生産コストに基づいた意思決定支援システムの一提案*

ー適正ロットサイズの決定問題への適用ー

指尾健太郎** 貝原俊也** 藤井進*** 梅田豊裕****

A Proposal of Decision Making Support System Based on Product Cost
- Application into Lot Sizing Problem -

Kentaro SASHIO, Toshiya KAIHARA, Susumu FUJII and Toyohiro UMEDA

Manufactures have paid a great deal of effort to obtain agility in their manufacturing to avoid losing commercial opportunities. To solve these problems, several methodologies for production planning and operating manufacturing systems have been proposed. Additionally, although variety of lot sizing methods has been proposed, most of their objective functions are based on time and quantity criteria. However, the most important criterion is varied dynamically in real manufacturing environment. Product cost is calculated by integrating results of all activities in production processes, so product cost is treated as a comprehensive criterion to evaluate production performance. In this study, we develop a cost evaluate system and it is implemented on a Distributed Virtual Factory (DVF) to realize rational cost based decision makings. The efficiency of product cost as a criterion is discussed through simulation experiments with DVF.

Key words: activity based costing, distributed virtual factory, decision making, simulation, lot sizing

1. 緒 言

情報技術の発展と普及に伴い、特に若年層を中心として、独自性や主義・主観を製品に求める新たな価値観を持つ世代が現れた。更に、安価な労働力を背景に東南アジア企業が著しい成長を遂げている。以上のような背景により、市場動向の不透明性、従来の PUSH 型市場から PULL 型市場へのパラダイムシフト、企業間競争の激化等、近年の製造業各社を取り囲む状況は激化の一途を辿ってきた。企業間競争に勝ち残るためには、めまぐるしく変化する市場動向を捉え、迅速に製品を提供できる迅速性と競争力のある価格設定が必要である。これらの問題を解決すべく、生産管理方式、生産スケジューリング手法、在庫管理等の様々な取り組みがなされてきた¹⁾。しかしながら、過去の取り組みの多くにおいて、最適化すべき目的関数は時間および数量に基づく指標（本論文ではこれを物流指標と呼ぶ）であり、生産コストを指標とすることの有効性が認識され始めたのはここ数年のことである²⁾。また、コストの有効性は認識され始めた段階であり、コストを扱うアルゴリズムにおいては比較的对象問題の規模が小さく、実システム規模の問題を取り扱う例は見受けられない。そこで我々は大規模な生産システムを対象としてコストを直接的に削減することを目的とする生産システムの運用法を模索してきた³⁾。

一方、効率的にシステム全体規模のシミュレーションを実現し、製造業における様々な意思決定を支援するシステムとして、分散仮想工場⁴⁾⁵⁾の提案を行ってきた。これまでの研究成果により、実際の生産現場で用いられている多種多様なシミュレーションシステムと実用レベルの生産管理システムを統合した分散仮想工場の構築法を確立することが可能となり、意思決定を含

めてシステム全体のシミュレーションを実装するための基盤技術確立した。さらに、分散仮想工場のシミュレーション結果に基づいて ABC (Activity Based Costing) 分析⁶⁾⁷⁾を行うコストモジュールを分散仮想工場に統合し、詳細な製造コスト情報を対象システム全体にわたって評価可能とするよう、システム面での整備を行った。そこで本論文では、その次のステップとして、生産コストに基づいた合理的な意思決定の実践を目的とし、実規模の生産システムを対象としたロットサイズの決定を試みる。そして、これらのシミュレーション実験を通じて、評価指標としての製造コストの有効性を検証する。

2. 分散仮想工場

生産設備導入時における事前検証や生産スケジューリングの実行可能性の検証等、シミュレーション技術の有効性は広く認識され、実際に用いられてきた。しかし、対象システムに関する深い知識と高度な専門技術を要するため、構築されるのは単一の生産設備や FMS 等、生産システムのごく一部に限られてきた。分散仮想工場は、既に開発されている局所的なシミュレータ群を同期機構を用いて計算機ネットワーク上に統合し、効率的に生産システム全体規模のシミュレーションを実現するものである⁴⁾⁵⁾。更に、生産システム全体規模の意思決定を行う生産管理システムを統合することによって、対象システムの物流・情報流の双方を表現することが可能としている。分散仮想工場の利点として以下の点が挙げられる。

(1) 効率的なモデル構築が可能

分散仮想工場は既存シミュレータの再利用により、シミュレーションモデルの開発に要する労力や時間を削減することができる。

(2) シミュレーションの実行効率が高い

既存の局所シミュレータは、従来から用いてきた計算機上で動作させることを前提としている。これにより、生産システム全体の膨大な計算負荷が複数の計算機に分散可能となる。

* 原稿受付 平成 18 年 11 月 27 日

** 正 会 員 神戸大学 (神戸市灘区六甲台町 1-1)

*** 正 会 員 上智大学 (東京都千代田区紀尾井町 7-1)

**** (株) 神戸製鋼所 (神戸市西区高塚台 1-5-5)

(3) 対象システムの変更に柔軟に対応可能

改善活動の一環として、生産システムは頻繁にレイアウトの変更や設備の入れ替え等が行われる。分散仮想工場では、対象システムに変化が生じた際には、対象となる局所シミュレータのみの変更で迅速に対応可能である。

(4) システム全体規模の意思決定を伴うシミュレーション

システム全体規模の意思決定を行うための生産管理システムを統合することが可能である。現在、市販の生産管理ソフトウェアを統合することで、MRP (Material Requirement Planning) や APS (Advanced Planning and Scheduling) が実装可能であることを確認した⁸⁾。

3. ABC 分析と生産コストの定式化

生産効率の評価指標として、従来の物流指標と生産コスト指標を比較すると、以下の2点の違いが挙げられる。

(1) 多目的性

物流指標には総滞留時間や総納期遅れ個数や時間、平均待ち時間等の様々な種類の評価指標が存在する。常時状況が変化する生産システムにおいて、ある一つの指標が常に最も重要な指標であることはない。しかも、これらの物流指標間にはトレードオフの関係が存在するため、単一の指標を用いた効率化が必ずしもバランスのとれたライン運用を実現しているとはいえない。一方、製品のコストは総滞留時間や総納期遅れ個数等の様々な物流指標を総合的に評価した値であるため、単一の評価指標として用いることができる。

(2) 効率的経営への関与

生産活動の最大の目的は利潤を最大化することである。そのため、コストを生産効率の評価値として利用し、直接的に利潤を増加させることで、経営面での効率化に貢献できると考えられる。

以上のように、製造コストを生産コストの評価指標として用いることは有効であると考えられる²⁾。製造コストは様々な要因によって発生するコスト費目を最終製品に対して配分することで計算される。ここで、費目は個別の製品毎に直接的に課金される直接費と製品の個数とは無関係に発生する間接費に大別することができる。従来、製造コストに占める割合は直接費の方が相対的に大きかったため、原価計算において間接費は単純に製品の個数で割ることで各製品に配賦されてきた。ところが生産技術の発展に伴って、IT の経費等の間接費の割合が増加するにつれ高精度な間接費の配分が重要となり、従来の原価計算法の適用が困難となった。そこで、個々の製品の諸活動 (アクティビティ) を詳細に分析することにより、リーズナブルな間接費の配分を実現する手法として提案されているのが ABC 分析である⁹⁾。

3.1 ABC 分析

ABC 分析では、図 1 に示すように2段階の計算を経て間接費を各製品に配分する。1段階目では、間接費を発生させた要因である活動に着目し、活動時間等の量的基準に基づいて、実際に活動を行った作業員や設備に間接費の配賦を行う。ここで、作業員や設備に対して配賦されたコストをアクティビティコストと呼び、間接費の配賦に用いる量的基準をコストドライバと呼ぶ。一例として、並列炉工程を対象とした間接エネルギー費を取り上げる。まず1段階目では、各炉の直接処理時間をコストドライバとして、間接エネルギー費を各炉に対して配分し、アクティビティコストを算出する。次に2段階目では、各炉にプ

Fig.1 ABC Approach

ールされたアクティビティコストを、製品重量をコストドライバと設定することによって各製品に配分する。このように、ABC 分析では各製品に対して行われた活動に基づいて適切なコストドライバを設定することで、リーズナブルな間接費の配分が可能となる。

3.2 製造コストの定式化

本論文では、まず一般的な生産システムを対象として ABC 分析の定式化を行う。定式化に先立ち、ABC 分析で用いるデータについて、生産活動の実施前に準備すべきデータと生産実績に基づいて得られるデータの2種類に分類・整理を行い、それぞれを定義する。

3.2.1 事前に準備すべきデータ

(1) 直接費

- 設備 mc における直接エネルギー費: CDE^{mc}
設備の稼働に伴って消費する光熱費
- 直接在庫運用費: $CDST^{mc}$
各設備 mc で処理を待つバッファでの滞在時間に対して課金される費用
- 段取り替え費用: $CSET^{mc}$
消耗品の補充・交換等、段取りに要する費用
- 納期遅れ損失: CLA_p
あるワーク p の納期遅れに対する罰金

(2) 間接費

- 間接労務費: CLB
段取り替え等の作業をする作業員の労務費
- 間接エネルギー費: CE
設備の稼働や搬送、また工場の照明や空調等によって消費されるエネルギーの費用
- 設備 mc 減価償却費: CD^{mc}
設備 mc の減価償却費
- 在庫運用費: CST^{st}
倉庫 st での在庫管理に要する費用

(3) 費用率

- 設備 mc エネルギー費用率: RE^{mc}
設備 mc が単位時間に消費するエネルギー費
- 設備 mc 在庫運用費: RST^{mc}
設備 mc における単位時間当たりの在庫経費
- 設備 mc 段取り替え費用率: $RSET^{mc}$
設備 mc の段取り替え1回当たりの費用
- 納期遅れ損失費用率: RLA
納期遅れによる損失を費用としたもの

(4) 費用以外

ワーク p の重量: W_p

3.2.2 生産実績に基づいて得られるデータ

本来、ABC 分析は経営学にて提案された手法であり、詳細な生産システムの実績データを直接定式化することが困難である。そこで本論文では、図 2 に示すように、ある設備において同時

Fig.2 Concept of Event Index of a Machine

に複数のジョブが処理されるような様々な形態の生産設備を定式化するため、イベントインデックスの概念を導入する。イベントインデックスとは、ある設備において発生するイベント（処理や段取り等のシステムの状態を変化させる事象）を基準に時刻を区切り、各期間に付与したインデックスである。図2は、複数のワークを同時に処理できる設備のある期間における稼働状態を表している。例えば、イベントインデックス*i*においてワークAのみを処理し、次のイベントインデックス*i+1*において、ワークAとワークBを同時に処理している。そして、イベントインデックス*j*に段取り替えがあり、その後にワークCの処理をしていることを表している。この時、各イベントインデックスにおいてどのワークが処理されているか否かをそれぞれ1と0に対応付け、ワーク*p*のイベントインデックス*i*における処理変数 $MX_{i,p}^{mc}$ を式(1)のように定義する。また、段取り変数についても同様の概念で定義する。

- 設備 *mc* のイベントインデックス *i* における処理時間： MT_i^{mc}
- 設備 *mc* でのワーク *p* の滞在時間： S_p^{mc}
- 設備 *mc* でのワーク *p* の処理待ち時間： Q_p^{mc}
- 設備 *mc* のイベントインデックス *j* における段取り時間： ST_j^{mc}
- 設備 *mc* で行われた段取り替え回数： SN^{mc}
- ワーク *p* の納期遅れ時間： LT_p
- 納期遅れワーク数： LN
- 設備 *mc* でのワーク *p* の処理変数： $MX_{i,p}^{mc} \in \{0,1\}$
- 設備 *mc* のワーク *p* の段取り変数： $SX_{i,p}^{mc} \in \{0,1\}$

$$\begin{pmatrix}
 MX_{i,A}^{mc} & MX_{i+1,A}^{mc} & MX_{i+2,A}^{mc} & \cdots & MX_{i+5,A}^{mc} \\
 MX_{i,B}^{mc} & MX_{i+1,B}^{mc} & MX_{i+2,B}^{mc} & \cdots & MX_{i+5,B}^{mc} \\
 MX_{i,C}^{mc} & MX_{i+1,C}^{mc} & MX_{i+2,C}^{mc} & \cdots & MX_{i+5,C}^{mc} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 MX_{i,E}^{mc} & MX_{i+1,E}^{mc} & MX_{i+2,E}^{mc} & \cdots & MX_{i+5,E}^{mc}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix} \quad (1)$$

3.2.3 アクティビティコストの算出式

ABC分析の第一段階であるアクティビティへの配分式を示すに先立って、本論文における直接費の取り扱いについて述べる。材料費のように、個々の製品が直接消費する経営資源が明確な場合については、本来の直接費の概念通り、当該製品に直接課金する。しかし、エネルギー費を例として考えると、例えば工場全体での月単位レベルでの費用率といった大まかな値でしか

把握できないケースも多く、一般に個々の製品に直接課金することは困難である。そこで本論文では、直接費についても必要に応じてコストドライバを設定し、それに基づいて製品に費用を配分する。このように、間接費だけでなく、直接費についても一元的な取り扱いが可能となるようにABC分析を拡張する。

本論文では紙面の都合上、エネルギー費のみの定式化を示すが、その他の費目についても同様の配分式でコスト計算を行うものとする。

一対象期間中の直接費の算出式

コスト分析の対象期間中に発生した直接エネルギー費

$$\bullet \text{ 設備 } mc \text{ の直接エネルギー費： } CDE^{mc} \\
 CDE^{mc} = \sum_i MT_i^{mc} \times RE^{mc} \quad (2)$$

i は機械 *mc* の総イベントインデックス数を表す

一間接費のアクティビティへの配分

間接エネルギー費 *CE* が対象期間中に発生したものとし、以下の式に基づきアクティビティ（ここでは、アクティビティの行為者として生産設備）への配分を行う。コストドライバは設備の稼働時間とする。

- 設備 *mc* の間接エネルギー費： CE^{mc}

$$CE^{mc} = \frac{\sum_i MT_i^{mc}}{\sum_{mc} \sum_i MT_i^{mc}} \times CE \quad (3)$$

3.2.4 最終製造コストの算出式

式(2)および式(3)で得られたアクティビティコストを最終製品に対して配分する。ここで、あるイベントインデックス中に複数のワークが同じ設備で同時に処理されていることを踏まえ、前述した処理時間 *MT* および処理変数 *MX* を用いて以下の定式化を行う。

一コストドライバを用いた直接費の配賦式

コストドライバを処理時間とすると、以下の式(4)として定式化される。式(4)の括弧内では、あるイベントインデックス中に同時に設備 *mc* で処理されていたワークの総数によりワークにコストが均等配分されるように定式化している。

$$\text{設備 } mc \text{ で処理されたワーク } p \text{ の直接エネルギー費： } CDE_p^{mc} \\
 CDE_p^{mc} = \sum_i \left(\frac{MX_{i,p}^{mc}}{\sum_p MX_{i,p}^{mc}} \times \frac{MT_i^{mc}}{\sum_i MT_i^{mc}} \right) \times CDE^{mc} \quad (4)$$

一間接費のアクティビティへの配分

式(3)のアクティビティコストについて処理時間をコストドライバとして製品に配分する。

- 設備 *mc* で処理されたワーク *p* の間接エネルギー費： CE_p^{mc}

$$CE_p^{mc} = \sum_i \left(\frac{MX_{i,p}^{mc}}{\sum_p MX_{i,p}^{mc}} \times \frac{MT_i^{mc}}{\sum_i MT_i^{mc}} \right) \times CE^{mc} \quad (5)$$

一最終製品のコスト計算式

最終的に、製品 *p* の製造原価は以下の式で求められる。

$$C_p = \sum_{mc} (CDE_p^{mc} + CDST_p^{mc} + CSET_p^{mc}) + CLA_p \\
 + \sum_{mc} (CLB_p^{mc} + CE_p^{mc} + CD_p^{mc}) + \sum_{st} CST_p^{st} \quad (6)$$

ここで、*st* は全ての倉庫の集合を表すものとする。式(6)は、

Fig.3 Overview of the Target System

ある製品 P における3.2.1項で示した全費目に対する総計として求められることを意味している。

従来の取り組みにおいて、以上の定式化に基づいた生産コスト評価システムを開発し、分散仮想工場の評価モジュールとして組み込みを行った。これによって分散仮想工場を用いて生産システム全体規模のシミュレーション結果に基づいた生産コストの評価が可能となることを確認した⁹⁾。本論文では、大規模な生産システムを対象とした分散仮想工場に対して生産コストモジュールを統合し、複数の焼鈍炉に対するバッチサイズ制約に基づいたロットサイズ決定問題を例として取り上げ、現実的な問題に対する生産コストに基づいた意思決定の有効性を確認する。

4. 対象システム

本論文では、アルミや銅などの金属板条製造工場を対象とした分散仮想工場を用いて提案法に対する検証実験を行う。この工場は、溶解エリア、熱延エリア、冷延エリア、精整エリアの4つの生産拠点がバッファを介して接続されるとともに、これら全体の意思決定を行う生産管理システムより構成されている。溶解・熱延エリアはフローショップ、冷延・精整エリアはジョブショップとなっている。このモデルの概観図を図3に示す。素材はまず溶解エリアに投入され、熱延エリア、冷延エリア、精整エリアの順に処理される。熱延エリアの処理が終わるとコイルと呼ばれる中間部品が完成するが、コイルによっては数種類の最終製品に共通で用いられる汎用部品となっている。これら汎用性のあるコイルは、冷延または精整エリアでどの品種になるかが決定される。

本システムは、溶解エリアで2種類、計10台の設備、熱延エリアでは、6種類14台、冷延エリアでは3種類13台、精整エリアは7つのサブ生産システムに合計59台の設備を擁する大規模な分散仮想工場となっている。なお、取り扱う生産品種数は177種類あり、実規模レベルの生産ラインとなっている。

5. ロットサイズの設定

対象システムの熱延エリアと冷延エリアにはバッチ式の焼鈍工程が存在する。バッチ式焼鈍炉の工程は、処理時間が他の工程と比較して非常に長い上、処理を終えたワークは長時間の冷却時間を経なければ次の工程に進めないという生産上の重要管理工程となっている。そこで本論文では、これらの工程を効率良く運用できるロットサイズに着目する。熱延エリアには焼鈍炉が2設備配備されており、各々の最大バッチ数は10および20である。冷延エリアには焼鈍炉が3基あり、最大バッチ数が3、6および9であることから、各焼鈍炉の最大バッチ数の組み合わせをロットサイズとして選択する。

Fig.4 Flowchart of Lot Sizing Algorithm

本論文の目的はあくまで生産コストに基づいた意思決定手法の提案であるため、ロットサイズの決定法としては、ライン運用時のヒューリスティックに基づいた簡便的手法を用いた。そして、本実験で用いるロットサイズの設定アルゴリズムのフローチャートを図4に示す。MODは剰余演算、DIVは商の整数部を返す演算、 LS_i は i 番目のロットのロットサイズを示すものとする。図はMRPの結果を1パッケージ期間の生産品目・量を受け取るところから開始している。焼鈍炉の工程では、焼鈍炉の容量の50%以上の充填率が無ければ稼働できないという制約が存在する。この制約を満足するために、本アルゴリズムでは必ず焼鈍炉の容量の半分以上となるようにロットサイズを決定している。例えば、冷延エリアの最大バッチ数が3のとき、もしロットサイズが1のロットが到着すると、容量3の焼鈍炉の半分に満たないので、同種の品目の到着を待たなければならない。繰り返し受注される品目では大きな問題ではないが、次にいつ受注されるかが予測できない品目であれば、余分な生産を行って在庫にするか、いつまで待つかという困難な問題となる。この場合、図4のアルゴリズムに従ってロット編成を行うと、最小ロットサイズが2以上であることが保証され、容量3の焼鈍炉でも処理が可能となる。以降、例えば熱延エリアのロットサイズが10、冷延エリアのロットサイズが3のときを、H10C3と記述することとする。

まずは基本特性解析として、ショップレベルで最適なロットサイズの組合せを生産コストに基づいて見出す。次に、各製品について、炉工程に対する特性の違いに着目し数種類のグループに分類した後、生産コストをさらに低く抑えることができるロットサイズ組合せの決定を試みる。ここで、実験条件は以下の通りである。

- シミュレーション期間 : 50 日
(安定状態に入る前の最初の20日は結果に含めない)
- 生産管理方式 : MRP
 - ・ Make to Order : 冷延エリア・精整エリア
 - ・ Make to Stock : 溶解エリア・熱延エリア
- 受注パターン : 10 パターン
(製品毎に正規分布にて設定。平均値は生産実績に基づいて算出)

5.1 基本特性解析

基本特性解析を行った結果として、生産数量および段取り回数を表1に示す。紙面の都合上、受注パターン1~4の4通りのみを示している。まず、熱延エリアのロットサイズを10あるいは20に固定して注目すると、H10C3, H10C6, H10C9の中ではH10C3が全10種類の受注パターン中9パターンについて、同じくH20C3も10種類の受注パターン中9パターンについて生産数量が最大となった。これより、熱延エリアのロットサイズにはあまり依存せず、冷延エリアのロットサイズが小さい程全体の生産効率が高まっていることが分かる。これは、冷延エリアのロットサイズが大きく設定されると、ロットサイズ分のワークが到着するまで冷延エリア内で待たされることが原因であると考えられる。また、段取り回数については生産数量とは逆に、冷延エリアのロットサイズが大きい程少なくなる傾向が観測できる。ロットサイズが大きくなるにつれて同一品種の素材がまとまる傾向にあるため、段取り回数は少なくなっていることが分かった。また、熱延エリアの最大ロットサイズ10と20を比較すると、ロットサイズ20の方が若干段取り回数が少ない結果であることが分かる。これは、冷延エリアよりも結果への影響が少ないものの、熱延エリアのロットサイズも段取り回数に影響を及ぼしていることを表している。このように、生産数量に着目するのであれば冷延エリアのロットサイズを小さく、段取り回数を減らすためには冷延エリアのロットサイズを大きくすることが必要であるという結果が得られた。このように、物流指標によ

Table1 Experimental Result Number of Yield and Setup

Order Pattern	Combination	Yield	Number of Setup
1	H10C3	3628	1633
	H10C6	3543	1533
	H10C9	3544	1428
	H20C3	3626	1538
	H20C6	3608	1474
	H20C9	3532	1379
2	H10C3	3090	1110
	H10C6	3045	1025
	H10C9	3023	857
	H20C3	3189	977
	H20C6	3128	924
	H20C9	3092	911
3	H10C3	2433	827
	H10C6	2433	808
	H10C9	2383	766
	H20C3	2427	808
	H20C6	2147	794
	H20C9	2417	759
4	H10C3	2498	946
	H10C6	2303	917
	H10C9	2408	799
	H20C3	2481	813
	H20C6	2254	737
	H20C9	2388	620

Fig.5 Average Product Cost

って評価を行うと、生産数量と段取り回数のいずれを重要と判断するかによって結果が異なるため、この時点では冷延エリアのロットサイズの意思決定が困難となっている。

次に、平均生産コスト(図5)で評価すると、いずれの受注パターンに着目しても、H20C3が最も安いコストで生産を行っていることが分かった(ここでは紙面の制約上受注パターン5種類についての結果のみを示している)。また、熱延エリアのロットサイズ(H10またはH20)に依存せず、C3からC9に変化するとコストが高くなっている傾向が見受けられる。これは、段取り回数の削減よりも、生産数量の増加の方が製品のコストに大きな影響を与えていることを表している。この実験より、コストを評価することによって、トレードオフの関係にある指標の強弱関係が総合評価できると共に、重要視すべき物流指標を見出すことが可能であることが分かった。

本対象システムでは、上述のとおり冷延エリアのロットサイズが小さくなる程コストが安くなるという傾向が見られ、冷延エリアの焼鈍工程が管理上重要な意味を持つことが明らかとなった。そこで、より効率的なロットサイズの編成を実現するため、冷延エリアの焼鈍工程での処理数に基づいた製品のグループ化を試み、特性評価実験を行う。

製品を冷延エリアの炉工程の処理回数と生産数量を基準に、ここではグループA~Eの5種類に分類する。

グループ A: 冷延エリアの炉工程を3度以上通らない製品の中で、総生産量が平均以上のもの。

グループ B: 冷延エリアの炉工程を3度以上通る製品の中で、総生産量が平均以上のもの。

グループ C: 冷延エリアの炉工程を3度以上通らない製品の中で、総生産量が平均以下のもの。

グループ D: 冷延エリアの炉工程を3度以上通る製品の中で、総生産量が平均以下のもの。

グループ E: 冷延エリアでの処理が行われない製品

グループレベルでのロットサイズの評価を行った結果、各グループの製品コストを図6に示す。図より、最も安く生産できるロットサイズは、グループAではH10C3、グループBではH20C3、グループCではH10C3、グループD

Fig.6 Average Product Cost of Each Group

Table2 Ranking of Each Combination

Group	1st	2nd	3rd
A	H10C3	H20C3	H10C6
B	H20C3	H10C3	H20C6
C	H10C3	H10C3	H10C6
D	H20C3	H10C3	H20C9
E	H20C9	H20C6	H20C3

では、H20C3、グループ E では H20C9 となった。以上より、最もコストを安くするロットサイズの組合せは製品の特性に応じて異なるため、個々の製品に対して適切なロットサイズを設定することでより安価な生産が可能になることが明らかとなった。そこで、受注パターン 1 の場合を例に取り上げ、コストで評価したときの上位 3 位までの組合せを求めた結果を表 2 に示す。以降では、この結果より得られる最も良いロットサイズの組合せ(表中 1st)をグループ毎に設定し、コスト評価を実施する。

5.2 個別のロットサイズを適用した際の結果

ここでは、受注パターン 1 の場合を例として、上述したグループ毎に最も良い結果となるロットサイズの組合せを設定しコスト評価を行った。ここで、図 7 にシステム全体の平均コスト評価結果を示す。図中 Custom で示される部分がグループ毎に最も良いロットサイズの組み合わせを選択した結果である。図から分かるように、Custom の値が本実験で得られた組み合わせの中で最もコストが低く抑えられており、より適切なロットサイズの設定が可能となることを確認した。

以上の結果、分散仮想工場を用いて生産システム全体規模のシミュレーションを行い、その結果に基づいてコスト分析を行うことによって、コストを基準とした適切なロットサイズの決定ができることを確認した。このことより、一般的に多目的となる工場運用に対して、コスト指標を導入することにより適切な意思決定が可能となり、本論文で提案する生産コストに基づいた意思決定の方法論に対する有効性を示すことができた。

Fig.7 Average Cost of Proposed Method

6. ま と め

本論文では、分散仮想工場に対して ABC 分析を用いたコスト評価モジュールを導入し、生産コストに基づいた意思決定支援システムとしての分散仮想工場の有効性について議論した。更に、実規模の生産システムを対象としたロットサイズ設定問題を想定し、生産コストを評価指標として用いることの有効性を示すとともに、より小さな生産コストで製造を行うロットサイズの選択が可能であることを示した。

ここで得られた結果は特定の環境の下での結果ではあるが、一般論として、コスト分析モジュールを統合した分散仮想工場によってコストを評価することによって、生産システムの詳細なコスト見積もりが可能となることを確認した。更に、ロットサイズの選択問題を例として取り上げ、生産コストを基準とした適切な意思決定が実現できることを示した。

今後、生産システムにおける様々な階層の意思決定に対して柔軟に対応できる分散仮想工場のモデリング論について検討すると共に、生産コストを積極的に削減する方策についても検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) 人見勝人, 入門編 生産システム工学 第二版, 共立出版, (2000).
- 2) 宮崎茂次, 単一工程モデルでの利益最大化生産スケジューリング, システム制御情報学会誌, **15**, 4 (2002) 203.
- 3) 指尾健太郎, 藤井進, 貝原俊也, コストベーススケジューリングに関する一考察, スケジューリング・シンポジウム 2003 講演論文集, スケジューリング学会, (2003) 64.
- 4) 藤井進, 貝原俊也, 森田浩, 分散型仮想工場の構築 (第一報), 日本機械学会論文集, **67**, 658, C 編, (2001) 374.
- 5) Kentaro Sashio, Susumu Fujii and Toshiya Kaihara, A Basic Study on Cost Based Scheduling, Proceedings of the 5th International Conference on Machine Automation, (2004) 353.
- 6) ロビン・クーパー 他, ABC マネジメント革命, 日本経済新聞社, (1995).
- 7) Robin Cooper and Robert S. Kaplan, Activity-based systems: measuring the costs of resource usage. Accounting Horizons, September (1992) 1.
- 8) Kentaro Sashio, Susumu Fujii and Toshiya Kaihara, A Study on Basic Characteristics of Advanced Planning and Scheduling, Proc. of Advances in Production Management Systems 2005, (2005) CD-ROM.
- 9) Kentaro Sashio, Susumu Fujii, Toshiya Kaihara and Mitsuhiro Sugimori, Distributed Virtual Factory under E-Business Environment, Experiences from the future, October (2004) 451.