

デジタルツールの活用による 生産ライン構築プロセスの変革

Digital Transformation of Production Line Construction Processes by Utilizing Digital Tools

澁田 学 SHIBUTA, Manabu

現在、社会環境の変化により顧客ニーズに細やかに対応できるものづくりの実現が求められている。富士電機はニーズの多様性やグローバル化の進展に対応するため、JIT (Just-In-Time) の思想に基づき自律したものづくりを行う“自律同期化生産”の実現を目指している。デジタルデータの活用による生産ライン構築プロセスの変革や、自動化設備のデジタル検証によりライン構築の生産準備期間の短縮を実現することで、顧客の要望に応える富士電機のものづくりに貢献している。

Today's customization and mass production are both required to respond to customer needs, which vary according to changes in the social environment. To respond to the diversification of needs and the progress of globalization, Fuji Electric aim to achieve “autonomously synchronized production” on the basis of the concept of Just in Time (JIT). We have reduced the start-up time for production lines through the transformation of production line construction processes using digital data and the verification of automation equipment applying digital technology, contributing to Fuji Electric's Manufacturing that meets customer requirements.

① まえがき

富士電機は創業から長年にわたり、エネルギー・環境事業を通して、半導体やコンポーネントからプラントのように幅広い分野の大小さまざまな製品を国内外で提供している。その中で富士電機は、お客さまの要望に応えるため、ものづくりにおいて、時代ごとに常に新たな挑戦と取り組みによって生産技術を築き上げてきている。

本稿では、富士電機が目指すものづくりを実現するために取り組んでいる DX (デジタルトランスフォーメーション: Digital Transformation) について具体例を挙げて述べる。

② 富士電機が目指すものづくりと課題

現在、グローバル化やデジタル化の急速な進展によって社会を取り巻く環境は劇的に変化してきている。ものづくりにおいては、個々の顧客のニーズに対応しながら大量生産並みの生産性も同時に実現するマスカスタマイゼーションなどが求められている。このような中、富士電機の製品型式は 45 万点を超えており、さらなる製品機能の多様化、ならびに市場投入までの期間短縮が求められている。

2.1 富士電機が目指すものづくり

富士電機は、ニーズの多様化やグローバル化に対応するため、必要なものを、必要な時に、必要な量だけ提供する JIT (Just-In-Time) の思想に基づき、“自律同期化生産”を目指している。

自律同期化生産とは、最後工程である顧客への販売を起点に、その前工程である生産や調達などサプライチェーンの各工程が販売で引き取られた数に同期してものづくり全

体が自律的に流れる仕組みを作り、作業の標準化とものの流れの平準化で顧客のニーズに限りなく同期化し、自律したものづくりを行うことである。

富士電機は自律同期化生産を実現するため、時代の流れを捉えた先進的な技術基盤を適用した生産システムを富士電機生産方式 (FePS: Fuji Electric Production System) として体系化し、バリューチェーン全てにおける生産革新に取り組んでいる。

この実現に向けた大きなポイントは次の 3 点である。

(1) グローバルな生産体制の構築

富士電機は地産地消の考えを基に、グローバルに生産拠点を置いている。各拠点でのさまざまなリスクに対し BCP (Business Continuity Plan) も含め、顧客のニーズに対応できるようにするため、グローバルな生産体制の構築を実現する。

(2) 自律したものづくり

人、設備、システムから得られる生産や品質、設備稼働の情報などを連携し同期することで、自律的に維持・向上できるものづくりの仕組みを構築して、異常や不良のない高品質な製品を作り出す自律したものづくりを実現する。

(3) 顧客への限りない同期化

顧客との強固な信頼関係を構築するため、製品開発、品質、コスト、納期などを同期する。

2.2 現在までの取り組みと課題

富士電機は FePS を基に、2.1 節で述べた三つのポイントに対してバリューチェーンを構築する SCM (Supply Chain Management) と PLM (Product Lifecycle Management) における改革活動を軸に IoT (Internet of Things) 化も加え、デジタル改革活動を行っている (図 1)。

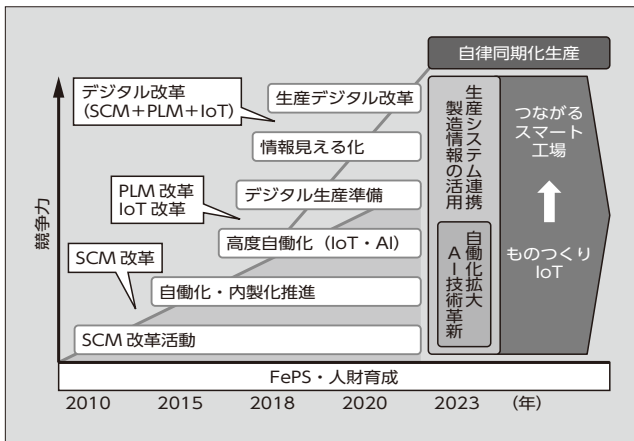


図1 富士電機が生産革新のあゆみと目指す姿

この活動では、ものと情報の流れをデジタル化した“つながるスマート工場”によってQCD（Quality, Cost, Delivery）の最適化を推進し、国外の生産拠点も含め全てデジタル情報でつなげてグローバルな生産体制を整えることを目指している。

2009年度から、SCM活動を調達から販売までの全ての部門が参画して進めている。この活動では、全ての工程でもものと情報が淀みなく流れるように工程間をつないだ流れを作り、その流れを自律的に管理・制御できるようにデジタル技術を用いて高度化して、JITを実現することと、内製化や自動化を推進し、国内外の外部環境の変化などの外因の影響を受けにくい強いものづくりへの変革を図ることを柱として取り組んできている。近年では、生産ラインや設備にてセンシング技術やAI（Artificial Intelligence）などを活用した診断解析、予知、フィードバック制御などの技術革新による高度な自動化やデジタル化による自律したものづくりに取り組んでいる。

PLM活動では、図2に示すように、商品企画から、製品設計、工程設計やライン構築などの生産準備、そして生産につながるエンジニアリングチェーンに、販売後のサービスに至るまでのライフサイクル全体をマネジメントし、顧客に提供する価値の最大化を図るため顧客との限りない同期化を図る。

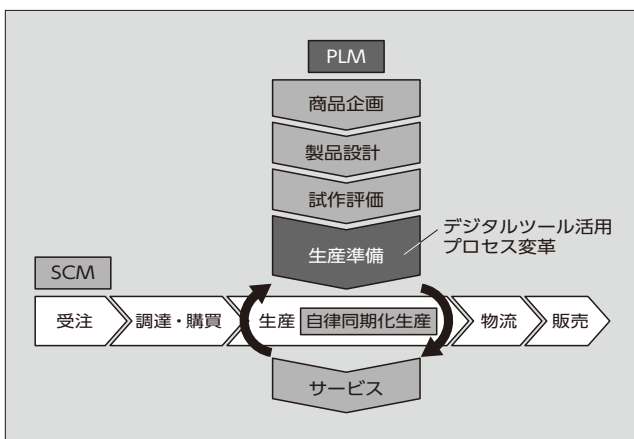


図2 SCMとPLMの取組み

PLM活動の中で、製品や生産設備などの設計の3D化という点においてデジタル化は進めてきたものの、生産準備工程における未デジタル化の部分が残るなど、つながる化に至っていない工程も多い。

そこで、生産準備の各ステップでデジタルツールを活用し、デジタル情報を次のステップに伝えることで、高品質なものづくりのための生産ラインを短期間で構築する仕組みを作った。

③ 生産ラインの構築プロセスの変革

ものづくりでは、製品の開発に合わせて、生産工程を構築するための工程設計や生産ライン設計などの生産準備が必要である。従来、生産準備におけるプロセスのこれらの各ステップを製品開発が完了した後に、生産技術者が要求される目標に対し、机上で何度も繰り返し検討してきた。だが、このような方法では、ニーズが多様化し対象品種が増えることなどによる負荷増に対応しきれない。そこで、ノウハウを属人化せず共有化し、生産ラインを誰でも短期間に構築できるように変革する必要がある。

この課題を解決するため、デジタルツールを用いてデジタル仮想空間上に効率的に生産できる仕組みを構築し、仮想空間と実空間を繋ぐCPS（Cyber Physical System）を活用して、高効率なラインを構築するための生産準備期間を短縮できるようにした（図3）。

3.1 製品設計の情報の活用による工程設計の高度化・効率化

生産準備における工程設計では、製品設計の情報に基づき、製造が可能であることや容易であることを検証しながら、製造方法、人員・工数、設備・治工具などを設定する。さらに、人やもの、設備の動きを想定し、より効率的な生産ラインを構築する。この生産ラインの構築は、製品のQCDを左右する極めて重要なものである。この工程設計における製造容易性検証とライン設計の事例を次に述べる。

(1) 製造容易性検証と帳票作成

ものづくりでは、品質を満足する最適な製造方法を考慮して作成したQC工程図や作業標準書などの帳票類を使

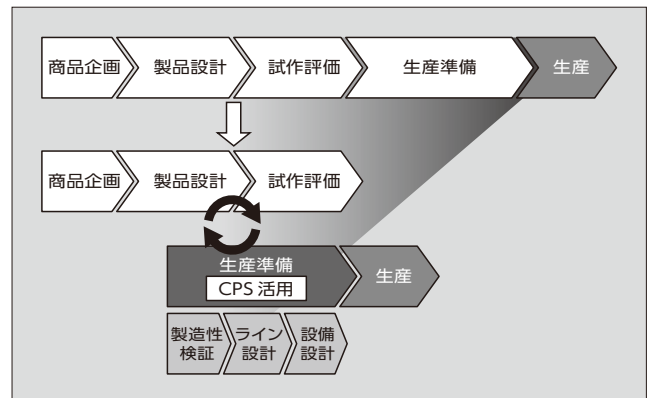


図3 CPS活用による生産ライン構築プロセスの変革

用して、製品の QCD の最適化を行う必要がある。同じシリーズ製品でも仕様に微小な差異があれば工数や要求品質が異なるので、それぞれの製品に合わせて帳票類を作成する必要がある。また、設計を変更するたびに版数管理などの付随作業が発生するため、多大な時間がかかるという問題があった。

この問題解決について、配線作業の省工数化を実現する受配電機器「F-QuiQ シリーズ」の製品開発を実例として取り上げる。

この F-QuiQ シリーズをユーザーに採用していただくために、制御盤への搭載時に省工数の効果を最大化するため、複数機種の商品ぞろえが必要であり、主要 6 機種を同時に発売した。そのためには、この 6 機種の製造容易性の検証と帳票作成を同時に行う必要があった。

そこで、コンカレントエンジニアリングによって生産準備の着手を早期化した。製品開発中に、図番や部品名称といった基本情報や、質量などの各種情報を入力した 3D-CAD データを基に CPS 上で製造容易性を検証することによって、最適な製造手順の抽出と、構築した生産工程を確認するための試作回数を半減した。併せて、デジタルツールを用いて 3D-CAD データを基に帳票類を半自動で作成できる環境を整えることで、生産準備期間を半減した。

製造容易性の検証では、CPS 上で部品の組立順序や方法を入れ替えたいいくつかの案を検討した。FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) を生産工程の構築に適用し、FMEA から抽出したリスクが実際の製品品質に影響を及ぼさないようにするために、注意点を 3D-CAD の設計データに追加した。また、実績に基づいて作成した作業工数テーブルを基に製品質量なども踏まえて組立工数を試算し、必要な治工具も設定した。これにより、現実と同等の生産工程の検証をデジタル上で試作なしで行った。検証時に判明した製造が難しい点は製造容易性の向上のため、即時フィードバックして生産工程の改善につなげた。

帳票の作成では、富士電機内で規定している工程 FMEA、QC 工程図、組立手順書などの各種フォーマットに、製造容易性検証時に入力したデータや、その際の組立状態の画像を自動で転記する仕組みを構築した(図 4)。

また、帳票は実績に基づいて作成した作業工数テーブルを活用しているため、シリーズ品の帳票を作成する時には、差異部分の工数を自動計算し、設計データにひもづき帳票類が自動作成されるため、版数管理も容易である。

(2) 生産ライン設計

生産ラインの構築では、各工程の作業に加えて、ラインへの部品の供給、作業者の動線、作業者と機械の組合せなどさまざまに重なり合う要因を網羅して事前検討する必要がある。その検討と実際にライン構築した際の一致の度合いは生産技術者の能力に依存することも多かった。

生産ライン設計の実例として、顧客の短納期の要求を満足するために、回転機の生産を中国から国内生産に切り替えた事例について述べる。

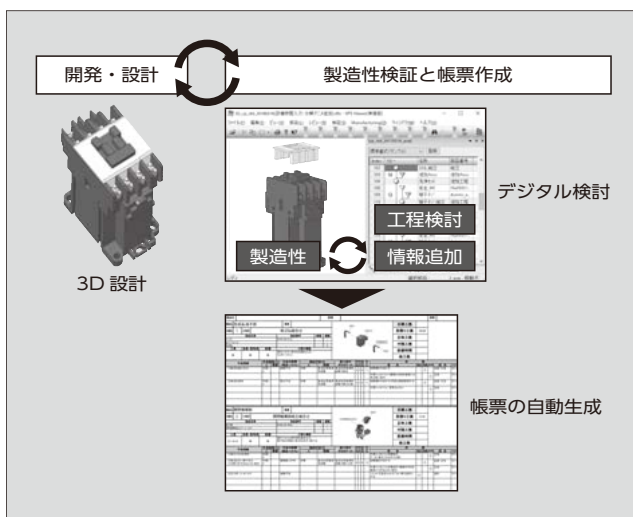


図 4 製造容易性検証と帳票作成の効率化

生産の切替えにおいて、顧客が要求する納期を満足し、中国での製造と同等以下のコストで 60 機種以上が生産可能な組立ラインを構築することが課題であった。日本国内に移管することで製造コストが増加することを防ぐため、人手に依存していた作業を極力自動化することが必須であった。そのため、目標の製造コストを満足するラインが構築できることを事前検討で確認することが重要となる。

富士電機は、CPS 上で、人やもの、設備の動きをシミュレーションするラインレイアウト設計ツールを活用して、効率的な生産ラインを設計している。3.1 節(1)で述べた製造容易性検証で使用した情報を活用してタクトタイムやラインの能力、工数をシミュレーションする。さらには作業者の動作シミュレーションによって、主作業に加えて付随作業や作業しにくい工程、ならびに製品品質に関わる工程の事前検証と課題のつぶし込みを行った(図 5)。その結果を踏まえて、回転軸の高精度嵌合(かんごう)や組立時の微調整などの設備を新規に開発して自動化を実現した。これにより、目標製造コストや要求納期を満足する生産ラインを構築した。

現在は、順次国内生産の対象となる型式を増やして、顧客の要望に同期できるように改善を継続している。

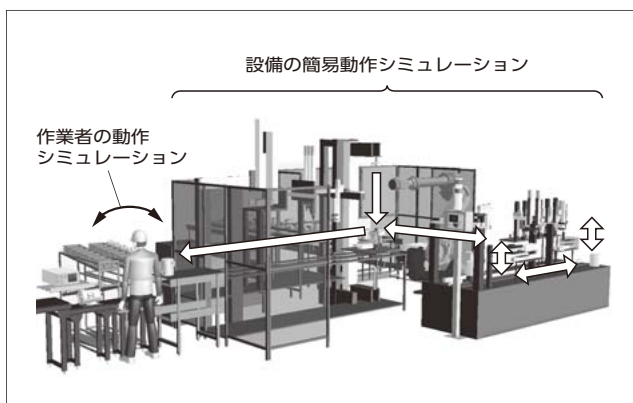


図 5 生産ライン設計の高度化

3.2 自動化設備のデジタル検証

生産準備において、新規の設備開発が必要となる場合、従来は機械設計や電気設計などのハードウェア設計と、動作制御プログラムなどのソフトウェア設計などを行った後、実際の設備を使って動作などのデバッグや評価を複数回行っていた。そのため、手戻りが発生する場合もあり、相応の期間が必要であった。

手戻りを削減し、開発期間を短縮した実例として、人の指先の繊細な感覚が必要で自動化が困難だった配線用遮断器の外装箱への梱包作業の自動化について述べる。

(1) 自動化の課題

輸送中の外部衝撃から製品を守るため、製品が1個入った個装箱を製函した段ボール箱の中に最大10個を投入し、ガムテープで封函し、注文の内容を記載した外装ラベルを張り付けるという作業を行っていた。この作業では箱の成形やテープ貼付など人の指先の感覚などに依存する部分が多い。そのため、作業によって工数や出来栄えにばらつきも多く、ものの流れが平準化しづらく自律同期化生産におけるネック工程であった。

このような作業を自動化するために、解決しなくてはならない困難を伴うさまざまな問題がある。

例えば設備製作の段階におけるハードウェアの開発では、設計時に複雑な機構や垂直多関節ロボットを活用しようとするが機械装置が複雑化してしまうという問題があった。また、ソフトウェアの開発では、複雑な機構や垂直多関節ロボットを組み合わせることでソフトウェア設計とデバッグ作業が複雑化してしまうという問題や、実際の設備を使ったデバッグの着手は実際の設備が組み上がるまで待つ必要があるという問題があった。さらに、ロボット教示に至っては完成した設備を干渉で破壊しないように気を付けながら低速で慎重に行わなければならない、生産ラインの完成までに時間を要する開発工程が多々あった。

実際の運用においても、形状が安定しない段ボールやテープを扱う際に不具合が発生することが想定される。さらに、うまく組立ができないなどの設備的なエラーは、稀にしか発生しないこともあり、エラー発生要因の究明が難しく、対策に時間がかかる場合もある。真の原因を早期に究明し根本対策の迅速な対応が求められる。

(2) 設備開発とデジタル検証

手戻りを削減し、設備の設計品質を向上させ、設備の開発期間を短縮するため、機械設計段階の3D-CADデータを活用し、実機と同様の試作・評価を行うことができるCPS環境をコンピュータ上に構築した。

機械設計段階では、3.1節(1)や(2)で得られた結果に従って、機械設計者が検討して、従来と同様に3D-CADを使って設計し、設備を構成する機能ごとのユニットの複雑な配置の組合せによる干渉や、ユニット内の機器駆動時の干渉の回避を確認する。今回はさらに設備の各駆動部の動作を設定し、シミュレーション上で連続動作させ動作を検証した。これにより、十分に仕様を満足した設計であるか

を実機製作前に検証して、手戻りを減らすことができた。

また、設備全体の動作が分かることで、実機の組立と配線後の対応が多かったソフトウェア設計者も機械設計時に機械設計者が想定した動作フローの共有が可能となり、ソフトウェア設計も早期に着手できた。

ソフトウェア設計段階では、設備を制御するPLC (Programmable Logic Controller) で作成した動作シーケンスをデバッグする際に、設計者はCPS上で駆動部やセンサの信号をやりとりしながら、実機と同様のデバッグを行うことができるようになった。さらに、いじわる試験と呼ばれる通常と異なる動作を従来は人手を使って何通りも試しても問題が発生しないことを確認していたが、CPS上で総当たりの検証が可能になった。ロボット制御においても、設備モデルと組み合わせることで、CPS上のシミュレーションなので機構部同士の干渉を気にせず動作を高速で確認できるため、短時間での検証が可能になった(図6)。

これにより、設備への製品供給時の実際のタイミングのばらつきを考慮して、要求されるタクトタイムに収まるかどうかの検証が可能となった。実際のラインが完成したのち、設備の微調整だけですぐに運用ができ、稼働開始までの期間を短縮できるようになった。

また、このCPSを活用すれば、数台のロボットを連携した製造ラインを構築する場合においても、ロボット同士あるいは人との干渉の有無を事前に検証して、安全性を担保した上で、実機の検証を行うことができる。

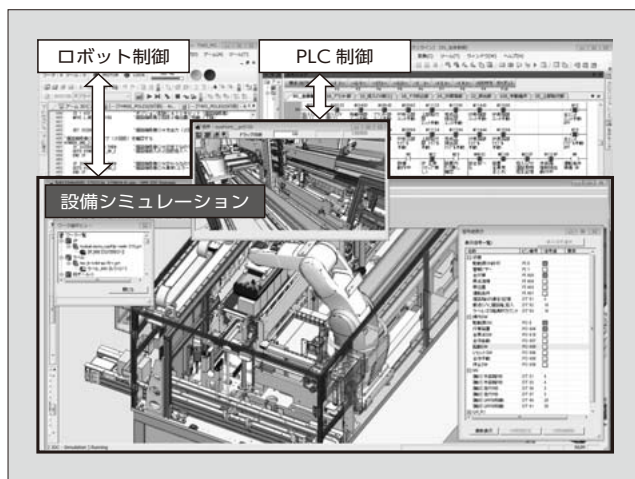


図6 シミュレーションによる実機レス検証



図7 実機挙動のデジタル検証

(3) 設備稼働中のデジタル検証

量産を開始した後の稼働中に不具合が発生した時に迅速に根本的な対応をするため、図7に示すように、設備稼働のログを取得しデジタル検証を行う仕組みを構築した。

設備でトラブルが発生するとログを出力する機能を設け、そのログをCPS上で再生することで、トラブルの原因を即座に解明できるようになった。また、Webカメラを使って動画を記録しているので、段ボールの切れ端をセンサが不具合として誤検出するような設備動作に関係ない原因のトラブルも明確に区別できるようになった。このような場合、従来のようにソフトウェア担当者がトラブル発生後に出張対応する必要がなくなった。また、このCPSを使って実機挙動を再現することで、遠隔地からでも原因の究明と対応が可能になり、設備停止による損失を最小化できるようになった。

これにより、国内拠点だけでなく、国外拠点での設備の量産稼働中の動作評価やソフトウェアの改良が場所を問わず行うことができ、グローバルで顧客が要求するQCDに応え、BCPが可能になった。

4 あとがき

デジタルツールの活用による生産ライン構築プロセスの変革について述べた。またこれ以外にも、溶接などの熟練技術のデジタル化による技能伝承や自動化、それらを組み合わせた技術力強化にも取り組んでおり、富士電機のものづくりに貢献している。

引き続き、DXを通じてものづくりプロセスの変革を加速し、関連部門と連携を密にとり、生産技術力のさらなる強化を図ることで、お客さまのニーズや社会課題などに即座かつ柔軟に対応できる自律同期化生産をグローバルにおいて実現する所存である。



澁田 学

生産技術・製造技術の開発に従事。現在、富士電機株式会社生産・調達本部生産技術センター設備技術部主任。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。