

拡張型生産座席予約システムを導入した シミュレーションモデルの構築

中 邨 良 樹

I はじめに

見込生産は、Make to Stock というように製品在庫を見込みで生産し、在庫を抱えて需要に対応していく管理方式である^[1]。これは「作れば売れた時代」の主流であった。しかし、現在のような需要変化が激しく、かつデフレ環境においては、画一的な在庫対応である引当管理だけで対応できなくなっている。また、生産現場だけでなく販売現場でも生産状況を把握しておかなければならない。例をあげると、販売員がお客から注文をもらうと、生産の依頼を生産部門にする。これが一般的な流れだが、多くの問題が発生する可能性がある。その一つに、販売員が注文数以上の、かつ納品日より早めの生産指示をする場合である。生産現場はその真意を知らず、指示通り生産する。その結果、多くの在庫を量だけでなく、時間的にも持つことになる。そして必要以上の原材料の調達・消費とつながる。これが発生する原因は、全従業員が在庫・販売などの情報を正確に把握していないことがあげられる。もし正確な情報にアクセスしていたならば、販売部門は顧客には正確な納期回答、生産部門には計画的な生産指示ができる。生産部門も最適な生産量や原材発注量が設定できる。この正確な情報の共有を実現する手法が「生産座席予約システム」である^[2]。生産座席システムとは、列車や航空機の指定席予約システムのように、あらかじめスケジュール（生産座席枠）を作成してから注文を顧客が要望する納期に間に合うように割当てる生産方式である。伝統的な受

注生産システムでは、注文品をある一定期間プールした後、そのプールした注文品についてスケジュールを作成している。注文品の納期回答は、このスケジュール作成後になるため、納期回答に即答性はない。一方、生産座席システムはあらかじめスケジュールを作成してあるので、受注時の段階で顧客に実現可能な納期を回答できる。また、受注してから計画までの期間を短縮できるため、短納期が期待できる生産システムである。

生産座席システムの研究として、田村ら^[2]がMRPとの比較、阿久沢^[3]、久我^[4]、的場ら^[5]、大場ら^[6]は生産座席システムの適用事例などを示している。小林ら^{[7][8]}、Tsuboneら^[9]は単一工程や多段階工程において、生産座席の大きさを決めるパラメータ（生産座席設定パラメータ）と見込み品の座席枠にも注文品の座席枠になる自由座席枠を設定するパラメータ（座席枠変更パラメータ）が、要望納期充足率や見込み品の品切れ率に与える影響を明らかにしている。さらに、大場ら^[10]、林ら^[11]、中邨ら^[12]は生産座席枠の設定において、在庫座席枠と需要に割り当てる割合を表す政策変数を組み込むことで、無駄な在庫を削減し、品切れを無くすためには、製品在庫と生産能力のバランスをどのように決めるかを提案している。これらの研究は疑似データを用いての分析・考察に留まっているため、実企業への適用や実現を検討する段階にあると考える。

また生産座席システムを発展させた「拡張型生産座席予約システム」がある^[13]。これは自動車会社での利用に適している。たとえば、自動車の

フレームやボディまでの生産は見込み生産とし、色、内装、オプションはお客が購入を決めてから決定するとする。それを管理するために、表1のような座席表を作る。これは4週の期間で7製品を作る場合である。N+3カ月に営業部門から注文が入る。この段階では仕様確定はしていないため、「見込み」として計画が入る。営業部門にすれば、この時点でどこの座席が空いているのか、仕様確定までは何週残っているのか、納品時期はいつかなどの情報を得ることができる。生産部門はいつまでにボディを完成させておくべきか、原材料はどの程度の発注量なのかなどがわかる。N+2カ月の段階で受注が決まれば「受注済み」となり、仕様が決まれば「計画ロック」となる。これで最終製品までの計画が決まる。生産部門はこの流れの中で、どの製品の注文が多いか、原材料の発注量・時期などが確認できる。同時に、経営管理の視点から販売量が見込める製品ならば、空き座席の部分にそれを埋め、計画より多めに生産する意思決定ができる。

以上の先行研究や拡張型生産座席予約システムの方法論を参考に、本研究では拡張型生産座席予約システムを導入したシミュレーションを構築する。そのモデルはプラスチックワイヤーを生産している実企業のデータや生産状況を加味する。

そして、拡張型生産座席予約システムの実企業への適用可能性、在庫管理や出力データの分析・考察などをしていく。

II 対象企業と本研究モデルについて

1. プラスチックワイヤー企業と本研究の枠組み

対象のプラスチックワイヤー(PW)企業におけるPW生産について説明する。PW生産は製紙用機械などに使用する不純物を除去(ろ過)するためのプラスチック性の網を作っている。そのプラスチックの緻密度で、除去率が変わってくる。図1がPWの製造工程である。PWの1m×5mの製品を作る場合の時間や費用、在庫管理について説明する。製織とは、網を機械で織る工程であり半日かかり1次仕上げする。現在はMake to Stockの見込生産であり、元網在庫は、常時4カ月分は在庫している。ユーザーから注文が入ると織継という網を従業員の手作業で継いでいき、オーダー毎のサイズに切出していく。3日ほど必要で、Make to Orderとなる。最後の2次仕上げは、オーダー毎に異なる加工(端部への強化樹脂塗布等)を1H施す。そして、出荷していく。

表1 拡張型生産座席予約システムの例

製品		N月				N+1月				N+2月				N+3月			
		W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
最終製品1	PW1-1	○		○		○	■	■		■	■	■			■	■	■
最終製品2	PW1-2	○	○	○	■						■	■	■			■	■
最終製品3	PW1-3	○	○	■		○	■	○		■	■	■		■		■	■
最終製品4	PW2-1	○		○	■	○	■	■	■				■			■	■
最終製品5	PW2-2	○		○	○	○	■			■	■	■				■	■
最終製品6	PW2-3			○	■		○	■		■	■	■			■	■	■
最終製品7	PW2-4	○	○			○	■	■			■	■	■	■	■	■	■

受注済み・仕様確定済み
 見込み
 受注済み
 計画ロック
 営業見込み

PW 企業を参考に、本研究の枠組みが図 2 のようになる。原材料は 1 品種でサプライヤーから 1 期のタイムラグを経て調達される。原材料が加工 1 より製織される。最終製品は 3 種類で、注文が入ると加工 1 の網を切り出し、最終製品にする。ユーザーは製品ごとに配置する。最終製品の生産計画は、基準生産計画、原材料・製品在庫、最終製品の需要予測と前期の空き座席から決定する。その基準生産計画より座席枠を埋めていき、計画ロックをする。在庫のポイントは原材料と最終製品の 2 箇所、原材料は定量発注形式で管理する。

2. 生産座席枠への割り当て

生産座席枠の割り当て方式は、フォワード方式^[14]を適用する。各期に到着したオーダーは、早い順に FCFS ルールによって割り当てる。そ

の期の座席枠に入りきれなかった分は、次期以降に同様のルールで順次割り当てる。また、当該期に空席の生産座席枠がある場合には、全製品の基準生産量に対する製品ごとの割合を求め、その割合分だけ座席枠を比率配分し、生産量とする。図 3 が手順の事例である。

- 1) フォワード方式で、各日末に到着したオーダーを順次に余っている生産座席枠に割り当てていく (①②③④)
- 2) その日の座席枠に入りきれなかった分を翌日に繰り延べる (⑤)
- 3) 当日に空席がある場合に、前日の実在庫量と基準在庫量から求める所要量により各製品を比率配分し割り当てる (⑥)



図 1 PW 企業の生産プロセス

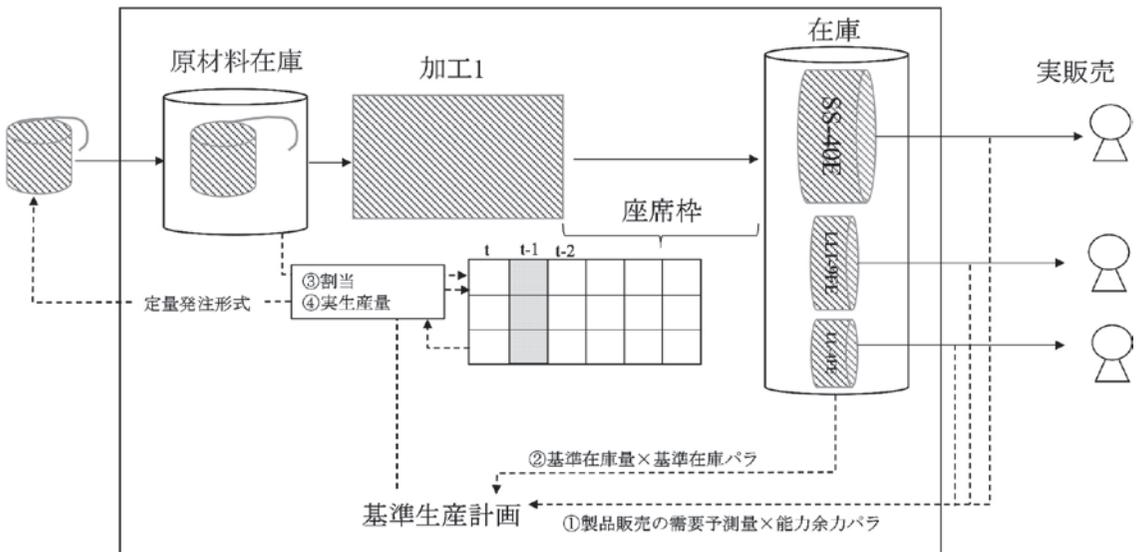


図 2 本研究のモデル

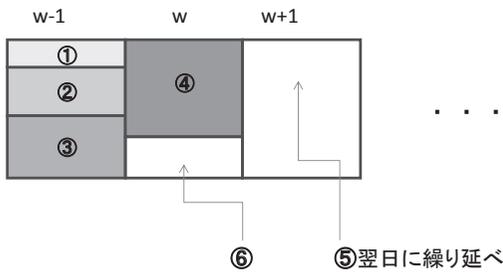


図3 生産座席枠の割当て

3. 生産計画から実在庫までの定式化

次に、拡張型生産座席予約システムにそった生産計画決定のための定式化を行う。

基準生産計画は、製品の需要予測に基づく所要加工量と製品倉庫の基準在庫に基づく補充分の所要加工量を合計することで決定する。また、生産座席枠の設定において、政策変数 ε (能力余力パラメータ) と、政策変数 Φ (基準在庫設定パラメータ) を導入し、第 t 期のボトルネック工程の総稼働可能時間は、式 (1) を用いて決定する。

$$\hat{X}_{it} = \bar{m}_b \times ((1 + \varepsilon) \times \hat{d}_{it} - \hat{I}_{it-1} + \bar{I}_{it}) \quad \forall i \quad (1)$$

$$\hat{I}_{it-1} = I_{it-2} + \hat{p}_{it-1} - \hat{d}_{it-1} \quad \forall i \quad (2)$$

$$\bar{I}_{it-1} = \bar{d}_{it} \times \phi \quad \forall i \quad (3)$$

i : 製品番号

\hat{X}_{it} : 第 t 期のボトルネック工程の総稼働可能時間

\hat{I}_{it-1} : 第 $(t-1)$ 期の製品の推定在庫量

I_{it-2} : 第 $(t-2)$ 期末の製品の実在庫量

\hat{d}_{it} : 第 t 期の製品 (見込品) の需要予測量

\bar{I}_{it} : 製品 (見込品) の基準在庫量

\hat{p}_{it-1} : 第 $(t-1)$ の製品の生産予定数量

\bar{d}_{it} : 製品 (見込品) の需要予測量の期待値

\bar{m}_b : ボトルネック工程における製品の加工時間の期待値

ε : 能力余力パラメータ ($0 \leq \varepsilon$)

Φ : 基準在庫設定パラメータ ($0 \leq \Phi$)

原材料の在庫は、前期分と1期のタイムラグを経て到着した原材料発注分である。

$$Rm_{it} = Or_{it} + Rm_{it-1} \quad (4)$$

Rm_{it} : 第 t 期の原材料在庫量

Or_{it} : 第 t 期の原材料発注量

座席の割り当ては、条件によって変化する。満席のときは全製品の基準生産計画量に対する i 製品の割合だけ生産する。空席があるときは、空席数に全製品の基準生産計画量に対する i 製品の割合分だけ、生産量を割り当てる。

Sz_{it}

$$= \begin{cases} S_i \frac{\hat{X}_{it-1}}{\sum_j \hat{X}_{jt-1}} & \text{if 満席の時} \\ \hat{X}_{it} & \text{if 座席数と} \hat{X}_{it} \text{が同じとき} \\ \hat{X}_{it} + b_i \frac{\hat{X}_{it-1}}{\sum_j \hat{X}_{jt-1}} & \text{if 空席があるとき} \end{cases} \quad (5)$$

Sz_{it} : 第 t 期の製品 i の座席の割り当て数

S_i : 第 t 期の座席数

b_i : 第 t 期の空席数

実生産量は原材料か座席数の多い方を選択する。

$$Rp_{it} = \text{MAX} (Rm_{it}, Sz_{it}) \quad (6)$$

Rp_{it} : 第 t 期の実生産量

実在庫量は販売結果によって変動する。

$$I_{it} = \text{MAX} (I_{it-1} - S_{it}, 0) \quad (7)$$

S_{it} : 第 t 期の実販売量

4. 評価尺度

シミュレーションの評価尺度として、品切れ率 α 、平均在庫率 β を用いる。

4.1 品切れ率 α

$$\alpha = \frac{\sum_j U_j}{\sum_j d_j} \tag{8}$$

$\sum_j U_j$: 全製品の品切れ数

$\sum_j d_j$: 全製品の実販売量

4.2 平均在庫率 β

$$\beta = \frac{\sum_j I_j}{\sum_j d_j} \tag{9}$$

$\sum_j I_j$: 全製品の实在在庫量

$\sum_j d_j$: 全製品の实販売量

III シミュレーションの実施と結果の分析・考察

1. シミュレーションの条件

シミュレーションの条件は以下の通りである。

- ・ 原材料 1 種類, 完成品 3 種類とする。
- ・ 製品は 3 種類 (Prod1, 2, 3) とし, それぞれの最終製品のサイズおよび 1 週間当たりの注文数および標準偏差を設定する (表 2)。なお, 平均および標準偏差は A 社の実データをもとに算出する
- ・ 製品の需要予測は, PW 企業の実データを参考に平均 (\bar{d}), 変動係数 CV を計算し, それを正規分布に従うとした
- ・ 実需要はアーラン分布, 平均 $\bar{m}_b=1$, フェイズ k のアーラン分布に従う
- ・ 能力余力パラメータ, 基準在庫設定パラメータ, 座席数, 原材料発注基準, 発注基準は政策変数とする
- ・ シミュレーション期間はパラメータの値ごとに 600 日とし, 初期値による影響を無くするために最初の 100 日間を切り捨て, その後の 500 日間のデータを用いて評価する

表 2 製品の構成, 性質

	Prod 1	Prod 2	Prod 3
サイズ	35	150	65
平均 (週注文)	1378.0	905.5	126.4
標準偏差	461.5	430.4	68.2

2. シミュレーションの結果

はじめに, 中郵モデル^[12] (以下, 前モデル) である最終製品は 1 製品で原材料は無限, 座席数 2,000/週という条件で実施した。図 4 が品切れ率の推移で, x 軸が基準在庫パラメータを 0 から 0.9 まで変化させたときである。折れ線グラフは下から能力余力パラメータを 0 から 0.9 まで変化させたときの品切れ率である。平均在庫率も同様である。品切れ率に関して, 基準在庫パラメータが増えると減少する。つまり, 在庫が増えていき, 機

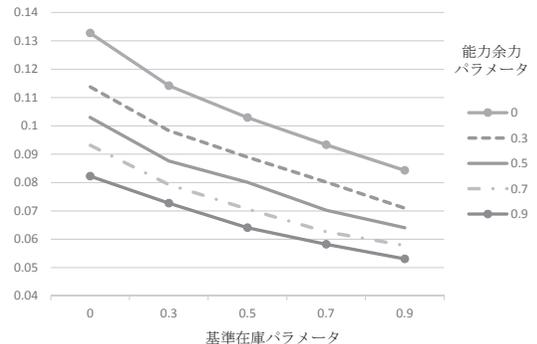


図 4 品切れ率 (1 製品, 原材料無限, 座席 2,000)

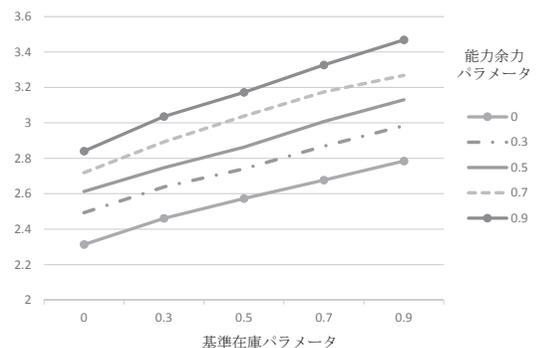


図 5 平均在庫率 (1 製品, 原材料無限, 座席 2,000)

会損失が減少していることがわかる。平均在庫率は品切れ率と反対に、基準在庫パラメータが増えると増加する。この結果から、シミュレーションモデルが合理的な結果を生み出していることがわかる。

次に、本研究の3製品、原材料は有限で座席2,000/週という条件で実施した(以下、新モデル)。ただし、原材料は定量発注形式で発注基準が300,000、発注量は900,000という条件とする。図6、図7が3製品平均の品切れ率と平均在庫率の結果である。前モデルと比較して、合理的な推移になっていない。つまり、品切れ率は能力余力パラメータが0のときは基準在庫パラメータが0から0.3にかけて増加し、それ以降は減少している。それ以外のパラメータの変化は、合理的に変化し

ている。平均在庫率は、在庫が増えると品切れが減るといった結果になった。このように必ずしも合理的な結果にならない原因は、3製品ごとの平均・標準偏差が異なるためだと考えられる。

そこで、製品別の品切れ率、平均在庫率をみていく(図8~13)。製品1と製品2の品切れ率は、パラメータが大きくなると、値が小さくなっていく。平均在庫率もパラメータを大きくすると、値が大きくなっていく。つまり、前モデルのときの結果同様、合理的な結果となっている。対して、製品3はパラメータを大きくしているにも関わらず、品切れが増え、在庫が減っている。この原因は、製品3が3製品の中で週あたりの注文数が少ないため、座席が満席になると、製品3の基準生産計画が少なくなり、品切れの発生および在庫の減少現象が発生していると思われる。

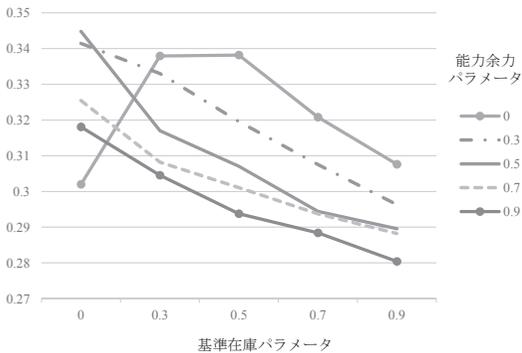


図6 3製品平均の品切れ率 (3製品, 原材料有限, 座席2,000)

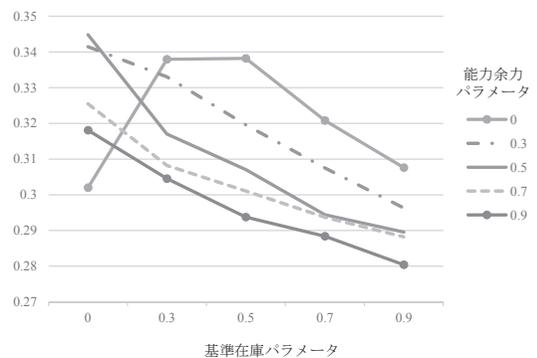


図8 製品1の品切れ率

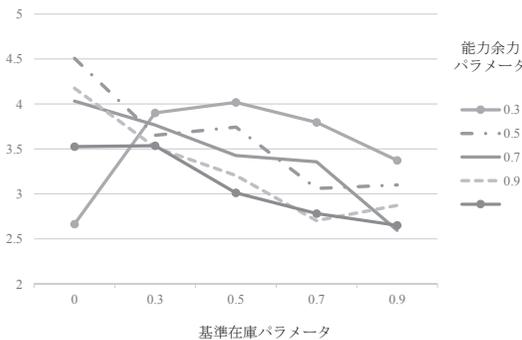


図7 3製品平均の平均在庫率 (3製品, 原材料有限, 座席2,000)

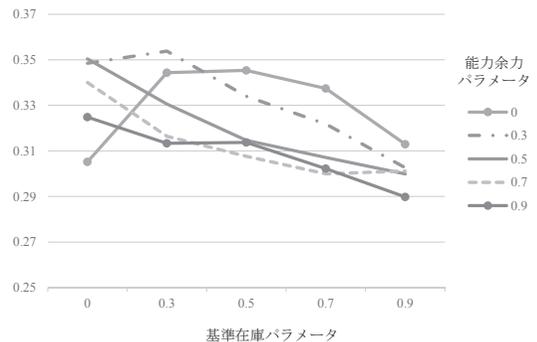


図9 製品2の品切れ率

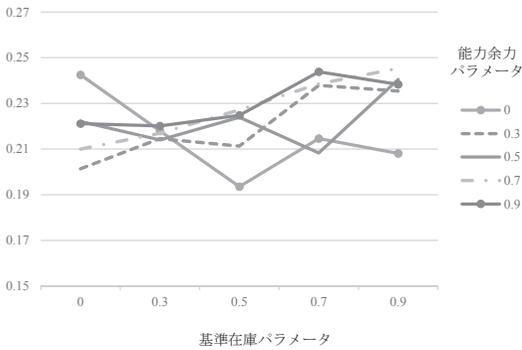


図 10 製品 3 の品切れ率

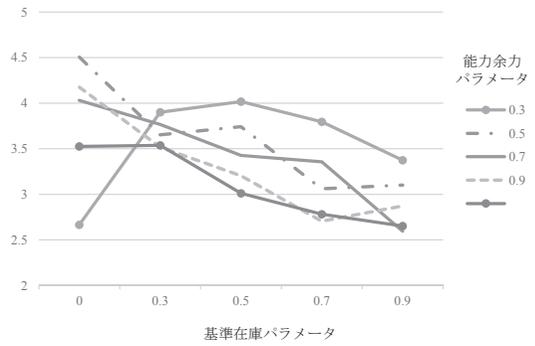


図 13 製品 3 の平均在庫率

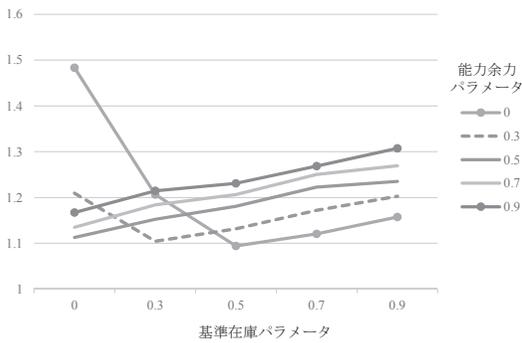


図 11 製品 1 の平均在庫率

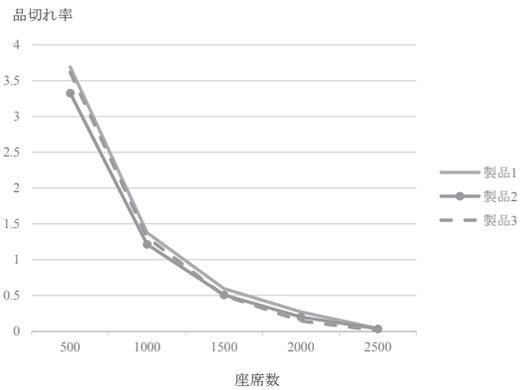


図 14 3 製品の品切れ率

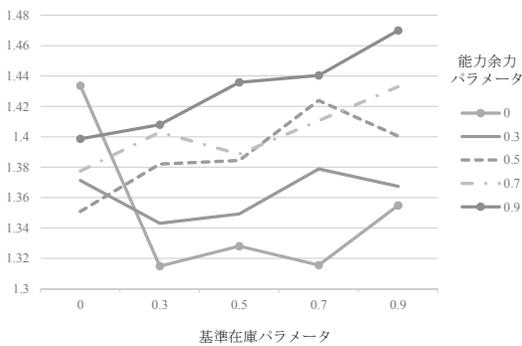


図 12 製品 2 の平均在庫率

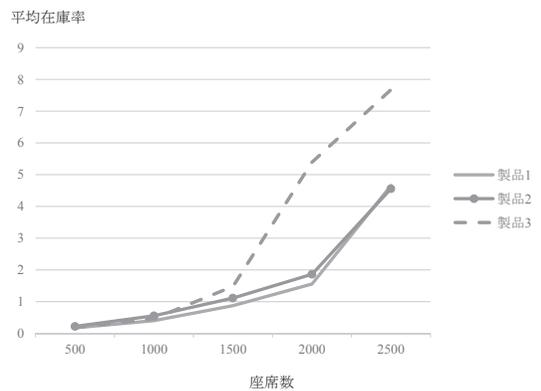


図 15 3 製品の平均在庫率

図 14, 図 15 は座席枠の大きさによる品切れ率および平均在庫率である。製品別に需要の動きに違いがあるにも関わらず、座席枠が大きくなっていくと品切れが減り、在庫が増えている。したがって、どの程度の生産能力や安全在庫量が必要かの指針を与えることができる。

図 16, 図 17 はアーラン分布のフェイズ k の変化による品切れ率および平均在庫率である。 k が大きくなっていくと、品切れ率が増え、平均在庫率が減っていく。これは k を大きくしていくと

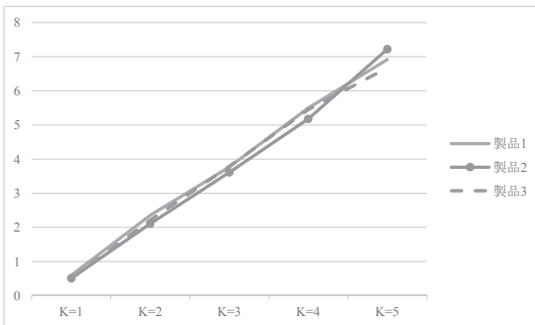


図 16 アーラン分布のフェイズkによる品切れ率

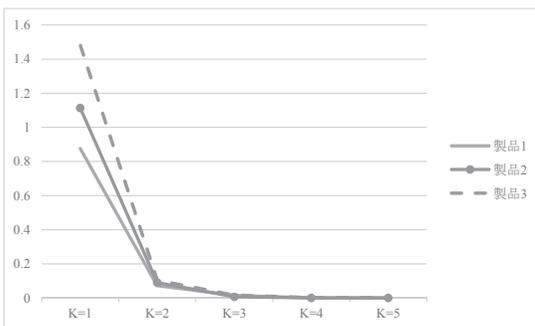


図 17 アーラン分布のフェイズkによる平均在庫量

正規分布に近づくため、需要予測の値に近くなっていく。それが結果に表れていると考えられる。

3. 実企業へのモデル適用に対する妥当性について

ここで、PW 企業に適用した新モデルの妥当性について考察する。本来の生産計画では、実績データから需要予測し、能力枠と在庫枠を振り分け、定量的に効果測定することになる。しかしながら、PW 企業に拡張型生産座席システムを導入することで、需要情報を意識しないで生産能力をコントロールし、在庫を持つ量を定量的に管理できるようになる。ただし、複数の品目が対象になった場合は、製品の性格によって合理的でない結果になることもある。つまり、新モデルでは個々の品目は傾向に従っても、全体では不規則な挙動を示すことがわかった。

資材制約については、営業見込みオーダーを基本に元網在庫を確保し、確定実績データによりオプション制約となる複数の品目の製品量をどのくらいの生産能力でカバーできるかを考えるべきである。

またシミュレーションのデータについて、実需要にアーラン分布を使っているので、 k が小さいと需要の到着が指数分布や一様分布になるので、需要予測が正規分布のように中心極限定理に従わず、誤差が大きくなっていくと考えられる。

以上の課題が明確になったが、本研究によって販売部門と生産部門との情報共有、適正なパラメータ設定による在庫量や品切れ率の議論ができるようになった。

V おわりに

本研究では、生産座席システムを発展させた「拡張型生産座席予約システム」を用いたシミュレーションモデルを構築した。そのモデルは、プラスチックワイヤーを生産している実企業を対象にモデル化し、シミュレーションのデータはPW 企業の実データを用いた。シミュレーションの結果より、販売部門と生産部門との情報共有、および最適な原材料発注量、計画生産量などの検討ができることを示した。しかしながら、今後の課題として、

- 1) 対象企業の拡大
 - 2) 生産量や在庫量に費用を加味した最適化問題への発展
 - 3) 拡張型生産座席予約システムから得られる情報の見える化
- などがあげられる。

謝辞

本研究は、日本大学経済学部教授 大場允晶先生との長年に渡る共同研究の成果であり、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 大場允晶, 藤川裕晃, 「生産マネジメント概論 戦略編」, 文眞堂, 2010年.
- [2] 田村隆善, 藤田精一, 「生産座席システムについての一考察」, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp.5-13,1999年.
- [3] 阿久沢正, 「電算機生産における生産座席予約システム」, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp. 14-19, 1999年.
- [4] 久我健夫, 「個別受注生産における生産管理システム—豊田工機座席指定システムによる負荷の平準化」, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp. 20-24, 1999年.
- [5] 的場秀彰, 大成尚, 榎本充博, 「生産座席決定のための生産計画システム」, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp. 25-30, 1999年.
- [6] 大場允晶, 坪根斉, 植竹俊文, 「カラーフィルム生産における生産座席システムの適用」, 日本ロジスティックシステム学会誌, Vol. 1, No. 1, pp. 25-30, 2000年.
- [7] 小林義和, 坪根斉, 「見込・注文生産システムにおける生産座席システムに関する研究」, 日本経営工学会論文誌, Vol.52, No. 1, pp. 55-59, 2001年.
- [8] 小林義和, 坪根斉, 「多段階製造工程における生産座席システムに関する研究」, 日本経営工学会論文誌, Vol.53, No. 4, pp. 273-281, 2002年.
- [9] Tsubone, H. and Kobayashi, Y. : “Production seat booking system for the combination of make-to-order and make-to-stock products” , Production Planning & Control, Vol.13, No.4, pp.394-400, 2002.
- [10] 大場允晶, 李慧子, 堀川三好, 中邨良樹, 「見込生産環境における生産座席システムの研究」, 日本設備管理学会誌, Vol.26, No. 2, pp.16-22, 2014年.
- [11] Hayashi, C., Yamamoto, H., Ohba, M. and Horikawa, M. “A Study on the Seat Setting of the Production Seat Booking System For the Make-To-Stock Manufacturing Process,” Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.68, No. 2E, pp. 139-148, 2017.
- [12] 中邨良樹, 大場允晶, 李慧子, 堀川三好, 藤川裕晃, 「見込品の生産座席システムに関する研究」, 第4回横幹連合コンファレンス, CD-ROM 4頁, 2011年.
- [13] 黒川文字, 「受注生産サプライチェーンを効率化する製品アーキテクチャ」, 情報科学研究, Vol.23, pp. 65-77, 2006年.
- [14] 冬木正彦, 井上一郎, 「バックワード/フォワード・ハイブリッドシミュレーション法に基づく個別受注生産における納期重視型生産スケジューリング」, 日本経営工学会論文誌, Vol.46, No. 2, pp. 144-151, 1995年.