

生産シミュレーション技術の製造ライン設計への適用と生産予測への応用

Application of Production Simulation Technologies to Production Line Design and Production Forecasting

小竹 正弘 杉山 尚美

■KOTAKE Masahiro ■SUGIYAMA Naomi

東芝は、製造活動を含めた全ての領域で、現状の業務プロセスをゼロベースで見直すことにより、本来あるべき成果領域及び成果指標を再設定し、生産性向上のためのモノづくり変革活動に取り組んでいる。スピード感のある変革を進めるには、製品の企画・開発段階などの上流プロセスにさかのぼり、量産段階で発生しうる潜在リスクを見いだして対策を施すことが重要である。

このため、生産シミュレーション技術によるライン設計技術の開発を進めており、幅広い製品での最適な製造ラインの構築に適用している。これらの技術の適用を従来の業務領域以外やサービス分野に拡大するとともに、技術の高度化を実践している。

In order to improve productivity, Toshiba has been devoting continuous efforts to process innovation activities in its overall business operations including production lines based on the reconstruction of current operations and redefinition of contribution criteria and indicators. It is important for the acceleration of innovation activities to implement potential risk assessment prior to the commencement of mass production at the product planning and development phases.

As a solution to this issue, we have developed production line design and production forecasting technologies utilizing production simulation technologies and have been applying these technologies to the construction of optimal production lines for a wide variety of products, including digital products, semiconductor devices, and products for social infrastructure systems. We are further advancing these technologies and promoting the expansion of their areas of application from conventional products to those in service business fields.

1 まえがき

東芝は、半導体製品に代表される電子部品から、ノートPC（パソコン）や液晶テレビなどのデジタルプロダクツ製品、蒸気タービンや電気機関車などの社会インフラ製品まで、多岐にわたる製品を製造している。生産規模や生産方式、また、製品の大きさや重さなどが異なれば、モノづくりの課題も変わるが、どのようなモノづくりでも製造着手後に発生しうる潜在リスクを事前に把握し、その対策を講じることは、高効率な生産の実現に寄与できる。この潜在リスクの事前把握と対策の予想効果試算にシミュレーション技術は有効である。

当社は、生産シミュレーション技術によるライン設計技術の開発を進めており、幅広い製品での最適な製造ラインの構築を通して、この技術の適用拡大と高度化を実践してきた。更に、この技術を使って将来の生産状況を予測し、潜在リスクを極力解消するような対策を織り込んだ生産管理を実現している。

ここでは、生産シミュレーション技術の概要と、幅広い製品での製造ラインの最適設計に適用した事例、そして生産予測への応用について述べる。

2 生産シミュレーション技術の概要

2.1 生産シミュレーション技術による工程・ライン設計

生産シミュレーション技術とは、製品と製造情報をもとに、コンピュータ上に製造ラインを仮想的に作り、この中で時間を変化させながら人、物、及び設備の動きを追跡し、製造ラインを評価するものである⁽¹⁾。評価する目的や対象により、以下の3種類のツールを整備している（図1）⁽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し、工程設計や標準作業設計を行うためのシミュレーションであり、主に、デジタルプロダクツ製品や家庭電器製品が適用製品分野である。
- (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設計及び構内搬送設計を行うためのシミュレーションであり、主に、大物かつ重量物の多い社会インフラ製品や、多くの設備や搬送工程を持つ電子デバイス製品が適用製品分野である。
- (3) 製造ラインシミュレーション 設備や作業者の能力を入力し、ワークやロットの工程進捗を計算することでライン性能評価やライン運用設計を行うためのシミュレーションであり、主に、工程数が多く、工程フローが複雑な電子デバイス製品や、エリアや作業スキルなどの制約の多い社会インフラ製品が適用製品分野である。

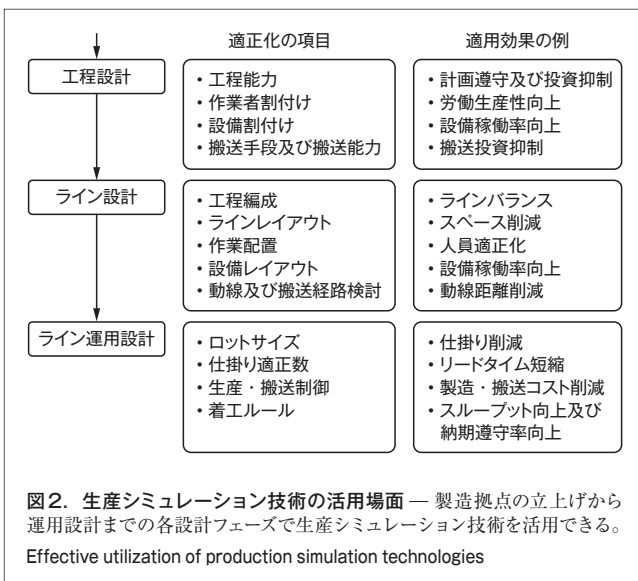
目的及び対象	組立作業 シミュレーション	搬送・レイアウト シミュレーション	製造ライン シミュレーション
適用製品 分野	<ul style="list-style-type: none"> デジタルプロダクツ製品 家庭電器製品 	<ul style="list-style-type: none"> 電子デバイス製品 社会インフラ製品 	<ul style="list-style-type: none"> 電子デバイス製品 社会インフラ製品
適用場面	<ul style="list-style-type: none"> 新規ライン設計 新製品導入 既存ラインの作業ロス削減 	<ul style="list-style-type: none"> 新設備配置 搬送ボトルネック解消 新工場レイアウト設計 	<ul style="list-style-type: none"> 新規設備投資検討 ライン増設設計 工程ボトルネック解消
適正化の項目 (アウトプット)	<ul style="list-style-type: none"> 工程編成及びライン設計 作業員及び部材の配置 作業手順書及び作業動画 	<ul style="list-style-type: none"> 作業員配置 構内搬送設備台数 設備配置及び経路設定 仕掛品設置場所 	<ul style="list-style-type: none"> 工程流し化(処理優先度) ライン別品種構成 共有リソースの利用方法

図1. 生産シミュレーションのツール群 — 製造工程やラインの設計では、評価する目的や対象によりツールを使い分ける。
Production simulation tools

2.2 生産シミュレーション技術の活用場面

製造拠点の立上げから運用設計までは、①拠点設計、②工場設計、③工程設計、④ライン設計、及び⑤ライン運用設計の5ステップに大別できる。生産シミュレーション技術は、この中の③工程設計、④ライン設計、⑤ライン運用設計段階で使うことが多い(図2)。

2.2.1 工程設計での活用 新規製品を製造する前の生産前準備段階では、製造工程と工程順を定義し、生産計画を満足するように工程の能力を決める必要がある。そして、決められた生産能力の目標値を下回らないように、工程への作業員や設備の割付け、工程間の搬送手段を決める。これらの決定に、製造ラインシミュレーションが活用できる。



2.2.2 ライン設計での活用 工程設計が完了した後、これに基づいてライン構成や工程間の搬送方法、ラインレイアウト、ライン内の人員配置などを決め、高い生産性を備えたラインを設計する。ここでは、設備レイアウトや搬送経路、作業員の動線を設計するために、搬送・レイアウトシミュレーションが活用できる。また、ラインバランスのとれた工程編成や作業員の配置を設計するためには、製造ラインシミュレーションが活用できる。

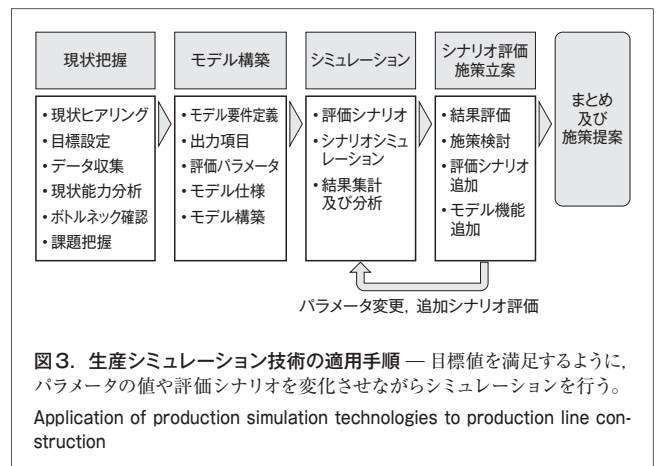
2.2.3 ライン運用設計での活用 設備中心の製造現場では、設備での加工や処理が終わったワークを作業員が待っている時間は停滞となり、付加価値を生まない時間となる。そこで、設備稼働率を低下させずに、人と設備の割付けや工程内のロットサイズを適正化する流品制御方法や設備運用方法を決めるときに、製造ラインシミュレーションが活用できる。一方、人手による組立て中心の製造現場では、組立ての作業性を考慮し、標準作業や治工具の仕様を設計する必要がある。この組立工程の作業性を評価するために、組立作業シミュレーションが活用できる。

3 工程・ライン設計への適用事例

ここでは様々な製品での最適な製造ライン構築に生産シミュレーション技術を適用した手順と事例について述べる。

3.1 生産シミュレーション技術の適用手順

手順は通常、①現状把握、②モデル構築、③シミュレーション、及び④シナリオ評価・施策立案の4ステップから成る。①及び②のステップで評価パラメータの定義やシミュレーションモデルの構築を行った後、パラメータの値や評価シナリオを変化させながら③と④のステップを繰り返し実行し、目標値を満足した時点で結果をまとめ、一連の評価作業が完了する(図3)。当社は、これらの作業を効率的に行うため、シミュレーションの準備段階である①及び②のステップを短時間で実施できる、シミュレーションモデル自動生成用基本ツールを



整備している⁽³⁾。

3.2 量産製品の工程編成や人員配置の適正化

同じ製品を繰り返し生産する量産製品では、製造コストを下げるため、組立てや加工などの作業時間の削減や、自動化による作業数削減、ラインレイアウトの適正化などが課題となる。そのため、工程編成や作業割付けの候補案をシナリオとした製造ラインシミュレーションや搬送・レイアウトシミュレーションを使って、労働生産性やスペース生産性の最大化及びライン内の仕掛りの最小化ができるような施策を決定する(図4)。

3.3 半導体製品の装置稼働率向上と設備投資の適正化

半導体製品の製造、特にクリーンルーム内の製造工程は、装置での処理が中心で、工程数が多いだけでなく、同じ装置を複数回通過する。効率的な生産を実現するためには、クリーンルーム内の負荷が高い装置の稼働率を低下させずに、装置

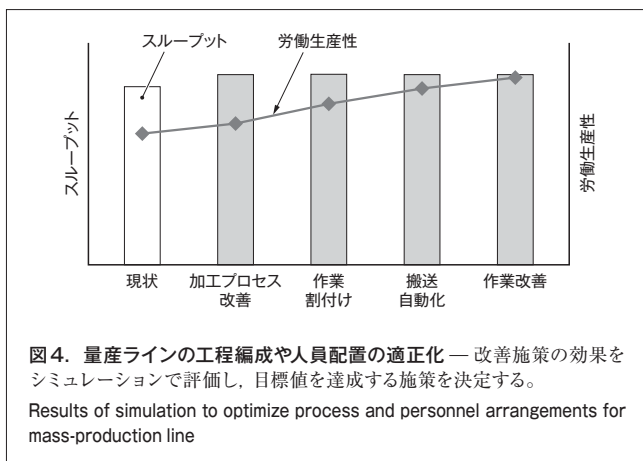


図4. 量産ラインの工程編成や人員配置の適正化 — 改善施策の効果をシミュレーションで評価し、目標値を達成する施策を決定する。

Results of simulation to optimize process and personnel arrangements for mass-production line

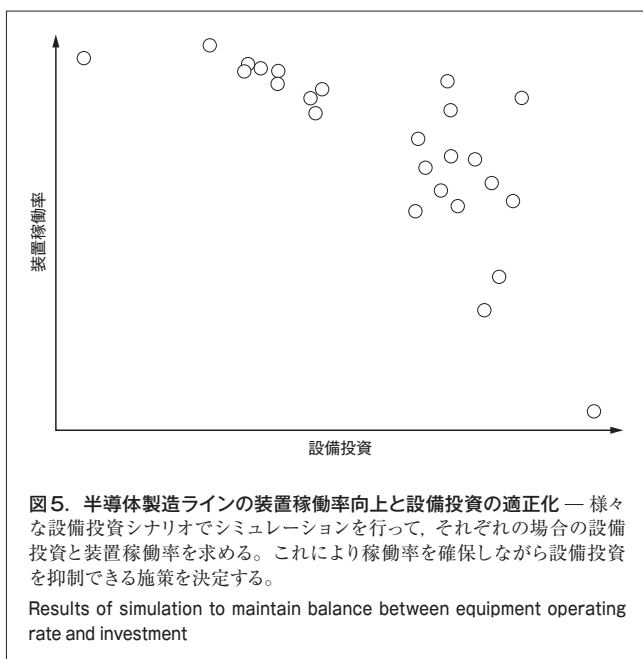


図5. 半導体製造ラインの装置稼働率向上と設備投資の適正化 — 様々な設備投資シナリオでシミュレーションを行って、それぞれの場合の設備投資と装置稼働率を求める。これにより稼働率を確保しながら設備投資を抑制できる施策を決定する。

Results of simulation to maintain balance between equipment operating rate and investment

間でロットが滞留しないようにロットの流し方を制御する必要がある。しかし、ロットの流れをスムーズにするために、需要に対して過剰な設備能力を持つと、設備が高額なため製造コストの増加につながる。そこで、製造ラインシミュレーションや搬送・レイアウトシミュレーションを行うことで、生産計画を満足しつつ、装置の稼働率向上と設備投資の適正化を両立させる設備配置や生産制御方法が決定できる(図5)。

3.4 個別受注製品の工程内搬送及び流し化の適正化

個別受注製品は、受注後にそのつど設計を行うことが多い。そのため、製造工程や工程順が注文ごとに変化することが多く、特殊技能工程の作業者の技能レベルや、大物製品での製造スペースが制約となりやすい。また、量産製品に比べ、製造リードタイムが長い場合、製造進捗を管理する製造管理のよしあしが納期を守って出荷するために重要な役割を果たす。これらの制約を考慮して製造ラインシミュレーションや搬送・レイアウトシミュレーションを行うことで、作業負荷の平準化や最短のリードタイム製造となるような工程内搬送や流し化の制御方法を決定することができる。また、短納期な注文の引合い時の製造可否を判断するため、製造ラインシミュレーションで生産能力の評価を行うこともできる。

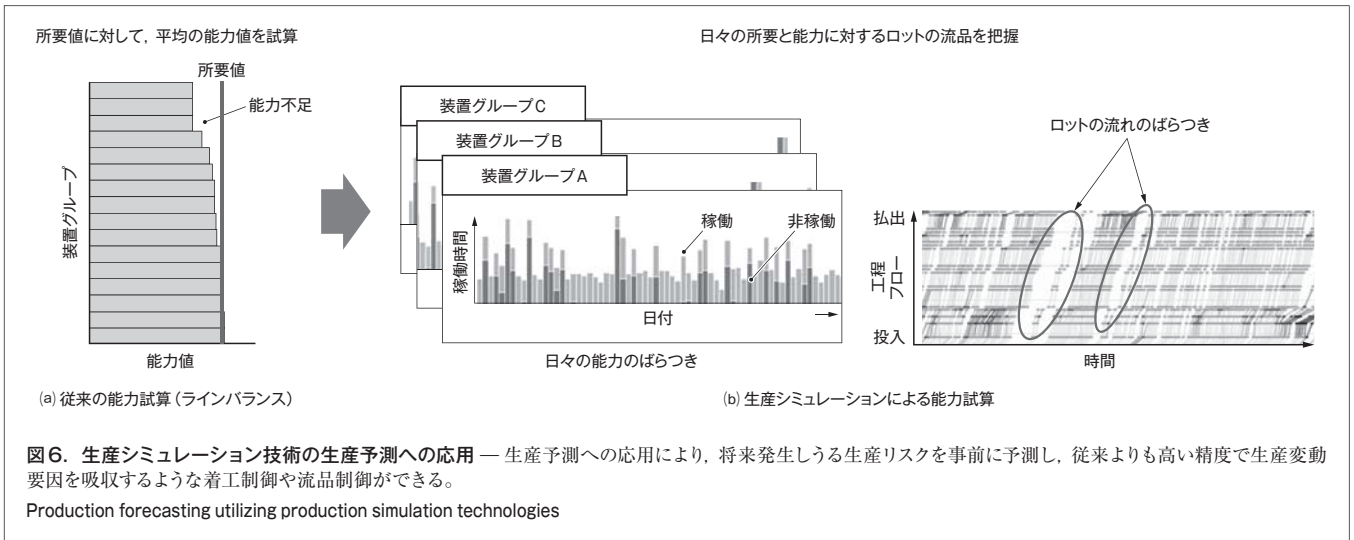
注文ごとに製造工程や工程順が異なる場合には、シミュレーション評価に必要なデータの組合せが多くなり、データを準備するのに時間が掛かってしまう。そこで、評価精度を下げない範囲で製品をタイプ別に分類し、標準的な製造工程と工程順を定義することでデータの組合せを少なくできる。このとき、IE (Industrial Engineering) 手法による製造現場の改善と並行して進めると標準化がしやすい。

4 生産シミュレーション技術の生産予測への応用

前章までは、生産前の工程・ライン設計段階での生産シミュレーション技術の活用場面や適用事例を述べた。ここでは、新たな生産シミュレーション技術の応用先として、生産予測について述べる。

工程・ライン設計が生産性の高い製造ラインを垂直立上げすることを目的にしていたのに対して、生産予測は、日々の生産管理プロセスや設備投資などの生産戦略の意思決定プロセスに、生産シミュレーション技術を組み込んで、将来発生しうる生産リスクを事前に予測し、生産着工後のロスが最小限になるような生産管理を実現することが目的である。これは、近年の製品の高機能化に伴って製造プロセスが複雑になるとともに、多品種少量かつ短いリードタイムでの生産が要求され、より早いタイミングで生産進捗に影響を与えるリスクを把握し、先手で対策を施す必要が出てきたためである。

生産予測で適正化するパラメータは、工程・ライン設計と大きな違いはないが、シミュレーションを決まった周期で実行す



ることで、現在の生産進捗を考慮した将来の生産状況を予測し、意思決定した結果を次の着工制御や流品制御にフィードバックする運用になる。これが工程・ライン設計と異なる点である。シミュレーションを定期的に行うためには、現在の生産進捗をリアルタイムに把握してシミュレーション実行用の入力データを自動生成し、実行後は意思決定に必要な出力結果を迅速に提示することが求められる。

ノートPCの製造現場では、カーナビシステムにヒントを得て、数時間先の生産負荷状況を予測し、次の着工を制御することで労働生産性を向上させている⁽⁴⁾。また、設備投資のサイクルが短い半導体製造では、設備投資の意思決定段階で、製品構成や生産数などの将来の生産計画と装置能力のばらつきや歩留りなどの日々の生産変動要因を加味して将来の生産状況を予測し、装置の能力や工程間の搬送能力を試算するために生産シミュレーション技術を使っている。従来は、日々の負荷を山積みして平均したものを能力値として評価していたが、生産シミュレーション技術を使うことで、ボトルネックとなって製造ライン全体の処理能力に影響を与えている装置へのワークやロットの流れ具合を時間の経過とともに評価することができ、従来手法より精度の高い生産リスクの把握ができるようになった(図6)。また、半導体製造では、品種数や、工程数、装置数が多く、通常の離散系シミュレータでは計算時間が膨大になるため、ロットを流体として捉えた高速シミュレータも開発している。

5 あとがき

当社は、ロスの少ない工程や作業の設計及び生産性の高い製造ラインの構築に生産シミュレーション技術を適用してきた。そして、この技術を生産予測に応用し、将来の生産状況を予測し、意思決定した結果を次の着工制御にフィードバックする

など、より高度な生産管理を実現してきた。

受注や製品設計から製品出荷までのサプライチェーン全体の業務効率を上げるためには、ここで述べた生産管理や製造管理だけでなく、この技術を調達や物流などの他領域にも展開することが必要である。また、近年、製造業で培った改善手法を、サービス産業の生産性向上へ適用していくことが議論されている⁽⁵⁾。今後、生産管理や製造管理以外の業務領域やサービス産業へもこの技術を適用したソリューションを提案していき、技術の高度化と適用範囲の拡大を図っていく。

文献

- (1) 大内俊弘. 生産設計から製造ライン構築まで一貫した仮想設計技術. 東芝レビュー. 58, 7, 2003, p.15-18.
- (2) 高田 淳 他. 生産エンジニアリングツールを活用したライン設計. 東芝レビュー. 67, 2, 2012, p.23-26.
- (3) 大内俊弘. 製造ラインの設計期間を短縮できるシミュレーションモデル自動生成用基本ツール. 東芝レビュー. 63, 4, 2008, p.34-37.
- (4) 加瀬明子 他. 数時間先の生産負荷状況を予測してきめ細かな指示を出すナビゲーションシステム. 東芝レビュー. 65, 7, 2010, p.41-44.
- (5) 吉本一穂. サービス産業の生産性向上とIE. IEレビュー. 51, 2, 2010, p.6-9.



小竹 正弘 KOTAKE Masahiro

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



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