

ISSN 0387-7906

# 川崎重工技報

DX×ものづくり特集号

DX×MONODZUKURI

**No.184**

October 2022



働きやすい × 造りやすい × 使いやすい

ものづくりのDX

---

■ 巻頭インタビュー	ものづくりにおけるイノベーションの加速	1
■ 総括説明	DXによるものづくりの革新	2

技術解説

---

■ 設計から生産までの情報をデジタルで一元化 [Smart-K]	Smart-K Enables Digital Integration of Information from Design to Shop Floor	6
■ フレキシブル生産を支える革新生産システムの構築	Establishment of an Innovative Production System to Support Flexible Production	10
■ AI・最適化技術を用いた製造データ活用による生産性向上	Utilization of AI and Optimization Technologies for Productivity Enhancement with Manufacturing Data	14
■ XR技術によるものづくりの変革	XR Technology Brings about Innovative Changes in Manufacturing	18
■ 計測・画像処理技術による外観検査の自動化	Automation of Visual Inspection with Measurement and Image Processing Technologies	22
■ 柔軟な働き方を可能にする遠隔操縦技術の開発	Development of Remote Control Technology That Offers a Flexible Working Style	26

特許紹介

---

■ 姿勢体感システム及び姿勢評価システム	—VR技術で体感して作業準備を効率化—	30
■ トンネル掘進機の仮組立方法	—デジタル空間で組み立てて工期を短縮—	30

---

【中谷副社長に聞く】

## ものづくりにおける イノベーションの加速

イノベーションにどのように取り組んでいますか？

当社では3つの軸でイノベーションに取り組んでいます。一つは顧客に直接価値を提供するイノベーションで、新製品の創出など顧客に提供する「モノ」の変革を行う「プロダクトイノベーション」です。最近では、これに加えて顧客の課題を解決するサービスを提供する「コト」の変革を行う「ソリューションイノベーション」に注力しています。

もう一つは、設計・製造などの業務の過程の変革を行う「プロセスイノベーション」です。これにより、新製品・新サービスの開発を加速させることができ、顧客に間接的に価値を提供することになります。プロセスイノベーションは、外部からその成果が見えにくく黒子的な活動ですが、企業の持続的成長を支える重要な役割を担っています。

プロセスイノベーションの取組みを教えてください

当社のプロセスイノベーションの取組みは、バリューチェーン全体にわたる業務過程の変革を追求しており、その基本は、TQM (Total Quality Management, 総合的品質管理) 推進活動の全社展開です。経営方針を浸透させ、全社一丸で目標達成目指して活動する環境を整備するとともに、日常の業務は標準化してPDCAサイクルにより常に改善することで経営品質を高めています。このうち、開発・設計過程であるエンジニアリングチェーンでは、K-DPX (Kawasaki Design Process Transformation) 推進活動と名付けて変革を進めており、開発・設計プロセスの標準化や高度化を進めています。また、製造過程であるサプライチェーンでは、従来からKPS (Kawasaki Production System) 推進活動が続けており、作業工数の低減や仕掛在庫の削減などの生産改革運動を進めています。

特に最近では、新興国の発展などで世界市場の規模が拡大しているとともに、市場環境の変化も激しくなっており、イノベーションの活動もスピードアップして、競合他社との競争を勝ち抜いていくことが急務になっています。



中谷 浩 代表取締役副社長

プロセスイノベーションを加速するには

当社ではDX (Digital Transformation) 戦略の取組みの中で、「お客様にとってのDX」、「事業にとってのDX」、「従業員にとってのDX」を進めており、このうち「事業にとってのDX」では、デジタル技術の積極活用によりプロセスイノベーションの加速に取り組んでいます。これによりバリューチェーンの整流化や全体最適化および各業務プロセスの高度化などを目指しています。

製造現場のものづくりの分野では、各種センサーや電子タグ、ロボットや自動機器、AI (人工知能) によるビッグデータ処理、全工程をリアルタイムで最適化するCPS (Cyber Physical System) の実現、高速通信 (ローカル5Gなど)、クラウドシステム、XR技術による可視化などのデジタル技術を導入することで、従来の現場改善活動のPDCAサイクルを正確・高速・可視的に回すための技術開発に取り組んでいます。これにより、当社工場を含めたサプライチェーン全体の運営最適化、革新的な生産手法の導出による飛躍的な生産性の向上、多種多様な人々が働きやすい労働環境の実現などを目指しています。

最後に

当社では2030年に目指す姿として「グループビジョン2030」を制定し、今後の社会課題に対して、その解決を実現するソリューションを提供しグローバルに貢献することを目指しています。その実現の一環として、デジタル技術を活用してもものづくりのプロセスイノベーションを実現し、ものづくりを革新的に変革していきます。

# DXによるものづくりの革新

占部 博信

執行役員 DX戦略本部長



堀内 勇二

執行役員 技術開発本部 プロセスエンジニアリングセンター長



## まえがき

2010年頃からVUCA（Volatility：変動性／ Uncertainty：不確実性／ Complexity：複雑性／ Ambiguity：曖昧性）の時代と言われ、「先行きが不透明で、将来の予測が困難な状態」となっている。たとえば、エネルギー環境分野では予想以上のスピードで脱炭素へ大きく舵が切られている。また、コロナ禍や災害・戦禍などで燃料・原材料・半導体などの不足や物流混乱が生じるなど、グローバルでサプライチェーンが急激に不安定になっている。

このような環境の中で顧客に対して価値ある製品・サービスを提供するには、ものづくり分野でもデジタル技術を駆使してDX（Digital Transformation）を実現し、変化の速い市場への対応力向上、強固な品質保証体制の構築、KPS（Kawasaki Production System）とデジタル技術を融合した生産性の飛躍的向上や納期遵守体制の確立などをスピーディーに進める必要がある。

さらには、高齢化による人手不足・技能伝承問題などに対応した新しい時代に則した労働環境の構築や、複雑な時代時代の顧客の課題解決に対して、ものづくりのノウハウを活かした新しいソリューションの提供など革新的な技術開発も行っていく必要がある。

## 1 当社のDXへの取組み

当社は、グループビジョン2030を策定し、社会課題の解決に果敢にチャレンジすることを宣言した。このビジョンでは、地球温暖化や労働人口減少などの社会課題に対して、革新的なソリューションをタイムリーに提供し、より豊かな社会の実現を目指している。またその実現に向けて、マーケットインの視点で社会的価値を様々な枠を超えてスピーディーに提供していこうという思いが込められている。

そのためには、事業のスタイルとそれを支えるプロセスを大きく変革していく必要がある。その活動のひとつが「Kawasaki DX」である。デジタルの力を活用し、マーケットインとスピードを重視したビジネスモデルの変革、プロセス革新を実現すべく、Kawasaki DXに本格的に取り組んでいる。

Kawasaki DXでは、「お客様にとってのDX」、「事業にとってのDX」、「従業員にとってのDX」の3つの領域で取組みを進め、新たな顧客価値の創出、モノ売りからコト売りへのビジネスモデル変革、事業基盤のアジリティ強化、従業員の働き方改革などを実現していく。また、デジタル活用を安全・安心に推進できるよう、サイバーセキュリティ体制強化、プライバシー保護にも取り組んでいる。

## 2 これまでのものづくりの取組み

当社のものづくり現場での生産改善活動は、1970年代後半にトヨタ生産方式TPS（Toyota Production System）をベースとした新生産方式をモーターサイクルや油圧機器などの量産型製品の製造部門に導入したのが始まりである。それ以降、航空機や船舶など個別受注製品にも適用できるように改良することで、生産数量・リードタイム・受注形態に関わらずあらゆる製品に適用を拡大し、KPSとして当社のものづくりの規範であり原理原則となっている。

KPSにおける現場管理の要諦は「実態を見える化し、改善のサイクルを回す」ことである。ここでの「見える化」

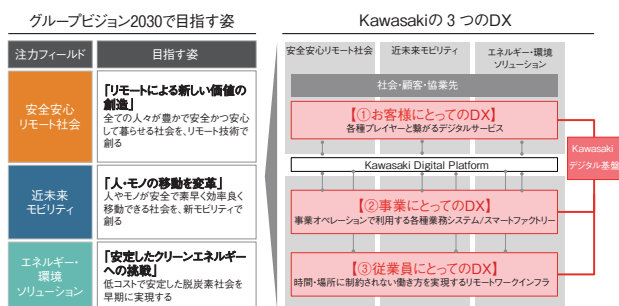


図1 当社のDX戦略全体像

は「作業を標準化した上で、予定と実績の差異を把握すること」である。これにより、改善すべきポイントが明確になり、その改善すべきポイントを起点としてPDCAの改善サイクルを回すことで、日々工場を進化させることがKPSの現場管理の要諦である。

当社では、2000年頃からのデジタル技術の進歩に合わせて、KPSにおけるPDCA改善サイクルをより正確・高速・可視的に回すためにデジタル技術を積極的に導入してきた。たとえば、モニタを使ったビジュアルな作業指示システムを作業ミスの防止や作業技術の伝承に役立ててきた。またバーコードなどを用いた作業実績の収集システムにより、簡便に精度よくリアルタイムに現場状況を把握して、予実差異分析に役立ててきた。しかしながら、これまでのデジタル技術活用は現場の改善活動を効率化することが中心で、ものづくりの現場単位での部分最適化に留まっていたことが多かった。

### 3 DXによるものづくりの革新

Kawasaki DXの一つである「事業にとってのDX」は、バリューチェーンの中のエンジニアリングやものづくりなどの業務プロセスをデジタル技術により変革し、業務を効率化・高度化することで、顧客価値を最大化するとともに、収集したデジタルデータをコト売りへつなげることを目指している。この中では、業務プロセス間のつながりを整流化し、バリューチェーン全体の最適化を図る「横のデジタル化」と、業務プロセス内のオペレーションを高度化し価値創造につなげる「縦のデジタル化」の2つのデジタル化を推進している。

#### (1) 横のデジタル化

「横のデジタル化」とは、営業・受注から開発・設計、調達・製造、保守・サービスまで業務間の横串を通し、バリューチェーン全体で得られる各情報をデジタル化することである。これにより人手を介さずに情報共有することができ、情報伝達のムダや停滞を排除し、迅速に正確に効率よく連携することで、バリューチェーンの整流化や全体最適化を目指している。

開発・設計プロセスを先進デジタル技術を用いて改善する取り組みとして、K-DPX（Kawasaki Design Process Transformation）活動を開始している。K-DPXとKPSにより製品の開発から生産準備、生産までのエンジニアリングチェーンからサプライチェーンまでをシームレスに繋げることができる。

さらにDX推進の土台として、エンジニアリングチェーン、サプライチェーンを含むバリューチェーン全体をTQM（Total Quality Management）活動により俯瞰して横串を通すことで、当社グループ全体のものづくりに関する業務プロセスの改善、業務品質の向上、業務高効率化を推進し、経営環境の変化に対応できる強靱な企業体質へと改善を進めている。

ものづくりDXとしては、設計・工程設計・生産計画などの各プロセスでの情報をデジタル化し、AIやデータ分析技術を駆使して工場全体の運営最適化を目指す取組みを進めている。

#### (2) 縦のデジタル化

「縦のデジタル化」とは、バリューチェーンの個々の業務プロセスにおいてデジタル技術を活用して縦方向に深化させることである。開発・設計プロセスでは、高精度なシ

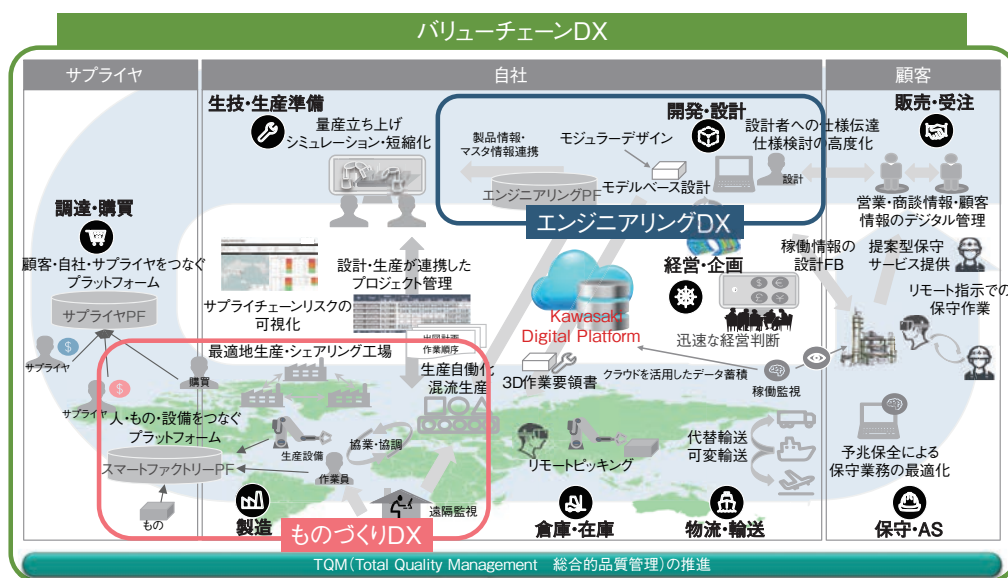


図2 事業にとってのDX

ミュレーション技術により仮想空間上で設計モデルの精密な検証を行うことで、開発期間の短縮や高品質な製品開発を目指している。また、保守・サービスプロセスでは、納入した製品の運転状況をリモートで監視し、故障の未然防止や最適運転の支援を目指している。

ものづくりDXとしては、新しいつくり方や働き方に取り組んでいる。新しいつくり方では、デジタル情報をリアルに視界に映し出すXR技術を活用して、組立工程の時間や品質を向上させる取組みを進めている。また、カメラ画像をAIで分析する技術やロボット技術を活用して、検査工程での人手の目視検査を自動化・ロボット化する取組みなどを進めている。

新しい働き方では、XR技術やロボットの遠隔操作技術を活用して、多様な人材が時間や場所の制約を受けることなく働くことができる環境の構築に取り組んでいる。

さらに、これからのものづくりとして、機械学習などのデータ科学を活用して開発設計することにも取り組んでいる。新材料や新デバイスを効率的に予測・発見するマテリアルズ・インフォマティクス、それを効率的に作るプロセス・インフォマティクス、最適な製品設計を生み出すジェネレーティブ・デザインなどに積極的にチャレンジしている。

#### 4 工場運営の最適化 (スマートファクトリー)

当社の工場の多くは多品種少量生産型であり、1品種当たりの生産数が少なく、多品種の部品加工や組立を限られたスペースの中で実施するために、ジョブショップ型工場となっている。工場内には膨大な数の工程があり、モノの流れは非常に複雑である。また、自動化率が低く、生産設備と作業者が混在する工場である。さらには、トラブル対応や設計変更対応も発生しており、これまでは人同士でのコミュニケーションによる現場調整で対応していた。

このようなジョブショップ型工場において、あらゆる情報をデジタル化して連携させて、KPSの現場管理の原理原則に基づいた工場運営を、できるだけ少ないリソースで短

い周期で実施できるようにするのが我々の目標である。そのため、生産計画を立案するなど、工場全体を動かすための基幹システムERP (Enterprise Resource Planning) を配置し、生産計画に基づいてMES (Manufacturing Execution System) から各工程に作業指示を出していく。さらに作業実績を収集して、その結果をKPI (Key Performance Indicator) で示すことを目指している。

また、遺伝的アルゴリズムといった最適化計算手法やディープラーニングや機械学習といったAI (Artificial Intelligence) を使って、PDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルの改善策を創出することにも取り組んでいる。たとえば、遺伝的アルゴリズムを使った最適化計算やAIを活用して、最終組立ラインへの製品投入順序を決定するシステムを開発している。また、カメラ映像を解析するAIを活用して作業実施状況が安全に行われているか、あるいは、標準作業が守られているかを監視するシステムも開発している。

このように、KPSのPDCA改善サイクルにおいて、計画、指示・記録、分析、改善までのすべての活動をデジタルで正確・高速・可視的に回せるようにして、スマートファクトリーを実現することを目指している。

#### 5 新しいつくり方

新しいつくり方では、組立工程の時間や品質を向上させるために、XR技術を活用した取組みを行っている。XR技術とは、VR (Virtual Reality)、AR (Augmented Reality)、MR (Mixed Reality) などの仮想現実を構築する技術の総称である。

VR技術は、実際の製品や作業場がなくても仮想的に作業を体験することができ、経験の浅い作業員への教育や危険を伴う作業の事前訓練などに役立っている。またAR技術により、作業中に作業視線や姿勢を変えることなく、作業要領や図面を確認することができるようになる。さらに、Microsoft社製 HoloLensに代表されるようなMR技術を利用

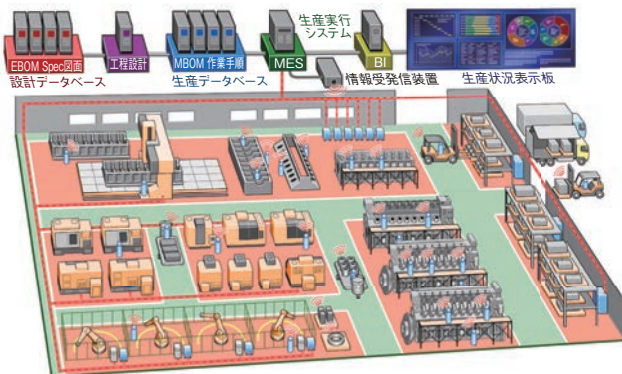


図3 スマートファクトリーのイメージ

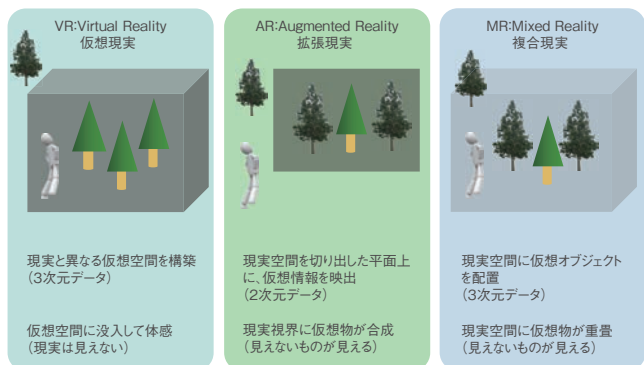


図4 XR (VR/AR/MR) 技術とは

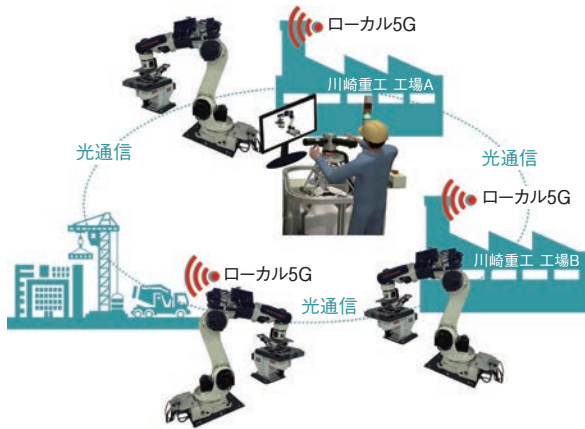


図5 遠隔操作におけるローカル5Gの活用

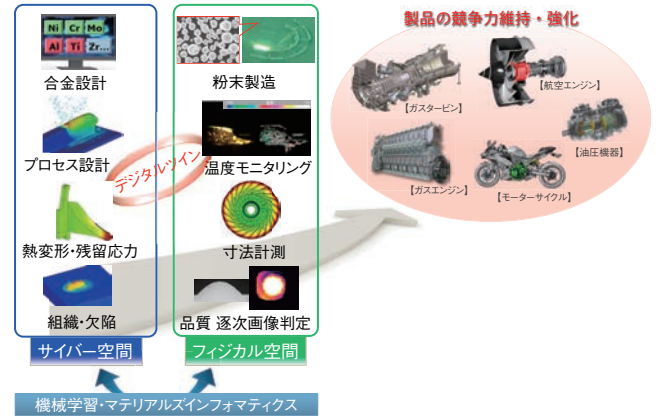


図6 製品の付加価値化

用すれば、作業の位置、使用する工具、動作イメージなど作業要領をより具体的にビジュアルに表現することができ、経験の浅い作業者でも標準作業を守り、一定の品質を確保できるようになる。

また、検査工程ではカメラ画像をAIで分析する技術やロボット技術を活用して、人手で行っている目視検査を自動化・ロボット化する取組みなどを進めている。

## 6 新しい働き方

新しい働き方では、「だれもが人間らしく生産的な仕事ができる社会」を目指して、多様な人材が時間や場所の制約を受けることなく働くことができる環境構築に向けて、遠隔操作による製造のリモート化に取り組んでいる。

それを実装するため、遠隔操作できるロボットの開発に加えて、重要なデジタル技術として高速無線通信があり、特にローカル5G技術に注目している。ローカル5Gを活用することで、工場内ネットワークを柔軟かつ効率的に構築することが可能となる。

ローカル5Gの特長とされる3つの基本性能は、高速大容量・超低遅延・多数同時接続で、これらの機能はユーザーニーズに合わせてカスタマイズすることができ、ものづくり現場で効果的に利用することで生産性の向上に貢献できると考えている。

今後ローカル5Gを積極的に工場内へ導入することで、将来的には無線による遠隔操縦で各種作業が可能になり、人口減少による労働力不足への対応、労働者の職場環境の改善、熟練作業者の技能伝承等の効果がある。さらにコロナ禍で急速に需要が高まったリモートワークを、工場の生産現場へも適用するリモートファクトリー化も推進していく。

## 7 これからのものづくり

当社では、設計から製造まで一連の検証をサイバー空間

上で再現する「デジタルツイン技術」を適用することにより、開発初期から性能や製造性を最適化可能とするような情報科学と連動させた新たなものづくりフローの構築を目指している。

また、3Dプリンターに代表される素材を積み重ねて形をつくる製造方法である付加製造AM (Additive Manufacturing) 技術の発展は目覚ましく、欧米を中心に実用化が進展している状況にある。AM技術は従来製法に比べて設計の自由度が大きく、性能を大幅に変革できるだけでなく、昨今のデジタル化との親和性も高く、設計や製造におけるプロセスの大幅な効率化 (コスト・リードタイム・省エネ) を実現するポテンシャルを有する。したがって、本技術に付随する設計技術: Design for AMを構築し、新たな合金設計や材料創製などマテリアルズ・インフォマティクスを推進することにより当社製品の付加価値化につながると考える。

これらの取組みにより、生産技術開発の高度化や新たな材料開発を実現し、設計や製造プロセスを変革していくとともに、当社製品の付加価値化により、国際的な市場競争力の維持・強化に向けて貢献していく。

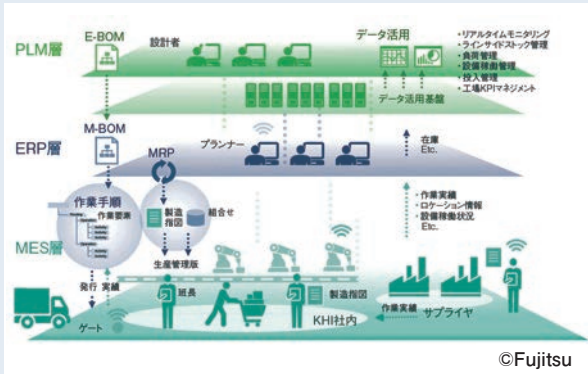
## あとがき

当社は、当社独自の生産方式であるKPSを規範として、ものづくりを進めてきた。そして現在、「Kawasaki DX」を推進してデジタル技術を全社的に積極的に活用することを進めている。

ものづくり分野において、当社が長年培ってきたKPSによる技術と発想力に、DXによるAIなどのデジタルの力で広い視野とつながりを掛け合わせ、KPSを革新的に深化させ、多様な価値観とスピード感のある企業文化に変革させることで、「カワる、サキへ。」を推進していく。



# 設計から生産までの情報をデジタルで一元化「Smart-K」 Smart-K Enables Digital Integration of Information from Design to Shop Floor



酒井 亨①	Ryo Sakai
清家 嘉昭②	Yoshiaki Seike
飯田 健太③	Kenta Iida
小川 裕貴④	Yuuki Ogawa
鈴木 倫太郎⑤	Rintarou Suzuki
石井 陽真⑥	Youma Ishii

航空機製造では、膨大な点数の部品を厳格な品質基準に基づいて管理する必要がある。これまで紙と人の手により情報を繋げて品質を確保してきたが、今後は品質を維持しつつ生産性をさらに高めていくことが求められている。こうした状況からDXに取り組み、業務プロセスをデジタル化することで品質確保と生産性を両立した。

In aircraft manufacturing, it is necessary to control an enormous number of parts based on strict quality standards. Until now, different pieces of information have been connected by paper and human labor to assure quality. Going forward, we are required to further enhance productivity while meeting strict quality requirements. Under such circumstances, we have successfully digitalized our work processes through digital transformation (DX), thereby achieving both quality assurance and productivity enhancement

## まえがき

新型コロナウイルスの流行により航空機需要は一時的に低迷したものの、中長期的には回復して従来以上の需要になると予見されている<sup>1)</sup>。

## 1 背景

航空機の製造工程は大規模・複雑系であるが、長らく人手と紙による作業が行われてきた。今後、航空機をより高品質かつ高効率に製造していくには、現行の人手と紙の業務プロセスでは限界があり、工場のDX化が必要とされていた。

## 2 航空機製造の特徴

航空機製造の特徴として、「特徴的な機体構造」「多品種・少量生産」「厳しい品質要求」が挙げられる。まず、航空機は一機あたりの部品点数が300万点にも及ぶ大型構造物である。アルミ・チタン・炭素繊維強化プラスチック CFRPなど、多様な素材を適材適所で使い分けつつ、機械加工・板金加工・溶接・化学処理・配線といったさまざまな工程を経ることで航空機は完成する。一方、航空機には極限の軽量化が要求される。軽量化を追求するが故に、一

見すると同じように見えるが仕様の異なる「一品一様」な部品が多数存在し、小ロットでの生産が基本となる。多数の品種、工程が存在することから自動化や専用ライン化は難しい環境にあり、製品が社内外の数百の職場を複雑に巡る「ジョブショップ型」の生産方式が採用されている。また、陸上輸送機とは異なり、航空機は空の上で故障しても機体が止まることは許されない。安全性を保証する上で、製造過程においても非常に厳しい品質要求が課されており、ISO認証のJIS Q 9100（航空宇宙）をはじめとした航空機特有の認定制度や要求スペックが存在する。こうした規定に基づいて適切な製造を行うとともに、その記録を確実に取得し、必要に応じて迅速に開示することも求められる。

このように、膨大な品目数かつ複雑な工程の部品群を、厳格な規定に基づいて管理しなければならない点が航空機特有の難しさである。航空機製造の現場では、図面・作業指示・各種記録など、大量の情報を「紙」で管理し、品質を確保してきた歴史があり、「航空機は紙で飛ぶ」とさえ言われている。無数の紙は技術者のノウハウや匠の技の結集であり、さまざまな紙面を作成し、紙と紙の間の情報を繋いでいくことが製造現場における重要な職務となっている。しかしながら、製品の構造は年々複雑化するとともに、品質管理の要求レベルも高まっており、従来の紙と人手による対応は限界を迎えつつあった。

### 3 「Smart-K」プロジェクト

こうした状況を打破するために、当社は「Smart-K」プロジェクトを立ち上げた。「Smart-K」プロジェクトは、図1に示すように、設計出図・工程設計・生産実行・実績収集までのあらゆる情報をデータ化し、業務プロセスをすべてデジタルで繋ぐことをコンセプトにしている。主な取組みは「設計要求の確実、かつ迅速な伝達」、「作業指示のデジタル化」、「あらゆるデータの集計・可視化」の3点であり、デジタル化により業務の確実性とスピードを高めるだけでなく、蓄積されていくデータの利活用することで、生産性向上を狙った。

本プロジェクトは対象とする業務・職場が工場全体に渡り、構築するシステムも非常に大規模である。したがって、設計・生産技術・生産管理・製造・品質保証・情報システムの各部から人員を集めて新たな部署を新設し、富士通・SAPといった社外パートナー企業とも密に連携しながらプロジェクトの遂行にあたった。

#### (1) 設計要求の確実、かつ迅速な伝達

##### (i) 背景

航空機製造では、原則として製造する機体ごとに試験や補助解析を求められるが、設計図面に「型式証明」を適用することで試験を簡略化あるいは省略することが認められている。製造する機体ごとに大量の試験や解析を実施するのは現実的ではなく、型式証明制度の利用は事業を継続する上での必須条件であると言える。この型式証明が機能する大前提は、事前試験で証明済みの図面や各種規定のとおり製造できているという「再現性の保証」と、製造過程における「適切な記録の管理」である。

再現性を保証するには、技術情報が確実に現場に伝達さ

れていること（「技術情報のフローダウン」と呼ぶ）が不可欠である。実務上は、計担当者が客先要求や技術スペックを基に設計部品表（E-BOM）や図面を作成し、そこに生産技術担当者が製造スペックを盛り込んで、製造部品表（M-BOM）や作業手順に落とし込み、その上で、現場作業者は生産技術担当者が提示した作業手順どおりに作業する、といったプロセスが必要とされる。また、現場作業者は、各工程における作業結果や作業者名などの必要情報を適切に記録することが求められる。こうした記録は品質記録として保管し、必要に応じて開示できること、すなわち、製造に関する「トレーサビリティの確保」が必須となる。

#### (ii) 課題

既に述べたように航空機製造の現場は大規模・複雑系であり、工場内には常時数十万点の部品が存在し、数万通りのルートで流れている。膨大な数の物品に対し、従来から大量の紙媒体を人手で繋ぐことで技術情報のフローダウンを成立させてきたが、設計変更や工程変更など、変更時の内容反映や情報管理に多大な労力を要していた。また、トレーサビリティは紙面で確保されているものの、情報が必要になった場合は無数にある紙の中から所望の情報を探し出す必要があり、情報開示のスピードの面で難があった。

#### (iii) 解決方針

上記のような状況に対し、「Smart-K」プロジェクトでは膨大な量の情報をより迅速かつ確実に扱えるように、紙情報をデジタルデータへ転換することを考えた。本件においては、設計出図から生産実行までの幅広い業務において、億を越すレコードが生成されると予想される。適切なデータ管理を行えるようにまずは既存の業務プロセスの課題を把握し、あるべき業務プロセスを策定して要件を整理することから始めた。対象とする業務プロセスは優に100を越えるが、関連部門の担当者を交えた協議を行い、必要なデ

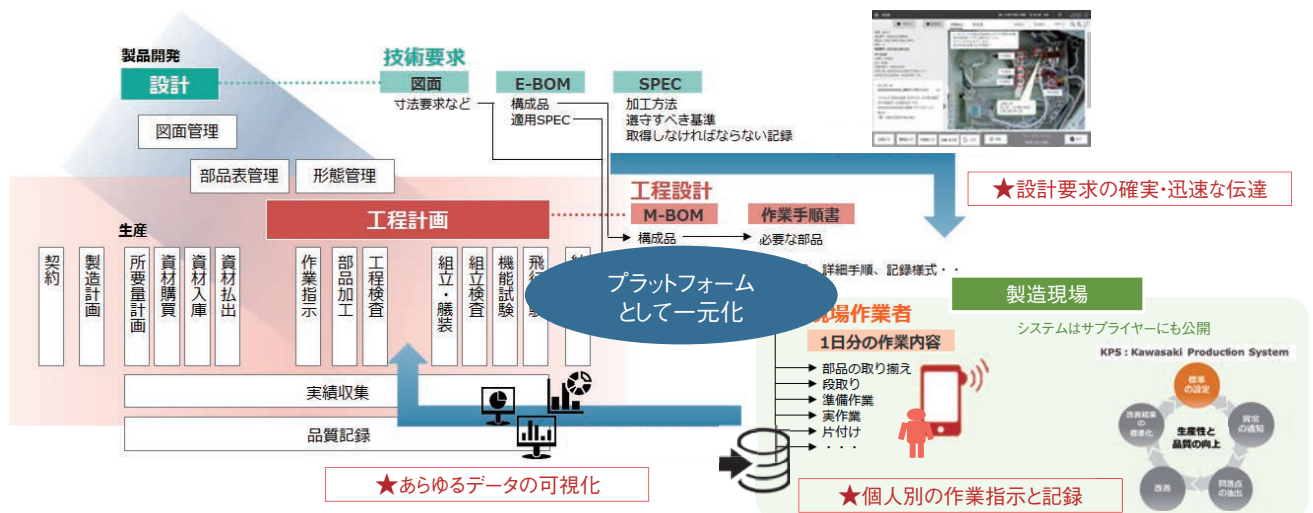


図1 「Smart-K」のコンセプト  
Fig. 1 Concept of Smart-K

ータや業務機能を洗い出すことで、図2に示すような、業務に必要なあらゆるデータを集約可能な「統合プラットフォーム」を構築するに至った。

この統合プラットフォームは多数の業務領域をカバーし、千人規模の従業員が利用するものであることから、単一システムでの実装は困難であった。このため、本件では市販パッケージであるSAP S4/HANA Manufacturing for Production Engineering and Operation (PEO) を中核に、統合基幹業務システムERPをはじめとした既存システム群を有機的に連動させる形とした<sup>2)</sup>。PEOは製造に関するデータの一貫性を確保できる機能を持ち、当社の目的に合致するものであったが、導入を検討していた2017年当時は登場したばかりのソリューションであり、世界的にも導入例がなかった。導入にはリスクがあり非常に挑戦的な試みであったが、PEOの標準機能を最大限活用して極力追加開発を避けることで、短期間ながら大規模なシステムを開発することができた。

統合プラットフォームには出図から製造に至る各種データが全て集約され、紐付けられた状態で保管される。このため、数十万点の部品に対して技術要求や変更情報を漏れなく迅速に現場に伝達することが可能である。また、後述するが、統合プラットフォームには現場への作業指示や実績収集に独自の仕組みも組み込んだ。指示と実績の対応関係も確実に担保され、製品を「誰が」「いつ」「どのように」製造したかが一目瞭然となっている。このようにして技術情報のフローダウンやトレーサビリティをより強固なものとすることで、将来の増産に対応できる環境が整った。

(2) 作業指示のデジタル化

(i) 背景

当社では独自の生産方式である「KPS (Kawasaki Production System)」に基づき日々現場改善を行い、生産性向上に努めている。こうした改善サイクルを回すための代表的なツールに「個人別生産管理板」がある。個人別生産管理板は現場作業を一挙手一投足の要素レベルで書き出したものであり、作業を詳細化することで経験の浅い作

業者であっても高い作業効率と品質を確保できるようになっている。また、個人別生産管理板を用いて作業の実績時間を収集し、目標時間との差異を分析するなどして、より良い作業方法を見出していく。当社ではこの個人別生産管理板を用いて、「どの現場も一日として同じ状態は無い」と言えるほどに改善サイクルを回している。

(ii) 課題

個人別生産管理板は現場の製造ノウハウが凝縮されたもので、他社にはない当社独自の強みと言える。ただし、その多くは紙媒体で運用されており、指示の作成や実績の収集に時間を要することから、改善サイクルを回せる回数には限界があった。また、前述した技術情報のフローダウンも必要なため、上位指示である生産技術部門の作業手順と個人別生産管理板の内容を整合させつつ、頻繁に作業内容を更新するには多大な労力が必要となっていた。こうした「改善サイクル」と「厳格な繋がり」の両立は困難で、個人別生産管理を運用する上での大きな課題であった。

(iii) 解決方針

「Smart-K」プロジェクトでは、各職場で利用されている個人別生産管理板もデジタル化し、指示の作成や実績収集の省力化を図った。前述の統合プラットフォームには、個人別生産管理板相当の機能を「生産実行システムMES」としてERPの下位側に実装している。現場の担当者は、MES上で、生産技術者が提示する作業手順の内容と整合を確保しつつ、個人別生産管理板を簡便に作成することができるようにした。また、個人別生産管理板の内容はMES内にマスタデータとして保存され、他社に対する競争優位性として蓄積、ブラッシュアップされていく仕組みである。

作成した個人別生産管理板は、図3に示すように作業者の手元のタブレット端末に投影される。写真や図などのグラフィカルな表示により作業内容が一目で分かり、必要に応じて関連ドキュメントも参照できることから、作業者はミスなく作業することができる。また、タブレット端末から実績情報も簡単に収集でき、統合プラットフォームに蓄積されるため、作業効率なども即座に評価できる。他にも、

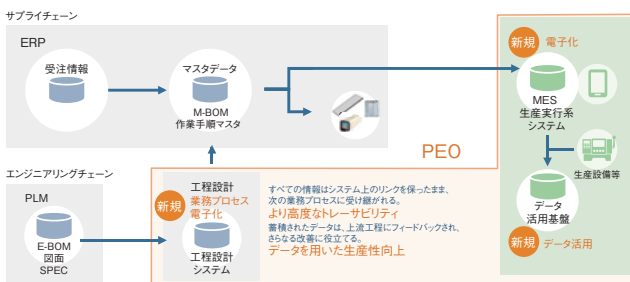


図2 統合プラットフォーム  
Fig.2 Integrated platform



図3 個人別生産管理板  
Fig.3 Detailed work instructions for individual workers



図4 経営層向けダッシュボード  
Fig.4 Dashboard for management

作業者の気づきやノウハウは写真やメモで記録でき、作業の実績時間と気づき事項を複合的に分析することで、改善をより早く、深く行えるようになった。

このようにして航空機製造に求められる「厳格な繋がり」を保ちつつ、高速に「改善サイクル」を回せる状態を実現できた。

### (3) あらゆるデータの集計・可視化

#### (i) 背景

これまで工場内のデータの収集・蓄積を中心に論じたが、品質向上や生産性向上のためには蓄積されたデータの活用が重要となってくる。製造現場においても、今後はベテランの経験や勘などの主観的な判断から、データに基づいた客観的な判断への転換が求められる。

#### (ii) 課題

航空機製造の現場には無数の人・もの・設備が存在し、これまで工場内の状況を正確に把握するのは非常に困難であった。また、従来は各部門で個別にデータ収集・分析を行っていることが多く、局所最適な判断がなされるといった懸念もあった。

#### (iii) 解決方針

繰り返しになるが、統合プラットフォームに工場内のあらゆるデータが集約され、いつでもアクセスできる状態になった。今後はこれらのデータから製品や部署を横断した分析を行い、全体最適な判断を実現することで、工場の実力をより高めるためのアイデアや、今までにない気づきを得られると見込んでいる。

データの利活用は、まずは蓄積データの可視化から進めた。たとえば、製造進捗のリアルタイムモニタリング機能が実装済みであり、現場に出なくとも製造状況を把握可能になっている。こうした可視化の範囲を広げ、ゆくゆくは生産活動全体の可視化する。また、可視化だけでなく、経営層向けの分析にも取り組んでいる。生産活動から得られ

る情報を工場操業や経営視点のKPI (Key Performance Indicator) に成形し、図4に示すような上位層の判断支援を行う仕組みを構築している。今後も経営に資する情報を提供し、データドリブンな経営を実現する。

分析・可視化の先には、データのより能動的なフィードバック、すなわちAIなどによる工場のコントロールや最適化を行っていく予定であり、このような活動を通じてリードタイム短縮やコストダウンを図り、他社にない高効率な工場に発展させていく所存である。

## あ と が き

「Smart-K」プロジェクトは大規模で複雑な航空機製造の現場を対象にしたDX活動であり、統合プラットフォームを構築することで品質確保や生産性向上といった各種課題を解決した。構築した仕組みは「BK117」や「B787」などの一部機種を対象に運用中であり、今後は他機種への適用展開を進めていく。また、「Smart-K」プロジェクトの理念やベストプラクティスを他製品の工場にも横展開し、社内のスマート化を進めていく。

## 参 考 文 献

- 1) 一般財団法人 日本航空機開発協会, 民間航空機に関する市場予測 2020-2040 (2021)
- 2) SAP S/4HANA Manufacturing for Production Engineering and Operationsで設計と製造をデータ統合, “航空機製造にDXを起こす川崎重工業のチャレンジ” JSUG Conference 2019 (2019)



酒井 亨



清家 嘉昭



飯田 健太



小川 裕貴



鈴木 倫太郎



石井 陽真

# フレキシブル生産を支える革新生産システムの構築

## Establishment of an Innovative Production System to Support Flexible Production



松本哲征①	Noritomo Matsumoto
森脇大輔②	Daisuke Moriwaki
内藤紀幸③	Noriyuki Naito
大島修④	Osamu Oshima
片山裕典⑤	Hironori Katayama
秋川拓也⑥	Takuya Akigawa
林田好輝⑦	Yoshiteru Hayashida
西岡正行⑧	Masayuki Nishioka

競争の激しいグローバル市場で競争優位性を確保するため、全体最適を指向した高品質・短納期生産をKPSとデジタル技術の融合で支える革新的な生産システムを開発・導入して、リアルタイム調整を可能とするフレキシブル生産を支えるスマートファクトリーの実現を目指し、「革新生産システム」を構築した。さらに溶接施工管理システムと連携させ、人・もの・設備と情報をフル活用できるようにした。

In order to gain a competitive advantage in the increasingly competitive global market, we have developed and deployed an innovative production system for supporting high-quality and quick-delivery production aimed at overall optimization, with the combination of the Kawasaki Production System (KPS) and digital technologies. We have established this innovative production system with the aim of realizing Smart Factory, which supports flexible production that enables real-time coordination. Also, we have connected this system with our welding management system so as to make full use of human resources, materials, equipment and information.

### まえがき

受注激化や経営環境の変化に対応し、市場と顧客の要請に応えながら、高品質で短納期の生産を行いつつ、コストダウンと収益性向上を実現する必要がある。

### 1 背景

ものづくりのための正確な情報をフル活用してリアルタイム調整を可能とする高度なフレキシブル生産システムを確立することが不可欠となってきた。そこで、当社は製造に関わる人・もの・設備・工程・要領などの情報（ビッグデータ）をシームレスに取得し、最適な生産を導き出す「革新生産システム」を構築することにより、他社を凌駕するスマートファクトリーの実現を目指している。

活用する仕組みを整備することで生産効率を高め、ジャスト・イン・タイムに生産することで、リードタイムを短縮していこうとするものである。すなわち、生産管理・工程管理・品質管理などの工場管理の向上により得られる利益を追求し、ものづくりを改善・改革して、この見えていない利益を獲得することにある。この利益の1つは、生産のムリ・ムラ・ムダに隠されており、生産現場に潜むムリ・ムラ・ムダを見つけ解消できれば利益を得られる。ムリとは、飛び込み／割り込み、非科学的な作業時間での仕事を生産現場に強いるもので、これをやれば生産現場の生産効率は極端に悪くなる。ムラとは、生産する毎に品質や工数がバラツクことで、このバラツキを低く抑えることで利益になる。そしてムダとは、ロスのこと、生産現場においては時間のロス、材料のロス、不良のロスなどがあり、これらのロスを抑えてものづくりができれば利益になる。

#### (1) KHIの生産方式 (KPS)

当社では、ものづくりに関わるすべての現場でKPS (Kawasaki Production System) を推進している。KPSの基本思想は、「あるべき姿」を目標に、人・もの・設備に関わる全てのムダを徹底的に廃除することに努め、フルに

#### (2) デジタル技術の進化

近年、ものづくりに革新的なデジタル技術が芽生えてきた。それはクラウド技術であり、またAI (人工知能) の技術である。クラウド技術を使ったサプライチェーン管理においては、手間なく瞬時に部材の位置や状態が把握でき

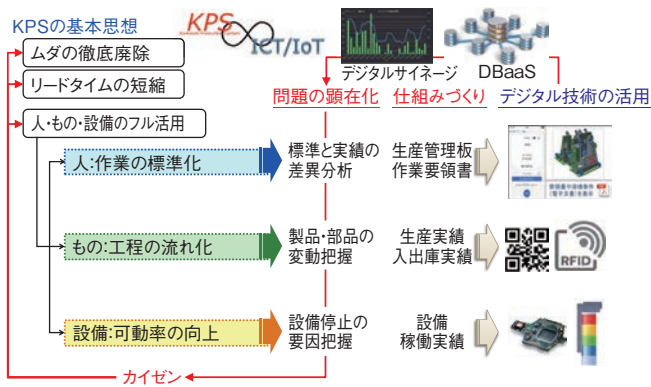


図1 KPSとデジタル技術の融合  
Fig. 1 Integration of KPS and digital technologies

るようになり、また、AIを搭載したマテリアル搬送機器によって、受注仕様毎に異なる部材の自動搬送ができるようになる可能性が見えてきた。

当社でも、きめ細かな作業をビジュアルで指示する電子生産管理板を中心に、もののデジタルID化、設備の稼働や挙動のデジタル数値化を実現するための要素技術開発を続けている。

### (3) KHI版スマートファクトリーの構築に向けて

KHI版スマートファクトリーは、図1に示すようにKPSとデジタル技術を融合することで実現する。

当社では、生産システムの中核を担う基幹システムを新たに構築する「Smart-K」のプロジェクトを進めているが、より短期間・低コストで実現するため、既存の基幹システムを活用して実用性のある機能群を追加することにより「革新生産システム」を開発することにした。

## 2 「革新生産システム」の開発方針

当社のエネルギーソリューション&マリンカンパニーでは、艦艇・タービン・ディーゼル・水力・空力・ガスエンジンの6製品/3工場（製缶、機械、組立）にて変種変量の混流生産が行われており、これまでは「複雑なものの流れ」を「多種多様な作業指示」によってそれぞれの工場で管理されていた。

将来に向けた“ものづくり力”強化による製品競争力を得るべく、全体最適を指向したリードタイムの最適化、人・もの・設備のフル活用や工場内納期や客先納期を遵守するための仕組みの強化として、「個別受注生産におけるKPSの推進」と「デジタル技術を活用した工場管理の高度化」を協同・協調実施し生産性向上を図ることにした。

KPSの推進によるものづくりの改善・改革は非常に早く、これに追従すべく、アプリケーションの機能追加やリリースもより迅速に行われることが求められた。こうした要求

に対応するために開発～リリース～改善までのサイクルを短期間で繰り返していく「アジャイル開発」と、複雑なアプリケーションを機能ごとに効率よく開発する「マイクロサービスアーキテクチャー」の開発思想を先行的・積極的に取り入れた。

### 3 「革新生産システム」の開発項目

「革新生産システム」は図2で示す各アプリケーション（ATOM, Swallow, OWLなど）の組み合わせにより構成しており、以下のようなアプリケーションを開発した。

#### (1) 基幹システムの一元管理機能（ATOM）

既存基幹システムにKPS推進により整理された標準・基準データを一元管理するための機能。

#### (2) 日程計画の立案支援（Swallow）

各工場の日程計画を一元管理・運用する新しい業務を確立し、これに応じた一環整合性のある生産計画線表/中日程/小日程を立案する機能。

#### (3) 電子個人別生産管理板（OWL）

基幹システムに登録された標準・基準データと連携したデジタル作業指示や作業実績を記録する機能。

#### (4) 生産状況のリアルタイム可視化（Eagle）

作業指示データや作業実績データを収集・蓄積し、工程進捗や設備稼働状況など多目的に可視化する機能の導入、及び、作業時間分析や差異理由把握などKPS改善活動に直結した機能。

#### (5) 統合データベースによる情報一元化（Nest）

生産管理/工程管理/日常管理に関わる全てのものづく

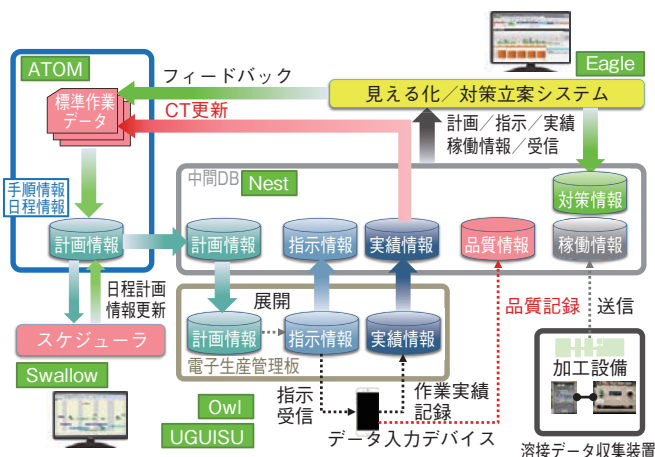


図2 革新生産システムの概要  
Fig. 2 Overview of innovative production system

り情報を一元管理するためのデータベース群。

(6) 作業進捗を可視化するアンドン (UGUISU)

作業員毎の作業の進捗と残作業に要する時間を表示することにより、監督者がリアルタイムで進捗を管理できる機能。

4 「革新生産システム」の導入成果

生産システムの見える化や改善活動サイクルの迅速化を可能とするスマートファクトリー基盤を構築することができた。

たとえば、「電子生産管理板 (OWL)」は、**図3**に示すように作業員1人1人の1日分の作業指示および作業実績を記録する機能を担い、多品種少量生産に柔軟に対応できるようになった。当社工場で取り扱う製品群の中にはお客様ごとに製品形状が異なる「一品一様製品」、年間に数回繰り返し生産する「繰り返し製品」などがあり、それぞれにもものづくりの特徴がある。一品一様製品には長期間のリードタイムを適切な長さの工程に分割し作業指示を行う機能が必要であり、カレンダーベースの工程表をイメージしたインターフェースを提供する。また繰り返し製品の中には複数人の共同作業の分担が決まっている製品があり、組立作業においては複数人の作業の組み合わせ表をイメージしたインターフェースを提供する。特に機械加工工場では一人が複数設備を同時に稼働させる多台持ちに対応する必要があり、また昼夜勤シフトを行っているため、昼勤者と夜勤者の間で作業を引き継ぐ機能が必要となる。さらに製品を製造するための直接作業以外に朝礼や設備点検作業など毎日実施する間接作業の指示を行う定例作業指示機能が必要となる。1分以下に細分化された作業指示内容を一瞬で理解できるようにするため、文字ではなく写真や図を使用した電子作業要領書を表示する。

また、「生産状況可視 (Eagle)」は前述の電子生産管理



図3 電子生産管理板 (OWL)  
Fig. 3 Electronic production control board (OWL)



図4 ムリ・ムラ・ムダの可視化 (Eagle)  
Fig. 4 Visualization of muri (Unreasonableness), mura (Inconsistency), and muda (Waste) (Eagle)

板 (OWL) で記録した作業実績を集計しグラフ化するBIツールとしての役割を担えるようになった。製品・工程・手順・作業といった大きさの異なる単位で作業時間を集計するドリルダウン機能を備えることで、さまざまな角度から実績を評価して問題点を顕在化することができる。また、作業の目標時間と実績時間の比を「達成率」という指標で評価し、各作業の問題点を見つけやすくするために達成率順に並び替えるとともに、予定されている作業量と完了している作業量を比較することで作業進捗を把握することができる。

これらによって、KPS日常管理や電子生産管理板による作業指示と作業実績収集、**図4**に示すように、そのデータの可視化による改善活動のPDCA手法が標準化され、誰もが高度な改善を実行できるようになった。改善手法が高度化されるとともにPDCAを回すスピードも向上し繰り返し改善を実施することでアウトプットレベルも向上した。現場監督者は作業員に1日分の詳細な作業指示を行い、作業員は迷うことなく指示された手順通りに作業を実施できるようになり、標準作業時間からのズレである差異を達成率という明確な数値で評価することで作業の中に発生した問題を即座に見つけ、その原因を究明し、対策を講じることで作業の中に潜んでいたムリ・ムラ・ムダを廃除することができるようになった。

このように、従来の改善は監督者のスキルに依存しており属人的改善であったが、改善ツールをデジタル化することで改善方法が標準化され、誰でも高いレベルの改善を実行できるようになった。

5 溶接施工管理システムとの連携

「革新生産システム」で実現した工程・作業へのデジタル技術の活用に加え、KPSのもう一つ要素である設備についても、**図5**に示すように、溶接施工管理をデジタル化して「革新生産システム」と連携させることにより生産シス

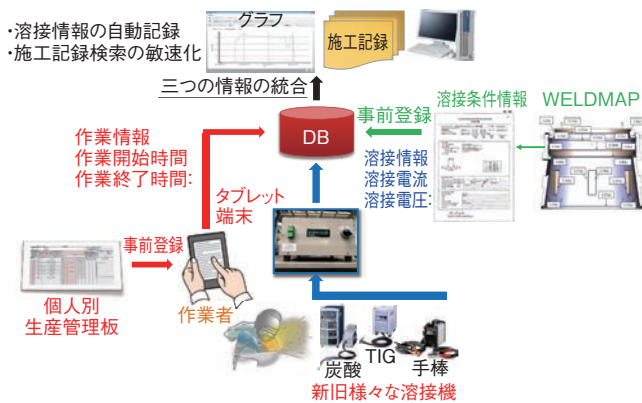


図5 溶接施工管理システムとの連携  
Fig. 5 Connection with welding management system

テムでデータを活用できるようにした。

複雑な溶接施工条件での高度な品質要求に対応すべく溶接施工管理の抜本的改革を進めた。革新生産システム導入前の手作業・手書きによるマニュアル管理から溶接機から発生するさまざまな情報をデータで収集し、デジタル化による自動記録に随時移行して作業管理の効率化を図った。当社が開発した溶接データ収集システムは、溶接機からデータを取り出す溶接データ収集装置（SB：Sensor Box）、溶接機データと作業実績データを収集し、溶接施工記録として蓄積・可視する品質管理機能、溶接作業者に溶接個所や溶接要領を指示する電子生産管理板（OWL）の3つを組み合わせでシステム構成した。

このシステムの導入により以下が実現できた。

#### (1) 溶接情報のデジタル保存

これまで紙に手書き記入していた「溶接施工の記録」に必要な溶接情報をデジタルで保存。

#### (2) 溶接条件の逸脱の通知

溶接電流等の溶接条件が溶接施工範囲から逸脱した場合に施工者に瞬時に通知。

#### (3) 溶接データの自動収集・送信

溶接電流値・溶接電圧値・溶接ON/OFF信号は溶接機から、それ以外の作業員ID・製造番号・継手番号などはバーコードにより取得し、収集したデータを無線LANにより上位側の保存・表示アプリに送信。

#### (4) 可視化による品質管理

溶接データ収集装置本体から送信されたデータをデータベースに逐次登録しつつ、溶接電流値・溶接電圧値をリアル

タイムに可視化する。また、「溶接施工の記録」に必要な溶接情報を電子データとして保存し、指定の溶接条件記録表に溶接データを自動マッピング。

## あとがき

「革新生産システム」の構築と導入を通じてスマートファクトリーの基盤技術を確立・拡充し、これの横展開を図ることで、KPSの理念である「人・もの・設備のフル活用」に加え「情報のフル活用」を追求し、一層の深化を進めるべく具体的な案件を対象とした仕組みを整備した。

現在、生産現場データの収集・蓄積では、実際の生産現場を対象に、もののID化（デジタル化）や設備稼働データ取得など生産現場の人・もの・設備の情報を収集する環境を整備し、標準化／モジュール化を行うことで導入の迅速化・低価格化を実現する横展開可能なスマートファクトリー基盤の拡充を進めている。構築した環境により収集・蓄積された生産実績データは、進捗状況のフォローや生産最適化に活用することが可能であり、対応の迅速化やリードタイム短縮といった効果が期待できる。

今後も、これらのものづくりのデジタル技術を高度化させるとともに、適用拡大を推進することで、人・もの・設備といった現有リソースを最大限に活用し、KPSの一層の推進に貢献していく所存である。



松本 哲征



森脇 大輔



内藤 紀幸



大島 修



片山 裕典



秋川 拓也



林田 好輝



西岡 正行



# AI・最適化技術を用いた製造データ活用による生産性向上

## Utilization of AI and Optimization Technologies for Productivity Enhancement with Manufacturing Data



本 多 文 博①*	Fumihiro Honda
鈴 木 倫太郎②	Rintaro Suzuki
寺 岡 諒 祐③	Ryosuke Teraoka
保 川 拳 人④	Kento Yasukawa
後 藤 祐 輔⑤	Yusuke Goto
厚 坂 裕太郎⑥	Yutaro Atsusaka
船 津 大 海⑦	Hiroumi Funatsu
齋 藤 優 志⑧	Yushi Saito

ビジネス展開の不確実性が高まっており、製造業として生き残っていくためには、社会環境の変化に迅速かつ柔軟に対応可能な製造現場が必要である。AI・最適化技術により、作業着手順序の最適化や作業品質の高度化など、現場状況に応じた判断が可能となる。これらの技術を適用して業務プロセスを変革し、熟練者依存からの脱却やリードタイム短縮などの生産性向上を達成した。

Uncertainty in business is increasing. In order to survive as a manufacturer, we are required to have manufacturing floors that can respond promptly and flexibly to changes in the social environment. AI (artificial intelligence) and optimization technologies have allowed us to make decisions based on on-site conditions, such as optimizing work sequences and boosting work quality. By applying these technologies, we have successfully eliminated dependence on skilled workers and have raised productivity, including reducing lead times, through reforming work processes.

### まえがき

近年、激変する社会環境により今後のビジネス展開の不確実性が高まっており、変化に迅速かつ柔軟に対応しながら生産性向上を実現できる競争力のある製造現場が必要とされている。

### 1 背景

インフラ整備などに伴い、最近では比較的容易にビッグデータを蓄積可能な環境が整いつつある。また、AIやデータ分析技術は急速に発展を遂げて高度な判断が可能となってきており、現場の生産性向上に向けた活用事例が多数報告されている<sup>1)</sup>。当社製造現場においてもデータ収集・蓄積の取組みが進んでおり、見える化や業務自動化などの仕組みができつつある。

### 2 データ利活用による生産性向上

データ利活用技術は、近年ではデータ分析環境の充実・低価格化により導入の敷居は低くなっている。しかし、生産現場のあらゆる課題解決に適用可能な画一的なデータ分

析手法は存在せず、解決策の提案には統計学や機械学習などデータ分析に関する基本知識を持つデータ分析者が必要である。

一方で、データを利活用して実際に生産性向上に役立てるには、単にシステムを導入するだけでなく、現状の課題を深く理解してあるべき業務プロセスを定義し、それに向けて変革を実行することが必要である。このため、データ分析者には、単にデータサイエンス技術の理解だけでなく、現場担当者とともに業務の理解を深めて真の課題を把握し、その解決策を提案する力が求められる。

当社では、データ分析者が製造現場の担当者と密接に協力することで課題を把握し、データを使ってその解決策を見出すことで、工場レイアウトの立案や生産計画の最適化<sup>2)</sup>などさまざまな取組みを進め、生産性向上につなげてきた。

### 3 取組事例

データ利活用による生産性向上の最近の取組事例として、標準作業からの逸脱をリアルタイムで防止する検知システム、組立ラインへの投入順序を自動で最適化する計画システム、大規模工場のリードタイムを短縮する生産管理手法を示す。

## (1) 標準作業からの逸脱をリアルタイムで防止

### (i) 課題

当社精密機械ディビジョンでは、建設機械などに使用される油圧機器を製造している。製造現場では、作業の標準化を徹底して安全と品質を確保した上での生産性向上に取り組んでいるが、激しい需要変動に追従するためには作業員数を増減せざるを得ず、頻繁に作業員が入れ替わってしまっていた。このため、作業に不慣れな新人作業員が、標準作業から逸脱（異常作業）し、それが災害や品質問題の誘発、生産性の低下につながっていた。

この対策として作業現場にポカヨケを導入したり、カメラを導入して作業状況を録画したりしている。ただし、ポカヨケは信号を出力できないツールを使う作業には適用が難しい、録画の確認では原因となる異常作業の発生をリアルタイムで検出できず事後対応になってしまう、といった問題がある。

図1に示すジョイスティック型の電気リモートコントロールユニット（電気ジョイスティック）の組立職場は混流フローライン形式となっており、複数名の作業員が作業ステージ上で子部品の取付け・ネジ締め・グリス塗布などの一連の標準作業を繰り返し実施している。本工程では、工具と連動した作業指示システム<sup>3)</sup>を導入済みであり、作業要領を提示して規定された標準作業を着実に実行しているが、機械的に作業完了を検知することが困難な「グリス塗布」や「接着剤塗布」作業では押しボタンで作業完了を入力しており、作業忘れや塗布過剰などのヒューマンエラーを完全に防ぐことはできていない。

### (ii) 解決方針

現場に導入されたカメラが出力した動画を利用し標準作業からの逸脱をリアルタイムで自動的に検知してアラームを出すこととし、AI技術を適用して自動検知技術の開発に取り組んだ。

動画データから画像を抽出し、「接着剤表面塗布作業」「接着剤裏面塗布作業」「その他作業」の3つのラベル付けにより教師データを準備して、事前学習済みモデルを使って画像分類AIモデルを作成した。さらに、作業動画を0.1秒



図1 電気ジョイスティックの組立  
Fig.1 Assembly of Electric Remote Control Unit

間隔で切り出し、構築したモデルによりそれぞれの瞬間の作業種別の分類を行った。その分類結果を時系列でグラフ化したものを図2に示す。この結果から、事前に標準作業を実施した場合の作業種別の推移（標準シーケンス）を定義しておき、判定結果が標準シーケンスどおりかどうかを監視することで、異常作業をリアルタイムで検知可能なことがわかった。

そこで、事前検討を実施して教師データとモデルのチューニングを行い、判定精度の向上に取り組んだ。その結果、複数の作業員による1,000以上のワークの作業動画に対して、異常作業を正常と判断してしまう見逃し率0%、正常作業を異常と判断してしまう誤報率5%以内が達成できた。

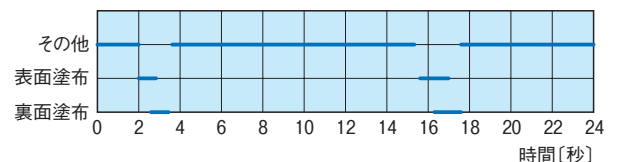
### (iii) 成果

2021年4月にシステム化を実施し、以来1年以上運用を継続している。本システムにより、現場では作業ミスの発生をカメラによりリアルタイムで検知できるようになり、品質および生産性の向上に寄与している。また、本システムは作業ミスの検知による品質向上以外に、作業時間が標準時間を逸脱しているケースを検知してその原因追及・対策を実施することで現場改善につなげることも可能であり、改善に向けたトライも実施中である。本システムは標準化されたあらゆる繰り返し作業に比較的簡単に展開可能なため、現在社内でも横展開を進めている。

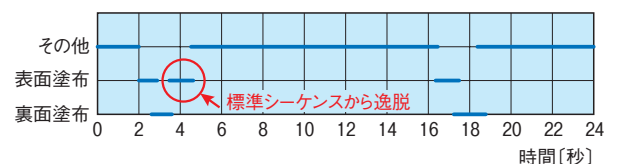
## (2) 組立ラインへの投入順序を自動で最適化

### (i) 課題

当社ロボットディビジョンでは、市場からのさまざまな需要に対応するべく、数百もの製品ラインナップを取りそろえており、工場の組立ラインでは多品種少量の混流生産を行っている。こうした混流生産のラインにおいては、ワークを適切な順序で投入しなければ、設備・治具の競合などによる手待ちが発生し、結果として納期遅延や残業の発生を招く恐れがある。このため、熟練の計画担当者が日々



(a) 正常作業



(b) 異常作業

図2 AIによる作業分類結果  
Fig.2 Work classification by AI

適切なワークの投入順序を計画することで対応している。しかし、適切な投入順序を計画するためにはライン内の機種ごとの作業負荷・設備の構成・治具の数などのさまざまな要素を考慮する必要があり、現時点では限られた担当者しか計画できず内容が属人的になっていること、計画立案に日々長時間を要していることが課題となっていた。

(ii) 解決方針

安定した生産を継続するため、経験の浅い担当者でも短時間で投入順序を計画できるようにすることを目的に、最適化技術を用いた投入順序計画の自動化に取り組んだ。対象は、図3に示すような汎用大型ロボットの組立職場で、組立ラインと運転検査ラインが直列に接続された混流フローライン形式で生産している。

本職場で扱う機種のオプション構成や仕様は客先要求に応じて激しく変動するため、機種・作業ごとに標準作業時間を維持・更新することが困難である。また、単純に最短時間で完了すればよいわけではないため、標準作業時間マスタに基づき最適解を数学的に計算するアプローチは困難であり、詳細なマスタデータのメンテナンスが不要な方法を検討した。

熟練の計画担当者から投入順序計画方法をヒアリングしたところ、計画担当者は頭の中でいくつかの遵守すべきルールを定義し、投入順序を評価していることがわかった。そこで、それらの投入順序に関するルール（以下、投入ルール）をリストアップし、各項目の重要度を数値化することで、計算機で処理できるように整理した。さらに、それぞれの投入ルールについて、違反した場合は所定の違反点を課し、違反点の総和を最小化するような投入順序を遺伝的アルゴリズムにより決定することとした。これにより、熟練の計画担当者の思考をロジックに落とし込み、熟練者同様の考え方にに基づき自動で計画立案ができるようになった。

当初は熟練担当者の計画と大幅に異なる計算結果が出力されていたが、熟練担当者とともに投入ルールの設定・見直しを進めたところ、熟練担当者が1時間で作成した投入順序とそん色ない結果が5分以内に得られるようになった。

これによりロジックは確立できたが、熟練担当者は機種

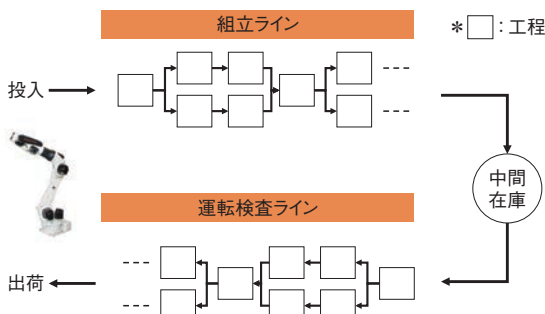


図3 ロボットの生産ライン構成  
Fig. 3 Production line configuration using robots

の仕様変更など環境の変化に応じて自ら投入ルールを修正しており、システム化にあたっては環境変化に対応できる柔軟性が必須であった。そこで、投入ルールを再整理したところ、投入ルールは特定のパターンに分類が可能であり、それぞれパラメータ表現が可能になったことがわかった。そこで、投入ルールを抽象化して、画面設定により自由に追加・修正可能な製品投入順序最適化システムを開発した。システム概要を図4に示す。

(iii) 成果

本システムは、2021年4月に実用化し、以来1年以上運用を継続している。本システムの導入により熟練者が不在の状況でも短時間で計画立案できるようになり、生産数量の安定化に寄与している。また、投入ルールを自由に追加・修正できるようにしたことによってプログラミング専門知識を持たない担当者でも柔軟に変化に追従できるようになっただけでなく、他ラインへの横展開も容易となっており、現在対象職場を拡大中である。

(3) 大規模工場のリードタイムを短縮する生産管理手法

(i) 課題

航空宇宙ディビジョンでは、量産部品から年間数個の特殊部品まで多種多様な部品を生産している。寸法・数量の異なるさまざまな部品が、機械加工・手作業工程・表面処理・塗装など複数の工程を経て製造されるため専用ライン化が困難であり、図5に示すようにジョブショップ生産方式により部品がさまざまな職場を渡り歩くことで部品製造を行っている。職場は数百、部品が渡り歩くルートは年間数万通り、生産要求は常時10万以上と非常に大規模かつ複雑なため、リソース状況を考慮した詳細な生産計画の立案が困難であり、無限能力を前提に標準リードタイムに基づき定めた全体計画を参照しながら、各職場にて日々の作業計画を立案していた。しかし、繰り返し性のある量産系部品と繰り返し性のない一品系部品が混在していること、不良の発生や特急品処理などの対応が頻発すること、などから職場間で欠品や過剰在庫が発生するという課題を抱えていた。

(ii) 解決方針

大規模工場において、比較的簡単にリードタイム短縮・

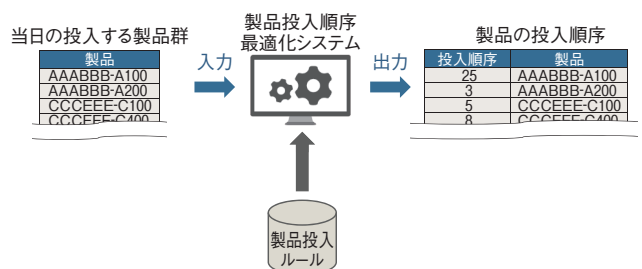


図4 投入順序最適化システム  
Fig. 4 Production sequence optimization system

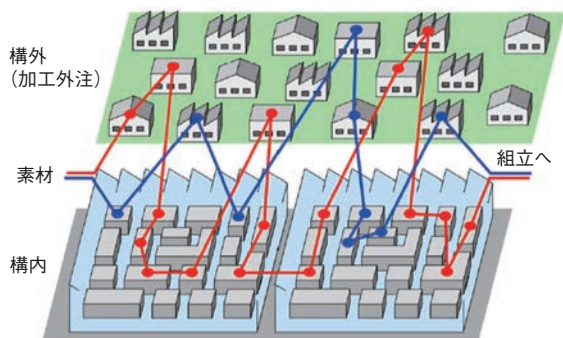


図5 航空機部品の生産方式  
Fig. 5 Production system for aircraft parts

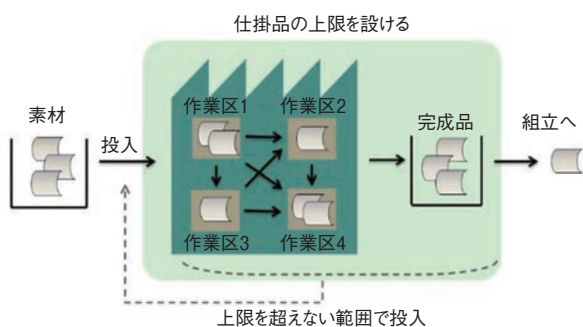


図6 CONWIP生産手法  
Fig. 6 CONWIP production method

納期遵守確保を実現する方法として、工場に投入する素材の量を制御するとともに、優先度を指示して納入リードタイムを調整する投入管理手法がある<sup>4)</sup>。代表的な手法として、図6に示すような工場内に存在するワークWIP (Work In Process) の数に上限を設けて、工場への素材投入量を制限するCONWIP (CONstant WIP) 手法が知られているが、本手法は量産系部品にしか適用できないという制限があった。そこで、本手法に対し、部品を限られた数のグループに分類してグループ単位で素材投入量を制限する、量産系部品はWIP数量で、一品系部品はリードタイムを基準として優先度を算出する、といった改良を実施した。これにより、量産系部品と一品系部品を同列に扱って投入タイミングを判断可能な投入ロジックを構築できた。

### (iii) 効果検証

構築したロジックに基づいてシミュレーションを行い、その効果を検証したところ、WIPを20%減少させた場合、出来高をほぼ同等に保ちつつ、リードタイムを15%削減可能であることが確認できた。これを受けて、2022年度中に一部工場に試験適用し、検証を進めていく予定である。

航空宇宙ディビジョンでは、「Smart-K」によりエンジニアリングチェーンとサプライチェーンの業務プロセス全体のデジタルによる統合を進め、現場のさまざまなデータが取得可能なスマートファクトリーを実現している。今後、これらのデータを活用し投入管理を適用することで、リー

ドタイムを削減して経営に貢献していく。

## あ と が き

DXの波は今後ますます拡大し、製造現場の隅々までデジタル化されていくと想定される。一方で、現場の課題をデータ活用により解決し、業務改革や新たな価値の創造につなげるためには、現場とデータ分析技術のマッチングが可能なデータ利活用人材が必要である。このため、引き続き、現場担当者とタッグを組んで課題に取り組みながら、データ利活用人材の育成を進めていく。また、データ利活用を最大限に活用するためには、成功事例を単なるケースワークに止めることなく、仕組み化してより多くのケースで実践できるよう拡大していくことが必要であり、これまでの知見を活かして仕組みを整えて発展させていく所存である。

## 参 考 文 献

- 1) 経済産業省：ものづくり白書 (2021)
- 2) Y.Ishii, N.Nakamura, Y.Nagao, F.Honda: "Production Efficiency Improvement method for One-of-a-kind product by using a discrete-event production simulation", Proceedings of 2018 International Symposium on Flexible Automation (2018)
- 3) 太田 (英明), 細見, 菅谷, 高木, 本多, 河上, 太田 (徹): "生産工程における作業支援技術", 川崎重工技報, No.164, pp.14-17 (2007)
- 4) Hermann Lodding, Handbook of Manufacturing Control, Springer (2011)



本多 文博



鈴木 倫太郎



寺岡 諒祐



保川 拳人



後藤 祐輔



厚坂 裕太郎



船津 大海



齋藤 優志

# XR技術によるものづくりの変革

## XR Technology Brings about Innovative Changes in Manufacturing



志子田 繁 一①	Shigekazu Shikoda
岩本 雅 弘②	Masahiro Iwamoto
道上 雅 史③*	Masashi Michiue
森 堅 吏④	Kenji Mori
桐生 大 輔⑤	Daisuke Kiryu
西岡 航 太⑥	Kota Nishioka

顧客ニーズの多様化により製品仕様や製造工程は複雑になり、同時に技能伝承が問題となっている。そのために社内外とのコミュニケーションと部門間連携の深化・品質確保・コスト削減・納期遵守のさらなる向上が求められる。この課題を解決するため、デジタル化により得られる3Dモデルデータを用いたXR技術の活用によりコミュニケーションを活性化し、業務を標準化・非属人化することを目指している。

As customer needs are diversifying, product specifications and manufacturing processes are becoming increasingly complicated, and at the same time, the passing on of skills by experienced workers has become an issue. Therefore, we are required to further promote the deepening of internal and external communication, as well as further improving interdivisional cooperation, quality assurance, cost reduction, and compliance with delivery dates. To solve this challenge, we are working to stimulate communication through the utilization of XR (Extended Reality) technology using 3D model data obtained through digitalization, with the aim of standardizing our work and eliminating the dependency on specific individuals.

### まえがき

近年、顧客ニーズは多様化しており、メーカーとして顧客のさまざまな要求に答える製品を市場投入していく必要がある。

### 1 背景

顧客ニーズの多様化に対して、我々メーカーは顧客のことをよく知る必要があり、ユーザとのコミュニケーションが重要になる。また当社製品は量産系製品から個別受注製品まで幅広い製品群を持つが、各工程での品質確保(Q)と業務効率化によるコスト削減(C)、納期遵守(D)が重要である。そのために、これまで以上に業務プロセス改善や作業の標準化が必要となる。技能伝承問題に対しては、ベテランと若手のコミュニケーションを密にすること、ベテランの業務を定量化・標準化することによりデータ化することで技能を非属人化することが必要である。

### 2 XR技術による課題解決の方針とプロセス

このような課題を解決する手段としてデジタル技術の活用、いわゆるDXの推進が考えられる。たとえば製品情報・

製造情報・技術情報だけでなく、これまでデータ化が困難とされていた人の動作や技能をデジタルデータ化できれば定量的表現が可能になる。これにより業務プロセスを可視化して改善を深化させ、非属人的な標準化を実現できる。一方でデジタルデータを各工程で一貫して活用することで、各部門さらにはユーザとのコミュニケーションも活性化し深化できる。その結果、各工程が連携して業務を進めるコンカレントが実現できる。

ものづくりにおいて最も活用されるデジタルデータとして3Dモデルデータがある。3Dモデルデータは主に設計部門が3次元CADで作成し、バリューチェーン各所で利用可能である。3Dモデルデータは製品や製造装置さらに治具などの作業環境も可視化できる。実物の製品が存在しない段階から関係者間でイメージを共有できるので、コミュニケーション活性化と業務プロセス改善には非常に有効である。そして3Dモデルデータにより可視化された情報を、高い現実感で活用する手段としてXR技術がある。

XRとはVR (Virtual Reality)、AR (Augmented Reality)、MR (Mixed Reality) などの総称である。VRは体験者がCGなどで構成される仮想空間内で、実際にその場にいるかのような感覚を得られる技術である。ARとMRは共に同じような技術であり、現実空間に仮想物体や情報呈示を行う技術である。特にMRは提示する仮想物体を、実際の空間

の位置情報を取得することで常に空間内の同じ位置に提示できることが特長である。XRはエンターテインメントや教育・仮想展示などに活用されることが多く、またハードウェア、ソフトウェアは一般に高価で設備も大型であった。しかし近年、ユーザーインターフェースの価格低下や操作の簡易化などにより活用しやすい状況にある。

XRにより作業の事前検証や直感的に理解できる正確な作業指示が行える。例えば、仕損じ低減や生産プロセスの見直し、実際の作業状況の事前検証などは、実施前に仮想体験することでその実効性を確認できる。また開発途上であっても3Dモデルデータを準備すれば、営業・設計・製造・検査・サービスはもとより顧客まで含めて可視化による製品やサービスのイメージ共有が行えるので、コミュニケーション促進が期待できる。当社では過去に人間工学検証とVRを組み合わせた評価手法を開発し、実際に鉄道車両運転席設計に活用した事例がある<sup>1,2)</sup>。この当時はまだハードウェア・ソフトウェア共に高価なために活用の横展開が難しかったが、昨今の低価格化により、XR活用へのハードルが下がっている。

### 3 XR適用事例

以下に溶接作業を行う前に、作業員自身がVRで事前検証することで、作業中に発生するトラブルを削減した事例、MRを用いて作業員が指示書などを手に持たずに複雑な作業を行い、作業効率と品質を向上させた事例、上流工程でXRにより設計効率化を実現した事例を示す。

#### (1) VRによる溶接作業事前検証

##### (i) 背景

エネルギーソリューション&マリカンパニー生産本部では、ガスエンジン・蒸気タービン・空力機械・水力機械などさまざまな製品を製造するための生産技術を開発している。特に溶接作業は製品構造を支える筐体を作るために重要な工程である。従来は設計部門から発行された2次元図面を元に完成状態をイメージしながら作業内容を検討することとなり、作業可能だろうという確信を持ってないまま、製造を開始せざるを得ないこともあった。実際、配管取付作業の際、狭あい部のため取付位置に部品が入らないといったトラブルが発生したこともあり、そのために精度高く作業を事前シミュレーションできないかという課題を抱えていた。また、作業検討の途中で設計変更を依頼したい箇所があった場合、設計部門と上手くイメージを共有できず意思疎通が難しい状況も発生していた。

##### (ii) 対応

そこで図1に示すようにVRにより製品の3Dモデルデータを閲覧できるようにし、VR空間の中で心配な作業箇所を、実際の環境に近い形で作業性を事前確認することで、



図1 VRによる溶接作業事前検証  
Fig. 1 Advance verification of welding work with VR technology

作業可否や困難さを事前に把握し実作業前に改善する方法を考えた。現場作業員からは、作業の流れを事前に体験でき、安心して実作業に取り組みそうだとの好感触を得た。

試適用を繰り返す中で、作業員からより良い改善方法の提案が出されるようになり、VRでの検証が活発になってきたため、VRを行うための専用ルームを準備して、いつでも手軽に検証作業を行う環境を整えた。

たとえば、図2に示すような蒸気タービンの狭あい部での配管溶接作業を検証した際には、当初、想定していたより溶接作業時の視認性が良くないことがVRにより確認できた。そこで、製造側から配管周辺の構造見直しを設計部門に提案し、VRを活用して説明を行った。VRを用いることで設計者も実際の溶接作業の状況を理解することができ、設計変更が適切であると判断をした。さらに、本提案により当初は配管を分割して溶接する計画であったが、その分割をなくすことも可能となった。同部門では一品物製品を多く手掛けるので初めて取り組む作業が多く、実作業前にVRで確認できることは高レベルでの作業計画につな



図2 蒸気タービン（発電用）  
Fig. 2 Steam turbine (for power generation)

がり、生産工程の整流化だけでなく、これまで現物を前に作業計画を検討していた業務の削減に対しても非常に有効で、コスト低減・品質安定化へ寄与することとなった。

VRによる事前検証は設計・製造各部門から好評で、作業計画立案における標準プロセスとして、VR検証目的・タイミング・VR検証手順・判定結果の記録などを業務プロセスとして整理し、標準プロセス制定に向けて取り組んでいる。

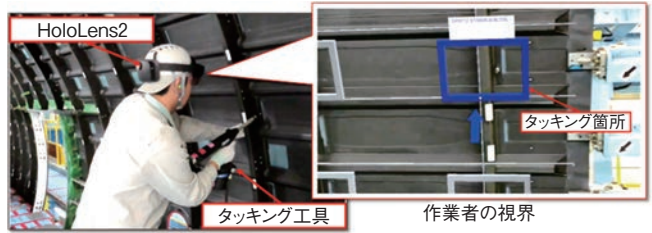


図3 MR作業指示システムによるタッキング作業  
Fig. 3 Tacking work using MR work instruction system

## (2) MR作業指示システム

### (i) 背景

航空宇宙ディビジョンでは民間航空機の前部胴体など主要部品を製作している。さまざまな生産工程の中で、部品取り付けに必要な孔をあける作業がある。ほとんどの孔は自動機で穿孔するが、自動機では対応できない部位は作業者が孔明け作業を行う。孔明け作業には穴位置度と孔品質を確保するためのドリルガイド治具（ドリルプレート）を使用する。ドリルプレートは事前に胴体にあけた基準孔に位置決めピン等で固定する。複数あるドリルプレートを胴体側面に配置するために、従来は半透明のポリエステルフィルム製テンプレートシートを使用している。テンプレートシートは高さ4m、長さ10mあり、治具をかたどった切り欠きがある。作業者は切り欠きに合わせて治具を配置する。テンプレートシートは作成費用が高額で、かつ変更に伴う改修や損傷部の補修を行う必要がある。また設置作業自体は数人がかりで20～30分かかって行うために工数もかかる。このような状況から作業改善を行いたいと考えていたが、テンプレートシートに代わる手段がなかった。

### (ii) 対応

XRが活用しやすくなったので、テンプレートシートに依存しないMRを用いた治具配置作業指示方法を検討した。

MR用：Head Mount Display (HMD) としてMicrosoft社のHoloLensを採用した。HoloLensは透過性のスクリーンに映像を投影することで被験者には現実空間で仮想物体を同時に見ることができる。カメラや各種センサを搭載し、HMDの周囲を計測できるため自己位置情報を取得できる。これにより仮想物体を現物と重ね合わせて表示する重畳を行うことができる。図3に示すようなHoloLensを用いて治具配置位置を指示するMR作業指示システムの開発を行った。

2017年に要素試験を行い、2018年には試作システムを開発した。試作システムにより、HoloLensの表示位精度は基準位置から離れるほど誤差が大きくなり、基準からの距離に対して1%程度の誤差が発生することが分かった。さらに当初採用した初代HoloLensは全重量バランスから、被験者からは装着感が良くないとの意見が多かった。またバッテリー稼働時間も連続2時間程度で実用上懸念された。しかし被験者となった現場作業員からは、胴体上に直接指示が出るので直感的にわかりやすいと好評だった。

2019年には前述の課題の解決に取り組んだ。精度改善のために基準位置を示すマーカを複数配置することで治具配置に必要な表示位置精度を確保した。また2019年末にHoloLens2が発売開始されて、形状変更により装着感が改善された。バッテリー稼働時間は運用方法と複数台運用で対応可能と判断した。併せて生産技術者が指示内容を作成できるように、図4に示すようなMR作業指示作成エディタを開発した。指示製作者はプログラミングを必要とせず、通常の作業指示作成と同様に新しい作業指示を作成できる。

完成したMR作業指示システムはHoloLens2に対応し、QRコードをマーカとして使用する。現場作業員の評価は視野角が広くなり装着感も改善されているためテンプレートシートから置き代えても作業できるという評価を得た。

また、これまでは治具配置作業を念頭に開発してきたが、別の作業への横展開も検討した。フレーム仮結合を行うタッキング作業では、指示された順序に従い胴体内面からタッキング作業を行うが、MR作業指示システムを使うと指示書を見ながら作業する必要がない。そのために作業員は工具のみを手を持つので作業がしやすく、かつ指示内容はHoloLens2越しに胴体壁面に直接指示されて、次の作業位置を矢印で指示するため作業順序を間違えることもない。また一つの作業を完了しないと次の作業に進めないようにチェック機能をつけているので、作業漏れも発生しにくい。今後は検査工程や工作工程へも活用し、適用する機種を増やしていく。さらに作業記録を基幹システムに登録するためのシステム連携も今後検討予定である。今回開発したMR作業指示システムは、全社への横展開を進めている。



図4 MR作業指示作成エディタ  
Fig. 4 MR work instruction editor



図5 共創設計  
Fig. 5 Co-creative design



図6 XRによるマーケットイン型の開発  
Fig. 6 Market-oriented development using XR

### (3) XR活用による共創設計

顧客の多様な要求に応じた製品を生み出すには、設計・開発のみならず企画段階から斬新な案を含む多数のアイデアを検証する必要がある。その活動は場所に縛られることなく、また実物がない状態でも検証を進めていく必要がある。当社では顧客など社外ステークホルダー並びに社内関係者間の協働を促し、新たな価値創造を行う共創を進めるにあたりXRの活用に取り組んでいる。XRでコミュニケーションを活性化させ、設計力強化につなげる。

たとえばモーターサイクルの開発では、ライダーがライディングシミュレータから車体のデジタルモデルに操作を入力し、数値シミュレーションによって走行時の車体の挙動を取得できる。この際にXRを併用することで、図5に示すようにライダーは実際にモーターサイクルに搭乗しているかのような体験ができる。また、同時に複数のシミュレーションを実行することで、車体の変形や応力など、さまざまなデータを得られる。これらのシミュレーション結果をXRで可視化して被験者に対してリアルタイムに提示できるので、アイデア検証や意思決定におけるフィードバックを素早く得ることができるようになる。また、上市後も同様に製品に組み込まれた各種センサの情報をXRで可視化し、実際の使用状況を開発者と共有することで、顧客の使い方を踏まえて改良や次期製品開発を進めることも可能になる。

自律配送ロボットの開発にも共創を実現するためにXR活用を行っている。自律配送ロボットは様々な運用場面を想定して仕様を決めていくが、この際にすべての運用シーンを実際に検証すると多大な時間と費用がかかる。またマーケットイン型の開発を行うために、使用場面をユーザと共有し、ユーザの生のコメントを引き出しながら顧客ニーズを素早く把握する必要がある。そのためにXRを活用している。

また、病院向け配送ロボットを開発する場合、人と共存する空間での配送ロボットの走行シミュレーションは重要である。そこで、図6に示すように空間にMRで配送ロボットを重畳して人と配送ロボットの共存を再現し、配送ロボットの挙動をシミュレーションにより算出してMRでその挙動を再現する。評価者は実際の空間で人と仮想の配送ロボットとの挙動を高い臨場感で確認できるようになる。ロボットは仮想であるためハードウェア・ソフトウェアの変更による新たな挙動も容易に再現できる。このような取り組みにより顧客の要求仕様を早期に確定し、真の顧客ニーズを得ることができる。現在、病院内での配送ロボット活用検証を進めている。

### あ と が き

XR技術の活用を通じてQCD向上を推進するとともに、社内外とのコミュニケーションを促進して多様な顧客ニーズに対応する。これによりスピーディーな製品やサービスの市場投入を実現していく。

### 参 考 文 献

- 1) 高橋、田中、中村、武田、濱田、多田：“顧客満足度を向上するためのデザイン設計”，川崎重工技報，No.177，pp.22-25（2016）
- 2) 特許 第6045338号，“姿勢体感システム及び姿勢評価システム”



志子田 繁一



岩本 雅弘



道上 雅史



森 堅 史



桐生 大輔



西岡 航太



# 計測・画像処理技術による外観検査の自動化

## Automation of Visual Inspection with Measurement and Image Processing Technologies



梶原	裕樹①	Yuki Hanawa
前川	一範②	Kazunori Hara
川通	高③	Michitaka Maegawa
三井	智明④	Tomoaki Kawa
細見	崇嗣⑤	Takashi Mitsui
山角	勇貴⑥	Yuki Hosomi
	覚⑦*	Satoru Yamasumi

製品品質への顧客要求は、機能面だけでなく、キズのない美しい表面であることなど外観に対するものも多くなってきている。品質を確保するため、作業者の目視による外観検査を全数実施している。さらなる品質安定化や脱技能化のため、高解像度カメラとロボットによる撮影技術、画像処理やAIによるデータ処理技術等を組み合わせた検査自動化技術の開発に取り組んでいる。

Customers are increasingly demanding product quality not only from a functional aspect but also from a visual aspect, including flawless, beautiful surfaces. To ensure quality, we are conducting full inspection through a visual check by operators. To achieve more stable quality and deskilling, we are working to develop inspection automation technologies with the combination of photographing technologies using high-resolution cameras and robots, image processing and artificial intelligence (AI), and other technologies.

### まえがき

製品の品質に対する顧客の要求は、機能面だけでなく、表面が美しくキズなどが無いといった外観に対するものも多くなってきている。外観品質確保のために、製品の外観を目視で全数検査することが一般的である。

### 1 背景

当社でも外観の目視検査工程が数多くあり、取付部品の状態や溶接部の外観、表面に存在する異物や汚れ・キズ・変形・欠けを確認している。これらは目視で明らかに判断がつくものもあれば、作業者の感覚や経験に基づく官能的な評価で判断しているものもあり、判定にばらつきがあり定量化ができていない。また、検査作業は高い集中力を要したり目を酷使したりする高負荷な作業であり、対象の中には、高度な技能を持った作業者でなければ判断が難しいものも存在する。

### 2 開発方針

このような官能評価による判定のばらつきや高負荷な作業を無くして、安定した品質を確保するため、属人化した

検査の自動化が、当社製品のさまざまなものづくり現場での共通したニーズとして挙がっている。

当社製品の中でも、機能だけでなく、外観の美しさも特に要求されるモーターサイクルでは、海外を含めた量産工程の中で属人的な目視検査が多い。そこで、まずはモーターサイクルを対象に検査自動化の技術を確立し、それらを全社に展開していく方針で開発を進めている。

モーターサイクルの目視検査の中で、図1に示すような①組立検査、②溶接ビード検査、③外観キズ検査の3つが



図1 外観検査自動化の開発方針  
Fig.1 Roadmap for automating visual inspection

他の当社製品、たとえばジェットエンジンや油圧機器および鉄道台車などでも共通するニーズと考えている<sup>1)</sup>。どれも検査対象や項目が多いだけでなく、量産工程の中で非常に短時間で検査を要求されている。

これらの課題に対して、高解像度カメラや3次元センサによる撮影・計測を行い、高度な画像処理やAI技術を用いた分類・検出処理によって、高速な自動判定を目指す<sup>2)</sup>。また、取得データを蓄積することでトレーサビリティや工程改善にも活用することができるようになる。

### 3 開発状況

#### (1) エンジン組立工程での外観検査

##### (i) 背景

モーターサイクルのエンジンは、走行に関わる重要な構成部品であり、組立後には専門の検査員によって全数検査が行われている。部品の付け忘れ、取付方向・取付部品間違い、ネジの締結状態など、1台につき100種類以上の項目を目視や手で触って検査している。

##### (ii) 対応

2020年度より、Z900RS用エンジンを対象に検査117項目の自動化検討を行い、カメラを使った外観画像撮影装置や画像処理による合否判定ソフトの開発を進めてきた。2022年度上期に装置・ソフトウェアを完成させ、現場組立ラインへの試適用を開始した。

外観画像撮影装置は、図2で示すようなエンジンを上面と側面から撮影する高解像度カメラ・照明・回転機構から構成される。図3は画像処理判定の一例で、あらかじめ登録された部品形状を基にマッチング度合いや色の識別などの処理ロジックで合否判定を行う。これにより、さまざまな形状や色の状態を短時間で正確に判定することが可能となった。現在、カメラでの平面的な認識で処理可能な44項目の検査が可能で、目視検査結果との比較を行いながら性能評価や処理の改良を行っていく。今後他の機種や車体組立状態の検査へ適用拡大を図る。

#### (2) 溶接構造フレームのビード外観検査

##### (i) 背景

モーターサイクルのフレームは、図4のようなロボットの3次元的な動作で、パイプ同士やブラケットなどの小部品を溶接して製造されている。車体の骨格となる重要な部品であるため、溶接部には十分な強度・剛性が求められる。さらに、近年の機種では魅せるフレームとして製品の意匠性に関わり、ビードの美しさも要求されることがある。

フレームの溶接部は1台当たり100カ所以上存在し、部材の組合せや表面状態によって、正常な溶接ビードでもばらつきが大きいという特徴がある。決められたサイクルタイムの中、技能を持った検査員が目視による判断で瞬時に

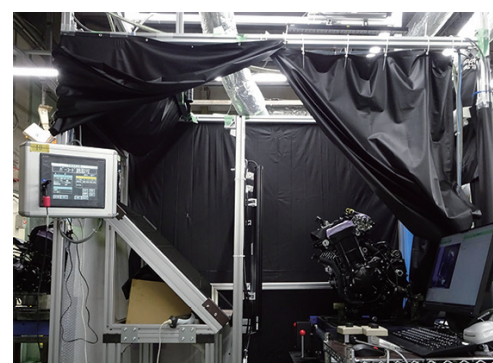
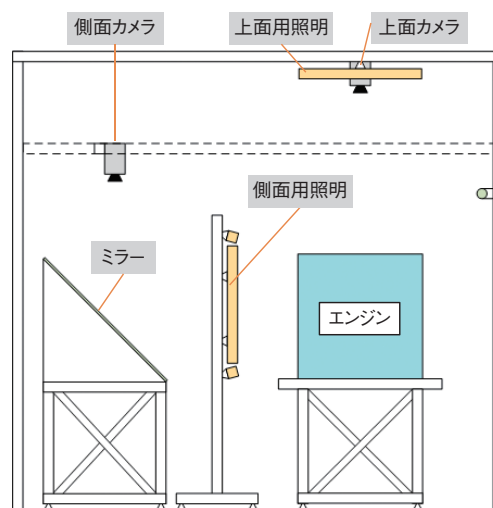
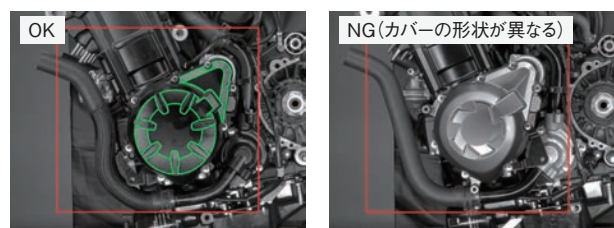
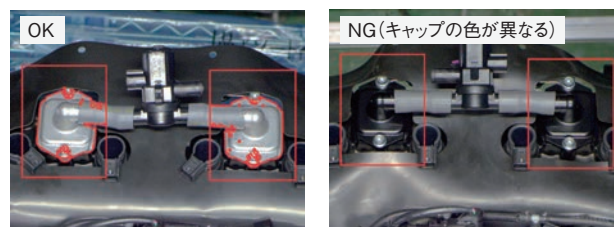


図2 エンジン外観の自動撮影装置  
Fig. 2 Automated photographing system for engine appearance



(a) 部品形状のマッチングによる判定例



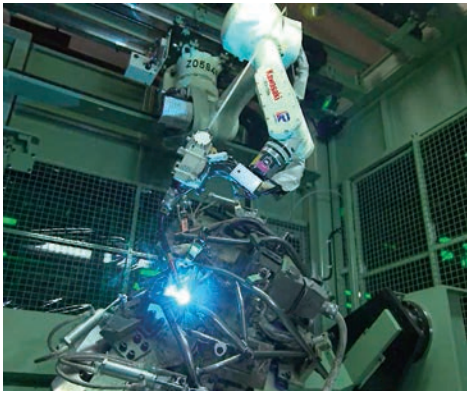
(b) 色の識別による判定例

図3 画像処理によるエンジン組立状態の検査  
Fig. 3 Inspection of engine assembly with image processing

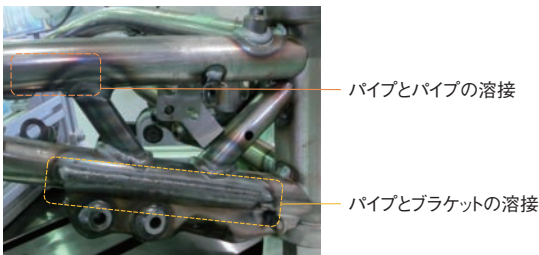
不良の有無を検査している。しかし、検査員の確保の難しさが問題となっており自動化が求められている。

##### (ii) 対応

溶接欠陥は、ビードずれや穴あきといった比較的判断し



(a) フレーム構造のロボット溶接



(b) フレーム構造

図4 モーターサイクルのフレーム構造とロボット溶接  
Fig. 4 Frame structure of motorcycle and robot welding

やすいものや、アンダーカットのような微細で判断に技能が必要なものなどさまざまである。自動化の検討にあたり、エンジン組立検査のようなルールベースと呼ばれる画像処理では、ビードのばらつきやさまざまな欠陥に対応した検出が難しいため、AIでの画像判定に取り組んでいる。

複数台の高解像度カメラ・照明を架台に取り付け、ロボット溶接後に自動で特定の溶接ビードを撮影するシステムを構築した。量産を行いながら画像を蓄積し、AIで異常度を算出することで、図5で示すような画像判定に取り組んでいる。

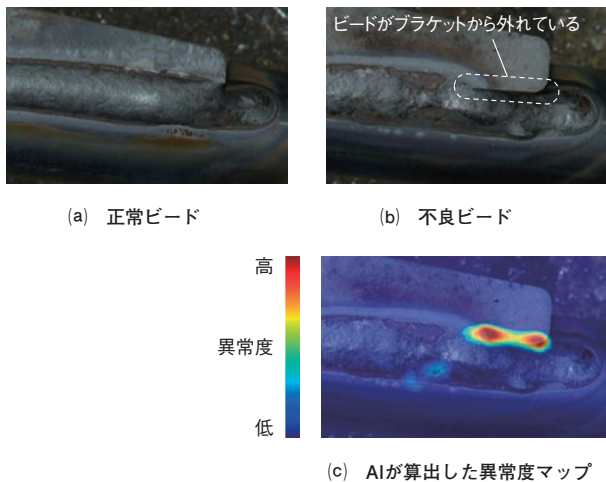


図5 AIによる溶接ビード画像の評価例

Fig. 5 Evaluation example of weld bead image by AI

### (3) 燃料タンク・樹脂カウルの外観キズ検査

#### (i) 背景

モーターサイクルの燃料タンクや樹脂カウルなどの部品は意匠性が高く、現在は特別な照明環境下で作業者がキズや打痕などの有無を全数くまなく目視検査している。不良はとても小さい上に大きなワークのどこに生じるか予測できないため、熟練の検査員でなければ見つけることは困難である。また、部品表面が曲面を含む複雑な形状のため、さまざまな角度から光の反射度合いの違いを見て検査する必要があり、自動化の難易度が極めて高いと言える。

#### (ii) 対応

表面をくまなく、かつ不良が鮮明に写るような撮影をするためには、カメラ・照明・検査ワーク表面との角度を一定に保ち、光の反射を常に同じ状態にすることが必要になる。表面が曲面で複雑な形状の燃料タンクや樹脂カウルを対象としているため、1ラインのみの画像を取得するラインセンサによるスキャン撮影方式を用いることとした。ラインセンサと照明とを組み合わせた撮影装置をロボットで把持し、表面との距離、角度が一定になるように連続的に走査し撮影する。その画像を処理することで判定を行う。

ラインセンサを使い、撮影装置あるいは対象ワークを動作させて表面状態を撮影する技術は従来から存在したが、動作が直線状に限定される、あるいは一定な低い速度での動作に限定されるなど、複雑形状部品の検査においては適用困難な面があった。

#### (iii) 曲面高速撮影技術の開発

そこで今回、複雑な曲面に沿った高速撮影を実現するため、当社製ロボットの新技术「ツール先端移動量出力機能」をロボットディビジョンと共同で開発した。

この「ツール先端移動量出力機能」とは、図6のように

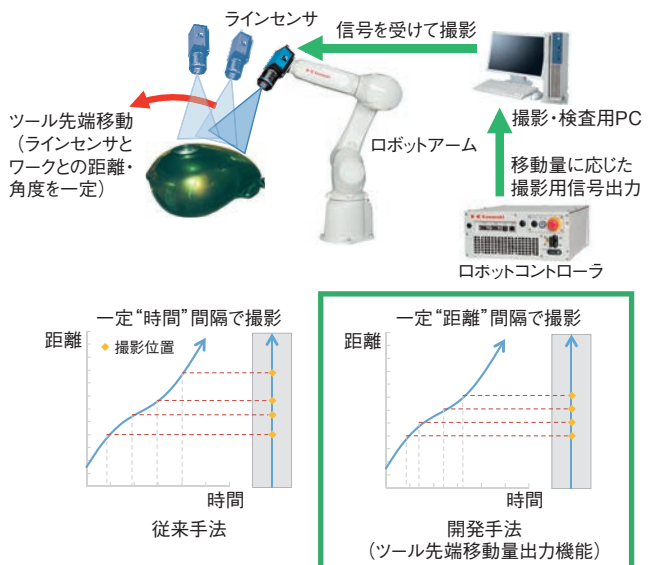


図6 ツール先端移動量出力機能

Fig. 6 Tool tip movement output function

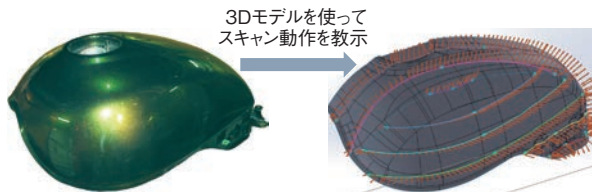


図7 燃料タンクのスキャン動作のオフライン教示  
Fig. 7 Offline teaching of scanning points of fuel tank

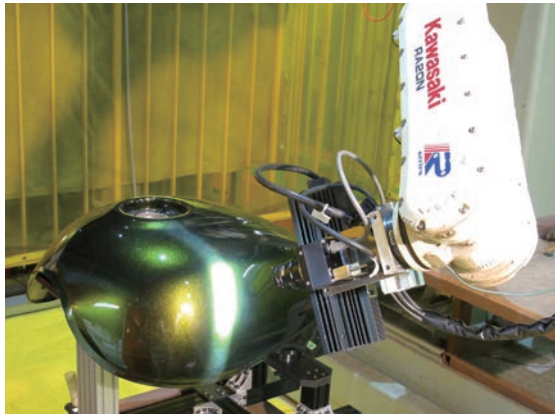


図8 ロボットによる表面外観のスキャン  
Fig. 8 Scanning of surface appearance with robot

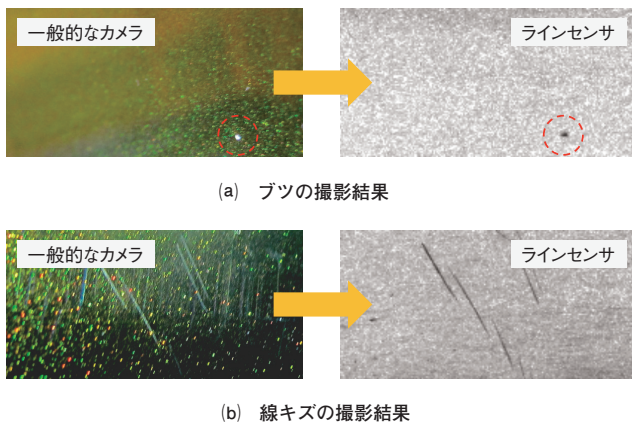


図9 ラインセンサによる欠陥撮影結果  
Fig. 9 Results of photographing of defects with line scan camera

ロボットアームに取り付けたツールの先端（ラインセンサ撮像位置）の移動量に応じて、ロボットコントローラから自動的に撮影用の信号パルスが出力される機能である。曲面に沿った複雑なスキャン動作は、ロボット用オフライン教示ソフトである「KCONG<sup>3)</sup>」を用いて生成する。図7のように、燃料タンクの3Dモデルに対して、ラインセンサと照明が適切な位置・姿勢になるような動作経路を生成する。これらにより、複雑なワークを高速・高精度に連続撮影する動作を実現している。

ロボットによる曲面連続撮影の状況を図8に、欠陥部を撮影した際の画像を図9に示す。一般的なカメラで複雑形

状・高光沢な燃料タンクを撮影すると、図9の左側の写真のように一部がボケたり、表面の光沢の影響を受けるが、ラインカメラで曲面に沿ってスキャンすることで数百 $\mu\text{m}$ 程度の微小欠陥を鮮明に撮影することができた。今後、欠陥検出を行う画像処理を開発し、さまざまなワークで試験検証をする予定である。

## あとがき

熟練作業者の減少に対応し、海外生産を含む安定した品質確保のため、最新のカメラ・センサ、画像処理・AI技術を活用し、検査自動化技術を開発している。まずはモーターサイクル向けに実用化・技術確立しつつあり、国内工場から海外工場へ展開し、さらに当社のさまざまな製品へ横展開していく。ロボット新技術による検査は、今後社内工場への適用とともに、社外への展開も積極的に進めていく。

## 参考文献

- 1) 松永, 酒井, 太田, 國延, 牛ノ濱, 王子, 菅谷, 川野: “油圧機器生産における「ものづくり力」強化”, 川崎重工技報, No.168, pp.24-29 (2009)
- 2) 生田目, 堀元, 大谷, 岩永, 西野: “AIを用いた検査工程の精緻化・合理化への取り組み”, マツダ技報, No.38, pp.120-126 (2021)
- 3) 吉村, 渡邊, 北嵐, 川端, 藤森, 二之湯: “適用拡大に向けた教示作業自動化への取り組み - 3次元CADを活用したオフライン教示ソフトウェアの高度化-”, 川崎重工技報, No.178, pp.34-37 (2017)



埴 裕 樹



原 一 範



前川 通 高



川 智 明



三井 崇 嗣



細見 勇 貴



山角 覚

# 柔軟な働き方を可能にする遠隔操縦技術の開発

## Development of Remote Control Technology That Offers a Flexible Working Style



島田 忠雄①	Tadao Shimada
山口 潤②	Jun Yamaguchi
大林 航③	Wataru Obayashi
瀬川 武紀④	Takenori Segawa
中野 信一⑤	Shinichi Nakano
香川 圭明⑥	Yoshiaki Kagawa

少子高齢化による労働者不足は3K職場において顕著で、労働環境の改善が急務である。その解決策の一つとして、製造現場の作業をリモート化することが求められている。

工場内の機器をつなぐネットワークは有線が基本だが、これは無線だと応答性や信頼性が確保できないためである。しかし多数の機器を有線で接続するのは、物理的にもコスト的にも制約があり、ネットワークを使った遠隔操縦の実用化は難しかった。ところが5Gの登場でこれらの制約条件が大きく変わった。そこでネットワークにローカル5Gを使って無線化し、ロボットの遠隔操縦の実現に取り組んだ。

Because of the declining birthrate and aging population, there are serious labor shortages in so-called “3D” (Dirty, Dangerous, and Demeaning) jobs such as manufacturing, and the improvement of working environments is an urgent task. As one of the solutions to this problem, the remote control of manufacturing work is required.

Basically, a wired LAN is used to connect to different pieces of factory equipment as Wi-Fi cannot provide adequate responsiveness and reliability. However, there are physical and cost constraints to connecting many pieces of equipment by wire, and therefore, it is difficult to realize remote control using wired networks. However, the emergence of private 5G has changed these constraints dramatically. We have developed to realize the remote control of robots by making networks wireless using private 5G.

### まえがき

日本の総人口は、2011年以降一貫して減少しており、少子高齢化による労働者不足が問題になっている。少ない労働者は3K職場に集まりにくく、労働環境の改善も急務となっている。

### 1 背景

近年、工場内の機器や作業者のデータにIoT技術を活用して取得し、これらを分析・利活用することで新たな付加価値を生み出せるようにするスマートファクトリーが注目されている。スマートファクトリーを実現するには工場内ネットワークを柔軟かつ効率的に構築することが可能となる無線通信が必須であり、その候補がローカル5Gである。

### 2 製造のリモート化

コロナ禍でオフィス作業のリモート化が急速に進み、会

議もWeb利用が一般的になっている。一方で製造現場の作業は、現場の工作機器を使って材料を加工し、現場で組み立てるのが基本である。このためリモート化が難しい。

搬送、加工・組立、検査、出荷等の製造現場の典型的な作業をリモート化する場合、まずは無人搬送車AGV (Automatic Guided Vehicle) やロボットを使ってできるだけ無人化し、これらを遠隔操縦することが考えられる。この場合、現場の様子をモニターで監視しながら通信を使って機器に操作指示を送り、受信した動作結果によって次の指示を送るという作業を繰り返す必要がある。このために機器がネットワークに繋がっている必要があるが、工場内の多数の機器を有線で接続すると膨大な数のLANケーブルやハブなどのネットワーク機器を工場内に設置することになる。また製造する製品が変わってレイアウト変更になると、多数のLANケーブルを引き直すことになることから、リモート環境の整備に多くの準備を要する。そのため、リモート化には通信の無線化が非常に有益である。

工場への無線LAN導入も進んでいるが、ノイズの影響を受けやすく安定した通信を行うことは難しい。また、機

器同士は高速にデータの送受信を行っており、データ通信が遅れると正常動作できない。そのため、信頼性が高く、高速で低遅延の無線通信が求められる。ここで期待されているのが第5世代移動通信システム（5G）である。

一方で、遠隔操縦で人の作業を実施できるロボットも必要であり、そのためのロボットシステムとして、当社では「Successor<sup>1)</sup>」を製品化している。「Successor」は、専用の操縦装置であるコミュニケータを使ってロボットアームを遠隔で操縦して作業することができる。社会の高齢化により、高度な製造技術の担い手である熟練技術者の技能伝承が、多くの先進国において共通の課題となっており、「Successor」は、これを解決するための新しいロボットシステムである。

そこで、製造現場のリモート化実現に向けて遠隔操縦ロボットへの無線通信適用に取り組んだ。

### 3 工場通信の無線化における技術課題

5Gは日本では2020年春から商用サービスが開始された通信システムの規格であり、超高速・多数同時接続・超低遅延という特長を持つ。そして携帯電話事業者による5G（キャリア5G）とは別に、図1に示すような一般の企業や地方公共団体などが独自に5G通信網を構築できるローカル5Gがある。これは、5Gから新たに導入された制度で、キャリア5Gのサービス提供状況とは関係なく、最適な5Gを柔軟に構築し、運用できるものである。

産業適用にも期待される5G通信であるが、これまで無線通信は、情報通信を主体に利用されている。そこで、産業適用に求められる以下の性能を検証する必要がある。

#### ① 通信速度

遠隔地の加工状況等を把握できるためには高精細映像（HD画像や4K画像等）の転送が必要となる。

#### ② 通信遅延

5G通信で機器を制御するために最も重視されるのが、遅延量である。工場の製造機器やロボットは、ミリ

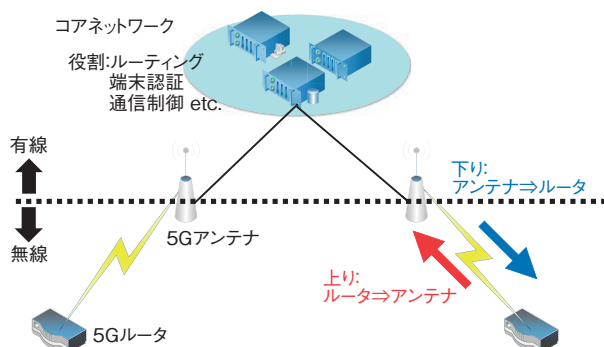


図1 ローカル5Gシステム  
Fig.1 Private 5G system

秒単位の時間で制御されており、装置間の通信がわずかに遅れただけでも正常動作しなくなる可能性がある。

#### ③ 通信エリア

5Gの高速性を支えるミリ波は、空気中での減衰が大きいので、電波の到達距離はかなり限定される。工場の現場でどこまで電波が届くかを検証する必要がある。

#### ④ 耐環境性（耐ノイズ性）

工場内には大型クレーンやフォークリフトなどのさまざまな工作機械が稼働している。これらはノイズの発生源になったり、電波の障害物にもなる。実際に工場が稼働している状況で、通信の安定性を検証する必要がある。

## 4 検証概要

これらの技術課題について、5Gがどの程度の性能を発揮できるか、2020年11月から2021年1月にかけて播磨工場に5Gの設備を試験的に導入し、実証試験を実施した。

今回使用した5G通信は、NSA（Non Stand Alone）と呼ばれるタイプで、コアネットワーク（認証やデータパケットの転送経路の設定、移動制御などの機能を持つ設備）には4Gのものが用いられている。一方、本来の5G通信はSA（Stand Alone）と呼ばれるタイプで、無線通信からコアネットワークまで、すべての基地局設備を5G専用機器で構成されるが、製品化はこれからである。なお5Gの3つの特長のうち、NSA方式で実現できるのは高速大容量だけで、遅延性能は4Gと同等である。

遠隔操縦ロボットには、播磨工場の「Successor-G<sup>2)</sup>」を使用した。これは研削・バリ取り・表面仕上げ用としてシステム化したロボットである。作業者はコミュニケータを操作することで、力作業が不要になり、暑さや粉塵といった悪環境からも解放される。

現状の「Successor-G」での遠隔操縦は、作業対象が目視できる距離にある想定で、コミュニケータとロボットは有線LANで接続されている。図2に示すように、ローカル5Gを使って無線化し、遠隔から4K映像を見ながら操縦可能か、すなわちリモート化可能かを検証した。

試験のステップを図3に示す。まず5Gアンテナを播磨工場内の技能研修施設匠塾の1Fに設置して、基本性能試

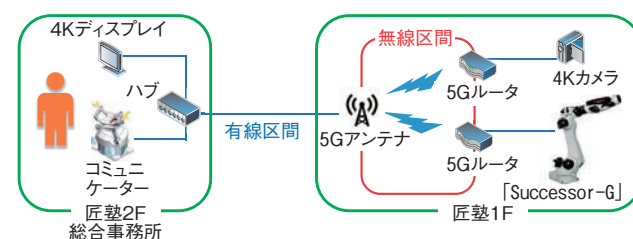


図2 「Successor」の5Gシステム構成  
Fig.2 5G system configuration for Successor

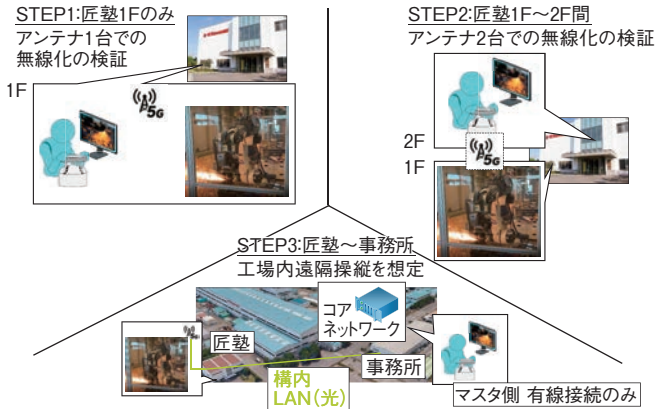


図3 試験ステップ  
Fig. 3 Test steps

験と「Successor-G」の遠隔操縦試験を実施し、次に播磨工場内の製缶棟に5Gアンテナを移設し、通信エリアや耐ノイズ性を検証した。コアネットワークは播磨工場の総合事務所に設置した。

## 5 検証内容と結果

### (1) ローカル5Gの基本性能試験

匠塾と製缶棟の5Gアンテナの位置を変えながら、ネットワーク計測器を使い、通信速度・遅延量・電波強度などを測定した。

#### ①② 通信速度と通信遅延

通信速度Max下り650Mbps・上り120Mbpsと仕様通りの性能であった。通信遅延は平均6msであった。NSAの性能としては予想よりも小さく、高性能であった。

次に4K高精細映像の伝送試験を実施した。この結果、3台の4Kカメラで同時に伝送可能であり、工場内を巡回しながら現場の様子を事務所へ送ることができた。4Kの高精細映像で遠隔監視が可能になると、環境の悪い作業現場での監視業務がかなり軽減できる。

#### ③ 通信エリア

奥行300mの製缶棟内を移動しながら各ポイントの電波強度や通信速度などを計測した。この結果、4K映像が送れる上り25Mbps以上の速度が出るのは、アンテナから50m以内であり、100m以上離れると性能が低下することが分かった。特にアンテナからの見通しが重要であり、遮蔽物がなければ260m離れても4K映像が送れる上り30Mbpsの速度が得られた。工場内には大小さまざまな工作機械があるため、アンテナ設置位置に配慮が必要である。なお、ミリ波の通信エリアに関しては周辺環境にかなり影響される懸念があったが、匠塾1Fに設置したアンテナで同じ建屋の2Fでも通信可能であった。

#### ④ 耐環境性(耐ノイズ性)

意図的にノイズを発生させる試験を実施しなかったが、工場内では通常の作業を実施しており、工作機械の稼働に伴うノイズや溶接時のノイズなどが発生していた。その環境でも試験中に通信が途絶したり不安定になることはなかった。工場現場の環境でも十分な耐ノイズ性があると期待できる。

### (2) 「Successor-G」の遠隔操縦試験

検証した作業は鋼材のグラインダ掛けである。グラインダとは、円盤状の砥石が高速で回転する工具で、研削作業に用いられる。グラインダは2~3kgの重さがあり、図4(a)に示すように研削作業中ずっとワークに押し付けることが必要な重労働である。また、研削の騒音や切粉の飛散があり、作業環境としても厳しい状況と言える。

「Successor-G」には力覚フィードバックの機能があり、コミュニケータを操作してロボットが持ったグラインダが鋼材に接触すると、コミュニケータに反力が伝わる。この



(a) 人手



(b) 「Successor-G」

図4 グラインダ作業  
Fig. 4 Grinder work

機能により、図4(b)に示すように実際にグラインダを押し付けている力を感じながら、研削作業を行うことができる。これにより、重いグラインダを持つことなく、グラインダを手持ちで操作しているのと遜色ない操作性が得られる。この仕組みはロボットに付加している力センサの出力を、コミュニケータに高速にフィードバックすることで実現している。しかし、コミュニケータとロボット間の通信に遅延が発生すると、接触感を正しく再現できなくなり、操作性の悪化につながる。

ロボットは匠塾の1Fにあり、コミュニケータを総合事務所へ設置して遠隔でのグラインダ作業を実施した。

4K映像の大容量データとロボットの制御信号を5Gで同時に送信することで、作業者は、鋼材の研削状態を50インチのディスプレイに映し出されるで高精細な4K映像で見ながら、コミュニケータの力覚フィードバックを頼りに、グラインダの研削作業を行うことができた。

複数の被験者が作業を実施したが、スムーズな操作ができず引っ掛かりを感じるという評価もあった。これは試験に使用したNSAのローカル5Gシステムでは超低遅延が実現できていないことで有線通信に劣る操作感になったと考えられる。今後SA仕様の5Gが実用化されれば、有線LANと遜色のない操作性が期待できる。無線通信の安全性や信頼性についてはこれからも検証が必要であるが、無線化が可能になると、将来的に工場内を自由に動き回るロボットをリモートから遠隔操縦し、現場の実作業を実施することができるようになる。「Successor-G」により力作業や悪環境から解放された作業者が、5Gの導入で現場作業からも解放されることになる。

今回の試験では、匠塾から直線距離で約200mの総合事務所から操縦したが、将来的に工場間を結ぶ遠隔操縦や、自宅から工場のロボットを操縦することを想定した場合、工場間や工場と自宅間の距離が問題になる。この間は光ファイバを使った有線接続になるが、光ファイバの遅延量は、 $5\mu\text{s}/\text{km}$ であり、往復の遅延が1msになるのが片道100kmの距離になる。6msの遅延で操作性の悪化が見られたが、SAの5Gが1msの超低遅延を達成できたとしても、有線区間が500kmあると遅延は6msになる。遅延を2~3msに抑え現状と遜色のない操作性を得られる距離は、100~200km以内になる。さらに通信経路の途中にはルータなどのネットワーク機器が設置されており、これらの機器の遅延も考慮すると、現時点では力覚フィードバックを実現できる距離は50~100km程度と想定している。通勤圏からの工場現場のリモートワークは実現可能な範囲と考えられる。

## 6 今後の展開

遠隔操縦ロボットで力覚フィードバックを実現できる距離は、50~100km程度と予想されるが、それ以上離れた場所での操縦には、シミュレータを利用し仮想空間で作業することも考えられる。シミュレーションを高精度に行う必要があるが、仮想空間と実空間をシームレスにつなげるデジタルツイン技術が注目されており、この分野の発展が期待できる。そのほかにも、操作自体はゲームのコントローラのような簡易なデバイスで実行し、遠隔操縦ロボットに実装したAIが精密な動作を実行するというアプローチも考えられる。

さらに運用データや製造スケジュールなども連携させ、将来の工場では顧客に品質、コスト、納期を最適化して製品を提供することを目指していく。

## あとがき

ローカル5Gは、運用に免許が必要かつ高コストといった運用面での課題があるが、将来的には無線による遠隔操縦で各種作業が可能になり、「Successor-G」などのソリューションを組み合わせることで、人口減少による労働力不足への対応・労働者の3K職場からの解放・熟練作業者の技能伝承などの効果が期待される。

今回の実証試験にご協力いただいた、株式会社オペレージへ感謝の意を示す。

## 参考文献

- 1) 掃部, 麻川, 蓮沼: “リモートでの生産・労働を実現する新ロボットシステム「Successor」”, 川崎重工技報, No.183, pp.14-17 (2021)
- 2) 赤松, 上月: “研削・ばり取り・表面仕上げ用遠隔操縦ロボットシステムの開発”, 溶接技術 2020年7月号



島田 忠雄



山口 潤



大林 航



瀬川 武紀



中野 信一



香川 圭明



特許 第6045338号

発明の名称：姿勢体感システム及び姿勢評価システム

発明者：志子田繁一，中村直弘，中野信一

—VR技術で体感して作業準備を効率化—

多様化した顧客の要求に迅速に対応するため、当社はデジタル技術を活用してものづくりを支援する技術の開発に取り組んでいる。

従来からのものづくりをする人の動作や姿勢を検証する手段として、図1の検証例のように、計算機上の人間モデル（デジタルヒューマン）を用いて作業あるいは使用時における人の各関節の座標や角度に関する客観的な定量的評価が行われている。この方法では客観的な評価に留まり、実際に作業あるいは使用する人

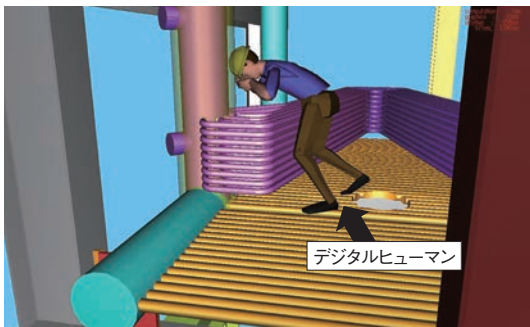


図1 デジタルヒューマンを用いた溶接姿勢の検証

にとっては厳しい姿勢をとらざるを得なくなる等、必ずしも妥当な結果とはならないこともあった。

これに対し本発明は、図2の検証例のように、シミュレーション空間内のデジタルヒューマンにVR技術を用いて利用者・作業者の体を重ねることで、計算機上に設定したデジタルヒューマンの姿勢を被験者が体感できるようにした。

作業者の作業姿勢を客観的・定量的、かつ主観的に評価することで、治具の準備、作業手順決定など生産準備工程を短時間で有効な準備を行うことができる。その結果、工程維持、作業者の肉体的・心理的負担を軽減できる。また、製品設計の場面でも、ユーザ視点での設計検証が可能となる。

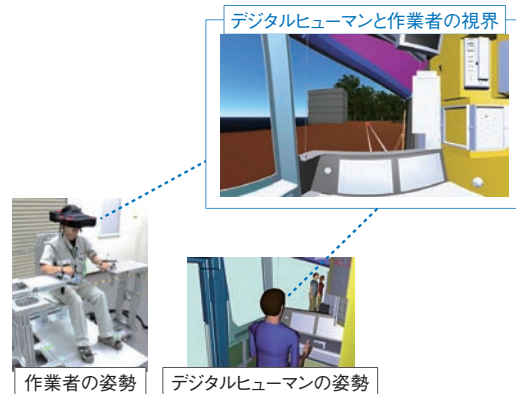


図2 VRを用いた鉄道車両の運転席死角検証

特許 第6833095号

発明の名称：トンネル掘進機の仮組立方法

発明者：米本臣吾，天野伸彦，皆方祐哉，西山弘樹，坂本敏郎

—デジタル空間で組み立てて工期を短縮—

地下や海底におけるトンネルの掘削工事では、図1に示すようなトンネル掘進機（シールド掘進機）が用いられる。トンネル掘進機は直径10mを超える複数の大型部品からなり、当社はその製造を担っている。

トンネル掘進機は、その大きさのため分割された部品ごとに工場で作成され、工事現場において組み立てられて完成となる。なかでも大きな部品は製作誤差の集積により設計図からのズレが発生してしまい部品同士が干渉して、組み立てられない可能

性がある。そのため、事前に工場で作成し、部品同士の干渉状態を確認して適宜調整する必要がある。その後、工場から搬送するために仮組立状態から解体する必要もあり、この仮組立工程と解体工程がトンネル掘進機製造の全体工期を長くする要因になっていた。

本発明では、製造した部品を3D計測し、計測データに基づいて実物に忠実な3Dモデルを作成する。そして、図2のように各大型部品の3Dモデルをデジタル空間で組み合わせて、完成状態での相対位置に部品を配置することにより部品同士の干渉状態を確認することが可能となり、干渉状態に基づいた調整をすることができる。

本発明により、実物による仮組立工程と、解体工程が不要となり、トンネル掘進機の製造工期短縮を実現できた。



図1 トンネル掘進機

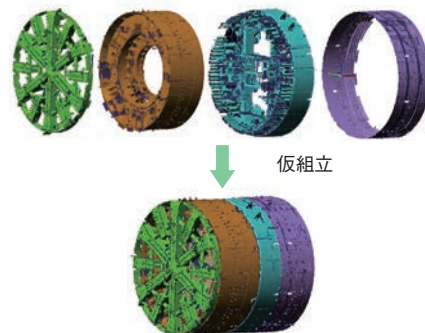


図2 デジタル空間での仮組立

## 事業セグメント別主要製品／生産拠点

事業セグメント	主 要 製 品	主要製品拠点
航空宇宙システム	・航空機（固定翼機，ヘリコプター），誘導機器，電子機器，宇宙関連機器，シミュレータ	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ）
	・航空機部分品，標的システム，ロケット部分品，宇宙機器，航空機整備・改造	日本飛行機(株)・横浜工場 日本飛行機(株)・厚木工場
	・航空機用エンジン，航空機用ギアボックス	明石工場 西神工場
車両 (川崎車両株式会社)	・鉄道車両，新交通システム，貨車	神戸本社 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ） Kawasaki Rail Car, Inc.（アメリカ）
	・ロータリー除雪車，凍結防止剤散布車 ・軌道モーターカー，重量物運搬車	(株)NICHIGO・曙工場 (株)NICHIGO・稲穂工場
エネルギーソリューション & マリン	・各種産業用プラント（セメント，化学，搬送プラント） ・各種陸船用ボイラ（発電事業用ボイラ，産業用ボイラなど） ・ごみ処理設備 ・各種低温貯蔵設備（LNG タンク）	播磨工場 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司（中国）* 安徽海螺川崎裝備製造有限公司（中国）* 上海海螺川崎節能環保工程有限公司（中国）*
	・ガスタービン（産業用，艦艇用）	明石工場 神戸工場
	・蒸気タービン，ディーゼル機関，ガスエンジン，大型減速装置 ・船用推進装置（サイドスラスト，旋回式スラストなど） ・各種空力機械（天然ガス圧送設備，送風機など）	神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司（中国）
	・空調機器，汎用ボイラ	川重冷熱工業(株)・滋賀工場
	・破砕機，環境関連機器	(株)アーステクニカ・八千代工場
	・LNG 運搬船，LPG 運搬船，油槽船，ばら積み船，コンテナ船，自動車運搬船，超高速船，艦艇，官公庁船	神戸工場 坂出工場 Kawasaki Subsea (UK) Limited（イギリス） 南通中遠海運川崎船舶工程有限公司（中国）* 大連中遠海運川崎船舶工程有限公司（中国）*
	・建設機械用油圧機器，産業機械用油圧機器・装置 ・船用舵取機，船用各種甲板機械 ・産業用ロボット ・医薬・医療ロボット	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery (U.K.) Ltd.（イギリス） Kawasaki Precision Machinery (U.S.A.), Inc.（アメリカ） Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Limited（インド） 川崎精密機械（蘇州）有限公司（中国） 川崎春暉精密機械（浙江）有限公司（中国）* 川崎（重慶）機器人工程有限公司（中国） Flutek, Ltd.（韓国）
・油圧プレス	川崎油工(株)	
モーターサイクル & エンジン (カワサキモーターズ株式会社)	・モーターサイクル，ATV（四輪バギー車），レクリエーションユティリティビークル，多用途四輪車，パーソナルウォータークラフト「ジェットスキー®」 ・汎用ガソリンエンジン	本社・本社工場 加古川工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.（アメリカ） Kawasaki Motores do Brasil Ltda.（ブラジル） India Kawasaki Motors Pvt. Ltd.（インド） Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd.（タイ） PT. Kawasaki Motor Indonesia（インドネシア） Kawasaki Motors (Phils.) Corporation（フィリピン） Kawasaki Motores de Mexico S.A. de C.V.（メキシコ） 常州川崎光陽發動機有限公司（中国）*

\* 持分法適用会社

- 「KCONG」, 「Successor」, 「Successor-G」は、川崎重工業株式会社の商標または登録商標です。
- 本誌に記載されている社名、商品名、サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

<b>川崎重工技報 第184号</b>	
2022年10月1日	
<b>編集・発行</b>	兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 技術開発本部
<b>発行責任者</b>	技術開発本部長 中谷 浩
<b>発行人</b>	技術開発本部 技術企画推進センター長 加賀谷 博 昭
<b>印刷</b>	広島県広島市中区中島町9番6号 株式会社 秀巧堂

禁無断転載

# 川崎重工株式会社

## 国内事業所

### 東京本社

〒105-8315 東京都港区海岸1丁目14番5号  
Tel. 03-3435-2111 / Fax. 03-3436-3037

### 神戸本社

〒650-8680 兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号  
(神戸クリスタルタワー)  
Tel. 078-371-9530 / Fax. 078-371-9568

### 技術開発本部

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号(明石工場内)  
Tel. 078-921-1611 / Fax. 078-921-1867

### 北海道支社

〒060-0005 北海道札幌市中央区北5条西2丁目5番  
(JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)  
Tel. 011-281-3500 / Fax. 011-281-3507

### 東北支社

〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央1丁目6番35号(東京建物仙台ビル16階)  
Tel. 022-261-3611 / Fax. 022-265-2736

### 中部支社

〒450-6041 愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号  
(JRセントラルタワーズ41階)  
Tel. 052-388-2211 / Fax. 052-388-2210

### 関西支社

〒530-0057 大阪府大阪市北区曾根崎2丁目12番7号(清和梅田ビル16F)  
Tel. 06-6484-9310 / Fax. 06-6484-9330

### 中国支社

〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀14番4号(JEI広島八丁堀ビル6階)  
Tel. 082-222-3668 / Fax. 082-222-2229

### 九州支社

〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目4番1号  
(博多駅前第一生命ビル)  
Tel. 092-432-9550 / Fax. 092-432-9566

### 沖縄支社

〒900-0015 沖縄県那覇市久茂地3丁目21番1号(國場ビル)  
Tel. 098-867-0252 / Fax. 098-864-2606

## 生産拠点

### 岐阜工場

〒504-8710 岐阜県各務原市川崎町1番地  
Tel. 058-382-5712 / Fax. 058-382-2981

### 名古屋第一工場

〒498-0066 愛知県弥富市楠3丁目20番地3  
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

### 名古屋第二工場

〒490-1445 愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4  
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

### 神戸工場

〒650-8670 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号  
Tel. 078-682-5001 / Fax. 078-682-5503

### 西神戸工場

〒651-2271 兵庫県神戸市西区高塚台2丁目8番1号  
Tel. 078-992-1911 / Fax. 078-992-1910

### 西神戸工場

〒651-2239 兵庫県神戸市西区櫛谷町松本234番地  
Tel. 078-991-1133 / Fax. 078-991-3186

### 明石工場

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号  
Tel. 078-921-1301 / Fax. 078-924-8654

### 播磨工場

〒675-0180 兵庫県加古郡播磨町新島8番地  
Tel. 079-435-2131 / Fax. 079-435-2132

### 坂出工場

〒762-8507 香川県坂出市川崎町1番地  
Tel. 0877-46-1111 / Fax. 0877-46-7006

## 海外事務所

### 台北事務所

台湾 台北市仁爱路二段99号 福記大樓15樓  
Tel. +886-2-2322-1752 / Fax. +886-2-2322-5009

# 川崎車両株式会社

### 神戸本社

〒652-0884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号  
Tel. 078-682-3111 / Fax. 078-671-5784

### 東京本社

〒105-8315 東京都港区海岸1丁目14番5号  
Tel. 03-3435-2111 / Fax. 03-3436-3037

### 播磨工場

〒675-0180 兵庫県加古郡播磨町新島8番地  
Tel. 079-435-2131 / Fax. 079-435-2132

# カワサキモーターズ株式会社

### 本社・本社工場

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号  
Tel. 078-921-1301 / Fax. 078-921-1420

### 加古川工場

〒675-0112 兵庫県加古川市平岡町山之上向原170番地  
Tel. 079-427-0743 / Fax. 079-427-0745

### 東京事務所

〒105-8315 東京都港区海岸1丁目14番5号  
Tel. 03-3435-2523 / Fax. 03-3435-2033

