

(技術資料)

# デジタルツインを用いたDX化による建機開発プロセス改善

山手真治\*1・平賀智徳\*2

## Improvement of Construction Machinery Development Process by Digital Transformation Using Digital Twin

Shinji YAMATE・Tomonori HIRAGA

### 要旨

デジタルツインソリューションを導入して生産準備業務の効率化を行った。組立検証では部品取り付け軌跡を再現する機能を活用して、ワークと搭載物の干渉を高精度に判別でき、試作機組立時の不具合による手戻りを防止できるようになった。設備適合性検証では、複雑な関節をもつナットランナーの挙動を簡単かつ正確に再現する機能により、可動域を考慮した締結部への到達性確認、アームやヘッドとワークの干渉判定などが可能となった。さらに、試作前の事前検証で使用した部品割付データを量産モデルへ流用することにより、設計段階から部品払出情報や作業指示書の作成に着手できるようになり、生産準備のコンカレント化と開発リードタイム短縮につなげることができた。

### Abstract

Production preparation work has been streamlined by a digital twin solution. Assembly verification now allows for highly accurate detection of interference between each workpiece and loading object by utilizing a function that reproduces the track of component installation. This has prevented reworking due to defects during prototype assembly. In equipment suitability verification, a function that easily and accurately reproduces the behavior of nut runners having complex joints has enabled confirmation of the reachability of the fastening area by considering the range of motion, as well as the determination of interference among the arm, head, and workpiece. Furthermore, recycling the parts allocation data used in preliminary verification before prototyping for the mass-production model has enabled the parts-dispatch information and work instructions to be created beginning at the design stage, leading to concurrent production preparation, and the shortening of development lead time.

### 検索用キーワード

デジタルツイン, コンカレント化, フロントローディング, 生産準備, 仮想組立検証, 設備検証, 作業指示書

まえがき = 建設機械業界では、国土交通省によるi-Constructionの推進によりICT施工などの新工法への対応や自動化の推進、環境・リサイクル事業への分野拡大が進んでおり、開発機種数が増加傾向となっている。

また、アジア地域を代表する新興市場ではシェア競争に対応する必要があり、市場ニーズに応じた機械を短期で開発・供給する必要がある。

さらに近年では、排ガス規制に対応するための後処理装置、安全対策用のオプション装置、電子制御機器類の搭載が必要となっており、部品点数増加と機械構造の複雑化につながっている。

以上より近年の製品開発においては、ラインナップ数拡大のための多品種開発、シェア拡大のための開発工期短縮、複雑化した機械構造に対する高精度な検証に加え、部品点数増加への効率的な検証といった、相反する課題への対応が急務となっている。

コベルコ建機株式会社（以下、当社という）の油圧ショベル事業では、上記の課題を解決するために開発プロセスの計画段階から製造品質の作り込みの実現を目指

す、コンカレントエンジニアリングに取り組んでいる（図1）<sup>1)</sup>。

この取り組みのうちの一つに、生産部門担当者が3Dモデルを活用して組立検証を行う仮想組立検証がある。この仮想組立検証を進めるために、2016年頃よりエンジニアリングチェーン変革活動を進めてきた。この活動では開発から製造までの一連の業務に、3Dモデルを活用

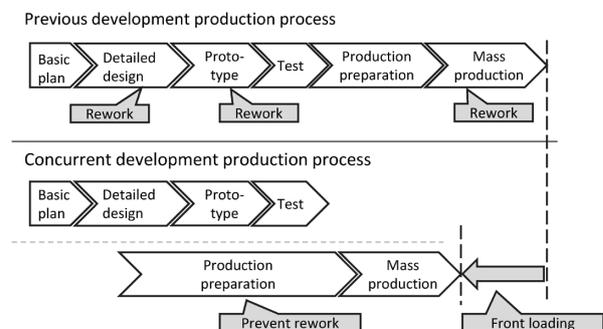


図1 開発と生産準備のコンカレント化  
Fig.1 Concurrent engineering of development and preparation of production

\*1 コベルコ建機株 生産本部ものづくり推進部 (現 KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY SOUTHEAST ASIA CO., LTD.)

\*2 コベルコ建機株 生産本部ものづくり推進部

したデジタルツインによる効率化を可能とするプラットフォームとして3DEXPERIENCEと、その中のソフトウェアツールであるDELMIAを試験的に導入した。2017年には仮想組立検証業務と工程設計業務へ本格導入し、業務プロセスの革新を図った。翌年にはDELMIAとERP（Enterprise Resource Planning）システムの製造実行領域の組立方案と呼ばれるマスターとの間で工程データを連携する機能を開発し、組立方案マスターの登録に必要なデータ変換作業を自動化した。2020年以降はユーザ機能の改修を実施し、操作性の改善や工程データの流用性向上、各種チェック機能の拡充を図った。2023年には3DEXPERIENCE専用のプログラム開発ツールを導入し、組立性検証・工程データ作成業務における詳細な要望に対して自社内でプログラム開発が可能となった。

本稿では、3DEXPERIENCE DELMIAを活用した生産準備領域での仮想組立検証と工程設計における業務改善事例を紹介する。

## 1. 生産準備プロセスの役割と業務概要

最初に、当社における生産準備段階のプロセスについて触れておく。

設計部門で詳細設計が完了し、他部門へ公開された試作3Dモデルを使って、まず生産準備部門で作業区画、製品自体の成立性、設備や工具との適合性の検証が並行して行われる。

作業区画の検討では、製造ラインの負荷を考慮したサブアセンブリ構成の決定や外注の可否確認を行う。

製品の成立性検証では、組立時に部品同士の干渉が発生しないか、組立に必要な作業空間が確保できるか、部品加工公差を考慮して組立が可能かなどのポイントを多角的な視点から検証し評価を行う。

設備や工具との適合性検証では、トルクや取り付け寸法などの設計情報を満たすための設備や治具工具類の準備、設備と製品の干渉、設備の可動域が十分に足りるかを確認する。

一連の検証が完了した後は試作組立に移り、実機を組み立てながら仮想組立検証で吸い上げきれなかった不適合を抽出する。抽出された不適合が設計部門で修正された後、2Dの量産図面が出図される。生産準備部門では量産図面を基にして組立ラインの作業指示書を作成する。この作業指示書は部品取り付け時の作業性、取付順序、部品の共通性を考慮した最適作業単位に分割し組立方案としてドキュメント化され、組立方案番号と呼ばれる管理番号にて管理される。この組立方案番号に対して作業名称を定義し、この作業で組立を行う部品番号と数量、どの作業区で施工するかをERPのマスターデータベースに登録する。このマスターデータから作業指示書専用フォーマットが出力可能で、注記やトルク情報は図面から抽出し、この専用フォーマットへ転記する。このようにしてPC上で作成された作業指示書は印刷後に各現場の作業区へ配布、各班でファイリングと管理が行われる。

## 2. 改善事例と効果

つぎに、生産準備プロセスにおける3DEXPERIENCE DELMIAを活用した業務改善事例を記載する。

### 2.1 成立性検証

試作3Dモデルは各要素別に担当者が分業し同時並行で作成しており、完成状態に至るまでに要素間の部品配置や形状をミリ単位で細かく調整しながら進めている。そのため、更新情報が担当者間で適切に連携されなかった場合、3Dモデルが位置ずれを起こした状態のまま設計され、製品完成状態で部品干渉が発生することがある。干渉は試作組立時に不適合として発覚することがあるため、組立性検証に入る前にこれらの初期干渉を抽出し、設計情報を修正しておく必要がある。

初期干渉の抽出には、静的干渉シミュレーション機能を用いて機械的にチェックを行う。干渉がある場合、部品同士の組合せが結果一覧として表示され、結果を選択することで干渉部にフォーカスし詳細状況を確認することができる。3DEXPERIENCE導入前では目視で干渉を探していたため、機械深部や複雑な構成になっている部分で確認漏れが発生していた。本機能の導入により、数千点ある部品の中から品質不良につながるモデル干渉を数分程度で抽出することができるようになった（図2）。

### 2.2 組立性検証

製造ラインで部品を取り付け/搭載する作業において、周囲との干渉が無いかな動的な干渉確認を行う必要がある。組立性検証では大きく油圧継手の取り付け性、搭載物の干渉、搭載ルート、設備適合性などを確認している。本節ではこれら四つの検証作業における改善について記載する。

#### 2.2.1 油圧継手の組立性確認

製造ラインでの作業負担を抑えるために、油圧継手は事前に取り付け可能な最大の単位で仮組を行う。仮組された油圧継手はコントロールバルブなどの油圧機器に取り付ける際、最大回転半径が増加することにより周辺の継手類と干渉するケースがある。従来では回転操作による確認作業において、部品表（BOM：Bill of Materials、以下BOMという）の構成によっては別アセンブリに所属する複数の継手を同時に操作することができない場合があるため、干渉確認作業の支障となっていた。

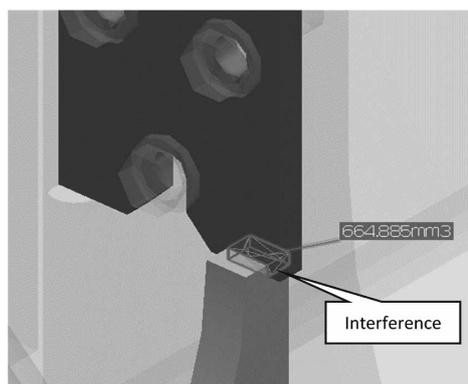


図2 部品寸法不良が原因で発生した干渉  
Fig.2 Interference caused by defective component dimensions

3DEXPERIENCE DELMIAではトラックと呼ばれる部品の軌跡作成機能を使用することで、BOM構成に依存することなく継手の取り付け作業が再現可能となり、干渉確認作業の手間が大幅に簡略化された。また干渉判定機能を併用することで、回転動作をシミュレーションで再現しながら、干渉が発生した際にアラートで確認できるようになった。

### 2.2.2 機器搭載時の干渉確認

エンジンやラジエータなどの大型機器は寸法の大きさや取り付け順序の関係で、前工程で取り付けされた部品を避けながら搭載しなければならない。そのため、搭載時に周辺機器との干渉を入念に確認する必要がある。また、重量が大きくクレーンでの吊り作業となるため、吊り姿勢に制限を掛けながら検証を行う必要がある。

大型機器の搭載性確認では、継手干渉と同じく軌跡作成機能と干渉検出機能、さらに軌跡に制限を掛けたうえでルートを最適化するツールを併用することで、搭載の可否と干渉回避のための最適ルートを素早く判定することができる(図3)。

### 2.2.3 製造設備との適合性確認

据付型ナットランナーなどの複数の関節をもつ設備の干渉確認作業では、製品と設備の3Dモデルの位置合わせと姿勢調整において大きな労力を伴っていた。これに対し、機構再現機能を使用することで、複数関節をもつアームの動きが再現できるようになり、位置合わせに要する時間を大幅に削減することが可能となった。また可動域情報を事前定義しておくことで、実現不可能な姿勢になった場合にアラートを表示することができる。これ

らのサポート機能によって、従来の検証に比べて確認作業時間を約9割短縮することができる(図4)。

### 2.3 工程データの作成

生産準備部門で全ての検証が完了後、設計部門にて不適合を修正し、修正された3Dモデルを基にして工程データの作成が生産準備部門で行われる。工程データはERPの組立方案マスターに登録されることにより、各作業区への部品払出設定や作業指示書の元データとして重要な役割を担っている。

まず仮想組立検証段階では部品取り付け順序や物流、作業区、作業工数などの検討を行うために、大まかな部品割付で工程データが作成される。その後、量産3Dモデルがリリースされると流用機能により試作モデルから工程データを自動で引き継ぎ、組立方案と作業指示書の作成作業が行われる。しかし、量産3Dモデルがリリースされた後でなければ工程データ作成に着手できないため、量産出図から組立方案作成完了までのリードタイムが長くなっているという課題があった。現在は試作前段階で作成した工程データを活用することができるため、量産出図後のリードタイムが短縮されるようになった(図5)。

作業指示書は要領図と部品リストから構成されている。要領図は各組立方案における部品取り付け対象部品を明示し、さらに前作業工程にて既に組立てられた部品を背景として表現することにより、部品の組立完了状態を表したものである。従来では要領図を作成するために3D-CADを使い、ある組立方案にて組立する部品と関係のない部品については製品全体の3Dモデルのパーツを一つずつ手作業で非表示にしていたため膨大な時間を要していた。3DEXPERIENCE DELMIAでは、プロダクトフローと呼ばれる作業順序を3Dモデルで定義する機能により、各組立方案の部品取り付け状態を簡単に表示することができるため、要領図作成作業の効率化に繋がった(図6)。

### 2.4 自動化プログラムによる作業性改善

各業務において、属人的な作業を簡略化するための自動化プログラムを開発し、業務改善を行った。この自動

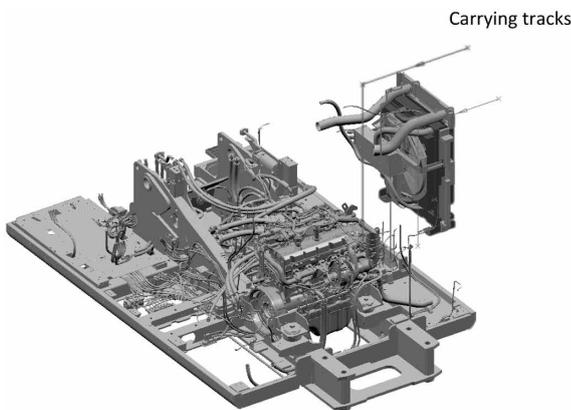


図3 大型搭載機器の干渉検出

Fig.3 Interference detection for large-scale onboard equipment

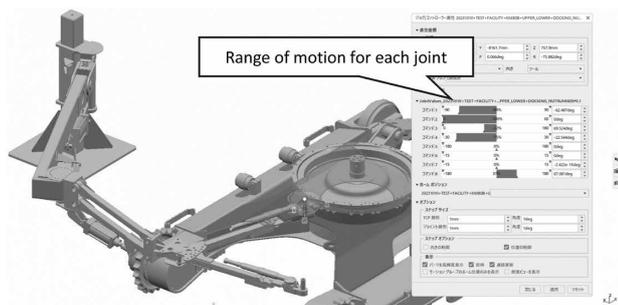


図4 機構定義機能を使用した設備可動域検証

Fig.4 Verification of equipment range of motion using the mechanism definition function

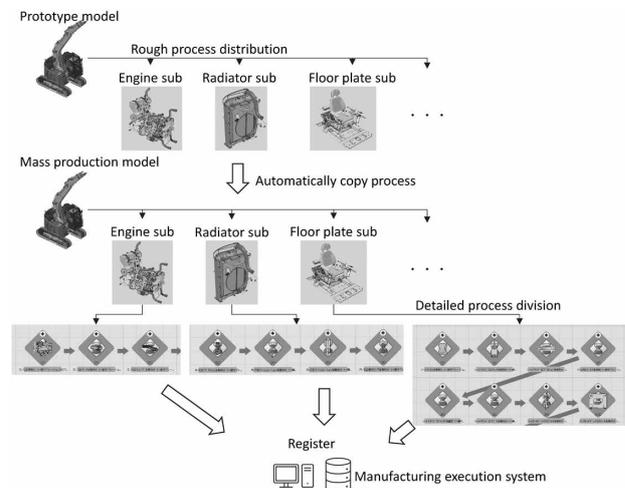
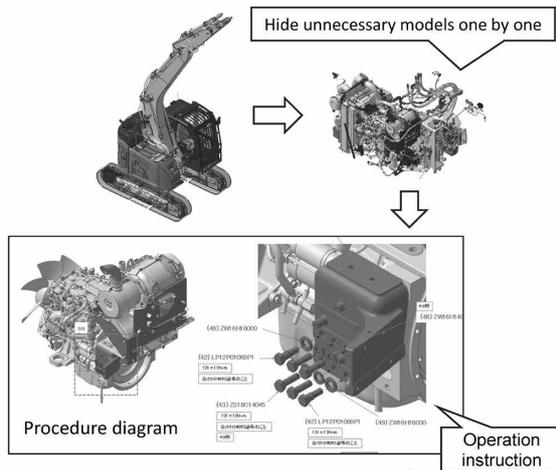


図5 工程データを活用したフロントローディング

Fig.5 Front-loading using process data

### Previous procedure for creating outline diagrams



### Current procedure for creating outline diagrams

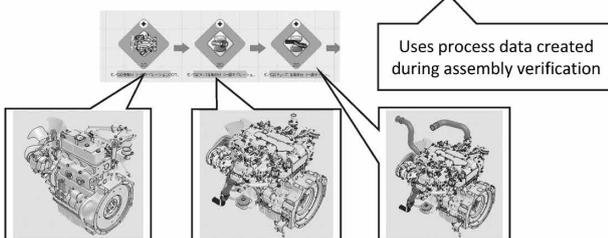


図6 従来と現在の要領図の作成方法

Fig.6 The way of making work instruction figure in previous and current

化プログラムは内製した。

成立性検証では干渉が生じた部品の組合せ全てが結果表示されるが、その中でもボルト、ナット、油圧継手はねじ部の噛み合い部分について現物は隙間なしで接触しているのが正常である。しかし、おねじの3Dモデルは外径、めねじの3Dモデルは谷の径で円柱状にモデリングしているため、干渉として出力されてしまう。そのため、おねじとめねじの組合せサイズ間違いである3Dモデル上の干渉と正常である場合の3Dモデル上の干渉を区別する必要がある。これに対して、あらかじめ正常な組合せの干渉体積をデータベース化しておき、自動化プログラムによって照合させることで品質不良につながる組合せだけを抽出することができるようにした。これによって干渉結果の確認件数の大幅な削減につながった(図7)。

継手取り付け検証における取付軌跡作成作業では、一定の角度で継手を回転させながら螺旋状の軌跡を再現する必要があるため、検証の準備作業に時間が割かれていた。自動化プログラムでは、選択した継手のねじ長さを考慮して自動的に取付軌跡を生成することで、手作業での作成を廃止できた(図8)。

工程データ作成業務においては、既にERPの組立方案マスターに登録されている類似のデータを活用して、自動的に組立方案を生成する機能を作成した。これによって、組立方案の作業名称や部品払出先の入力の手間が減ったほか、作業の抜け漏れを防ぐといった効果があった。

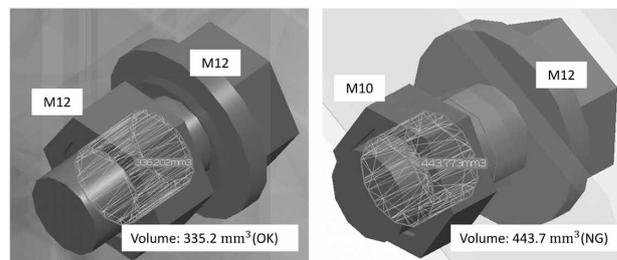


図7 正常な干渉と不具合に繋がる干渉

Fig.7 Normal interference and interference that leads to failure

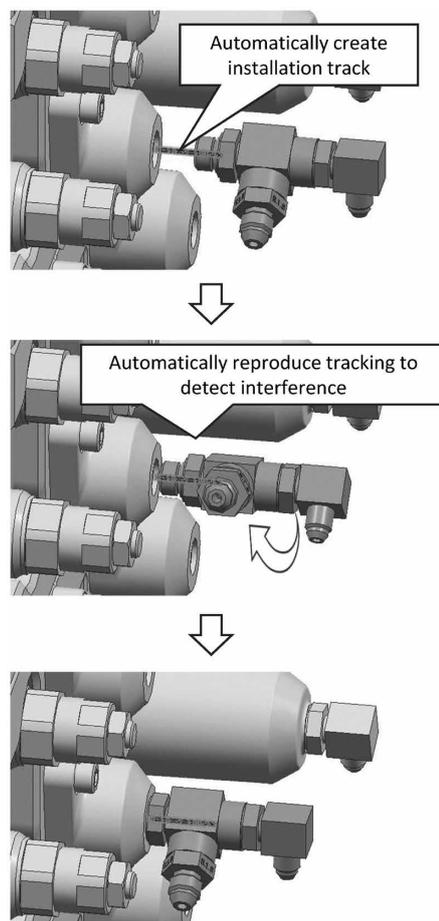


図8 自動作成されたトラック

Fig.8 Auto-created track

## 3. 今後の展望

前章で紹介した種々の機能により、開発プロセスの改善を行ってきた。いっぽうで、依然として生産準備領域における課題は山積しており、対応が必要となっている。本章では、今後の当社の取り組みについて記載する。

### 3.1 検証業務自動化に向けた取り組み

検証業務においては、作業者の経験や勘に依らない定量的な判断基準が必要となる。現状は、過去の品質不適合事例を基にして設計基準などが作成されているが、設計業務においては各基準を人が確認しながら製品設計を行っている。そのため、見落としリスクが存在しており、試作段階で問題が発覚し手戻りとなる事例がある。

これらの手戻りを防止するためには、設計業務において部品選定、3Dモデル作成、製図の至る所でチェックを実施する必要があり、今後は設計基準をはじめと

する各基準や製造制約，設備条件をシステム上で扱えるようにするためにデータベースを構築する。このデータベースを活用して人の目で確認をしていた検証作業をシステム的に判定し，設計作業をサポートする仕組みを作成していく。

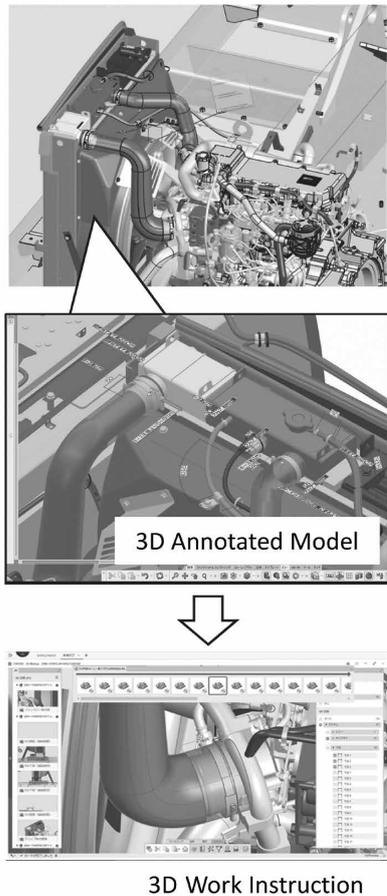


図9 3DAモデルと3D手順書  
Fig.9 3DA Model and 3D Work Instruction

### 3.2 組立作業指示書作成の自動化に向けた取り組み

当社では将来的に3DA（3D Annotated）モデルデータの運用が検討されている。3DAモデルとは3Dモデルに設計管理情報を持たせたデータセットのことであり、3DAモデルはモデル作成時の寸法や拘束条件をそのまま作業指示として利用できるため、現状の2D図面作成工数と比較して大幅に作業時間を短縮することができる。とされている。

この3DAモデルがもつ設計管理情報を作業指示書に直接利用することで、従来行っていた組立指示情報の転記作業を簡略化し、さらなる量産準備リードタイム短縮を目指す（図9）。

また、組立方案の作成を自動化するため属人的となっている作業分割単位のルール，判断基準を標準化しデータベースとして蓄積していく。さらに，現在は紙媒体として生産現場に配布している作業指示書をデジタルデータのまま現場で利用するための活動を進めていく。

むすび＝近年のDX化はすさまじいスピードで進化しており，ものづくりにも大きな変化をもたらしている。当社でも様々な角度からDX化を進めているが，まだまだソフトとハード，運用としくみがうまく連携出来ていない部分もある。これらの課題に対して引き続き取り組んでいき，より効率的な開発プロセスの構築を目指したいと考えている。また，エンジニアリングチェーン変革に引き続き取り組み，試作レスやバーチャルでの組立など，モデルベースでのものづくり検証の拡大にもチャレンジしていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 小島賢太ほか, R&D神戸製鋼技報, 2018, Vol.68, No.1, p.23-26.