

特 集 論 文

関連するSDGs



# 制御機器工場改善活動とスマート化

## Improvement Activities and Smartization of Control Equipment Factories

太田 哲雄  
Ota Tetsuo  
池本 高典  
Ikemoto Takanori  
西山 嘉一  
Nishiyama Yoshikazu  
村田 高司  
Murata Takashi  
石倉 定幸  
Ishikura Sadayuki

岡田 英二  
Okada Eiji  
松浦 卓也  
Matsuura Takuya  
本田 誠  
Honda Makoto  
坪田 浩治  
Tsubota Koji  
大門 剛  
Okado Tsuyoshi

### 概要

当社の制御機器工場は、主に監視制御装置や保護リレー装置、電力品質計測装置を製造しているソリューションシステム事業部の工場であり、約60年の歴史の中で種々の改善活動を行っている。本論文では、制御機器工場における改善活動の歴史を紐解くと同時に、代表的な活動事例であるセル生産体制の構築や基板製造ラインのJIT（Just In Time）化、監視制御装置ラインの1個流し生産、ロボットの活用、DX推進に向けたスマート工場の構築について紹介する。

### Synopsis

The control equipment factory is a factory of the Solution System Division, which manufactures monitoring control devices, protection relay devices, and power quality measurement devices in its nearly 60-year history of the improvement activities. At the same time as unraveling the history, we will introduce representative examples of activities such as the construction of a cell production system, the introduction of JIT (Just-In-Time) to the substrate manufacturing line, the one-piece flow production of the monitoring control device line, leveraging robots, and construction of smart factory to promote DX (Digital Transformation).

### 1. はじめに

当社では1960年頃より、制御関連技術の高度化を図るために、広角度計器や送電線用継電器、同期式遠方監視制御装置などの機器を次々と開発して製品を生み出してきており、これらを製造する工場として1968年に制御機器工場が編成された。

その後、1996年に監視制御装置を扱うソリューションシステム事業部と保護継電装置（現在では保護リレーと呼ばれる）や電力品質計測装置を扱う電子制御

事業部とに分かれて、ものづくりをすることになったが、2017年に再統合され、それぞれの事業部ごとに行っていた改善活動も合同で実施することになり現在に至っている。

制御機器工場で製造している製品には、図1に示すようなものがあり、その生産性を向上するために行ってきた改善活動の歴史と代表的な活動事例について紹介する。



図1 ソリューションシステム事業部の代表製品

## 2. 改善活動の歴史

制御機器工場では、1968年の編成当初から小集団活動による改善活動を実施していたが、2003年のNPS (Nissin Production System)<sup>(注1)</sup> 推進グループ発足時にJIT (Just In Time) を導入し、それ以降、本格的に改善活動をスタートした。

2004年からは月2回の改善活動として「保護リレーの量産モデルラインの構築」に取組み、立ち歩きのムダや作りすぎのムダなどのムダ作業を取り除く現場改善から始めた(図2)。



図2 制御機器工場の改善活動年表

保護リレーの生産ラインは多品種少量生産に適したセル生産方式を導入し、個々の作業に必要となる部品や工具を備えた作業台(セル屋台)をU字ラインに並べた1個流し生産へと改善した。また、座り作業から立ち作業へ変更し、1セル8工程に分割して、組み立てに必要な部品供給は前日に各屋台にセットすることで、当日は即作業に着手でき組立作業者の効率を上げた。

設備改善による自動化の導入では、2005年にパソ

コンを活用して独自に試験プログラムを作成することで試験設備を制御する検査の半自動化システムを構築した。また、試験の測定対象を自動で切替えていく切替器なども自作するなど、徐々に生産技術力の向上を図った。

さらに2007年から、部材の年間購入方式<sup>(注2)</sup>を購入窓口の代理店と契約し、部品の欠品対策などの製造以外の改善活動にも取組んだ。

前述のとおり、検査の半自動化はできていたが、検査のための製品への動作パラメータ設定は手動であった。2011年には製品の通信機能を利用して、自動試験プログラムにパラメータ設定機能も組み込むことで検査の全自動化が実現できた。

組立工程の改善としては、組み立ては紙の手順書で指示していたが、2013年には屋台に備え付けたモニタに電子化した手順書とチェックシートを表示させ、作業者が手順を終えて次画面操作することで、作業時間も同時に測定できるようにした。

調整工程の改善としては、2015年にパソコンで機器を制御して調整する半自動化をおこない、2018年にはロボットによる調整の全自動化に取組み、徐々にではあるがロボット活用による自動化を拡大している。

現在も改善活動は「改善に終わりはない」を合言葉に、月1回2日間の組織活動を継続している。

(注1) 当社の特徴および社会環境から生じる制約条件に適合し、工程間、部門間が有機的に結合した高い生産性を実現するシステム

(注2) 年度で必要となる部材を4~6分割して分納する仕組みで年初に一括発注する方式

### 3. 代表的な活動事例

代表的な活動事例として、「セル生産体制の構築」「基板製造ラインのJIT化」「監視制御装置ラインの1個流し生産」「ロボットの活用」「DX推進に向けたスマート工場の構築」の5テーマについて、概要を以下に説明する。

#### 3. 1 セル生産体制の構築

セル生産方式は、工程ごとに必要となる部品や工具を備えたセル屋台を用意し、組立→調整→検査の工程順にU字型に配置された屋台を作業者が渡り歩くことで製品1台ずつを生産する方式であり、多品種少量生産に適している。

1996年の工場編成当初は、組立、調整、検査で個々に作業者を専任して全て座り作業としていた(図3)。しかし、その後の改善活動にて、立ち上がるたびに椅子を引き、戻す動作を幾度と繰り返し行っており、作業者の動作にムダがあることに気付くことができた。この「ムダな動作」を無くすため、座り作業から立ち作業へと移行した。

2003年には「JIT生産」に取組み、セル生産体制を確立した(図4)。



図3 1996年当初の製造ライン



図4 2003年からセル生産体制

#### 3. 1. 1 自動化

「自動化」ではなく、「自働化」とは設備稼働中に異常を検出した時点で「停止する」機構(知恵)があり、その場で対処が可能な仕組みをいう。制御機器工場における最初の自働化は、2004年に保護リレーのセル生産方式での製造の際に使用した「自働耐圧試験機」の開発導入である(図5)。

その後、2008年より検査工程の自動化、2015年より調整工程の自動化、2018年より自働調整ロボットの導入(図6)と自働化を進めてきた。このロボットの活用については3.4節で改めて述べる。

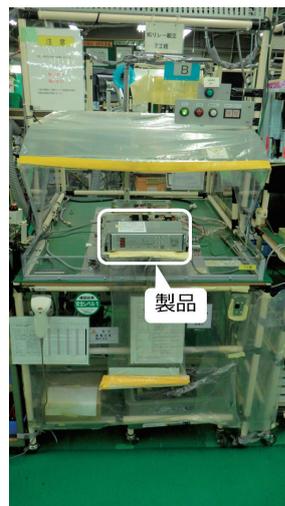


図5 自働耐圧試験機

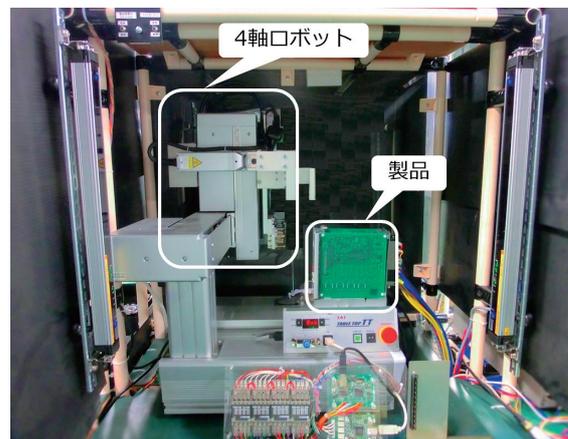


図6 自働調整ロボット

#### 3. 1. 2 セル生産方法の変化

セル生産の取組み当初は、書面の手順書を次の工程へ移動する度に持ち回って作業をしていた。その後、改善活動により、手順書の持ち運びや記載ページを探す作業で手を止めることがムダ時間(加工時間増)であることに気づき、手順書を電子化して屋

台に備え付けたタッチパネル等に自動表示させることで、スムーズな作業を可能にした（図7、図8）。

また、生産品のトレーサビリティ管理として部品製造番号を記録しているが、作業者の記録ミス無くす取組みとして、ハンディーターミナル（図9）を導入し、QRコードやバーコードを読み取ることで、ミスなく製造番号の記録ができるように改善した。



図7 手順書の電子化（タブレット活用）

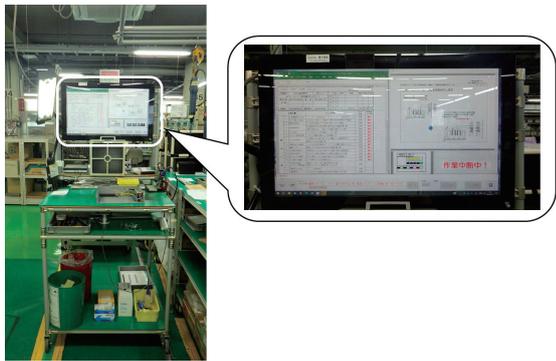


図8 手順書の電子化（タッチパネル活用）



図9 ハンディーターミナルによるQRコードの読み取り

### 3. 1. 3 今後の取組み

前述までの取組みにより、調整・検査の各業務の自動化が実現できた。今後は、「組立」業務の自動化を推進するため、設計部門・検査部門・製造部門とコラボレーションし、生産ラインの全自動化に向け改善を継続していく所存である。

## 3. 2 基板製造ラインのJIT化

基板製造ラインでも、ほどなくJIT化を開始し、「①必要なものを②必要な時に③必要な分だけ」の基本に沿って「①各ラインで組立する製品型式に適應する基板種を②組立する前日に③組み立てる枚数分だけ」を製作している。

保護リレーの生産は、リレーを構成する基板の種類が多く、多品種少量生産とする必要がある。そこで、実装部品が共通である基板を大別して機械実装を行い、中間在庫として一時的にプールしている。大別することで機械実装の品質や作業効率の低下を防ぎ、以降の手実装部品を実装することにより、多品種少量のJIT生産を実現している。

### 3. 2. 1 作業者のモチベーション向上の取組み

基板製造ラインは、多くの工程（約12工程）があるにも関わらず製品作りが自己完結できない（組立工程に完成基板を供給するだけ）点で、改善の成果・喜びが得られにくい。

そこで、新分野の製品開発では、構想段階より基板製造ラインに組立工程を取り込み、移動や運搬のムダを無くすと同時に、ネジ締めや配線のない製品構造とし、基板製造作業者が完成品にまで仕上げられることでモチベーションを向上させた。

代表製品は「複合環境センサ」（図10）で、基板製造～ユニット組み立て～自動検査までを基板製造ラインの作業者でおこなえるように、基板間の端面はんだ付けで製品を構成した（現在では11機種をリリース）。

また、パソコンで自動検査できるようにしたことで、開発構想時に目標とした加工費をさらに70%削減した。



「複合環境センサ」外観



組立では  
端面はんだ付け

図10 複合環境センサ

### 3. 2. 2 改善につなげるための作業分析

制御機器工場では、約300種類、年間3万枚の基板を製作しており、作業者に、いかに負担を掛けずに「無理なく・漏れなく」工程ごとの作業履歴や作業時間を記録するかということが課題であった。

現在では、基板に貼り付けているQRコードを読み込ませることで作業履歴と作業時間の記録が同時におこなえる仕組みを構築し、作業前後で基板製造記録を登録する作業者の手間は半減、基板ごとの各工程での作業時間が日々、自動的に蓄積されている。

これらの蓄積データを元にボトルネック工程を確認したり、作業者による作業時間のバラツキを分析することにより、改善点が見える仕組みができた。

一例として、部品実装工程に比べ、はんだ付け後工程（リード整形・部品配線）は2倍近く工数のかかっていることがわかり、今では作業の指示段階より投入人員を1：2に適切に配置することにより、ライン作業の最適化を図っている。

### 3. 2. 3 今後の取組み

前述の蓄積データの一部をモニタに表示することにより、「生産進捗管理」として活用を図っているが、進捗管理以外は管理者がデータを自ら手分析している状態に留まっており、今後の展開、取組みとして「工場まるごと見える化」に着手している。

工場まるごとをモニタで表示・監視することができれば、標準工数との差異をリアルタイムに検知して工程異常を即時にアラーム発信することも可能である。また、年度ごとに改訂していた基板ごとの標準工数を月ごとに改訂することもでき、工場の負荷積みの精度向上を図ることが可能となる。

設備稼働率についても手分析で監視を続けていたが、2023年度の設備更新の機会に「見える化」ツール（図11）を導入し、分析や監視は自動化に任せ、

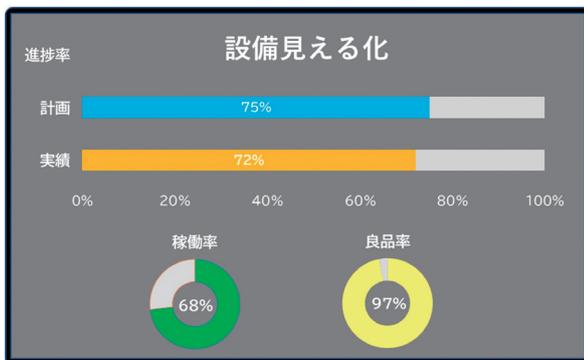


図11 「見える化」ツール イメージ

(注3) 数字を根拠として、ムダとムラを排除して業務効率化を図る活動

作業者が生産作業に多くシフトできる体制を築くことを骨格・軸として人生産性の向上を図っていく予定である。

### 3. 3 監視制御装置ラインの1個流し生産

監視制御装置は、高速道路・ビル・民間工場施設や上下水道施設などのインフラ設備を集中監視・分散制御するユニットを監視卓や自立盤に収めたシステム製品である。

当社では、顧客に合わせたシリーズ製品を展開しており、高速道路向けにはHIWAYMATEシリーズ、ビル・民間工場施設向けにはBUILMATE/FACTMATE<sup>(\*)</sup>シリーズ、上下水道施設にはAQUAMATE<sup>(\*\*)</sup>シリーズがあり、それ以外に車両ナンバーを読み取り監視するVRシリーズがある。

監視制御装置は個別仕様部分の多い製品であるが、その中で標準的な部分を小ロットで生産していたために「仕掛かりが増える」「作業スペースが増える」などの多くのムダが発生していた。

また、品質についても小ロットで生産を行っているとロット単位で不良をつくり込むムダが発生しやすく、気が付いた時にはすべて不良といったこともあった。

そこで、監視制御装置も小ロット生産から1個流し生産へと転換を行い、改善活動を展開している。1個流し生産にすることで各工程の問題点がすぐわかり、それを改善していくことで組立リードタイムの短縮、組立スペースの縮小が実現でき、1台当たりの標準工数も大幅に短縮できている。

監視制御装置のラインでは、上記の改善の他にJIT活動を基本としてリーンシックスシグマ活動<sup>(注3)</sup>を組合せ、生産システムの改善を継続して実施している。また、改善の中には、作業者の身体的負担軽減のために、製品を昇降することができる台車（図12）や作業台を導入して、作業者の起居動作の軽減や作業環境の改善を実施するなど、作業者が楽に作業ができるように取り組んでいる。



図12 昇降台車

VRシリーズのラインでも、1個流し生産に転換することで、必要数量の変更要求に柔軟に対応ができる。また、単位作業を最小単位まで分解した「作業手順」に展開することや、使用する部品・ネジの使用量を厳密に管理して部品取り付け漏れ・ネジ締め箇所の漏れが発生しない仕組みで各作業での「作り込み品質」を確保している。

また、決められたタクトタイムで作業することにより、安定した流れになり、出来映えの均一化が図れる生産体制を構築した。

### 3. 4 ロボットの活用

2008年より、製品の持つ制御・通信機能を活用して検査工程自動化、2015年より調整工程自動化を進めてきたが、製品のボタン・スイッチ操作などの機械的動作を必要とする部分については、人の手に頼らざるを得なかった。

そこで2018年に、直交ロボットを活用して製品のボタン・スイッチ操作を行うロボット（図13）を開発した。



図13 製品のボタン・スイッチ操作を行うロボット

このロボットは、機種選定から付帯設備・治具金物の設計、システム開発までを独自で行うことにより、多品種少量生産にも柔軟に対応することができ、調整工数80%を超える削減を達成した。

組立工程の自動化については、全自動化を目標に検討を重ねていた。しかし、現状では、製品の内部配線をロボットで行わせることが非常に困難であるという結論に至った。

このような状況から一度は独自開発を諦め、ロボット開発を行っている会社や某家電メーカーに相談を持ちかけたが、どのメーカーでも、製品組立の配線やフレキシブルな部材を扱う工程は人の手で行っているのが現実ということであった。

そこで、まずは2023年に協働ロボットを導入し、段階的に全自動化していくことにした。この協働ロボットは、ネジ締め・はんだ付け・部品取付けの作業時に、モニタに表示される手順書に同期させて組立面の方向を自動転換するものである（図14）。



図14 組立協働ロボット（組立面の自動転回）

このロボットは方向転換を行うだけのものであるが、ロボットの特長である正確な動きにより、ネジ締め等の作業位置が正確に割り出せるようになった。

今後は、この正確な位置に対してネジ締め・はんだ付けを行うロボットを導入するといった将来的なアプローチを段階的に取り入れたシステム開発を独自で行っていく。

独自開発のメリットは、生産ラインを停止させることなく稼働状況に合わせて設備導入できる点や、導入コストが圧倒的に低いことである。対するデメリットは、システム開発を行う業者のように、検討段階で動作させることができるロボットのテスト機を所有していないため、検討段階では導入による効果の確証を得ることが難しいことである。

そのため、ロボット設備の購入後に、ロボットや動作軸の追加／買い替え、最悪の場合は現場導入に至らないというリスクも想定しておく必要があり、ロボット製造メーカーと十分に協議・確認を行い、機種を選定していくことが重要である。

また、検討段階では製品や部材とロボットとの位置決め、ロボット動作が製品や設備と干渉しないかのシミュレーションが重要である。

近年、各メーカーからさまざまな産業ロボットが発売されているが、ロボットは正確な動作を得意と

する反面、プログラミングで決められたとおりのパターンでしか動作できず、人間のようにその時の状況に応じたさまざまなケースに対応した動作をすることは困難である。

これを補うための新たなセンサも開発されており、今後もこれらのデバイスやロボットの開発動向に注視し、生産現場のロボット化に取り組んでいく。

### 3. 5 DX推進に向けたスマート工場の構築

当事業部では生産革新のため、生産管理システム(以下MIPS<sup>(注4)</sup>)を独自に構築して運用しており、スマート工場化に向けて現場改善活動(作業改善・自動化・IoT化など)を継続する一方で、蓄積してきた情報を有効活用し、DX促進に向けたさらなるシステムの改良・構築を進めている。

#### 3. 5. 1 基本構築

当事業部では『「ひと」「もの」「情報」まるごとシェアする未来工場』というコンセプトを基にスマート工場化を進め、「データチェーンソリューション」による生産性向上を目指している。

データチェーンソリューションとは必要な情報を「正確に蓄積」し、そこから得られる情報を有効活用することで新たな価値を創出し、プロセス(業務)

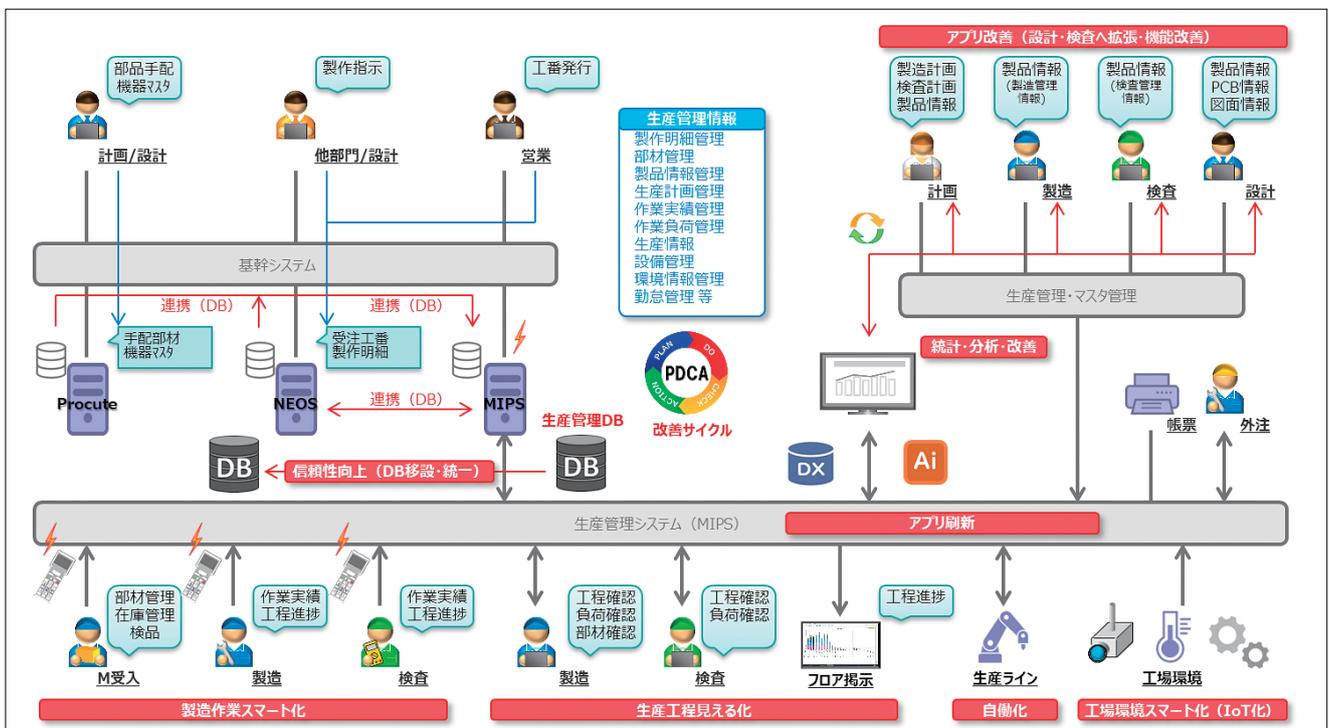


図15 システム構成

(注4) Manufacturer Improve Product control System  
 当社ソリューションシステム事業部で開発運用している  
 生産管理システム

革新からビジネスモデル革新へと繋げることである。これらを可能にするために構築しているMIPSの各種機能について説明する。

### 3. 5. 2 システム構成

MIPSは各種の生産管理情報（製作明細、作業実績、部材手配、製品、部品、工程など）をデータベー

ス（DB）で一元管理し、さらに以下の各種業務ごとに専用アプリケーションを独自に開発し、運用している（図15）。

#### ①部材入出庫管理

部材入出庫管理は、購買手配システム（以下Procute<sup>(注5)</sup>）から連携される部材の手配情報をベースに入荷部材の保管管理を担う。

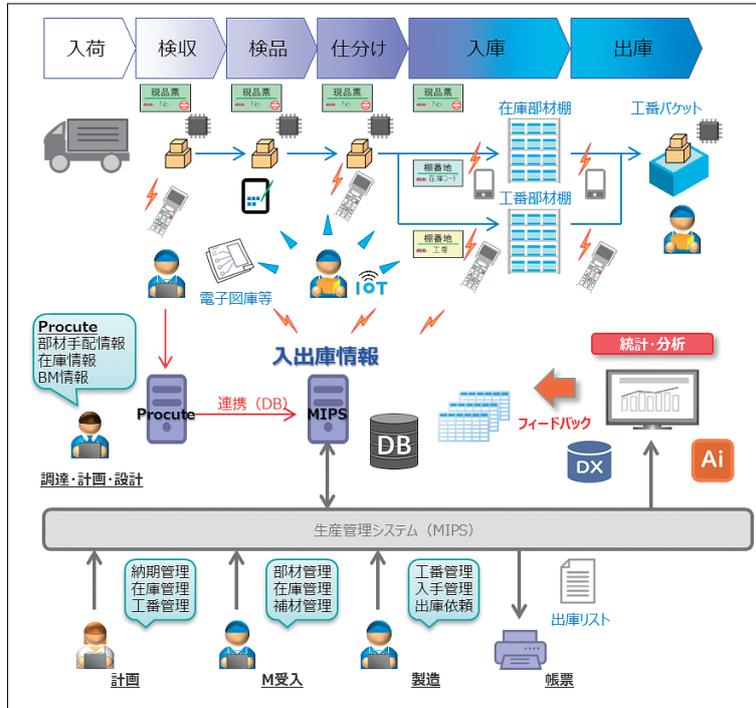


図16 部材入出庫管理

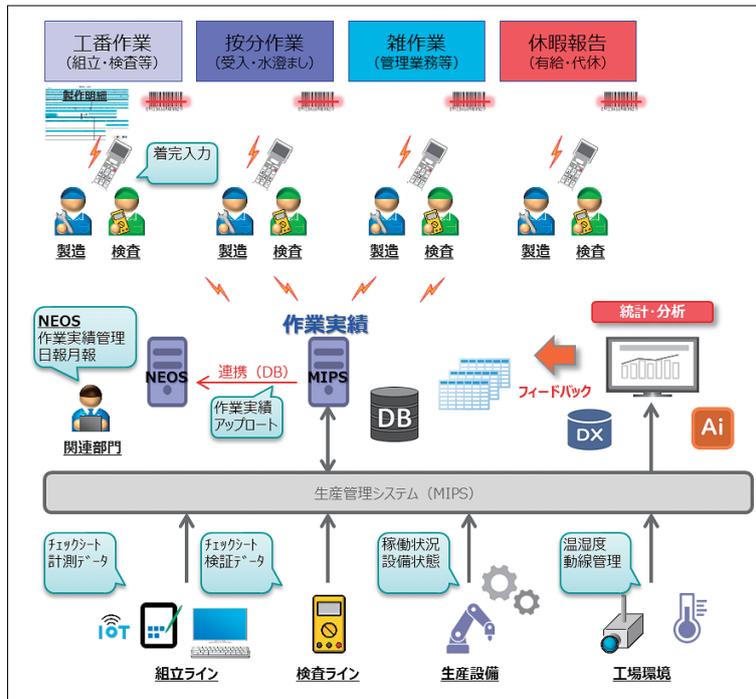


図17 作業実績管理

(注5) Procute  
当社で開発運用している購買、部材手配管理など全社共通の購買手配管理システム

部材に添付される納入伝票のバーコード（ID番号）と保管棚のバーコード（アドレス）をハンディーターミナルで読み込み、部材と保管場所を紐付けすることで部材の状況をデータ管理するシステムである（図16）。

当システムでは、各管理ステージでの必要な手順がハンディーターミナルに表示される専用アプリを開発しており、部材の状態を正確に登録することができる。

また、ここで管理されている部材情報は工程情報と連携し、生産計画支援（製作可否情報・督促情報）としても利用し、過去の手配実績から傾向分析（リードタイム、部品別、業種別等）を行い、在庫部材の計画的調達などを支援している。

②作業実績管理

作業実績管理は、全社基幹システム(以下NEOS<sup>(注6)</sup>)から連携される製作明細情報をベースに、作業実績(時間)の保管管理を担う。

実績情報は明細情報のID番号で管理され、作業の開始時にバーコード付き製作指示書と作業内容(バーコード)をハンディーターミナルやパソコン、タブレットなど、作業現場の形態に合ったIoT機器で読み込むことで、明細情報単位での作業実績をデータ管理するシステムである（図17）。

ここで管理されている情報は、工程進捗や現在の作業負荷情報など作業現場のリアルタイム監視（見

える化）情報としても利用している。

また、実績情報は生産管理情報の最重要ファクターであり、各種要素別に集計や分析を行い管理情報にフィードバックすることで、生産計画の精度向上に向けて日々管理している。

③作業工番管理

作業工程管理は、NEOSから連携される製作明細情報をベースに、明細単位（製作物）の工程情報の保管管理を担う。

当システムは製作明細情報（工番、製品形式、員数、納期、納入先など）を基本情報として製作日程を管理しており、前述の部材入庫情報や作業実績と連携することで、製作明細単位での部材の入荷状況や工程進捗も監視できる（図18）。

また、生産計画に必要な生産管理情報（標準工数など）は製品マスターで管理し、製作明細上の製品形式情報と連携することで日程展開の支援（負荷積み）を可能としている。

負荷状況については、製品種別単位の人員計画（動静管理）を基に指定期間の負荷状況を算出できるようにしており、半年先迄の予測負荷から平準化を行っている。

現在、負荷バランスまでを考慮した日程展開の自動化までは実装できていないが、蓄積された実績や履歴情報を元に日程計画の自動展開化を目指している。

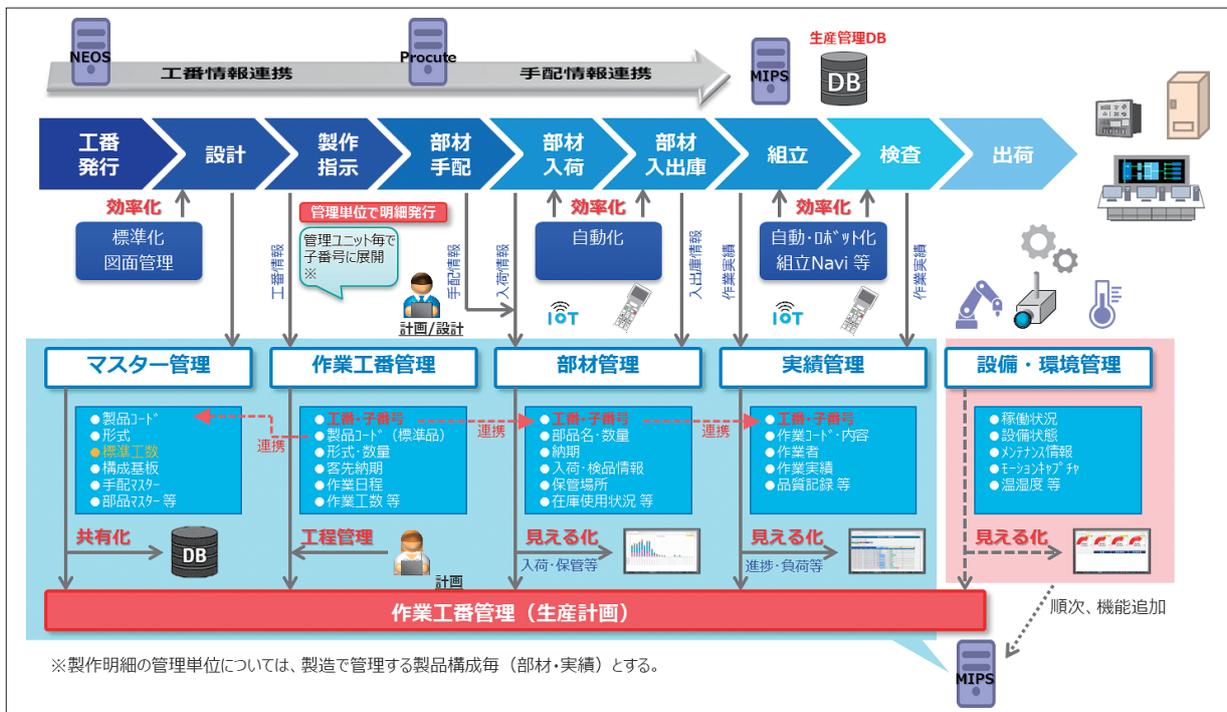


図18 作業工番管理

(注6) NEOS : Nissin Electric Office System  
当社で開発運用している受注管理や販売管理、会計管理など  
全社共通の業務管理システム

### 3. 5. 3 DX促進に向けて

目指している「データチェーンソリューション」を実現するためには、如何に「必要な情報」を「正確」に蓄積・活用できるかが重要であり、生産管理システムのクオリティを向上させることが成功要因と考え、DXを促進していく計画である（図19）。

## 4. 今後の展望

本論文では、当事業部で進めてきた改善活動を振り返ってきた。改善活動のハード面では、最初のステップとして現場改善を実施し、立ち歩きのムダ、作りすぎのムダなどを徹底的に排除したセル生産方式へと変革していった。さらに作業改善を行った後、設備改善として自動化を進めてきた。

また、ソフト面では、図面や書類で指示・報告していた紙による情報伝達を電子データ化し、情報をネットワーク化してきた。

このように、人が介在しない生産ラインに変革することで、ヒューマンエラーを無くして品質を向上させると同時に、人は改善のアイデアを出してさらにシステムを改善していくなどの付加価値の高い業務にシフトすることができる。

さまざまな情報が収集でき一元管理することで、データの見える化を行い、リアルタイムに良し悪しを判断する。それと同時に、これらのデータを蓄積して分析することで次の改善へと、常に改善のスパイラルを回せるようになって考えている。

今後とも『「ひと」「もの」「情報」まるごとシェアする未来工場』というコンセプトを掲げ、それぞれで変革してきたハード、ソフトをさらに融合進化させ、より高い次元の生産を目指して改善していく所存である。

(\*1) 「FACTMATE」は日新電機株の登録商標です。

(\*2) 「AQUAMATE」は日新電機株の登録商標です。

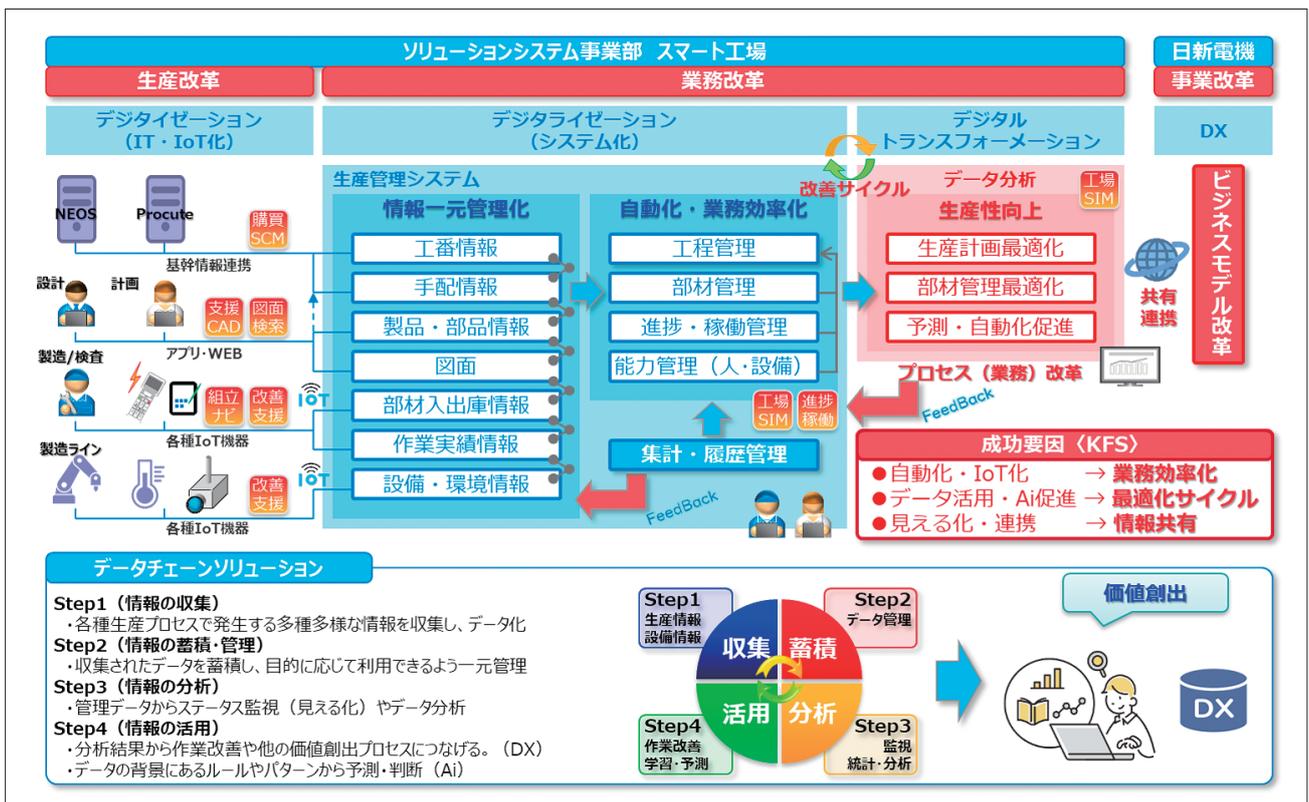


図19 DXによるスマート工場

✎ 執筆者紹介



**太田 哲雄** Ota Tetsuo  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
製造部長



**岡田 英二** Okada Eiji  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
生産設計部 主幹



**池本 高典** Ikemoto Takanori  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
生産設計部 グループ長



**松浦 卓也** Matsuura Takuya  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
製造部 グループ長



**西山 嘉一** Nishiyama Yoshikazu  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
製造部 グループ長



**本田 誠** Honda Makoto  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
製造部 主査



**村田 高司** Murata Takashi  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
生産設計部 主任



**坪田 浩治** Tsubota Koji  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
生産設計部長



**石倉 定幸** Ishikura Sadayuki  
電力・環境システム事業本部  
ソリューションシステム事業部  
システム技術部長



**大門 剛** Okado Tsuyoshi  
常務執行役員  
電力・環境システム事業本部副本部長  
兼ソリューションシステム事業部長