Journal of the Faculty of Management and Information Systems,
Prefectural University of Hiroshima
2010 No.2 pp. 69 － 78

論　文

購買型MCPSとδ強制法の提案

上　野　信　行・川　﨑　雅　也・奥　原　浩　之・片　岡　隆　之

The MCPS with δ-forced technique for purchasing

Nobuyuki UENO, Masaya KAWASAKI, Koji OKUHARA and Takayuki KATAOKA

要　約

産業界において，顧客への納入リードタイムの短縮化に対して，顧客仕様の多様性と生産効率性の両面を実現するマスカスタマイゼーション対応の生産方式の確立が重要である。

本論文は，従来の研究で，生産管理分野において適用しているMCPS（Mass Customization Production Planning & Management System）を拡大し，顧客の不確定な需要に対応して，複数の小売業が未達率とコストを指標に，これらの両立を考慮できる購買計画モデルを作成した。従来のMCPSに対して，生産制約等を除き生産量，即ち購買量がモデルから算出されるものであり購買型MCPSという。

本モデルは，確率計画問題となり，解法として収束を早めるために，これまでの解法にδ強制法を新たに提案し，その有効性を示す。

Abstract

In this paper, we propose Mass Customization Production Planning & Management System for purchasing without any production constraints. This model is formulated as a nonlinear probabilistic programming problem and an efficient solution procedure is developed by solving linear programming problem repeatedly under the production capacity in each process. By using δ-forced technique, problems are solved in fewer iterations.

1．はじめに

現在，産業界において，需要の不確実性や顧客への納入リードタイムの短縮化の環境のもとで，多様化する需要に対応しつつ，かつ効率的な生産を行うマスカスタマイゼーションを実現するサプライチェーンの確立が重要である［1, 2］。

本論文では，従来の研究で，生産管理分野において適用している MCPS（Mass Customization Production Planning & Management System）［3, 4, 5］を発展させ，購買・発注計画分野に適用することができる購買型 MCPS モデルを開発した［6］。本モデルは，従来の MCPS に対して，生産制約等を除き生産量，即ち購買量がモデルから算出されるものである。

本論文は，需要の不確実性を考慮し，多数の小売業者から卸売業者（1:N サプライチェーン）への発注業務をモデル化し，その解法を示す。また，解法の収束を早めるために，イテレーション毎の改善方法として δ 強制法（δ-forced technique）を提案する。また，安全在庫計算との比較を行う。

2．購買型 MCPS の概要

今回構築したモデルは，購買・発注業務を対象としている。基本的な考え方として，消費者の需要は不確実であり，そのため店舗の需要量は需要予測値に対して大きくばらつくと考えられる。また，購買や発注に関しても日々の変動があるものと考えられる。このような局面における購買･発注モデルを考える。本モデルは，多くの店舗からの不確定な需要に対して卸売業者の日々の発注量を多期間におけるコストと在庫切れを考慮して決定するものである。

図 1 にモデル概要図を示す。

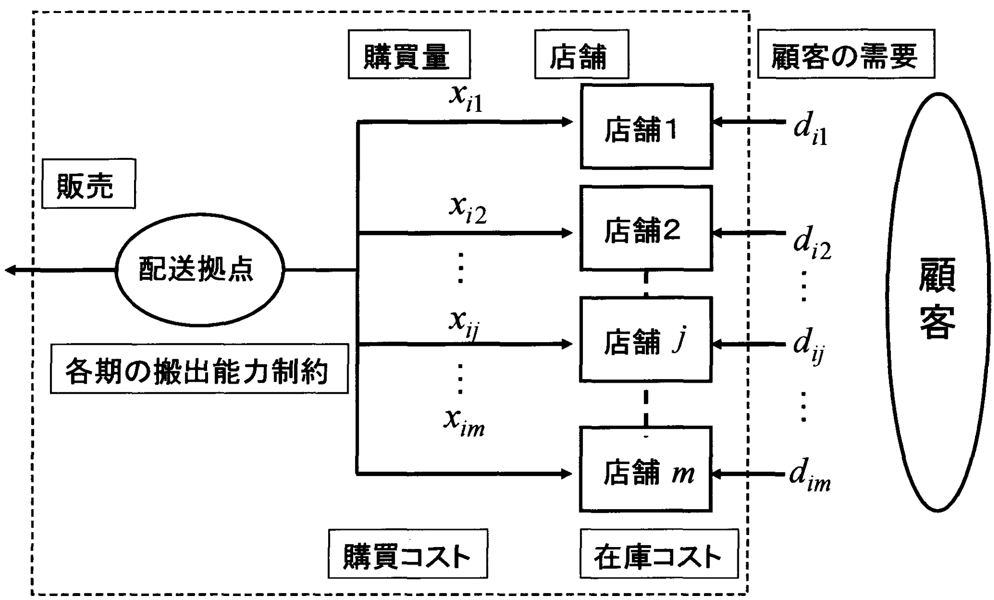

図１．1:N サプライチェーンにおける購買型 MCPS の概要図

［前提条件］

⑴ メーカからサプライヤへの需要は，事前の内示はあるが納入指示では大幅に変動する。需要の分布は，内示を平均値とし，標準偏差が既知の正規分布と仮定する。

⑵ 多期間の計画目標未達率を設定できる。

⑶ 配送に関わるリードタイムは考えない。

⑷　各期に搬出能力がある。
⑸　購買コストと在庫コストの期待値の合計を最小化する。

3．定式化と解法

3．1　記号

本モデルにおける記号を定義し，以下に示す。

［記号］

i　：期，ただし $i \leq n$
j　：店舗，ただし $j \leq m$
d_{ij}　：第 i 期の需要量。平均値（予測）$\bar{d}_{ij}$，標準偏差 ω_{ij} の正規分布に従い，互いに独立である。
x_{ij}　：第 i 期 j 店舗の購買量
S_{ij}　：第 i 期 j 店舗の在庫量。初期在庫は S_{0j}
p_{ij}　：第 i 期 j 店舗の単位あたりの購買コスト
h_{ij}　：第 i 期 j 店舗の単位あたりの在庫コスト
SO_{nj}　：j 店舗の n 期までの未達率
β_j　：j 店舗の計画目標未達率
Q_i　：第 i 期の搬出能力
R_j　：第 j 店舗の購買制約の集合（線形制約）

［T 問題］

$$Minimize\ E\left[\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{i=1}^{n} p_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^{n} h_{ij}S_{ij}\right)\right] \tag{1}$$

$s.t$

$$S_{0j} + \sum_{t=1}^{i} x_{ij} - \sum_{t=1}^{i} \bar{d}_{ij} \geq 0 \quad (\forall_{i,j}) \tag{2}$$

$$SO_{nj} \leq \beta_j \quad (\forall_j) \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq Q_i \quad (\forall_i) \tag{4}$$

$$(x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}) \in R_j \quad (\forall_j) \tag{5}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (\forall_{i,j}) \tag{6}$$

ここで，⑴式は，購買コストと在庫コストの期待値（Expectation）を最小化することをあらわしており，⑵式は，需要予測値あるいは購買量の範囲における在庫量は各期各店舗ともに非負であることをあらわし，⑶式は計画目標未達率，⑷式は期別の搬出能力制約，⑸，⑹式は一般的な購買制約を表している。

3. 2 解法

3. 2. 1 解法の基本骨子

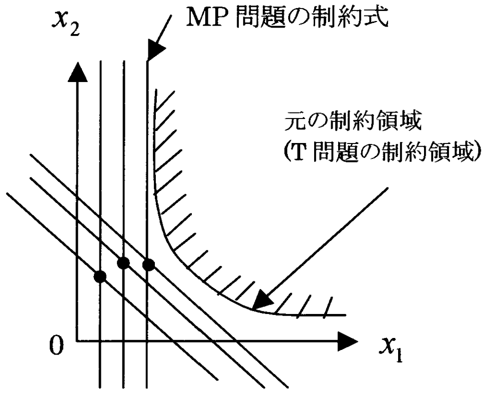

図2 解法の基本概念（2期間の場合）

解法の骨子として Relaxation 戦略を採用する。すでに述べたT問題から(3)式のみを除いた問題を考え，P問題とする。P問題は，線形計画問題であり，この問題を解いたときの解がT問題の解なら，この解は，全体の最適解となる。T問題の解でないなら，P問題の制約領域をあるメカニズムにて徐々に狭めて，T問題の制約領域の中に解が求まれば，それを全体の解（許容解）とする。P問題を解いたときの解がT問題の解でないなら，「特定の期 i^0 の未達率がある目標 β_{i0} 以下になる MP 問題」を構成する。なお，解法の一般性を失うことなく，$h_{ij} = h\ (\forall_{ij})$, $p_{ij} = p\ (\forall_{ij})$ とする。MP 問題の構成については，P問題に逐次に，(7)式を追加すればよい。

$$S_{0j} + \sum_{t=1}^{i} x_{tj} - \sum_{t=1}^{i} \bar{d}_{tj} \geq K_{ij}\ (\forall_j) \tag{7}$$

MP 問題の(7)式における K_{ij} について述べる。「店舗 j の第 i 期の在庫量 S_{ij} が目標未達率 β_{ij} 以下である」ためには，

$$\beta_{ij} = \int_{-\infty}^{y_j} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ij}} e^{-\frac{(S_{ij}-m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} dS_{ij} \tag{8}$$

$$K_{ij} = m_{ij} - y_j \tag{9}$$

となる y_j, K_{ij} を求め，未達率 β_{ij} 以下となるためには，（在庫量 S_{ij} の期待値）K_{ij} を満足すればよい。

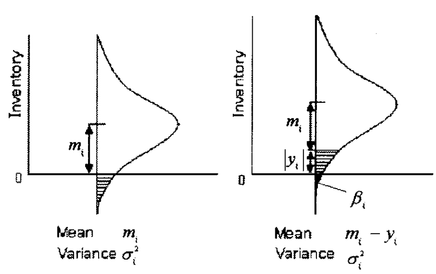

図3 未達率の改善（j のぞく）

3. 2. 2　δ 強制法

制約式である(3)式が非線形であり，制約領域が凸曲面となる。線形計画問題の解は制約式の端点にあるため，解が制約領域から外れることが多い。そこで，これまでに提案された方法 [3] に，ある微少な定数 δ を強制的に加味することで，早く解に導く方法を提案する。(図 4 参照)

図 4 のごとくイテレーション毎に実線のように制約範囲が狭まるが，いつも一定の定数 δ を加味することで，点線のように強制的に制約条件を狭め，結果として元の制約領域に早く近づけようと工夫したものである。

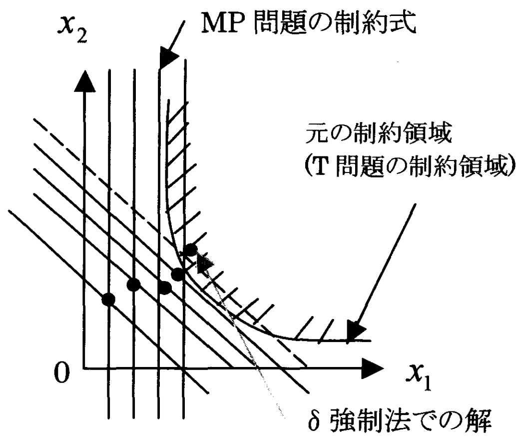

図 4　δ 強制法による解のイメージ図（2 期間の場合）

3. 2. 3　δ 強制法を考慮したアルゴリズム

多店舗を対象としたアルゴリズムを図 5 に示す。

提案したアルゴリズムは，近似解法であるが，非線形確率計画問題を直接扱わず，その部分問題としての線形計画問題を逐次に解くことにより解を得ることができる。そのため効率的であるとともに，システム開発が容易である。また，解を求める途中において未達率とコストの代替性の比較ができることから，意思決定の判断材料が整っている点においても実際的である。

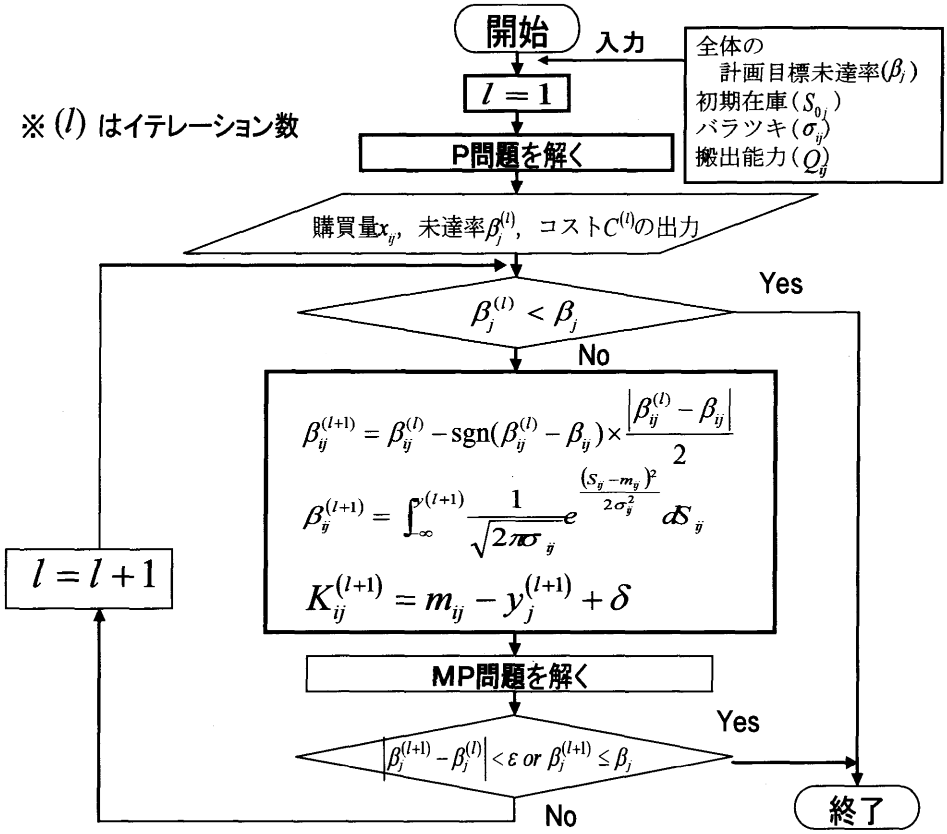

図5　アルゴリズム

4．数値実験

3店舗を対象に，表1に示す前提条件にもとづいて数値計算を行う。結果を表2，図6，図7，図8，図9に示す。

表1　期別内示とパラメータ

期	1	2	3	4	5	6	7	8
$\overline{d}_{i1}$	20	20	28	32	28	16	16	16
$\overline{d}_{i2}$	24	24	28	24	20	20	16	20
$\overline{d}_{i3}$	20	24	24	20	24	28	20	16

各パラメータは，

$S_{01} = 44$, $S_{02} = 44$, S_{03}, $= 44$, $h = 1$, $\beta_1 = 0.05$, $\beta_2 = 0.05$, $\beta_3 = 0.05$, $Q_{ij} = 80$, $\delta = 0.01$ である。

表 2　結果（各店舗の購買量と在庫量）

期	1	2	3	4	5	6	7	8
x_{i1}	0	39.16	26.91	35.89	28.89	18.16	17.68	17.63
x_{i2}	22.71	22.71	30.91	21.84	22.71	21.81	17.77	22.64
x_{i3}	18.32	18.13	22.17	22.26	28.39	34.97	22.14	18.42
S_{i1}	24	43.16	42.06	45.95	46.85	49.01	50.71	52.34
S_{i2}	42.71	41.42	44.34	42.18	44.91	46.71	48.47	51.11
S_{i3}	42.32	36.45	34.63	36.89	41.28	48.26	50.41	52.82

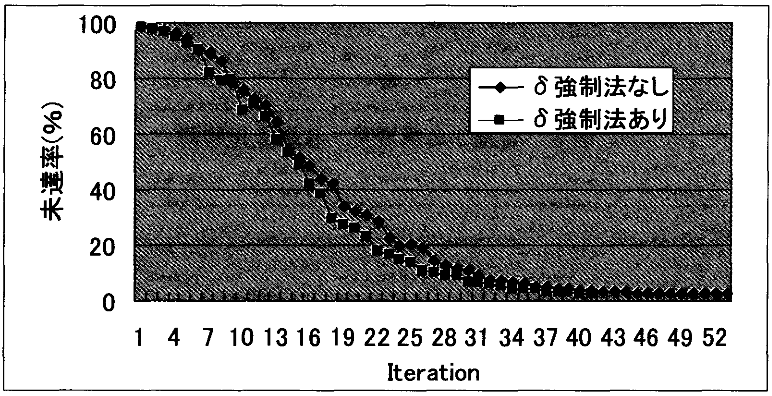

図 6　未達率推移の比較

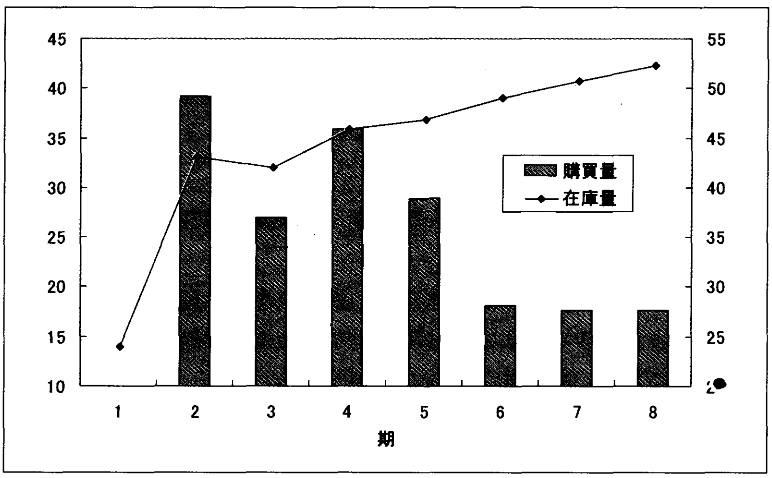

図 7　店舗 1 の購買量，在庫量推移図

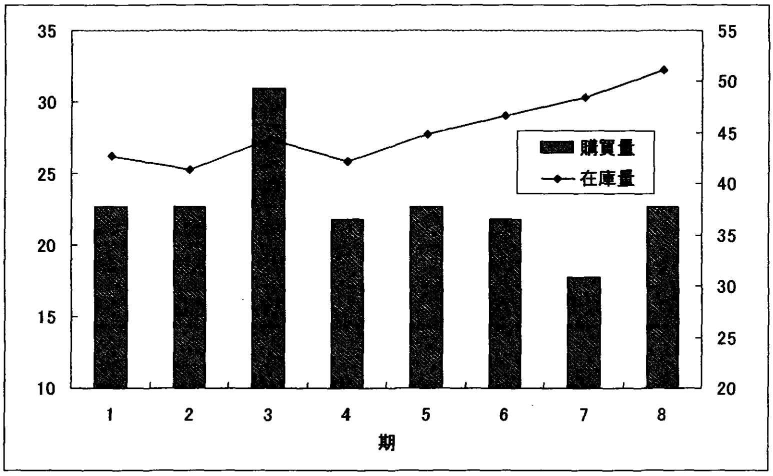

図8　店舗2の購買量，在庫量推移図

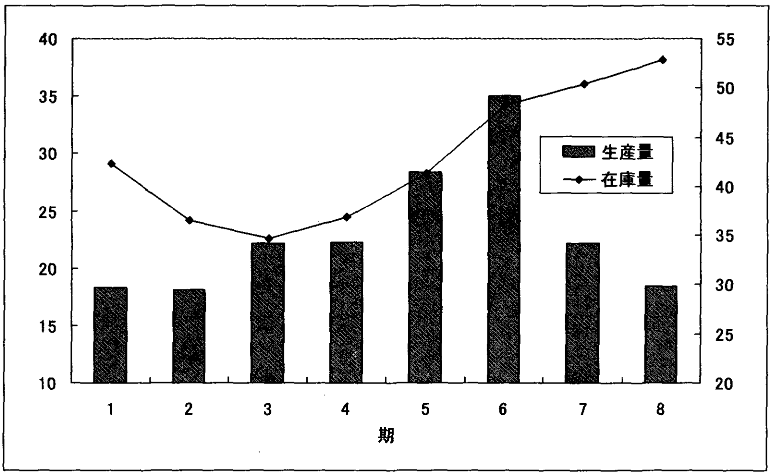

図9　店舗3の購買量，在庫量推移図

図6は，$\bar{d}_{i1}$におけるイテレーション毎の未達率の推移である。図6よりイテレーション毎に未達率が漸減していることがわかる。またδ強制法を用いた場合の結果の方が求解までのイテレーション数が少なくなっており，効果的であることが分かる。

表3　δ強制法の効果

	Iteration
δ強制法なし	53
δ強制法あり	42
イテレーション減少率	20%減

5．安全在庫計算との比較

1 店舗を対象に安全在庫との比較を行う。安全在庫量計算式を以下に示す。
危険率を 5 %と考えた場合，安全在庫係数は 1.65 である。

安全在庫量＝ $1.65 \times \sigma \times \sqrt{L}$

ここで，σ：バラツキ，L：リードタイムである。

本モデルは，リードタイムを 1 として考える。次にバラツキの値をどのように設定するかが問題となる。そこで，期別の内示をもとに，期別のバラツキを用いて，乱数シミュレーションより需要の実現値を 1 万回求め，その結果より安全在庫量の平均と標準偏差を算出する（表 4 参照）。また，内示及び各パラメータを以下に示す。

内示 [4， 8， 0，20，16，12，12，12]，$S_0 = 0, h = 1, \beta = 0.05$ である。

表 4　安全在庫シミュレーション結果

	標準偏差	安全在庫量
最大値	14.88	69.47
最小値	3.30	15.42
1 万回平均	7.19	34.96

購買型 MCPS における平均在庫量は，18.16 であり，安全在庫量計算より求められた 1 万回平均の値より少ない。

6．おわりに

本研究では，多期間の需要の不確実性を考慮した購買型 MCPS を定式化し，その解法を確立した。これは内示情報をもとにした 1:N サプライチェーンの発注モデルといえる。また，提案した解法は，もともとの確率計画問題を直接扱わず，その部分問題として線形計画問題を逐次に解くことにより解を得るものであり，効率的であるが，さらに解法に δ 強制法を用いて解の収束を早める工夫を提案し，有効性を示した。

今後は，購買，生産，配送とトータルなサプライチェーン問題として発展させたい。

参考文献

[1] W. Krebs et al: Customize-to-Order: Optimized Planning and Control of Global Automotive Supply Networks, Proceedings of the MCPC2007 World Conference on Mass Customization & Personalization, MCPC-051 (2007)

[2] 片野浩一：マス・カスタマイゼーション戦略のメカニズム，白桃書房（2007）

[3] N. Ueno, K. Okuhara, H. Ishii, H. Shibuki and T. Kuramoto: Multi-item Production Planning and Management System Based on Unfulfilled Order Rate in Supply Chain; Journal of the Operations Research Society of Japan, vol.50, No.3, pp.200-217 (2007)

[4] 上野信行，古田恭三，奥原浩之，渋木宏明，倉本敏明：マスカスタマイゼーション対応生

産計画システムの多品種モデルへの拡張，システム制御情報学会論文誌，Vol.18，No.3，pp.89-99（2005）
［5］上野信行，古田恭三，奥原浩之，渋木宏明，倉本敏明：マスカスタマイゼーション対応の生産管理システムの提案；システム制御情報学会論文誌，Vol.17，No. 6，pp.221-229（2004）
［6］上野信行，川﨑雅也，奥原浩之，片岡隆之：購買型 MCPS と δ 強制法の提案；第53回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集，pp.201-202（2009）