1101 サプライチェーンシステム評価のためのシステムシミュレーション

System simulation for supply chain system evaluation

梅田 茂樹 ○ 張 芳 (武蔵大)

Shigeki UMEDA and Fang ZHANG
1-26 Toyotama-kami, Nerima, Tokyo, 176-8534

This paper proposes a prototype of discrete event simulation for supply chain system analysis. Designing of supply chains requires system evaluation methodologies that enable supply chain planners to estimate various types of operational scenarios. The proposed simulation can represent information processing flows, which include demand predictions, operational orders, data monitoring operations, besides operations in traditional manufacturing system simulations. The simulation system analyzed several supply chain system operations, which are based on the actual system specifications and operational scenarios.

1. はじめに

サプライチェーンシステムは、原材料、部品、最終製品の各製造企業、そしてそれら企業間を連結する物流供給者を含めた一連の複数の企業メンバーから構成される。また、一社内でも原材料調達、製造、配送、販売の各部門から構成されることもある。

一般にこのようなシステムでは、「ものの流れ」(物流)は原材料製造、部品製造、最終製品製造、顧客の順になるが、市場の需要情報は顧客が情報源となり、この逆の順にもものの流れの下流から上流へ向かって、「オーダー情報」として流れる。このような情報流のメカニズムでは、各サプライヤーで情報の享受と伝播が繰り返されるうちに、そのオーダー情報が上流に伝わるに連れてそのばらつきが増幅されること(鞭効果-Bullwhip Effect)が知られている[1][2]。

従って、効果的なサプライチェーンシステムを実現するためには、各チェーンメンバーによる需要情報、製造情報、在庫情報などの共有とそれを用いた効果的な計画策定と協調活動が必要であるが、その具体的な方式については、個々のサプライチェーンシステムの特性に合わせて個別に工夫しなければならない。

筆者らは、このための業務プロセスとそこで必要とされる情報集合に関するモデル化を行ない、その要件仕様をシステム機能階層モデルとして表現した[3]。本稿では、さらにオペレーションレベルでの具体的なプロセス記述を行い、製造および搬送業務に関する情報収集、計画策定、そしてそれらプロセスの協調メカニズムを実験的に検討できる事前評価のためのシミュレーションモデルを提案する。これらのモデルは、サプライチェーン内の情報共有プロセスと情報変換プロセスのメカニズムの定義を行ったものである。

モデルは、ディスクリート系の製造業を対象にして、部品ベンダー、製造工場、配送センター、計画センター、小売業者、3PLの各メンバーについて、それらの業務プロセスおよび業務指示と需要予測に関する情報プロセスを、シミュレーション・アクティビティとして記述した。

さらに、実装したシミュレーションモデルを用いて、チェーンのメンバー間の協調プロセスや計画策定プロセスの事例に適用を試みた。

2. シミュレーションモデル

サプライチェーンの事例は、文献[1][2]などにもその概要が報告されているが、シミュレーションのためには、具体的なかつ詳細なレベルの記述が必要となる。ここでは、筆者らが行った事例研究[4]によるマネジメントデータ仕様の定義を参考にして、メンバー組織構成、それらの相互制約、さらに各メンバーの業務プロセスフローとそれに伴う情報プロセスフローの定義

を行なった。モデル設計のための仕様を以下にまとめる。

- ・ ディスクリート系製造業種(電機・機械など)のサプライチェーン・システム対象とした。
- ・ 対象とするシステムは、(A) 最終製品を製造する製造工場、(B) チェーン上の情報管理を行なう計画センター、(C) (A) に各々の部品を供給する3社の部品ベンダー、(D) (A) で製造された製品を梱包して3PLに業務を委託する配送センター、(E) 配送業務を請け負う3PL、(F) 小売業・個人消費者などの顧客集合からなる。
- ・ (A) (B) (D) の組織は同一企業の部門組織である。
- ・ 部品ベンダーには需要予測に基づく PUSH 式でオーダーをかけ、製品工場と配送センターには日ごとの PULL 方式で製造オーダーをかける方式を採用する。
- ・ 配送センター(D) から消費者への製品の運搬は、物流業者(3PL) にアウトソーシングする。すなわち、オーダー発行後、一定時間を経過すれば該当ロットが運搬される。

以下、(1) から(5) にシミュレーションモデルのプロセス定義の概略を記述する。また、各プロセスに合わせて情報定義も行なった。

(1) 計画センター

〔週ごとのタスク〕

- ① 顧客からの購買オーダーを随時受ける。
- ② 計画期間中の需要量を予測する。(移動平均法、および指数平滑法)
- ③ ②で求めた予測需要量の製造に必要な部品A,B,Cの量を、製品の部品表と現在部品在庫量から計算して、仮オーダーとしてサプライヤーに送る。
- ④ 各部品のサプライヤーからの仮オーダーへの回答を受ける。
- ⑤ 回答より部品オーダー量を確定して、部品の確定オーダーを送る。

〔日ごとのタスク〕

- ① 顧客からの購買オーダーを随時受ける。
- ② 一日2回の割合で、購買オーダーを集積し製造オーダーとして製造工場に送る。
- ③ 購買オーダーを受けたら、それを配送センターに配送オーダーとして送る。
- ④ 製造工場からの部品の納入情報を受取る。
- ⑤ 配送センターから配送完了情報を受取る。

(2) サプライヤーのプロセス

- ① 計画センターから計画サイクルで決めた割合(例えば週1回など)で、部品仮オーダーを受ける。

- ② サプライヤーの計画期間分の標準製造能力と上限許容製造能力を計算する。①の仮オーダーを評価する。その詳細は計画期間が1週間の場合は、以下の通り。
 - 1 週間標準製造能力 = 1日製造能力 × 5日 - 前週に受けた確定オーダーの未製造分
 - 1 週間上限許容製造能力 = 1日製造能力 × 7日 - 前週に受けた確定オーダーの未製造分
- ③ 計画センターの仮オーダーに対応して、次期計画期間の部品製造予測を回答する。すなわち、 $\min$ (部品の仮オーダー, 上限許容製造能力) となる。
- ④ 計画センターから部品の確定オーダーを受取る。
- ⑤ 部品を製造する。部品の原材料の供給には過不足がないものとする。
- ⑥ 完成された部品を製造工場に運搬する。

(3) 製造工場のプロセス

〔部品の受け入れ〕

- ① 部品のサプライヤーから、部品 (A,B,C) を搬入する。
- ② 部品在庫 DB を更新する。
- ③ 計画センターに部品入荷通知を送る。

〔製造オーダーの処理〕

- ① 計画センターからの製品製造オーダーを受ける。
- ② 製造オーダーに対応する部品を引当てる。
 部品現存量 = 0 とき、そのまま待機させる。
 部品現存量 > 0 とき、部品を引当てる。
 - 部品の引当が成功ならば (充分な部品在庫があればプロセス③を行う。
 - 部品の引当が失敗ならば (必要量の部品在庫がない時)、このとき製造オーダーの分割を行う。一つは、あるだけの部品を引当てて、プロセス③を行う。一つは、不足分を新しいオーダーとして、②に転じて、待機させる。
- ③ 部品引き当て量を部品在庫 DB に反映する。
- ④ 製品を製造する。
- ⑤ 製造した製品を配送センターに運搬する。

(4) 配送センターのプロセス

〔製品の受け入れ〕

- ① 製造工場から運搬された製品を受取る。
- ② 製品を置き場に入れる。
- ③ 製品在庫 DB を更新する。
- ④ 製品の出荷を待機する。

〔配送オーダーの処理〕

- ① 計画センターから配送オーダーを受ける。
- ② 製品在庫 DB を見て、オーダーで指定された製品数と比べる。
 ②-1 在庫数 ≥ オーダーで指定された製品数の時、製品を取り出す。プロセス③へ行く。
 ②-2 在庫数 < オーダーで指定された製品数の時、次の製品受け入れまで、この配送オーダーを待機させる。
 ②-2-1 製品を受け入れたら、再び、②-1を行い、待機中のオーダーの出荷が可能かを調べる。
 ②-2-2 製品の受け入れがない時、次の配送オーダーを処理する。
- ③ 決めたロットサイズにより、製品を梱包する。
- ④ 製品とともに送り状を、3PL に渡す。
- ⑤ 該当配送オーダー状態を、「配送中」にする。

〔配送の確認〕

- ① 3PL から、顧客からの製品受取状を受取る (製品の配送確認)。

- ② 該当配送オーダーの状態を、「配送完了」にする。
- ③ 計画センターに製品の配送完了通知を送る。

(5) 3PL のプロセス

- ① 配送センターから、梱包された製品と送状を受ける。
- ② 顧客に製品を送り状と共に配送する。
- ③ 顧客から受取状を受け取り、配送センターに渡す。

(6) 顧客のプロセス:

- ① 計画センターに購買オーダーを送る。
- ② 3PL からの製品と送り状を受け取る。
- ③ 3PL に製品の受取状を渡す。

3. 仮想シナリオ事例

ここで設計したモデルを検証するために、いくつかの仮想的なシナリオ事例を文献[4]を元に設定し、シミュレーションを実行した。

- ・ 仮想事例1: サプライヤーには需要予測による計画主導方式で部品をオーダーし、かつ製品そのものの製造は日々の顧客オーダーによりPULL方式で行なうシナリオである。
- ・ 仮想事例2: 部品の補充をサプライヤーの補充方針に任せる方式である。サプライヤーは、製造工場の部品在庫の在庫量を常時観察する。安全在庫を下回った時点で一定のリードタイムで一定量の在庫を補充するシナリオである。
- ・ 仮想事例3: サプライヤーあるいは製品工場の製造能力を増加・減少させ、そのチェーン全体への影響をみる。
- ・ 仮想事例4: サプライヤーと製品工場、あるいは製品工場と配送センターがカンバンで連結されたシステムである。

4. おわりに

ディスクリート系の製造業を対象にして、計画センター、部品ベンダー、製造工場、配送センター、3PL などからなるサプライチェーンシステムについて、各メンバーの業務プロセス、業務指示、需要予測に関する情報プロセスをシミュレーション・アクティビティーとして記述した。

ここで提案したプロセス記述とシミュレーションモデルは、需要予測による計画主導方式によるサプライヤーへの部品オーダーと、日々の顧客オーダーによるPULL方式の製品製造とを適宜組み合わせることができる。今後は、チェーンメンバー間の協調・連携活動に関する諸要素などサプライチェーン固有のシステム特性解析、また TOC などの方針を導入した時の効果の数量的解析などに活用する予定である[5]。

試行したシミュレーションランのいくつかでは、他のランに比べて著しくその結果が異なるものが観測された。これはおそらく乱数の影響と考えられるが、これに対応するための独立再試行法などの出力データ解析法や、パラメータ数が多い大規模システムを対象とした時の実験計画法の検討などが、今後の研究課題である。

5. 参考文献

- [1] Simchi-levi, D., Kaminsky, P., and Simichi-levi, E., "Designing and managing the Supply Chain", McGraw-Hill, 2000
- [2] Handfield, R., B., Nichols Jr., E., L., "Introduction to Supply Chain Management", 1998
- [3] Umeda, S., Hu, B., "Supply chain business system reference model: A business process description using IDEF0", in "Global Engineering, Manufacturing and Enterprise Networks", Mo, J., Nemes, L., (eds.), 2000
- [4] Umeda, S., Lee, T., "Management data specification for supply chain integration", NIST-IR 6703, 2001
- [5] 稲垣公夫, 米国製造業復活の秘密兵器 TOC 革命, 日本能率協会マネジメントセンター, 1997