

生産エンジニアリングツールを活用したライン設計

Production Line Design Utilizing Manufacturing Engineering Tools

高田 淳 杉山 尚美

■ TAKADA Atsushi ■ SUGIYAMA Naomi

近年、製造業のグローバル化の進展に伴い、新興国市場への供給力を強化するために海外製造拠点の新規立上げが増加している。海外製造拠点で効率的なライン立上げと運用を継続していくためには、現場的的確な運用管理だけでなく、量産開始前に生産ラインの完成度を上げておく必要がある。

そこで東芝は、製品設計段階から精度の高い工程・ライン設計を可能にする生産エンジニアリングツールの開発に注力している。今回、3D (3次元) CADを用いたDMU (Digital Mock-up) ツールと組立作業シミュレーションを含む各種シミュレーションツールを活用して、量産課題を事前に抽出し対策できる仕組みを整備した。

Accompanying the ongoing globalization of manufacturing industries in recent years, the number of overseas manufacturing bases has been increasing to enhance the capacity to supply large emerging markets. For the effective introduction and operation of high-performance production lines in these overseas manufacturing bases, it is necessary not only to adequately control production lines in the field, but also to optimize the design of production lines prior to the commencement of mass production.

As a solution to this issue, Toshiba is engaged in the development of manufacturing engineering tools that make it possible to realize high-precision design of the manufacturing process and production line at the initial stage of the product design phase. We have developed a manufacturing technology that allows engineers to identify production problems in advance and to take effective countermeasures through various simulation tools including digital mockup (DMU) tools and assembly operation simulation tools.

1 まえがき

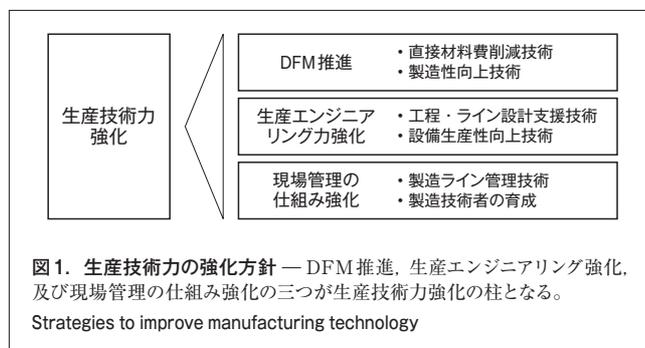
近年の製造業を取り巻く外部環境の変化として、グローバル生産の進展と新興国市場の成長が挙げられる。グローバル生産の進展は、人件費差や、EMS (Electronics Manufacturing Service) の成長、円高の進行などが要因であり、その結果として国内製造拠点が減少している。また新興国市場では、中間所得層の急増に対応して生活環境の整備が進められており、結果として家電製品や社会インフラ関係の製造拠点の新興国進出が盛んになっている。

新興国を中心とする新規の海外製造拠点を短期間で立ち上げ、効率的な生産を継続するには、量産前に生産ラインの完成度を上げておく必要がある。そこで東芝は、精度の高い工程・ライン設計を行う仕組みとして、3D CADデータを用いたリアリティの高いシミュレーション技術を活用した生産エンジニアリングツールの開発を進めている。

ここでは、整備した生産エンジニアリングツールのコンセプトとその適用事例について述べる。

2 生産エンジニアリングへの東芝の取組み

当社は、図1に示すような三つの方針から成る生産技術力の



強化を進めている。具体的には、DFM (Design for Manufacturability) の推進で製品設計面からコストを下げ、生産エンジニアリング力の強化で生産性の高い工程及びラインを構築し、現場管理の仕組み強化により、高い効率で生産ラインを運用していくことを目指している。ここで、生産エンジニアリングとは“生産準備段階で生産性を作り込む活動”と定義している。

近年、量産製品を中心に生産の海外シフトが進んだことで、海外製造拠点の短期での量産立上げが求められるようになってきた。これを実現するには、量産前に工程・ライン設計の精度を上げておく必要がある。また製造拠点が設置される地域でも人件費の上昇が続いているため、生産性の高い設備を導入し総コストを抑制する必要がある。これらを生産エンジニアリ

ング技術として推進していく必要性が強まってきているが、工程・ライン設計の精度向上について、次に述べる問題がある。

- (1) 製品設計でのCADツールや、量産段階でのMRP (Material Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) など、業務をサポートするIT (情報技術) ツールがあるが、工程・ライン設計をサポートするITツールがない。このため、工程・ライン設計が設計者の経験に依存したり、既存ラインを踏襲したりするおそれがある。また、工数データなどの基礎データの蓄積も進まない。
- (2) 量産試作が海外拠点で実施されるため、生産技術のノウハウが国内に蓄積しにくく拠点間の共通化も進まない。
- (3) 工程・ライン設計が生産技術部門の主導で行われ、設計部門などとの部門間連携が不足する。このため量産課題の抽出が遅れ、量産ラインでコストと品質の合わせ込みが発生する場合がある。

そこで当社では、これらの問題を解決するために、次の二つの施策を推進している (図2)。

- (1) 工程・ライン設計の業務をサポートする生産エンジニアリングツールとして、各種シミュレーションツールを導入する。これにより、設計しているラインの性能を定量的に評価することができ、工程・ライン設計に必要な基礎データの蓄積が進む。
- (2) 工程・ライン設計段階でDR (設計審査) として仮想量産試作を実施する。DRには設計部門、生産技術部門、及び製造技術部門が参加する。このDRにより、量産課題を事前に抽出し、製品設計、工程設計、及びライン設計にフィードバックすることで設計段階から課題に対して対策することが可能になる。また国内での生産技術ノウハウの蓄積が進み、国内外の生産拠点へ生産性改善を展開できる。

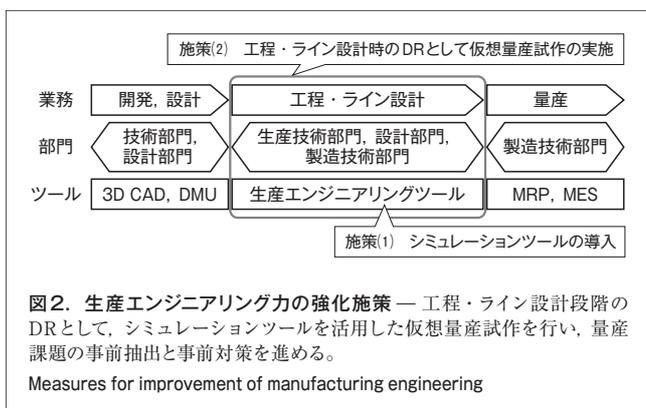


図2. 生産エンジニアリング力の強化施策 — 工程・ライン設計段階のDRとして、シミュレーションツールを活用した仮想量産試作を行い、量産課題の事前抽出と事前対策を進める。

Measures for improvement of manufacturing engineering

3 生産エンジニアリングツールの概要

具体的な生産エンジニアリングの活動は、工程設計からライン設計へと進む (図3)。ここで、工程設計とは“むだのない



図3. 工程・ライン設計の流れ — DMUツールによる組立性評価後、工程設計では作業性評価を、ラインレイアウト設計ではレイアウト検討と構内物流評価を、ライン性能評価では生産能力評価を、ライン運用設計ではライン総合評価をそれぞれ行う。

Flow of process and line design

作業及び作業手順を決める”活動、ライン設計とは“作業を効率的に実施する人とモノの配置を決める”活動と定義し、ライン設計には、ラインレイアウト設計、ライン性能評価、及びライン運用設計が含まれる。これらの設計・評価活動をサポートするツールとして、生産エンジニアリングツールを整備した。

生産エンジニアリング活動として、量産前に工程・ライン設計の精度を上げるには、よりリアリティのある“仮想量産現場”を構築し、設計部門、生産技術部門、及び製造技術部門それぞれの視点で量産課題の有無やその対策を検証していくことが重要である。仮想量産現場のリアリティを高めるため、生産エンジニアリングツールとして、実際の製品設計データである3D CADデータを活用し、また量産現場での作業やワーク (製品や部品)、設備の動きを3Dで可視化できるシミュレーションツールをそろえた。それらには、DMU (Digital Mock-up) ツールと生産シミュレーションツールがある。

3.1 DMUツール

CADを用いて製品の外観や内部構成などを比較し検討するためのシミュレーションソフトウェアである。これを用いて、設計された製品及び部品が物理的に組立可能か、また、組立用治具が物理的に使用可能か、といった評価を行う。このツールを使って検討する製品やユニットの組立手順が工程設計での入力データとなる。

3.2 生産シミュレーションツール

従来、生産シミュレーションはライン性能評価やライン運用設計に活用されてきた。生産エンジニアリングの強化に向けて、組立作業シミュレーションを加え、工程設計からライン運用までを生産エンジニアリング領域としてカバーするシミュレーション環境を整備している。以下、各シミュレーションツール

表1. 生産シミュレーションツールの特徴
Features of manufacturing simulation tools

項目	シミュレーションツール		
	組立作業 シミュレーション	搬送・レイアウト シミュレーション	製造ライン シミュレーション
適用事業	・白物家電機器 ・デジタル家電機器 ・パソコン	・電子部品 ・社会インフラ機器	・家電機器 ・電子部品 ・社会インフラ機器量産品
適用場面	・ラインロス削減 ・新製品導入 ・新規ライン立上げ	・新規設備導入 ・搬送ボトルネック解消	・新製品導入 ・ライン増設
適正化項目	・工程編成 ・ライン編成 ・作業配置 ・部材置き場	・構内搬送設備 ・構内搬送経路 ・加工設備配置 ・仕掛品設置場所	・工程での処理優先度 ・ライン別品種構成

の特徴を述べる(表1)。

3.2.1 組立作業シミュレーション 組立工程における作業性を評価するためのシミュレーションツールであり、工程設計段階で使用される。製品・部品形状や、組立手順、作業割付け、ラインレイアウトなどから、コンピュータ上で仮想量産ラインを構築する。このラインの中で仮想作業者が作業を行った結果から、工程全体の作業性を評価するとともに、歩行や搬送といった付加価値のない作業を抽出し削減が可能かを検討する。また効率的な手順とラインバランスの両面から工程順の組替えを検討し、その効果を検証する。

3.2.2 搬送・レイアウトシミュレーション 工程や設備のレイアウトと構内搬送を適正化するためのシミュレーションツールであり、ラインレイアウト設計段階で使用される。工程や、設備、作業員などを配置した状態でワークを投入し、搬送作業を含めたラインとしての生産性を検証する。具体的には、設備と作業員の配置や搬送動線、搬送設備能力の課題を抽出し、対策の立案評価も可能である。シミュレーションモデルの作成方法としては、シミュレーションソフトウェア内で設備や作業員をレイアウトする方法と、CADを使ったレイアウト図からシミュレーションモデルを自動生成する方法がある。

3.2.3 製造ラインシミュレーション 工程と、設備や作業員などの能力を入力し、投入されたワークの工程進捗を計算するシミュレーションソフトウェアであり、ライン性能評価段階とライン運用設計段階で使用される。メンテナンスやトラブルといった設備停止や歩留りなどの変動要因を考慮したときの、設備稼働状況やワークの工程間滞留状況などを可視化することで、ボトルネックとなる工程の抽出や、その工程での流し方と作業員指示の改善ポイントを把握することができる。

4 生産エンジニアリングツールの適用事例

海外進出を計画している量産製品の組立工場における工程・ライン設計に、生産シミュレーションツールのうち組立作業シミュレーションを適用した事例について述べる。この工場

は主に、海外市場に向けた従来製品の機種生産を行う拠点と位置づけられる。低価格モデルの機種であるが、既存製品から大きく設計変更となった部分があり、品質面、特に部品を人手でハンドリングする際には注意が必要になっている。

4.1 工程設計と作業割付け

まず、DMUツールに3D CADデータを取り込み、組立手順を作成した。通常の組立製品は、いくつかのサブユニットに分解される。このサブユニット組立工程は、メインラインに置くこともできるし、サブ組立ラインに置くこともできる。この工程編成の違いはライン構成の違いとなるので、メインラインに作業を多くした場合、なるべくサブラインで組立を行う場合の二通りの工程フローを作成した。

次に、各作業の作業時間を設定する。作業時間の算出には、インダストリアルエンジニアリング(IE)で使われるPTS(Pre-determined Time Standard)法の一つであるRWF(Ready Work Factor)という簡易的な作業時間算出法を用いた。また、現行機種の生産ラインの作業時間も参考値として使用した。この作業時間から、1製品当たりの総作業工数を算出した。

ここで、量産目標台数とライン稼働時間から算出されるサイクルタイムを基準として、総作業工数から作業員数を概算し、作業を割り付けた。製品によっては、部品の組付順の制約が強く工程編成の自由度が小さいため、少なからずラインバランスロスが発生する場合がある。この場合は、ラインバランスロスを削減するために、メインライン分岐やひとりで多工程を担当するセル化を検討する。この適用事例でも、ラインバランスロスの大きい一連の工程についてセル化の検討を行った。

4.2 作業性評価

これらのデータを組立作業シミュレータに入力し、仮想量産ラインを構築した。組立作業シミュレータ上で設定しなければならないのは、作業員や部品棚の配置と部品置き場の位置、作業員への作業割付け、及び配線作業など部品を組み付けない作業である。部品の組付作業は、組立作業シミュレータがCADデータ部品組付位置を基に作業員動作を計算する。この結果で上がった仮想量産ラインの例を図4に示す。

画面上では作業員の動きとして、部品取りのための歩行ルートや作業員の手動きを確認することができる。これらの動線は組立作業シミュレータがトレースし、その結果がファイルに出力される。また、部品組付やピッキングの際の作業姿勢の評価値も画面上や出力ファイルで確認できる。例えば、図5に示すように、画面上で作業姿勢を確認し、コンベアの高さや部品棚の位置を調整する。これらの調整は従来、拠点の作業員の体格に合わせて量産立上げ中に試行錯誤的に行われていたが、仮想量産ラインの中でこれらを調整することで、よりスムーズな量産立上げが実現できる。

また、作業員が作業しにくい工程や製品品質に関わる工程は、製品設計にフィードバックを行い、設計面からの見直しを

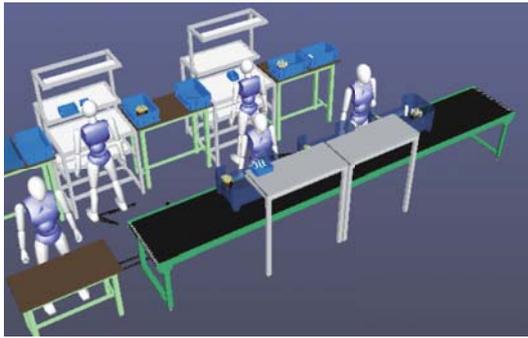


図4. 仮想量産ラインの例 — 奥の2名がサブ組立を行った部品を、手前の3名のラインで組み付ける。手前左端の作業者はワークの投入を担当している。

Example of virtual mass-production line



図5. 作業姿勢の評価 — 左側では組付位置が低く作業姿勢が悪いが、コンベアの高さ調整により右側のように作業姿勢が改善された。

Evaluation of working postures

するとともに、自動化やLCA (Low Cost Automation) を導入して作業品質の安定化を図ることもできる。

4.3 ライン評価

前述したように、工程設計時にいくつかの工程フローを考えることができる。また、ラインバランスロスを削減するためにメインラインの分岐やセル化もライン設計案の候補となる。同じ作業工数データを使ってこれらの異なる工程編成やライン構成案を比較し、作業員数やライン占有面積などを評価できる。

今回の適用事例では、サブ組立化を進め品質基準の厳しい工程を自動化することで、ライン長を25%、作業員数を7%削減できるという結果になった。また一部工程をセル化することにより、更に作業員数を3%削減できるという結果を得た。

引き続き、ラインレイアウト設計、ライン性能評価、及びライン運用設計を行う。ラインレイアウト設計では物流動線や作業員動線の長さを短縮し動線の干渉を減らすことを、ライン性能評価では設備や作業員が所定の能力で稼働した場合の生産量やワークの滞留を評価する。最後のライン運用設計では、製造現場に影響する変動要因も考慮してロバストな製造ライン運用条件を設計していく。

このように工程・ライン設計の完成度を上げるためには、設

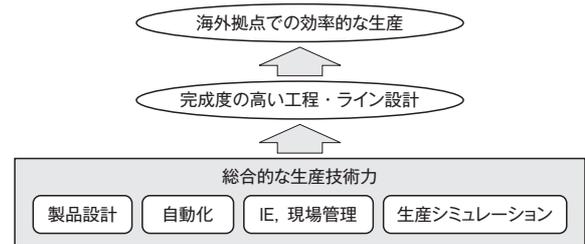


図6. 工程・ライン設計を支える生産技術 — 生産エンジニアリングツールを活用することで、総合的な生産技術力を工程・ライン設計に反映し、効率的なグローバル生産を推進する。

Manufacturing technologies for process and line design

計技術者とともに、自動化技術者や、IE技術者、シミュレーション技術者などの参加と協力が必要である(図6)。生産エンジニアリングツールはこれらの技術者が容易に参加できる設計・評価環境を提供することを目指しており、シミュレーション結果を設計技術者、生産技術者、及び製造技術者がいっしょにDRすることで、量産課題の事前把握を可能にし、具体的な検討課題と対策担当者を決めることにつながる。このような取組みにより、量産課題を事前に解決できることから、実際の量産立上げ時には、取り組む課題が少なく済み、スムーズな立上げが期待できる。

5 あとがき

製造業においてグローバルでの最適地生産体制の構築が進むなか、海外拠点で生産性を高めるためには、生産エンジニアリング技術を活用した、生産準備段階における製造ライン生産性の作り込みが必要になる。そこで当社は、精度の高い工程・ライン設計を実現するため、生産エンジニアリングツールを整備した。

今後は、エコプロダクトなどの新製品の製造ラインへ適用を進め、工程・ライン設計方法の体系化を進めると同時に、個別に適用している生産エンジニアリングの各ツールを適用場面に応じてより有機的に統合活用することで、各グローバル生産拠点で要求される性能を発揮できるライン構築を進めていく。



高田 淳 TAKADA Atsushi

生産技術センター グローバル生産エンジニアリングセンター 研究主幹。モノづくりの仕組み構築に従事。日本経営工学会 会員。

Global Manufacturing Engineering Center



杉山 尚美 SUGIYAMA Naomi

生産技術センター グローバル生産エンジニアリングセンター 主任研究員。モノづくりの仕組み構築に従事。

Global Manufacturing Engineering Center