

# ものづくり現場でのデジタルツインの取り組み

Initiatives of Digital Twin in Manufacturing Sites

\*生産技術センター

## 要 旨

多様化する社会ニーズやサプライチェーンの寸断など環境変化が激しさを増す中で、ものづくりの現場に対する要求の変化も激しく、その変化に追従できる生産ラインの構築が常に求められている。このような状況下で、世の中では現実空間で収集した様々なデータをまるで双子であるかのように仮想空間上で再現する技術、すなわちデジタルツインを活用し、環境変化に柔軟かつスピーディーに対応する設計アプローチが注目されている。

三菱電機では、ものづくり現場でのデジタルツインを活用した生産ライン設計プロセスの実現に向けて、現実空間である生産現場の実態をセンシング技術を活用してデジタルデータとして収集し、このデータを用いて3D仮想空間に現実を正確に再現する技術を開発した。この技術を生産現場で発生する問題要因の分析やラインシミュレーションによる改善の事前検証につなげていくことで、ものづくりの改善サイクルを高速で回し、生産ライン設計の最適化を実現した。

## 1. ま え が き

現代の製造業を取り巻く環境の変化は激しく、予測のできない自然災害や感染症等に加えて、地政学の面では国際情勢の不安定化に伴うサプライチェーン寸断リスクの発生や、脱炭素の実現に向けた世界的な気運の高まりなど、市場から求められる製品群も様変わりしている。

想定していた前提条件が目まぐるしく変わる中で、様々な変化を想定していたとしても安易な作りすぎは棚卸資産の増加につながる。一方、変化に追従できなければ機会損失になる。両者とも経営に大きなインパクトを与えるトレードオフの関係にある。

そのため、様々な変化に素早く対応できる柔軟な生産ラインの構築が求められている。生産ラインを設計する際には、要求を満足する能力を確保するため、生産工程ごとに能力値を設定する。しかし、単純に理論値だけで能力を設定すると、生産現場での外乱発生を要因とする乖離(かいり)が生じる。したがって、生産現場で発生する様々な外乱を想定した生産ラインの設計が求められている。

本稿では、現実空間である生産現場の実態をデジタルデータとして収集し、このデータを用いて3D仮想空間で再現・分析する手法、外乱を加味したシミュレーションによる改善前の事前検証や条件の最適化で改善サイクルを高速化する手法、及びそれらデジタルツイン技術を活用した生産ライン設計プロセスの事例について述べる(図1)。

## 2. デジタルツインを活用したライン設計の取り組み

### 2.1 従来のライン設計の課題

従来、生産ラインの設計では、目標とする出来高・LT(リードタイム)・CT(サイクルタイム)を満足するように組立て手順・作業性・仕掛量等を設計するために、蓄積された一部の実績データや数日間の現場観測で得られた限定的な情報を用いて設計することが一般的であった。その結果、生産ライン立ち上げ後に、観測時に得られなかった作業時間のばらつきや非サイクル作業などの外乱が発生し、要求仕様を満たせずに、追加改善が必要となり目標到達までの期間が延長している。

生産ラインを構成する要素の中で、設備については既に稼働実績等のデジタルデータを蓄積する仕組みが導入され、改善に有効活用されているケースは多々ある。しかし、その他の重要な構成要素となる、生産ライン内の作業者(人)・部品や製品(モノ)の動きを捉えることが難しく、表1に示す、以前から現場観測で用いられている手法は、複数の観測対象の

詳細な動きを長期間にわたって把握することに適していない。そのため、デジタルツインの構築に向けて、人・モノの動きのデジタルデータ取得の効率化が課題になる。

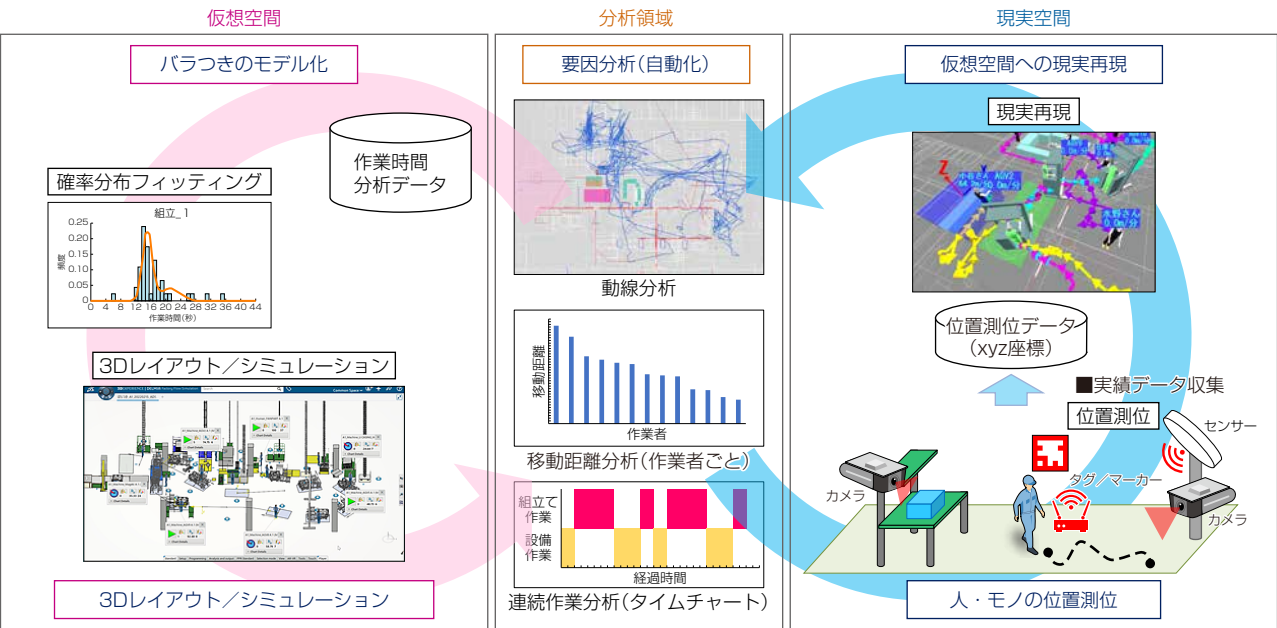


図1-デジタルツインによる生産ライン設計プロセス

表1-従来の現場観測手法

手法	対象	対象期間	対象範囲	周期	概要	問題
連続作業分析	作業者／設備	1日	一人	連続的	観測対象をストップウォッチ等を用いて連続的に観測して記録する方法	・広範囲／複数日の把握には負荷が大きく向いていない
ワークサンプリング	作業者／設備	1日	複数人	断続的	観測対象が行っている各作業を瞬間的に観測して、統計的に集計し、分類する方法	・観測回数によっては、正確性が不十分な場合がある ・作業手順等の把握はできない
設備ログ分析	設備	長期間	設備設置場所だけ	連続的	生産現場に設置した設備の稼働情報を記録したデータを利用して分析する方法	・設備と人の作業が連合した場合の作業状況までは把握できない
進捗管理システムログ分析	作業者	長期間	システム設置場所だけ	断続的	生産現場に設置した電子帳票等の操作時間を記録したデータを利用して分析する方法	・システムを離れた状況は把握できない ・入力が作業者任せになり、実態との乖離が生じやすい

2.2 デジタルツインによる生産ライン設計手順

デジタルツインによる生産ライン設計手順を図2に示す。

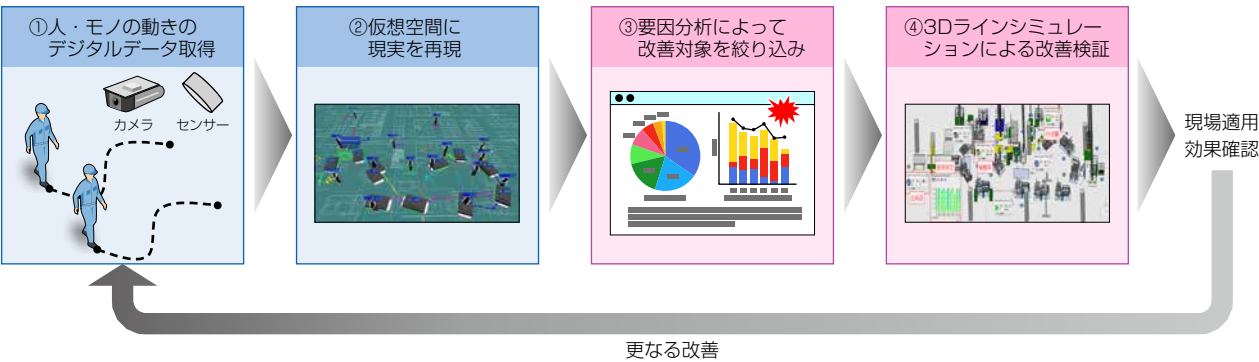


図2-デジタルツインによる生産ライン設計手順

2.3節に述べるセンシング技術の活用によって2.1節に述べた課題の解決を図った。①人・モノの動きをデジタルデータとして取得し、②データ①を基に仮想空間上の3Dモデルで現実の動きを再現し、様々な視点で現場を観察して、

③再現結果を分析し、外乱要因を定量化して改善対象を絞り込み、④複数の改善パターンについて改善効果を3Dラインシミュレーションで検証し、結果を生産現場に適用する。適用後も効果確認と更なる改善に向けてこの手順を繰り返す、デジタルツインのライン設計手順を構築した。

### 2.3 人・モノの動きの現実データ取得

人・モノの動きの現実データを取得する構成を図3に示す。

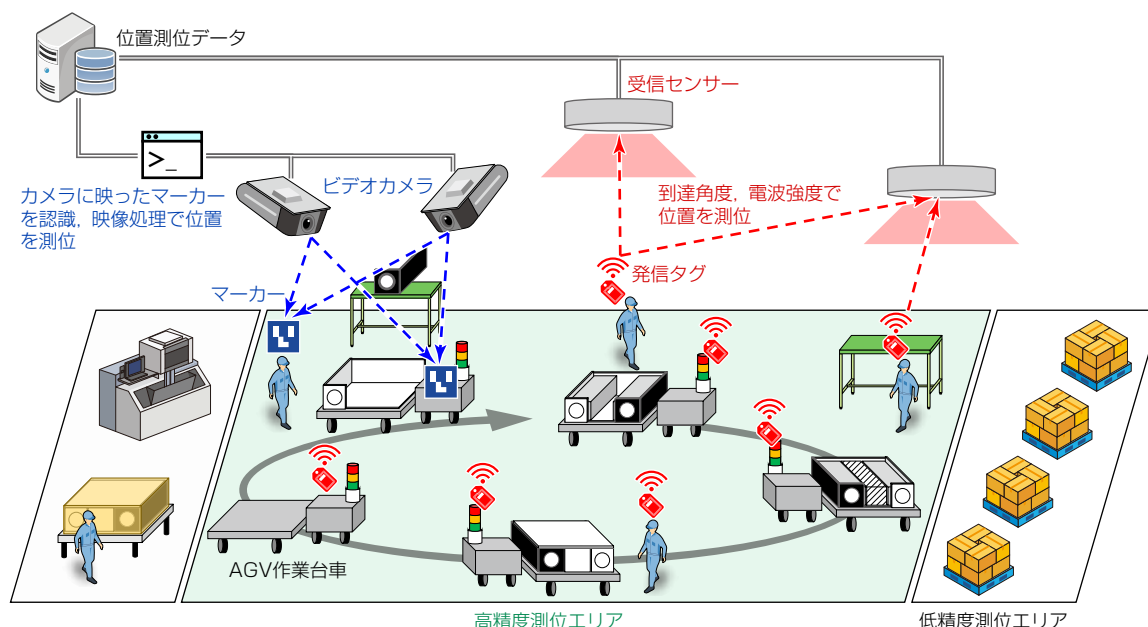


図3-位置測位システムによる現実データ取得

人・モノの実際の動きを捉えた現実データ取得には、位置測位の仕組みを導入した。位置測位には、センサーとタグを利用した位置測位システムとビデオカメラで撮影した動画による映像処理の2種の技術を活用した。共に観測対象に発信タグ又はマーカーを装着するだけで、時系列の位置座標を出力するセンシング技術である。この技術は、①広範囲／複数日データの連続記録が可能、②秒単位のデータを取得し瞬間的動作も把握可能、③観測対象に負荷を与えない、という三つの点で従来の観測手法の問題を解消する有効な手段である。

これらセンシング技術の検証の場として用いた生産ラインは、図3で示す作業台での部品組立てや設備作業工程に加えて、製品の組付けや搬送にAGV(Automatic Guided Vehicle)を利用した台車生産ラインで、複数の作業者による組立て工程をつなぐ複雑なライン構成である。この生産ラインで位置データを取得するため、人とAGVに装着したタグやマーカの動きを高精度に取得したいエリアを区分けし、センサーとカメラの取付け位置をシミュレーションの評価結果に基づいて調整した。この技術の確立によって、生産性に影響することなく高精度エリアでは誤差500mm以内で、長期間の位置測位データを手間なく取得できる環境を構築した。

## 2.4 仮想空間への現実再現と要因分析

再現ソフトウェア(位置測位データを使用して、3D仮想空間に人・モノの動きを再現するシステム)を用いて、要因分析する手順を図4に示す。

①仮想空間に現実と同じ生産ラインのレイアウトを設定、②レイアウト上で分析したい対象範囲のゾーンを設定、③観測対象と対になる3Dモデルを紐(ひも)づける設定、①～③の設定をした後に取得した時系列の座標データをインプットすることで仮想空間に人・モノの動きを3Dで再現できる。仮想空間上で再現した動きは、観測対象の実際の動きと同様に、時系列の座標データを基に3D仮想空間で動作する。この3Dモデルを操作することで、現実では難しい俯瞰(ふかん)・角度を変えた多角的な確認が可能になる。それに加えて、任意の期間を対象にIE(Industrial Engineering)で用いられる連合作業分析と同等の結果や、動線範囲や距離の定量的な分析データを自動出力可能とし、要因分析から改善対象の絞り込みまでの工程の大幅な効率化を実現した。

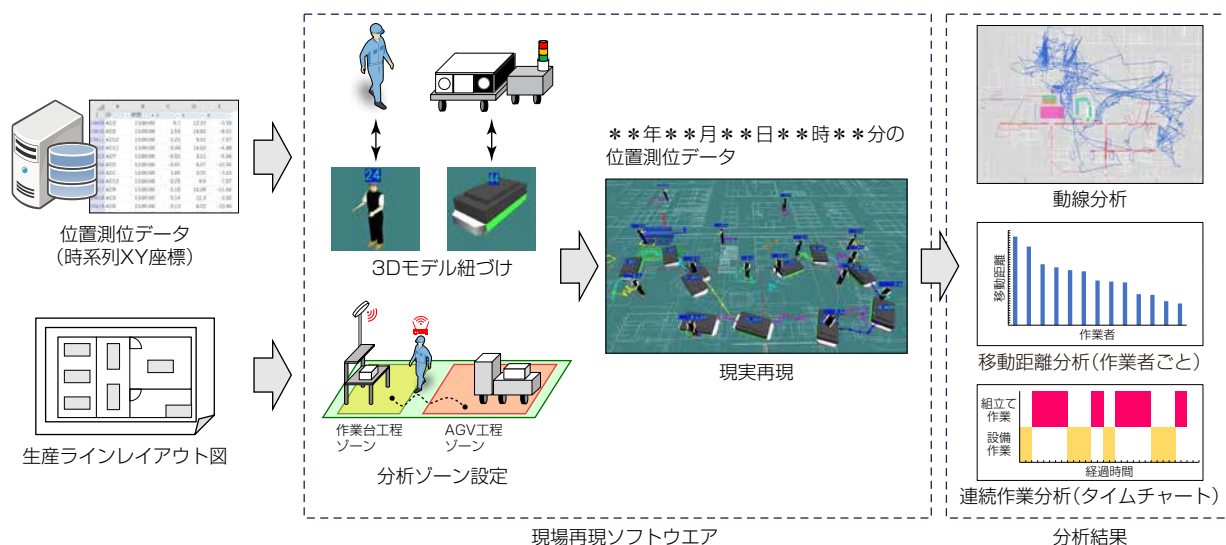


図4-仮想空間への現実再現及び分析

## 2.5 3Dラインシミュレーションによる改善検証

3Dラインシミュレーションで、外乱を加味して検証する構成を図5に示す。

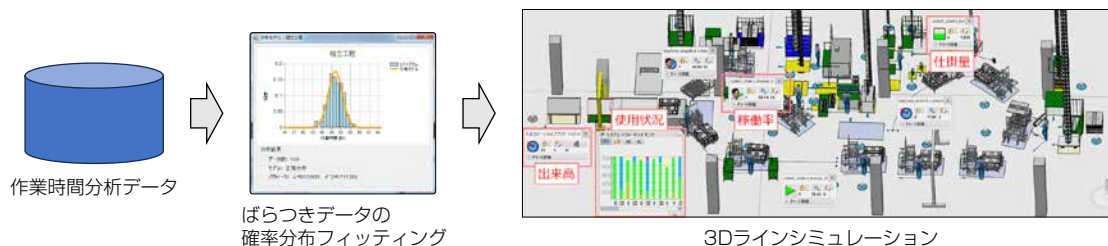


図5-ばらつきを加味した3Dラインシミュレーション

3Dラインシミュレーションは、仮想空間で描いたレイアウトに設備や作業者の3Dモデルを配置し、設定した各工程の作業条件や工程の流れによって、その効率性や問題点を分析する手法である。シミュレーションの検証精度は、生産現場をいかに精緻に捉えて条件を設定するかが重要である。これによって時間当たりの出来高・LTに加えて、ラインバランス・ボトルネックなど効率性の評価や空間的な制約や作業者の動きなどを現実に近い形で再現でき、より高精度の検証が可能になる。

今回の技術検証では、生産現場の外乱として作業時間のばらつきが多い工程を確認した。ライン設計時のシミュレーションでは、従来、各工程に設定する作業時間は、あらかじめ決められた標準時間を用いていたため、現実とシミュレーション結果に乖離が生じていた。そこで、取得した作業時間データから、実際の作業時間のばらつきを抽出し確率分布にフィッティングする機能を開発した。この機能を3Dラインシミュレーションに適用することで作業時間にばらつきを発生させ、現実と同等の結果を得ることを可能にし、より精度の高いシミュレーション環境の構築を実現した。

## 3. む す び

デジタルツインを活用した生産ライン設計プロセスの事例を述べた。現実空間のセンシングデータを利用して3D仮想空間に再現することで、問題要因の分析とラインシミュレーションによる事前検証の高速化への有効性を確認できた。

変化が激しい情勢の中で更なる柔軟なライン設計及び改善サイクル高速化の重要性が高まっていく。現在は位置データに加えて、人の関節動作も含めたより細かな動きのデータ取得と再現を進めている。今後は、当社FA製品との親和性を強化し、よりリアルタイム性を高めたデジタルツインの設計プロセス構築によって当社のものづくりのプラットフォームとして昇華させ、更なる競争力強化に貢献していく。