

レジリエンスな生産計画のためのリスク評価指標 AVaR の

Shapley 値による最適化

富山県立大学工学部電子・情報工学科
1815029 川口晏瑛

情報基盤工学講座
指導教員：Antonio Oliveira Nzinga Rene

1 はじめに

生産内示は、日本の製造業界の伝統的な情報共有のやり方であり、購買・生産における効率のよい企業間連携、すなわち日本独特のサプライチェーン・マネジメントである [1]。内示を先行需要情報と考えて、在庫補充政策を論じている研究がある [2]。いわゆる新聞売り子問題の拡張版であり、先行需要情報を情報として入手することは補充リードタイムを需要リードタイムの長さに応じて削減できることなどが示されている。また、Material Requirement Planning (MRP) における Available to Promise (ATP) システム [3] は、先行需要情報として注文を扱う点では似ているが、在庫予想と在庫への注文の割り当てが中心に議論されている。

一般的には、受注後、その数量、製造仕様に基づいて生産開始する形態である受注生産方式の活用できる範囲は少ない。製造リードタイムは納入リードタイムより長く、そのために、確定注文を待ってからでは納入が間に合わない。したがって、確定注文が内示とズレる前提で内示情報にもとづいて見込みで中間製品の生産を開始しており、受注後、確定した製造仕様、数量に基づいて最終製品を生産する形態である見込み生産方式にならざるを得ない。

近年では、市場ニーズの多様化・個性化により、多くの種類の製品やそのバリエーションが市場にあふれ、顧客が製品仕様を選択できる範囲が広がっている [3]。顧客の要望する納入リードタイムはますます短くなり、また個別の製品ごとに、受注量の変動が大きく、需要の不確実性ますます増大している。このことが、サプライチェーン全体や調達先の都合をも含めた予想や発注を難しくしている。

そこで本研究では、Mass Customization Production Planning & Management System (MCPS) をさらに発展させ、環境の変化や不確実性にレジリエンスに対応できる生産計画手法を、リスク評価指標とゲーム理論を融合させた最適化問題により構築する。

キーワード：生産計画、レジリエンス、AVaR, Shapley 値

2 レジリエンスな生産計画

2.1 生産計画とレジリエンス

生産計画とは、生産量と生産時期に関する計画であり、生産すべき製品の種類・数量・時期、製品の生産に要する原材料・部品、製造から出荷に至るまでの日程を計画することである。資金計画や人事計画など、そのほかの多くの計画は生産計画を基に立てられることから、企業にとり最適化するべき重要な問題である。生産計画は製造業において、その他の生産管理（受注管理、発注管理、在庫管理、品質管理など）と同様に必要不可欠である。

レジリエンスとは、2021 年版ものづくり白書に記載されたキーワードでもあり、リスクを予想しながら、予見される条件（想定される状況）下あるいは、予見されない条件（想定外の状況）下でも、求められている動作を継続する力あるいは、回復する力のことである。変化や不確実性に対応できるレジリエンスの高いオペレーションやサプライチェーンの構築は不可欠である。

2.2 安全在庫と未達率

生産管理においては、レジリエンスを備えつつ、在庫切れはできるだけ生じさせず、在庫はできるだけ持たない生産計画が求められる。適正在庫を決定する要素の 1 つに安全在庫がある。安全在庫の量が決まると、適正在庫の下限となる量が決定し、在庫の下限量を維持するよう努めれば、無駄な在庫を抱え込むことがなくなるうえ、在庫が不足するリスクもなくなり、余剰在庫によるキャッシュフローの悪化も防げる。安全在庫の計算では、安全係数の根拠や必要のばらつきに標準偏差を使うことなど不確実な需要の表現に正規分布を前提にしている場合が多い（図 1 参照）。

期間別生産計画における中日程計画は、中期生産計画（大日程計画）や実際の受注量に基づいて、週あるいは日単位でどの製品をどのくらい作るのか決める。期間の各期において少なくとも 1 度でも在庫切れが生じる確率を未達率と定義する。生産計画期間中に許容される未達率が与えられた時、従来、在庫切れが生じるリスクは等確率となるように各期に割り振られている [4]。

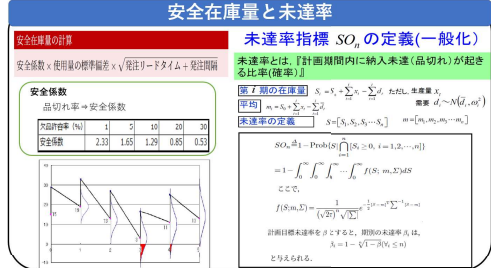


図 2：在庫切れのリスクとリスクの配分

2.3 Shapley 値による合理的な配分

協力ゲームでは、プレイヤーが提携し、その提携によって獲得された報酬を分配する際に、提携への貢献度に応じた合理的な報酬の配分が求められる。Shapley 値は協力によって得られた利得を、個人合理性、全体合理性のもとで割り振ることができる。Shapley 値の導出には、重み付き二乗誤差最小化や線形計画法を適用することができる（図 2 参照）。

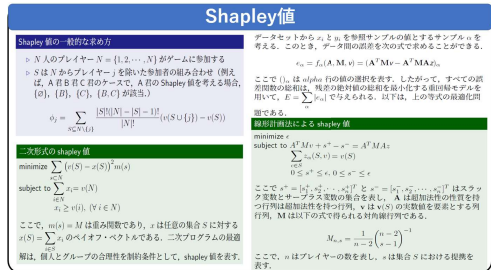


図 2：Shapley 値と数理的な導出法

3 リスク評価指標と合理的な配分

3.1 リスク評価尺度の導入

Value at Risk (VaR) とは、リスク分析の手法の 1 つであり、現有資産の損失可能性を時価推移より測定する分析指標である。金融商品のポートフォリオを、現時点からある一定の期間保有するときに、リスク・ファクターの変動により、ある一定の確率で生じ得る最大損失額のことである。VaR を求めることは、損益の分布の 100α 点を求めることである。

VaR では超過損失の程度について把握することはできない（図 3 参照）。分布の裾が厚い場合には超過損失が大きくなりやすく、このような場合の超過損失の平均は Average Value at Risk (AVaR) として把握される。AVaR はコヒーレントなリスク尺度の中で一番典型的なもので、アクチュアリー分野では Expected Shortfall, ファイナンスの世界では Conditional Value at Risk (CVaR) とも呼ばれている。

本研究では、生産計画のリスクを未達率という確率で見積もるのではなく、AVaR による超過損失の平均で見積もることを提案する。

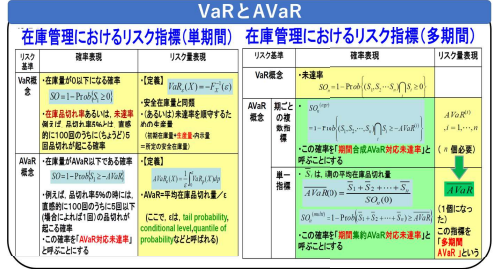


図 3：超過損失の把握のためのリスク評価指標

3.2 Shapley 値による期ごとへの配分

確定注文は、内示情報と平均とした分散を持つ確率の実現値であるとする、生産計画期間における期首の在庫の分散に比べると期末の在庫の分散は、分散の加法性により増大している。それにも関わらず従来研究では、生産計画期間中に許容される未達率が与えられた時、各期の在庫切れが生じるリスクは等確率で割り振られていた。

本研究では、特性関数を求め、その各期の特性に応じて Shapley 値により合理的に割り振る手法を提案する（図 4 参照）。

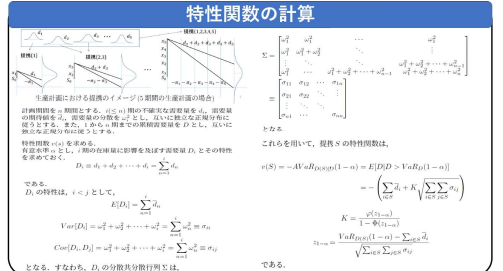


図 4：特性関数による在庫切れのリスクの見積もり

4 提案手法の概要

次月の月次内示は第 3 週の金曜日に出され、翌々週の週次内示は毎週の金曜日に出される。確定注文は 3 日前に提示される。週単位の生産計画の場合は 5 期間となる。提案手法は、有意水準 α を与えて Shapley 値を最適解として、

多期間トータルの想定需要量が AVaR を満足する制約のもとで、期別に期首の在庫量目標と期別生産量を決定することができる（図 5 参照）。在庫品切れ確率を指標とした場合には現れない在庫量の分布のすそ野の大きさから生じるリスクを考慮できる。ただし、結果として在庫量が大きくなるが、リスクに対する耐性が増し、危険事態からの挽回が容易になり、レジリエンスな生産計画が実現できる。

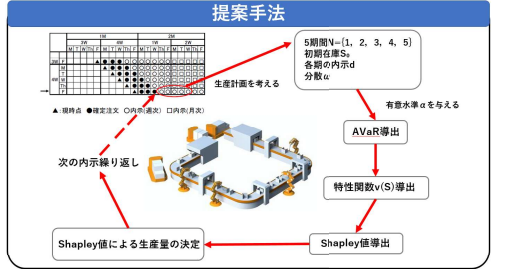


図 5：有意水準 α におけるレジリエンスな生産計画

5 数値実験並びに考察

ここで、5 期間 $N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ の生産計画について、AVaR によるリスク評価指標のもとで、特性関数の値を導出した結果を示す。初期在庫 S_0 は 10 として、各期の内示（需要）は $d = [18, 10, 8, 24, 30]$ で与えらるとする。ただし、確定注文は内示を平均として分散 $\omega = 2$ の不確実性があるものとする。有意水準は $\alpha = 0.05$ として数値実験した結果が図 6 である。

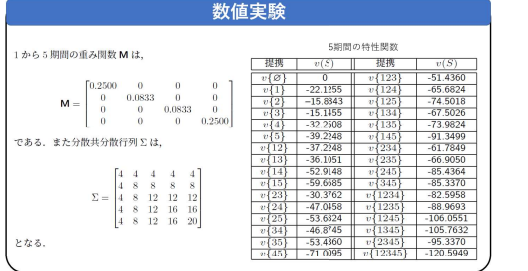


図 6：提携に関する特性関数の値

6 おわりに

本研究では、環境変化や不確実性にリスク評価指標 AVaR と Shapley 値を融合させ、レジリエンスに対応できる生産計画を提案した。数値実験では 5 期間の生産計画について、AVaR から特性関数 $v(S)$ を導出した。今後の課題は特性関数 $v(S)$ の結果から Shapley 値を導出し、Shapley 値により各期の生産量の決定を行う。

参考文献

- [1] S. Chopra and P. Meindl, “Supply Chain Management Strategy, Planning and Operations”, Prentice Hall, 2000.
- [2] G. Gallego and O. Ozer, “Optimal use of demand information in supply chain management”, *Economics*, 2002.
- [3] J. F. Proud, “Master Scheduling”, 3rd Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [4] 上野, 川崎, 奥原: 内示情報を用いた未達率指標による生産計画システムの提案; システム制御情報学会論文誌, Vol. 23, No. 7, pp. 147-156, 2010.