

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350465

研究課題名(和文) 平準化を考慮した統合的生産計画・指示方式の開発とSCMにおける性能評価

研究課題名(英文) Development and performance evaluation of production smoothing systems in a production supply chain including many stock points

研究代表者

田村 隆善 (Tamura, Takayoshi)

愛知工業大学・経営学部・教授

研究者番号：70093101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、先行情報をもつ需要ならびに季節変動をもつ需要に対して生産の平準化指示方式を提案し、これらの平準化指示方式を多段階生産在庫システムに適用したときの性能を、従来からのかんばん方式、MRP方式、CONWIP方式、基点在庫方式などと比較して評価した。比較評価のためには、多段階生産在庫システムが含む多数の在庫点の在庫水準を最適決定する必要がある。本研究では、シミュレーションをベースとした汎用的在庫水準決定アルゴリズムを開発し、数値実験によって解の精度と計算速度を検討した。結果として、開発した最適化アルゴリズムならびに平準化指示方式の性能が高いことが示された。

研究成果の概要(英文)：The Kanban system works more effectively and achieves lower inventory levels in production systems in the production supply chain (SC), when the consumption rates of parts necessary to produce finished goods are smoothed. The research develops production smoothing ordering systems in a multi-stage multi-item production and inventory system as production SC, in which advance demand information and seasonal demand fluctuation are considered. The research includes developing an optimization algorithm to decide stock level or safety stock level at each stock point located through the production and inventory system. Simulation experiments are carried out to compare the proposed production smoothing systems in performance with ordinal production ordering systems such as Kanban, MRP, CONWIP and Base stock in a multi-stage multi-item production and inventory system. The proposed production smoothing systems are found to be considerably more effective than the other systems.

研究分野：経営工学

キーワード：生産管理 JIT 事前需要情報 シミュレーション MRP

## 1. 研究開始当初の背景

サプライチェーン・マネジメント (SCM) の概念は、1980 年代に始まる。SCM の定義は、必ずしも統一されたものではないが、(1) 原材料の調達から最終ユーザーに至るまでの品物の流れと生産過程、およびそれに関わる情報の流れに関連した一連の活動であること、(2) 継続した競争力の維持を目的として、サプライチェーンに関わる諸活動を統合化し、全体最適を目指すこと、などが謳われている。その概念形成に大きな影響を及ぼしたベストプラクティスにジャストインタイム (JIT) 方式がある。

SCM では、消費者起点とかマーケットインと呼ばれる製販一貫システムであることも強調される。この視点からみると、JIT は、最終組立生産起点の資材調達・部品生産の一貫システムであり、生産サプライチェーンといえる。このような JIT の基礎は平準化にあり、平準化生産計画とそれに続く最終組立ラインにおける部品消費速度などの平準化を考慮した製品投入順序計画の立案が JIT の実務において重要となる。

JIT が、「最終組立生産起点の資材調達・部品生産の一貫システム」を実現する SCM であるとする視点は、自動車生産における JIT 生産方式を意識した視点であろうが、JIT の基礎である生産平準化は、自動車生産にとどまらず、SCM におけるマーケットインを実現し、SCM を構成する独立したバイヤーとサプライヤーにおける合理的生産・発注計画の基礎となることが期待される。なぜなら、平準化を基礎とすることで、サプライヤーでの資材と完成部品の在庫縮減や残業時間の低減が図れるだけでなく、発注側メーカー自身においても部品在庫縮減や残業時間の低減が期待でき、SCM 全体で大幅な費用低減が期待できるからである。すなわち、SCM を構成するすべての企業が平準化の恩恵を受取けると期待される。

しかし、生産計画における平準化は、生産能力の平準化の視点で古くから研究が行われてきたが、個々の品目についての平準化の方法については余り考慮されてこなかった。そこで、研究代表者らが開発した過去の需要量を単純に指数平滑化して指示する生産平準化指示方式をより実際的な需要、すなわち先行需要情報や季節変動をもつ需要を考慮した生産指示平準化方式へと拡張し、生産 SCM など多段階生産システムにおける平準化の有効性をシミュレーション実験によって議論する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、平準化を基礎とした多段階生産在庫システムにおける生産指示方式 (生産指示平準化のロジック) を開発する。開発に当たって、単に不規則変動だけをもつ需要 (定常需要) にとどまらず、先行需要情報や季節変動をもつ需要にも対応できる簡便な

平準化指示方式を開発し、多段階生産在庫システムにおける平準化の効果をシミュレーションを用いた数値実験によって確認する。

また、多段階生産在庫システムは、品目ごとに複数の在庫点を有することから、各在庫点での在庫水準の近似最適化アルゴリズムの開発が必須となる。研究では、アルゴリズムの開発とその有効性 (精度と計算効率) についても議論する。

## 3. 研究の方法

需要予測をもとに生産計画を立案する場合、計画立案周期は通常、1 週間~1 ヶ月となる。一方、かんばん方式などによる資材発注や生産指示の周期は日々の単位である。このため、生産計画立案ロジックとともに生産指示方策を統合化することが実務上重要となろう。また、先行需要情報や需要の季節変動には生産計画によって対応し、需要の不規則変動 (需要の予測誤差) を単純な指数平滑法などによって平準化指示する統合的システムも考えられる。

本研究では当初、後者の統合的システムの構築を計画し、MRP システムをベースにした平準化方式の開発を行ったが、その性能は余り高くなかった。平準化の効果が十分に得られないからである。このため、先行情報や季節変動をまず平準化するのが望ましいとの結論に至り、それら需要に対応できる簡便で効果的な平準化生産指示のロジック開発に着手した。

開発したシステムの性能評価はシミュレーション実験によって確認する必要がある。このため、シミュレーションモデルを以下の3つの独立したモジュールに分けて開発した。

- (1) 生産システムモジュール
- (2) 需要モジュール
- (3) 生産指示モジュール

ここで、「生産システムモジュール」は、かんばん方式や MRP 方式などの生産指示方式の如何に関わらず共通して使用できるモジュールである。「生産指示モジュール」は、各期の生産指示量や資材発注量を生産指示方式にしたがって計算し、生産システムに指示すると同時に、在庫水準の最適化ロジックをもつ。

## 4. 研究成果

主な研究成果は以下のとおりである。

(1) 多段階生産在庫システムにおける汎用的在庫水準決定アルゴリズムを開発し、シミュレーション実験を行ってその精度と計算速度を検討した。このアルゴリズムは、本研究の基礎をなすものであり、本研究で提案している平準化指示方式だけでなく、かんばん方式、MRP システム、CONWIP 方式、基点在庫方式など多様な生産指示方式において広く利用可能である。

ここで提案した在庫水準最適化アルゴリ

ズムでは、  
 $=$  許容品切れ率  
 $h$  = 単位保管費用  
 $c$  = 単位品切れ費用  
 とするとき、  
 $= h \div (h + c)$

の関係が成立するよう各在庫点での在庫水準を調整する方法である。このため、アルゴリズムは、品切れ率、単位保管費用、単位品切れ費用の間に上記の関係が成立することを求めているが、現実にはこの関係が成立しない(意思決定者に論理の矛盾があるのが普通である)場合においても、提案アルゴリズムがよい近似解を与えることを数値実験と論理的考察によって示した。結果の一例を図1と表1に示す。

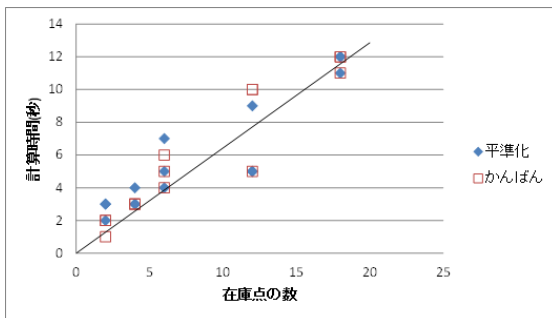


図1．在庫点の数と計算時間の関係

表1．解の精度の例(工程数 = 2)

Data No.	System	Iterat.	Cost(最良)	Cost(列挙)	Error
A2	kanban	3	50.562	50.562	*
	smooth	4	39.767	39.474	0.74%
	conwip	2	41.717	41.717	*
	basestock	2	48.249	48.249	*
B2	kanban	3	72.783	72.783	*
	smooth	3	51.953	51.953	*
	conwip	2	61.679	61.679	*
	basestock	2	70.296	70.296	*
C2	kanban	3	128.116	128.116	*
	smooth	4	80.083	80.083	*
	conwip	2	113.531	113.531	*
	basestock	2	126.807	126.807	*

図1は、在庫点の数を2~18としたときのアルゴリズムの計算時間(秒)を示したもので、計算時間は在庫点の数に対してほぼ線形であり、計算効率は実務的といえる。

表1は、工程数を2、需要の分布を一様分布に設定したときのかんばん方式、平準化方式、CONWIP、基点在庫方式における解の精度を列挙法と比較した結果であり、平準化方式の場合を除いて最適解と一致しており、解の精度は高いことが分かる。実験は、3工程の場合と需要分布が正規分布の場合も実施しており、ほぼ同様の結果が得られている。

これらの成果は、国際会議 IJIE2013(2013年10月)、日本機械学会生産システム部門研究発表講演会(2015年3月、2016年3月)において発表を行った。

(2) 定常需要をもつ多段階生産在庫システムの汎用的シミュレーションモデルを作成し、

需要の先行情報を利用した平準化生産指示方式を開発し、かんばん方式やMRP方式の間で提案した平準化指示方式の性能比較を数値実験によって議論した。この研究では、MRP計算で得られた生産計画を平準化して生産指示する方式をまず開発したが、性能は従来のMRP方式より優れてはいたものの、単純な平準化方式より劣るものであった。

数値実験からは、先行需要情報が利用できる場合であっても、MRPをベースとしない平準化指示方式の性能が高いこと、また、従来のMRP方式の性能が低いことが示された。成果は、日本経営診断学会誌(2014年2月)に掲載された。

(3) 先行需要情報をもつ多段階生産在庫システムにおいて発注量を平準化して指示する平準化指示方式を改良し、その性能を数値実験によって議論した。性能比較のために取り上げたシステムは、かんばん方式、MRP方式、CONWIP方式、基点在庫方式である。結果として、提案した平準化生産指示方式は、設定したデータの範囲ではあるが、従来のかんばん方式などに比べて、総費用(在庫保管費用、品切れ費用、残業費用の総和)を35%~50%程度低減できる効果があり、生産指示平準化の有用性が高いことが示された。一方、MRP方式は、先行需要情報のある場合であっても、MRPの性能はかんばん方式に比べてさえ余り高くないことが示された。3工程の場合の性能比較の例を図2に示す。

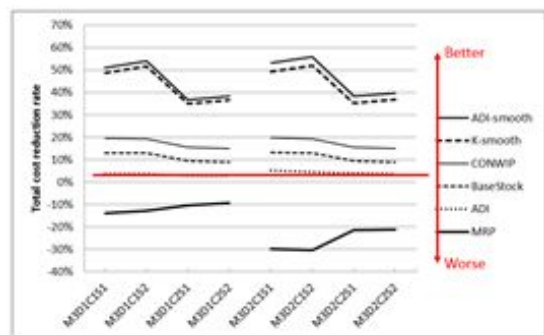


図2．先行需要情報をもつ生産在庫システムにおける平準化の効果(3工程の場合)

図2において、0%の赤線はかんばん方式を意味し、かんばん方式によって実現された総費用を基準(0%)として他の指示方式の性能を評価した。1番高い性能を示した方式は、需要の先行情報を利用しつつ生産指示量を平準化する方式、2番目に高い性能を示した方式は、需要の先行情報を利用せず単純に生産指示量を平準化した方式である。何れも本研究で開発した生産指示方式である。一方MRP方式は、性能の低いことが分かる。2工程の場合もかんばん方式に対する総費用の低減率は若干小さくなるものの類似の結果が得られた。

これらの成果は、最適化アルゴリズムを含

め、国際会議 IJIE2013(2013年10月)、国際会議 APIEMS2014(2014年10月)、日本経営工学会春季大会(2014年5月)において発表した。

(4)季節変動をもつ需要下での多段階生産在庫システムにおける平準化指示方式を提案し、その性能を数値実験によって検討した。性能比較は、かんばん方式、MRP方式などの間で数値実験を用いて行った。季節変動をもつ需要の予測値は、一種の事前需要情報とみなすことができ、上記(3)で開発した生産指示方式を使うこともできる。このため、需要が先行情報をもつときの平準化生産指示方式も比較の対象に加えて実験を行った。結果は、一例を表2に示すように、本研究で提案した季節変動と不規則変動を別個に平準化する生産指示方式は、設定したデータの範囲ではあるが、従来のかんばん方式などに比べて、総費用(在庫保管費用、品切費用、残業費用の総和)の低減に関して高い性能を示した。この数値実験では、比較的変動幅の大きな季節変動を取り上げたため、MRP方式は、かんばん方式よりよい性能を示したが、本研究で提案した単純な平準化指示方式より性能は若干低い。上記(3)項で開発した先行情報をもつ需要に対して開発した平準化生産指示方式も、季節変動の需要下でかなりよい性能を示した。

表2. 季節変動を考慮した生産平準化指示方式の性能比較(3工程の場合)

品切れ率	(1)kanban	(2)平滑化	(3)先行情報	(4)単純平準	(5)MRP
1%	264.5	234.4	221.4	203.0	241.3
2%	261.7	231.5	218.6	199.1	235.5
5%	259.6	223.8	212.7	197.7	231.1
品切れ率	(1)kanban	(2)平滑化	(3)先行情報	(4)単純平準	(5)MRP
1%	0%	11.4%	16.3%	23.3%	8.8%
2%	0%	12.5%	17.4%	24.7%	11.0%
5%	0%	15.4%	19.6%	25.3%	12.7%

表2の上段は、各許容品切れ率に対する総費用を、下段は、かんばん方式に対する各生産指示方式の性能(費用低減率)を示す。比較的変動幅の大きな季節変動をもつ需要を使った上例の場合、MRP方式はかんばん方式より総費用を10%程度低減できる性能を示した。一方、提案手法である「(4)単純平準化」は、かんばん方式に対して25%程度の費用低減を実現している。なお、表2の「(4)単純平準化」における費用低減率が、図2の平準化効果より小さいのは、有限な生産能力で季節変動に対応するために必要となる在庫が存在するためである。

これらの成果は、日本生産管理学会第43回全国大会(2016年3月)、ならびに日本経営工学会春季大会(2016年5月)において発表を行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

[1] K. Ohno, T. Boh, K. Nakade, T. Tamura, “New approximate dynamic programming algorithms for large-scale undiscounted Markov decision processes and their application to optimize a production and distribution system”, EJOR, No.249 (2016), pp.22-31.

<https://www.euro-online.org/web/pages/518/european-journal-of-operational-research-ejor>

[2] 田村隆善、小島貢利「事前需要情報をもつ生産システムにおける生産平準化とその有効性」日本経営診断学会論集 13(2014年2月)、査読有、pp.82-87。

[https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jmda/12/0/\\_contents/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jmda/12/0/_contents/-char/ja/)

〔学会発表〕(計12件)

[1] 田村隆善「シミュレーションによる最適在庫水準決定アルゴリズムの性能評価に関する研究 データ間の不整合が解の精度へ及ぼす影響について」日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2016 予稿集、千葉県野田市、2016年3月、pp.63-64。

[2] 田村隆善「平準化の効果に関する研究」日本生産管理学会第43回全国大会講演論文集、2016年3月、高知県高知市、pp.255-258。

[3] 田村隆善「シミュレーションによる最適在庫水準決定アルゴリズムの性能評価に関する研究」日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2015 予稿集、2015年3月、神奈川県横浜市、pp.99-100。

[4] T. Tamura and T.S. Dhakar, “Effectiveness of an exponential smoothing system for a multi-stage multi-item production system with advance demand information”, Proceedings of The APIEMS Conference 2014, 2014年10月、Cheju (Korea), pp. 1219-1226.

[5] T. Tamura, S. Hirao, T.S. Dhakar and K. Ohno, “Effectiveness of an exponential smoothing policy for a multi-stage single-item production system with advance information demand”, Proceedings of IJIE 2013, 2013年10月、Pusan (Korea), pp.1-10.

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

田村 隆善 (TAMURA, Takayoshi)

愛知工業大学・経営学部・教授

研究者番号：70093101