

サプライチェーン上の製造工場における 部門連結を考慮した運用最適化

Operational Optimization with Department Consolidation in a Factory of the Supply Chain

北澤正樹^{1*} 吉川厚¹ 寺野隆雄¹

Masaki Kitazawa¹, Atsushi Yoshikawa¹, and Takao Terano¹

¹東京工業大学 知能システム科学専攻

¹Department of Computational Intelligence and Systems Science, Tokyo Institute of Technology

Abstract: In a factory of the supply chain, it must be improved benefits while responding to a demanding request from customer. Therefore, planning and warehouse department has developed a reduction method of the stock and ordering cost, and the manufacturing department has developed a scheduling method to minimize the delay in delivery and cost. However, since these methods are implemented in each department, the entire factory may not satisfy the customer's request. This study builds operational simulation model of the entire factory by consolidating each department. Using the model, we reveal the threshold of the stock and manufacturing cost that meet the customer's request.

1 はじめに

自動車やスマートフォンといった複雑な機能を持つ製品を作るには多数の部品が必要となるため、種々の工場は Fig. 1 のようなサプライチェーンを構築して需要に対応している[1]。近年は顧客要求の多様化や加速化が進み、サプライチェーン上の工場では多種類の製品の厳しい納期要求に答えつつ、在庫量や製造コストを抑えて利益を向上させなくてはならない。ここで工場は、顧客からの注文を受け取って倉庫の在庫量と比較しつつ、指定された納期内に発送できるように製造部門に製造指示を出す計画・倉庫部門と、受けた指示を完遂できるように限られた人員・設備を活用して製造を進める製造部門に分けられる。利益を向上させるために、計画・倉庫部門では在庫量や発注コストを削減する管理手法、製造部門ではスケジューリングにより納期遅れの最小化や人員・設備の製造コストを最小化する手法が多く報告されている。しかしながら、これらの手法は部門それぞれで評価をされているため、局所最適となり工場全体では顧客の要求を満たせなくなる不都合が生じる可能性があるが、工場全体での評価手法は未だ報告されていない。

本研究では、製造工場の各部門を連結して工場全体での操業シミュレーションモデルを構築する。このシミュレーションモデルを利用して、顧客からの注文量が与えられた時に、顧客の要求を満たせる在庫量や製造コストの閾値を明らかにすることを目的とする。

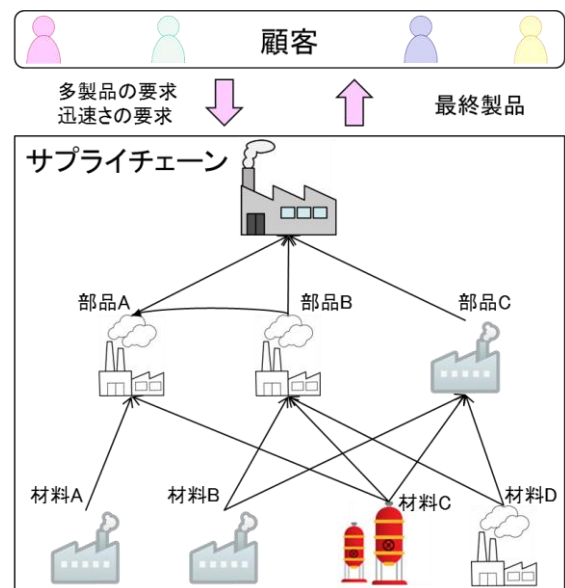


Fig. 1 サプライチェーン

*連絡先：東京工業大学大学院知能システム科学専攻

〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-J2-52

E-mail: kitazawa.m.aa@m.titech.ac.jp

2 関連研究

本章では、工場の操業の流れと従来の手法について示す。直接製品の製造に携わる部門は、主に計画・倉庫部門と製造部門に分かれて、Fig. 2 に示すような流れで操業される。顧客からの注文は計画・倉庫部門に伝えられ、計画・倉庫部門は要求された製品量を倉庫の在庫量と比較しつつ、指定された納期内に発送できるように製造部門に製造の指示を出す役割を担う。一方で、製造部門は限られた人員や設備といった資源を活用して、受けた製造の指示を完遂する役割を担う。なお、実際には営業部門や部品購買部門などもあるが、ここでは簡略化のため1つの工場内での計画と製造の範囲だけを扱う。

計画・倉庫部門での管理項目としては、各製品の在庫量がある。在庫は顧客の要求した製品量や納期を満たしつつ、製造部門の負担を平準化するために設けられる。在庫は少なすぎると製造部門の補充も間に合わずに製品が欠品となり顧客の要求に答えられなくなり、多すぎると管理費用の増加やキャッシュフローの減少といった影響をおよぼすため、適切な量を定めることが重要である。適切な量の導出には、経済コスト基準での計算[2]、クリギング法[3]、シミュレーテッドアニーリング[4]、モデル予測制御[5][6]と様々な方法が提案されている。

一方で、製造部門では人員や設備を効率よく用いるためのスケジューリングが重視され、遺伝的アルゴリズムとヒューリスティックルールを組み合わせた手法[7]、ゼロサプレス型二分決定グラフを用いた手法[8]、分布推定アルゴリズムを用いた手法[9]、エージェントと強化学習を組み合わせた手法[10]と様々な方法が提案されている。これは、製造部門の人員や設備は1日単位で増減させることは難しいためである。しかし、数ヶ月や半年といった長期間を考慮する場合には、人員や設備も変動させて工法改善や在庫変動による影響を評価することも必要となる。

このように個々の部門における効率化の手法は多く報告されている。しかし、近年では Internet of Things や Internet of Everything が盛んになり逐次収集したデータやシミュレーションを用いる手法も増えているが[11][12]、工場の各部門を連結して効率化を積み重ねた時に工場全体で起きる影響は考慮する手法は報告されていない。そこで本研究では、製造工場の各部門を連結した多品種製品の操業シミュレーションモデルを構築し、顧客からの注文量が与えられた時に、顧客の要求を満たせる在庫量や人員や設備数の閾値を明らかにすることを目的とする。

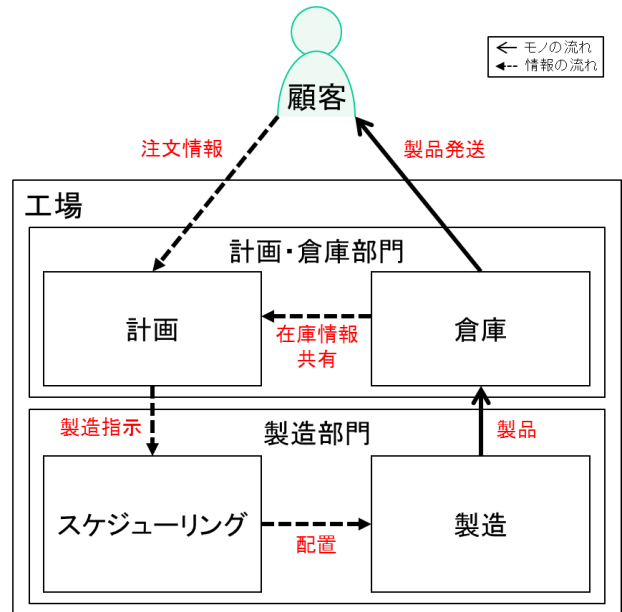


Fig. 2 工場の操業の流れ

3 シミュレーションモデル

本研究で構築する各部門を連結させた工場全体での操業シミュレーションモデルの概要を Fig. 3 に示す。シミュレーションは顧客、工場内の計画・倉庫部門と製造部門の3要素で構成され、3要素間を注文や対応した多品種製品が流れていく処理を、指定した日数まで繰り返していくものとする。また、特定の日数が経過したときには在庫量や製造部門の人員や設備能力を変更可能とすることで、工場で行われている改善業務の表現も取り入れられるようにする。

3.1 製品設定

製品は複数種類を扱っているとして、それぞれの種類に対して、顧客からの平均注文数と平均要求納期、計画・倉庫部門の平均在庫量と初期値とロットサイズ、製造部門での必要人員数とロットあたりの必要製造時間を定めておく。なお、ロットサイズとは製造部門で一度にまとめて作る最低数量単位のことを示し、設備上の制約や経済的な視点から定められる。本来であれば製品の製造に必要な部品の変動も考慮する必要があるが、本研究ではまずは簡単のために部品ありきの状態としてモデル化する。

3.2 顧客

顧客は工場にインプットする注文を生成する制御不可能な主体として扱う。顧客は多数おり、各製品

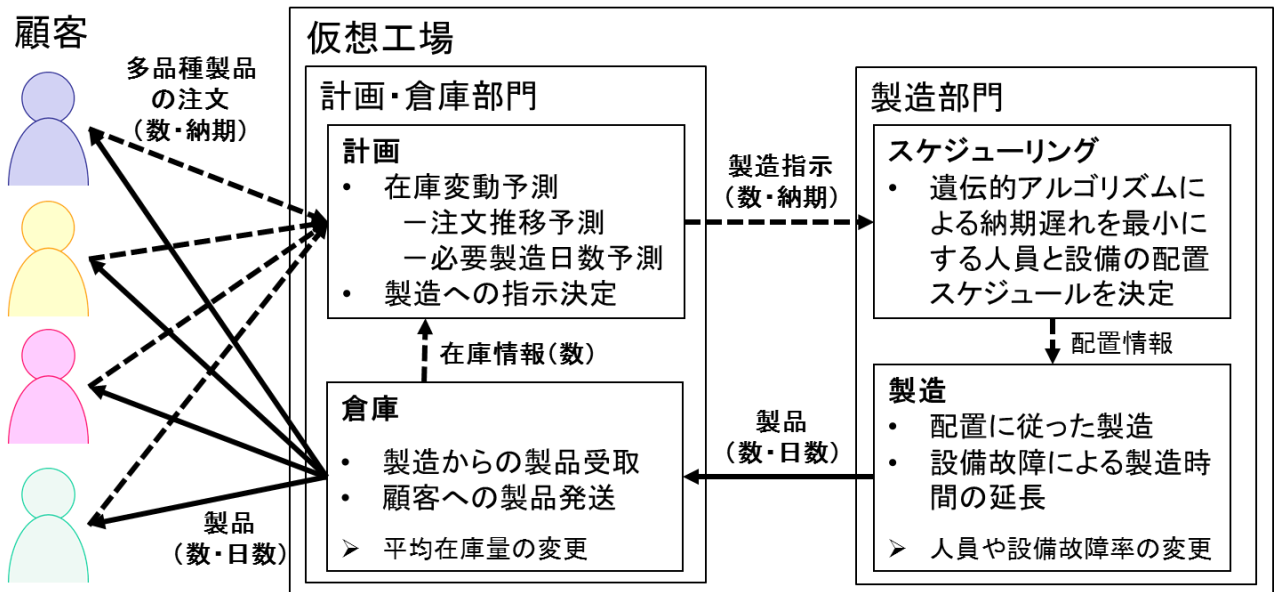


Fig. 3 シミュレータの1日の流れの概要図

で設定されている数量と納期を元に日々ランダムで注文を発生させて、計画・倉庫部門に伝えてくるものとする。複数顧客がランダムに注文することで、日毎の注文の偏りを表現することができ、注文が少ない時の動きを検討したり、顧客の要求を満たせなくなる工場の状況を明らかにしたりできるようになると考えられる。

3. 3 計画・倉庫部門

計画・倉庫部門は、顧客の注文を元に在庫変動を予測して必要があれば製造の指示を製造部門に出すことと、顧客の注文が満たせるようであれば製品を顧客に発送して、その分の在庫量を減らすことを行う主体として扱う。

在庫変動の予測には顧客からの注文の推移予測と製造部門が製品製造にかかる日数が必要になる。本研究では、顧客からの注文数の推移予測は統計の時系列解析を用いる。また、製造部門が製品製造にかかる日数は、一般的には製品設計の必要製造時間を用いることが多いが、本研究では製造部門におけるスケジューリングの結果を用いることもできるため、両者の結果を比較して設定値を決めることとする。製造の指示は、在庫変動の予測量をロットサイズに丸めた分量と納期を出すものとする。

顧客への製品発送は、製造が1日で作った製品数を受け取った後に、在庫量が顧客の注文数を超過していれば1日の最後に自動で実施されるものとする。この時、倉庫における梱包作業や配送業者への引き渡しといった制約は考慮しないものとする。

3. 4 製造部門

製造部門は、受けた製造指示を元に人員と設備のスケジューリングを行い、スケジュールに沿って製造を進めていく主体として扱う。

スケジューリングは、製造の指示で示された納期からの遅れを最小にする1日8時間分の人員と設備の配置を、遺伝的アルゴリズムにより導出する。製造部門の人員はあらかじめ人数が設定されており、個体差がないものとして設定する。一方で設備もあらかじめ台数が設定されているが、設備ごとに製造できる製品は決まっているものとする。また、設備ごとに故障率も定めておき、製造するときに確率で故障が発生して必要な製造時間が伸びてしまう現象を表す。製造時間が伸びた場合でも、対応人員の総労働時間が12時間未満であれば当日完成した製品として扱うが、12時間以上となる場合は次の日に繰り越されるものとする。これにより、現実の製造現場と同様に突発的な故障により、計画・倉庫部門が出した製造の指示を常に満たせるとは限らない状態を表現することが可能となる。

3. 5 出力

シミュレータは全ての日において、顧客の注文内容とその注文の達成状況、計画・倉庫部門の在庫量、製造部門の人員と設備の配置結果と設備の故障状況を出力して記録するものとする。これにより、顧客の注文の達成状況が悪化した時に、注文量や設備の故障状況などの何が原因なのかを時系列で追って分析することができるようになる。

4 まとめ

本研究では、顧客からの注文量が与えられた時に、顧客の要求を満たせる在庫量や製造コストの閾値を明らかにするための、工場の各部門を連結させた操業シミュレーションモデルの構想の述べた。

今後の展望として、第一に顧客の注文履歴や工場の在庫履歴といった実データを用いて、モデルの信頼性を向上させることがある。その際に、製造現場の必要製造時間や人員の影響も計測することで、より信頼性が向上するとともに、本研究では表現していない部品や製品の搬送人員の影響も同時に考慮でき、シミュレーションの活用範囲が広がると考えられる。第二に、計画・倉庫部門と製造部門をエージェントシミュレーションに拡張することがある。本研究では各部門の在庫量や人員の変化は別途設定する必要があるが、各部門をエージェントにして学習機能を与えることで、顧客の注文に動的に対応して最適な状態を導出することが可能になると考えられる。

参考文献

- [1] 久保: サプライ・チェーン最適化ハンドブック, 朝倉書店, (2007)
- [2] 石川: 在庫マネジメントの基本, 日本実業出版社, (2014)
- [3] 三神, 船木, 細田, 小野里: Kriging 法を用いた評価値予測に基づくサプライチェーンの安全在庫配置探索, 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, Vol. 2014, pp. 21-22, (2014)
- [4] Prakash, Ceglarek, Tiwari: Constraint-based simulated annealing (CBSA) approach to solve the disassembly scheduling problem, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 60, No. 9, pp.1125-1137, (2012)
- [5] Hai, Hao, Yan Ping: Model Predictive Control for inventory Management in Supply Chain Planning, Procedia Engineering, Vol. 15, pp. 1154-1159, (2011)
- [6] 松井, 梅田, 穴井: MPCによる在庫管理, 第1回経営課題にAIを! ビジネス・インフォマティクス研究会, Vol. 1, No. 3, (2014)
- [7] 岩倉, 谷水, 横谷, 岩村, 杉村: セル生産のための多目的ハイブリッド遺伝的アルゴリズムを用いた動的生産管理システムの開発とその評価, 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, Vol. 2013, pp. 63-64, (2013)
- [8] 高橋, 小野里, 田中: 動的変化に適応する生産システムの統合的計画手法に関する研究(第2報), 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, Vol. 2014, pp. 19-20, (2014)
- [9] Tian, Hao, Murata: Multi-objective EDA for Multi-mode Project Scheduling with Resource Constraint, The Fourth Asian Conference on Information Systems, Penang, Malaysia, (2015)
- [10] 岩村, 眞弓, 谷水, 杉村: 自律分散型リアルタイムスケジューリングへのマルチエージェント強化学習の適用, システム制御情報学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 129-137, (2013)
- [11] 中村: シミュレーション統合生産の衝撃, 日経BP社, (2015)
- [12] 貝原: IoT環境下の「考える工場」実現を目指す実仮想融合型生産システム, 計測と制御, 計測自動制御学会, Vol. 55, No. 1, pp. 53-58, (2016)