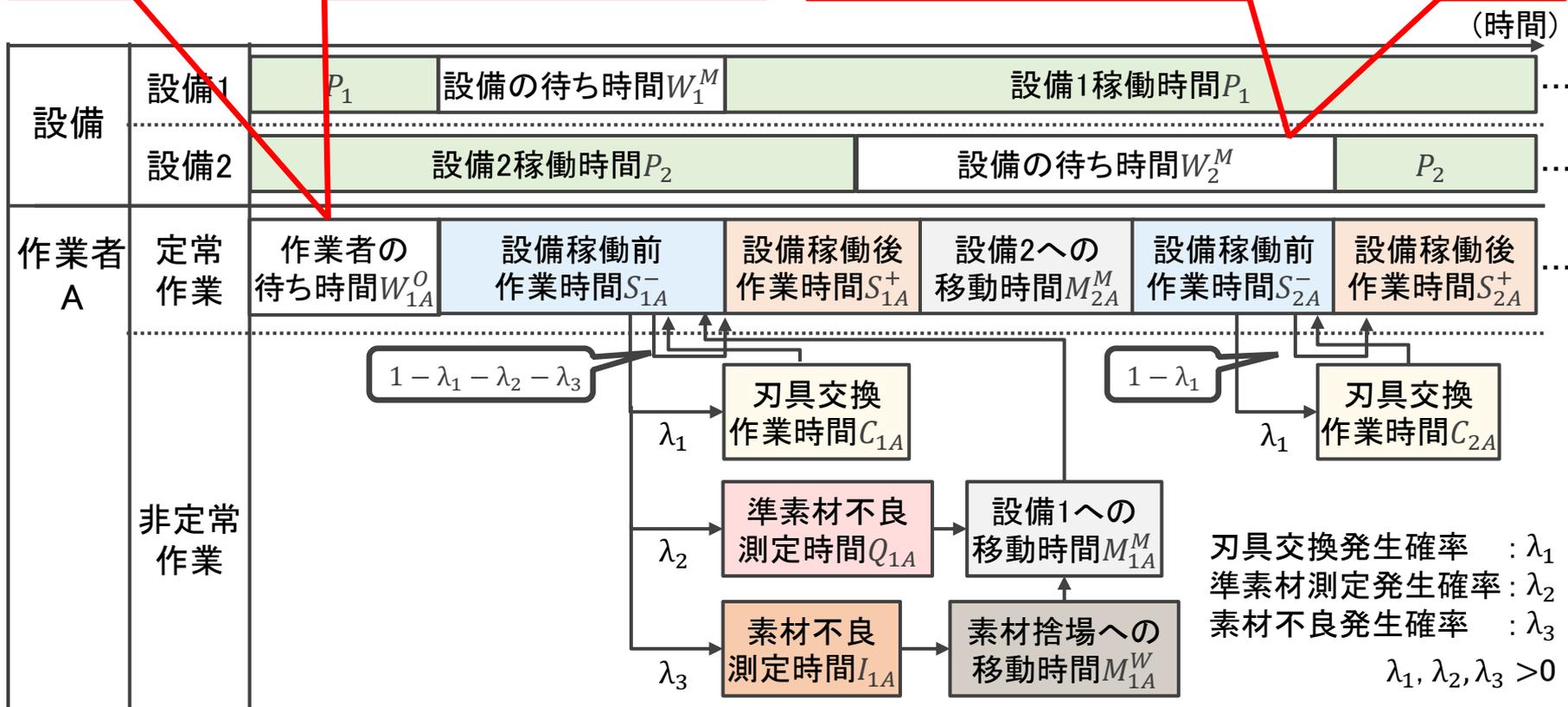
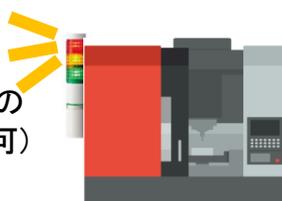


## 作業者の待ち時間

作業者は設備前で待機しているが  
設備の加工が終了していないため  
次のワーク加工を開始できず発生するムダ時間



稼働中  
(次のワークの  
受け入れ不可)



# モデルの詳細説明②

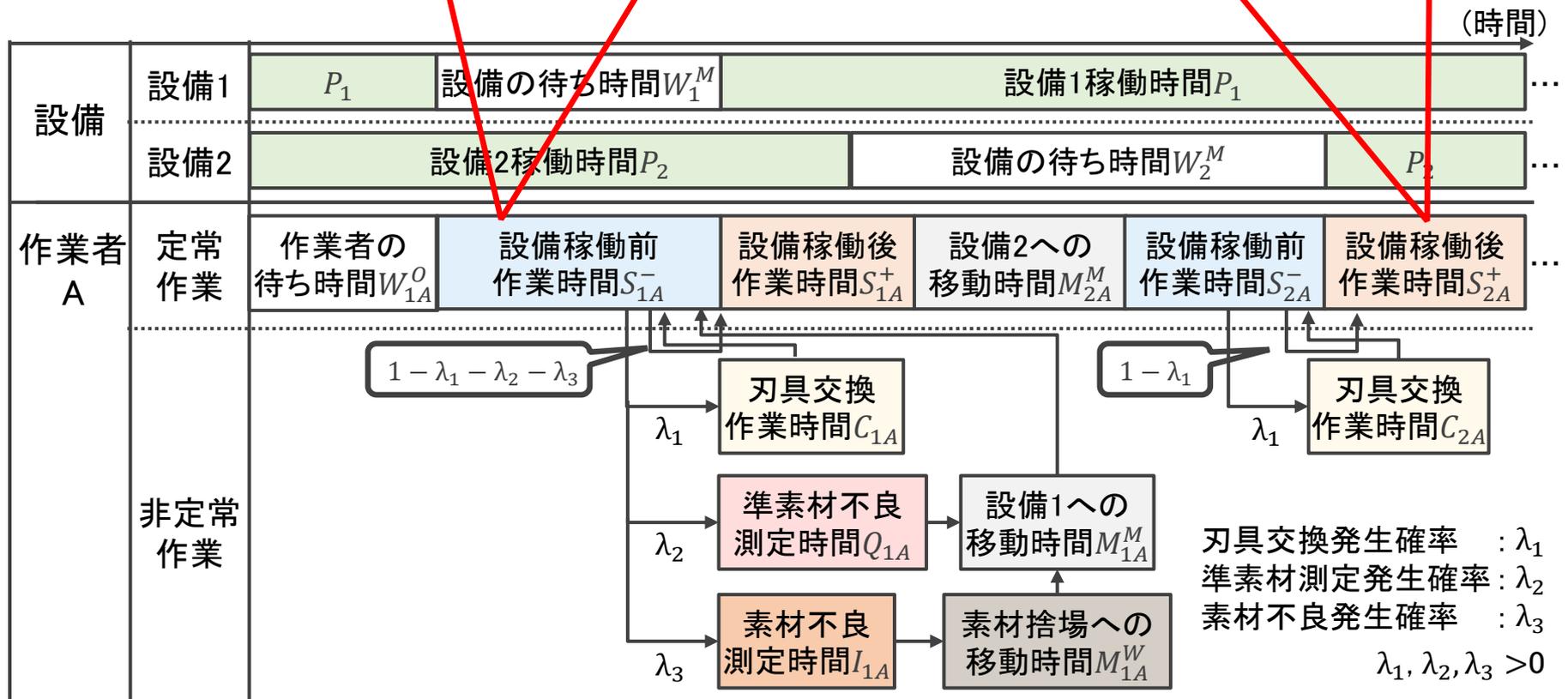
## 設備稼働前作業時間

設備加工が終了してから設備を加工始めるまでの作業のこと。主に加工済みワークの取り外しや新しいワークの取り付け、加工済みワークの計測が該当する。



## 設備稼働後作業時間

新しいワークを取り付け、設備を稼働してから次の設備へ移動するまでの作業のこと。主に加工済みワークの計測が該当する。



# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

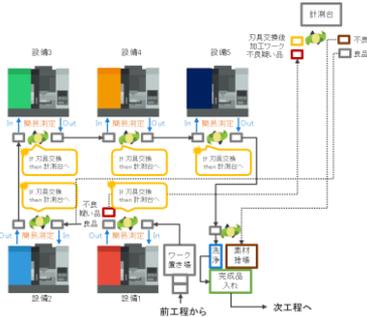
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

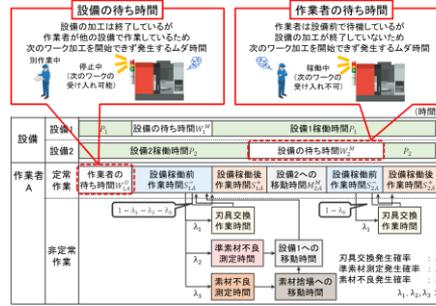
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

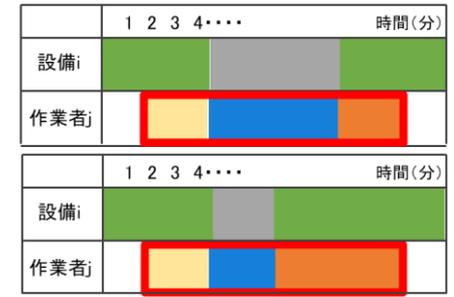
### ①生産現場の詳細把握



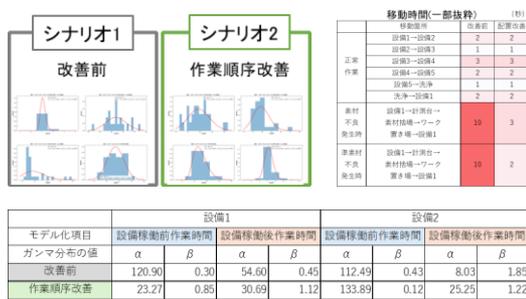
### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ



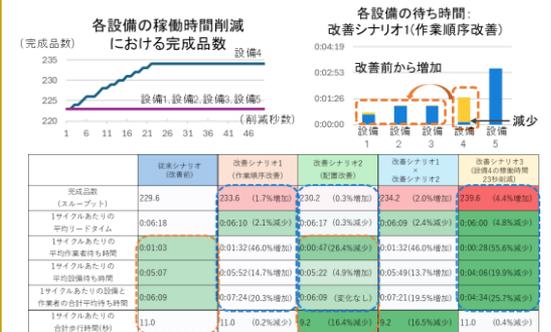
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装



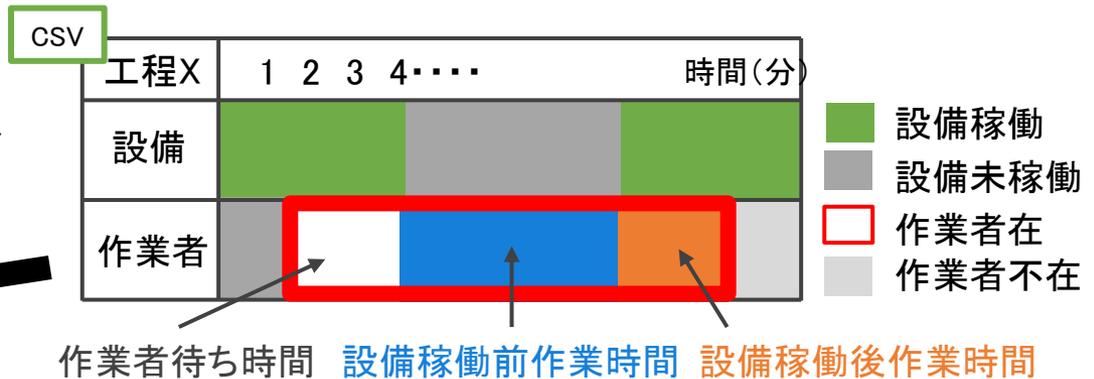
### ⑥結果・考察



# 現状分析:作業時間の問題点

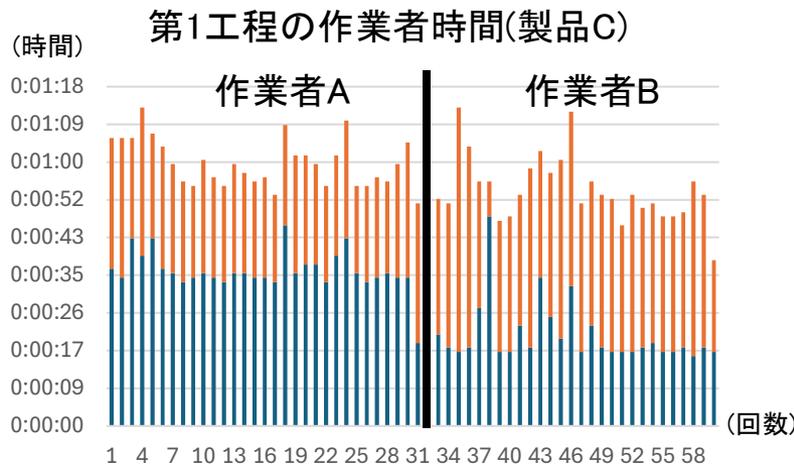
## 【作業時間の問題点】

設備データと人の作業時間データを活用しより詳細な作業時間のデータを抽出可能

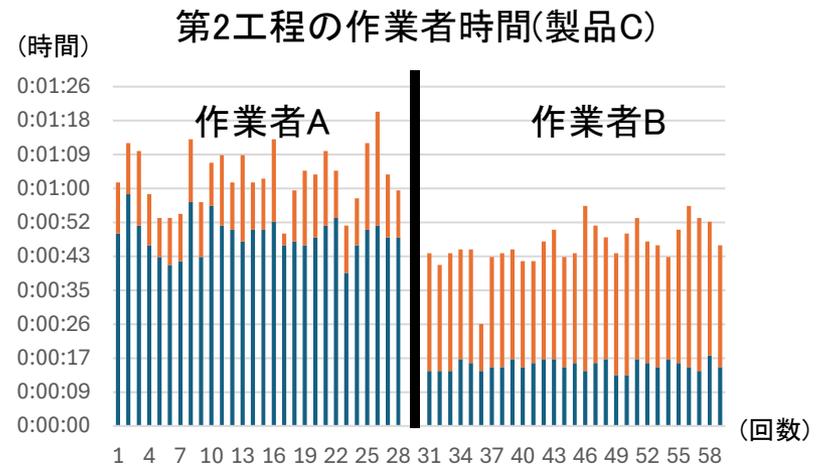


VBA

VBAで2つのcsvデータの関連性や数値から外れ値除去を実施



作業者Bの設備稼働前作業時間が小さく  
全体の作業時間も少し小さい

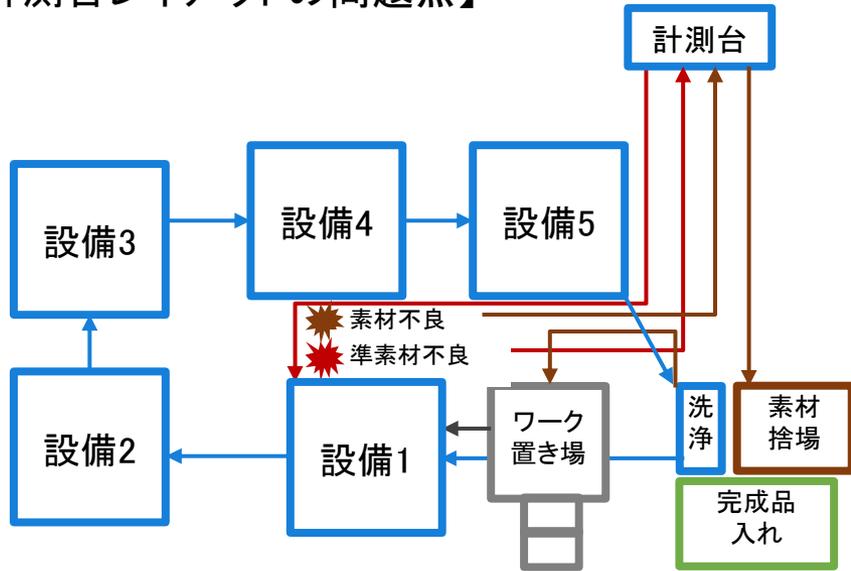


作業者Bの設備稼働前作業時間は小さく  
設備稼働後作業時間は大きい

作業者によって作業方法が異なるため作業方法の標準化と改善が必要

# 現状分析：設備配置と設備稼働時間の問題点

## 【計測台レイアウトの問題点】

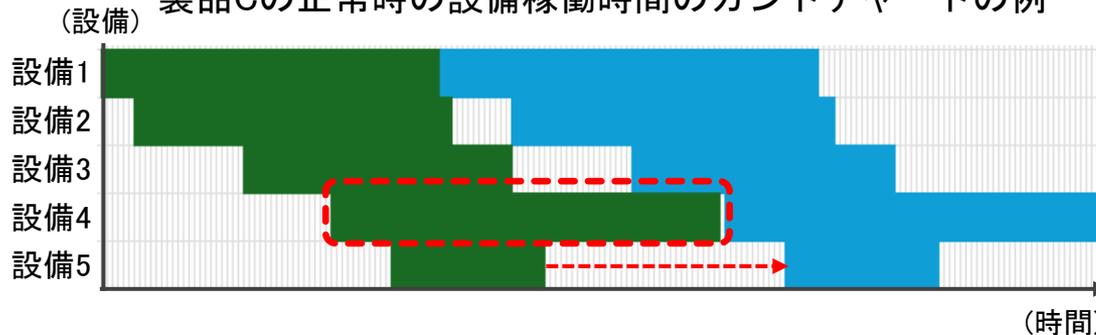


正常作業	設備1→設備2	2
	設備2→設備3	1
	設備3→設備4	2
	設備4→設備5	2
	設備5→洗浄	1
	洗浄→設備1	2
素材不良発生時	設備1→計測台→ 素材捨場→ワーク 置き場→設備1	10
準素材不良発生時	設備1→計測台→ 設備2	10

計測台への歩行時間は他の設備間の歩行時間に比べてかなり大きく移動のムダとなっている

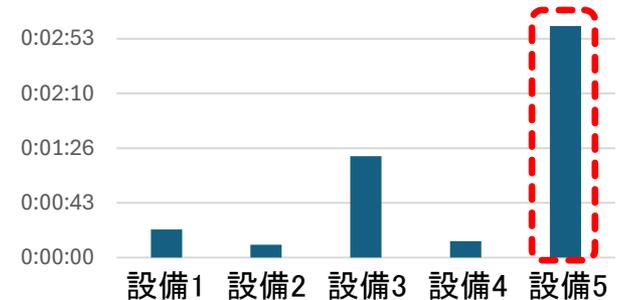
## 【設備稼働時間の問題点】

製品Cの正常時の設備稼働時間のガントチャートの例



設備4のサイクルタイムが大きいいため、設備5の待ち時間が大きくなっている

設備の平均待ち時間



改善案を基に更なる現状分析をすることでより具体的な問題点を発見

# シナリオの作成①: 作業方法と作業時間削減

## 【従来シナリオ】 改善前

設備稼働前作業時間 > 設備稼働後作業時間

設備稼働前作業時間が大きいいため  
設備の稼働タイミングが遅い

	1	2	3	4	...	時間(分)
設備i	稼働		未稼働	稼働		
作業者j	待ち	稼働前	稼働中	稼働後	待ち	

## 【改善シナリオ1】 作業順序改善

設備稼働前作業時間 < 設備稼働後作業時間

設備稼働前作業時間が大きいいため  
設備の稼働タイミングが早くなることを期待できる

	1	2	3	4	...	時間(分)
設備i	稼働		未稼働	稼働		
作業者j	待ち	稼働前	稼働中	稼働後	待ち	

■ 作業待ち時間    ■ 設備稼働前作業時間    ■ 設備稼働後作業時間  
■ 設備稼働    ■ 設備未稼働    □ 作業不在    □ 作業中

## 改善シナリオの手順

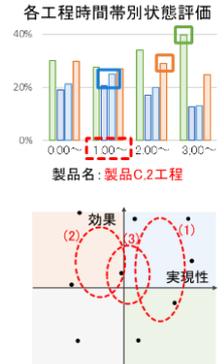
問題発見と改善方法の適用

改善案の分類

現状分析

改善シナリオの作成

具体化



(改善具体例)

設備にのみ起因する不良の測定を  
設備が稼働する前に実施するように  
全作業者の作業方法を標準化する

作業者j	待ち	稼働前	稼働中	稼働後	待ち
------	----	-----	-----	-----	----

設備稼働前作業時間    設備稼働後作業時間

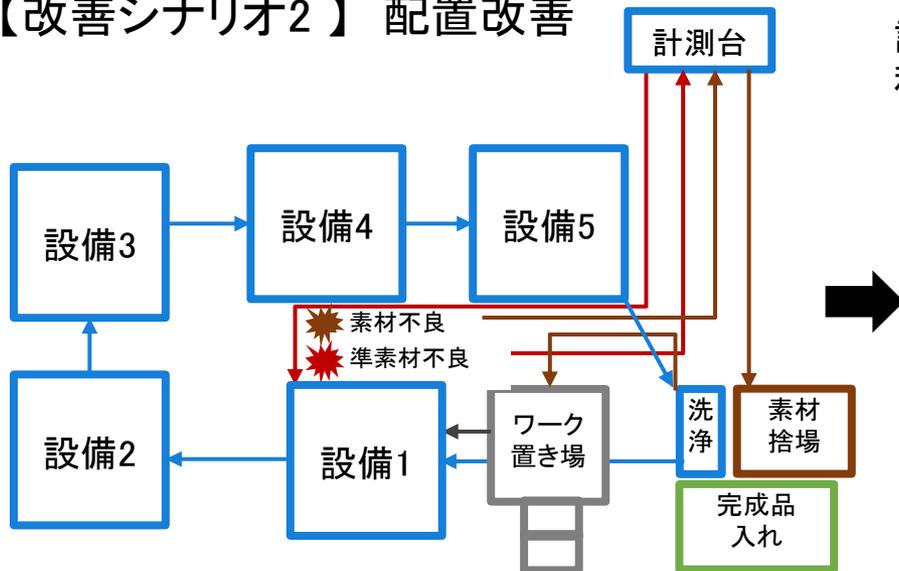
設備に起因する  
測定のみ実施

素材(ワーク)に起因する  
測定のみ実施

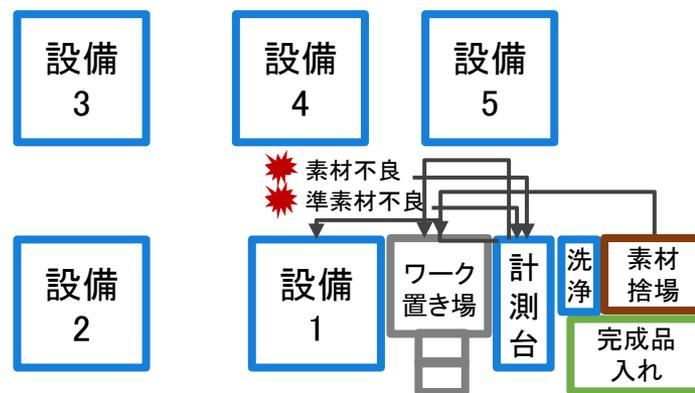
測定の中の細かな作業手順を標準化する

# シナリオの作成②: 配置改善と設備稼働時間改善

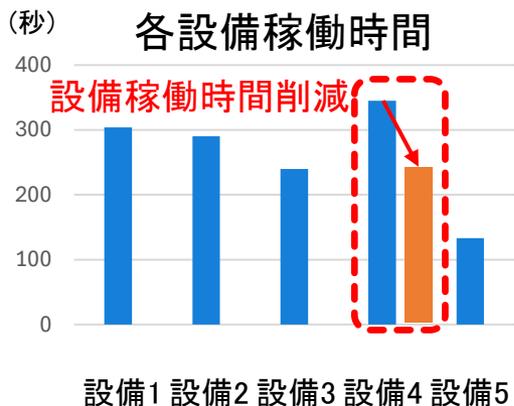
## 【改善シナリオ2】 配置改善



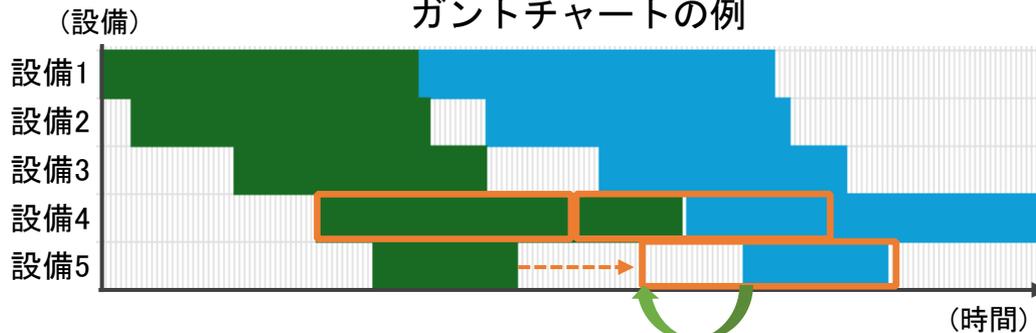
計測台を素材不良が起こりやすい設備1に近づけて移動のムダをなくしスループットがよくなることを期待



## 【改善シナリオ3】 設備稼働時間改善



正常時の設備稼働時間の  
ガントチャートの例



設備4の稼働時間が削減されるため  
次の設備5の稼働タイミングが早くなる<sup>緑</sup>ことが期待できる

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

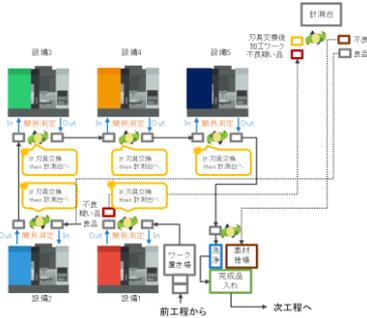
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

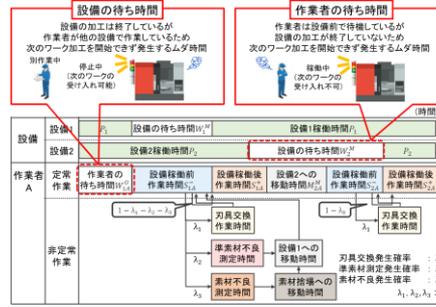
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

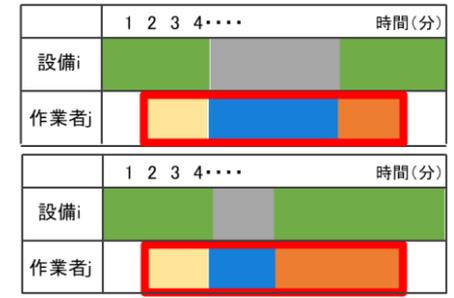
### ①生産現場の詳細把握



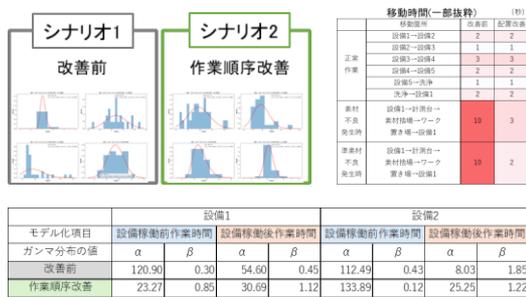
### ②実装モデルの作成



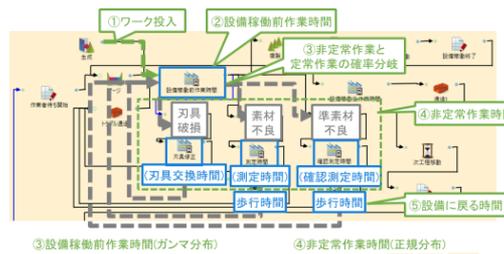
### ③現状分析・改善シナリオ



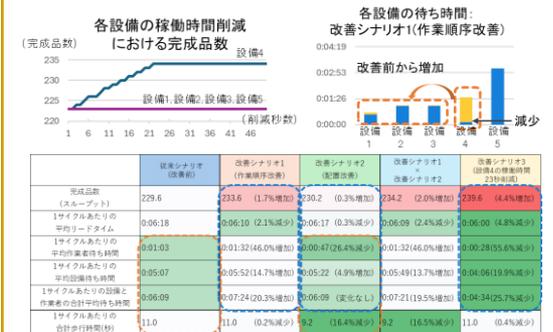
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装



### ⑥結果・考察



# 実験環境

## 【PCスペック】

OS	Windows 11 Home
CPU	AMD Ryzen 7 8700G w/ Radeon 780M Graphics (4.20 GHz)
メモリ	32.0GB

## 【対象工程情報】

生産方式	セル生産方式
作業人数	1名
設備数	5台

## 【シミュレーションツール】

S4 Simulation System Version 6.5.0



## 【分析対象製品】

1製品あたりのリードタイム	約6分
製品種類数	1種類
工程数	5工程

## 【分析対象日時】

開始日時	2024/4/9 11:09:00
終了日時	2024/4/9 16:15:00
合計時間	5:06:00

## 【基本条件】

- ・製品切り替えの立ち上がりや製品切り替え後の点検、朝礼などは考慮しない。
- ・昼休憩やトイレ休憩はシミュレーション上では考慮しないため結果出力後に改善案の適用に関して再検討が必要となる。
- ・1回の実行あたり24時間シミュレーションする。
- ・教育や相談などにおける作業時間の外れ値は除去した上でモデル化する。
- ・分析ルールの活用で特に問題が多く、作業員2名の比較が可能な製品Cを対象とする。

# シミュレーション方法

	モンテカルロ法(実験①)	感度分析(実験②)	共通乱数法(実験③)											
メリット	独立乱数を用いて何度もシミュレーションすることで問題の近似解を特定できる	ある要因の値が変動した場合に結果にどの程度影響するか評価できる	同一の乱数を全比較対象に用いてランダム性のばらつきを抑え比較対象の差を明確に評価できる											
デメリット	結果の要因が理解されにくく結果にばらつきがある	単一要因を独立に変化させる感度分析は他要因の連動効果を十分に考慮できないことがある	同じ乱数を使うため独立性が失われ不適切な乱数系列を使うと比較結果が偏ることがある											
対象シナリオ	<p>様々な確率事象の発生下で従来シナリオとの比較をしたいシナリオ</p> <table border="1"> <tr> <td>従来シナリオ (改善前)</td> <td>改善シナリオ1 (作業改善)</td> </tr> <tr> <td>改善シナリオ2 (配置改善)</td> <td>改善シナリオ1 × 改善シナリオ2</td> </tr> </table>	従来シナリオ (改善前)	改善シナリオ1 (作業改善)	改善シナリオ2 (配置改善)	改善シナリオ1 × 改善シナリオ2	<p>パラメータを細かく変化させたときの効果を知りたいシナリオ</p> <table border="1"> <tr> <td>改善シナリオ3 (稼働時間削減)</td> </tr> </table>	改善シナリオ3 (稼働時間削減)	<p>全シナリオの確率変数を共通にして詳細部分を比較したいシナリオ</p> <table border="1"> <tr> <td>従来シナリオ (改善前)</td> <td>改善シナリオ1 (作業改善)</td> </tr> <tr> <td>改善シナリオ2 (配置改善)</td> <td>改善シナリオ1 × 改善シナリオ2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">改善シナリオ3 (感度分析結果稼働時間削減)</td> </tr> </table>	従来シナリオ (改善前)	改善シナリオ1 (作業改善)	改善シナリオ2 (配置改善)	改善シナリオ1 × 改善シナリオ2	改善シナリオ3 (感度分析結果稼働時間削減)	
従来シナリオ (改善前)	改善シナリオ1 (作業改善)													
改善シナリオ2 (配置改善)	改善シナリオ1 × 改善シナリオ2													
改善シナリオ3 (稼働時間削減)														
従来シナリオ (改善前)	改善シナリオ1 (作業改善)													
改善シナリオ2 (配置改善)	改善シナリオ1 × 改善シナリオ2													
改善シナリオ3 (感度分析結果稼働時間削減)														
目的	現場の複雑な事象の発生に関して様々なパターンを多数回再現し効果の平均値や最小値、最大値分布など統計的に評価する	改善すべきボトルネックの特定やどの要素をどの程度改善すると効果が大きいかを詳細分析し具体的な改善数値を特定する	全シナリオで同じ乱数系列を使用することで、偶然のばらつきによる差を排除することで改善の効果や要因を正確に比較する											

各シミュレーション方法のメリットとデメリットを基に3つの方法で効果検証を実施

# 基本パラメータ数値

## ①設備稼働監視システム

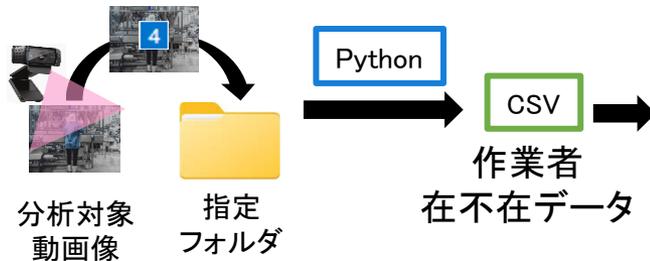
## 【パラメータ数値】



各設備の稼働時間

	設備1	設備2	設備3	設備4	設備5
稼働時間	304	290	240	345	133

## ②画像分析ツール



各設備での作業者の定常作業時間

項目	設備1				設備2			
	設備稼働前作業時間		設備稼働後作業時間		設備稼働前作業時間		設備稼働後作業時間	
正規分布	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
作業員A	36.03	3.48	24.57	3.52	48.57	4.65	14.86	4.97
作業員B	19.85	4.67	34.26	6.61	15.45	1.35	30.72	5.57

		設備3		設備4		設備5	
項目		設備稼働前作業時間		設備稼働後作業時間		設備稼働前作業時間	
平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
67.09	4.52	4.55	0.80	17.82	1.83	2.54	0.64
79.59	4.57	4.21	0.56	15.00	1.14	1.04	0.36

## ③人 IN・OUTシステム



非定常作業の作業時間と発生頻度

		刃具交換	計測
時間	平均	150.00	103.80
	標準偏差	42.43	36.16

	刃具交換	計測	
頻度		素材不良	準素材不良
	0.6%	0.94%	7.69%

# パラメータ数値：定常作業時間（改善シナリオ1）

作業順序改善後と改善前における作業者の  
詳細作業時間の数値をモデル化する

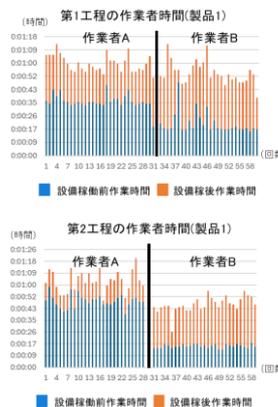
各設備での定常作業時間

項目	設備1				設備2			
	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間
正規分布	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
作業員A	36.03	3.48	24.57	3.52	48.57	4.65	14.86	4.97
作業員B	19.85	4.67	34.26	6.61	15.45	1.35	30.72	5.57

設備3				設備4				設備5	
設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	平均	標準偏差
平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
67.09	4.52	4.55	0.80	17.82	1.83	2.54	0.64	48.04	2.96
79.59	4.57	4.21	0.56	15.00	1.14	1.04	0.36	61.40	8.40

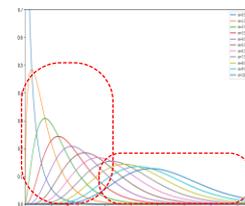
各作業者の  
詳細作業時間



ガンマ分布でのモデル化

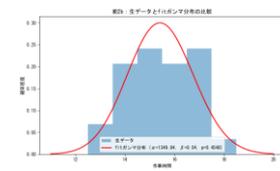
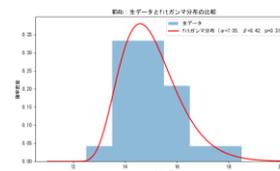
$$F(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$$

( $x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$ )  
 $\alpha$ : 分布の形状  
 $\beta$ : 分布の広がり



①突発的な追加作業の発生を考慮し右裾が長いカイニ乗分布のような表現も可能

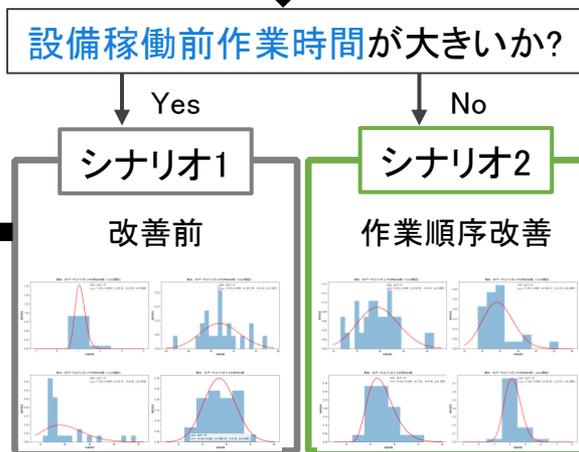
②基本的な標準作業の実施を考慮し正規分布も近似的に表現可能



【パラメータ数値】

モデル化項目	設備1				設備2			
	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間
ガンマ分布の値	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
改善前	120.90	0.30	54.60	0.45	112.49	0.43	8.03	1.85
作業順序改善	23.27	0.85	30.69	1.12	133.89	0.12	25.25	1.22

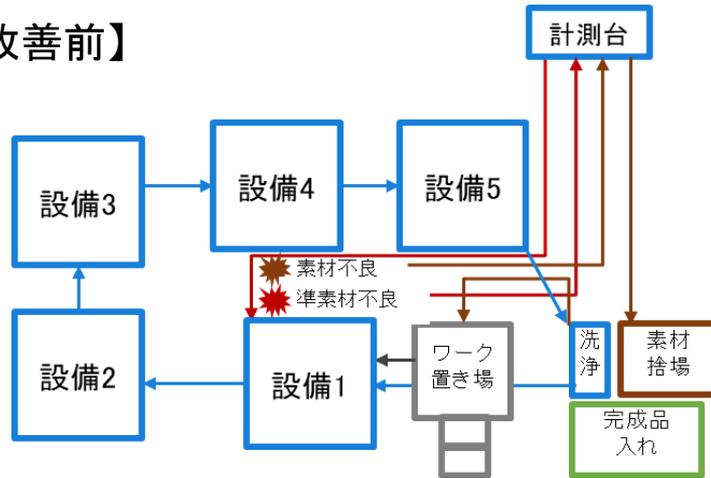
設備3				設備4				設備5	
設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	$\alpha$	$\beta$
$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
318.85	0.25	63.49	0.07	108.37	0.16	12.46	0.20	57.35	1.07
231.06	0.29	34.37	0.13	185.16	0.08	22.61	0.05	261.52	0.18



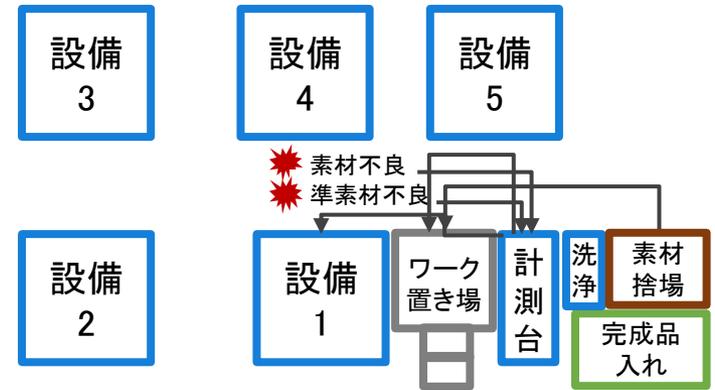
実際の生データを基にシミュレーションするため生産現場に即した改善の検証が可能

# パラメータ数値：歩行時間(改善シナリオ2)

【改善前】



【配置改善】



【改善前】

(秒)

	設備1	設備2	設備3	設備4	設備5	計測台	洗浄
設備1	-	2	3	1	3	5	2
設備2	2	-	1	4	6	5	4
設備3	3	1	-	3	5	7	6
設備4	1	4	3	-	2	4	3
設備5	3	6	5	2	-	1	1
計測台	5	5	7	4	1	-	3
洗浄	2	4	6	3	1	3	-

	設備1	設備2	設備3	設備4	設備5	計測台	洗浄
設備1	-	2	3	1	3	1	1
設備2	2	-	1	4	6	2	3
設備3	3	1	-	3	5	3	3
設備4	1	4	3	-	2	1	1
設備5	3	6	5	2	-	1	1
計測台	1	2	3	1	1	-	1
洗浄	1	3	3	1	1	1	-

【配置改善】

移動時間(一部抜粋)

(秒)

	移動箇所	改善前	配置改善
正常 作業	設備1→設備2	2	2
	設備2→設備3	1	1
	設備3→設備4	3	3
	設備4→設備5	2	2
	設備5→洗浄	1	1
	洗浄→設備1	2	2
	素材 不良 発生時	設備1→計測台→ 素材捨場→ワーク 置き場→設備1	10
準素材 不良 発生時		設備1→計測台→ 素材捨場→ワーク 置き場→設備1	10

動画とレイアウトを確認して各設備間でのおよその歩行時間を設定

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

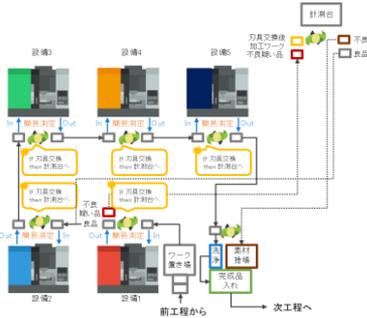
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

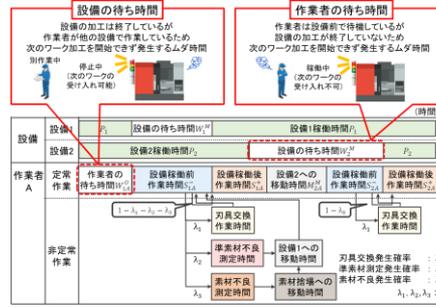
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

### ①生産現場の詳細把握



### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ

	1	2	3	4	...	時間(分)
設備i	[Bar chart showing equipment utilization]					
作業員j	[Bar chart showing worker utilization]					

	1	2	3	4	...	時間(分)
設備i	[Bar chart showing equipment utilization]					
作業員j	[Bar chart showing worker utilization]					

### ④実験環境の構築

シナリオ	改善前	シナリオ2	作業順序改善
移動時間(一部抜粋)			
設備1→設備2	2	2	2
設備2→設備3	1	1	1
設備3→設備4	3	3	3
設備4→設備5	2	2	2
設備5→洗浄	1	1	1
洗浄→設備1	2	2	2
素材1	設備1→計測台→不良品	10	3
素材2	設備1→計測台→不良品	10	2
発生時	置き場→設備1		

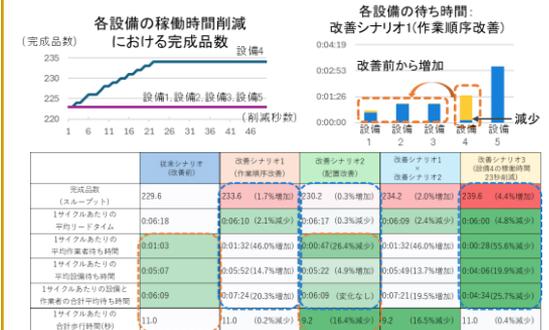
  

モデル化項目	設備1		設備2	
	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間	設備稼働前作業時間	設備稼働後作業時間
ガンマ分布の値	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
改善前	120.90	0.30	54.60	0.45
作業順序改善	23.27	0.85	30.69	1.12

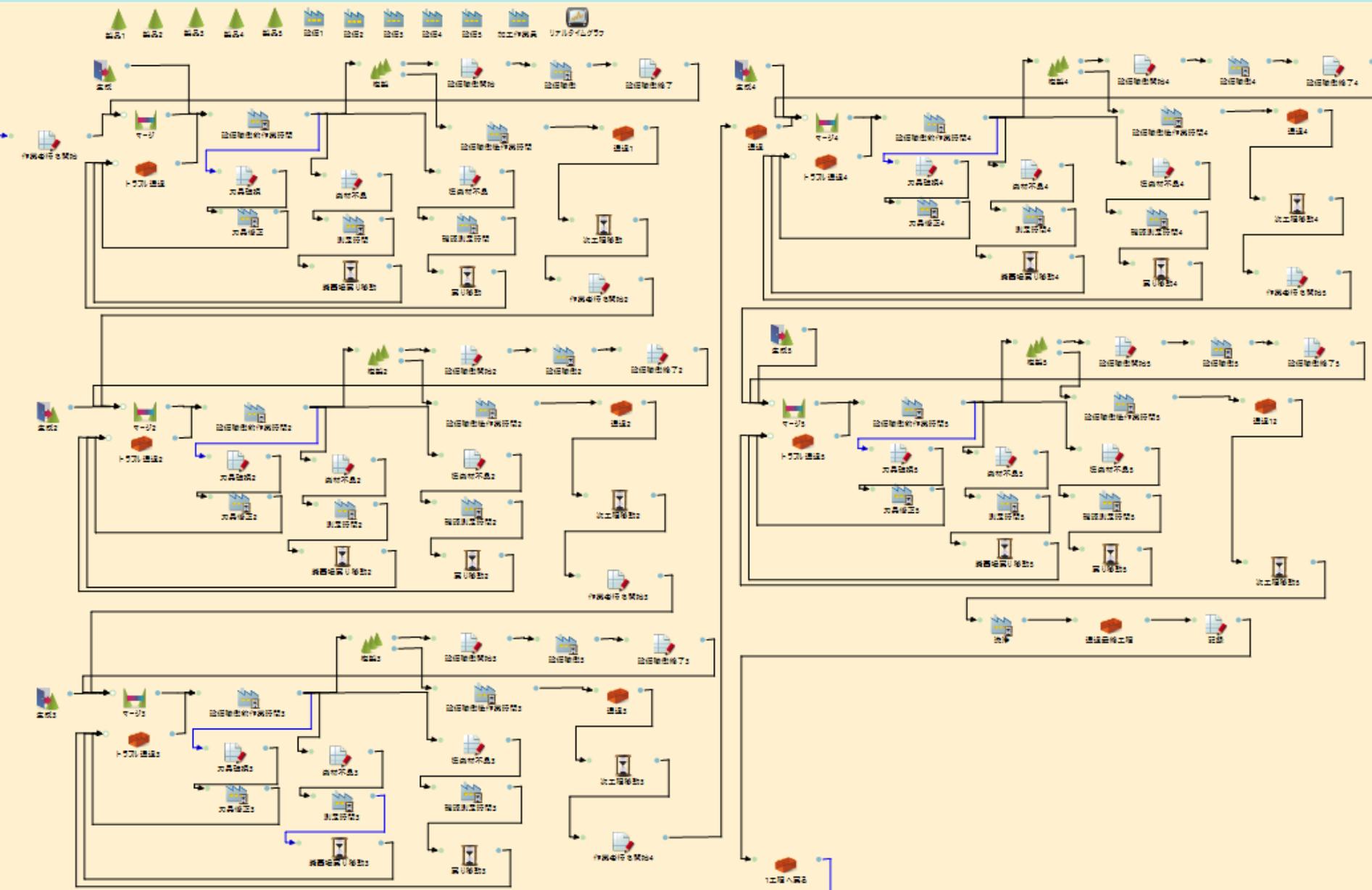
### ⑤モデルの実装



### ⑥結果・考察

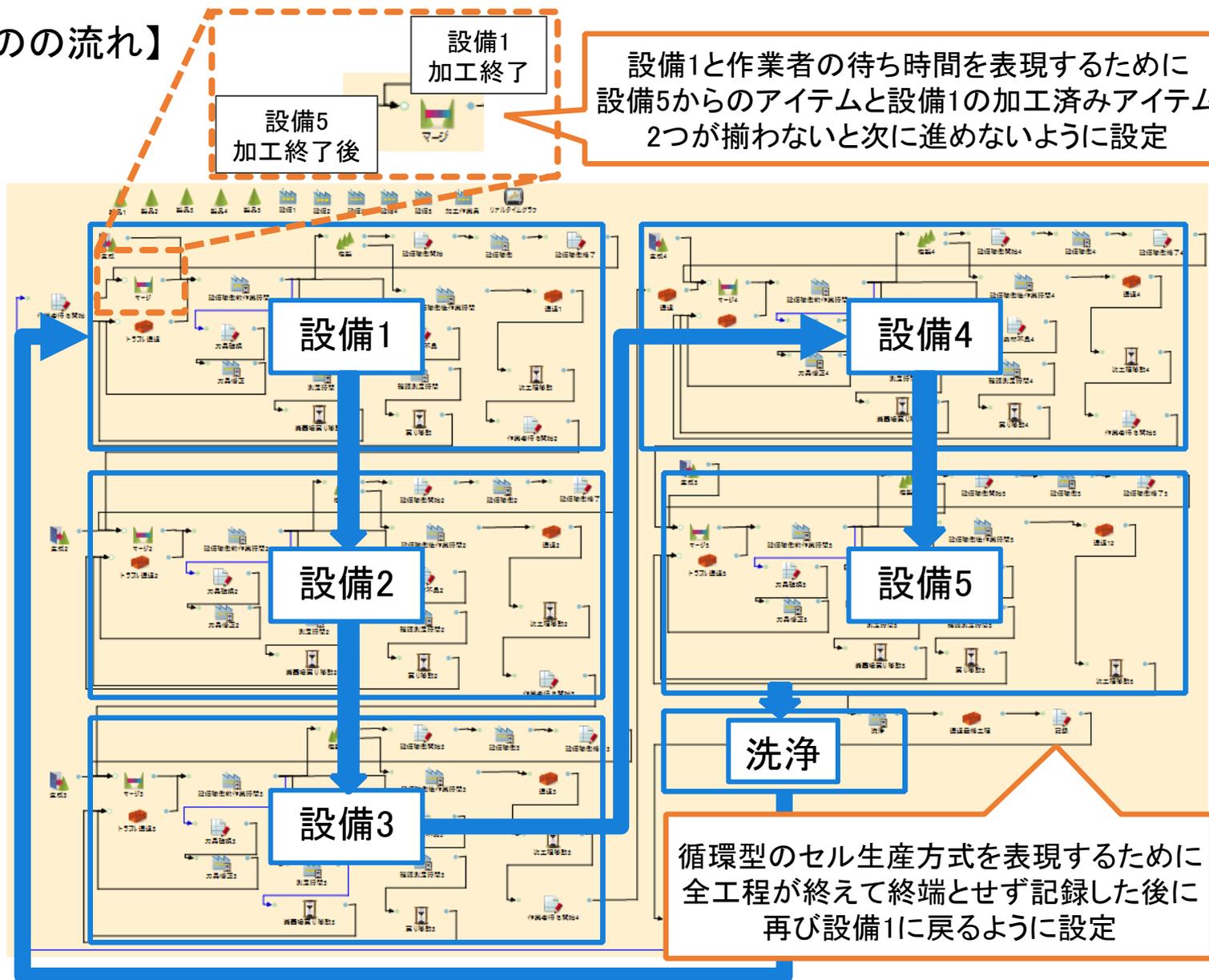


# S4を用いた生産現場のモデルの全体像



# 実装したモデルの説明：マクロ①（全工程）

【ものの流れ】



# 実装したモデルの説明: マクロ② (各シミュレーション別設定方法)

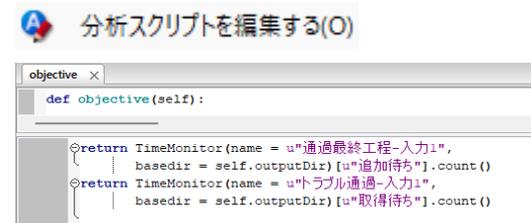
## 【モンテカルロ法 (実験①)】



一括実行用のパラメータ変数を設定



パラメータ変数を用いて1,000回一括実行



各実行の完成品とトラブル製品数を出力

## 【感度分析(実験②)】



設備の稼働時間変更用のパラメータ変数を設定



パラメータ変数を用いて稼働時間削減を一括実行

## 【共通乱数法(実験③)】



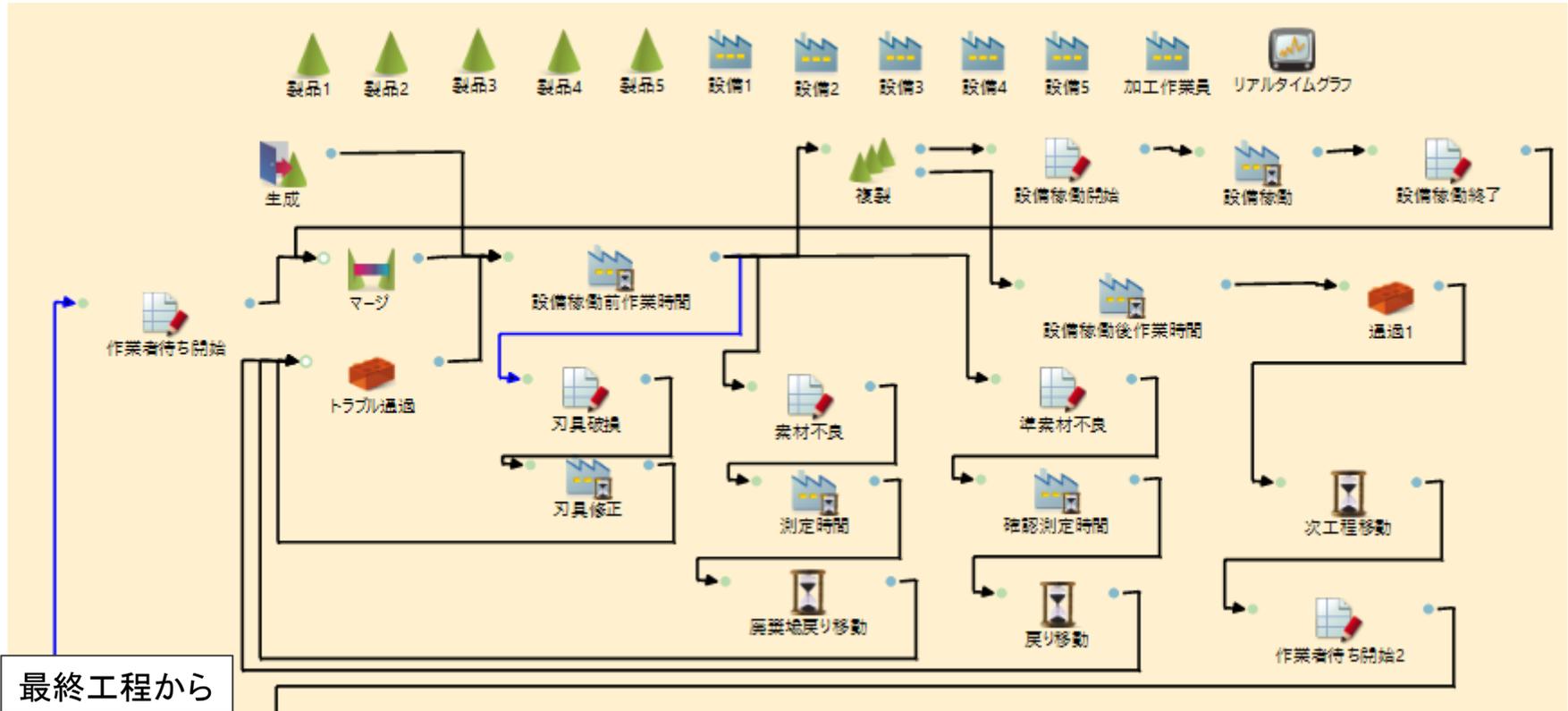
乱数を独自系統にして乱数列を各シナリオ同値に設定



詳細分析用に要所に記録アイテムを設定

# 実装したモデルの説明:ミクロ(設備1)

## 【設備1】



最終工程から

(ポイント)



複製

・”複製”を用いて、設備1で加工される「もの」と、設備稼働後作業をする「作業員」の2つの流れを設定する



マージ

・”マージ”を用いて、設備1で加工終了された「もの」と、最終工程から設備1に戻ってきた「作業員」の両方が揃ったら次の手順(設備稼働前作業)を実施するように設定する

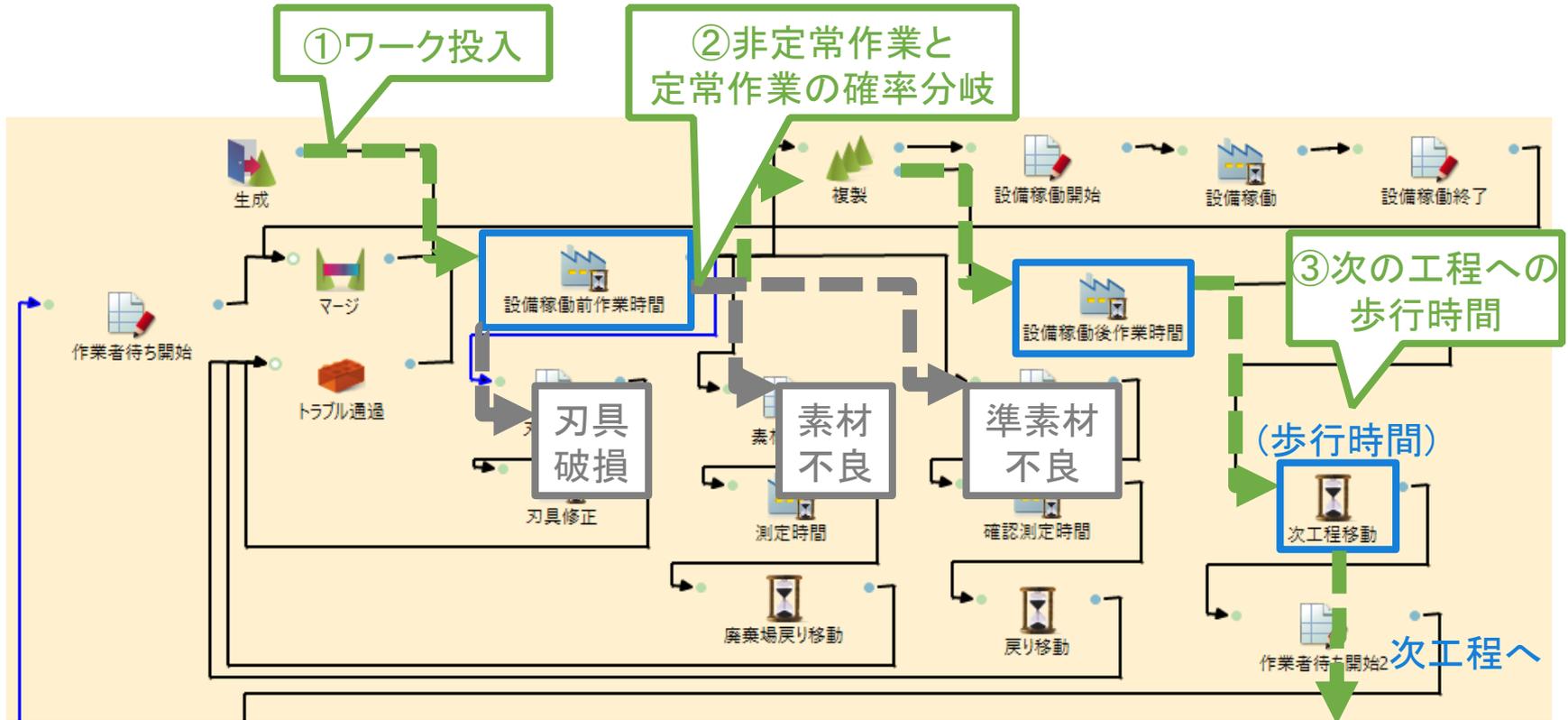


設備稼働前作業時間

・設備稼働前作業時間で定常作業、非定常作業(刃具破損,素材不良,準素材不良)の確率分岐を設定する

# 実装したモデルの詳細説明: ミクロ① (設備1)

## 【1巡目・設備1・定常作業・作業者目線】



### ①ワーク投入の設定

最大生成数

無限大

指定 1

アイテムの最大生成数を1個にしてそのアイテムを巡回させてセル生産方式を表現

### ②確率分岐の設定

選択方式

セレクト: ランダム(重み付き)

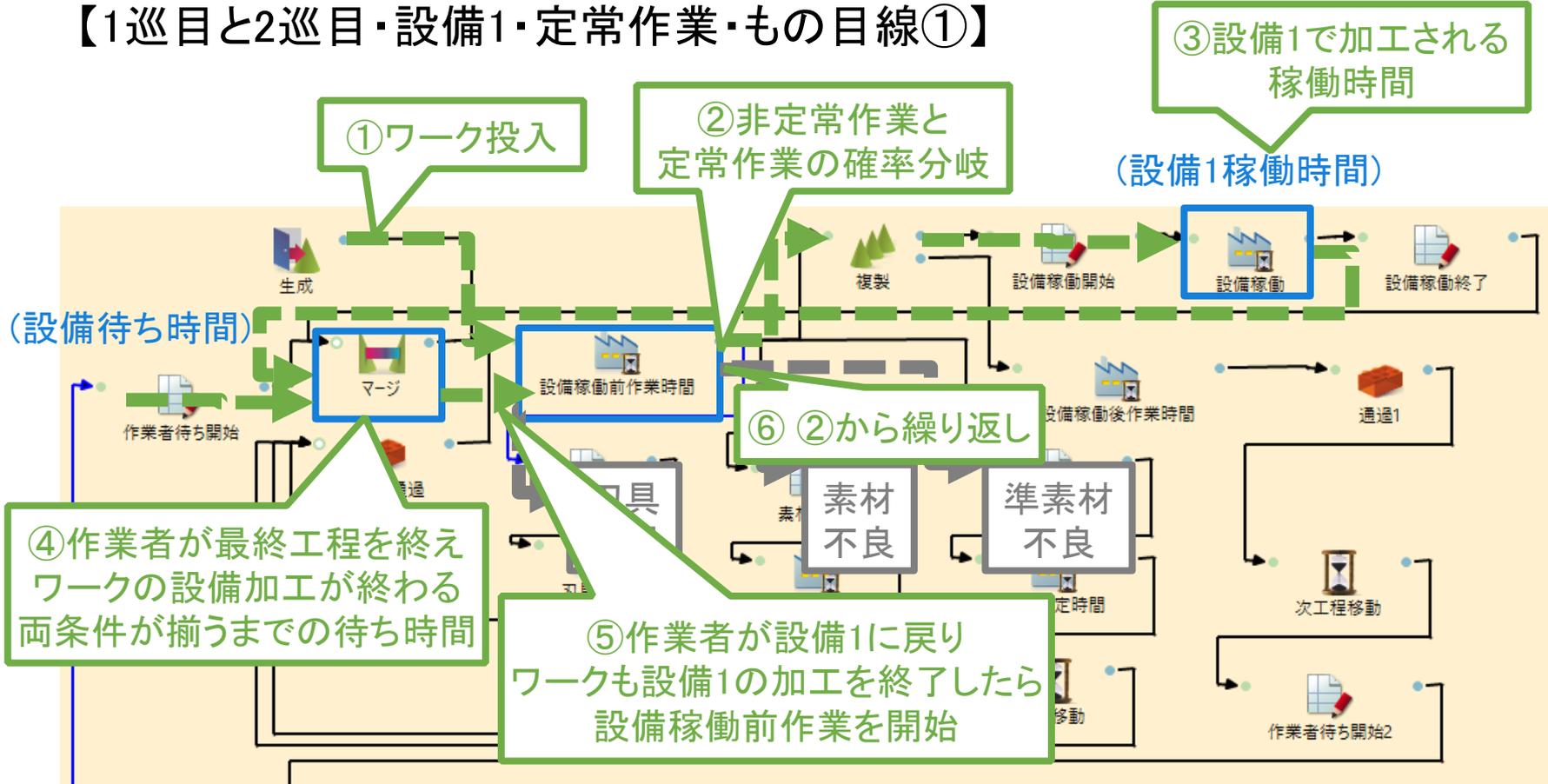
重み表:

	重み
刃具破損-入力1	0.576000
素材不良-入力1	0.935000
準素材不良-入力1	7.690000
複製-入力1	90.804000

重みの数値を記入して確率分岐を表現

# 実装したモデルの詳細説明:ミクロ②(設備1)

## 【1巡目と2巡目・設備1・定常作業・もの目線①】



### ④マージによる設備稼働前作業時間開始設定

設備1の加工終了後のワークと最終工程後のワークの2つが揃わないと次の設備稼働前作業に進まないように設定



計算方法:

最初

結合方法

結合数

生成方式:

固定

型:

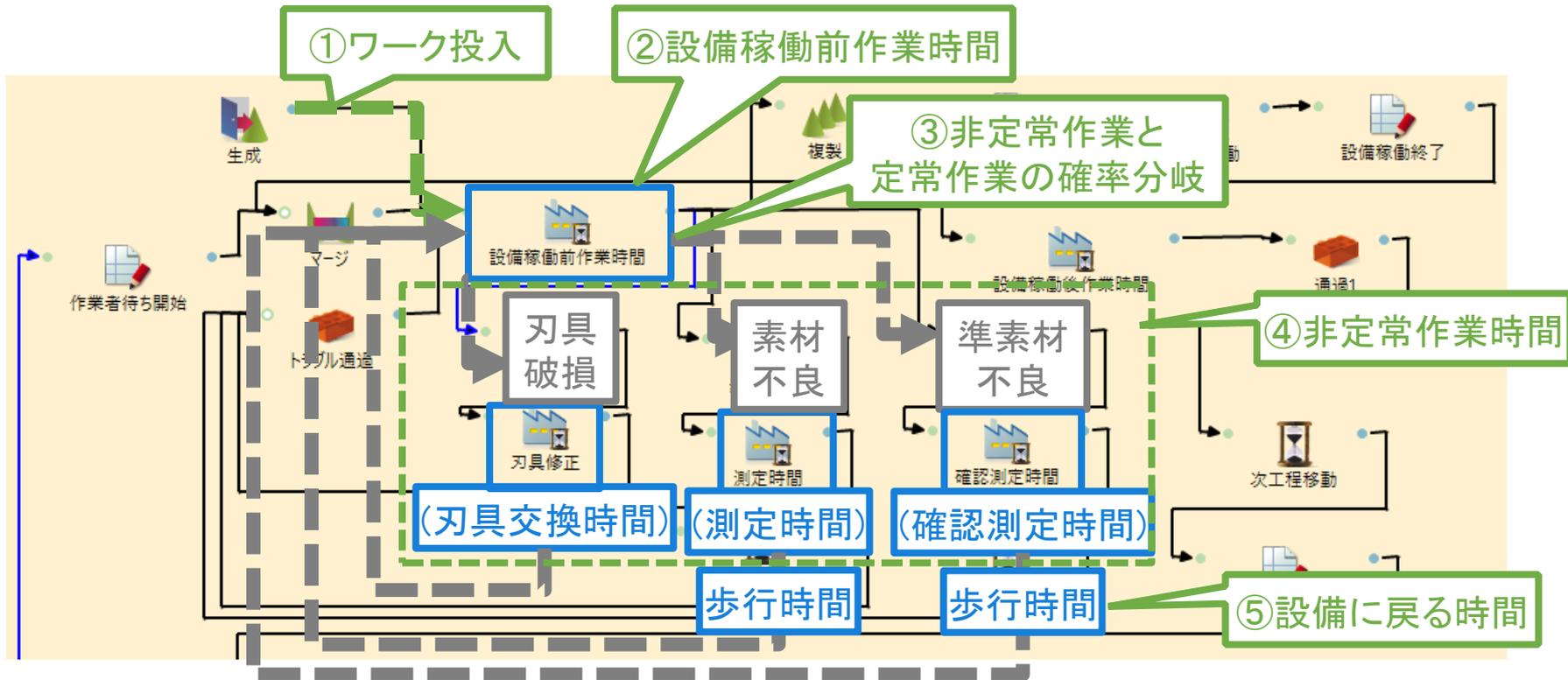
整数

値:

2

# 実装したモデルの詳細説明:ミクロ③(設備1)

## 【1巡目・設備1・非定常作業・ものと作業者目線】



### ③設備稼働前作業時間(ガンマ分布)

ファシリティスト  
rfacility2(加工作業員)

待ち受け方法:  
AND

ファシリティの利用時間  
生成方式: ガンマ分布  
形状 (>0): 120.9045  
尺度 (>0): 0.2980  
乱数の種:  
 グローバル系列  
 独自系列

設備稼働前作業時間

### ④非定常作業時間(正規分布)

ファシリティスト  
rfacility2(加工作業員)

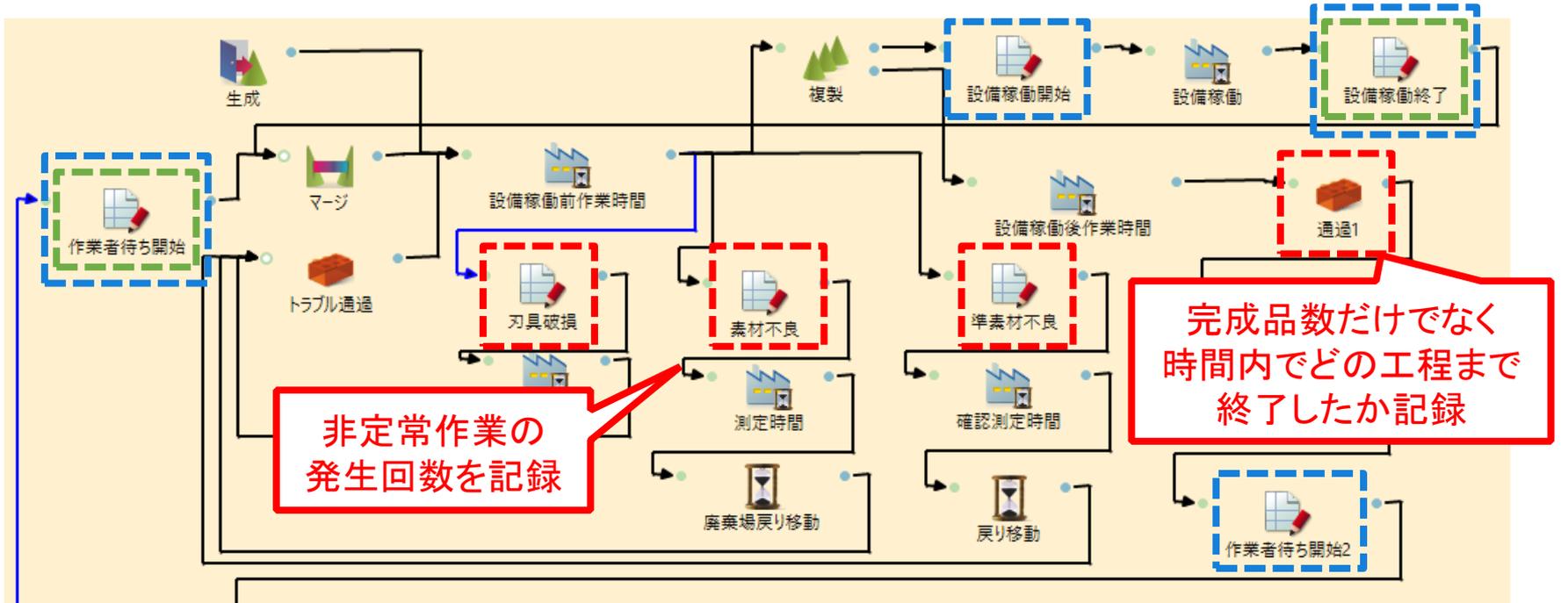
待ち受け方法:  
AND

ファシリティの利用時間  
生成方式: 正規分布  
平均: 103.80  
標準偏差 (>0): 36.16  
乱数の種:  
 グローバル系列  
 独自系列

刃具破損 素材不良 準素材不良

# 実装したモデルの詳細説明:ミクロ④(設備1)

## 【設備1・ものと作業目線・記録】



### ①作業者と設備の待ち時間



- ・設備稼働終了-作業待ち開始=作業待ち時間
- ・作業待ち開始-設備稼働終了=設備待ち時間



作業者と設備の待ち時間の傾向を各シナリオで詳細分析することが可能

### ②設備の稼働と作業者の在不在



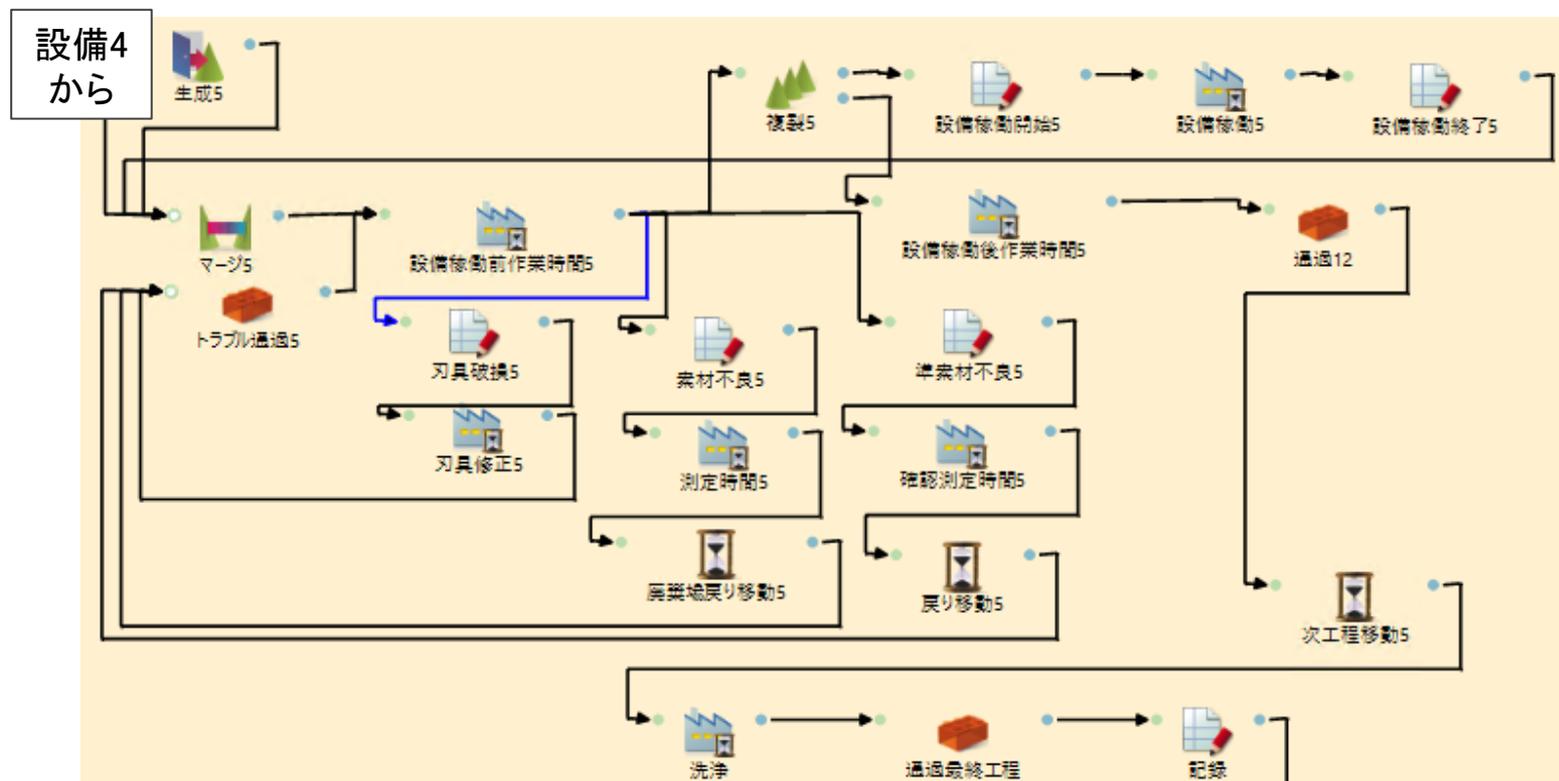
- ・設備稼働開始～設備稼働終了=設備稼働時間
- ・作業待ち開始～作業待ち開始2=作業者在時間



これらのデータを作成した分析ツールに適用して具体的な改善案の導出に活用することも可能

# 実装したモデルの説明:ミクロ (設備5)

## 【設備5】



### (ポイント)



・1巡目では”マージ5”を用いて、”生成5”から生成されたアイテムと、設備5から加工終了された「もの」両方が揃ったら次の手順(設備稼働前作業)を実施するように設定する



・2巡目では”マージ5”を用いて、設備5からで加工終了された「もの」と、設備4からで加工終了された「もの」両方が揃ったら次の手順(設備稼働前作業)を実施するように設定する

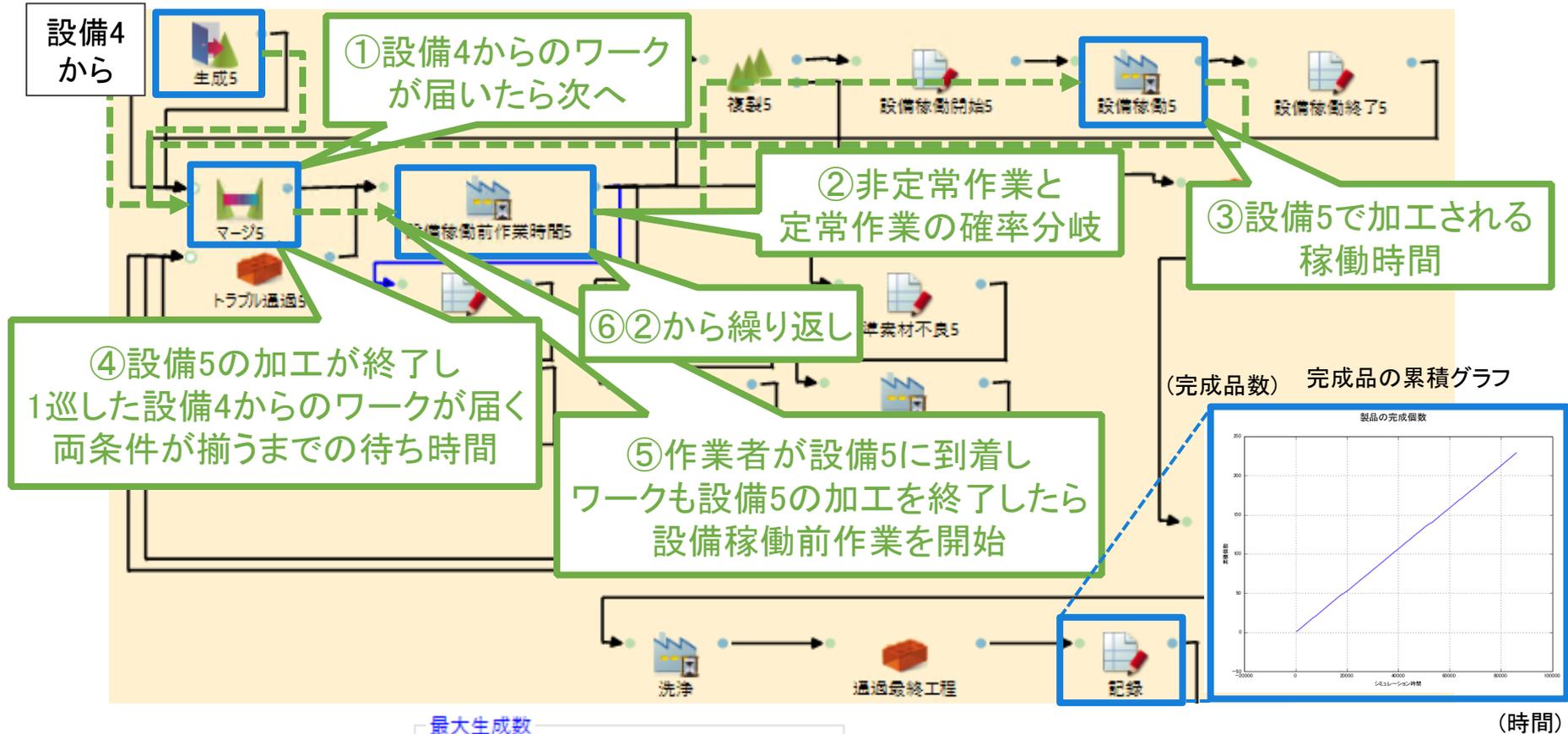


・”洗浄”で設備5で加工後の完成品を洗浄する時間を設定する

・”次工程移動5”で歩行時間と完成品入れに投入する時間を設定する

# 実装したモデルの詳細説明: ミクロ (設備5)

## 【1巡目と2巡目・設備5・定常作業・ものと作業者目線】



①設備稼働前作業時間開始設定



最大生成数

無限大

指定

1

完成品の累積グラフの作成



リアルタイムグラフ

“生成5”で1つだけアイテムを生成して”マージ5”で設備4からのワークを待ち、2つ揃ったら“設備稼働前作業5”を開始するように設定

“リアルタイムグラフ”と”記録”を用いて時系列における完成品の関係を可視化

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

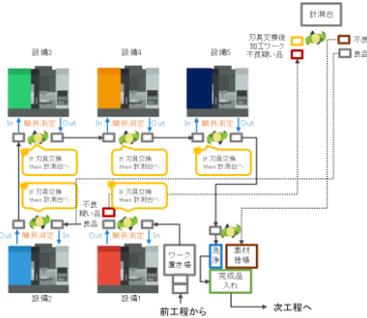
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

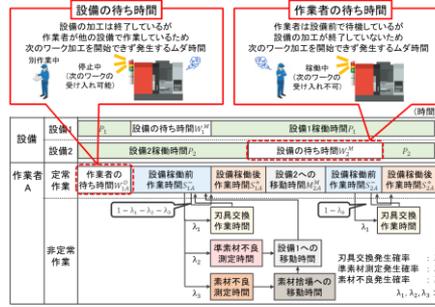
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

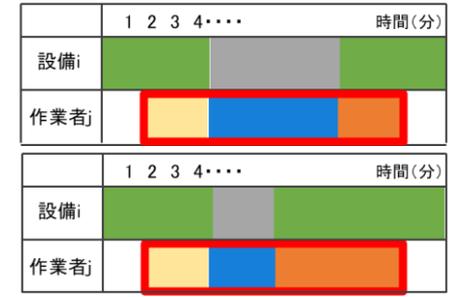
### ①生産現場の詳細把握



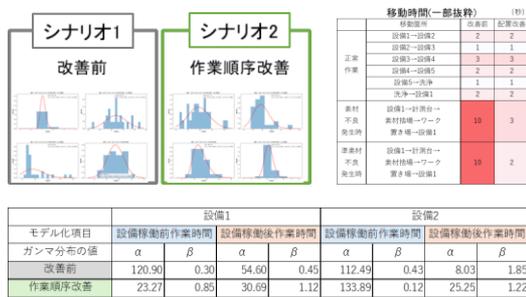
### ②実装モデルの作成



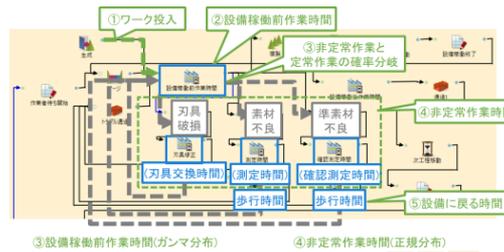
### ③現状分析・改善シナリオ



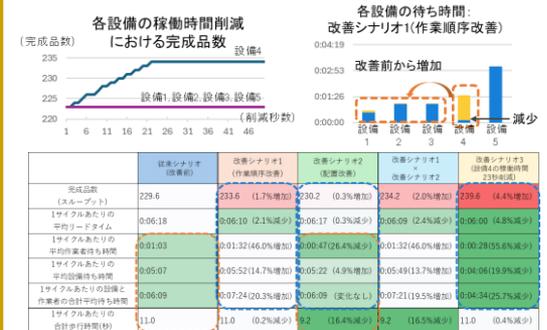
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装

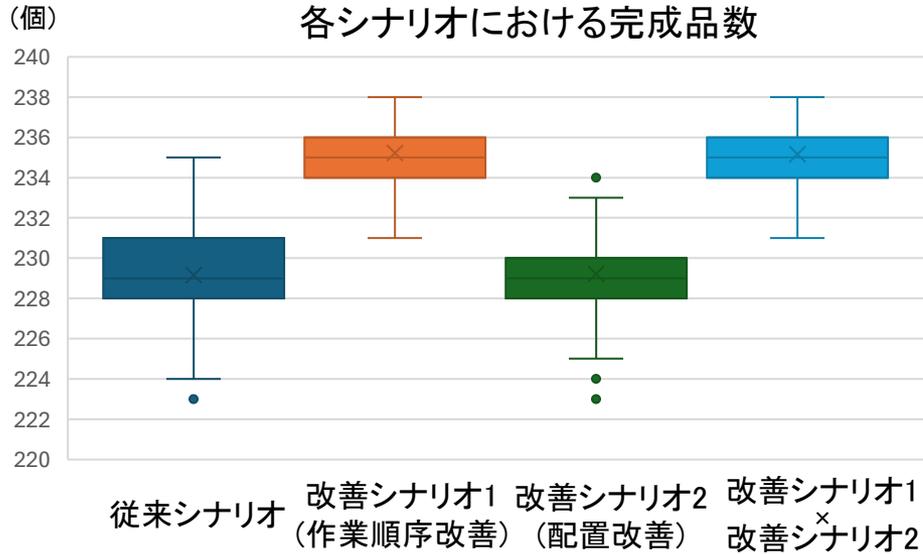


### ⑥結果・考察



# 実験結果と考察①:モンテカルロ法(改善シナリオ1,改善シナリオ2)

確率変数はランダムで、各シナリオ24時間を1,000回ずつ一括実行し各シナリオを比較する



## 【改善シナリオ1(作業順序改善)の考察】

設備稼働前作業時間の短縮により、早く設備が稼働したため、待ち時間が減り完成品数が増加したと推測できる



設備と作業者の待ち時間の分析をする必要がある

## 【改善シナリオ2(配置改善)の考察】

- ・作業者の歩行時間は削減しているが、作業員や設備の待ち時間などでその削減時間が相殺されているため改善率が低かったと推測できる
- ・確率変数がランダムなため、非定常作業の発生回数の微妙な差が結果に影響したと推測できる



確率変数の乱数を同じにして再度検証する必要がある

## 【改善シナリオ1 × 改善シナリオ2の考察】

改善シナリオ1に比べて1日でスループットの個数が変化するほどの改善されなかったと推測できる



スループット数だけでなくどの工程まで加工を終了したか細かく結果出力させる必要がある

※シミュレーションの実行時間は平均11分9秒

作業改善が最も効果があり、**2.65%**の改善が見込め  
配置改善は効果が薄く、**0.02%**の改善という結果となった

作業順序改善の効果は実証されたが配置改善に効果が不明確なため共通乱数法で詳細な分析を実施

# 実験結果②: 感度分析(改善シナリオ3)

設備の稼働時間を1秒ずつ減らすと、結果的にスループットの値がどのように変化するかを検証した

## 【手順】

### ①パラメータの編集

- ・パラメータを追加  
eqtimeというパラメータを追加する
- ・一括実行の設定  
295秒から345秒の範囲で1秒ずつ増加する設定をする(設備4の場合)

### ②分析スクリプトの編集

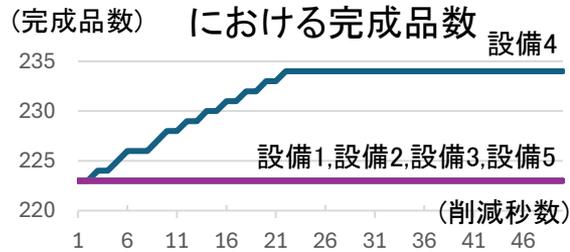
- ・最終工程を通過した製品数と  
トラブル製品数を結果出力させる

### ③設備4の稼働時間設定

- ・設備の稼働時間をeqtimeの変数  
に同期させるように設定する

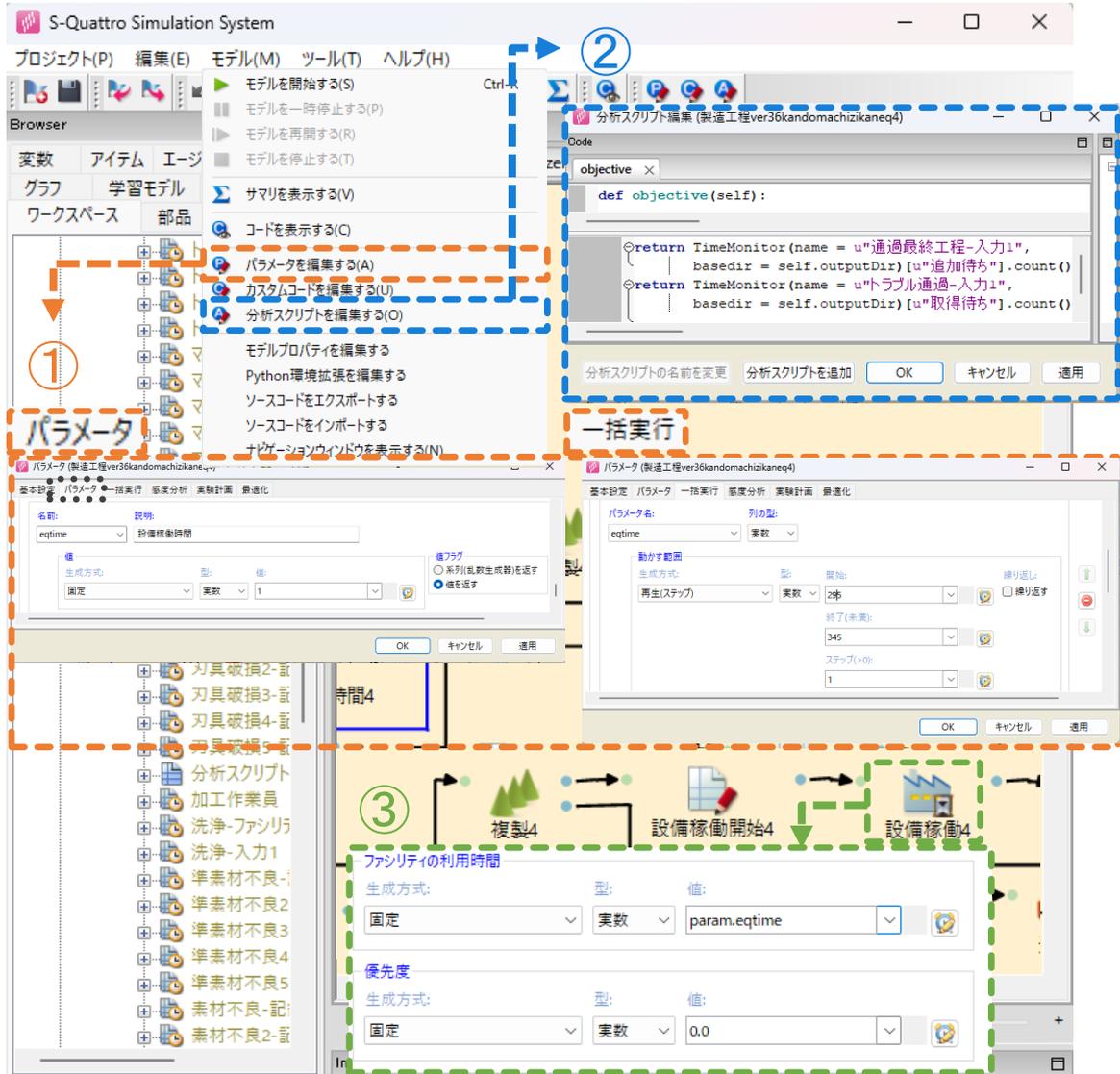
## 【結果】

各設備の稼働時間削減

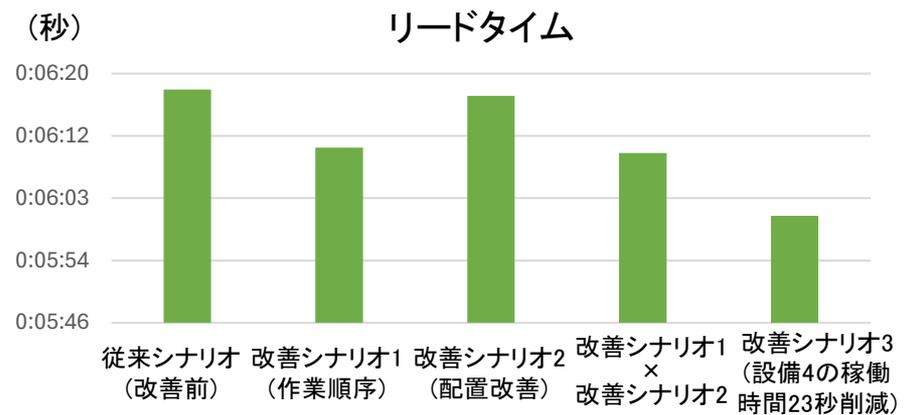
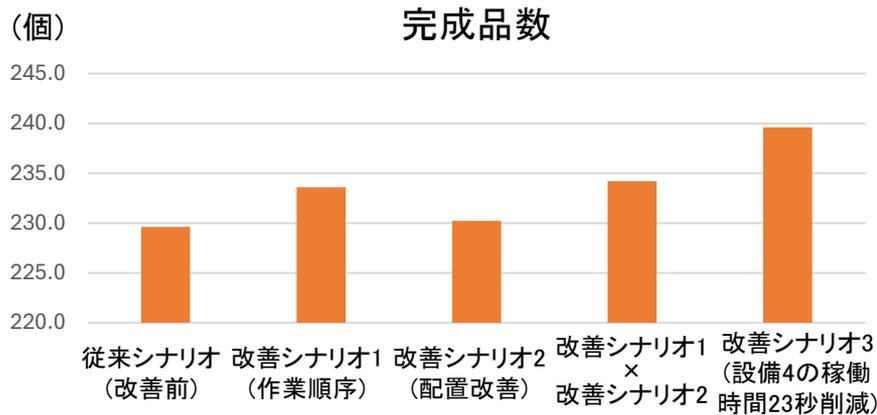


設備4は22秒削減で11個増加(4.9%増加)

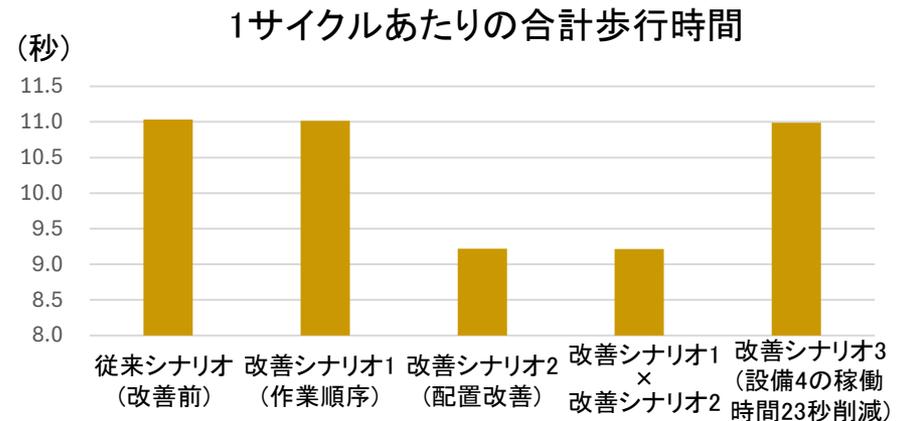
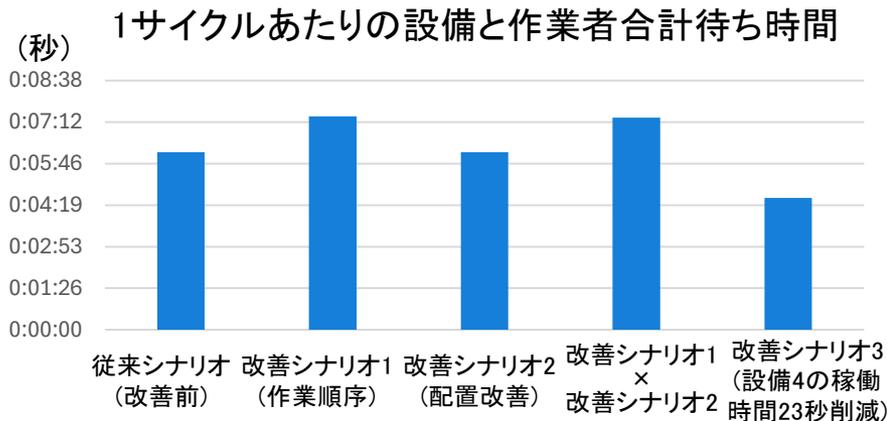
設備4以外の設備では稼働時間を削減しても効果がないことが判明



# 実験結果③: 共通乱数法(全シナリオ比較)



改善シナリオ3が最も高い効果を示し、改善シナリオ1と2の組み合わせ、改善シナリオ1、改善シナリオ2の順で効果が高い



完成品数が最も多い改善シナリオ3が合計待ち時間が最も少なく  
完成品数が3番目に多い改善シナリオ1では逆に待ち時間が増加した

改善シナリオ2の配置改善で大幅に合計歩行時間が減少した

# 実験結果と考察③: 共通乱数法(全シナリオ詳細比較)

## 各シナリオのシミュレーション結果と従来シナリオとの比較

	従来シナリオ (改善前)	改善シナリオ1 (作業順序改善)	改善シナリオ2 (配置改善)	改善シナリオ1 × 改善シナリオ2	改善シナリオ3 (設備4の稼働時間 23秒削減)
完成品数 (スループット)	229.6	233.6 (1.7%増加)	230.2 (0.3%増加)	234.2 (2.0%増加)	239.6 (4.4%増加)
1サイクルあたりの 平均リードタイム	0:06:18	0:06:10 (2.1%減少)	0:06:17 (0.3%減少)	0:06:09 (2.4%減少)	0:06:00 (4.8%減少)
1サイクルあたりの 平均作業者待ち時間	0:01:03	0:01:32 (46.0%増加)	0:00:47 (26.4%減少)	0:01:32 (46.0%増加)	0:00:28 (55.6%減少)
1サイクルあたりの 平均設備待ち時間	0:05:07	0:05:52 (14.7%増加)	0:05:22 (4.9%増加)	0:05:49 (13.7%増加)	0:04:06 (19.9%減少)
1サイクルあたりの設備と 作業者の合計平均待ち時間	0:06:09	0:07:24 (20.3%増加)	0:06:09 (変化なし)	0:07:21 (19.5%増加)	0:04:34 (25.7%減少)
1サイクルあたりの 合計歩行時間(秒)	11.0	11.0 (0.2%減少)	9.2 (16.4%減少)	9.2 (16.5%減少)	11.0 (0.4%減少)

※各シナリオの非定常作業の発生回数差の悪影響を防ぐために最も完成品数が小さいシナリオの範囲内で比較した

※今回はあくまである条件下での各シナリオの結果の分散を抑えた比較をするために実行回数を1回としている

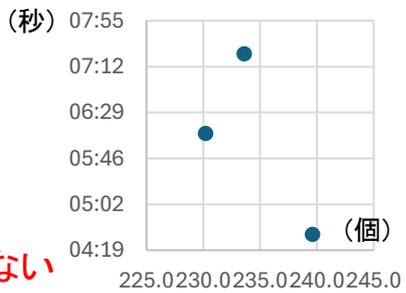
少 大  
大 小

### 完成品数と合計待ち時間の関係

- 改善シナリオ1 ... 完成品数 **中**: 待ち時間 **大**
- 改善シナリオ2 ... 完成品数 **小**: 待ち時間 **中**
- 改善シナリオ3 ... 完成品数 **多**: 待ち時間 **小**

完成品の大きさと待ち時間合計に比例関係はない

待ち時間の大きさは単純な合計でなく、各工程の作業者と設備の待ち時間が重要



各シナリオの完成品数と合計待ち時間の関係

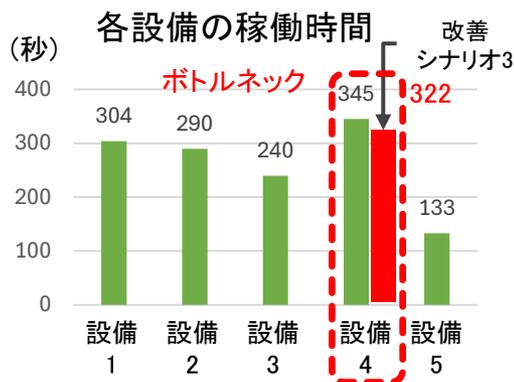
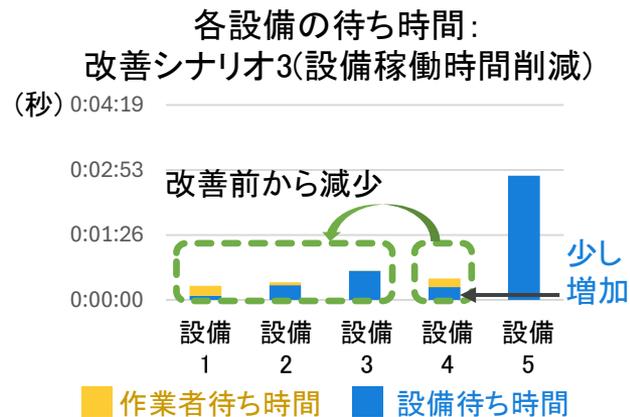
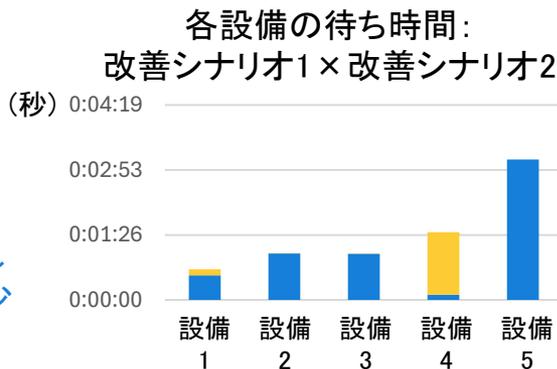
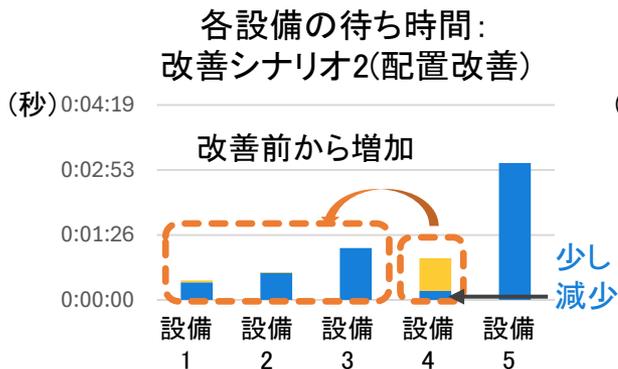
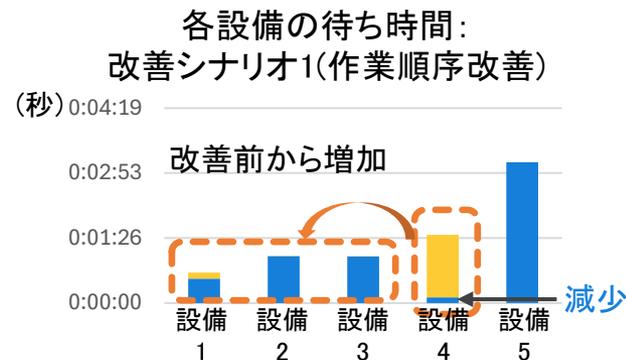
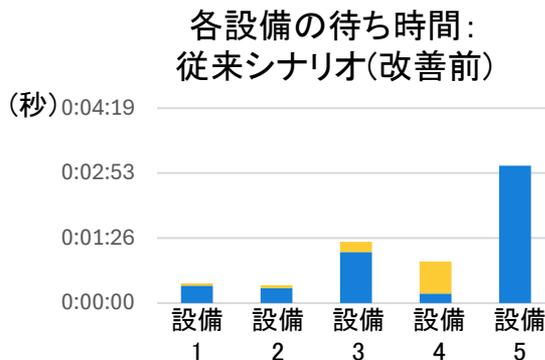
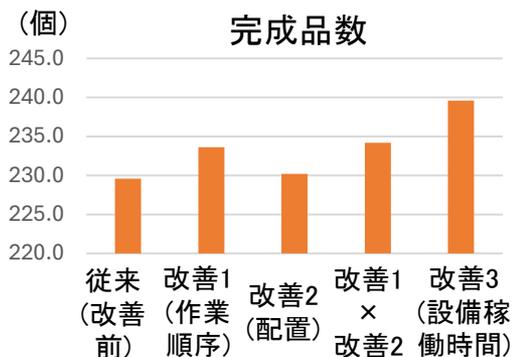
### 歩行時間と待ち時間の関係

- 従来シナリオ ... 作業者待ち **大**: 設備待ち **小**  
↓ 16秒減少      ↓ 15秒増加
- 改善シナリオ2 ... 作業者待ち **小**: 設備待ち **大**

歩行時間の削減により完成品数は少し向上し作業者と設備の待ち時間の割合が変化した

非定常作業における歩行時間削減によって巡回タイミングが変化したと推測可能

# 実験結果と考察③: 共通乱数法(従来シナリオとの比較)



**【改善シナリオ3の結果と考察】**  
稼働時間が短縮されたにも関わらず  
ボトルネックの設備4の待ち時間は僅かの  
増加で作業待ち時間が大幅に減少した



考察  
設備1～設備3の待ち時間が減少し  
設備4の稼働開始が早まり完成品数  
増加につながったと推測できる

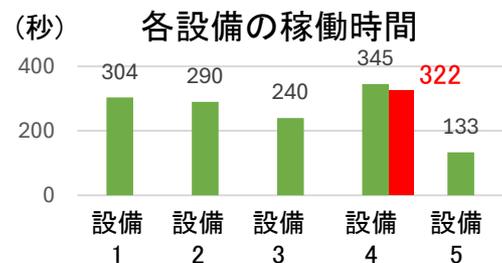
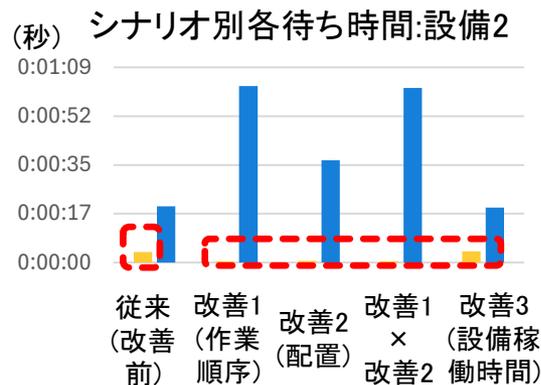
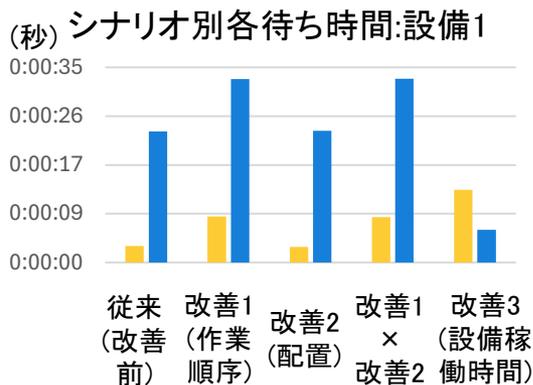
**【改善シナリオ1,2の結果と考察】**

ボトルネックである設備4の待ち時間が  
僅かに減少し完成品数が増加した



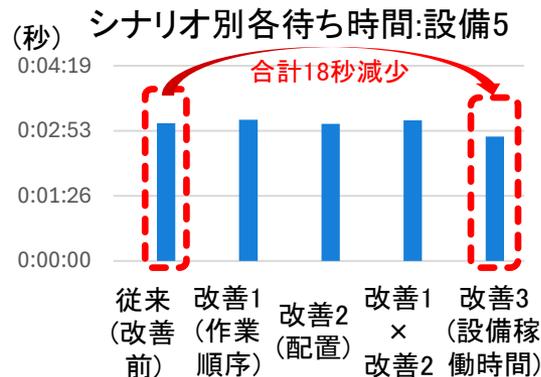
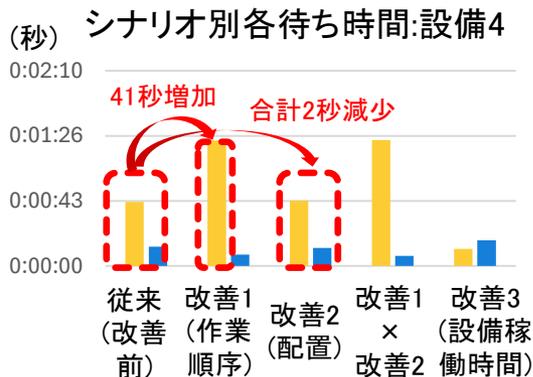
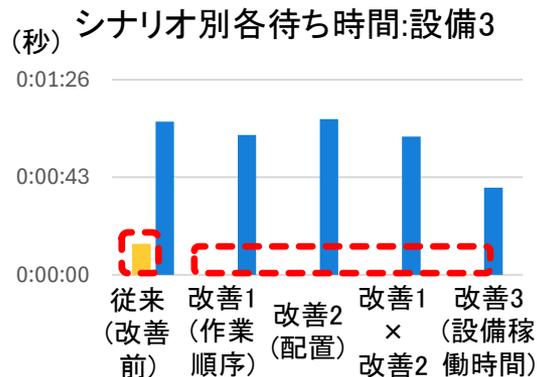
考察  
設備1～3の待ち時間の増加は作業  
順序や歩行時間短縮による稼働の  
タイミング前倒しが原因だと推測できる

# 実験結果と考察③: 共通乱数法(各設備における全シナリオ比較)



改善シナリオ3では設備4の稼働時間短縮により設備4に次ぐボトルネックの設備1の設備待ち時間が少ないため完成品が多い

作業順序改善後は稼働開始が早まるため稼働終了も早まり、設備の待ち時間が増大し作業者の待ち時間が減少する



改善前と全改善シナリオ後で作業者の待ち時間が減少し、改善効果が見える

- ・配置改善により僅かに合計待ち時間が減少
- ・作業順序改善により作業待ち時間が増大

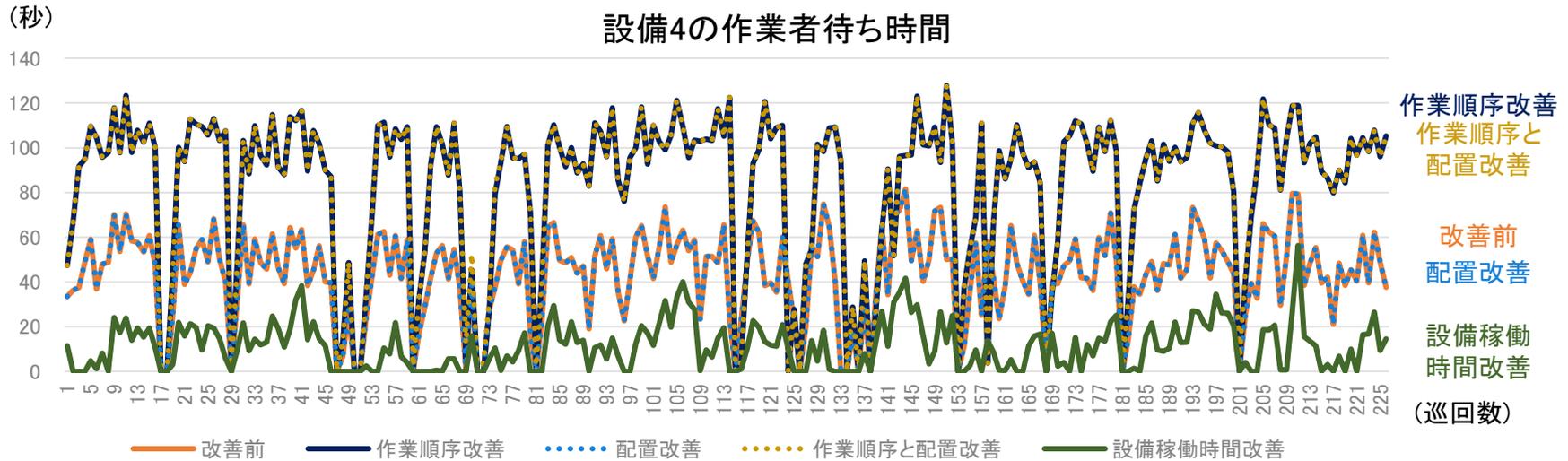


ボトルネックを考慮した作業改善でないと削減時間が全体改善に影響しない

■ 作業待ち時間 ■ 設備待ち時間

設備4の稼働時間の短縮により設備1~4の待ち時間が減少しリードタイムが小さくなり稼働時間が最も小さい設備5の待ち時間も減少

# 実験結果と考察③: 詳細分析の提案①



各シナリオで処理能力速度が異なるため、時系列的なズレは多少あるが、作業待ち時間が急激に変化するのは突発的な非正常作業(刃具交換, 素材不良, 準素材不良)の発生が関係する

## 作業順序改善の例

作業順序改善では通常待ち時間が長かったが非正常作業の発生時に待ち時間が0となっているよって、通常時の待ち時間の分、早くに非正常作業を開始することができ完成品数増加に影響したのだと推測できる

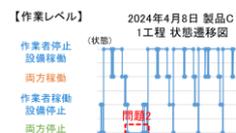
不確実な非正常作業の発生時の作業や設備の挙動を見通した改善導出が必要

状態遷移図やガントチャートを用いて非正常作業における、具体的にどの工程の作業や設備が原因で作業開始時間の遅延や待ち時間が発生するのかを詳細に分析することが必要

【製品レベル】

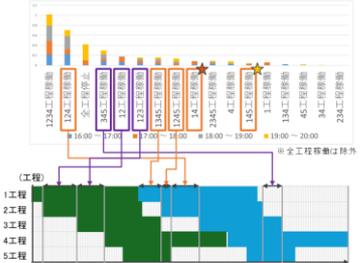


【設備稼働数】



状態遷移図

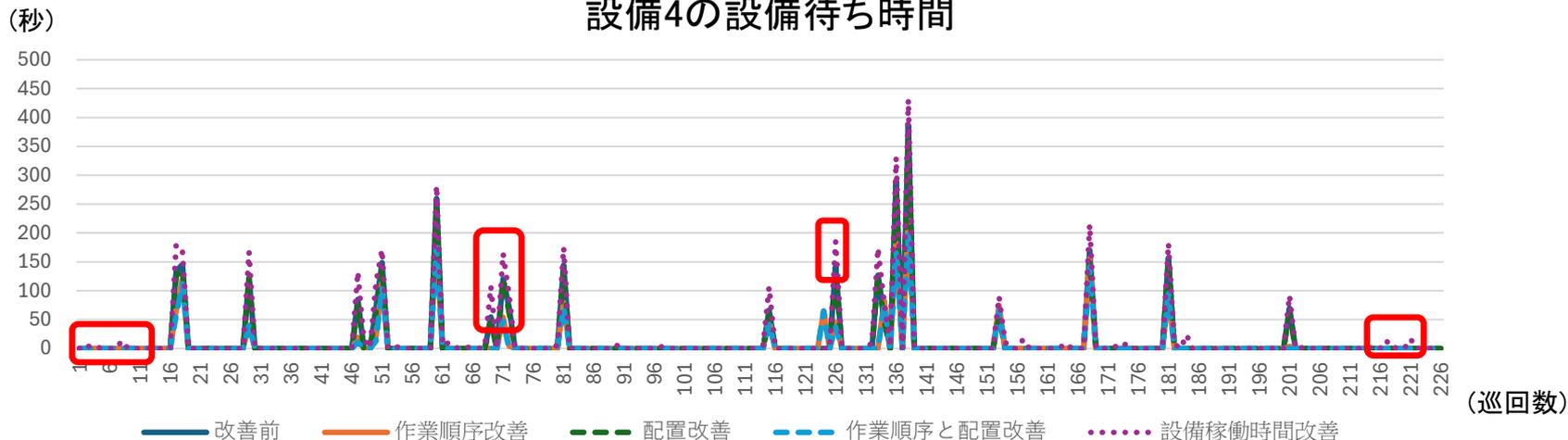
2024年4月9日 製品Cの時間帯状態評価



ガントチャート

# 実験結果と考察③: 詳細分析の提案②

## 設備4の設備待ち時間



最も効果が高い改善シナリオ3においてもボトルネックである設備4の待ち時間が他のシナリオより大きくなっていることから設備4以外での作業や設備稼働のタイミングにムダがある可能性がある



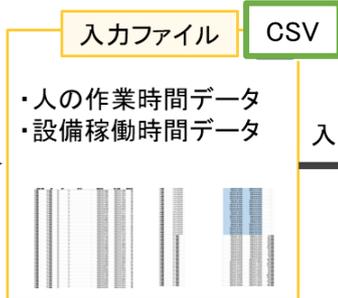
他シナリオに比べて設備待ち時間が多い要因を詳細分析し改善する必要がある

S4の記録データを出力

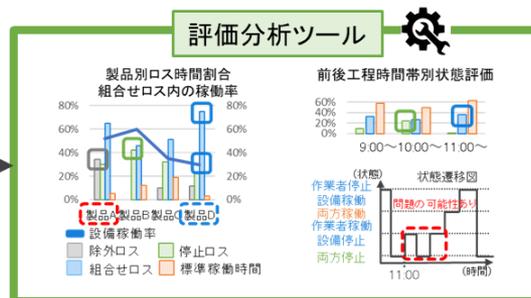


※64ページを参照

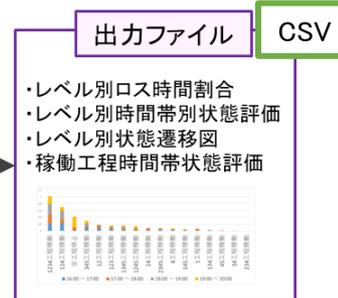
データ加工



評価分析ツールを用いて詳細分析



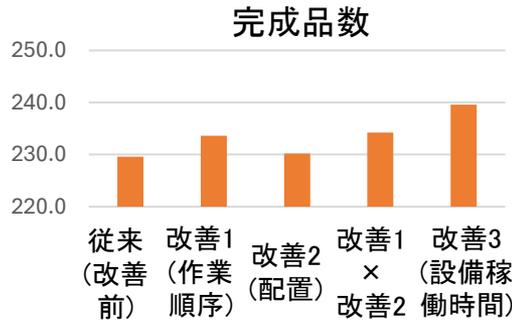
出力



S4の記録データを評価分析ツールに入力し詳細分析することで非定常作業でのムダ削減を期待

# シミュレーションまとめ

## ① 改善シナリオの効果検証による改善案実行の判断材料の提示



### 【改善シナリオ1の評価】

3番目に完成品数の改善率が高く作業待ち時間が改善前より長い他作業への有効活用やボトルネックを考慮した改善が必要

### 【改善シナリオ2の評価】

完成品数の改善率は最も小さいが歩行時間の改善が期待でき作業者の負担も減少

### 【改善シナリオ1 × 改善シナリオ2の評価】

両社の改善案の効果が促進され2番目に完成品数の改善率が高く、歩行時間も短い待ち時間は増加したため改善が必要

### 【改善シナリオ3の評価】

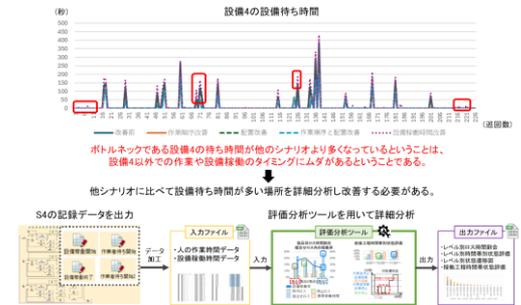
完成品数と合計待ち時間の改善率が最も高く改善実施の優先度が最も高い

## ② S4 Simulation Systemを用いたシミュレーション方法の考案



- ・S4 Simulation Systemを用いた並列型セル生産方式の実装
- ・現場に即したモデル化のためのデータ加工や確率分布の選択
- ・現場のデータを用いた現状分析からの改善シナリオの導出
- ・様々なシミュレーション手法を活用した改善シナリオの検証方法の考案

## ③ S4 Simulation Systemのデータを用いた詳細分析方法の提案



- ・S4 Simulation Systemの記録機能や分析スクリプトを用いた記録データの出力方法の提示
- ・S4 Simulation Systemの分析機能を活用した要因分析手法や記録データを活用した詳細分析方法の考案
- ・記録データを用いた評価分析ツールによる非定常作業の影響に関する詳細分析方法の提案

# シミュレーションの内容

## 関連研究と本研究の位置づけ

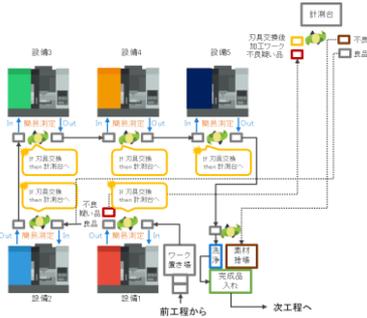
関連研究・S4 Simulation Systemの選択理由

## 対象企業への提案

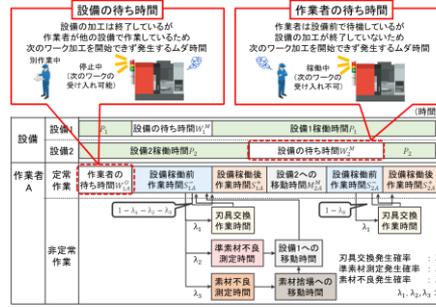
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

## シミュレーション内容

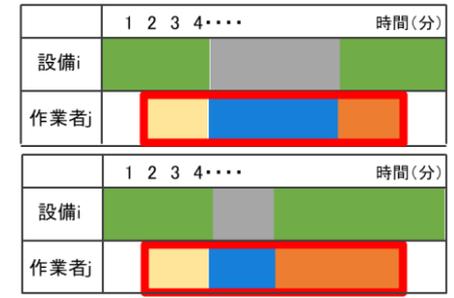
### ①生産現場の詳細把握



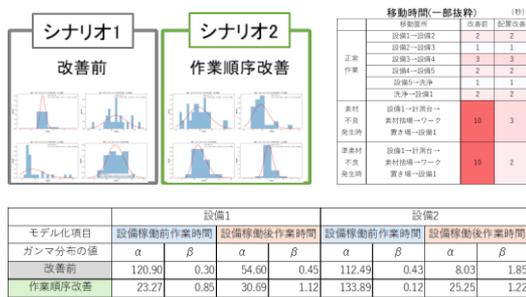
### ②実装モデルの作成



### ③現状分析・改善シナリオ



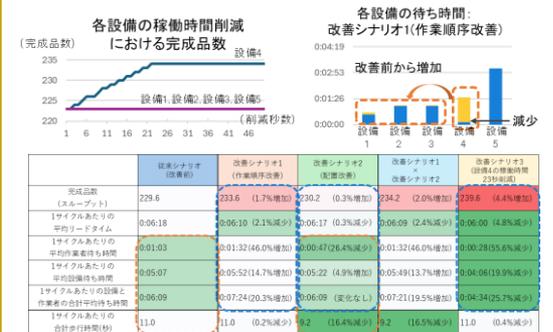
### ④実験環境の構築



### ⑤モデルの実装



### ⑥結果・考察



# 管理問題と改革問題

## 管理問題的アプローチ

構造を変えず運用をたくみにすることで問題を解決するアプローチ

- ・レジスキルのばらつきを抑える
- ・お客様に財布の準備を促す



(具体例)  
レジの混雑



## 改革問題的アプローチ

構造自体を変更することで問題を解決するアプローチ

セルフレジの導入

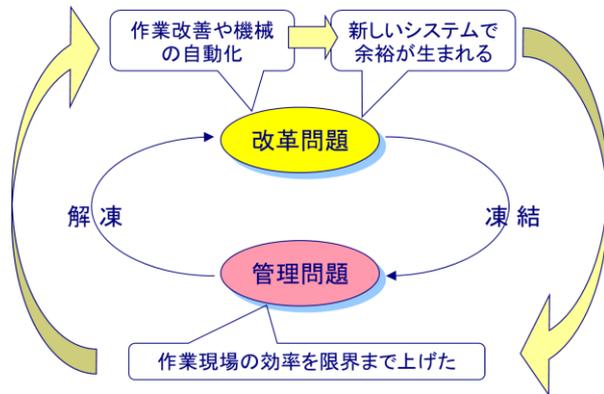


(特徴)

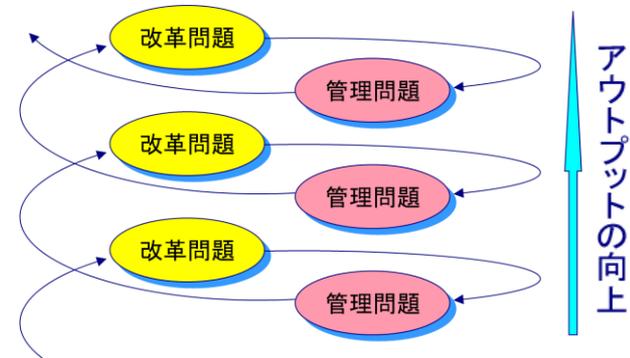
- ・短所の修正
- ・短期効果
- ・ボトルネックによる改善の頭打ち
- ・左脳型閉鎖型

(特徴)

- ・宝探しの
- ・長期効果
- ・環境条件のアクション
- ・右脳の開放型



改革問題と管理問題両方の改善活動が重要



改革問題的アプローチでボトルネックによる効率限界を打破し、両アプローチでの改善促進が重要 [43]

管理問題ばかり解かず両方のアプローチで前向きに改善サイクルを回すことが重要

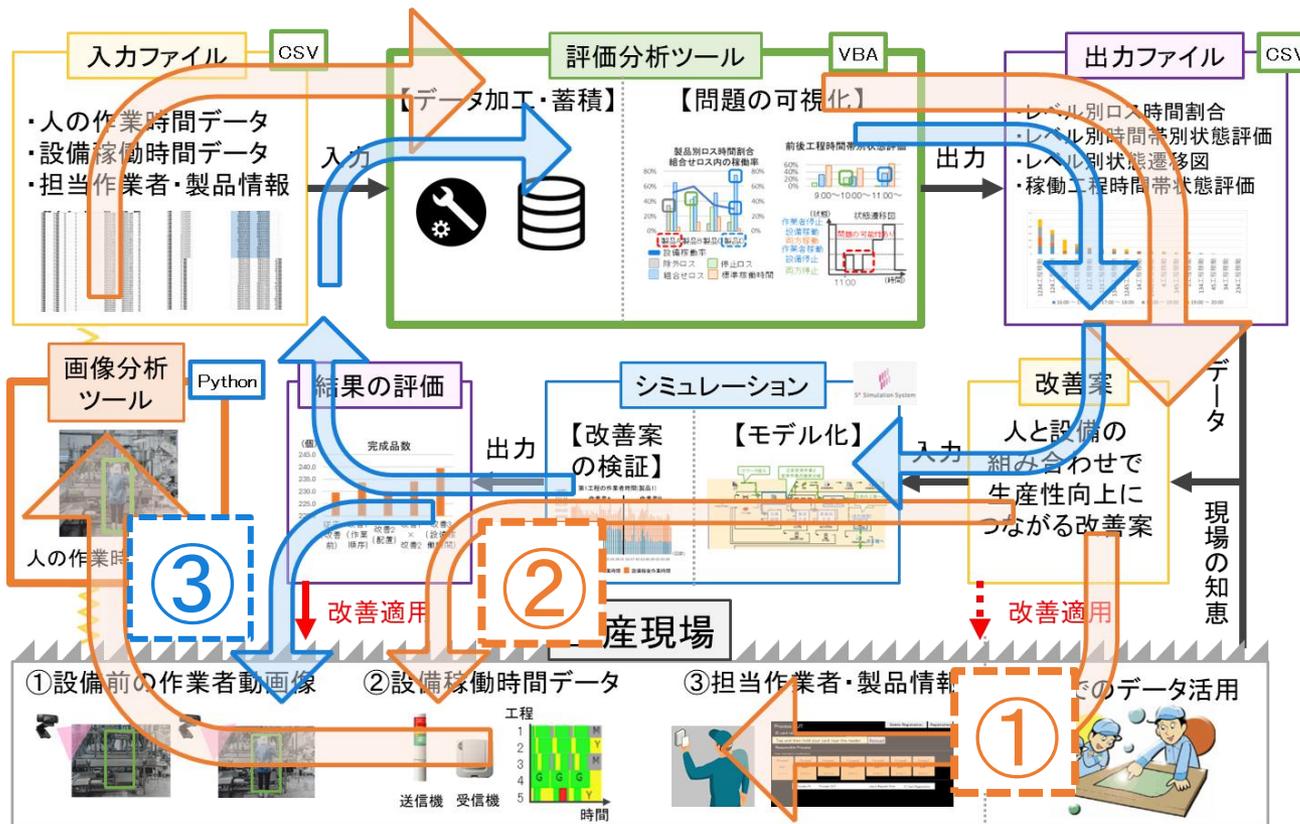
# 提案するデータ駆動型問題発見方法と改善案検証方法:マクロ

## 【本研究での管理問題的アプローチ】

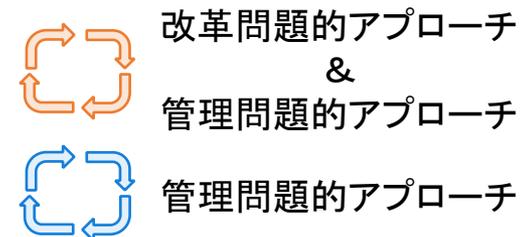
シミュレーションを実施し、生産現場におけるパラメータ数値を変化させて効果検証、詳細分析し評価指標を基に管理的に問題を改善するアプローチ

## 【本研究での改革問題的アプローチ】

評価指標と分析手法で定量分析し、動画で定性分析し現場を見た上で前提条件を疑うことで、ボトルネックによる効率限界を打破するような改善をするアプローチ



- ① シミュレーションでの効果検証が必要ない両アプローチの改善案の現場適用
- ② シミュレーションで効果検証し検討後の改革問題的アプローチで得られた改善案の適用
- ③ シミュレーションで出力された結果を分析し評価指標を基に管理問題的アプローチで得られた改善案の適用



# 提案するデータ駆動型問題発見方法と改善案検証方法:ミクロ

## 提案するシミュレーション内容

### ①生産現場の詳細把握

- ・生産現場の定常作業のみならず低確率で突発発生するような非定常作業も把握

### ②実装モデルの作成

- ・モデル化すべき部分とそうでない部分の取捨選択

### ③現状分析・改善シナリオ

- ・評価分析ツールで立案した改善案についてさらに現状分析しより具体的な改善シナリオを設定

### ④実験環境の構築

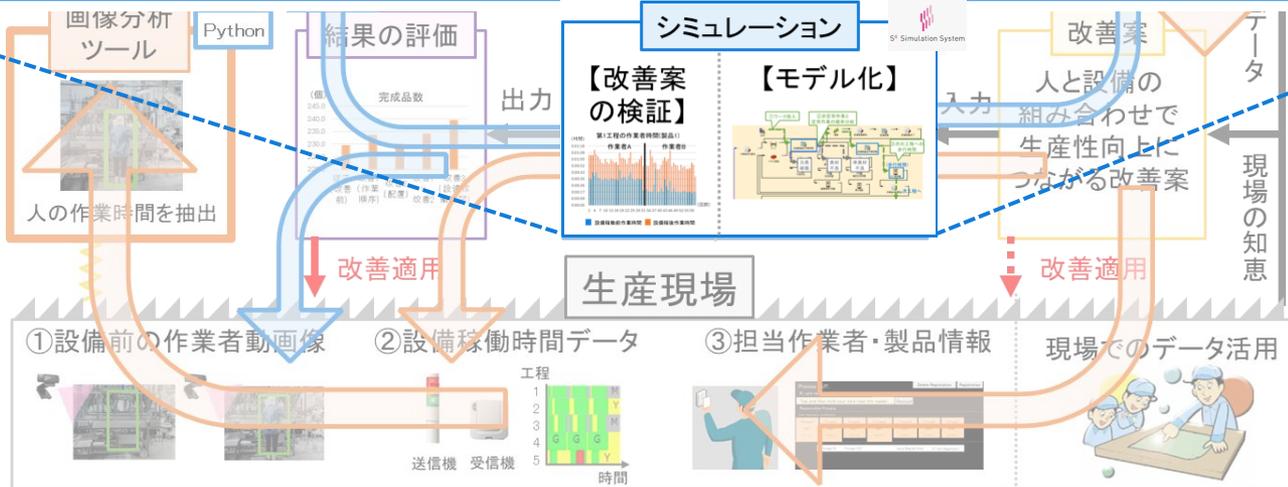
- ・単一のシミュレーションだけでなく目的に合わせて様々なシミュレーション方法を検討
- ・生産現場のデータを活用したパラメータ数値の設定

### ⑤モデルの実装

- ・目的関数だけでなく要因把握や詳細分析をするための記録機能や分析機能、分析スクリプトを設定

### ⑥結果・考察

- ・シミュレーション結果から得られた効果と改善案の実効性を基に改善実行を検討
- ・詳細分析の数値を考慮し改善シナリオをそのまま実行するかシナリオを変更し再度検証するか検討



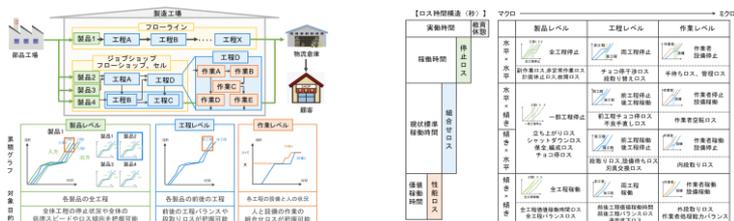
# 発表内容

## はじめに

研究背景・関連研究・先行研究・研究目的

## 研究内容

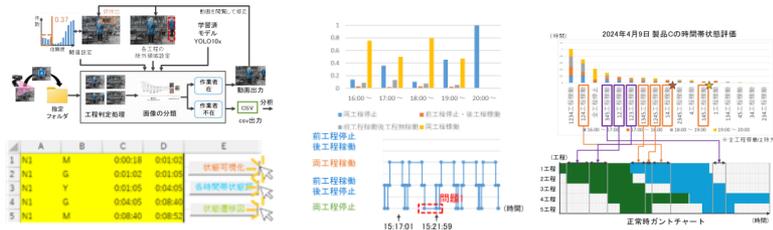
### ①データ駆動型問題発見方法の考案



多様な生産方式に対応する分析

ロス構造表とロスの例

### ②分析ツールの作成と対象企業への適用



分析ツールの作成

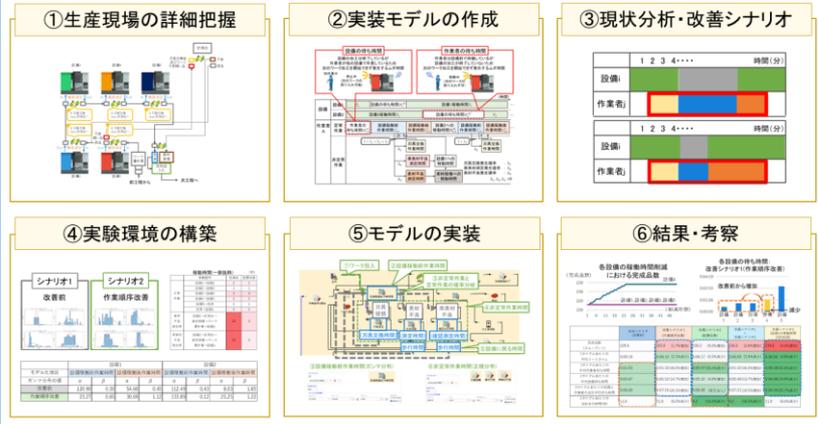
評価指標と分析手法の適用

### ③シミュレーションによる改善案の検証

関連研究と本研究の位置づけ  
関連研究・S4 Simulation Systemを選択した理由

対象企業への提案  
データ駆動型問題発見方法と改善案検証方法

#### シミュレーション内容



## まとめ

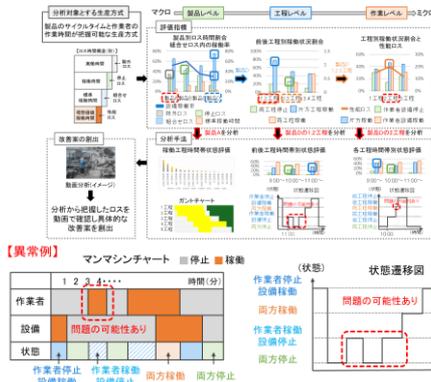
結論・今後の課題

# 結論

## 研究成果

製造業の生産現場のムダ作業削減のためにデータ収集方法と問題発見方法、改善方法を考案して実際の生産現場へ適用しシミュレーションによる効果検証と問題発見と改善案検討方法を提案した

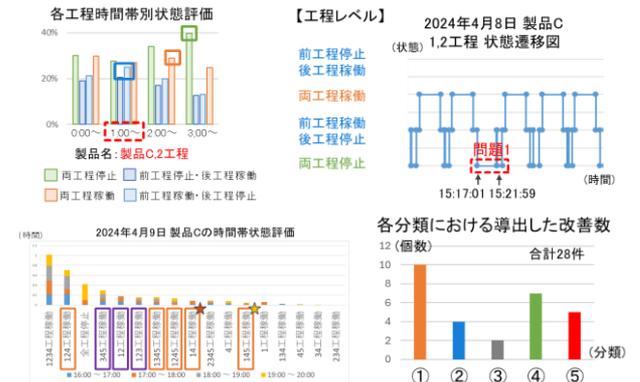
### ①問題発見と改善方法の考案



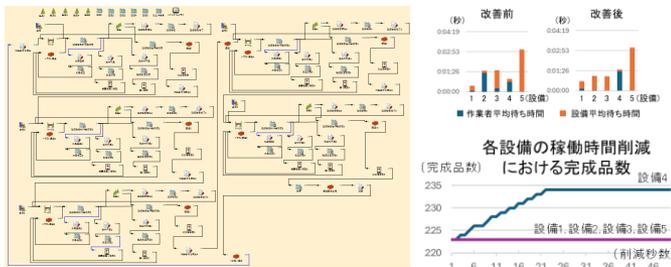
### ②分析ツールの作成



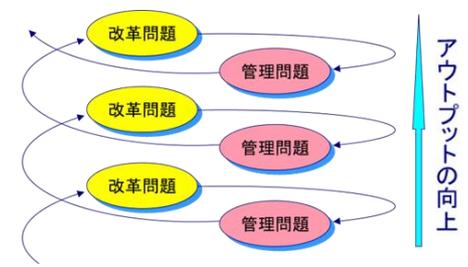
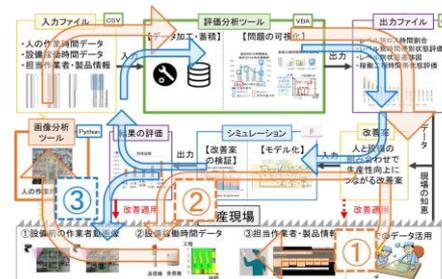
### ③対象企業へ適用し改善案を導出



### ④ S4を用いた改善案の効果検証



### ⑤データ駆動型問題発見方法と改善案検討方法の提案

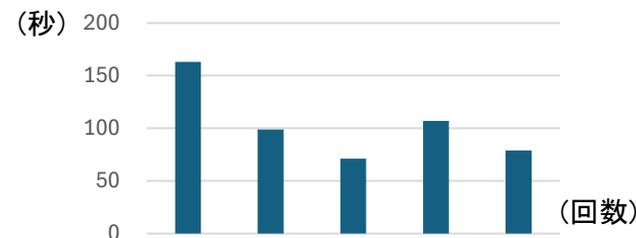


# 今後の課題

## 1. 長期データを基にした数値のモデル化

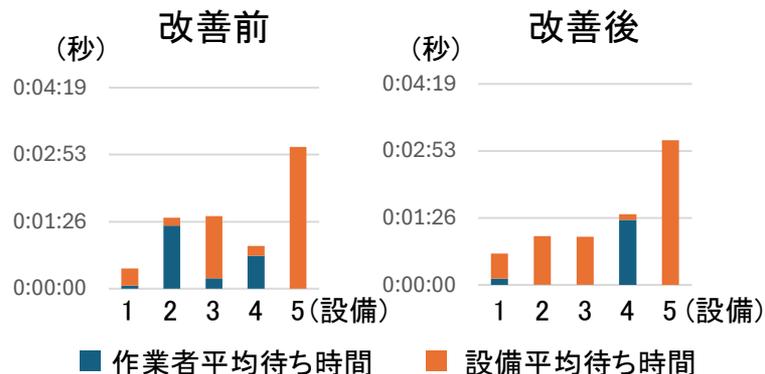
発生確率が低い、刃物交換や素材不良  
準素材不良に関する作業時間や発生頻度は  
データ数が不足しており分析期間の延長が必要

素材不良に対する作業時間



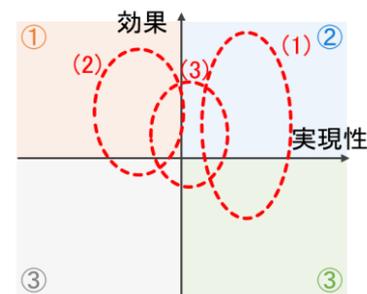
## 2. S4を用いた検証後の更なる改善計画

改善シナリオの効果を出した後に発生する  
ボトルネックの特定や更なる改善の計画などを  
結果パラメータを基に実施することが必要



## 3. 改善案に実行性についての調査

問題発見や改善方法等で得た改善案の実行性について  
現場の作業者を対象に実態を調査し、推定効果と比較して  
改善案の適用やシミュレーション実施の判断をすることが必要



# 参考文献①

- [1] 三菱UFJリサーチ & コンサルティング(株): “令和5年度製造基盤技術実態等調査報告書”, (2024), (2025年9月参照), [https://www.rieti.go.jp/jp/events/bbl/24071101\\_kawamura.pdf](https://www.rieti.go.jp/jp/events/bbl/24071101_kawamura.pdf)
- [2] 三菱UFJリサーチ & コンサルティング(株): “製造基盤技術実態等調査”, (2024), (2025年9月参照), [https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2023FY/000198.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2023FY/000198.pdf)
- [3] 独立行政法人情報処理推進機構: “IPA DX動向”, (2024), (2025年9月参照), <https://www.ipa.go.jp/digital/chousa/dx-trend/eid2eo0000002cs5-att/dx-trend-2024.pdf>
- [4] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: “5G等の活用による製造業のダイナミックケイパビリティ強化に向けた研究開発事業”, (2024), (2025年9月参照), <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2024/pdf/gaiyo.pdf>
- [5] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: “製造業におけるダイナミックケイパビリティ向上を実現するための課題体系化等に係る調査事業”, (2024), (2025年9月参照), [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/pdf/016\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/016_04_00.pdf)
- [6] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: “スマートマニュファクチャリング構築ガイドライン”, (2024), (2025年9月参照), <https://www.mazin.tech/research/67a03c2a2c303f71863d2224#:~:text=MAZIN%E3%81%A7%E3%81%AF%E3%80%81%E3%81%A4%E3%81%8F%E3%81%B0%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80,%E9%9A%8F%E6%99%82%E5%8F%97%E3%81%91%E4%BB%98%E3%81%91%E3%81%A6%E3%81%8A%E3%82%8A%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>
- [7] 経済産業省: “ものづくり白書”, (2020), (2025年9月参照) [https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun\\_pdf/pdf/honbun\\_01\\_01\\_03.pdf](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/pdf/honbun_01_01_03.pdf)
- [8] 経済産業省: “製造業を巡る現状と課題 今後の政策の方向性”, (2024), (2025年9月参照) [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/pdf/016\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/016_04_00.pdf)
- [9] 栗林: “運転制御用センサからのデータに基づくメカトロニクス機器の故障兆候検知法”, 精密工学会学術講演会講演論文集2018A (0), pp.28-29 (2018)

## 参考文献②

- [10] 佐藤：“製造工程におけるスマートタグを用いた作業者の動作分類”，第82回全国大会講演論文集2020 (1), pp.237-238 (2020)
- [11] 山口：“BLEビーコンとLPWAを用いた工程間物流における非定常行動抽出手法の提案と実装”，人工知能学会全国大会論文集 (2020)
- [12] 小川：“LwM2Mを利用したIoTデバイス情報の管理に関する提案”，第84回全国大会講演論文集2022 (1), pp.407-408 (2022)
- [13] 岩崎：“Unreal EngineとNode-REDの連携によるIoT機器設置検討支援システムの提案”，第86回全国大会講演論文集 2024 (1), pp.29-30 (2024)
- [14] 柳：“Pull-Push型生産概念を用いた新たなTOCスケジューリング手法の提案”，経営情報学会全国研究発表大会要旨集 2012f (0), pp.279-282 (2012)
- [15] 大島：“動線分析機器開発と動線データによる作業分析に関する研究”，慶応技術大学大学院博士論文(2013)
- [16] 大島：“動線分析機器を用いた設備運転における作業パターンの分析手法に関する研究”，ヒューマンファクターズ, Vol.18, No.1, pp.27-41 (2014)
- [17] 大田：“中小製造業における生産の揺らぎ対応とTOC理論による企業スループットに関する研究”，鳥取大学大学院博士論文 (2015)
- [18] Kaczmarek：“Practical Aspects of OEE in Automotive Company – Case Study”，3rd International Conference on Management Science and Management Innovation , pp.213-218 (2016)
- [19] 市来崎：“滞留量に着目した並列型フローシステムへの流動数分析の応用方法”，日本経営工学会論文誌vol68, No.3, pp.191-200, (2017)
- [20] Okuda, Kimura, Hida, Nakano, Matsumoto：“Devising and Applying an Evaluation Method to Find Problems Using Cumulative Graphs of Multiple Processes”，Proceedings of the 24th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, pp.166-171 (2024)

## 参考文献③

- [21] 杉西:”生産シミュレーション自動構築に向けた作業時間推定技術の開発”, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.232-233, (2019)
- [22] Kato:” Study of factory automated guided vehicles systems by using multi-agent system and contract net protocol”,人工知能学会第二種研究会資料, BI-018 号, pp.7-9 (2021)
- [23] 廣瀬:”フレキシブルフローショップの迅速なスケジューリングを目的としたディスパッチングルールの検討”,一般社団法人 日本機械学会 生産システム部門研究発表講演会 (2022)
- [24] Takeuchi:” Improvement of Efficiency in Work Systems Including Support Workers Using Discrete Event Simulation”,日本経営工学論文誌, Vol.72,No.4 (2022)
- [25] 谷口:”マルチエージェントシステムに基づく造船用高精度シミュレータの開発”, 日本船舶海洋工学会論文集, 第36号, pp.89-100 (2023)
- [26] 長田, 土屋, 中西:”ものづくり改革のためのTPM”, 日刊工業新聞社, (2008)
- [27] 公益社団法人日本プラントメンテナンス協会:”生産活動におけるロス構造(16大ロス)”, (2025年9月参照), <https://info-jipm.jp/f/introduction-of-tpm/>
- [28] 株式会社日本能率協会コンサルティング:” TPM鉄則37:改善の最大の目のつけどころは、現場に潜むロス” (2025年9月参照), <https://tpmonline.jp/tpm-rule/tpmtips37/>
- [29] 村中:”累積グラフを用いたリードタイム伸長の評価方法の考案”, 日本経営工学会論文誌, Vol.66, No.2, pp.109-119 (2015)
- [30] Ultralytics: <https://www.ultralytics.com/>, (2025年11月参照)
- [31] Python: <https://www.python.org/>, (2025年11月参照)
- [32] Microsoft: <https://learn.microsoft.com/ja-jp/office/vba/api/overview/>, (2025年11月参照)
- [33] 出口:”不確実性を考慮した生産スケジューリング法の検証”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2022)

## 参考文献④

- [34] 董:”ファジィ作業時間を持つスケジューリング問題の簡便解法”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (1997)
- [35] 岩村:”作業者の加工時間のばらつきを考慮したスケジューリングシステムの開発”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2010)
- [36] 渡井:”突発事象が金型加工工程の生産性に与える影響”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2021)
- [37] 杉西:”生産シミュレーション自動構築に向けた作業時間推定技術の開発”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2019)
- [38] 出口:”金型工場におけるディスパッチングルールが生産性に及ぼす影響に関する研究”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2020)
- [39] 田中:”検査設備配備計画の評価”, 株式会社NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 (2023)
- [40] 大久保:”船舶建造工程シミュレーションを用いた生産計画立案手法の現場適用に関する研究”, 日本船舶海洋工学会論文集, 第37号, pp.115-123 (2023)
- [41] 佐々木:”WearablePCと組立シミュレーションツールのIE活動への活用に関する研究”, 日本造船学会講演会論文集, 第2号, pp.45-46 (2003)
- [42] 株式会社NTTデータ数理システム:”S4 Simulation System”, (2025年11月参照), <https://www.msi.co.jp/solution/s4/top.html>
- [43] 川瀬:”IE問題の基礎”, 日刊工業新聞社 (2007)

# 謝辞

提供していただきましたS4 Simulation Systemにより  
本研究のシミュレーションを円滑に実施し  
詳細な分析をすることができました。  
株式会社NTTデータ数理システム様に  
心より感謝申し上げます。

生産現場におけるデータのご提供や  
様々な助言、支援をして頂きました  
対象企業の皆様に  
心より感謝を申し上げます。