

# 生産活動の改善効果を短時間で算出できる サプライチェーン評価モデル

Methodology to Evaluate Effects of Improvements in Production Activities Using Financial Indicators

山田 周 小竹 正弘

■ YAMADA Shu ■ KOTAKE Masahiro

デジタルプロダクトビジネスでは、市場の変化がますます速くなっており、生き残るためには他社に先んじて生産の仕組みを変えていく必要がある。

東芝は、部品調達から販売に至る生産活動で、改善策がもたらす経営面での効果を短時間で算出することを目的としたサプライチェーン評価モデルを開発した。これは、部品調達から製造、出荷まで、また計画系業務から実行系業務まで網羅したシミュレーションモデルで、電子部品ユニットのサプライチェーン全体を評価し、事業企画レベルの意志決定を支援できる枠組みを構築できた。

The major changes taking place in rapid succession in the business environment for digital products mean that advanced production processes are required to overcome competitors and survive in the market.

With this as a background, Toshiba has developed a methodology for enterprise supply chains of digital product business units to evaluate the effects of improvements in production activities using financial indicators. This simulation model encompasses all areas of parts procurement, unit assembly, and shipping, and also includes planning and execution activities. We have successfully established an evaluation model for the entire supply chain of electric parts units that supports top-level decision-making in project planning.

## 1 まえがき

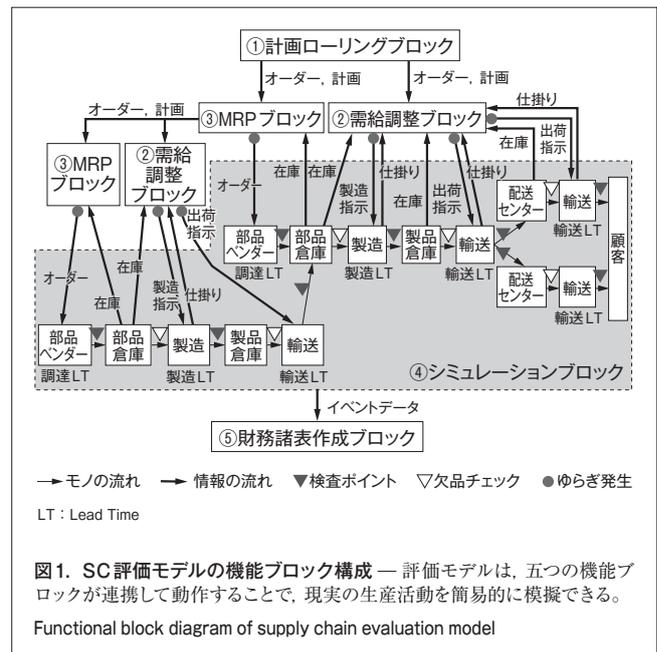
製品ライフサイクルが短縮し、また、企業間の競争条件が短期間で大幅に変化する市場環境のなか、シェアを拡大し事業として成功するために、製造業各社は生産性向上を狙った製造ラインの形態変更や、グローバルな製造拠点をまたがる生産の協業関係の再編といったレベルや規模で、様々に生産の仕組みを変えてきている。特にデジタルプロダクト（以下、DPと略記）ビジネスでは、これからも市場の変化がますます速くなりグローバルでの水平分業体制が複雑化するなかで、他社に先んじて適切な施策を実行していかなければ生き残れない。

東芝は、DPビジネスをモチーフに、生産活動で改善策がもたらす経営面での効果を短時間で算出することを目的とした、サプライチェーン（以下、SCと略記）評価モデルを開発した。ここでは、その概要と適用事例について述べる。

## 2 SC評価モデルの概要

DPの生産活動を大ざっぱに表現すると、部品確保のため販売時期の数か月前から直前まで販売計画を毎週見直し、調達に必要な期間が異なる様々な部品の注文や電子部品ユニットの製造を続け、これらを販売直前までに組立拠点に輸送し、製品に組み立てて出荷する。

SC評価モデルは、図1に示すように、①～⑤の五つの機能ブロックが連携して動作することで、現実の生産活動を簡易



的に模擬できるようにしたソフトウェアである。各機能ブロックの役割について以下に述べる。

### 2.1 計画ローリングブロック

市場の変動の激しいDPビジネスでは、販売時期の数か月前から毎週1回販売計画を更新することが標準的な業務となっており、これをローリングと呼んでいる。図2に示すように、販売計画は販売月の6か月前から見直しが繰り返され、販

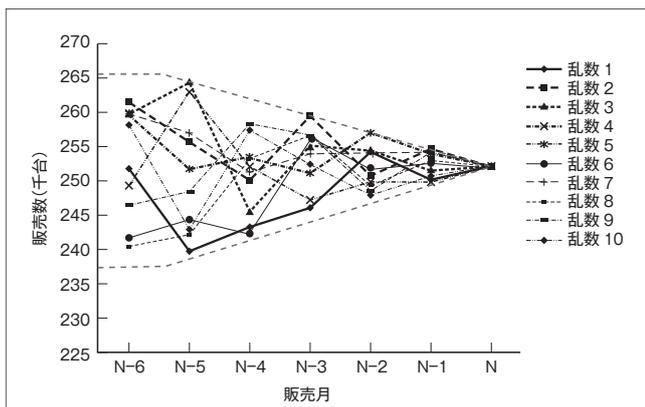


図2. 販売数の計画精度の変化 — 販売数の計画は販売月の6か月前から見直しが繰り返され、販売月に近づくにつれ販売計画の変動は小さくなる。  
Trends in sales forecast accuracy

売月に近づくにつれ販売計画の変動は小さくなる。販売月へ近づくにつれ計画精度は高くなるものとし、当月をN月とすると、N-1月は±1%、N-2月は±2%、…、N-5月以前は±5%の範囲で、一様乱数で販売計画数をばらつかせている。

計画ローリングブロックは、このような販売計画の見直し業務を再現するもので、評価対象ビジネスユニットの販売計画の変動実績分析結果に基づいてあらかじめ定義した販売計画の変動具合に従い、定期的に販売計画を見直します。

## 2.2 需給調整ブロック

実際の業務で需給調整部門は、製品の製造と輸送に必要な期間を考慮して、最新の販売計画、過去の指示、及び在庫に基づき、製造と出荷を毎日指示する。販売計画は顧客に販売する日ごとの数量である。もし製造に必要な期間や顧客までの輸送に必要な期間が0ならば、最新の販売計画どおり販売する日に製造・出荷指示をすればよいが、実際には所要期間は0ではないため、所要期間分前倒して指示を出しておかなければならない。前述のように、一般に販売時期が遠いほど予測精度は低いいため、所要期間が長ければ長いほど予想精度の低い販売数量に基づいて指示を出すことになり、指示数の過不足が生じる。この過不足を解消するため、既に発行済みの指示数と現有在庫数を考慮し、指示数を調整する。

需給調整ブロックは、このような需給担当部門で行う計算を再現するもので、実態に合致した計算ルールに従い、製造・出荷指示を作成する。

## 2.3 MRPブロック

一般にMRP (Material Resource Planning: 資材所要量計画) は、部品構成情報に基づき製品の生産数量に必要なユニットや部品の所要量を計算し、在庫や発注済数量を差し引いて不足数量を求め、ユニットの製造指示や部品の調達指示を行う手法である。実際の生産管理システムでは、部品構成が複雑で、設計変更による部品切替えのタイミング制御な

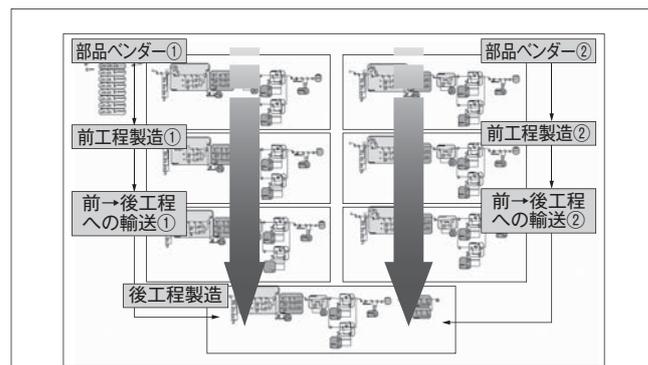


図3. シミュレーションブロックのモデル — モノの動きと状態の変化を模擬するモデルを分散系シミュレータで作成した。  
Simulation block model

ども実施する高機能なソフトウェアである。

このモデルでは、部品構成を部品、ユニット、及び完成品の3階層に単純化し、完成品の生産計画に基づいたユニットや部品の不足数量計算、ユニットの製造指示、及び部品の調達指示を行う。

## 2.4 シミュレーションブロック

部品ベンダーへの調達指示、製造拠点への製造指示又は倉庫への出荷指示により、部品やユニットの輸送、ユニットや完成品の製造、又は倉庫からの払出しが行われる。輸送や製造にかかる所要時間は、想定値であるため変動することもある。この変動が結果として毎日の生産数量の増減につながり、想定どおりにならないのが現実である。

シミュレーションブロックは、このようなモノの動きと状態の変化を模擬するよう、分散系シミュレーションソフトウェアを用いて図3のようにモデリングしたもので、模擬した挙動をイベントとして記録する。

## 2.5 財務諸表作成ブロック

これまで述べた四つの機能ブロックを連携して動作させ、少なくとも6か月の生産活動を模擬し挙動をイベントとして記録する。財務諸表作成ブロックは、このイベントデータを用いて収支を計算し財務諸表を作成する。

## 3 SC評価モデルを用いた具体的な戦略評価

SC評価モデルを用いた戦略評価を具体的にどのように行うかについて述べる。ここでは、ある事業部のグローバル製造拠点の戦略検討に用いることを想定して、架空の評価シナリオを用意した。

### 3.1 評価シナリオ

事業部Aでは、成長著しい中欧諸国へのマーケット拡大のため、新たに最終組立検査 (FAT: Final Assembly & Testing) 拠点を設立する。電子部品ユニット (EPU: Electric

表1. 欧州一貫生産と中国集中生産のシナリオの違い

Differences in scenarios between European-style consecutive production and Chinese-style centralized production

シナリオ	EPU製造拠点		FAT拠点
	主拠点	副拠点	
欧州一貫生産	欧州1	欧州2	中欧拠点
中国集中生産	華南1	華南2	中欧拠点

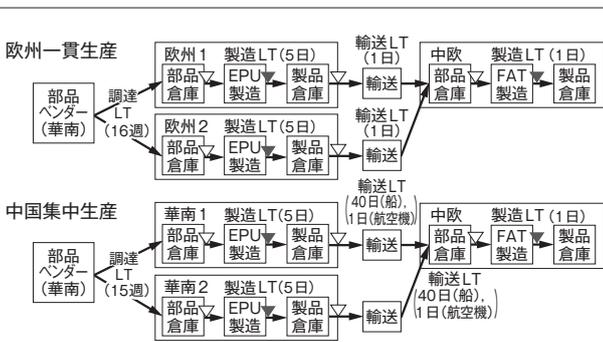


図4. SCネットワークと各プロセスの所要日数 — 前提条件として、EPU製造拠点の違いで部品の調達LTとEPUの輸送LTが異なる。

Supply chain network and lead time of each process

Parts Unit)を製造してこのFAT拠点に供給するにあたり、欧州あるいは中国華南のどちらの地域にその拠点を選択すると利益が大きいかを比較する。欧州地域はFAT拠点に距離が近いこと、需要変動への対応力が高いことによるメリットがあると想定する。中国華南地域は、会社や製品にかかわらずDPのEPU製造のメッカであり、欧州への輸送時間にデメリットがあるものの、製造コストにメリットがあると想定した。これらの候補を表1のように組み合わせて、欧州一貫生産と中国集中生産の二つのシナリオで事業損益を比較する。表1の“主拠点”はEPUを優先して製造する自社工場のことで、生産数量が主拠点の製造能力を超える場合、超えた分を“副拠点”の外注工場で製造する。

### 3.2 前提条件

評価シナリオのSCネットワークと各プロセスの所要日数を、LT (Lead Time)として図4に示す。EPU製造拠点の違いで、部品の調達LTとEPUの輸送LTが異なる。欧州一貫生産、中国集中生産ともEPU製造が2拠点、FAT製造が1拠点、及び部品ベンダーが1拠点の構成である。実際にはFAT拠点が部品ベンダーから購入する部品があるが、EPU製造拠点の配置と関係がないため今回の評価から除外した。

それぞれのシナリオではEPU製造拠点が異なるので、部品ベンダーからEPU製造拠点の部品倉庫への調達LTと、EPU製造拠点の製品倉庫からFAT拠点の部品倉庫への輸送LTが異なる。11月のFAT製造を例として、それぞれのLTに基づいて部品調達、EPU製造、及びEPU出荷指示のタイミング

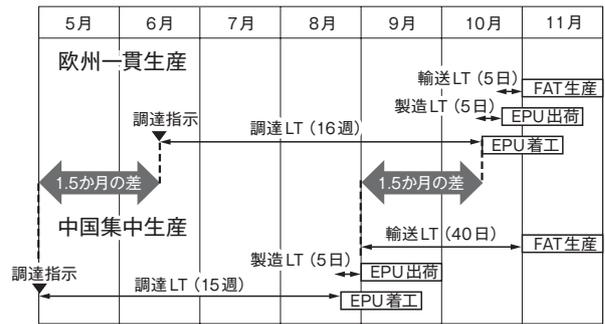


図5. 欧州一貫生産と中国集中生産で各指示のタイミングの違い — 中国集中生産の場合、EPU製造拠点からFAT拠点への輸送に40日かかるため、欧州一貫生産より約1.5か月前に部品調達とEPUの製造を指示する必要がある。

Differences in order timing between European-style consecutive production and Chinese-style centralized production

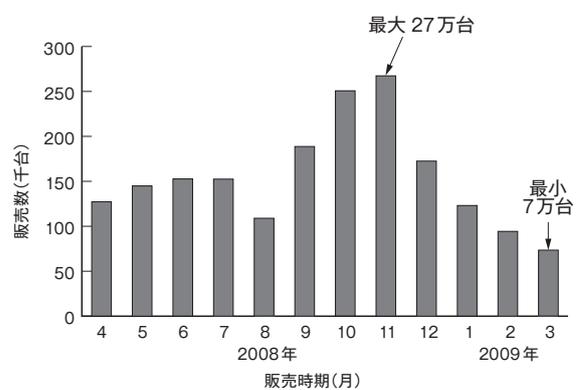


図6. 評価対象期間の月別販売数 — 販売数は、4月から11月までが増加し、3月にかけて単調に減少するといった季節変動を持ち、販売数が最大の11月と最小の3月で約4倍の差がある。

Trends in monthly sales volume

を表現すると図5のようになる。中国集中生産の場合、EPU製造拠点からFAT拠点への輸送に40日かかるため、欧州一貫生産より約1.5か月前に部品調達とEPU製造を指示する必要がある。調達LTには大きな差がないため、調達指示のタイミングの差も同様に約1.5か月である。

評価対象期間である2008年度の販売数を図6のように設定する。4月から11月まで販売数が増加し、3月にかけて単調に減少するといった季節変動を持ち、販売数が最大の11月と最小の3月とで約4倍の差がある。ただし、生産活動は6か月前から開始されるので、販売月まで毎月販売数の計画を見直す。実際の販売数25万台/月に対し、多く計画している月や少なく計画している月がある。

そのほかシミュレーションで扱うパラメータの変動幅を表2のように定める。

前述以外の前提条件を以下に挙げる。

表2. 各パラメータの変動幅

Setting range of each simulation parameter

ゆらぎ項目	製造拠点	分布	平均	標準偏差	最大	最小
売価 (円/台)		正規	月1% ダウン	平均の 5%	+3σ	-3σ
直材費単価 (円/台)	全拠点	正規	月0.6% ダウン	平均の 1%	+3σ	-3σ
調達LT (日)	欧州1 欧州2	正規	一定 (16週)	平均の 5%	+3σ	-3σ
	華南1 華南2	正規	一定 (15週)	平均の 5%	+3σ	-3σ
EPU製造LT (日)	全拠点	正規	一定 (5日)	1日	7日	3日

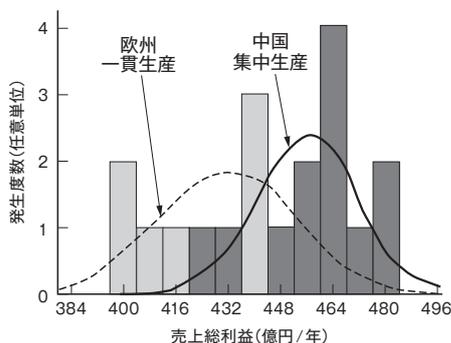


図7. 売上総利益のヒストグラム — 12種類の乱数系列で生成したデータセットを用いてシミュレーションし、売上総利益をプロットしたところ、中国集中生産は、欧州一貫生産に比べ売上総利益の平均が高く、ばらつきも小さくなっており、中国集中生産が優位という結果になった。

Histogram of gross income in each scenario

- 毎月、販売計画数を上限として生産できた数量はすべて販売でき、計画数を満たせないときはその分は失注（販売機会損失）する。
- 中国華南地域から欧州地域へのEPUの輸送手段は船を使用し、船で間に合わないときは航空機を使用する。
- 年度末のEPU及び購入品は、在庫数の5%を余剰部材と仮定し廃却する。

### 3.3 シミュレーション結果と考察

前節の前提条件の下、シミュレーション期間を2年とし、欧州一貫生産と中国集中生産のそれぞれについて、12種類の乱数系列で生成したデータセットを使って、12回のシミュレーションを実施した。評価尺度としては、在庫数などの初期条件の影響をなくすため、2年目の財務指標を使用した。

売上総利益のヒストグラムを図7に示す。中国集中生産は、欧州一貫生産に比べ売上総利益の平均が高く、ばらつきも小さくなっており、中国集中生産が優位という結果となっている。平均値の差の検定を行うとp値=0.003であり、95%の信頼水準で平均値に有意差があるといえる。

シミュレーションを行う前の予想では、欧州一貫生産はFAT

拠点への輸送LTが短く、FAT拠点着工により近いタイミングでEPU拠点を着工できるので、PSI (Production Sales Inventory) 変動に追従でき販売実績数が多くなると考えていた。しかし、結果は中国集中生産のほうが売上総利益は多くなった。

イベントデータを詳細に分析したところ、FAT拠点の着工に近いタイミングでEPU拠点での着工を行えば、EPUの欠品によるFAT拠点での未着工を防ぐことができるが、そもそも部品が欠品していて要求どおりにEPUを生産できないことがわかった。

また、中国集中生産のシナリオでは、頻繁にEPUの輸送手段に航空機を使用していた。標準の輸送手段は船なので欧州一貫生産より1.5か月早くEPUを製造しているため、航空機で輸送すれば潤沢にEPUを供給できる。今回の前提条件では、航空機の輸送費をかけても、製品をより多く製造し販売機会の損失を減らした場合の損益が良くなる結果となった。

しかし、これらの結果をもって、EPUを中国で集中して製造することが最善とは言い切れない。欧州でEPUの在庫を保有するシナリオなど、最終的な結論を出すために更に様々なシナリオでの評価を実施したが、ここではそれらについての記述は割愛する。

損益として表面化しないが、EPU製造拠点が保有する生産技術や管理体制についても考慮する必要がある。

## 4 あとがき

調達から製造、出荷まで、また計画系業務から実行系業務までを網羅したシミュレーションモデルにより、対象事業のSC全体を評価し、事業企画レベルの意思決定を支援できる枠組みを構築できた。これまで製造拠点の配置検討といった事業企画レベルの意思決定では、ほとんどの場合、表計算レベルの簡単な裏づけ計算と経験則で実施されてきたので、シミュレーションによる定量的な分析は、より精度の高い意思決定を行うための有効な道具である。今後、適用事例を重ね、この評価モデルの完成度を上げていく。



山田 周 YAMADA Shu

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



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