

# 食品加工業における対話型多品目 ロットサイズスケジューリングの解法

## A Solution of Interactive Multi-item Lot Size Scheduling for Food-Processing Plant

大阪大学大学院 情報科学研究科 情報数理学専攻 松本 慎平 Shimpei MATSUMOTO  
奥原 浩之 Koji OKUHARA  
石井 博昭 Hiroaki ISHII

Department of Information and Physical Science,  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

県立広島大学 経営情報学部 上野 信行 Nobuyuki UENO  
Faculty of Management and Information Systems,  
Prefectural Hiroshima University

### 1 はじめに

本論文は、食品加工業のためのスケジューリングについて議論する。近年、食品加工の分野においても多種生産の傾向が見られるようになった。とりわけ、食品業界は価値算出といった点において原料および製品の劣化が激しいことから、時間尺度の要素が非常に重要となる。食品など日配製品は、新鮮さが要求されるために作り置きは許されない。こういった製品特有の特性が生産計画を困難にしており、生産計画作成のシステム化導入を阻んでいるのが現状である [1]。

日本における食品業界は、現状において、鋳工業や自動車産業等と比較して生産規模が小規模であること、顧客の嗜好が変化し易く、催事などの要因により需要の変動が大きい商品は、在庫過剰と欠品による狭間での生産を強いられている [2]。とりわけ、近年は、1. グローバル化による低価格商品との競争激化のため、日本の食品加工業者は、国内のみならず海外の企業との競争を強いられており、2. コンビニエンスストアをはじめとする、様々な営業形態を持つ小売業の発達は流通の変化を引き起こし、厳しい時間制約の中での生産が求められており、3. 健康志向・個々人のこだわり、付加価値の追求など、消費者嗜好の多様化により、綿密なマーケティング戦略が求められている。そういった社会環境の中、消費者のニーズに応えるためには、食品といえども多品種少量生産が不可欠である。

我々は、食料品を加工する企業との共同研究により、食品加工生産ラインにおける生産計画問題に取り組んでいる [2]。商品の加工に関しては、原材料の準備、納期に関しては十分な注意が払われていたが、各工程間における遊休時間に関してはブラックボックスの扱いであったので、我々はそれを重点的な分析の対象とする。ここで、流通の変化による多数便の出荷配送のため、効率的な生産順序で生産できずに、多くの手待ち時間を発生させている事が生産性の低さの原因であると、我々は考えた。そこで、この手待ち時間に注目し、賞味期限が

らさかのぼり定数として制約に組み込む。原料の準備から出荷・配送工程まで、全ての加工工程を分析した結果から、我々は食品加工充填の工程を商品加工における最重要課題の工程と理解し、研究の対象とする。

モデル化に関して、品種替えに伴う段取り替えにおける洗浄の手間、味・色の濃い製品から薄い製品への切り替え、果物特有の土壌菌の影響、種のつまりやすさなど、複数の要因を距離と考えることで、生産工程は一元的に理解される。また、現場の分析・観察を繰り返すを行い、生産計画表など、各種生産に関わるデータを収集した。我々は現場の作業員の声を最も重視した。集められた情報は、熟練者からのヒアリングにより特徴付けられ、問題の本質はモデルに十分に反映される。これまでの我々の研究では、納期ズレ及び品質劣化度最小化を目的としたモデルで問題を取り扱い、商品の生産数量は定数として与えられていた。本論文では、更なる生産効率の改善を目指し、村松らによって議論されている [3][4] 順序依存型ではない段取り時間と段取り費用を伴う多品種単一機械ロットサイズスケジューリング問題として、問題は定式化される。その問題には、計画対象期間にわたる段取り費用と在庫保管費の和の最小を目的関数に設定し、ラグランジュ分解・調整法による解法が適用される。本論文では、この問題に対して、熟練者の経験・勘をベースにした手法を提案し、提案法を組み込んだ生産スケジューラシステムの開発を行う。そして、システムを実際の生産工程に導入することで、資源の最大利用・労力削減・時間短縮現場からのフィードバックを取り入れ、制約・係数を再検討し、対話型機能としてモデルに反映させることを期待する。

## 2 問題の設定

### 2.1 食品加工工場の詳細

我々が研究の対象とした、果実加工商品を取り扱う工場における加工工程について述べる。この工場は、約 200 人の作業員によって構成される。中規模の組織であるが、国内においては 30 パーセント以上でトップシェアを占めている。この工場における全加工工程は以下によって構成される。

1. 準備工程：国内外から冷凍された果物原料を調達し、生産計画に従い必要量を解凍する。
2. 煮工程：材料である解凍した果物、砂糖、ペクチンを配合釜に入れて煮詰める。バッチ処理される。
3. 検査工程：煮詰められた原液は、検査官によって異物混入の有無を検査される。
4. 充填工程：短時間高温殺菌を経て充填ラインへと進む。
5. 出荷準備：充填工程以降は、コンベア上を流れていくフローショップ処理となる。密封、冷却、梱包を経た後、商品保管庫に集められ、納期までに各店舗へ出荷される。

### 2.2 問題点とその検討

工場には使用目的に従って 2 つのプラントが存在する。本論文では、対象の業務改善に対する基本骨子を確立するために、我々は 13 品種の果実を加工する (瓶サイズの違いにより全

商品は24品種となる)低糖品目生産ラインに注目した。ここでは見込み生産が行われている。他の加工ラインは58品目の商品を加工しており、その内の33品目は見込み生産、25品目は受注生産である。受注生産の場合、生産量の予測は困難でありマーケティング戦略が改善の主な要因となるため、我々は研究の対象から除外した。

我々は現場の作業員とのヒアリングを重ねることにより、研究対象の決定に着手した。分析に関しては、我々は特性要因図を用いた。特性要因図は石川によって提案されたもので、ある仕事の結果(特性)に対して、それに影響を及ぼすと考えられる要因との関連を整理・分類し、体系的にまとめ、本質的な問題は何かを深く追求する場合に使用される図である。今回の場合では、“なぜ食品の生産は困難であるのか”(問題点の理解のため)、“食品の生産効率を改善するためには”(改善策の理解のため)という特性に対して、考えられる要因の分類を行った。作成された特性要因図はここでは割愛しているが、我々の分析の結果から、以下の重要な要因が抽出された。

1. <問題点> 生産計画作成担当者が、過去の経験則及び在庫量を目安にするだけで、実行可能スケジュールを組み立てている。<改善策> 熟練者の経験・勘に依存しない生産計画システムの構築が必要である。
2. <問題点> 原料に関して、原料を確保するための原料の選別(大きさ、形、色)処理において、過剰人員による無駄が確認されている。<改善策> 煮工程の生産順序の決定からさかのぼることにより、パートタイムの最適人員の確保を行わなければならない。
3. <問題点> 解凍工程に関して、必要生のまま処理することが技術的に難しいため(原料が腐るリスクを考慮して)冷凍で保存しており、その解凍の作業には最低でも3,4日必要である。解凍量が少なすぎれば、解凍が間に合わない。急な解凍は品質に問題が生じる可能性があり、多すぎれば、原料が無駄となる。<改善策> 必要な時に、必要な量の最適原料を確保するためには、最低1週間前には生産量の確定しなければならない。
4. <問題点> 点検工程における人員調整においては、過剰人員による無駄及び人員不足による目標生産量の未達が確認されている。<改善策> 1週間以上前に生産・順序を確定させることによって、事前に最適な人員を確保しなければならない。
5. <問題点> 食品は、在庫中にも製品の価値は時間とともに急激に劣化するため、先行生産による商品価値劣化が確認されている。<改善策> 鮮度管理の観点から、生産順序を把握し、出来るだけ納期に近い時期での生産を行わなければならない。
6. <問題点> 受注において、少なく見積もった生産能力との兼ね合いで納期回答を行い、配送車手配を行っている。<改善策> このとき、機会損失が発生している可能性がある。厳密な生産順序の計画予定からさかのぼって納期回答することにより、機会損失を防ぐことができる。容易な生産順序の決定を可能とするためには、計画のための計算時間が短くて済むこと、納期の重なる製品が種々存在する中で優先度を自由に設定でき、簡単にスケジュールを調整できなければならない。

本論文は基本骨子の構築を急務の目的と位置付け、問題の簡略化のため、煮工程、検査工程、充填工程をひとつの工程として理解し、モデル化に着手した。

## 2.3 期間の設定

加工充填プロセスにおける生産計画表の調査を行った。この表には、商品名、商品コード、生産量、使用原料、使用容器、処理時間、処理予定日などが記載されている。本論文では、食品加工業のアキレス腱である在庫に関して直接的にアプローチすることを期待し、製造業が取り扱う製品の生産順序決定こそが生産効率に大きく関与しているのではないかと仮定したうえで、生産順序問題を中心に議論する。そのため、本論文の対象を中期生産計画に設定する。以後、中期生産計画に関する数値を基準に議論を進める。以下にそれぞれの生産計画表の詳細を示す。

- 長期生産計画：マーケティング・予測データが主。前年度実績、市場動向、流行、天候、マーケティングなどによる販売予測を元に、生産現場と営業が連携して作成している。天候、流行などの社会状況により随時変更される。
- 中期生産計画：生産順序・日時・量の決定が最重要。前月 20 日の段階で在庫を確認し、販売予測結果と吟味することで次月の生産計画を作成している。
- 短期生産計画：中期生産計画がベース。使用原料・人員の割り振りを指示。特急・割り込み作業を吟味させている。

## 3 モデル化

### 3.1 見える化

元来，“見える化”はトヨタ自動車が発祥だとされる言葉である。製造現場など組織の見えないものを見るようにし、創造性や生産効率を引き上げる手法を指す。モデル化の準備段階として我々はこの“見える化”に着手し、生産に関する様々な要因を数値化した。以下にその結果を示す。

- 受注してから店頭に並ぶまで最短で2週間、一般的に発注から1か月以内で納品される。
- 倉庫における1ケースは24個のボトルで構成される。工場の最大生産能力は約6000ケースであるので、最高 $144000 = 6000 \times 24$ 個のボトルを生産できる。
- 1個のボトルは165(g)であるので、生産量は $23.76(t) = 144000 \times 165(g)$ になる。
- 釜の容量は処理される果実によって異なり、510(kg)から630(kg)である。
- 釜の容量を平均550(kg)とすることにより、1日の釜数は $43.2(p) = 23.76(t) \div 550(kg)$ であることがわかる。
- 煮工程の処理時間は処理される果実によって異なり、10(m)から17(m)である。
- 煮工程の全平均の処理時間は11(m)であるので、1日の最大生産時間は $7.92(h) = 43.2(p) \times 11(m)$ となる。これは、1日の作業時間8(h)  $\approx 7.92(h)$  とほぼ一致する。

次に、在庫費用の数値化に取り組んだ。平均在庫量・在庫滞留日数、在庫下限及び上限(安全在庫)、出荷要求量を数値化し把握することで、早さのペナルティ(納期より早く作りすぎた場合、品質は劣化する。出荷は可能であるが、当然卸値は安くなる。これは在庫コストとして転換される)、遅さのペナルティ(在庫切れは許されないため、前提条件として考慮)を13品目毎に設定し、 $h_{i \in N}$ とした。ここで、品目は主要製品(3品目)、少量多品種製品(8品目)、季節製品(2品目)の3パターンに大別される。

本論文においては、品種替えに伴う段取り替えの取り扱いが非常に重要となる。段取り替えに関する値の算出は以下に従う。まず、果実を煮るための釜数の単位を $p$ とする。これは前述したとおり、 $1(p) = 11(m)$ である。1日の最大釜数は $43p$ である。商品の種類を変更するためには、平均 $3(h)$ 、瓶の変更には平均 $1.33(h)$ 必要であることが調査により得られたため、それぞれを $16p$ 、 $5p$ と設定した。次に、品種替えに伴い、洗浄の手間、味・色の濃い製品から薄い製品への切り替え、果物特有の土壌菌の影響、種のつまりやすさなどを考える。まず、品種数 $n = 24$ とし、商品を $J_{i \in N}$ で与える。果実の種類は $K(J_i) = \{1, 2, \dots, 13\}$ で与えられる。これは、色や味の濃い果実から昇順で配列される。果実 $K(J_i)$ から $K(J_j)$ への切り替えに掛かる時間を $c_{K(J_i), K(J_j)}$ とし、段取り替えの総手間は以下の式で与えられる。

$$c_{K(J_i), K(J_j)} = Ea_{K(J_i), K(J_j)} + Eb_{K(J_i), K(J_j)} + Ec_{K(J_i), K(J_j)} + 16(p), \quad (1)$$

$$i, j \in N, i \neq j.$$

ここで、 $16(p)$ は前述した商品の切り替えに伴うコストである。 $Ea_{K(J_i), K(J_j)}$ は果実間の距離、 $Eb_{K(J_i), K(J_j)}$ は瓶替えに伴う手間、 $Ec_{K(J_i), K(J_j)}$ は禁止則であり、それぞれをこれより具体的に説明していく。

$Ea_{K(J_i), K(J_j)}$ に関して、段取り替えの手間を考えるため、果実間に距離があると仮定し、そのために座標を与えている。具体的には以下の通りとなる。

$$\text{If } K(J_i) > K(J_j) \text{ Then}$$

$$Ea_{K(J_i), K(J_j)} = Cd_{K(J_i)} - Cd_{K(J_j)}, \quad (2)$$

$$\text{If } K(J_i) < K(J_j) \text{ Then}$$

$$Ea_{K(J_i), K(J_j)} = Cb_{K(J_j)} - Cb_{K(J_i)}, \quad (3)$$

$$\text{If } K(J_i) = K(J_j) \text{ Then}$$

$$Ea_{K(J_i), K(J_j)} = 0, \quad (4)$$

$$Cd_k = \{0.0, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.6, 1.7, 2.0, 2.2, 2.5, 2.6, 2.8, 3.0\},$$

$$Cb_k = \{0.0, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8, 2.0\}.$$

式(2)は風味の濃い品種からそれよりも風味の薄い品種に切り替えた場合の手間、式(3)は風味の薄い品種からそれよりも風味の濃い品種に切り替えた場合の手間を表す。当然、同じ品種同士の切り替え手間は式(4)となる。 $Cd_k$ と $Cb_k$ で示している各数値は、調査の結果得られた値から、 $p$ と同じ基準で考え調整した結果である。

次に、瓶替えに伴うコストは以下の式で与えられる。

$$Eb_{K(J_i), K(J_j)} = 5(p) \times \sigma_{B(J_i), B(J_j)}, \quad (5)$$

$$B(J_k) = \{0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}.$$

$B(J_i)$ は瓶の種類であり、 $\sigma_{ij}$ は $i = j$ のとき0、 $i \neq j$ のとき1を返す0-1決定変数である。

式(1)において最後に与えられる禁止則  $Ec_{K(J_i),K(J_j)}$  とは、食品の品質を保つための制約である。製品の見かけ上の色や、食品アレルギーの問題を解決するため用意したものであり、本論文で対象にしている生産ラインにおいて、禁止則は1つだけである。この生産ラインで製造される製品の中では、最も洗浄するのが難しい事と、種が非常に小さい事、色が濃い事が理由としてあげられる。禁止則は以下の式で与えられる。

$$Ec_{K(J_i),K(J_j)} = Ib_{K(J_i)} \times Ia_{K(J_j)} \times 10000(p), \quad (6)$$

$$Ib_k = \{0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}, \quad Ia_k = \{0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}.$$

ここで与えた  $10000(p)$  は、計算機実験の都合による。計算機上においては擬似的に禁止則を実現するため、番兵処理に用いた数値である。

### 3.2 生産環境の設定

従来のモデルでは、生産数量は定数として固定し問題に与えることによって、現場において最も重要視されている納期ずれ最小化に加え、段取り替えに伴う品質劣化度を最小化するスケジューリング手法を構築していた。本論文では、単一工程からなり、1台の機械で複数の品目を切り替えながら生産するモデルを考える。製造単価を下げるためにロットサイズを大きくとれば、在庫保管費がかさむ。逆に、在庫の削減をねらえば、段取り替えを頻繁に行わなければならないため、そのための時間とコストが必要となる。以下前提条件を示す。

- 品目切り替えの段取り作業には、費用と時間とが掛かる
- 品目切り替え作業は、生産の直前に行われる
- 在庫には、その量に比例して鮮度劣化ペナルティが発生する
- 各品目には出荷要求量が与えられ、品切れは許されない

これらの条件を満たし、計画対象期間(1ヶ月)にわたる段取り替え費用と、鮮度を考慮した在庫費用の和を最小にするようなスケジュールを求める。

### 3.3 定式化と解法

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} (k_t(1 - \delta_{i,t-1})\delta_{it} + h_i x_{it}), \quad (7)$$

$$\text{Subject to} \quad x_{i,min} \leq x_{it} \leq x_{i,max}, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} \delta_{it} = 1, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in T} \delta_{it} = n, \quad (10)$$

$$x_{it} = x_{i,t-1} - r_{it} + p_i \delta_{i,t-1}, \quad (11)$$

$$\forall i \in N, \forall t \in T.$$

ここで、 $T$  は計画対象期間の上限であり、 $T = 20 \times 43$  である。 $k_t$  は品目  $i \in N$  から、品目  $j \in N, i \neq j$  への段取り係数 (詳細は後述する)、 $h_i$  は品目  $i \in N$  の単位タイムスロットあたりの商品価値劣化による損失 (在庫保管費と同等と考慮される)、 $x_{it}$  は品目  $i \in N$  のタイムスロット  $t \in T$  末における在庫量、 $x_{i,min}$  は品目  $i \in N$  の在庫下限 (過去3年のデータから最低の値を下限とした)、 $x_{i,max}$  は品目  $i \in N$  の在庫上限 (過去3年のデータから最高の値を上限とした)、 $\delta_{it}$  は0-1 決定変数 ( $\delta_{i0}$  は所与) で、タイムスロット  $t \in T$  に品目  $i \in N$  が生産されるか、品目  $i \in N$  の段取り替えが行われているときは  $\delta_{it} = 1$ 、それ以外は  $\delta_{it} = 0$ 、 $p_i$  は品目  $i \in N$  の単位スロットあたりの生産量、 $r_{it}$  は品目  $i \in N$  のタイムスロット  $t \in T$  における出荷要求量である。従って、式(7)は段取り費用と在庫ペナルティ費用の最小化、式(8)は在庫量制約、式(9)は機械干渉を解消するための制約、式(10)は決定変数の緩和の規制、式(11)は在庫量推移方程式を示していることが理解できる。

これより、村松らによるラグランジュ分解・調整法を用いた近似解法 [3][4] を適用するため、問題を変形していく。まず、以下の通り制約を目的関数に組み込んで、以下のようにラグランジュ関数を定義する。

$$L(u, \lambda) = \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} (k_t(1 - \delta_{i,t-1})\delta_{it} + h_i x_{it}) + \sum_{t \in T} u_t (\sum_{i \in N} \delta_{it} - 1) + \lambda (\sum_{i \in N} \sum_{t \in T} \delta_{it} - n). \quad (12)$$

ここで、 $u$  は各々  $u_i$  を要素にもつベクトルである。従って、問題は次の最小化問題になる。

$$\text{Minimize } L(u, \lambda), \quad (13)$$

$$\text{Subject to } x_{i,min} \leq x_{it} \leq x_{i,max}, \quad (14)$$

$$x_{it} = x_{i,t-1} - r_{it} + p_i \delta_{i,t-1}, \quad (15)$$

$$\forall i \in N, \forall t \in T.$$

ラグランジュ関数は品目  $i \in N$  で分離可能であるので、以下のように表すことができる。

$$L(u, \lambda) = \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} (k_t(1 - \delta_{i,t-1})\delta_{it} + h_i x_{it} + (u_t + \lambda)\delta_{it}) - \sum_{t \in T} u_t - \lambda n. \quad (16)$$

右辺第1項に注目すると、各々の品目  $i \in N$  について他と独立に扱うことが可能である。

$$L_i(u, \lambda) = \sum_{t \in T} (k_t(1 - \delta_{i,t-1})\delta_{it} + h_i x_{it} + (u_t + \lambda)\delta_{it}), \forall i \in N. \quad (17)$$

以上より、部分最適化問題をつくることができる。すなわち、全ての  $i \in N$  について

$$\text{Minimize } L_i(u, \lambda), \quad (18)$$

$$\text{Subject to } x_{i,min} \leq x_{it} \leq x_{i,max}, \quad (19)$$

$$x_{it} = x_{i,t-1} - r_{it} + p_i \delta_{i,t-1}, \quad (20)$$

$$\forall i \in N, \forall t \in T.$$

を解くことができれば、ラグランジュ関数値は、以下より直ちに算出できる。

$$L(u, \lambda) = \sum_{i \in N} L_i(u, \lambda) - \sum_{t \in T} u_t - \lambda n. \quad (21)$$

ラグランジュ乗数更新則には、劣勾配法を用いる。 $v$  を計算の繰り返し数、 $a_u, a_\lambda$  をステッ

プレングスとして,

$$u_i^{v+1} = u_i^v + a_u \left( \sum_{I \in N} \delta_{it} - 1 \right), \quad (22)$$

$$\lambda^{v+1} = \lambda^v + a_\lambda \left( \sum_{I \in N} \sum_{t \in T} \delta_{it} - n \right), \quad (23)$$

に従うように乗数を更新する. 同様に, 段取り係数  $k_t$  の更新ルールは以下の通りとなる. これは, 更新時, そのとき得られた品目の順列の前後関係によって得られる.

$$k_t^{v+1} = a_k \sum_{i \neq j} c_{ij} (1 - \delta_{I,t-1}) \delta_{it} \delta_{jt} - 1, \quad (24)$$

$$i, j \in N, i \neq j.$$

ここで,  $a_k$  はステップレングスとする.

最後に, 本モデルを現場に導入した際, 現場が最も求める形に自律的に変化していくための機能を検討した. そこで, モデルの導入に対して, 我々是对話型機能の搭載を検討した. 対話型とは, 計算機と利用者が対話することにより, 人間の曖昧な条件を計算機に理解させる手法である. これは, 計算機の出した答えを利用者がチェックすることで, 潜在的な要求を呼び起こし, より現場のニーズを反映させた解を出すよう, 条件を新たに付加したり更新したりして, 計算機に問題を解かせなおす手法である [5].

まず, 食品に対する市場からの要求の変化が激しい事が理由としてあげられる. そういった生産環境の変化に迅速に, かつ的確に対応することができるようにするためである. 作業員から生産環境の変化を計算機に適宜与えることで, 環境の変化をシステムが吸収することを期待している.

次に, 問題のモデル化を行うにあたって, いくつかの目に見えない重要な要素が抜け落ちている可能性を危惧したからである. 通常, 生産計画問題を決定する問題において, 問題を解きたい人が要求する答えを, 計算機がその通りに出力することが難しい. それは, モデル化に当たって条件や目的を数値化しているため, どうしても, 人間の考えている条件と計算機が理解した条件との間にギャップが生じる. そうした懸念から, 我々は現場からのヒアリングにより, 限りなく現場の本質に迫った上でモデルを構築しているが, それでも潜在的な現場の要求を包括できていない可能性がある. 対話型手法に対して, 我々はそうした潜在的な要求をすくい上げ, 顕在化させるための調整的な役割を果たすことを期待した.

対話による学習則は, 商品毎の学習値  $\epsilon^q$  を以下の通り更新することで決定される.

$$\epsilon_i^{q+1} = \epsilon_i^q + a_\epsilon \quad (25)$$

$q$  は対話による繰り返し数,  $a_\epsilon$  はステップレングスである. 対話型機能は, 式 (17) を拡張することにより実装される.

$$L_i^q(u, \lambda) = \sum_{t \in T} (k_t (1 - \delta_{i,t-1}) \delta_{it} + h_i x_{it} + (u_t + \lambda) \delta_{it} - \epsilon_i^q), \forall i \in N. \quad (26)$$

以上述べた対話型機能を包括した解法の手続きを以下に示す.

- **STEP 1:** 初期値として,  $v = 1, q = 1, \epsilon_i^q, i \in N$  に同じ値を与える.
- **STEP 2:** 設定したイテレーション回数  $v_{max}$  まで繰り返す.  $v = v_{max}$  ならば STEP 6 へ.
- **STEP 3:** 品目  $i \in N$  に対して, 式 (18) で示した部分最適化問題を, 式 (19)(20) で示した与えられた制約の下で, 在庫推移とコスト計算で解く.



- STEP 4:  $v = v + 1$  とする. 元問題の制約を満たしていればSTEP 6へ. そうでなければ, STEP 5へ.
- STEP 5: 係数  $u_t^{v+1}$ ,  $k_t^{v+1}$ ,  $\lambda_t^{v+1}$  を更新則に従い決定し, STEP 2へ.
- STEP 6: 得られた解が作業員の要求を満たしていれば終了. そうでなければ,  $v = 1$  を与え, 要求を満足していない商品  $i \in N$  の学習係数  $e_i^{v+1}$  を更新則に従い決定し, STEP 2へ.

## 4 おわりに

本論文は, 食品加工業に対して, その生産効率を改善するための方法論を示した. 商品としての食品は在庫の取り扱いが一番の問題点であると位置付け, スケジューリング理論の視点から考察する事が商品の問題点に直接的にアプローチすることができるという仮定のもとで, 議論を展開した.

今後の課題としては, 更なる情報の収集・分析, 同時にシステムを導入し, 現場からのフィードバックを参考にする事で, モデルの妥当性を繰り返し検証することはもちろんであるが, その他に進めて行かなければならない課題として, 1. 納期ズレ及び品質劣化度最小化を目的とした前モデルとの比較検証. もしくは, 従来の定式との多目的最適化問題としての議論, 2. 出荷要求量  $r_{it}$  を正規分布に従った確率的な値に設定, 同時に動的問題への拡張, 3. 問題の簡略化のため, 煮工程, 検査工程, 充填工程をひとつの工程として理解していた部分を分解して議論し, それぞれの場合の比較・検証, 4. 方法論の一般化, が上げられる.

## 参考文献

- [1] L. M. Sweet, Transforming the food industry through automation. Proceedings of 2006 International Symposium on Flexible Automation, pp.k2-1-k2-4, 2006.
- [2] K. Yagi, S. Matsumoto, N. Honda and H. Ishii, Designing Optimal Solution for Production System which has Perishable Material and the Limited Number of Specialized Workers: A Jam Company Case, Proceedings of the 11th Asia Pacific Management Conference, in CD-R, 2005.
- [3] 小林 稔, 村松 健児, 順序依存型段取り時間をもつ多品目ロットサイズスケジューリング, スケジューリング・シンポジウム 2001 講演論文集, pp.95-100, 2001.
- [4] Kenji Muramatsu, Aditya Warman, Minoru Kobayashi, Simultaneous Optimization of All Decision Features in A Multi-Item Multi-Process Dynamic Lot Size Scheduling Problem, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2002, pp.121-124, 2002.
- [5] Jihyung Park, Mujin Kang and Kyoil Lee, An intelligent operations scheduling system in a job shop, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 11, No. 2, pp.111-119, 1996.