

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

"Production Navigation System" Giving Detailed Instructions Based on Prediction of Production Load for Several Hours in Advance

加瀬 明子 石原 幸彦

■ KASE Akiko ■ ISHIHARA Yukihiko

デジタルプロダクツの製造ラインの多くは、市場のグローバル化とラインアップ戦略から、同時に複数品種を短納期で生産できる体制となっている。しかし、組立や検査に要する処理時間が品種によって異なるため、作業負荷が大きく変動し、作業負荷が高い場合でも出荷納期を守れるようピークに合わせた作業で操業している。

東芝は、自動車のナビゲーション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、あらかじめ有効な対策を打つことで作業員数の削減につながるシステムを開発した。実際の生産現場への適用は現時点で試行にとどまっているが、ノートPC (パソコン) の生産現場モデルを用いて実験し、作業員数を約23%削減できるという予測結果を得た。

The rapid progress of globalization and revamping of product lineup strategies have led to the widespread introduction of high-mix low-volume production systems at production sites for digital products. However, the processing times for assembly and testing vary with the type of product. Due to the resultant changes in workloads, it is necessary to maintain workforces at peak production strength to ensure on-time delivery even under a heavy workload.

As a solution to this issue, Toshiba has developed a system for predicting the production load and effectively minimizing the number of operators required, inspired by automotive navigation systems. A trial of this "production navigation system" using actual records of a notebook PC production line confirmed that it can achieve a workforce reduction of 23%.

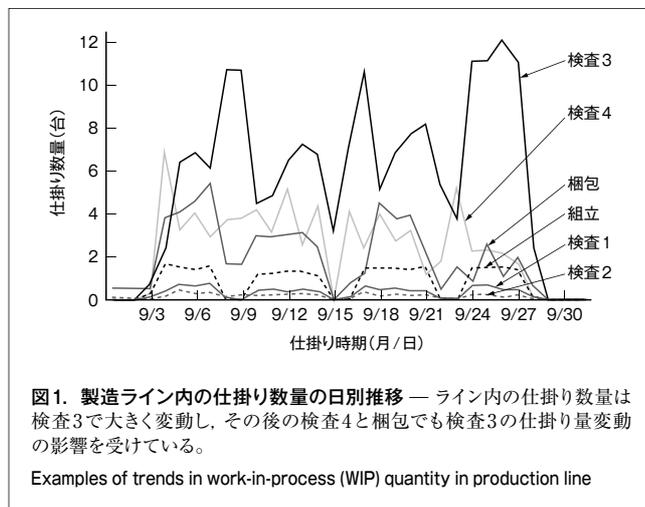
1 まえがき

デジタルプロダクツの製造ラインでは、100種類以上の品種を取り扱うことも珍しくなく、また、部品の入荷、製品の売行きや販売戦略といったコントロールできない要因で生産する品種がめまぐるしく変化することもある。また、製造の各工程で要する時間が品種によって異なるため、作業負荷が大きく変動する。製造ラインでは経験的に、作業負荷が高い場合でも生産を遅滞させないよう作業員を十分に確保して操業することになる。

東芝は、デジタルプロダクツの製造ラインで、各工程の作業員数に応じて作業員数を適正化するため、数時間先の生産状況にある程度正確に予測し、現場の作業員に的確な指示を出すシステム (以下、ナビゲーションシステムと呼ぶ) を開発した。ここでは、ナビゲーションシステムの概要とノートPCの生産現場モデルを用いたシミュレーション実験の結果について述べる。

2 開発の背景

デジタルプロダクツの製造ラインでは、磁気ディスク装置 (HDD)、液晶パネル、電子基板などモジュール部品を組み合わせた後、ソフトウェアのインストールと機能・外観検査を行い、梱包 (こんぼう) して出荷する。一度に複数品種を生産するため、ショートラインと呼ばれる工程数の少ない製造ライン



を複数編成する方式が主流となっている。一方、各工程で必要な処理時間は品種により大きく異なる。特にソフトウェアのインストールや機能検査では、インストールするアプリケーションソフトウェアやHDD容量の違いなどによって処理時間にかんがいのばらつきがある。

ノートPC製造ライン内の仕掛り数量の日別推移を図1に示す。縦軸の数量には処理中と処理を待つ製品の両方が含まれる。検査3、4の仕掛り数量が大きく変動し、決まったスピードで生産されておらず、各工程の作業員に粗密があることがわ

かる。現状では、作業負荷が高くなっても納期を守るように、多めの作業者を抱えて現場の判断で作業の着手順を適宜コントロールしながら生産が行われている。

各工程の作業負荷を精度よく予測できれば、負荷に応じて常に作業員数を適正化でき、更に作業内容をきめ細かく指示することで作業員数を最少化し、生産性を向上できる。

3 ナビゲーションシステムの概要

ナビゲーションシステムは、情報連携システム、着手指示システム、及び負荷予測シミュレータから構成される(図2)。もっとも重要な機能は負荷予測シミュレータで、現在の生産状況を踏まえたうえで、これから数時間先の生産の状態を予測する。これは、現在の車の位置や渋滞の状況から最適ルート、目的地到達時間を見積もる自動車のナビゲーションシステムと同様の発想である。信頼できる予測を行うためには、予測実行時の状況を正確に把握する情報連携システムが重要になる。負荷予測シミュレータの予測を用いて、着手指示システムは生産現場を効率的に運用するための具体的な指示を生成して提供する。

ここでは、もっとも重要な機能である負荷予測シミュレータの仕様と着手指示リスト作成ロジックについて述べる。

3.1 負荷予測シミュレータ

負荷予測シミュレータのモデルは、離散系シミュレーションソフトウェアを用いた生産現場モデルで、工程単体モデルの集合体(以下、ラインモデルと呼ぶ)である(図3)。工程単体モ

デルはバッファ、加工、及び検査の三つの要素から構成され、この要素の間をワーク(一つの作業の単位)が通過し、ラインモデルの最後の工程単体モデルである梱包をワークが通過すると製品が完成する。

バッファは処理を待つワークを置くポイント、加工はワークが処理されるポイント、検査は加工処理後のワークを検査するポイントを表す。工程単体モデルに到着したワークはその工程のバッファに入り、処理の順番がきて工程の能力に空きがあれば加工に入り所定の時間で処理され、検査を経て次工程へ進む。

バッファ、加工、及び検査それぞれに、処理できる日と時間帯を記述したシフトと、同時に処理できる最大数を記述した能力を定義する。加工はバッファで待っているワークを到着順に処理するのではなく、バッファにワークが到着するたびに更新される着手指示リストに記載された順番に従って処理する。

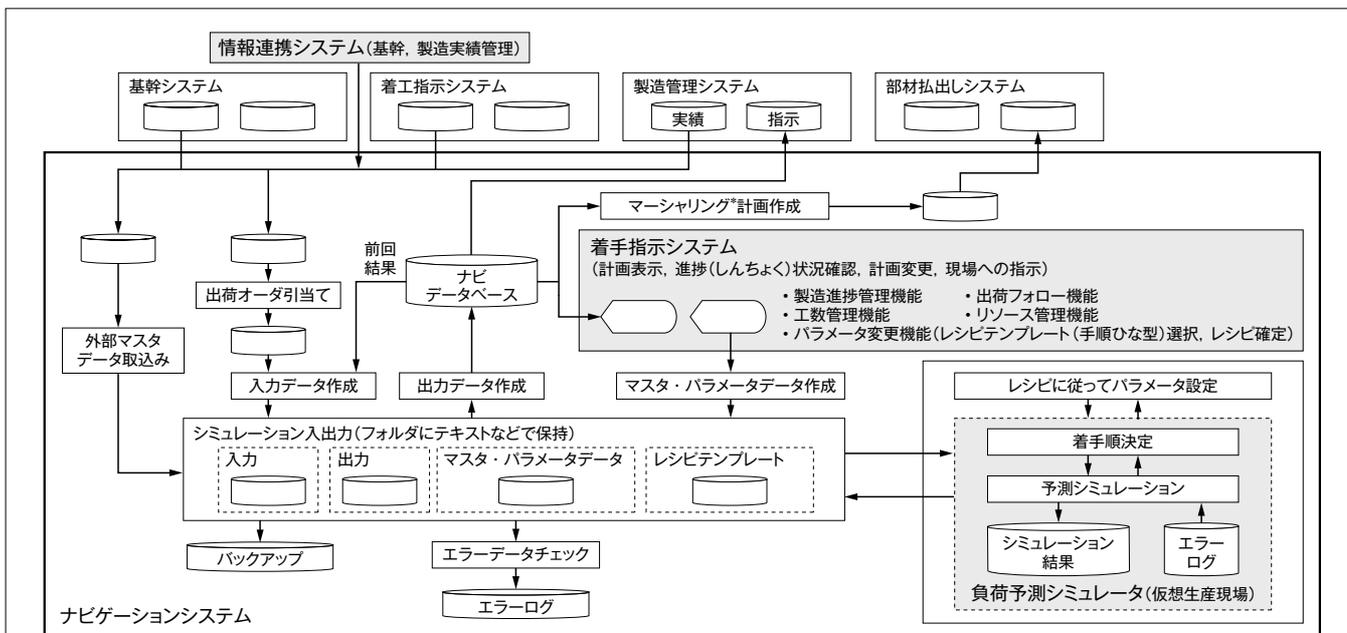
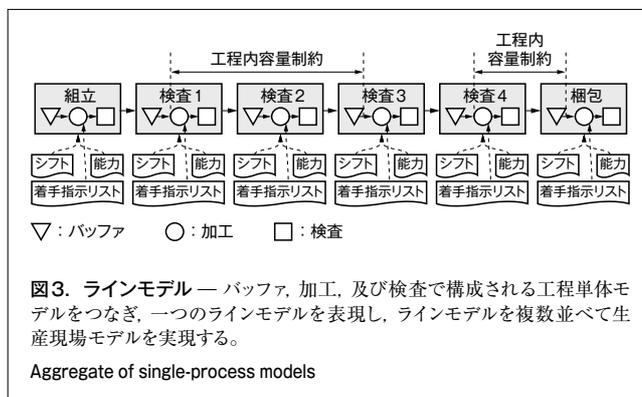
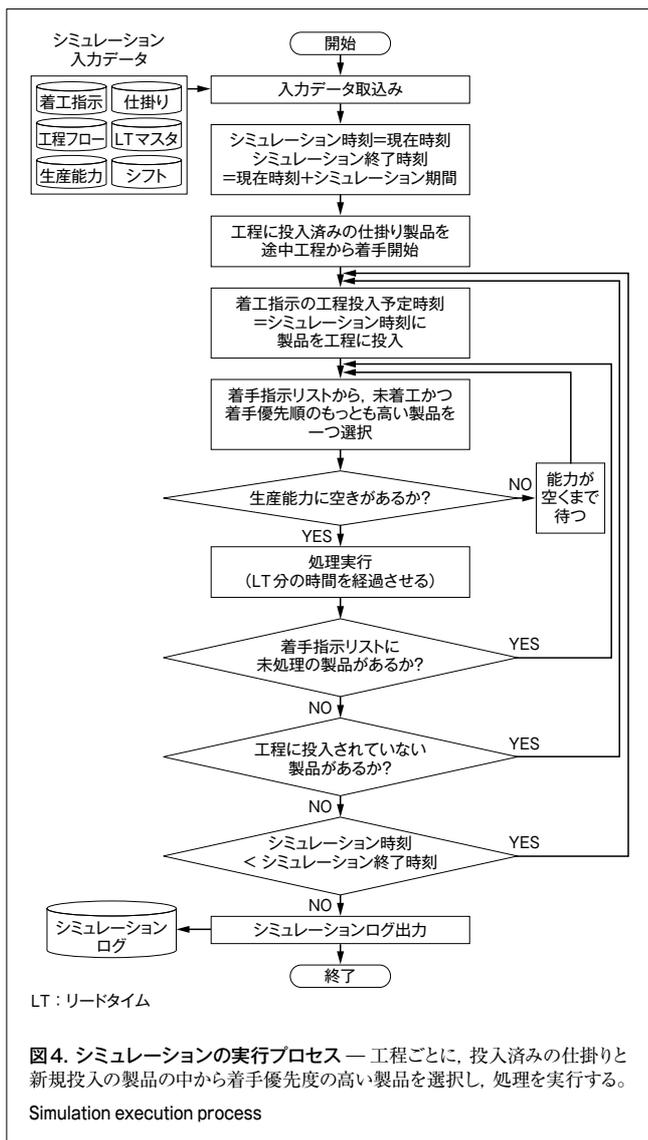


図2. ナビゲーションシステムの構成 — 情報連携システム、着手指示システム、及び負荷予測シミュレータが連携して、数時間先の生産状況をきめ細かく指示する。
Configuration of "production navigation system"



また、工程をまたいで保有するワークの数に制限を設けることができる。

シミュレーションの実行プロセスを図4に示す。シミュレーションの開始とともに必要なデータをモデルに取り込み、着工指示システムの工程投入予定時刻に従い、工程にワークを投入する。工程ごとの着手指示リストから、その工程の処理が完了していないワークの中で着手優先度のもっとも高い製品を選択し、生産能力に空きがあれば処理を実行する。シミュレーション時刻が終了時刻に到達するまで新たな着工指示のライン投入と着手指示リストの未処理製品の処理を続ける。終了時刻に到達したら、シミュレーションログ（ワークがどのポイントをいつ通過したかの記録）を出力し、計算を終了する。

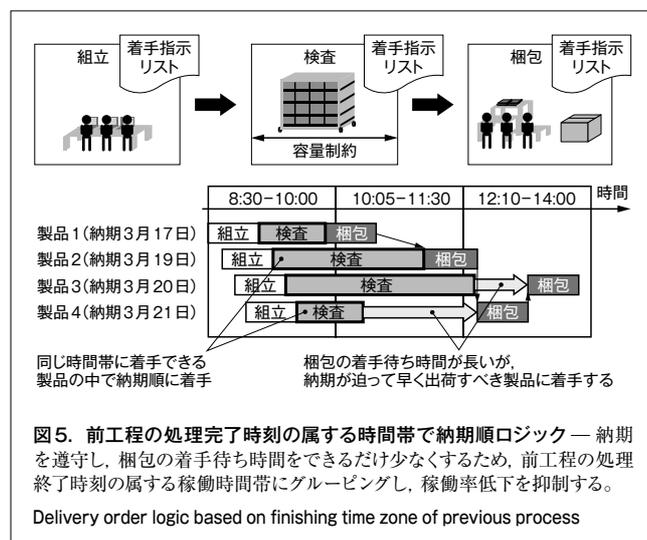
3.2 着手指示リストの作成ロジック

3.1節で述べたように、加工では着手指示リストに記載された順に処理するので、着手指示リストに記載する順番の決め方が悪いとワークの滞留を招く。そこで、着手順を決めるロ

ジックを複数パターン用意して試行錯誤した結果、以下の三つのロジックを工程によって使い分けている。

- (1) 着工指示順 ラインモデルの先頭工程では、着工指示の順番どおりにワークを投入する。ラインモデルの途中工程では、着工指示順で着手指示リストが作成された場合、前の工程でワークの処理時間の違いから追い越しが発生し、後で処理を開始したワークが前に処理を開始したワークより先に到着しても、先に開始したワークの処理が終了しないうちは処理できない。このロジックは、先頭工程並びに、先頭工程から押し出し式にFIFO (First In First Out) が成り立つ工程に適用される。
- (2) 出たなり順 出たなり順の着手指示リストが適用された工程単体モデルでは、前工程の処理が終わった順に処理を開始する。前工程での処理終了と自工程での処理開始までの待ち時間が少なく、着工指示順に比べ加工ポイントの稼働率が上がる。
- (3) 前工程の処理完了時刻の属する時間帯で納期順

このロジックの着手指示リストが適用された工程単体モデルでは、前工程の処理完了時刻が同一の稼働時間帯（休憩から次の休憩まで）に入る複数ワークの中で、出荷納期の早いものから順に処理を開始する（図5）。単純に出荷納期順に処理を開始するロジックだと、検査の処理時間が短い製品4と、処理時間が長く製品4の処理が終了する稼働時間帯の次の時間帯に終了する製品3では、製品3のほうが製品4より出荷納期が早く、製品4の処理が終了しても製品3の処理が終了するまで製品4は検査で滞留している。そして梱包では、製品3の処理を開始してから製品4の処理を開始する動きとなる。このような滞留を防止するため、処理が同じ稼働時間帯に終了するワークに限定して出荷納期の早い順に並べる。この順を納期順と呼ぶ。



4 ナビゲーションシステム導入による予想効果

ナビゲーションシステム導入の効果について、導入前後での生産性の違いを比較した。

4.1 方法

ノートPC生産拠点を例に、その挙動を再現する生産現場モデルを負荷予測シミュレータに実装した。このモデルは図6に示す工程で処理され、組立、外観検査、梱包は作業者が介在する工程でワーク1個単位をFIFOで処理し、検査1, 2は複数のワークを並列に処理する。検査1から検査2の区間内にはワークの容量の制約があり、最大192台までしかワークを置くことができない。作業者が介在する工程には、稼働時間のシフトと休憩時間が定義されている。外観検査と梱包には着手指示リストを適用し、リスト記載順に処理を行う。各ワークの処理時間は、ある1か月間の実績値を使用した。

この生産現場モデルを用いて、評価期間の挙動を再現するシミュレーション実験1と、ナビゲーションシステムにより適正な指示を行うシミュレーション実験2を行った。実験1では評価期間中に作業者が実際に着手した順番を再現するように着手指示リストを記述し、実験2では外観検査は出たなり順、梱包は納期順で優先度の高い製品から着手するように着手指示リストを設定した。

4.2 結果と考察

実験結果を表1に示す。実験2では、実験1と同数のワークを処理し、出荷納期の遵守率も同等である。更に、先頭工程から最終工程までの総処理時間は平均値が8%、中央値が

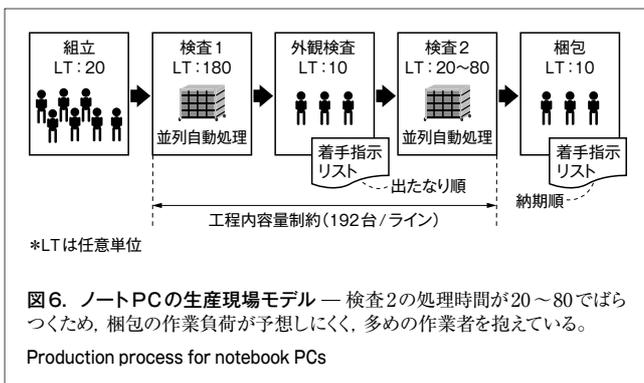


図6. ノートPCの生産現場モデル — 検査2の処理時間が20～80でばらつくため、梱包の作業負荷が予想しにくく、多めの作業者を抱えている。

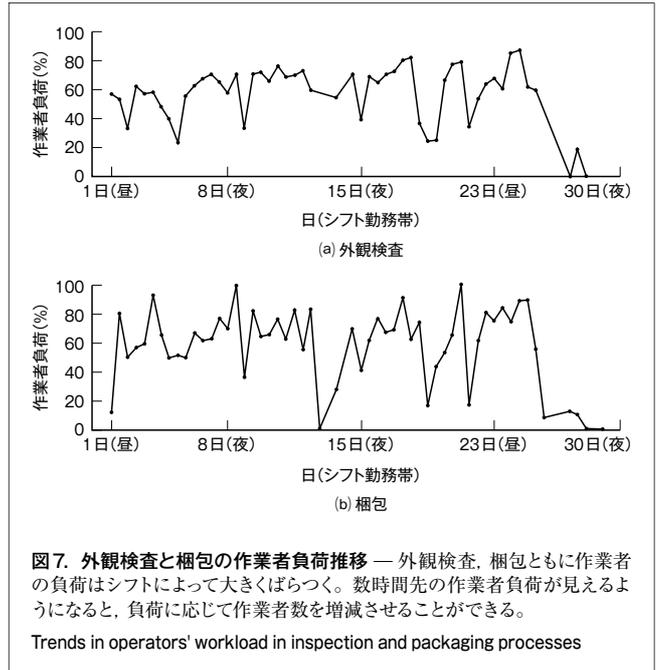
Production process for notebook PCs

表1. ナビゲーションシステム導入による予想効果

Expected effects of introducing "production navigation system"

実験番号	着手指示		納期遵守率 (%)	スループット* (1,000台)	LT (任意単位)		
	外観検査	梱包			平均	中央値	標準偏差
1	実績	実績	x	93.8	757.6	751.0	562.7
2	出たなり順	納期順	1.006x	93.8	698.7	674.2	533.0

*単位時間当たりの処理能力



10%、標準偏差が5%低減できている。

実験2での外観検査と梱包の作業負荷の推移を図7に示す。この推移に合わせて作業員数を増減させた場合、人数を現状から約23%削減することができ、ナビゲーションシステムの作業負荷予測機能による人員抑制の可能性を示している。

5 あとがき

ナビゲーションシステムは、数時間先の生産負荷状況を予測し、作業者の負荷変動を先読みしたアクションを起こさせる仕組みの実現を狙ったものである。今回の開発では、システム成立に欠かせない機能要件及びデータ項目を明確化し、実験によりシステム導入の効果を検証した。

今後、データ項目をリアルタイムに格納する生産現場のインフラ整備を進めていく。



加瀬 明子 KASE Akiko

生産技術センター モノづくり変革センター。

モノづくりの仕組み構築に従事。

Manufacturing Innovation Engineering Center



石原 幸彦 ISHIHARA Yukihiko

デジタルプロダクツ&ネットワーク社 生産統括センター グローバル生産技術部主務。生産システムの開発を中心とした生産技術の開発に従事。

Global Production & Logistics Management Center