

製品供給力を強化するための供給連鎖の適正化手法とツール

Optimal Design Methodology and Tools for Efficient Supply Chain

小竹 正弘 古賀 康隆

■ KOTAKE Masahiro ■ KOGA Yasutaka

部品調達から加工、組立、及び出荷に至る企業内の供給連鎖を適正化する手法とツール群を開発し、それらを活用して、納期遵守率を高く維持しながら、製造リードタイムを短縮して製造仕掛りを削減させる工程計画スケジューラを開発した。

供給連鎖内の材料、中間品、完成品の流れを水の流れとしてモデル化し、これを適正に制御するための改善施策を立案し、ツール群を使って設計パラメータを決定する手法である。ツール群は、POP (Point of Production) システム、供給連鎖適正化ツール、及び簡易財務シミュレーションから構成されている。

Toshiba has developed a methodology and simulation tools for enterprise supply chains, and applied them to the development of a new production scheduling system that reduces manufacturing lead time and work-in-process inventory while maintaining a high level of demand satisfaction.

The concept of the supply chain from parts procurement to shipment of finished goods is regarded as a water flow. Under this water flow model, plans for improved control of the supply chain are considered and key parameters are identified. Three types of tools are also provided: a point of production (POP) system, a set of optimal supply chain design tools, and a financial simulation tool.

1 まえがき

製造業において、顧客の要求に従って製品をタイムリーに供給することは重要課題であり、この行為を実行する力を供給力と呼んでいる。東芝は、供給力を強化するため部品調達から加工、組立、及び出荷に至る製品供給活動の供給連鎖について適正化手法を開発し、供給連鎖の現状把握から適正化までを支援するツール群を整備してきた。

供給連鎖の評価を考えたとき、これを示す指標は多くあるが、最終的にはコストで評価するのが望ましい。しかし、供給連鎖のあるべき姿を具体的に設計していく場合、コストを目標値とすると、考慮すべき入力が多すぎて論理的に進めることが困難なのが実情である。そこで、供給連鎖における材料、中間品、完成品の流れを水の流れになぞらえ、水の流れが適正に制御されることをあるべき姿の必要条件とすれば、その設計は比較的容易になる。そして、この適正に制御された流れが経営に良い影響を与えることを評価できれば、設計を完了できる。

ここでは、供給連鎖の適正化手法とツール群、及びそれらを活用した工程計画スケジューラの開発事例について述べる。

2 供給連鎖の適正化手法

適正化された供給連鎖状態とは、顧客要求を満足させながら、リードタイムを最短に、また、在庫を最小限に抑えた状態である。これは、図1のように供給連鎖内の工程間を移動する材料、中間品、完成品を水に例えると、水がせいせいと流れて

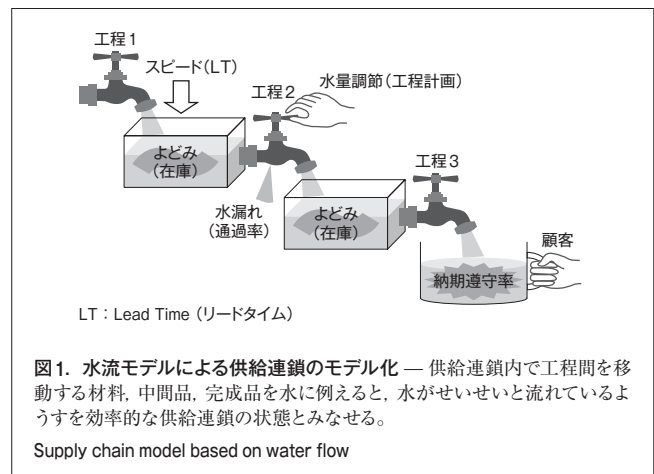


図1. 水流モデルによる供給連鎖のモデル化 — 供給連鎖内で工程間を移動する材料、中間品、完成品を水に例えると、水がせいせいと流れているように効率的な供給連鎖の状態とみなせる。

Supply chain model based on water flow

いる状態であるととらえることができる。より具体的には、途中のタンクに極力たまらず (=なるべく中間在庫を持たずに)、かつ速い流れ (=最短のリードタイム) で、適切な量 (=顧客要求に合った製品の完成数量) の水が流れる姿である。水の流れ具合を決めるのは、図1の蛇口で表現された各工程の計画である。工程計画は、供給連鎖の管理者 (図1上部の手) の意思を反映させた形で立案される。効率的な供給連鎖を実現するためには、この工程計画をどのように立案するかを決めることが重要になる。

この水流モデル化により、複雑な供給連鎖の状態を納期遵守率、在庫、及びリードタイムの三つの指標で評価できるようになり、その値を目標値とすることができる。そして、せいせいでとした水の流れを阻害する要因がこれら三つの指標に影響

を与えるので、この阻害要因を克服するように工程計画を立案すればよいことがわかる。例えば、図1で、蛇口で水漏れが発生している(=工程2で不良が発生する)と、工程計画を適正に調整して納期(目標値)を遵守させなければならない。

この水の流れを目標値に合わせて適正に制御する手段に、プロセス制御技術を適用することは有効である。プロセス制御の様々な方法は、改善施策の立案に多くのヒントを与えてくれるとともに、評価指標に影響を与える要因整理に役立つ。そして、統計的手法などを利用して、より効率的な供給連鎖を設計することができる。この影響要因は、より効率的な供給連鎖を実現するために設計すべきパラメータなので、ここでは設計変数と呼ぶ。

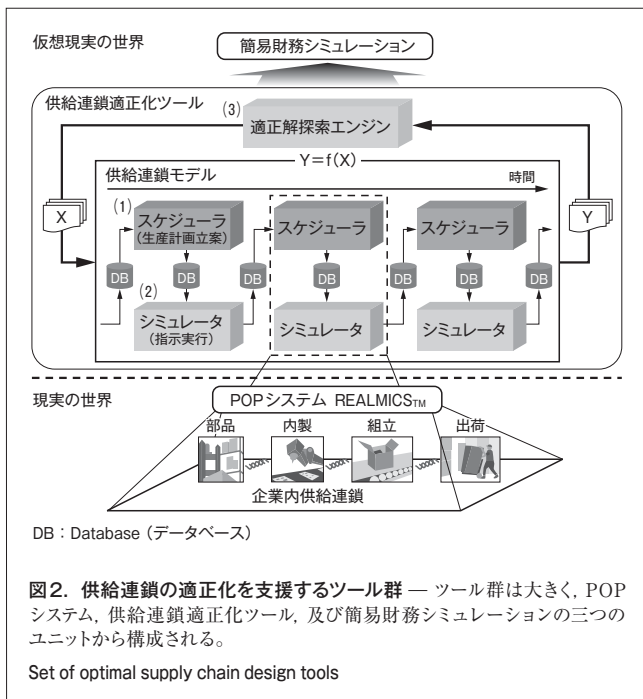
供給連鎖の水流モデル化により設計変数を整理し、供給連鎖の挙動を模擬するシミュレーションモデルを作成する。シミュレーション実験を繰り返して得られた結果を基に、設計変数と評価指標の関係を統計的に分析すると、評価指標に有意な設計変数を抽出することができ、評価指標の目標値を達成するような設計変数の適正解を算出できる。

3 供給連鎖の適正化を支援するツール群

ツール群は大きく、POP (Point of Production) システム、供給連鎖適正化ツール、及び簡易財務シミュレーションの三つのユニットから構成される(図2)。以下、それぞれのユニット別に機能を述べる。

3.1 POPシステム REALMICS™

REALMICS™は、当社が独自に開発し、グループ工場内



に展開しているPOPシステムである^{(1),(2)}。このシステムは、製造する製品1台ごとにID (Identification) を付け、管理したい工程での処理時刻や検査結果、作業者や組付け部品などをリアルタイムにデータベースへ登録すると同時に、管理指標として集計するシステムである。このシステムは、製造現場の管理者が問題発生時に改善アクションをすばやく行えるように適用してきたシステムである。

このデータベースに蓄積されている製造履歴情報を使うことで、今までに述べてきたような供給連鎖評価指標の可視化が可能である。例えば、製造情報収集対象現場の製造プロセスシミュレータを構築したうえで、REALMICS™に保存されている製品個体の通過履歴情報をこのシミュレータに入力すると、過去のふるまいを再現でき、設計した結果に対するリファレンスとすることができる。

3.2 供給連鎖適正化ツール

供給連鎖適正化ツールは、工程計画立案プロセスと立てた工程計画に従って製造するプロセスを模擬し、設計変数の適正解を探索するシミュレーションツールである。以下の三つのモジュール(図2の“供給連鎖適正化ツール”の(1)~(3))から構成される。

- (1) 工程計画を立案し、製造指示を発行するスケジューラ
- (2) 製造指示に従い、製造活動を模擬するシミュレータ
- (3) (1)と(2)の実行を制御しながら、設計変数の適正解を探索するエンジン

(1)では、需要データや(2)からの実績、在庫、仕掛りデータ、及び構成表や工程フローといった計画立案に必要なマスターデータを読み込み、計画立案モデルを使って各工程の計画を作成する。計画立案モデルとは、“どの品目を優先して計画を立てるか”、“どの装置を優先して使うか”など優先順序付けのルールを定義したものである。計画をもとに、指示発行期間について製造指示を作成する。

この製造指示に基づいて、(2)で製造活動を模擬する。実際の製造活動では、工程の処理時間や歩留まりが変動し、製造指示どおりに製品を完成できないことがある。(2)では、POPシステムで収集した製造実績データを活用し、このようなじょう乱要因を発生させる。

(2)の結果の在庫や仕掛りのデータを使い、(1)で計画と実績の差を反映させて計画を再作成する。この(1)と(2)の処理は、月1回又は週1回などといった計画見直しサイクルに従い繰り返して実行される。この繰り返し実行の制御を(3)で行う。

(3)では、設計変数Xと(1)と(2)の繰り返しシミュレーション実行結果Yの組合せの中から、最適化手法を使ってYに対するXの適正解を求めることができる。

3.3 簡易財務シミュレーション

供給連鎖適正化ツールは、水流モデルで考えた供給力指標の目標値を満足するような設計変数の適正解を算出する。適

正化された工程計画を実行するかどうかの意思決定は、経営にどれだけの影響を与えるかに左右される。簡易財務シミュレーションは、この工程計画を実行した場合の経営への影響を財務諸表に表すツールである。

簡易財務シミュレーションは、図3のような3階層のモデルで構成される。供給連鎖適正化ツールは、最下層の製造プロセスシミュレーションに位置づけられる。適正化された工程計画を実行したときの生産量や在庫、稼働時間を中間層の製造リソースモデルに渡し、単価を掛けて生産高、加工費、材料費、労務費に金額換算する。最上位層の簡易経営モデルでは、製造リソースモデルで計算された生産活動の費用項目を集計して、決算を行い、損益計算書、貸借対照表、及びキャッシュフロー計算書といった財務諸表を出力する。

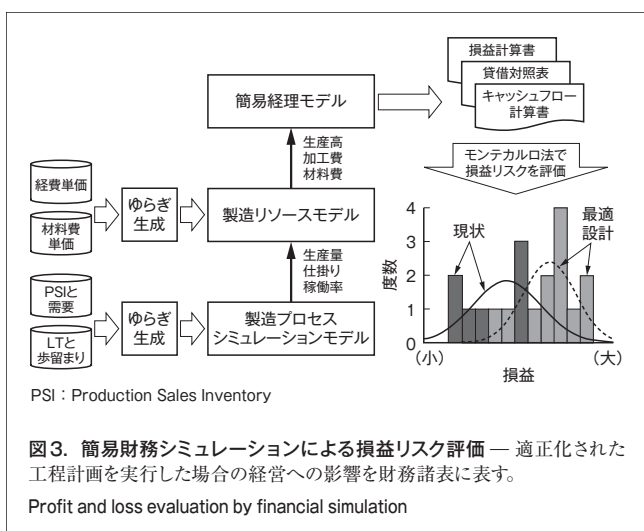


図3. 簡易財務シミュレーションによる損益リスク評価 — 適正化された工程計画を実行した場合の経営への影響を財務諸表に表す。
Profit and loss evaluation by financial simulation

製造リソースモデルにおいて、図3の中間層のゆらぎ生成部分で財務諸表の経営指標計算に使う単価データを変動させ、数多くの簡易財務シミュレーションを行うことで損益リスクを評価できる。供給連鎖適正化ツールを使い、水流モデルで考えた生産活動の変動要因を加味して工程計画を設計したうえで、簡易財務シミュレーションを使い、生産活動では制御できない外的変動要因を加味したロバスト性(安定性)評価を行えば、この工程計画を実施するかどうかの最終意思決定の精度を向上させることができる。

4 事例紹介

この供給連鎖適正化手法とツール群を実際に活用し、工程計画スケジューラを開発した事例について述べる。

4.1 適用対象製造現場の概要

適用対象の製造現場の概要を図4に示す。この製造現場は四つの工程に分かれており、それぞれの工程における検査で不具合が発生し通過率が低下する場合がある。製造される

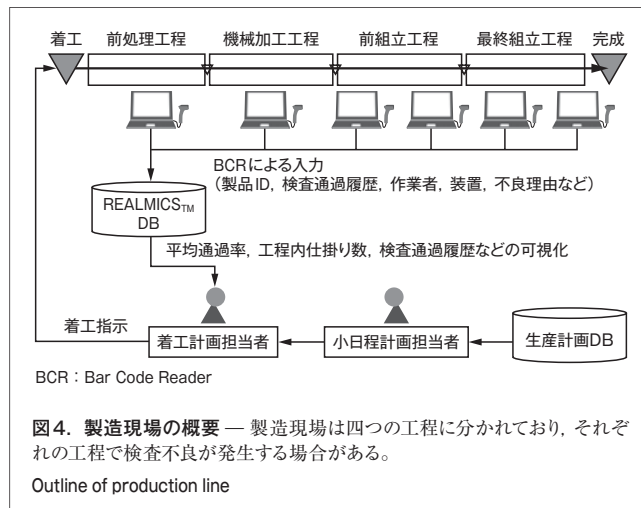


図4. 製造現場の概要 — 製造現場は四つの工程に分かれており、それぞれの工程で検査不良が発生する場合がある。
Outline of production line

製品は多品種であり、機種ごとに異なる通過率変動を起こしている。

この現場には、REALMICSTMが導入されており、先頭工程への投入計画と4工程での個体別の検査通過実績、並びに最終工程での完成計画と個体別の完成実績がとらえられている。

この製品は、各工程での加工又は処理に1日~数日かかるため、完成計画に基づき製造リードタイム分を前倒しし、通過率を加味した工程計画を人手によって立案している。従来は、REALMICSTMを使い、現在の通過率変動や製造仕掛り台数などを可視化できていたが、平均通過率を工程計画立案へフィードバックすることしかできていなかった。その結果、むだな製造仕掛りが増加したり、逆に製造仕掛りが不足して計画遵守率を下げたりといった問題が発生していた。

4.2 工程計画の立案方法の改善策立案

図4の製造現場を水流モデルに表し、プロセス制御技術の視点からとらえると、問題解決施策を立案できる。プロセスの目的を適正な状態に制御する一般的な方法にフィードバックプロセ

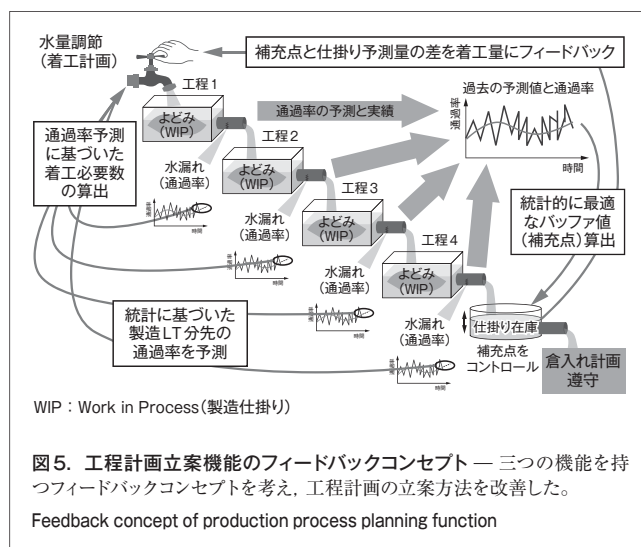


図5. 工程計画立案機能のフィードバックコンセプト — 三つの機能を持つフィードバックコンセプトを考え、工程計画の立案方法を改善した。
Feedback concept of production process planning function

ス制御がある。ここでは、以下の三つの機能を持つフィードバックコンセプトを考え、工程計画の立案方法を改善した(図5)。

- (1) 途中工程の通過率(水漏れ)変動を平滑化して、予測量をもとに着工必要数を算出する機能
- (2) 平滑化した予測量と実績量の差を吸収するように、仕掛り在庫の補充点を決める機能
- (3) 補充点と途中工程の仕掛り予測量の差を着工量にフィードバックする機能

4.3 適正解探索の実施

製造現場を市販の製造ラインシミュレータでモデル化し、図5のフィードバックコンセプトに従って工程計画を立案するスケジューリングロジックを組み合わせて、製造プロセスシミュレータを開発した。

スケジューリングロジックに存在する設計変数の中で、計画遵守率と製造リードタイムの出力に対して統計的に有意な設計変数を抽出し、計画遵守率を目標値以上にし、製造リードタイムを最短にする設計変数を探索した。

適正解探索の1回の実験のために、過去数か月間の実績データを使ったシミュレーションを実行した。1回のシミュレーションを行うのに数時間を要するため、並列分散処理環境で解探索計算を実施した。

4.4 適正解探索の結果

今回の適正解探索では、多目的の最適化問題に対応し、解空間を広く探索できるNCGA (Neighborhood Cultivated Genetic Algorithm)を用いた。その結果を図6に示す。図6の縦軸は製造リードタイム、横軸は計画遵守率である。各点は1回のシミュレーション実験の結果を表し、より左下にある点が良い解である。

NCGAによって求めたパレート解の中から、最終的に適正解の一つを選択し、これを使って工程計画を立案した適正解モデルの場合の製造プロセスシミュレーションと、実際に人間系で作

られた工程計画の場合の製造プロセスシミュレーションを、計画遵守率と製造リードタイムで比較すると、適正解モデルのほうが計画遵守率も製造リードタイムもより良い状態が得られた。

この適正解を使い、過去1年間の完成計画と通過率変動を設定した製造プロセスシミュレーションを実行した結果、計画遵守率を年間平均で7%向上させ、製造リードタイムを年間平均で6%短縮させ、同ばらつきを33%減少させる結果が得られ、適正解モデルのロバスト性を確認できた。簡易財務シミュレーションにおいても、販売機会ロスの削減による売上拡大、投入量削減による直接材料費と直接労務費の削減により、大きな利益拡大が期待される結果となった。

以上のように適正化された設計変数を搭載した工程計画スケジューラに、REALMICS_{TM}から得られた各工程の通過情報と仕掛り情報、及び倉入れ小日程計画を入力し、実際の工程計画作成業務に適用している。既に、製造仕掛りの減少など期待していた効果が目に見えてきている。

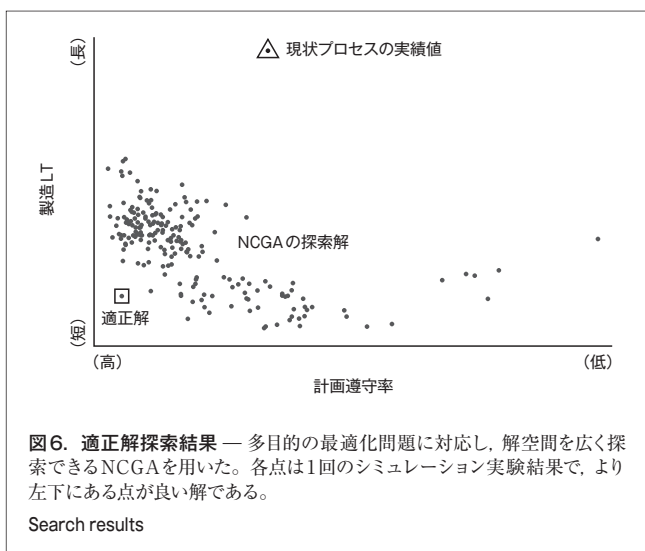
5 あとがき

従来、供給連鎖を評価し設計していく作業は、考慮すべき要因が多すぎるため非常に困難であった。この問題に対し、供給連鎖を水の流れとしてとらえ、プロセス制御技術の考え方を導入することで、その適正化手法とツール群をまとめあげることができた。

今回紹介した手法とツール群を使えば、従来に比べて広範囲で多くの要因を持つ複数の目標の達成に活用できることから、製造業が目指すサプライチェーン全体の最適化に一步近づくことができると考えている。事例紹介の適用範囲は工場内の製造現場であるが、今後は対象範囲を広げ、製造拠点間やサプライチェーンマネジメントへの展開を進めていく。

文献

- (1) 隅田 敏, ほか. 製造情報マネジメントシステム. 東芝レビュー. 55, 4, 2000, p.5-8.
- (2) 古賀康隆, ほか. プリント基板実装ライン用製造情報管理システム (PCB-REALMICS_{TM}). 東芝レビュー. 57, 4, 2002, p.47-50.



小竹 正弘 KOTAKE Masahiro

生産技術センター モノづくり変革センター研究主務。
生産システムの研究・開発に従事。日本オペレーションズ・リサーチ学会会員。
Manufacturing Innovation Engineering Center



古賀 康隆 KOGA Yasutaka

生産技術センター モノづくり変革センター主任研究員。
生産システムの研究・開発に従事。
Manufacturing Innovation Engineering Center