

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2005-055956**

(43)Date of publication of application : **03.03.2005**

(51)Int.Cl. **G05B 19/418**

G06F 17/60

(21)Application number : **2003-205892**

(71)Applicant : **TOYOTA CENTRAL RES & DEV
LAB INC**

(22)Date of filing : **05.08.2003**

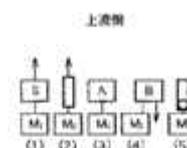
(72)Inventor : **ROSER CHRISTOPH HERMANN
NAKANO KAN
TANAKA MINORU**

(54) CAUSE/PATH ESTIMATING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a system configured by arranging a plurality of machines to process parts according to a preliminarily decided flow in order to generate the flow of parts from the upstream side to the downstream side for estimating cause elements to generate a cause to put each machine into an idle status and a cause path where the factor affects each machine.

SOLUTION: A machine M_i in an idle status in a production system is specified based on data showing the secular status change of each of the configuring elements of the production system, and another machine S, A and B is traced in the forward direction or backward direction of the flow of parts on the production system for the machine M_i . Thus, it is possible to estimate a cause element being another machine to generate the idle status of the machine M_i and a cause path being a path from the cause element to the machine M_i without depending on simulation to time-sequentially simulate the behavior of the production system.



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-55956

(P2005-55956A)

(43) 公開日 平成17年3月3日(2005.3.3)

(51) Int. Cl.⁷

GO5B 19/418
GO6F 17/60

F I

GO5B 19/418 Z
GO6F 17/60 108

テーマコード(参考)

3C100

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 70 頁)

(21) 出願番号 特願2003-205892(P2003-205892)
(22) 出願日 平成15年8月5日(2003.8.5)

(71) 出願人 000003609
株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1
番地の1
(74) 代理人 100107674
弁理士 来栖 和則
(72) 発明者 ローザー, クリストフ ハーマン
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1
番地の1 株式会社豊田中央研究所内
(72) 発明者 中野 冠
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1
番地の1 株式会社豊田中央研究所内
(72) 発明者 田中 稔
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1
番地の1 株式会社豊田中央研究所内
Fターム(参考) 3C100 AA57 AA58 AA62 BB12 BB13

(54) 【発明の名称】 原因・経路推定方法

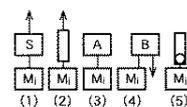
(57) 【要約】

【課題】 部品が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その部品に対して処理を施すべき複数の機械が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、各機械を遊休状態に陥らせる原因を生成する原因要素と、その原因が各機械に波及する原因経路とを推定する。

【解決手段】 生産システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すデータに基づき、その生産システムのうち遊休状態にある機械M_iを特定するとともに、その機械M_iにつき、同じ生産システム上において別の各機械S, A, Bをその生産システム上における部品の流れの正方向または逆方向に追跡し、それにより、その生産システムの挙動を時系列的に模擬するシミュレーションに依存することなく、機械M_iに遊休状態を生じさせる別の機械である原因要素と、その原因要素から機械M_iまでの経路である原因経路とを推定する。

【選択図】 図1 1

上流側



【特許請求の範囲】**【請求項1】**

被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数個の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、ある構成要素に遊休状態を発生させる別の構成要素である原因要素と、その原因要素から、前記遊休状態にある構成要素である遊休構成要素までの原因経路とを推定する原因・経路推定方法であって、
前記システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータに基づき、前記遊休構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係を決定し、その決定された関係に基づき、前記遊休構成要素を第1の出発要素としてそれに隣接する別の構成要素を前記流れの正方向と逆方向とのうち対応する方向に追跡する第1の追跡工程と、
前記システムデータに基づき、かつ、予め定められた判定規則に従い、その追跡された構成要素が前記原因要素に該当するか否かを判定することにより、その原因要素を特定する原因特定工程と、
前記第1の追跡工程の実行結果のみでは前記原因特定工程において前記原因要素が特定されない場合に、それが特定されるまで、少なくとも1回の追跡の各々を、前記システムデータに基づき、最後に追跡された構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係を決定するとともに、その決定された関係に基づき、最後に追跡された構成要素を第2の出発要素としてそれに隣接する別の構成要素を前記流れの正方向と逆方向とのうち対応する方向に追跡する内容で行う第2の追跡工程と、
前記システムデータに基づき、前記原因特定工程によって特定された原因要素に関連付けて、その原因要素が前記遊休構成要素に影響を及ぼす経路を前記原因経路として特定する経路特定工程と
を含む原因・経路推定方法。

【請求項2】

さらに、前記システムデータに基づき、同じ遊休構成要素の複数の遊休期間について前記原因要素が少なくとも1個存在する場合に、各原因要素ごとに、それが前記遊休構成要素に及ぼす影響を、その影響が各原因要素から前記遊休構成要素に及ぶ各原因経路に関連付けて推定する影響推定工程を含む請求項1に記載の原因・経路推定方法。

【請求項3】

前記第1および第2の追跡工程が、共に、前記追跡に先立ち、前記第1および第2の出発要素のうち対応するものの状態の種類に応じ、上流向きと下流向きとのうちのいずれかに前記追跡の向きを設定する向き設定工程を含む請求項1または2に記載の原因・経路推定方法。

【請求項4】

前記第1および第2の追跡工程が、共に、前記追跡に先立ち、前記第1および第2の出発要素のうち対応するものに隣接するすべての隣接構成要素にそれらの各状態に応じて順位を付与し、その付与された順位に従っていずれかの隣接構成要素を前記第1および第2の出発要素のうち対応するものとして選択する順位付け工程を含み、
前記経路特定工程が、各原因要素ごとに、それに付与された順位に基づき、前記遊休構成要素と各原因要素との間における各原因経路を特定する工程を含む請求項1ないし3のいずれかに記載の原因・経路推定方法。

【請求項5】

さらに、前記追跡中、前記システムデータに基づき、前記システムにおける各構成要素間の各バッファの位置ごとに、そのバッファの変更によって前記遊休構成要素の状態の持続時間が変化する量と、各バッファが前記原因要素であり続ける時間と、前記遊休構成要素に隣接する各隣接構成要素が前記原因経路上にあり続ける時間とのうちの少なくとも一つを含む統計値を計算する統計値計算工程を含む請求項1ないし4のいずれかに記載の原因

・経路推定方法。

【請求項6】

被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、そのシステムの各構成要素間における各バッファの変更によってそのシステムの性能が改善される改善量を推定するシステム性能改善量推定方法であって、前記システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータに基づき、各構成要素ごとに、前記バッファ内に存在する前記被処理要素の数が変化する第1の変化量と、前記バッファ内において前記被処理要素を一時的に収容可能なスペースの数が変化する第2の変化量とを推定する第1推定工程と、それら推定された第1および第2の変化量に基づき、各構成要素ごとに、各構成要素が利用可能な被処理要素数が前記バッファの変更起因して変化する第3の変化量と、各構成要素が利用可能なスペース数が前記バッファの変更起因して変化する第4の変化量とを推定する第2推定工程と、各構成要素ごとに、前記推定された第3および第4の変化量に基づき、各構成要素の遊休時間が前記利用可能な被処理要素数の変化に起因して変化する第1遊休時間変化量と、各構成要素の遊休時間が前記利用可能なスペース数の変化に起因して変化する第2遊休時間変化量との合計値を推定する第3推定工程と、その推定された合計値をすべての構成要素について合計することにより、前記改善量を推定する第4推定工程とを含むシステム性能改善量推定方法。

【請求項7】

前記第2推定工程が、前記第3および第4の変化量を、請求項5における統計値に基づいて推定する請求項6に記載のシステム性能改善量推定方法。

【請求項8】

前記第1推定工程が、前記複数の構成要素のうち、各バッファより上流側におけるすべての構成要素についての代表的なボトルネック確率と、下流側におけるすべての構成要素についての代表的なボトルネック確率とに基づき、前記各バッファの満杯率と空乏率との少なくとも一方を推定し、その推定値に基づいて前記第1および第2の変化量を推定する請求項6または7に記載のシステム性能改善量推定方法。

【請求項9】

請求項1ないし8のいずれかに記載の方法を実施するためにコンピュータにより実行されるプログラム。

【請求項10】

請求項9に記載のプログラムをコンピュータ読取り可能に記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、ある構成要素に遊休状態を発生させる原因を解析する技術に関し、特に、ある構成要素に遊休状態を発生させる別の構成要素である原因要素と、その原因要素から、前記遊休状態にある構成要素である遊休構成要素までの原因経路とを推定する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムが既に存在する。この種のシステムの一例は、部品に加工を施したり、別の部品と組み合わせたりして製品を生産する生産システムである。

【0003】

この生産システムの処理能力（スループット）を改善する上で最も簡単な方法は、その生産システムにバッファを割り当てることである。なぜなら、バッファの割り当ては、システムの迅速な変更を可能にするとともに、その変更のための初期費用が少なく済むからである。その初期費用は、バッファを追加したり除去したりするための費用であって、その額は、通常、処理機械を加えるかまたはシステムのフローを変更する費用の一部にすぎない。

【0004】

しかしながら、バッファサイズを増加させれば、常に処理能力が増加するが、時には、仕掛在庫数および総処理時間も増加し、その結果、在庫および消費者に届くまでの時間が増加する。したがって、その処理能力と仕掛在庫数と総処理時間との間における背反（トレードオフ）に研究上、重要な関心が集まる。

【0005】

バッファは、システムにおいてボトルネックを構成する機械を原因とする、他の機械の遊休時間（機械がスタブまたはブロックされた時間）を減少させることにより、その機械の稼働率を改善することができる。機械がスタブする（部品が欠乏する）状態とは、機械に供給される部品が不足するために、その機械が作用できない状態を意味し、一方、機械がブロックされる（閉塞される）状態とは、機械が処理した部品を搬出できないために、その機械が作用できない状態を意味する。

【0006】

バッファは特に2つの目的を果たす。すなわち、バッファは、部品を追加することによって機械のスタビング時間を減少させるとともに、自由スペースを追加することによって機械のブロッキング時間を減少させ、それにより、システムの処理能力を改善するのである。

【0007】

バッファの割り当てに関する探索法が多数存在する。それら方法のうちの大半は、例えば、シミュレーテッド・アニーリング法、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワーク、勾配に基づく探索、タブーサーチ法等を用いることにより、極めて多数回（例えば、数千回、数十万回）の反復を必要とするメタモデルの構築に基づいている。

【0008】

しかし、工業的には、そのメタモデルを用いるために必要な多数の反復実験値を取得することは通常困難であり、さらに、上記方法を利用することは非能率的である。

【0009】

最適なバッファサイズを探る最も単純な方法は、考え得るすべてのバッファサイズの組合せについてシミュレーションを適用して実行し、それぞれの実行結果を評価する方法である。この方法を採用する場合、例えば3台のバッファがそれぞれ、サイズ1から10までの値を取り得ると仮定すれば、わずか3台のバッファであっても、そのサイズ組合せの総数は1,000通りにもなる。

【0010】

この手法は現実的ではないため、多くの場合、システムの改善に効果があると経験的に予想されるバッファのみに着目し、そのようなバッファのサイズを離散的に変更してシミュレーションを適用するという方法を採用する。しかし、この方法は、真に最適なサイズ組合せを探り得るものではない。

【0011】

さらに、シミュレーション試行回数を減らす手法として、「実験計画法」を用いることも考えられるが、いずれにしても、最適なバッファサイズの組合せを求めるためには多数回のシミュレーションを行うことが必要であることは改めて指摘するまでもないことである。

【0012】

システムへのバッファの割り当てを最適化することが究極の課題であるが、そのためには

、バッファがシステム中の各対象物（機械、別のバッファを含む）に与える効果、例えば、バッファの変更（変更位置または変更量）と各対象物のスタービング時間またはブロッキング時間の削減量との関係を定義して、バッファの変更からスタービング時間またはブロッキング時間の削減量を推定することが必要である。

【0013】

さらに、そのようなバッファの効果を精度よく推定するためには、システムの各構成要素（「各対象物」ともいう。例えば、生産ラインにおける加工設備が該当する。）のスターブまたはブロックの原因要素であるバッファと、そのバッファの影響が各対象物のスターブまたはブロックに及ぶ経路である原因経路とを精度よく推定することが必要である。

【0014】

以上説明した事情を背景とし、本発明は、被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、各構成要素を遊休状態に陥らせる原因を生成する原因要素と、その原因が各構成要素に波及する原因経路とを推定することを課題としてなされたものである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明によって下記の各態様が得られる。各態様は、項に区分し、各項に番号を付し、必要に応じて他の項の番号を引用する形式で記載する。これは、本明細書に記載の技術的特徴のいくつかおよびそれらの組合せのいくつかの理解を容易にするためであり、本明細書に記載の技術的特徴やそれらの組合せが以下の態様に限定されると解釈されるべきではない。

【0016】

さらに、各項を他の項の番号を引用する形式で記載することが必ずしも、各項に記載の技術的特徴を他の項に記載の技術的特徴から分離させて独立させることを妨げることを意味するわけではなく、各項に記載の技術的特徴をその性質に応じて適宜独立させることが可能であると解釈されるべきである。

【0017】

(1) 被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、ある構成要素に遊休状態を発生させる別の構成要素である原因要素と、その原因要素から、前記遊休状態にある構成要素である遊休構成要素までの原因経路とを推定する原因・経路推定方法であって、

前記システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータに基づき、前記遊休構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係を決定し、その決定された関係に基づき、前記遊休構成要素を第1の出発要素としてそれに隣接する別の構成要素を前記流れの正方向と逆方向とのうち対応する方向に追跡する第1の追跡工程と、

前記システムデータに基づき、かつ、予め定められた判定規則に従い、その追跡された構成要素が前記原因要素に該当するか否かを判定することにより、その原因要素を特定する原因特定工程と、

前記第1の追跡工程の実行結果のみでは前記原因特定工程において前記原因要素が特定されない場合に、それが特定されるまで、少なくとも1回の追跡の各々を、前記システムデータに基づき、最後に追跡された構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係を決定するとともに、その決定された関係に基づき、最後に追跡された構成要素を第2の出発要素としてそれに隣接する別の構成要素を前記流れの正方向と逆方向とのうち対応する方向に追跡する内容で行う第2の追跡工程と、

前記システムデータに基づき、前記原因特定工程によって特定された原因要素に関連付けて、その原因要素が前記遊休構成要素に影響を及ぼす経路を前記原因経路として特定する経路特定工程と

を含む原因・経路推定方法。

【0018】

システムにおける複数の構成要素のフローを特定して、そのシステム内における被処理要素の流れを特定すれば、経験則に従い、そのシステムにおいて互いに隣接した任意の2個の構成要素が相互に及ぼし得る影響のいくつかの可能性を推定することが可能である。このことは後に、図11および図12を参照して詳述する。

【0019】

このような環境において、そのシステムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータを用いれば、任意の構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係を決定することが可能である。そして、その関係を用いれば、上述のいくつかの可能性の中から適当なものを選択し、それにより、互いに隣接した特定の2個の構成要素間の関係、例えば、一方の構成要素が遊休状態にあって、他方の構成要素がその遊休状態の原因を構成するとともに、それら2個の構成要素間の経路が、その原因が遊休状態の構成要素に波及する経路を構成するという関係を一義的に推定することが可能である。

【0020】

さらに、そのような推定は、そのシステムの挙動を時系列的に模擬するシミュレーションの多数回の繰返しに依存せずに短時間で効率よく行うことが可能である。

【0021】

以上説明した知見に基づき、本項に係る方法においては、システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータに基づき、遊休構成要素とそれに隣接する別の構成要素とのそれぞれの経時的な状態変化相互の関係が決定される。

【0022】

さらに、その決定された関係に基づき、遊休構成要素を出発要素としてそれに隣接する別の構成要素が、システムにおける被処理要素の流れの正方向と逆方向とのうち対応する方向に追跡される。

【0023】

それにより、ある構成要素に遊休状態を生じさせる別の構成要素である原因要素と、その原因要素から、遊休構成要素までの経路である原因経路とが推定される。

【0024】

したがって、この方法によれば、システムの挙動を時系列的に模擬するシミュレーションの多数回の繰返しに依存せずに原因要素および原因経路を推定することが可能となり、よって、シミュレーションに依存する場合より極めて短時間でその推定を行うことが可能となる。

【0025】

ところで、本項に係る方法を実施するためには、前記システムデータを事前に取得することが必要であり、このシステムデータは、そのシステムの挙動を時系列的に模擬するシミュレーションによって取得することが可能である。この場合には、そのシステムデータの取得と原因要素および原因経路の推定（「原因解析」または「原因調査」ともいう）とを含む一連の解析がシミュレーションに依存せざるを得ない。

【0026】

しかしながら、本項に係る方法を実施する場合には、原因解析がシミュレーションの多数回の繰返しに依存せずに済むため、システムデータの取得のための1回限りのシミュレーションによって上述の一連の解析を完了可能となる。

【0027】

よって、この方法によれば、システムのための一連の解析を効率よく短時間で行うことが可能となり、その実用性が向上する。

【0028】

本項における「第2の追跡工程」は、追跡を1回のみ行う場合や、複数回、反復して行う場合がある。後者の場合には、今回の追跡における「第2の出発要素」が、前回の追跡に

において最後に追跡された構成要素に一致し、このように、第2の出発要素は追跡が反復されるごとに更新される。このことは、下記の各項における「第2の出発要素」についても同様である。

【0029】

(2) さらに、前記システムデータに基づき、同じ遊休構成要素の複数の遊休期間について前記原因要素が少なくとも1個存在する場合に、各原因要素ごとに、それが前記遊休構成要素に及ぼす影響を、その影響が各原因要素から前記遊休構成要素に及ぶ各原因経路に関連付けて推定する影響推定工程を含む(1)項に記載の原因・経路推定方法。

【0030】

システムにおいては、同じ遊休構成要素の複数の遊休期間について原因要素が少なくとも1個存在する場合がある。この場合、本項に係る方法によれば、各原因要素ごとに、それが遊休構成要素の遊休状態に及ぼす影響が、その影響が各原因要素から遊休構成要素に及ぶ各原因経路に関連付けて推定される。

【0031】

さらに、この方法によれば、その影響の推定が、システムデータに基づいて行われる。

【0032】

したがって、この方法によれば、その影響の推定を、各原因要素ごとに個別に、かつ、シミュレーションの多数回の繰返しに依存せずに短時間で行うことが可能となる。

【0033】

(3) 前記第1および第2の追跡工程が、共に、前記追跡に先立ち、前記第1および第2の出発要素のうち対応するものの状態の種類に応じ、上流向きと下流向きとのうちのいずれかに前記追跡の向きを設定する向き設定工程を含む(1)または(2)項に記載の原因・経路推定方法。

【0034】

例えば、後に詳述するが、今回の遊休構成要素がスタービング状態にある場合には、その原因は、それより上流側に存在する可能性が高い。そのため、今回の遊休構成要素のための追跡は、それから上流に向かって行うべきである。

【0035】

これに対し、今回の遊休構成要素がブロッキング状態にある場合には、その原因は、それより下流側に存在する可能性が高い。そのため、今回の遊休構成要素のための追跡は、それから下流に向かって行うべきである。

【0036】

このような知見に基づき、本項に係る方法においては、追跡に先立ち、出発要素の状態の種類に応じた向きに追跡の向きが設定される。

【0037】

したがって、この方法によれば、原因・経路特定のための追跡を無駄なく短時間で行うことが容易となる。

【0038】

(4) 前記第1および第2の追跡工程が、共に、前記追跡に先立ち、前記第1および第2の出発要素のうち対応するものに隣接するすべての隣接構成要素にそれらの各状態に応じて順位を付与し、その付与された順位に従っていずれかの隣接構成要素を前記第1および第2の出発要素のうち対応するものとして選択する順位付け工程を含み、前記経路特定工程が、各原因要素ごとに、それに付与された順位に基づき、前記遊休構成要素と各原因要素との間における各原因経路を特定する工程を含む(1)ないし(3)項のいずれかに記載の原因・経路推定方法。

【0039】

遊休構成要素を遊休状態に陥らせる原因およびその経路は、後に詳述するが、その遊休構成要素に隣接する別の構成要素の状態によって、いくつかのパターンに分類することができる。

【0040】

この知見に基づき、本項に係る方法においては、追跡に先立ち、出発要素に隣接するすべての隣接構成要素にそれらの各状態に応じて順位が付与される。さらに、各原因要素ごとに、それに付与された順位に基づき、遊休構成要素と各原因要素との間における各原因経路が特定される。

【0041】

(5) さらに、前記追跡中、前記システムデータに基づき、前記システムにおける各構成要素間の各バッファの位置ごとに、そのバッファの変更によって前記遊休構成要素の状態の持続時間が変化する量と、各バッファが前記原因要素であり続ける時間と、前記遊休構成要素に隣接する各隣接構成要素が前記原因経路上にあり続ける時間とのうちの少なくとも一つを含む統計値を計算する統計値計算工程を含む(1)ないし(4)項のいずれかに記載の原因・経路推定方法。

【0042】

本項および下記の各項における「バッファ」は、システムに実在するバッファを意味するように解釈したり、潜在的に存在するバッファを意味するように解釈することができる。後者の場合には、例えば、現実にバッファが存在し得る位置が特定されることとなる。

【0043】

(6) 被処理要素が上流側から下流側に向かう流れを生起するために、その被処理要素に対して処理を施すべき複数の構成要素が予め定められたフローに従って配置されて構成されたシステムについて、そのシステムの各構成要素間における各バッファの変更によってそのシステムの性能が改善される改善量を推定するシステム性能改善量推定方法であって、

前記システムにおける各構成要素の経時的な状態変化を表すシステムデータに基づき、各構成要素ごとに、前記バッファ内に存在する前記被処理要素の数が変化する第1の変化量と、前記バッファ内において前記被処理要素を一時的に収容可能なスペースの数が変化する第2の変化量とを推定する第1推定工程と、

それら推定された第1および第2の変化量に基づき、各構成要素ごとに、各構成要素が利用可能な被処理要素数が前記バッファの変更起因して変化する第3の変化量と、各構成要素が利用可能なスペース数が前記バッファの変更起因して変化する第4の変化量とを推定する第2推定工程と、

各構成要素ごとに、前記推定された第3および第4の変化量に基づき、各構成要素の遊休時間が前記利用可能な被処理要素数の変化に起因して変化する第1遊休時間変化量と、各構成要素の遊休時間が前記利用可能なスペース数の変化に起因して変化する第2遊休時間変化量との合計値を推定する第3推定工程と、

その推定された合計値をすべての構成要素について合計することにより、前記改善量を推定する第4推定工程と

を含むシステム性能改善量推定方法。

【0044】

この方法においては、(a) バッファ内に存在する被処理要素の数が変化する第1の変化量と、(b) バッファ内において被処理要素を一時的に収容可能なスペースの数が変化する第2の変化量と、(c) 各構成要素が利用可能な被処理要素数がバッファ変更起因して変化する第3の変化量と、(d) 各構成要素が利用可能なスペース数がバッファ変更起因して変化する第4の変化量とに基づき、バッファ変更起因するシステム性能の改善量が推定される。

【0045】

さらに、本項に係る方法においては、その改善量の推定に用いるべき第1ないし第4の変化量が、前記システムデータに基づいて行われる。

【0046】

したがって、この方法によれば、シミュレーションの多数回の繰返しに依存することなく、バッファ変更起因したシステム性能の改善量の推定を行うことが可能となり、よって、その推定を短時間で効率よく行うことが容易となる。

【0047】

ここに、「第1の変化量」は、例えば、バッファの変更に起因して、バッファ内に存在する被処理要素の数が変化する量として定義することができ、同様に、「第2の変化量」は、例えば、バッファの変更に起因して、バッファ内において被処理要素を一時的に収容可能なスペースの数が変化する量として定義することができる。

【0048】

(7) 前記第2推定工程が、前記第3および第4の変化量を、前記(5)項における統計値に基づいて推定する(6)項に記載のシステム性能改善量推定方法。

【0049】

(8) 前記第1推定工程が、前記複数の構成要素のうち、各バッファより上流側におけるすべての構成要素についての代表的なボトルネック確率と、下流側におけるすべての構成要素についての代表的なボトルネック確率とに基づき、前記各バッファの満杯率と空乏率との少なくとも一方を推定し、その推定値に基づいて前記第1および第2の変化量を推定する(6)または(7)項に記載のシステム性能改善量推定方法。

【0050】

本項における「ボトルネック確率」は、例えば、システムにおける各構成要素が作用状態にある時間の長さの、全時間(例えば、システムにとっての総解析時間)に対する比率として定義することが可能である。このように定義されたボトルネック確率は、例えば、システムにおける各構成要素がボトルネックとして機能するボトルネック期間が全時間に占有するボトルネック期間占有率を意味する。ボトルネック期間占有率の計算手法の一例が本出願人の特願2002-81077号に記載されている。

【0051】

(9) (1)ないし(8)項のいずれかに記載の方法を実施するためにコンピュータにより実行されるプログラム。

【0052】

このプログラムがコンピュータにより実行されれば、前記(1)ないし(8)項のいずれかに記載の方法におけると基本的に同じ原理に従い、同様な効果が実現され得る。

【0053】

このプログラムは、その機能を果たすためにコンピュータにより実行される指令の組合せのみならず、各指令に従ってコンピュータにより処理されるファイルやデータをも含むように解釈することが可能である。

【0054】

(10) (9)項に記載のプログラムをコンピュータ読取り可能に記録した記録媒体。

【0055】

この記録媒体に記録されたプログラムがコンピュータにより実行されれば、前記(1)ないし(8)項のいずれかに記載の方法におけると基本的に同じ原理に従い、同様な効果が実現され得る。

【0056】

本項における「記録媒体」は種々の形式を採用可能であり、例えば、フレキシブルディスク等の磁気記録媒体、CD、CD-ROM等の光記録媒体、MO等の光磁気記録媒体、ROM等のアンリムーバブル・ストレージ等の少なくとも1つを採用可能である。

【0057】

(11) 前記(1)ないし(8)項のいずれかに記載の方法をコンピュータを用いて実施するシステム解析装置。

【0058】

この装置によれば、前記(1)ないし(8)項のいずれかに記載の方法におけると基本的に同じ原理に従い、同様な効果が実現され得る。

【0059】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のさらに具体的な実施の形態の一つを図面に基づいて詳細に説明する。

【0060】

本発明の一実施形態に従うバッファ予測方法は、概略的に説明すれば、図1に概念的にフローチャートで表すように、複数の構成要素を有する離散事象システム（以下、単に「システム」という。）において、各構成要素を遊休状態に陥らせる原因を構成する構成要素である原因要素と、その原因が各構成要素に波及する原因経路とを推定する原因・経路推定工程を含んでいる。このバッファ予測方法は、バッファ敷設効果予測方法に言換えることが可能である。

【0061】

このバッファ予測方法は、さらに、そのシステムにおけるバッファの変更（変更位置または変更量）と各構成要素のスタービング時間（部品不足状態の継続時間）またはブロッキング時間（部品搬出不能状態の継続時間）の削減量との間における、時間に依存しない数学的な関係に従い、バッファの変更からスタービング時間またはブロッキング時間の削減量を推定する削減スタービング／ブロッキング時間推定工程を含んでいる。

【0062】

このバッファ予測方法は、さらに、そのシステムへのバッファの割り当て（設置位置およびバッファ容量に関する）を最適化するバッファ最適化工程を含んでいる。

【0063】

そのシステムは、複数の要素であって様々な作用を行うものにより構成されている。このシステムは、作用を行わない被処理対象物を含まないか、または含んでいる。要素は、例えば、被処理対象物を加工したり（変形させたり）搬送することにより、その被処理対象物に対して作用を行うことが可能である。要素はさらに、他の要素に対して作用を行うことも可能である。

【0064】

そのようなシステムの一例が生産ラインに関するものである。そこでの被処理対象物は、処理、すなわち、結合、変形または分離が行われる部品である。その処理を行う要素は、その処理を行う機械である。

【0065】

しかしながら、要素は被処理対象物に対して変形を行うもののみではない。自動誘導車または作業者のように、被処理対象物を搬送する要素も存在することが可能である。いくつかの要素は、例えば、必要な場合に他の要素を修理する修理チームとして、他の要素に対してサービスを行うことが可能である。さらに、他の要素は、そのシステム内に被処理対象物を搬入したり、そのシステムからその被処理対象物を取り外したりするために利用することが可能である。最後に、いくつかの要素は、上述の複数の用途のうちのいくつかの組合せのために利用することが可能である。

【0066】

以上説明した要素は一般的なものであるが、ここに説明されていない他の要素についても、本発明を適用することが可能である。

【0067】

普通、それら要素のすべては、ある時間内に行うことが可能である作用の数によって制限される。そのため、システム全体は、ある時間内にそのシステムを通過可能である部品の数によって制限される。いくつかの要素は、他の要素より大きな影響をシステム全体の性能に与える。本実施形態においては、様々な要素がシステム全体の性能に与える影響が測定される。多くの場合には、いくつかの要素は、他の要素より多く、システム全体の処理能力（スループット）を制限する。それら要素は、一般に、ボトルネックまたはコンストレイントと称される。

【0068】

本実施形態においては、必要な情報を取得するために、作動中のシステムが観測される。この観測は、例えば、生産ラインを見たり、シミュレーション・データを収集することにより行われる。必要な情報は、各要素についてのデータ（時系列データ）のリストであっ

て、各時期における各要素の状態を詳細に示すものである。

【0069】

図2は、ある時間中における機械（例えば、加工機）の状態の一例を示している。その機械は、いくつかの期間には部品に関して稼動し、別の期間には遊休状態の一例であるスタービング状態の一例となつて新たな部品を待ち、別の期間には、搬出側の待ち行列がいっぱいであるためにブロッキング状態となつて、処理済みの部品がすべて搬出されるのを待ち、そして、別の期間には故障して修理中となる。

【0070】

ここに、ブロッキング状態とは、例えば、その機械に続く装置、例えば、バッファ、別の機械、コンベヤベルト等が稼動状態で部品を取り扱うことができないため、その機械が、完成した部品を搬出することができない状態をいう。

【0071】

図3は、様々な機械についてのデータ集合の一例を示す。この例においては、機械の名称と時間とが、機械の状態の各変化ごとに与えられている。同図においては、状態0が稼動状態、状態1がスタービング状態、状態2がブロッキング状態、状態3が、故障して自己修理中である状態をそれぞれ示している。同図に示すデータのリストは、本実施形態を実施するために必要なものである。

【0072】

このバッファ予測方法につき、理論的背景および具体的手法を説明する。

1 シミュレーション例

【0073】

図4には、このバッファ予測方法が実施されるシステムの一例が概念的にブロック図で表されている。このバッファ予測方法は、そのシステムの時間的挙動であつてコンピュータによる1回のシミュレーションによつて解析されたもの（または現実のシステムを測定することによつて取得されたもの）に基づいて実施される。したがつて、図4に示す例は、シミュレーションの実施対象の一例でもある。

【0074】

ここに「シミュレーション」という用語は、例えば、「実体を模擬して、コンピュータ・プログラム言語によつて表現されたモデルを時系列的に変化させ、それにより、実体の動的挙動に関する情報を取得する処理」として定義することが可能である。このように、シミュレーションは、時間に依存する処理であると考えられるのである。

【0075】

上記のシステム例は、生産システムであり、図4に示すように、M1からM7までの名称が付された7台の機械を備えている。それら機械は、上流側の直線部と、2つの流れに分岐した分岐部と、下流側の直線部とによつて構成される生産ラインに沿つて流れるようになってい

【0076】

さらに、この生産システムにおいては、各機械の前方または後方に9個のバッファ位置が設定されている。機械M3、M5およびM6の前方に設置されるバッファにはそれぞれBM3、BM5およびBM6という名称が付されており、これに対し、機械M1、M2、M3、M4、M5およびM6の後方に設置されるバッファにはそれぞれAM1、AM2、AM3、AM4、AM5およびAM6という名称が付されている。この生産システムにおいては、最初の機械M1は決してスタブしないし、最後の機械M7は決してブロックされない。

【0077】

この生産システムにおいては、機械のサイクルタイムは一定であるが、指数関数的に分布する故障時間によつて機械が不規則に遅延するようになっている。あるシミュレーション・ソフトウェアを用いてこの生産システムについてシミュレーションを行ったところ、その時間は、シミュレーション500日分であつた。

【0078】

この生産システムにおいては、機械M3が主要なボトルネックであり、機械M2、機械M5および機械M6が副次的なボトルネックであり、そのシステムはバランスが良い。そのシステムにおいては、55.7s(秒)ごとに1個の部品が完成し、すなわち、1時間当たり平均して64.7個の部品が完成する。

【0079】

2 バッファ予測モデル

【0080】

このバッファ予測方法は、バッファ予測モデルを想定して実施される。このバッファ予測モデルは、バッファのサイズの増加によってシステムの処理能力に生ずる効果を推定することを目的として構築されている。

【0081】

2.1 バッファ予測モデルの概要

【0082】

生産システムにおいてバッファサイズを変更したことによる効果を予測する方法を概略的に簡単に説明する。図5には、このバッファ予測モデルの概略がフローチャートで表されており、さらに、このバッファ予測方法において用いられるいくつかの記号が記載されている。図69および図70には、それら記号の定義が示されている。

【0083】

このバッファ予測方法を実施するに先立ち、初期のシステムについて統計的な解析を多数回行うことが必要である。この解析には、(a)機械の稼働率と、初期のシステムの性能と、機械の待ち時間(「遊休時間」ともいう)の分布とを決定するための基本的な統計的解析と、(b)システムの各構成要素がボトルネックとして作用するボトルネック確率を決定するためのボトルネック検出解析とがある。

【0084】

このバッファ予測方法は、さらに、機械のスタービングおよびブロッキングの原因要素と、ブロック/スターブ(「ブロックまたはスターブ」という意味である。以下、同じ。)された機械とそのブロック/スターブの原因要素との間におけるバッファとを特定するために、スタービングおよびブロッキングという事象の解析を必要とする。

【0085】

この初期の統計的解析の終了後、バッファ容量を選択して変更することができる。これは、解析者によって行われるか、または最適化プログラムによって自動的に行われる。ボトルネックの確率および他の情報に基づき、変更されたバッファ内の平均部品数および平均スペース数が推定される。

【0086】

この推定を行うために利用可能な方法が多数存在するが、本実施形態においては、全バッファ内の部品/スペース(「部品またはスペース」という意味である。以下、同じ。)の平均追加数と機械のブロッキングおよびスタービングの原因とに基づき、種々の機械*i*について、平均部品数の追加量 ΔF_i と、平均空スペース数の追加量 ΔE_i とが推定される。

【0087】

次の工程においては、全機械について、遊休時間が減少する時間的割合が解析される。この工程はやや複雑で、例えば機械の待ち時間の分布、稼働率、1部品当たりの作用時間である単位作用時間(Time Per Part)など、更なるデータを多数必要とする。機械の遊休(ブロックまたはスターブされた)時間の減少量の推定値は、その後、ボトルネック確率を用いることにより、システムの性能の減少量の推定値にまとめられる。これにより最終的に、変更されたシステムの、システム全体の性能を予測することが可能になる。

【0088】

2.2 スタービングまたはブロッキングの原因

【0089】

バッファは、機械のブロッキングおよびスタービングの期間を削減し、システム内における物の流れを円滑化することを目的とする。そして、最初の工程においては、ブロックまたはスターブされた機械の原因が決定される。

【0090】

バッファの効果を知るためには、不十分なバッファ容量によってスターブまたはブロックされた機械がいずれであるかを知ることが必要である。したがって、ブロックまたはスターブの原因を構成する要素だけでなくブロッキングおよびスタービングの経路を決定するために、すべてのブロッキングおよびスタービングの事象が辿られる。このバッファ予測方法の全体を詳述する前に、まず、いくつかの事例研究の一覧を紹介する。

【0091】

2. 2. 1 事例研究

【0092】

2. 2. 1. 1 直線的なライン

【0093】

最も単純な事例は直線的なラインである。図6は、3台の機械M1、M2、M3と2個のバッファB1、B2とを有する単純なラインを示している。

【0094】

明らかに、機械M2におけるブロックはバッファB2に起因する。しかし、バッファB2は必ずしもそのブロックの本来の原因であるとは限らない。バッファB2が満杯である場合には、そのブロックは同じライン上の最後の機械M3によって引き起こされる。したがって、機械M2におけるブロックはバッファB2を介して機械M3によって引き起こされたことになる。

【0095】

しかし、バッファB2が満杯ではなく、しかも、そのバッファB2の速度のみが機械M2のわずかな遅れを生じさせる可能性もまた存在する。この場合、そのブロックはバッファB2に起因する。

【0096】

同様の論理を機械M2のスタービングの解析に利用することが可能である。機械M2がスターブされる場合、そのスターブはバッファB1に起因する。バッファB1が空である場合には、そのスターブは最初の機械M1に起因する。バッファB1が空ではない場合には、スターブは、バッファB1の不十分な速度のせいで、そのバッファB1に起因する可能性がある。

【0097】

2. 2. 1. 2 分枝したライン

【0098】

ラインが分枝している場合、全体のアプローチはより複雑になる。図7は、4台の機械を有する分枝システムを示している。説明を単純にするためにバッファは設定していない。機械M1がブロックされる場合、そのブロックは機械M2もしくは機械M3または両者を経由して発生する可能性があり、さらに、後続する3台の機械M2、機械M3および機械M4うちのいずれかに起因する可能性がある。

【0099】

ブロッキングが機械M4に起因する場合には、そのブロックの原因要素を決定することが重要であるのみならず、そのブロックの経路を決定することも重要である。例えば、機械M1が機械M2を経由して機械M4によってブロックされた場合には、機械M3は機械M1のブロックとは無関係であるため、機械M3の周辺のバッファの改善が必ずしもそのラインの処理能力の改善にはならない。

【0100】

2. 2. 1. 3 リバース・ブロッキング

【0101】

更に複雑な事例については、ある機械が別の機械によりブロックされる可能性があり、そ

の別の機械は、そのある機械より下流側にあるのではなく、並列または上流側にある可能性がある。

【0102】

図8の例においては、機械M1および機械M2は機械M3のために部品を供給し、機械M3は、稼動（work）するために機械M1および機械M2の双方から部品を必要とする（例えば、機械M3は機械M1からの部品と機械M2からの部品とを組み立てる）。

【0103】

機械M1がブロックされる場合、機械M3は機械M1から部品を受け取ることができない。これは、機械M3が稼動中であることが原因である可能性がある。しかし、機械M3は機械M2から部品を受け取れないためにスターブされる可能性もある。したがって、機械M1におけるブロックは機械M2に起因し、すなわち、そのブロックの原因は、機械M1から機械M3まで下流に向かって辿られ、その後、上流に向かって機械M2まで再び辿られる可能性がある。

【0104】

2.2.1.4 リバース・スタービング

【0105】

図9に示すように、同様の事例がスタービングの状態でも観察される。機械M2は、機械M1が機械M3によってブロックされているためスターブされる可能性がある。したがって、機械M2のスターブは機械M3に起因する。

【0106】

2.2.2 ブロッキングおよびスタービングについての一般的な理論

【0107】

スタービングおよびブロッキングという事象を上流側または下流側に辿るための論理を詳述する。その論理は大部分の事例に当てはまるが、時にブロックまたはスターブの正確な原因が決定しない状況が存在する。後述の論理は最良の推定を可能にするが、時には正確な原因を決定するために更なる情報を必要とする。また、複数の上流側もしくは下流側における機械またはバッファが利用可能である場合、ブロッキングまたはスタービングの最も確からしい原因を決定するために順位付けが行われる。

【0108】

2.2.2.1 スタービングについての一般的な理論

【0109】

上流側対象物については基本的に6つの可能性が存在する。図10は、図11および図12の表記法の解説を示す。

【0110】

1台の機械がスターブされたと仮定すると、スターブされた機械の上流側に対象物（バッファまたは機械）が1個存在する。図11には、可能性のある対象物が5個示されている。これら対象物は次のとおりである。

【0111】

スタービング状況（1）

【0112】

上流側対象物もまた、スターブされた機械である。この場合、スターブの原因調査は上流に向かって続けなければならない。

【0113】

スタービング状況（2）

【0114】

上流側対象物が空のバッファである。この場合、空のバッファの原因を決定することによってスタービングの原因調査を上流に向かって続けなければならない。

【0115】

スタービング状況（3）

【0116】

上流側対象物が、作用状態にある機械である。この場合、スタービングは、その作用状態にある機械によって引き起こされている。この場合、以上で、スタービングの原因調査が終了する。

【0117】

スタービング状況(4)

【0118】

上流側対象物が、ブロックされた機械である。この場合、スタービングは、ブロックされた上流側機械によって引き起こされており、したがって、そのスタービングの最終的な原因を決定するために、ブロックされた機械を下流に向かって辿らなければならない。

【0119】

スタービング状況(5)

【0120】

上流側対象物が、空でも満杯でもないバッファである。この場合は、決して明確ではないが、バッファがスターブされた機械に部品を出荷する途中であるが、その不十分なバッファ速度のせいで、(空ではない)バッファが下流側機械をスターブさせたと仮定する。この場合、以上で、そのスタービングの原因調査が終了する。

【0121】

2.2.2.2 ブロッキングについての一般的な理論

【0122】

上流側機械による1台の機械のスタービングの場合と同様に、1台の機械は下流側対象物によってブロックされ得る。図12は、ブロッキングの状況について5つの基本的な可能性を示している。

【0123】

ブロッキング状況(1)

【0124】

下流側対象物もまた、ブロックされた機械である。この場合、ブロッキングの原因調査は下流に向かって続けなければならない。

【0125】

ブロッキング状況(2)

【0126】

下流側対象物が満杯のバッファである。この場合、満杯のバッファの原因を決定することによってブロッキングの原因調査を下流に向かって続けなければならない。

【0127】

ブロッキング状況(3)

【0128】

下流側対象物が、作用状態にある機械である。この場合、ブロッキングは、作用状態にあるその機械によって引き起こされる。この場合、以上で、そのブロッキングの原因調査が終了する。

【0129】

ブロッキング状況(4)

【0130】

下流側対象物が、スターブされた機械である。この場合、ブロッキングは、スターブされた下流側機械によって引き起こされ、したがって、ブロッキングの最終的な原因を決定するために、スターブされた機械を上流に向かって辿らなければならない。

【0131】

ブロッキング状況(5)

【0132】

下流側対象物が空でも満杯でもないバッファである。この場合、決して明確ではないが、そのバッファがブロックされた機械から部品を受け取る途中であるが、その不十分なバッファの速度のせいで、(決して満杯ではない)バッファが上流側機械をブロックさせたと

仮定する。この場合、以上で、そのブロッキングの原因調査が終了する。

【0133】

2. 2. 2. 3 スタービングの順位付け

【0134】

1台の機械が、そのスタービングの原因要素として、上流側対象物または下流側対象物を1個のみ有するのではなく、上流側および下流側にある複数の対象物（例えば、1台の機械に関して互いに並列となる関係を有する複数の設備）を有する場合がある。この場合、スタービングの原因を調査するためにあるアルゴリズムを利用しなければならない。

【0135】

その調査のため、上流側および下流側にある複数の機械が順位付けされる。その重み付け法は、上流側に1個以上の同一の対象物が存在する場合に利用される。例えば、1台の機械をその上流側においてスターブさせる2台の機械であって共に作用状態にあるものが存在する場合、それら2台の機械は、そのスターブの原因を半分ずつ有すると判断される。スターブしている機械の上流側にある複数の対象物についての順位付けは次のように行われる。

【0136】

順位1：スタービング状況（1）

【0137】

スターブされた機械が上流側にもう1台存在する場合、そのスターブされた機械を上流に向かって辿る。スターブされた機械が上流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0138】

順位2：スタービング状況（2）

【0139】

上流側に空のバッファが存在する場合、この空のバッファを上流に向かって辿る。繰り返すが、空のバッファが上流側に複数個存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0140】

順位3：スタービング状況（3）

【0141】

作用状態にある機械が上流側に存在する場合、スタービングは、その作用状態にある機械によって引き起こされる。作用状態にある機械が上流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0142】

順位4：スタービング状況（4）

【0143】

ブロックされた機械が上流側に存在する場合、スタービングの原因でもあるブロッキングの原因を調査するために、そのブロックされた機械を下流に向かって辿る。ブロックされた機械が上流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0144】

順位5：スタービング状況（5）

【0145】

空でないバッファが上流側に存在する場合、問題の機械は上流側バッファの速度が原因でスターブされている。空でないバッファが上流側に複数個存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0146】

したがって、例えば、作用状態にある機械とスターブされた機械とが上流側に存在する場合、前記アルゴリズムは、作用状態にある機械（順位3）を無視し、スターブされた機械（順位1）を上流に向かって辿る。2個の対象物が同じ順位を有する場合、正確な原因は

決定され得ないが、両方の対象物が辿られ、スタービングの原因要素が2つ存在する可能性があることになる。

【0147】

2. 2. 2. 4 ブロッキングの順位付け

【0148】

スタービング状況と同様に、ブロッキング状況についても各対象物が順位付けされる。複数個の対象物が下流側に存在する場合、順位付けは次のように行われる。

【0149】

順位1：ブロッキング状況(1)

【0150】

ブロックされた機械が下流側にもう1台存在する場合、そのブロックされた機械を下流に向かって辿る。ブロックされた機械が下流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0151】

順位2：ブロッキング状況(2)

【0152】

下流側に空のバッファが存在する場合、この空のバッファを下流に向かって辿る。空のバッファが下流側に複数個存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0153】

順位3：ブロッキング状況(3)

【0154】

作用状態にある機械が下流側に存在する場合、そのブロッキングは、その作用状態にある機械によって引き起こされる。作用状態にある機械が下流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0155】

順位4：ブロッキング状況(4)

【0156】

スターブされた機械が下流側に存在する場合、ブロッキングの原因でもあるスタービングの原因を調査するために、そのスターブされた機械を上流に向かって辿る。スターブされた機械が下流側に複数台存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0157】

順位5：ブロッキング状況(5)

【0158】

空でないバッファが下流側に存在する場合、問題の機械は下流側バッファの速度が原因でブロックされている。空でないバッファが下流側に複数個存在する場合、それら各々を辿るとともに、それらの経路に同じ重みを与える。

【0159】

2. 2. 3 ブロッキングおよびスタービングの原因

【0160】

今回着目している生産システムは、全機械のブロッキングおよびスタービングの原因を決定するために解析された。図13は、各機械が別の機械によってスターブされる確率を示している。

【0161】

図13は、1台の機械(同図の右側における座標軸上にある)が別の機械(同図の下部における座標軸上にある)によってスターブされた時間的割合(スタービング時間が前記システムの全解析時間を占有する比率)をパーセントで示している。例えば、最大のスタービング可能性(最も高い柱)に注目すると、機械M4は機械M3によって約26パーセントの時間的割合でスターブされた。機械M3は前記システムのボトルネックであり、機械

M4は、本生産システムにおいては、機械M3より非常に高速であるため、これは驚くことではない。

【0162】

更に興味深いことは機械M3のスターピングである。機械M3はシステムの主要なボトルネックであり、上流側にある機械M2によって約2パーセントの時間的割合でスターブされた。しかし、機械M3も、機械M5によって約2.1パーセントの時間的割合でスターブされた。しかしながら、機械M5は機械M3の上流側にも下流側にも存在しない。その代わりに、機械M5は機械M3と並列の経路上にある。このことは、機械M3は機械M2によってスターブされ、その機械M2は機械M5によってブロックされたことを意味する。いくつかの事例においては、機械M5が機械M2をブロックすることにより、機械M3が、機械M6および機械M7さえによっても（それぞれ0.8パーセントおよび0.7パーセントの時間的割合で）スターブされた。

【0163】

同様に、機械M5は、上流側の機械M2によって（3.2パーセントの時間的割合で）スターブされたのみならず、それと並列の機械M3によって（1.9パーセントの時間的割合で）スターブされた。

【0164】

図14は、各機械が別の機械によってブロッキングされる確率を示している。例えば、機械M1は、全解析時間の大半において、それに後続する機械M2によって（31パーセントの時間的割合）ブロックされ、機械M6は下流側の機械M7によって（27パーセントの時間的割合）ブロックされる。このシミュレーションにおいては、並列の経路におけるスターピングに起因したブロッキングは発生しない。

【0165】

2.2.4 ブロッキングおよびスターピングの経路

【0166】

ブロッキングおよびスターピングという挙動はさらに、図15および図16に示すように表現することもできる。

【0167】

図15は、機械M3について、それにブロッキングを発生させる経路とスターピングを発生させる経路とを示している。すべてのスターピング時間のうち、約30パーセントは機械M2に起因し、約60パーセントは機械M5に起因するかまたは機械M5を経由する。機械M5は、機械M3のスターピング時間の30パーセントを発生させ、機械M6および機械M7はそれぞれ、機械M5を通過することにより、スターピング時間の15パーセントを発生させる。

【0168】

機械M3はさらに、時々ブロックされる。すべてのブロッキングが機械M4を通過するが、機械M4に起因するブロッキングはほとんど存在しない。その代わりに、機械M3が機械M7によってほとんどブロックされ、さらに機械M6によってもブロックされる。

【0169】

図16には、同様のグラフが機械M5について作成されている。機械M5は上流側の機械M2によってスターブされるだけでなく、それと並列の機械M3によってもスターブされ、機械M4によってもスターブされる。下流側のブロッキングは、予想通り、機械M6および機械M7のみに起因する。

【0170】

2.2.5 ブロッキングおよびスターピングについての要説

【0171】

バッファの増加により、関連機械のブロッキングおよびスターピングが減少する。上記の項は、どのバッファが潜在的に機械のブロッキングおよびスターピングに影響を及ぼすかについて詳述している。理論的には、多数のバッファ位置を取り得る。説明を簡単にするために、このアルゴリズムでは、バッファが各機械の直前および直後に配置され得ると推

定する。あるバッファが別の機械を緩和するモードが全部で4つ存在する。これら4つのモードは次に列記されており、さらに図17に表で表されている。

【0172】

モード1

【0173】

空のバッファの容量を増加させると、別の機械のブロッキングが減少する（例えば、図15においては、バッファAM4内のバッファ容量を増加させると機械M3のブロッキングが減少する）。

【0174】

モード2

【0175】

空のバッファ容量を増加させると、別の機械のスタービングが減少する（例えば、図16においては、バッファBM3内のバッファ容量を増加させると機械M5のスタービングが減少する）。

【0176】

モード3

【0177】

バッファ内の部品数を増加させると、別の機械のブロッキングが減少する（例えば、図8においては、機械M1の後方にあるバッファAM1内の部品数を増加させると機械M2のブロッキングが減少する）。

【0178】

モード4

【0179】

バッファ内の部品数を増加させると、別の機械のスタービングが減少する（例えば、図15においては、バッファBM3内の部品数を増加させると機械M3のスタービングが減少する）。

【0180】

したがって、ブロッキングおよびスタービングの状況を解析すると、あるバッファ位置が別の機械に影響を及ぼす時間的割合が決定される。その時間的割合が、前述のモード1ないし4についてそれぞれ、図18ないし図21に表で表されている。図18ないし図21に示す結果は、後述の図50または図51のルーチンがコンピュータ20によって実行されることによって取得される。

【0181】

図18は、モード1につき、各機械がブロックされる時間的割合（ブロックされる時間の、総時間に対する比率。以下、単に「時間の比率」ともいう。）を示しており、そのブロックという事象は、バッファ内に利用可能な自由なスペースがより多くあれば減少する可能性がある。

【0182】

例えば、機械M1は46.1パーセントの時間的割合でブロックされる。機械M1がブロックされるごとに、そのブロックは、それに隣接するバッファAM1を通過する。このバッファAM1に利用可能な自由なスペースが追加されれば、機械M1のブロッキングが減少する。

【0183】

しかし、機械M1がブロックされるのは4.4パーセントの時間的割合のみであり、そのブロックはバッファBM3を通過する。バッファBM3に利用可能なスペースを追加すれば、ブロッキング時間の減少によって、機械M1の搬出時間間隔TBPの4.4パーセントのみが減少することが可能である。バッファj内の空のスペースが機械iのブロッキングを減少させる時間的割合をPBE_{Bj, i}で表す。

【0184】

なお付言するに、搬出時間間隔TBPは、ある機械から、先行する処理済み部品が1個搬

出された瞬間と、後続する処理済み部品が1個搬出された瞬間との間における時間間隔を意味し、搬出部品間隔ともいう。ただし、機械ごとの搬出時間間隔間隔と、システム全体としての搬出時間間隔とは必ずしも一致しない。

【0185】

図19は、モード2につき、各機械がスタープされる時間的割合を示しており、バッファ内の自由なスペースがより多く利用可能になれば、そのスタープは減少し得る。この現象は分枝システム内において時々発生し、その分枝システムにおいては、別の機械がブロックされるためにある機械がスタープされるとともに、別の機械のブロッキングが減少すればそのある機械のスタープが減少する。

【0186】

例えば、バッファBM5によって機械M2がブロックされるために、機械M3は3.4パーセントの時間的割合でスタープされる。バッファj内の空のスペースが機械iのスタープに与える効果をPBES_{j, i}と称する。

【0187】

図20は、モード3につき、各機械がブロックされる時間的割合を示しており、別のバッファ内において利用可能な部品が増加すると、そのブロックは減少する。この現象は、分枝システム内において時々発生し、その分枝システムにおいては、別の機械がスタープされるためにある機械がブロックされるとともに、別の機械のスタープを減少させるとそのある機械のブロックが減少する。

【0188】

しかし、説明した例は、そのような効果を示しておらず、図20の表における各値はすべて0である。バッファj内の部品数の増加が機械iのブロッキングに与える効果をPBF_{Bj, i}で表す。

【0189】

図21は、モード4につき、各機械がスタープされる時間的割合を示しており、別のバッファ内において利用可能な部品が増加すると、そのブロックは減少する可能性がある。例えば、機械M6は、バッファAM4を介して6.5パーセントの時間的割合でスタープされる。バッファj内の部品数の増加が機械iのスタープに与える効果をPBF_{Sj, i}と称する。

【0190】

3.3 有効バッファサイズ

【0191】

以上においては、部品数またはバッファの容量の増加が別の機械の遊休時間にどのようにして影響を与えるかを説明した。しかし、バッファにおいては、部品数または利用可能な容量は無限ではない。第1に、たいていのバッファはサイズによって制限される。第2に、部品または利用可能なバッファスペースの数は実際には、バッファ内の平均部品数およびバッファのサイズに依存している。

【0192】

例えば、図4に示す生産システムにおいては、バッファAM1は機械M1のブロッキングに影響を与える。バッファAM1内の自由なスペースを追加すると、機械M1がブロックされる可能性が減少する。しかし、バッファAM1はほとんど常に満杯である。そのバッファのスペースが少数増加しても、それらスペースはほとんど直ちに満杯になってしまい、長時間の挙動を見ると、機械M1に変わりはない。

【0193】

したがって、自由なスペースの平均数および利用可能な部品の平均数を推定するために、バッファ内の平均部品数を決定する必要がある。例えば、バッファAM3が10個というサイズを有していて、4個という平均部品数を有している場合、これは、平均して4個の部品が機械M4にとって利用可能であり、一方で、平均して6個のスペース（10個の容量から4個の部品を引き算する）が機械M3が部品を搬出するために利用可能であるということの意味する。

【0194】

図22に式で示すように、あるバッファjが満杯である平均満杯率が PBF_j として示され、それとバッファ内平均部品数 BF_j との関係が、バッファ容量 BC_j を用いて構成される。この式によれば、バッファjにつき、平均満杯率 PBF_j とバッファ容量 BC_j との積により、平均部品数 BF_j が計算される。この式はさらに、バッファjが空である平均空乏率 PBE_j と、バッファ内の平均自由スペース数 BE_j との関係も示している。この式によれば、平均自由スペース数 BE_j が、平均空乏率 PBE_j とバッファ容量 BC_j との積によって計算される。

【0195】

この式において、さらに、平均満杯率 BF_j と平均空乏率 PBE_j との関係および平均部品数 BF_j と平均スペース数 BE_j とバッファ容量 BC_j との関係も示されている。

【0196】

なお付言すれば、本実施形態において利用されるいくつかの数式は、時間を変数としないものと変数とするものを含んでいる。時間を変数としない数式を利用する場合には、当然に、システムを時系列的に模擬するシミュレーションを行うことなく、解を求め得る。これに対し、時間を変数とする数式は、本実施形態においては、統計的な規則を表現するものであるため、この数式についても、システムを時系列的に模擬するシミュレーションを行うことなく、解を求め得る。

【0197】

したがって、本実施形態においては、必要な解をすべて、そのようなシミュレーションによることなく求めることができ、システム解析のためのコンピュータ計算時間の大幅な短縮が容易となる。

【0198】

3.3.1 実験的な解析

【0199】

バッファ内の平均部品数を決定するために、2つの基本的な手法が存在する。最も簡単な手法は、バッファ内の平均部品数を単に測定することである。これは、測定可能なバッファがシミュレーション内に存在することを前提とすれば、バッファ内の平均部品数を決定する測定する最も簡単な手法である。この手法は、バッファのサイズが0である場合には機能しない。

【0200】

さらに、システムによっては、バッファサイズが増加するとバッファ内の平均部品数が増加する可能性がある。例えば、図23は、バッファサイズが1である場合のバッファAM3をヒストグラムで示している。バッファ内の平均部品数は0.05部品、すなわち、5容量パーセント（全容量の5パーセント）である。

【0201】

しかし、バッファサイズが10に変化すると、それら値は変化する。図24は、サイズが10であるバッファをヒストグラムで示している。この例においては、いずれの時期においても、6個より多数の部品が存在することはない。このように、バッファサイズが10に変化すると、平均部品数は0.14すなわち1.4容量パーセントに変化する。したがって、平均部品数および容量の双方が変化する。そのため、バッファサイズを増加させる場合には、利用可能な部品数の予測がより困難になる。

【0202】

3.3.2 理論的な解析

【0203】

バッファ内の平均部品均数を実験的に解析する際の問題は、バッファがシミュレーション内に存在しなければならないということである。バッファが存在しない場合、平均部品数は測定できない。したがって、現実のバッファを実際に測定することなく、バッファ内の平均部品数を理論的に推定することは興味深いことである。

【0204】

このバッファ予測方法においては、現実のバッファの測定値なしでバッファ内の平均部品数が推定される。この推定は、あるシステム内においてある機械がボトルネックであるボトルネック確率に基づいている。その基礎的な概念は、ボトルネックの上流側にあるバッファは満杯である傾向があり、一方、ボトルネックの下流側にあるバッファは空である傾向があるというものである。

【0205】

上流側と下流側との間におけるボトルネック確率の関係から、バッファ内の平均部品数を推定することができる。ここで用いられている例は、図4に示されている例である。図25には、ほとんどすべてのバッファの容量が0または1である初期のシステムについてのボトルネック確率（全ボトルネック確率、すなわち、ある機械が単独でボトルネックである確率と、複数の機械間においてボトルネックがシフトするシフティング・ボトルネックである確率との合計値）が表で示されている。

【0206】

バッファAM1について次の例を仮定する。今回の手法における第1の工程は、バッファAM1の上流側と下流側とについてボトルネック確率の合計値を計算することである。

【0207】

上流側ボトルネック確率は、単に機械M1のボトルネック確率であり、それは0パーセントである。したがって、上流側ボトルネック確率の合計値は、0パーセントである。

【0208】

図26に示すように、機械M2の後方において今回のシステムは分枝するため、下流側ボトルネックは上流側ボトルネックよりわずかに複雑である。現在、その分岐部には、分枝したボトルネックの重みを1/2に減らすとともに、それぞれの分枝を最後まで辿る技術が組み合わされる。したがって、下流側ボトルネック確率の合計値は、機械M2のボトルネック確率に、第1の分枝部M3-M4-M6-M7についてのボトルネック確率の1/2（重み付けボトルネック確率）と、第2の分枝部M5-M6-M7についてのボトルネック確率の1/2（重み付けボトルネック確率）との和を加算したものである。

【0209】

機械M6および機械M7についてのボトルネック確率は、それぞれの分岐部において1/2として重み付けされており、よって、それらボトルネック確率は、それら機械M6およびM7の全ボトルネック確率の計算に用いられる。したがって、バッファAM1の下流側ボトルネック確率の合計値（全重み付けボトルネック確率）は、 $M2 + (M3 + M4 + M6 + M7) / 2 + (M5 + M6 + M7) / 2 = 121$ パーセントである。この合計値は、シフティング・ボトルネックの影響と単独ボトルネックの影響との双方を含むため、100パーセントを超える可能性がある。

【0210】

したがって、バッファAM1の満杯率Zは、下流側ボトルネック確率Y（M2のボトルネック確率と（M3+M4+M6+M7）についての重み付けボトルネック確率と（M5+M6+M7）についての重み付けボトルネック確率との和）を上流側ボトルネック確率X（M1のボトルネック確率）と下流側ボトルネック確率Yとの合計値で割り算したものと推定される。それら3者間の関係は、

$$Z = Y / (X + Y)$$

で表される。したがって、この例においては、バッファAM1はほぼ100パーセント満杯であると推定される。

【0211】

これに対し、バッファBM1の満杯率Zは、上流側ボトルネック確率Xを上流側ボトルネック確率Xと下流側ボトルネック確率Yとの合計値で割り算したものと推定される。

それら3者間の関係は、

$$Z = X / (X + Y)$$

で表される。

【0212】

図27には、バッファの満杯率に関し、測定結果（実測値）と比較しつつ推定値（予測値）が表で示されている。測定結果は、多種類のバッファの構成に起因するとともに、システムの変更がボトルネック確率に、ひいてはバッファの推定値に与える効果は含んでいない。いくつかのバッファについては、測定値がまったく取得されていない。

【0213】

図28には、複数のバッファにつき、バッファサイズと平均部品数との関係が測定値と予測値とに関して対比的に複数のグラフで示されている。ただし、それらグラフのスケールはすべて同じであるわけではない。

【0214】

図28に示す測定値および予測値は、初期のシステム（バッファの容量が増加させられる前のシステム）のボトルネック確率に基づいている。それら予測値を導いた予測モデルは、シミュレーションの初期設定（バッファAM1、AM2、AM3、BM6およびAM6は0の容量を有し、バッファBM3、AM4、BM5およびAM5は1の容量を有する）に基づいている。

【0215】

ほとんどのバッファについて今回の予測モデルが適切であるということが分かる。バッファAM2、BM3、BM5およびAM5についての予測値は、バッファ処理能力を解析するモデルにおいて使用するのに十分なほど正確である。

【0216】

3.3.2.1 ボトルネック確率の変化に起因する予測誤差

【0217】

バッファサイズが大きく変化すると、ボトルネック確率が変化する。バッファ内の平均部品数がボトルネック確率に基づくため、バッファ内の平均部品数の予測値もまた変化する。

【0218】

図29には、2種類のバッファ構成についてボトルネック確率（全体ボトルネック確率、すなわち、単独ボトルネック確率とシフティング・ボトルネック確率との合計値）が表で示されている。初期のバッファ（バッファAM1、AM2、AM3、BM6およびAM6は0の容量を有し、バッファBM3、AM4、BM5およびAM5は1の容量を有する）においては、機械M3が、62パーセントのボトルネック確率を有する主要なボトルネックであるが、機械M2、機械M5および機械M7もまた、20パーセントと30パーセントとの範囲内のボトルネック確率を有する重要な副次的なボトルネックである。

【0219】

図29中の最も右側の欄は、容量が20に増加させられたバッファAM2、BM3、AM3、AM4、BM5およびAM5についてボトルネック確率を示している。この場合、明らかに、機械M3は、99パーセントのボトルネック確率を有する主要かつ唯一のボトルネックであり、残りの機械は、2パーセント以下のボトルネック確率を有するそれほど重要ではないボトルネックである。

【0220】

図30には、初期のシステムと、容量が20に増加させられたバッファを有するシステムとの双方について、バッファの満杯率の測定値と予測値とが表で示されている。ボトルネック確率が変化したため、バッファの満杯率も変化した。

【0221】

図28を図31と比較する。図31も、バッファの満杯率の予測値と測定値との比較を示している。しかし、その予測値は、容量が20に増加させられたバッファAM2、BM3、AM3、AM4、BM5およびAM5についてのボトルネック確率に基づいている（図29において最も右側の欄参照）。バッファAM2、BM3、BM5およびAM5は相当に正確であり、バッファAM3およびAM4も真の測定値に近い。

【0222】

3.3.2.2 バッファ内平均部品数比率の減少に起因する予測誤差

【0223】

上記の予測モデルにおいては、バッファ内の平均部品数がバッファ容量のパーセント（バッファ内部品数比率）として与えられている。そのため、異なるバッファ間において計算および比較が容易にできる。

【0224】

しかし、バッファ内の部品数のパーセントは、バッファ容量の関数として変化する可能性もある。例えば、機械を1台のみ有する単純な待ち行列システムであって供給量を超える機械容量を有するものにおいては、バッファ内の平均部品数を計算することができる。例えば、その機械が1時間当たり6個の部品（指数分布）を加工することができるとともに、1時間当たり5個の部品（指数分布）が到着する場合、バッファの平均部品数を4.2個として計算し得る。大形のバッファ（容量>15）については、バッファ内の平均部品数は常に約4.2個である。

【0225】

したがって、バッファ内部品数比率は、バッファ容量が増加するとともに部品数が維持されることに伴って減少する。同様に、小形のバッファについては、バッファ内部品数比率が、待ち行列における待ち時間の分布によって増加する可能性がある。

【0226】

機械M4の後方にあるバッファAM4を例にとって説明する。このバッファはシステムの性能にほとんど効果を与えないため、この例は、変化するボトルネックにより干渉されることなく、種々のバッファサイズについて部品数を研究するのに好都合の例である。

【0227】

図32は、容量が5である場合についてバッファをヒストグラムで示している。そのバッファは、2個より多数の部品を収容することはほとんどなく、3個より多数の部品を収容する時期は皆無である。したがって、3個を超えるバッファサイズは、不使用のままである。

【0228】

このことは、図33にグラフで示されており、そこには、種々のバッファサイズについてのバッファ内平均部品数が左側の目盛り上に示されている。3個を超えるバッファサイズについては、平均部品数がほとんど変化しない。部品数が維持されるとともにバッファサイズが増加することに伴い、バッファ内部品数比率が減少する。このことは、図33において右側の目盛り上に示されている。

【0229】

したがって、特定のバッファサイズについてのバッファ内部品数比率の予測値は、別のバッファサイズのものとは大きく異なる可能性がある。この潜在的な誤差により、予測モデルの精度が減少する可能性がある。

【0230】

3.4 有効バッファ容量

【0231】

バッファの容量を増やすと、1台またはそれ以上の機械が影響を受ける。

【0232】

3.4.1 効果比率

【0233】

図18ないし図21においては、あるバッファが、ブロッキングまたはスタービングしている別の機械に影響を及ぼす時間（ブロッキング時間またはスタービング時間の減少量）の、総時間に対する割合である対総時間比率が考慮されている。この対総時間比率は、常に、その機械がブロックまたはスターブされる確率の合計値以下である。

【0234】

これに対し、あるバッファが別の機械に影響を及ぼす時間の、ブロッキング/スタービング時間に対する割合である対ブロッキング時間/スタービング時間比率（効果比率）が必要となる場合がある。

【0235】

この比率は、あるバッファが別の機械のブロッキングまたはスタービングに影響を及ぼす時間（減少ブロッキング時間または減少スタービング時間）の、総時間（前記システムの総解析時間）に対する比率を、その機械がブロックまたはスターブされる時間の、総時間に対する比率で割り算することによって計算できる。

【0236】

例えば、機械M3は、6.1パーセントの対総時間比率でブロックされる。さらに、バッファAM3の容量が増加すると機械M3のブロッキングが6.1パーセントの対総時間比率で減少する。したがって、バッファAM3により、機械M3のブロッキングが100パーセントの対ブロッキング時間比率で減少する。バッファAM6が機械M3のブロッキングを減少させる対総時間比率は2.8パーセントに過ぎないが、これは、45.9パーセントの対ブロッキング時間比率に相当する。

【0237】

図34には、バッファ位置内の容量が増加すると機械M3のブロッキングが減少する比率が対総時間比率と対ブロッキング時間比率とに関して表で示されている。機械M3は、6.1パーセントの対総時間比率でブロックされ、さらに、当然のことであるが、バッファAM3内のバッファ容量が増加すると、そのブロッキングが6.1パーセントの対総時間比率で、すなわち、100パーセントの対ブロッキング時間比率で減少する。

【0238】

あるバッファがブロックまたはスターブされている別の機械に与える効果比率を決定するために、図18ないし図21に示されている全データ（空スペースまたは部品を追加するとブロッキングまたはスタービングが減少する時間の、総時間に対する比率）を、その機械がスターブまたはブロックされる時間の、総時間に対する比率のうち対応するもので割り算する必要がある。

【0239】

図35に式で表すように、空のバッファjによってブロッキングが減少する場合に機械iがブロックされる時間の、そのブロッキング時間に対する比率 $P_{BEB-Ej, i}$ （効果比率）は、バッファj内の空のスペースによって機械iのブロッキングが減少する時間の、総時間に対する比率 $P_{BEBj, i}$ を、その機械iがブロックされる時間の、総時間に対する比率 P_{M-Bi} で割り算することによって計算される。

【0240】

同様のことが、機械iがスターブされるとともに空のバッファjによってそのスタービングが減少する時間の、そのスタービング時間に対する比率 $P_{BES-Ej, i}$ （効果比率）と、機械iがブロックされるとともに満杯のバッファjによってそのブロッキングが減少する時間の、そのブロッキング時間に対する比率 $P_{BFB-Ej, i}$ （効果比率）と、機械iがスターブするとともに満杯のバッファjによってそのスタービングが減少する時間の、そのスタービング時間に対する比率 $P_{BFS-Ej, i}$ （効果比率）とに当てはまる。

【0241】

図35においては、 $P_{BESj, i}$ が、機械iがスターブされるとともに空のバッファjによってそのスタービングが減少する時間の、総時間に対する比率を表し、 P_{M-Si} が、そのスタービング時間の、総時間に対する比率を表している。

【0242】

さらに、図35においては、 $P_{BFBj, i}$ が、機械iがブロックされるとともに満杯のバッファjによってそのブロッキングが減少する時間の、総時間に対する比率を意味している。さらに、 $P_{BFSj, i}$ が、機械iがスターブされるとともに満杯のバッファjによってそのスタービングが減少する時間の、総時間に対する比率を意味している。

【0243】

3.4.2 隣接バッファの容量の代表値

【0244】

前述のように、バッファ内の平均部品数は、バッファ j が空である空乏率 PBF_j と満杯である満杯率 PBE_j とによって決定される。ここでは、それらが、バッファ容量変化量 ΔB_j と、満杯および空である種々のバッファが複数の機械のブロッキングおよびスターピングに与える効果の比率 $PBE_{B-E_j, i}$ 、 $PBE_{S-E_j, i}$ 、 $PBF_{B-E_j, i}$ および $PBF_{S-E_j, i}$ とに組み合わせることが必要である。

【0245】

隣接バッファ容量の代表値は、
 バッファ j 内の空スペースの増加に起因する、機械 i の後方における代表的追加空スペース数 $\Delta BE_{B-A_j, i}$ と、
 バッファ j 内の空スペースの増加に起因する、機械 i の前方における代表的追加部品数 $\Delta BE_{S-A_j, i}$ と、
 バッファ j 内の部品の増加に起因する、機械 i の後方における代表的追加空スペース数 $\Delta BFB-A_j, i$ と、
 バッファ j 内の部品の増加に起因する、機械 i の前方における代表的追加部品数 $\Delta BFS-A_j, i$ と
 に区別される。このことがそれら4つの場合のすべてについて図36に式で表されている。

【0246】

例えば、機械 i の後方におけるバッファ j の容量を追加したときのそのバッファ j の代表的追加空スペース数 $\Delta BE_{B-A_j, i}$ は、バッファ j 内に空スペースを追加すると機械 i のブロッキングが減少する時間の、そのブロッキング時間に対する比率 $PBE_{B-E_j, i}$ と、バッファ j の空乏率 PBE_j と、バッファ j の容量変化量 ΔB_j との積により、計算される。

【0247】

また、機械 i の前方におけるバッファ j の容量を追加したときのそのバッファ j の代表的追加部品数 $\Delta BE_{S-A_j, i}$ は、バッファ j 内に空スペースを追加すると機械 i のスターピングが減少する時間の、そのスターピング時間に対する比率 $PBE_{S-E_j, i}$ と、バッファ j の空乏率 PBE_j と、バッファ j の容量変化量 ΔB_j との積により、計算される。

【0248】

例えば、バッファAM3のスペースが4個増加するとともに、バッファAM3が通常、その最大容量の23パーセントであるとする（図27参照）、そのバッファ内には平均して、3.08個の追加空スペースと0.92個の追加部品とが存在する。

【0249】

さらに、バッファAM3内の容量の追加は機械M3のブロッキングに、100パーセントの時間的割合で影響し、そして、この追加容量は100パーセントの時間的割合で使用され得る。したがって、バッファAM3内に3.08個の追加空スペースが存在すると、機械M3のブロッキングは100パーセントの時間的割合で影響を受け、すなわち、その3.08個のスペースは機械M2のブロッキング減少に対して100パーセントの効果を示す。

【0250】

しかし、バッファBM6のスペースが4個増加すると、このバッファBM6は常に容量の26.2パーセントまで満たされているため、平均的に、2.96個のスペースと1.04個部品とが追加される。さらに、バッファBM6は、77.05パーセントの時間的割合でのみ機械M3のブロッキングに影響を与え、その2.96個のスペースの追加は、77.05パーセントの時間的割合だけ有効である。このことは、機械M3のブロッキングを緩和するために、その機械M3の直後に2.30個のスペース（2.96個 \times 77.05パーセント）のみを追加することとして表現できる。

【0251】

あるバッファが別の機械のブロッキングに影響を与える時間的割合を、バッファサイズの

増加量およびバッファ内部品数比率に組み合わせることにより、その機械に隣接したバッファ内の部品／スペースの代表数を評価することが可能である。この計算は、下記に示すように、あるバッファが別の機械に影響を及ぼし得る種々の態様に関して、変更されたバッファが種々の機械に与える全効果について行うことが必要である。

- ・バッファ内の自由スペースの追加によりブロッキングが減少する態様
- ・バッファ内の自由スペースの追加によりスタービングが減少する態様
- ・バッファ内の利用可能部品の追加によりブロッキングが減少する態様
- ・バッファ内の利用可能部品の追加によりスタービングが減少する態様

【0252】

3. 4. 3 有効バッファ容量の組合せ

【0253】

すべてのバッファ増加量（自由スペースの増加量と部品の増加数とを含む）が種々の機械に与える効果を、それら機械に隣接する（仮想的な）バッファの代表的なバッファサイズに変換すれば、その代表的な隣接バッファ容量を、ブロッキングされている機械であるかスタービングされている機械であるかを区別しつつ、各機械ごとに加えることが可能である。

【0254】

ブロッキングを減少させるために機械 i の後方に利用可能スペースを追加する追加量 ΔE_i は、図37に式で表すように、バッファ j の空スペースの増加に起因する、機械 i の後方における代表的追加空スペース数 $\Delta B E B - A_j, i$ と、バッファ j 内の部品の増加に起因する、機械 i の後方における代表的追加空スペース数 $\Delta B F B - A_j, i$ との合計値である。

【0255】

これに対し、スタービングを減少させるために機械 i の前方に利用可能部品を追加する追加量 ΔF_i は、図37に式で表すように、バッファ j の空スペースの増加に起因する、機械 i の前方における代表的追加部品数 $\Delta B E S - A_j, i$ と、バッファ j 内の部品の増加に起因する、機械 i の前方における代表的追加部品数 $\Delta B F S - A_j, i$ との合計値である。

【0256】

例えば、図4において、バッファ $B M 3$ のスペースを4個増加させることが、機械 $M 2$ に隣接した0.90個の空スペースを表し、バッファ $B M 5$ のスペースを4個増加させることが、機械 $M 2$ に隣接する1.67個の空スペースを表すとすると、それら空スペースは組み合わせられて、機械 $M 2$ のブロッキングを減少させるのに利用可能な総空スペースが2.57個となる。

【0257】

同様に、バッファ $B M 3$ のスペースを4個増加させることと、バッファ $B M 5$ のスペースを4個増加させることがそれぞれ、機械 $M 6$ が利用可能な追加部品が0.36個であることと0.37個であることを表すとすると、それら利用可能な部品は組み合わせられて、機械 $M 6$ が利用可能な全部品は0.73個となる。この場合、この利用可能部品数の増加は2つの異なる効果に起因する。

【0258】

すなわち、まず、それらバッファ $B M 3$ および $B M 5$ 内の利用可能部品の増加により、 $(0.26 + 0.10) = 0.36$ という代表的隣接部品数を有する機械 $M 6$ を含む下流側のスタービングが減少する。

【0259】

さらに、バッファ $B M 3$ および $B M 5$ 内の利用可能な空スペースの増加によってそれより上流側のブロッキングが減少し、続いて、図1に示すシステムにおける並列分岐部における機械 $M 3$ 、 $M 4$ および $M 5$ のスタービングを減少させる可能性がある。

【0260】

例えば、バッファ $B M 3$ のスペースが追加されると、バッファ $B M 3$ が、機械 $M 2$ をブロ

ックさせることによって機械M5をスタブさせる可能性が低くなり、よって、バッファBM3内の利用可能スペースが機械M6をスタブさせる可能性も低くなる。したがって、機械M6が利用可能な部品の追加数は、 $(0.27 + 0.10) = 0.37$ として表され、結局、機械M6のスタビングを緩和するために利用可能な部品の追加数の合計値が $0.73 (= 0.36 + 0.37)$ となる。

【0261】

隣接する追加の空スペースであって代表的なものすべては、機械のために加えることが可能であり、さらに、隣接する追加の部品であって代表的なものすべては機械のために加えることが可能である。しかし、隣接する追加の空スペースであって代表的なもの、隣接する追加の部品であって代表的なものとは、互いに異なる効果を有するため、組み合わせることはしない。

【0262】

この計算後、各機械は、その機械の後方における代表的追加スペース数の、すべてのバッファ j ($j = 1 \text{ to } m$) についての合計値と、その機械の前方における代表的追加部品数の、すべてのバッファ j ($j = 1 \text{ to } m$) についての合計値とを有する。

【0263】

図38には、バッファBM3およびBM5のバッファ容量が5部品に増加された例について、代表的追加スペース数と代表的追加部品数とが表で示されている。この表は、機械M1の後方における追加空スペースが0.81個であることと、機械M2の後方における追加の空スペースが2.57個であることと、機械M3の前方における追加の部品が2.49個であることなどを表している。次の工程においては、それら追加スペース数および追加部品数が、削減遊休時間の推定値に変換される。

【0264】

3.5 削減待ち時間(削減遊休時間)

【0265】

次の工程においては、バッファサイズを増加させた場合に、種々の機械について削減待ち時間および削減ブロッキング時間が決定される。この決定には、種々の機械についての待ち時間の分布の測定値が必要である。

【0266】

3.5.1 単位作用時間TPP (Time Per Part)

【0267】

待ち時間に関連する基本的な問題は、スタブされた機械にとっては1個の部品、ブロックされた機械については1個のスペースが運転継続のために追加された場合に、どれくらいの時間が削減されるのかということである。今回のアルゴリズムにおいては、単位作用時間 TPP_i は、1個の部品が作用状態にある時間であると仮定されており、よって、修理時間および工具交換時間を含んでいる。機械 i についての単位作用時間 TPP_i は、 $TPP_i = TBP_i \cdot PM - A_i$

なる式を用いて計算される。すなわち、単位作用時間 TPP_i は、機械 i の搬出時間間隔 TBP_i の平均値に、機械 i が作用状態にある時間の比率である作用時間比率 $PM - A_i$ を掛け算することによって計算されるのである。

【0268】

機械 i の状態は、作用状態と非作用状態とに分類される。機械 i の作用状態は、機械 i の稼動状態と、他の作用状態すなわち例えば、修理状態および工具交換状態とを含んでいる。これに対し、機械 i の非作用状態は、共に遊休状態であるブロッキング状態とスタビング状態とを含んでいる。

【0269】

機械 i が稼動状態にある時間をサイクルタイムという。したがって、単位作用時間 TPP は、サイクルタイムと、稼動状態を除く作用状態に機械 i がある時間との和で表され、また、搬出時間間隔 TBP は、単位作用時間 TPP と機械 i が非作用状態にある時間との和で表される。

【0270】

図39には、各機械ごとに、平均搬出時間間隔 TBP_i と、作用時間比率 $PM-A_i$ と、平均単位作用時間 TPP_i とが表で示されている。例えば、スタブされた機械M4に利用可能な部品を1個追加すると、この機械M4はさらに103.4s(秒)稼動する。同様に、ブロックされた機械M1に利用可能なスペースを1個追加すると、この機械M1はさらに30s稼動することになる。

【0271】

3.5.2 待ち時間の分布

【0272】

今回のアルゴリズムは、スタービング時間とブロッキング時間とを互いに区別しつつ、すべての機械事象に対して適用され、その結果、スタービング時間またはブロッキング時間である待ち時間の持続期間が決定される。それらデータは、ランダム分布関数すなわち確率密度関数として表現される。その関数は、機械 i のブロッキングおよびスタービングの時間についての確率密度関数として、 $pdf_{M-B_i}(t)$ および $pdf_{M-S_i}(t)$ で表す。それらの分布は、時間 t の関数である。

【0273】

分布関数として標準的な分布関数(例えば指数関数)を使用し得る。しかし、取得されたデータによって規定される特別な分布関数を定義することが通常、より簡単でかつ正確である。すなわち、統計の教科書からの分布関数を前記取得データに適合させるか、またはこの分布を定義するために前記取得データを単に用いることにより、確率密度関数 pdf または累積密度関数 cdf を定義することが可能なのである。前記取得データを単に用いる手法は、簡単であると同時に正確であるように思われる。図40には、複数の待ち時間のうち選択されたものの累積密度関数がグラフで示されている。

【0274】

スタービング時間を減少させるために利用可能な部品を追加するか、またはブロッキング時間を減少させるために利用可能なスペースを追加すると、遊休時間のうちのどれくらいが減少するのかが推定することが可能である。例えば、機械M3に平均的に1個の自由スペースを追加すると、上述の式に示すように、その機械M3は、1回のサイクルタイム分、すなわち、147s長く、稼動することが可能である。

【0275】

この情報と、機械M3のブロッキング時間の分布とを組み合わせれば、削減ブロッキング時間を推定することが可能である。図41に示す式は、機械 i についての搬出時間間隔 TBP_i の削減量比率 $P\Delta T_i$ の数学的な計算であって、ブロッキング時間およびスタービング時間の分布と、その機械 i の後方における利用可能スペース数 ΔE_i と、その機械 i の前方における利用可能部品数 ΔF_i と、ブロッキングおよびスタービングの時間の、総時間(総解析時間、指定解析時間等)に対する比率 $PM-B_i$ および $PM-S_i$ と、1個の部品を製造するのに必要な時間である単位作用時間 TPP_i とに基づくものを示している。この式は、確率密度関数 $pdf_{M-B_i}(t)$ および $pdf_{M-S_i}(t)$ を用いて表現することができる。

【0276】

この式は、2つの項から成り、それは、減少ブロッキング時間に起因する削減量比率項(第1項)と、減少スタービング時間に起因する削減量比率項(第2項)とである。

【0277】

各削減量比率項は、ある機械がブロック/スタブされた時間の比率 $PM-B_i/PM-S_i$ に、減少ブロッキング/スタービング時間の平均値の、総ブロッキング/スタービング時間の平均値に対する比率を掛け算することによって算出される。

【0278】

システムにおけるランダム変数(例えば、各機械 i のスタービング時間、ブロッキング時間の平均値は、確率密度関数 pdf と時間 t との積を、下端(待ち時間の場合は通常0)と上端との間について積分することによって決定することができる。上端が無大より

小さい場合には、この上端以下のすべての時間についてランダム変数の平均値が与えられる。上端が無限である場合には、すべてのランダム変数の平均値が与えられる。

【0279】

上端は、スターピング時間については、追加部品数 ΔF_i と、単位作用時間 TPP_i （機械 i の「サイクルタイム」ともいう）との積として決定することができ、ブロッキング時間については、追加スペース数 ΔE_i と、単位作用時間 TPP_i との積として決定することができる。前者の積は、機械 i のために部品を追加するとその機械 i の作用時間が増加する最大量を意味し、同様に、後者の積は、機械 i のためにスペースを追加するとその機械 i の作用時間が増加する最大量を意味している。

【0280】

例えば、バッファBM3およびBM5スペースが5個増加すると、機械M2の後方における利用可能スペースが2.57個追加されることとなり、これは、単位作用時間 TPP の減少量の近似値が8.31パーセントであることを意味する。同じバッファ構成は、機械M3が利用可能な部品の追加数が2.49個であることを示し、これは、機械M3のスターピングを5.29パーセント減少させる。

【0281】

次の工程においては、前記システムの新たな処理能力の予測モデルを作成するため、単位作用時間 TPP_i の削減量比率 $P\Delta T_i$ が、ボトルネック確率および初期のシステムの処理能力に組み合わされる。機械 i についての削減待ち時間の総比率が $P\Delta T_i$ で表される。

【0282】

3.6 予測モデル

【0283】

前記システムの搬出時間間隔 TBP の有効削減量比率 $P\Delta T_i$ を決定し、ひいてはこのシステムの新たな搬出時間間隔 TBP の予測値を決定するために、種々の機械についての搬出時間間隔 TBP の削減量比率 $P\Delta T_i$ がボトルネック確率に組み合わされる。

【0284】

3.6.1 搬出時間間隔 TBP の有効削減量比率

【0285】

上記においては、種々の機械について搬出時間間隔 TBP の総削減量比率 $P\Delta T_i$ が推定される。しかし、それら機械は、互いに独立しているのではなく、むしろ機械のネットワークの一部である。したがって、1台の機械の性能を改善すると、そのシステムの搬出時間間隔 TBP に影響を及ぼす可能性もあり及ぼさない可能性もある。機械の搬出時間間隔 TBP の改善がシステムの搬出時間間隔 TBP に及ぼす影響の比率を決定するために、各機械 i についてボトルネック確率 $PM-SBN_i$ が使用される。システムの有効総削減量比率 $P\Delta T$ は、図42に式で示すように、機械 i ごとの、待ち時間の総削減量比率 $P\Delta T_i$ （すなわち、待ち時間の削減量に起因する、搬出時間間隔 TBP の削減量比率）と単独ボトルネック確率 $PM-SBN_i$ との積を、全機械（ $i=1 to n$ ）について合計したものである。

【0286】

例えば、機械M1は、搬出時間間隔 TBP を24.18パーセントまで削減する可能性がある。しかし、機械M1は、決してボトルネックではなく、よって、機械M1を改善してもシステムの搬出時間間隔 TBP の改善に決してならない。別の機械であるM3は、このシステムのボトルネックであって、32パーセントのボトルネック確率を有する。

【0287】

したがって、この機械M3の削減待ち時間のうちの32パーセントが、このシステムの搬出時間間隔 TBP の改善になる。削減待ち時間の推定値は5.3パーセントであるため、有効削減量比率は、この値の32パーセントであり、このことは、全体のシステム性能が1.7パーセント（＝32パーセント×1.7パーセント）改善される。

【0288】

図43には、バッファBM3およびBM5の各スペースを5個に増加させた例につき、削減待ち時間と、機械の単独ボトルネック確率と、それらを組み合わせた値である、機械の搬出時間間隔TBPの有効削減量とが表で示されている。全体として、全機械について搬出時間間隔TBPの有効削減量比率を合計することができる。この例においては、バッファBM3およびBM5を5個のスペース容量を有するように改善することによって総搬出時間間隔TBPが3.63パーセント減少する可能性がある。理論的には、単独ボトルネック確率ではなく全体ボトルネック確率を使用することがさらに可能である。しかし、予測結果は、単独ボトルネック確率を用いる場合の方が正確であった。

【0289】

3.6.2 改善された搬出時間間隔TBPの予測

【0290】

このシステムの搬出時間間隔TBPの有効削減量比率 $P\Delta T$ を計算した後、改善されたシステムについて搬出時間間隔TBPの新たな値を予測することは非常に簡単である。そのための計算式は、

$$TBP' = TBP \cdot (1 - P\Delta T)$$

であり、更新された搬出時間間隔 TBP' を取得するため、初期のシステムの搬出時間間隔TBPが単に、前述のようにして算出された搬出時間間隔TBPの有効削減量比率 $P\Delta T$ だけ減少させられる。

【0291】

例えば、バッファBM3およびBM5の容量を5個に増加させると、システムの搬出時間間隔TBPが3.63パーセント減少する。システムの搬出時間間隔TBPの初期値は55.68sであったため、このシステムの搬出時間間隔TBPの新たな値は2.02s減少して53.66sとなる。このように、バッファBM3およびBM5のスペースを1から5に変化させると、このシステムの総搬出時間間隔TBPが3.63パーセント減少して55.68sから53.66sになる。

【0292】

以上、このバッファ予測方法の理論的背景および具体的手法を詳細に説明したが、次に、このバッファ予測方法を実施する具体的なアルゴリズムの一例をコンピュータ・プログラムを参照して説明する。

【0293】

図44には、上記バッファ予測方法を実施するためにユーザにより使用されるシステム解析装置10のハードウェア構成が概念的にブロック図で示されている。このシステム解析装置10は、バッファ予測装置の一例である。

【0294】

このシステム解析装置10は、よく知られているように、プロセッシング・ユニット（同図において「PU」で表す。）12とストレージ14とがバス16により互いに接続されて構成されたコンピュータ20を備えている。

【0295】

このコンピュータ20は、ポインティング・デバイスとしてのマウスおよびキーボードを備えた入力装置30と、画像を画面上に表示する出力装置40とに接続されている。ストレージ14は、ROM、RAM、磁気ディスク、光ディスク等の記録媒体を含むように構成される。ユーザは、必要なデータを入力装置30を介してコンピュータ20に入力する。その入力に応答し、コンピュータ20によるデータ処理結果が出力装置40を介してユーザに可視化して提示される。

【0296】

ストレージ14には、このバッファ予測方法を実施するためにPU12により実行されるバッファ予測プログラムが予め記憶されている。このバッファ予測プログラムは、それが実行される対象であるシステムのフロー（そのシステムにおける複数の機械の位置および複数のバッファの位置相互の関係）に適合するように設計されている。さらに、このバッファ予測プログラムは、そのシステムにおける部品の流れに関する条件にも適合するよう

に設計されている。したがって、このバッファ予測プログラムは、そのシステムの各構成要素の状態の経時的な変化を表すシステムデータさえ与えられれば、そのシステムにおける部品の流れを時間的にも位置的にも再現することができるようになっている。ストレージ14には、PU12がそのバッファ予測プログラムを実行する際に使用されるデータが適宜記憶されるようになっている。

【0297】

図45には、そのバッファ予測プログラムの内容が概念的にフローチャートで表されている。

【0298】

このバッファ予測プログラムにおいては、まず、ステップS100（以下、単に「S100」で表す。他のステップについても同じとする。）において、予測モデルが作成される。このステップの詳細が予測モデル作成ルーチンとして図46にフローチャートで概念的に表されている。

【0299】

この予測モデル作成ルーチンにおいては、まず、S101において、与えられた任意の時期における各機械／バッファの状態を含むシステムデータが取得される。

【0300】

このシステムデータは、図3におけると同様な形式で構成することが可能である。具体的には、このシステムデータは、例えば、要素すなわち機械の識別子（例えば、M1、M2、M3等）と、その機械の状態（例えば、前述の状態0、状態1、状態2、状態3等）と、各機械が各状態を示す期間を特定するための時間的情報とが互いに関連するように構成される。その時間的情報は、後述のように、各機械が各状態を示す期間の開始時期と終了時期とを含むように構成される。

【0301】

このシステムデータに基づき、各機械*i*の作用時間が、各作用期間の開始時期と終了時期とから計算により取得される。また、このシステムデータは、例えば、システムの過去における現実の作動状態を表すデータとしたり、そのシステムについてシミュレーションにより解析された仮想の作動状態を表すデータとすることができる。すなわち、このシステムデータは、例えば、1回のシミュレーションの実施によって取得したり、生産システムの測定によって取得することが可能なのである。

【0302】

次に、S102において、いくつかの統計値が解析される。それら統計値には、各機械*i*の搬出時間間隔 TBP_i の平均値と、各機械*i*が特定の状態にある時間の、総解析時間（指定解析時間）に対する比率（ $PM-S_i$ および $PM-B_i$ を含む）と、各バッファ*j*内の平均部品／スペース数 BF_j 、 BE_j とが含まれる。

【0303】

続いて、S103において、各機械*i*のボトルネック確率が決定される。ボトルネック確率は、例えば、各機械*i*の作用時間の長さを総解析時間で割り算することによって決定することが可能であり、その一具体例が本出願人の特願2002-81077号出願明細書に詳細に記載されている。

【0304】

その後、S104において、全機械につき、ブロッキング時間の分布およびスタービング時間の分布が決定される。これにより、確率密度関数 $p d f M-B_i$ および $p d f M-S_i$ が各機械*i*ごとに定義される。

【0305】

以上で、この予測モデル作成ルーチンの一回の実行が終了する。

【0306】

その後、図45のS200において、スタービングおよびブロッキングの原因が解析される。この詳細が原因解析ルーチンとして図47にフローチャートで概念的に表されている。

。

【0307】

この原因解析ルーチンにおいては、まず、S201において、全機械のうちのいずれかが最初の機械（上流または下流に向かう追跡のための出発要素）として選択される。次に、S202において、各機械が取り得る複数の事象のうちのいずれかが、最初の機械について注目すべき事象（以下、「今回の機械事象」という）として選択される。

【0308】

続いて、S203において、重みが1に設定されるとともに、今回の注目期間が、今回の機械事象が継続する期間に設定される。

【0309】

その後、S204において、前記システムデータに基づき、前記最初の機械の状態が、ブロッキング状態であるか、スタービング状態であるか、それらのいずれでもないかが判定される。

【0310】

今回は、前記最初の機械の状態がブロッキング状態であると仮定すると、S600に移行する。このS600においては、前記最初の機械の次の下流側対象物が決定される。

【0311】

このS600の詳細が下流側対象物決定ルーチンとして図48にフローチャートで概念的に表されている。

【0312】

この下流側対象物決定ルーチンにおいては、まず、S601において、今回の機械に隣接したすべての下流側対象物が次のルールに従って順位付けされる。

【0313】

順位1：ブロックされた機械

順位2：満杯のバッファ

順位3：作用状態にある機械

順位4：スターブされた機械

順位5：満杯ではないバッファ

この順位付けにより、システムにおいて、各下流側対象物ごとに、前記最初の機械の遊休状態を発生させる経路が決定される。

【0314】

次に、S602において、前記最初の機械の遊休期間（今回は、仮定上、ブロッキング期間である）を発生させた原因要素に至る原因経路の一部に既になっている対象物が今回の解析対象から除外される。これは、原因解析のために各対象物を下流に向かって辿る際に無限ループ（デッドロッキング）が発生しないようにするためである。

【0315】

続いて、S603において、上述の隣接したすべての下流側対象物のうち、最上位に順位付けされたもの（複数存在する場合がある）が選択される。その後、S604において、そのようにして選択された対象物が存在しないか否かが判定される。今回は、存在しないと仮定すれば、判定がYESとなり、直ちにこの下流側対象物決定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図47のS205に移行する。

【0316】

これに対し、今回は、選択された対象物が存在すると仮定すれば、図48のS604の判定がNOとなり、S605に移行する。

【0317】

このS605においては、重みが、前回の対象物（前記最初の機械である場合と、それに隣接した対象物である場合と、さらに後続した対象物である場合とがある）について予め設定された重みをS603において選択された対象物の数（複数である場合がある）で割り算した値に設定される。例えば、システムのうちの二股分岐部については、選択された対象物の数が2であるため、各対象物の重みが共に $1/2$ に設定される。その後、S606において、最上位の対象物（複数存在する場合がある）の中から最初の対象物が選択さ

れる。

【0318】

続いて、S607において、注目期間が、前回の対象物の状態の開始時期から、最上位に順位付けされた対象物（複数存在する場合がある）の次の状態変化の時期と、前記原因経路上にある前回の対象物の期間の終了時期とのうち早い時期までの期間に設定される。

【0319】

その後、S608において、今回の対象物の順位が4であるか否かが判定される。今回は、4ではないと仮定すると、判定がNOとなり、S800に移行する。このS800においては、設定された注目期間について対象物が下流に向かって辿られる。このS800の詳細が下流追跡ルーチンとして図50にフローチャートで概念的に表されている。

【0320】

この下流追跡ルーチンにおいては、まず、S801において、前記最初の機械がブロックされているか否かが判定される。今回は、ブロックされていると仮定されているため、判定がYESとなり、S802に移行する。

【0321】

このS802においては、S605または後述のS705の実行によって設定された重み（以下、単に「設定重み」という）と、S607または後述のS707の実行によって設定された注目期間（以下、単に「設定注目期間」という）の長さとの積（以下、単に「重み付けされた時間」という）が、今回の対象物の前方にあるバッファ内のスペースを追加すれば前記最初の機械のブロッキングが減少する時間に加算される。この時間は、前述のモード1に関連するとともに、前述の比率PBE B-E j, i すなわち後述のデータ（3）の取得に利用される。

【0322】

その後、S803において、今回の重み付けされた時間が、前記最初の機械のブロッキングを発生させた経路（前記最初の機械と、それをブロックさせた原因要素である機械との間における経路）の一部であった（その経路上に位置していた）時間に加算される。この時間は、後述のデータ（7）の取得に利用される。

【0323】

続いて、S804において、今回の対象物が作用状態にあるか否かが判定される。今回は、今回の対象物が機械であり、かつ、それが作用状態にあると仮定すれば、判定がYESとなり、S805において、今回の対象物が、前記最初の機械のブロッキングの原因であると判定される。

【0324】

このS805においては、さらに、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のブロッキングを発生させる時間（今回の対象物が、前記最初の機械のブロッキングを発生させる原因であり続ける時間）に加算される。この時間は、後述のデータ（5）の取得に利用される。

【0325】

以上で、この下流追跡ルーチンの一回の実行が終了し、図48のS609に移行する。

【0326】

これに対し、今回は、今回の対象物が作用状態にはないと仮定すれば、図50のS804の判定がNOとなり、S806に移行する。

【0327】

このS806においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の後方にあるバッファ内のスペースを追加すれば前記最初の機械のブロッキングが減少する時間に加算される。

【0328】

その後、図48のS601に移行し、下流側対象物決定ルーチンが再度実行される。

【0329】

ここで、図68に示す例について図48の下流側対象物決定ルーチンと図50の下流追跡

ルーチンとの実行内容を説明する。

【0330】

図50の下流追跡ルーチンは、機械M1が最初の機械であるため、機械M2と機械M3と機械M4とについて実行される。機械M1はブロッキング状態にあり、かつ、図48の下流側対象物決定ルーチンは、まず、機械M2を今回の対象物（機械M1に後続する対象物）として選択する。

【0331】

その後、図50の下流追跡ルーチンが、S801において、最初の機械M1がブロッキング状態にあるか否かを判定すると、その判定はYESであるため、S802において、機械M2の期間の長さ（S607において設定）と重み（S605において設定）との積である今回の重み付けされた時間が、機械M2の後方におけるバッファ内にスペースを追加すると機械M1のブロッキング状態が減少する時間に加算される。さらに、S803において、今回の重み付けされた時間が、機械M2が、機械M1のブロッキングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。

【0332】

機械M2は、作用状態にはないため、S804の判定がNOとなり、その後、S806において、今回の重み付けされた時間が、機械M2の後方におけるバッファ内にスペースを追加すると機械M1のブロッキング状態が減少する時間に加算される。

【0333】

その後、図50の下流追跡ルーチンから図48の下流側対象物決定ルーチンに移行して、そこで、次の下流側対象物が探索される。下流側対象物決定ルーチンは、今回の対象物として機械M3を探索し、よって、再び図50の下流追跡ルーチンに移行する。

【0334】

この下流追跡ルーチンは、S801において、最初の機械である機械M1がブロッキング状態にあるか否かを再度判定し、その判定は今回もYESであるため、S802において、機械M3の期間の長さ（S607において設定）と重み（S605において設定）との積である今回の重み付けされた時間が、機械M3の後方におけるバッファ内にスペースを追加すると機械M1のブロッキング状態が減少する時間に加算される。さらに、S803において、今回の重み付けされた時間が、機械M3が、機械M1のブロッキングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。

【0335】

機械M3は、作用状態にはないため、S804の判定がNOとなり、S806において、今回の重み付けされた時間が、機械M3の後方におけるバッファ内にスペースを追加すると機械M1のブロッキング状態が減少する時間に加算される。

【0336】

その後、図50の下流追跡ルーチンから図48の下流側対象物決定ルーチンに移行して、そこで、次の下流側対象物が探索される。下流側対象物決定ルーチンは、今回の対象物として機械M4を探索し、よって、再び図50の下流追跡ルーチンに移行する。

【0337】

この下流追跡ルーチンは、最初の機械である機械M1がブロッキング状態にあるか否かを再度判定し、その判定は今回もYESであるため、S802において、機械M4の期間の長さ（S607において設定）と重み（S605において設定）との積である今回の重み付けされた時間が、機械M4の後方におけるバッファ内にスペースを追加すると機械M1のブロッキング状態が減少する時間に加算される。さらに、S803において、今回の重み付けされた時間が、機械M4が、機械M1のブロッキングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。

【0338】

機械M4は、作用状態にあるため、S804の判定がYESとなり、S805において、機械M4が、最初の機械である機械M1のブロッキングのもともとの原因であったと判定されるとともに、今回の重み付けされた時間が、機械M4が機械M1のブロッキングを発生

生させる時間に加算される。

【0339】

以上で、下流追跡ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図48のS609に移行する。機械M4が当該システムにおいて最後の対象物であるため、S609の判定はYESとなり、S610に移行する。

【0340】

以上、今回の対象物の順位が4ではない場合を説明したが、4である場合には、図48のS608の判定がYESとなり、S900において、設定された注目期間について対象物が上流に向かって辿られる。

【0341】

このS900の詳細が上流追跡ルーチンとして図51にフローチャートで概念的に表されている。この上流追跡ルーチンにおいては、まず、S901において、前記最初の機械がブロックされているか否かが判定される。今回は、ブロックされていると仮定されているため、判定がYESとなり、S902に移行する。

【0342】

このS902においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の後方にあるバッファ内の部品を追加すれば前記最初の機械のブロッキングが減少する時間に加算される。この時間は、前述のモード3に関連するとともに、前述の比率PBFBEj、iすなわち後述のデータ(2)の取得に利用される。

【0343】

続いて、S903において、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のブロッキングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。この時間は、後述のデータ(7)の取得に利用される。

【0344】

その後、S904において、今回の対象物が作用状態にあるか否かが判定される。今回は、作用状態にあると仮定すれば、判定がYESとなり、S905に移行する。このS905においては、今回の対象物が、前記最初の機械のブロッキングの原因であると判定される。

【0345】

さらに、このS905においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のブロッキングを発生させる時間に加算される。この時間は、後述のデータ(5)の取得に利用される。

【0346】

以上で、この上流追跡ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図48のS609に移行する。

【0347】

これに対し、今回は、今回の対象物が作用状態にはないと仮定すると、図51のS904の判定がNOとなり、S906において、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の前方にあるバッファ内の部品を追加すれば前記最初の機械のブロッキングが減少する時間に加算される。

【0348】

その後、図49のS701に移行し、後述の上流側対象物決定ルーチンが実行される。

【0349】

図48の下流側対象物決定ルーチンにおいては、S800またはS900の実行が終了すると、その後、S609において、選択されたすべての対象物について反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、次の対象物についてS607以下のステップが実行される。

【0350】

これに対し、今回は、選択されたすべての対象物について反復が終了したと仮定すれば、S609の判定がYESとなり、S610に移行する。

【0351】

このS610においては、前回の対象物の状態の全期間がカバーされるまでの反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S601に戻るが、今回は、終了したと仮定すれば、S610の判定がYESとなり、この下流側対象物決定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図47のS205に移行する。

【0352】

ここで、図48の下流側対象物ルーチンの実行内容を図7に示す生産システムを例にとり、具体的に説明する。

【0353】

図68には、図7に示す生産システムにおける4台の機械M1ないしM4がブロッキング状態と作用状態とに変化する様子が時間tと共にタイムチャートで表されている。

【0354】

機械M1は、時刻t0と時刻t3との間においてブロッキング状態にある。このバッファ予測プログラムは、その機械M1のブロッキングの原因とそれの経路とを特定するために実行される。

【0355】

ここで、コンピュータ20が、このバッファ予測プログラムのうち、図48の下流側対象物決定ルーチンを実行する時点においては、前記最初の機械または前回の対象物（すなわち、いずれの場合にも、それらの遊休状態の原因が調査される対象物を意味する）が機械M1であって、注目期間として時刻t0と時刻t3との間の期間が設定されていると仮定する。その期間中、機械M1はブロッキング状態にある。

【0356】

この場合、S601の実行により、その機械M1にその下流側において隣接するすべての対象物、すなわち、機械M2および機械M3に対して順位付けが行われ、その後、S603の実行により、それら機械M2および機械M3が同じ順位を付与されたと判定されるとともに、それらが今回の対象物として選択される。

【0357】

それら機械M2および機械M3が選択されると、S605の実行により、前回の対象物である機械M1について設定された重み（すなわち、この例においては、機械M1について設定された1の重み）が、最上位に順位付けされた対象物の数（すなわち、この例においては、2）で割り算され、結局、下流側対象物M2、M3についての新たな重みがそれぞれ、 $1/2$ として設定されることになる。

【0358】

その後、S606の実行により、機械M2が、更なる調査のために、最上位を有する最初の対象物として選択されたと仮定する。この場合、続いて、S607の実行により、注目期間（今回の解析が実施されるべき対象期間）が、前回の対象物である機械M1のブロッキング期間の開始時期である時刻t0から、最上位に順位付けされた対象物（今回は、機械M2とM3）の次の状態変化の時刻（選択された対象物が複数存在する場合には、それらのうち最も早い時刻を意味し、この例においては、最上位に順位付けされた機械M2とM3のうち機械M2の次の状態変化の時刻t1が該当する）と、前回の対象物である機械M1のブロッキング期間の終了時期t3とのうち早い方までの期間として設定される。この例においては、時刻t1の方が時刻t3より早いいため、今回の注目期間は、時刻t0とt1との間の期間として設定され、その設定された注目期間につき、今回の対象物である機械M2が追跡されることになる。

【0359】

同様な処理が次の対象物である機械M3についても行われる。この機械M3の重みも、上述のように、 $1/2$ に設定される。機械M3についての注目期間は、時刻t0から、最上位に順位付けされた対象物（今回は、機械M3のみ）の次の状態変化の時刻t1と、前回の対象物である機械M1のブロッキング期間の終了時期t3とのうち早い方までの期間と

して設定される。この機械M3についても、機械M2と同様に、今回の注目期間が、時刻t0とt1との間の期間として設定され、その設定された注目期間につき、機械M3が追跡されることになる。

【0360】

図48におけるS601ないしS609の実行は、前回の対象物である機械M1の特定状態の全期間、すなわち、時刻t0から時刻t3までの期間がカバーされるまで反復される。時刻t0から時刻t1までの期間は既に解析された(カバーされた)ため、今度は、時刻t1から時刻t3までの期間が解析される。その期間につき、下流側機械である機械M2および機械M3を順位付けすると、機械M2は作用状態にあるのに対し、機械M3はブロッキング状態にあるため、今回は、機械M3の順位の方が機械M2の順位より上位である。したがって、その期間については、最上位の機械が1台しか存在せず、その機械M3の重みは、今回は、最上位に順位付けされた対象物の数が1であるから、1のままとされる。

【0361】

機械M3についての注目期間(個別解析期間)が、時刻t1から、機械M3の次の状態変化の時刻t2と、全体の対象物である機械M1のブロッキング期間の終了時刻t3とのうち早い方である時刻t2までの期間として設定される。したがって、機械M1のブロッキングが、時刻t1から時刻t2までの期間につき、下流に向かって追跡されることになる。今回は、最上位に順位付けされた対象物が1個しか存在しないため、S609の判定はYESとなり、S610に移行する。

【0362】

現時点においては、時刻t0から時刻t1までの期間と、時刻t1から時刻t2までの期間とがいずれもカバーされており、残っている期間は、時刻t2から時刻t3までの期間である。この期間については、機械M2および機械M3が、共に、作用状態にあると仮定されているため、同じ順位を付与されるとともに、重みがそれぞれ1/2に設定される。

【0363】

S607、S608およびS800により構成されるループの実行が、機械M2と機械M3とについて反復され、そのS800の実行により、機械M1のブロッキングが下流に向かって追跡される。このS800の実行により、機械M2と機械M3とがいずれも、時刻t2から時刻t3までの期間について機械M1のブロッキングの原因であると決定され、各機械M2およびM3は、共に重みが1である。

【0364】

時刻t0から時刻t3までの全期間について解析が行われたならば、S601ないしS609により構成されるループの実行が終了する。

【0365】

以上、図47の原因解析ルーチンにおいて、前記最初の機械の状態がブロッキング状態であると仮定したが、スタービング状態であると仮定すると、S700において、前記最初の機械の次の上流側対象物が決定される。

【0366】

このS700の詳細が上流側対象物決定ルーチンとして図49にフローチャートで概念的に表されている。この上流側対象物決定ルーチンは、基本的には、図48の下流側対象物決定ルーチンと共通する。

【0367】

この上流側対象物決定ルーチンにおいては、まず、S701において、前記最初の機械に隣接したすべての上流側対象物が次のルールに従って順位付けされる。

【0368】

- 順位1：スタープされた機械
- 順位2：空のバッファ
- 順位3：作用状態にある機械
- 順位4：ブロックされた機械

順位5：空ではないバッファ

この順位付けにより、システムにおいて、各上流側対象物ごとに、前記最初の機械の遊休状態を発生させる経路が決定される。

【0369】

次に、S702において、前記最初の機械の遊休期間（今回は、仮定上、スタービング期間）の原因要素に至る原因経路の一部に既になっている対象物が除外される。無限ループを回避するためである。

【0370】

続いて、S703において、上述の、隣接したすべての上流側対象物のうち最上位のものが選択される。その後、S704において、そのようにして選択された対象物が存在しないか否かが判定される。

【0371】

今回は、存在しないと仮定すれば、判定がYESとなり、直ちに、この上流側対象物決定ルーチンの一回の実行が終了する。これに対し、今回は、選択された対象物が存在すると仮定すれば、判定がNOとなり、S705に移行する。

【0372】

このS705においては、重みが、前回の対象物について予め設定された重みをS703において選択された対象物の数で割り算した値に設定される。その後、S706において、最上位の対象物の中から最初の対象物を選択される。

【0373】

続いて、S707において、注目期間が、前回の対象物の状態の開始時期から、最上位に順位付けされた対象物（複数存在する場合がある）の次の状態変化の時期と、前記原因経路上にある前回の対象物の期間の終了時期とのうち早い時期までの期間に設定される。

【0374】

その後、S708において、選択された対象物の順位が4であるか否かが判定される。今回は、4ではないと仮定すれば、判定がNOとなり、S900において、図51の上流追跡ルーチンが実行されることにより、対象物が上流に向かって辿られる。

【0375】

この上流追跡ルーチンにおいては、まず、S901において、前記最初の機械がブロックされているか否かが判定される。今回は、スタービング状態にあると仮定されているため、判定がNOとなり、S807に移行する。

【0376】

このS807においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の前方にあるバッファ内のスペースを追加すれば前記最初の機械のスタービングが減少する時間に加算される。この時間は、前述のモード2に関連するとともに、前述の比率 $P_{BES-Ej, i}$ すなわち後述のデータ(4)の取得に利用される。

【0377】

続いて、S808において、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のスタービングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。この時間は、後述のデータ(8)の取得に利用される。

【0378】

その後、S809において、今回の対象物が作用状態にあるか否かが判定される。今回は、作用状態にあると仮定すれば、判定がYESとなり、S810において、今回の対象物が、前記最初の機械のスタービングの原因であると判定される。

【0379】

さらに、このS810においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のスタービングを発生させる時間に加算される。この時間は、後述のデータ(6)の取得に利用される。

【0380】

以上で、この下流追跡ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図48のS609に移行

する。

【0381】

これに対し、今回は、今回の対象物が作用状態にはないと仮定すれば、図50のS809の判定がNOとなり、S811に移行する。このS811においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の後方にあるバッファ内のスペースを追加すれば前記最初の機械のスタービングが減少する時間に加算される。

【0382】

その後、図48のS601に移行し、下流側対象物決定ルーチンが再度実行される。

【0383】

これに対し、今回は、選択された対象物の順位が4であると仮定すると、S708の判定がYESとなり、S800において、図50の下流追跡ルーチンが実行されることにより、対象物が下流に向かって辿られる。

【0384】

この下流追跡ルーチンにおいては、まず、S801において、前記最初の機械がブロックされているか否かが判定される。今回は、スタービング状態にあると仮定されているため、判定がNOとなり、S907に移行する。

【0385】

このS907においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の後方にあるバッファ内の部品を追加すれば前記最初の機械のスタービングが減少する時間に加算される。この時間は、前述のモード4に関連するとともに、前述の比率PBESEj, iすなわち後述のデータ(1)の取得に利用される。

【0386】

続いて、S908において、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のスタービングを発生させた経路の一部であった時間に加算される。この時間は、後述のデータ(8)の取得に利用される。

【0387】

その後、S909において、今回の対象物が作用状態にあるか否かが判定される。今回は、作用状態にあると仮定すれば、判定がYESとなり、S910に移行する。このS910においては、今回の対象物が、前記最初の機械のスタービングの原因であると判定される。

【0388】

さらに、このS910においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物が前記最初の機械のスタービングを発生させる時間に加算される。この時間は、後述のデータ(6)の取得に利用される。

【0389】

以上で、この上流追跡ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図48のS609に移行する。

【0390】

これに対し、今回は、今回の対象物が作用状態にはないと仮定すれば、図51のS909の判定がNOとなり、S911に移行する。このS911においては、今回の重み付けされた時間が、今回の対象物の前方にあるバッファ内の部品を追加すれば前記最初の機械のスタービングが減少する時間に加算される。

【0391】

その後、図49のS701に移行し、上流側対象物決定ルーチンが実行される。

【0392】

いずれの場合にも、その後、S709において、選択されたすべての対象物について反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、次の対象物についてS707以下のステップが実行される。

【0393】

これに対し、今回は、選択されたすべての対象物について反復が終了したと仮定すれば、

S709の判定がYESとなり、S710に移行する。

【0394】

このS710においては、前回の対象物の状態の期間全体がカバーされるまでの反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S701に戻るが、今回は、終了したと仮定すれば、S710の判定がYESとなり、この上流側対象物決定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図47のS205に移行する。

【0395】

以上、図47の原因解析ルーチンにおいて、前記最初の機械の状態がスタービング状態である場合を説明したが、ブロッキング状態でもスタービング状態でもない場合には、直ちにS205に移行する。

【0396】

いずれの場合にも、このS205においては、全機械事象についての反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S206において、次の事象が、最初の機械についての事象として選択された後、S203に戻る。これに対し、今回は、全機械事象についての反復が終了したと仮定すると、S205の判定がYESとなる。

【0397】

この場合、その後、S207において、全機械についての反復が終了したか否かが判定される。今回は、未だ終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S208において、次の機械が最初の機械として選択された後、S202に戻る。これに対し、今回は、全機械についての反復が終了したと仮定すると、S207の判定がYESとなる。

【0398】

その後、S209において、バッファ/部品の追加による効果の比率であるバッファ効果比率と、各機械が別の機械の遊休状態の原因を構成する比率である原因構成比率と、各機械が別の機械の遊休状態の原因の経路を構成する比率である経路構成比率とが計算される。この計算は、適宜、これまでに決定された複数の時間(図50の下流追跡ルーチンまたは図51の上流追跡ルーチンの実行によって取得された各種時間)の長さを総解析時間で割り算することにより、行われる。

【0399】

バッファ効果比率としては、

データ(1)

各バッファj内の部品を追加すれば各機械iのスタービングが減少する時間の、総解析時間に対する比率 $P_{BFS-Ej, i}$ と、

データ(2)

各バッファj内の部品を追加すれば各機械iのブロッキングが減少する時間の、総解析時間に対する比率 $P_{FB-Ej, i}$ と、

データ(3)

各バッファj内のスペースを追加すれば各機械iのブロッキングが減少する時間の、総解析時間に対する比率 $P_{EB-Ej, i}$ と、

データ(4)

各バッファj内のスペースを追加すれば各機械iのスタービングが減少する時間の、総解析時間に対する比率 $P_{ES-Ej, i}$ と

が含まれる。

【0400】

これに対し、原因構成比率としては、

データ(5)

ある機械が別の機械のブロックの原因であった時間の、総解析時間に対する比率と、

データ(6)

ある機械が別の機械のスターブの原因であった時間の、総解析時間に対する比率と

が含まれる。

【0401】

また、経路構成比率としては、

データ(7)

ある機械が別の機械のブロックの経路であった時間の、総解析時間に対する比率と、

データ(8)

ある機械が別の機械のスタブの経路であった時間の、総解析時間に対する比率とが含まれる。

【0402】

ただし、上記データ(1)ないし(4)の比率は、各機械*i*の前後におけるバッファ*j*の位置と各機械*i*との組合せのすべてについて計算され、これに対し、上記データ(5)ないし(8)の比率は、機械*i*同士の組合せのすべてについて計算される。

【0403】

以上で、この原因解析ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図45のS300に移行する。このS300においては、機械の前後におけるバッファのための追加バッファ容量が指定される。続いて、S400において、追加バッファ容量の効果が推定される。このS400の詳細がバッファ効果推定ルーチンとして図52にフローチャートで概念的に表されている。

【0404】

このバッファ効果推定ルーチンにおいては、まず、S1000において、各機械の前方および後方におけるバッファ内の平均部品数が推定される。このS1000の詳細が平均部品数推定ルーチンとして図53にフローチャートで概念的に表されている。

【0405】

この平均部品数推定ルーチンにおいては、まず、S1001において、別の機械が、スタブ中の今回の機械の経路の一部であった時間の、総解析時間に対する比率(前述のデータ(8))に、今回の機械のボトルネック確率が掛け算され、それにより、重み付け上流側ボトルネック確率が計算される。

【0406】

次に、S1002において、別の機械がブロック中の今回の機械の経路の一部であった時間の、総解析時間に対する比率(前述のデータ(7))に、今回の機械のボトルネック確率が掛け算され、それにより、重み付け下流側ボトルネック確率が計算される。

【0407】

続いて、S1003において、上記別の機械が全機械をカバーしたか否か、すなわち、全機械の範囲内で変化させられたか否かが判定される。今回は、全機械をカバーしてはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S1001以下のステップが再度、更新された別の機械について実行される。これに対し、今回は、全機械をカバーしたと仮定すれば、S1003の判定がYESとなり、S1004に移行する。

【0408】

このS1004においては、いくつかの機械についてのいくつかの重み付け上流側ボトルネック確率が合計されることにより、全重み付け上流側ボトルネック確率が計算される。さらに、いくつかの機械についてのいくつかの重み付け下流側ボトルネック確率が合計されることにより、全重み付け下流側ボトルネック確率が計算される。

【0409】

続いて、S1005において、今回の機械の前方におけるバッファ*j*内の平均部品数BF*j*が計算される。具体的には、
$$BF_j = \text{バッファ容量} \times \text{全重み付け上流側ボトルネック確率} / (\text{全重み付け上流側ボトルネック確率} + \text{全重み付け下流側ボトルネック確率} + \text{今回の機械のボトルネック確率})$$
なる式を用いて計算される。

【0410】

その後、S1006において、今回の機械の後方におけるバッファ*j*内の平均部品数BF

jが計算される。具体的には、

$$BF_j = \text{バッファ容量} \times (\text{全重み付け上流側ボトルネック確率} + \text{今回の機械のボトルネック確率}) / (\text{全重み付け上流側ボトルネック確率} + \text{全重み付け下流側ボトルネック確率} + \text{今回の機械のボトルネック確率})$$

なる式を用いて計算される。

【0411】

続いて、S1007において、全機械について反復が終了したか否かが判定される。今回は、終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、S1001以下のステップが再度、更新された今回の機械について実行される。これに対し、今回は、全機械について反復が終了したと仮定すれば、S1007の判定がYESとなり、以上で、この平均部品数推定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図52のS1100に移行する。

【0412】

なお付言するに、図46のS102においては、バッファ内の平均部品数が計算されるが、この点、この平均部品数推定ルーチンと共通する。しかし、S102においては、シミュレーションのモデル内に現に存在するバッファ内の平均部品数が測定されるのであり、これに対し、この平均部品数推定ルーチンにおいては、仮想的なバッファ内に平均部品数が推定されるのであって、平均部品数が関連付けられるバッファの現実の存在が必要とはされない。

【0413】

このS1100においては、機械が利用可能な部品およびスペースの追加数が推定される。このS1100の詳細が追加部品/スペース数推定ルーチンとして図54にフローチャートで概念的に表されている。

【0414】

この追加部品/スペース数推定ルーチンにおいては、まず、S1101において、今回のバッファj内に部品を追加すれば今回の機械iのスタービングが減少する時間の比率 $PBF_{Sj, i}$ (前述のデータ(1))にバッファj内の平均部品数 BF_j が掛け算され、それが今回の機械iのための追加部品数 ΔF_i に加算される。

【0415】

次に、S1102において、今回のバッファj内にスペースを追加すれば今回の機械iのスタービングが減少する時間の比率 $PBE_{Sj, i}$ (前述のデータ(4))にバッファj内の平均スペース数 BE_j が掛け算され、それが今回の機械iのための追加部品数 ΔF_i に加算される。

【0416】

続いて、S1103において、今回のバッファj内に部品を追加すれば今回の機械iのブロッキングが減少する時間の比率 $PBF_{Bj, i}$ (前述のデータ(2))にバッファj内の平均部品数 BF_j が掛け算され、それが今回の機械iのための追加スペース数 ΔE_i に加算される。

【0417】

その後、S1104において、今回のバッファj内にスペースを追加すれば今回の機械iのブロッキングが減少する時間の比率 $PBE_{Bj, i}$ (前述のデータ(3))にバッファj内の平均スペース数 BE_j が掛け算され、それが今回の機械iのための追加スペース数 ΔE_i に加算される。

【0418】

続いて、S1105において、全バッファについて反復が終了したか否か、すなわち、バッファjの更新が不要となったか否かが判定される。今回は、全バッファについて反復が終了したわけではないと仮定すれば、判定がNOとなり、バッファjが更新された後、S1101に戻る。これに対し、全バッファについて反復が終了したと仮定すれば、S1105の判定がYESとなり、S1106に移行する。

【0419】

このS1106においては、全機械について反復が終了したか否か、すなわち、機械iの

更新が不要となったか否かが判定される。今回は、全機械について反復が終了したわけではないと仮定すれば、判定がNOとなり、機械 i が更新された後、S1101に戻る。これに対し、全機械について反復が終了したと仮定すれば、S1106の判定がYESとなる。

【0420】

以上で、この追加部品/スペース数推定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図52のS1200に移行する。

【0421】

このS1200においては、機械の削減遊休時間比率が推定される。このS1200の詳細が削減遊休時間比率推定ルーチンとして図55にフローチャートで概念的に表されている。

【0422】

この削減遊休時間比率推定ルーチンにおいては、まず、S1201において、今回の機械 i のために部品を追加すると今回の機械 i の作用時間が増加する最大量である最大増加量が、今回の機械 i のための追加部品数 ΔF_i に今回の機械 i の搬出時間間隔 TPP_i を掛け算することによって決定される。

【0423】

次に、S1202において、今回の機械 i のスタービング時間分布関数をその全変域について積分することにより、平均スタービング時間が決定される。

【0424】

続いて、S1203において、今回の機械 i のスタービング時間分布関数を、0と、部品追加に起因した作用時間の最大増加量 $\Delta F_i \cdot TPP_i$ との変域について積分することにより、減少スタービング時間が決定される。

【0425】

その後、S1204において、減少スタービング時間と平均スタービング時間との比に、今回の機械 i がスターブされる時間の、総解析時間に対する比率 $PM-S_i$ を掛け算し、それにより、今回の機械 i のために部品を追加すると遊休時間が削減される時間の比率である削減遊休時間比率が決定される。

【0426】

続いて、S1205において、今回の機械 i のためにスペースを追加すると今回の機械 i の作用時間が増加する最大量である最大増加量が、その今回の機械 i のための追加スペース数 ΔE_i にその今回の機械 i の搬出時間間隔 TPP_i を掛け算することによって決定される。

【0427】

その後、S1206において、今回の機械 i のブロッキング時間分布関数を、その全変域について積分することにより、平均ブロッキング時間が決定される。

【0428】

続いて、S1207において、今回の機械 i のブロッキング時間分布関数を、0と、スペース追加に起因した作用時間の最大増加量 $\Delta E_i \cdot TPP_i$ との間の変域について積分することにより、減少ブロッキング時間が決定される。

【0429】

その後、S1208において、減少ブロッキング時間と平均ブロッキング時間との比に、今回の機械 i がブロックされる時間の、総解析時間に対する比率 $PM-B_i$ を掛け算することにより、今回の機械 i のためのスペースを追加すると遊休時間が削減される時間の比率である削減遊休時間比率が決定される。

【0430】

続いて、S1209において、スペース追加による削減遊休時間比率と、部品追加による削減遊休時間比率とを合計することにより、今回の機械 i 全体としての削減遊休時間比率 $P\Delta T_i$ が決定される。

【0431】

その後、S1210において、全機械について反復が終了したか否かが判定される。今回は、終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、次の機械*i*についてS1201に戻るが、今回は、終了したと仮定すれば、判定がYESとなる。

【0432】

以上で、この削減遊休時間比率推定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図52のS401に移行する。

【0433】

このS401においては、今回の機械*i*につき、削減遊休時間比率 $P\Delta T_i$ にその今回の機械*i*のボトルネック確率 $PM-SBN_i$ を掛け算することにより、有効削減遊休時間比率 $P\Delta T_i$ が決定される。

【0434】

その後、S402において、全機械について反復が終了したか否かが判定される。今回は、終了してはいないと仮定すれば、判定がNOとなり、次の機械*i*についてS401に移行する。これに対し、今回は、全機械について反復が終了したと仮定すれば、S402の判定がYESとなり、S403に移行する。

【0435】

このS403においては、決定された有効削減遊休時間比率 $P\Delta T_i$ が全機械について合計され、これにより、システム全体の改善量 $P\Delta T$ が決定される。

【0436】

続いて、S404において、改善されたシステムの搬出時間間隔 TBP' が、その過去の搬出時間間隔 TBP を改善量 $P\Delta T$ によって減少させることによって推定される。

【0437】

その後、S405において、改善されたシステムの仕掛在庫数が、全バッファ内の平均部品数の合計値と、機械が部品を収容する時間の比率に相当するその機械内における平均部品数との和として推定される。

【0438】

続いて、S406において、改善されたシステムの総処理時間（メークスパン）が、その改善されたシステムの仕掛在庫数と、その改善されたシステムの搬出時間間隔 TBP' との積として推定される。

【0439】

以上で、このバッファ効果推定ルーチンの一回の実行が終了し、その後、図45のS500に移行する。

【0440】

このS500においては、その推定された総処理時間の長さ等に基づき、システムが最適化されたか否かが判定される。最適化されていない場合には、判定がNOとなり、S300に戻り、新たな追加バッファ容量が指定される。これに対し、今回は、システムが最適化されたと仮定すれば、S500の判定がYESとなり、このバッファ予測プログラムの一回の実行が終了する。

【0441】

以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、S201、S204、S600およびS700が前記(1)項における「第1の追跡工程」の一例を構成し、S804、S805、S809、S810、S904、S905、S909およびS910が同項における「原因特定工程」の一例を構成し、S600およびS700が同項における「第2の追跡工程」の一例を構成し、S601、S603、S606、S701、S703およびS706が同項における「経路特定工程」の一例を構成しているのである。

【0442】

さらに、本実施形態においては、S204、S608およびS708が前記(3)項における「向き設定工程」の一例を構成しているのである。

【0443】

さらに、本実施形態においては、S601およびS701が前記(4)項における「順位

付け工程」の一例を構成し、S603, S606, S608, S703, S706およびS708が同項における「各原因経路を特定する工程」の一例を構成しているのである。

【0444】

さらに、本実施形態においては、S800およびS900が前記(5)項における「統計値計算工程」の一例を構成しているのである。

【0445】

さらに、本実施形態においては、S1000が前記(6)項における「第1推定工程」の一例を構成し、S1100が同項における「第2推定工程」の一例を構成し、S1200が同項における「第3推定工程」の一例を構成し、S401ないしS406が同項における「第4推定工程」の一例を構成しているのである。

【0446】

さらに、本実施形態においては、S1100が前記(7)項における「第2推定工程」の一例を構成しているのである。

【0447】

さらに、本実施形態においては、S1000が前記(8)項における「第1推定工程」の一例を構成しているのである。

【0448】

さらに、本実施形態において、バッファ予測プログラムが前記(9)項に係る「プログラム」の一例を構成し、そのバッファ予測プログラムを予め記憶しているストレージ14が前記(10)項に係る「記録媒体」の一例を構成しているのである。

【0449】

次に、以上説明したバッファ予測方法を、それによる予測値と測定値との比較によって検証する。

【0450】

この検証においては、多種の予測モデルにつき、予測されたシステム処理能力の改善量が実際の改善量に単に比較される。全般的に見れば、予測値が必ずしも完全ではないが、通常、実用的な精度を有する。

【0451】

1 8台の機械を有する直線的な生産システム

【0452】

これは、1から8まで番号が付された8台の機械を有する直線的な生産システムの単純な例である。各機械の間にはバッファ位置が存在し、図56に示すように、AからGまでの番号が付されている。主要なボトルネックは、95パーセントの総ボトルネック確率を有する機械M4である。そのボトルネックに隣接する2個のバッファであるバッファCとバッファDが解析された。このシステムの性能は主に機械M4によって決まるため、このモデルの予測は非常に容易である。機械M4ははるかに大きなボトルネック確率を有するとともに、それら2つのバッファCおよびDであって解析されたものはそのボトルネックに隣接している。このことにより、予測モデルが非常に単純化されるとともに、その予測精度が非常に増加する。

【0453】

1.1 バッファC

【0454】

図57は、このバッファ予測方法を用いて得られたシステム処理能力(搬出時間間隔TBP)の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファCのバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。全般的に見て、その予測値は非常に近似的に測定データに追従しており、ほとんどすべての予測値が測定データの95パーセントの信頼区間内にある。平均総二乗誤差の平方根は0.25sにすぎなかった。

【0455】

1.2 バッファD

【0456】

図58は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から5まで変化するバッファDのバッファサイズについての測定データとの比較を示している。短期間のシミュレーションであることとバッファの効果が小さいことに起因して、信頼区間は全体の改善と比較してやや大きい。それにもかかわらず、その予測値はほとんど常に95パーセントの信頼区間内にあり、その予測値は非常に正確である。

【0457】

2 7台の機械を有する分枝生産システム

【0458】

この例は、図4に示されている。バッファAM2、BM3、AM3およびAM4は詳細に調査された。バッファBM5およびAM5は簡単に調査された。

【0459】

2.1 バッファAM2

【0460】

図59は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファAM2のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。全般的に見て、その予測値は測定データに、その初期にあつては、非常によく追従しており、バッファサイズの大きな値については小さな誤差を有している。平均総二乗誤差の平方根は0.40sであつた。

【0461】

2.2 バッファBM3

【0462】

図60は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファBM3のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。その予測値は測定データに非常によく追従しており、ほとんどすべての予測値が測定データの95パーセントの信頼区間内にある。平均総二乗誤差の平方根は0.22sにすぎなかつた。

【0463】

2.3 バッファAM3

【0464】

図61は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファAM3のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。その予測値は、バッファサイズの最初の少数の値については、測定データに非常によく追従している。平均総二乗誤差の平方根は0.78sであつた。

【0465】

2.4 バッファAM4

【0466】

図62は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファAM4のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。平均総二乗誤差の平方根は0.96sであつた。

【0467】

2.5 バッファBM5

【0468】

図63は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファBM5のバッファサイズについての

測定データとの比較を示している。しかし、このバッファBM5は簡単にしか調査されておらず、バッファサイズの初期値の他には、5である場合についてしか検証が行われなかった。その予測値は、測定データの95パーセント信頼区間にあり、よって、妥当である。少ないデータ数のため、平均総二乗誤差の平方根は存在しない。

【0469】

2.6 バッファAM5

【0470】

図64は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファAM5のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。繰り返すが、このバッファAM5も簡単にしか調査されておらず、バッファサイズの初期値の他には、5である場合についてしか検証が行われなかった。その予測値は、測定データの95パーセント信頼区間にあり、よって、妥当である。少ないデータ数のため、平均総二乗誤差の平方根は存在しない。

【0471】

2.7 まとめ

【0472】

この予測モデルは、たいていの事例について正確な結果を与えるように見える。バッファAM2、BM3、BM5およびAM5については非常に正確である。バッファAM3における初期の傾向はよく予測された。

【0473】

それら実験に加えて、シミュレーションが1回、バッファの新たな組合せについて追加された。バッファAM2、BM3、AM3、AM4、BM5およびAM5はそれぞれ、20のスペースというようにやや大きな容量を有するように設定された。そのシミュレーションにより、48.89sという搬出時間間隔TBPが、それぞれの側において0.19sの信頼区間を有するように求められた。その予測値は、50.69sであり、決して的外れては無い。それら間に約0.8sの差が存在するが、この誤差は、55.7sという初期値に対して小さく、その傾向は非常によく予測される。平均総二乗誤差の総平方根は0.82sであった。

【0474】

3 2台の機械が分岐するシステム

【0475】

図65に示すように、この例においては、2台の機械と3個のバッファとが設けられている。バッファBM0にはタイプA部品とタイプB部品とが到着する。到着したタイプA部品ごとに2個のタイプB部品が存在し、それら部品は無限に供給される。すべてのタイプA部品はバッファBM1を経由して機械M1に移行し、すべてのタイプB部品はバッファBM2を経由して機械M2に移行する。機械M1は、90パーセントの全ボトルネック確率を有する主要なボトルネックであり、機械M2は、30パーセントの全ボトルネック確率を有する副次的なボトルネックである。

【0476】

重要な2個のバッファはバッファBM1とBM2である。これらバッファは、後続の機械をスタブさせ得るし、さらに、並列の経路内の機械をブロックさせ得る。例えば、満杯のバッファBM1はバッファBM0をブロックさせる可能性があり、したがって、BM2をスタブさせる可能性がある。もちろん、空のバッファBM1は機械M1をスタブさせる。

【0477】

3.1 バッファBM1

【0478】

図66は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力（搬出時間間隔TBP）の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファBM1のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と

共に示されている。全般的に見て、その予測値は測定データに、その初期にあつては、非常によく追従しており、バッファサイズの大きな値については小さな誤差を有している。平均総二乗誤差の平方根は0.44 sであつた。

【0479】

3.2 バッファBM2

【0480】

図67は、このバッファ予測方法を用いて得られた処理能力(搬出時間間隔TBP)の予測値と、スペースが0から10まで変化するバッファBM2のバッファサイズについての測定データとの比較を示している。測定データは、処理能力の95パーセント信頼区間と共に示されている。平均総二乗誤差の平方根は0.56 sであつた。

【0481】

3.3 まとめ

【0482】

この予測値は、バッファサイズの大きな変化量については必ずしも満足のいくものではない。それらデータについての平均二乗誤差の総平方根は0.51 sであつた。上記データの値に加えて、別のシミュレーションが、50スペースを有する非常に大きなバッファ2個と共に実行された。搬出時間間隔TBPの測定値は、36.50 s(95パーセントの信頼区間についてプラス・マイナス0.14 s)であつたが、これは、予測値の大きな範囲の割に、実用的には36.81 sという予測値に近い。

【0483】

4 総括

【0484】

全般的に見て、このバッファ予測方法は、バッファサイズの小さな変化量については実用的によく機能しており、直線的なシステムについては非常によく機能している。

【0485】

ところで、システムにおける各構成要素間にバッファのサイズを改善することが必要である場合、シミュレーションを用いた従来の試行錯誤的な探索的方法では、少なくともバッファの容量(サイズ)を変更するたびにシミュレーションのためのモデルの設定を変更し、再度シミュレーションを行うことが必要であつた。そのため、そのモデルの変更作業にかかる時間と、シミュレーションの実行時間という2つの待ち時間が経過してからでないと、結果を得ることができなかった。

【0486】

また、多くの探索的方法の場合には、最適解が、探索結果として唯一誘導されることになるが、その最適解は、いずれのバッファが評価関数に対してどの程度の感度で効果をもたらすかについて示すものではない。そのため、設計者にその解、すなわち、バッファの改善策の妥当性を理解させることがしばしば困難であつた。

【0487】

これに対し、本実施形態によれば、いずれのバッファをどのように改善すればよいのかを示すだけで、それによつてもたらされる効果を瞬時に予測できる。したがって、設計者は、設計上の試行錯誤を、自らの思考過程を停止させることなく、繰り返すことが可能となる。

【0488】

以上、本発明の一実施形態を図面に基づいて詳細に説明したが、これは例示であり、前記「課題を解決するための手段」の欄に記載の態様を始めとして、当業者の知識に基づいて種々の変形、改良を施した他の形態で本発明を実施することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に従うバッファ予測方法を概念的に表すフローチャートである。

【図2】図1のバッファ予測方法が実施される生産システムにおける各機械の状態が時間と共に変化する一例を説明するためのタイムチャートである。

- 【図3】図1のバッファ予測方法を実施するために利用することが必要であるシステムデータの一例を表形式で説明するための図である。
- 【図4】図1のバッファ予測方法が実施される生産システムの一例を概念的に表すフローチャートである。
- 【図5】図1のバッファ予測方法が用いるバッファ予測モデルを概略的に表すフローチャートである。
- 【図6】3台の機械と2個のバッファとを直線的なライン上に備えたシステムを示す図である。
- 【図7】分岐部を有するライン上に4台の機械を備えたシステムを示す図である。
- 【図8】リバース・ブロッキングが発生するシステムの一例を示す図である。
- 【図9】リバース・スタービングが発生するシステムの一例を示す図である。
- 【図10】図11および図12における絵表示を解説するための図である。
- 【図11】機械M_iが取り得る5つのスタービング状況を説明するための図である。
- 【図12】機械M_iが取り得る5つのブロッキング状況を説明するための図である。
- 【図13】図4の生産システムにおいて各機械にスタービングが発生する確率を示すグラフである。
- 【図14】図4の生産システムにおいて各機械にブロッキングが発生する確率を示すグラフである。
- 【図15】図4の生産システムにおいて機械M₃にブロッキングとスタービングとが発生する原因を説明するための図である。
- 【図16】図4の生産システムにおいて機械M₅にブロッキングとスタービングとが発生する原因を説明するための図である。
- 【図17】システムにおいてバッファが機械に与える効果についてのモード1ないしモード4を表形式で示す図である。
- 【図18】上記モード1につき、ある機械がブロックされる時間的割合を表形式で示す図である。
- 【図19】上記モード2につき、ある機械がスターブされる時間的割合を表形式で示す図である。
- 【図20】上記モード3につき、ある機械がブロックされる時間的割合を表形式で示す図である。
- 【図21】上記モード4につき、ある機械がスターブされる時間的割合を表形式で示す図である。
- 【図22】有効バッファサイズに関連するいくつかの式を示す図である。
- 【図23】図4の生産システムにおける、サイズが1であるバッファAM₃に部品が存在する確率を示すヒストグラムである。
- 【図24】図4の生産システムにおける、サイズが10であるバッファAM₃に部品が存在する確率を示すヒストグラムである。
- 【図25】図4の生産システムの初期設定における各機械のボトルネック確率を表形式で示す図である。
- 【図26】図4の生産システムにおけるバッファAM₁の下流側におけるボトルネック確率の配分を説明するための図である。
- 【図27】図4の生産システムにおける各バッファの満杯率の予測値と測定値とを対比的に表形式で示す図である。
- 【図28】図4の生産システムにつき、容量変更前の各バッファの満杯率の予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。
- 【図29】図4の生産システムにつき、各機械のボトルネック確率を、バッファ容量の変更前と変更後とについて対比的に表形式で示す図である。
- 【図30】図4の生産システムにつき、各バッファの満杯率の予測値と測定値とを、バッファ容量の変更前と変更後とについて対比的に表形式で示す図である。
- 【図31】図4の生産システムにつき、容量変更後の各バッファの満杯率の予測値と測定

値とを対比的に示すグラフである。

【図32】図4の生産システムにおける、サイズが5であるバッファAM4に部品が存在する確率を示すヒストグラムである。

【図33】図4の生産システムにおけるバッファAM4の平均部品数と平均部品数比率とを示すグラフである。

【図34】図4の生産システムにおける各バッファにスペースを追加すると機械M3のブロッキングが影響を受ける対総時間比率と対ブロッキング時間比率とを表形式で示す図である。

【図35】バッファ内にスペースまたは部品を追加することによる効果比率に関連するいくつかの式を示す図である。

【図36】隣接バッファ容量の代表値に関連するいくつかの式を示す図である。

【図37】有効バッファ容量の合成値に関連するいくつかの式を示す図である。

【図38】図4の生産システムにおいてバッファBM3およびBM5の容量を5に増加させた場合の各機械の代表的追加スペース数と代表的追加部品数とを表形式で示す図である。

【図39】図4の生産システムにおける各機械の搬出部品間隔と作用時間比率と単位作用時間とを表形式で示す図である。

【図40】図4の生産システムにつき、選択されたいくつかの機械の待ち時間についての累積分布関数の特性を示すグラフである。

【図41】各機械についての削減待ち時間に関連する式を示す図である。

【図42】全機械についての削減待ち時間に関連する式を示す図である。

【図43】図4の生産システムにおける各機械の削減待ち時間比率と単独ボトルネック確率と有効削減量比率とを表形式で示す図である。

【図44】前記バッファ予測方法を実施するために好適なシステム解析装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図45】図44におけるバッファ予測プログラムの内容を概念的に表すフローチャートである。

【図46】図45におけるS100を予測モデル作成ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図47】図45におけるS200を原因解析ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図48】

図47におけるS600を下流側対象物決定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図49】

図47におけるS700を上流側対象物決定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図50】

図48および図49におけるS800を下流追跡ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図51】

図48および図49におけるS900を上流追跡ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図52】

図45におけるS400をバッファ効果推定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図53】

図52におけるS1000を平均部品数推定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図54】

図52におけるS1100を追加部品／スペース数推定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図55】

図52におけるS1200を削減遊休時間比率推定ルーチンとして概念的に表すフローチャートである。

【図56】

8台の機械を有する直線的な生産システムを示す図である。

【図57】

図56におけるバッファCの搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図58】

図56におけるバッファDの搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図59】

図4におけるバッファAM2の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図60】

図4におけるバッファBM3の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図61】

図4におけるバッファAM3の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図62】

図4におけるバッファAM4の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図63】

図4におけるバッファBM5の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図64】

図4におけるバッファAM5の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図65】

2台の機械が分岐する生産システムを示す図である。

【図66】

図65におけるバッファBM1の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図67】

図65におけるバッファBM2の搬出時間間隔TBPの予測値と測定値とを対比的に示すグラフである。

【図68】

図7の生産システムにおける各機械の状態の経時的な変化の一例を示すタイムチャートである。

【図69】

前記実施形態の説明に用いるいくつかの記号の定義を表形式で説明するための図である。

【図70】

前記実施形態の説明に用いる別の記号の定義を表形式で説明するための図である。

【符号の説明】

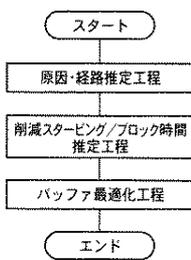
10 システム解析装置

12 プロセッシング・ユニット

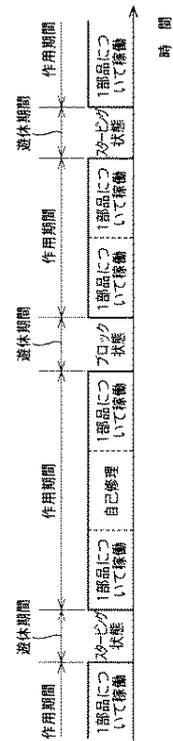
14 ストレージ

20 コンピュータ

【図1】



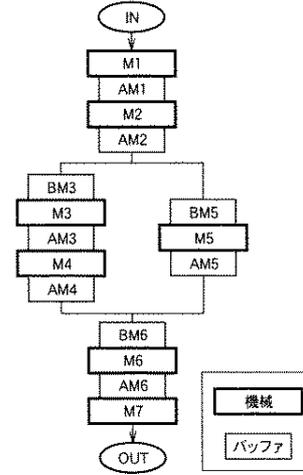
【図2】



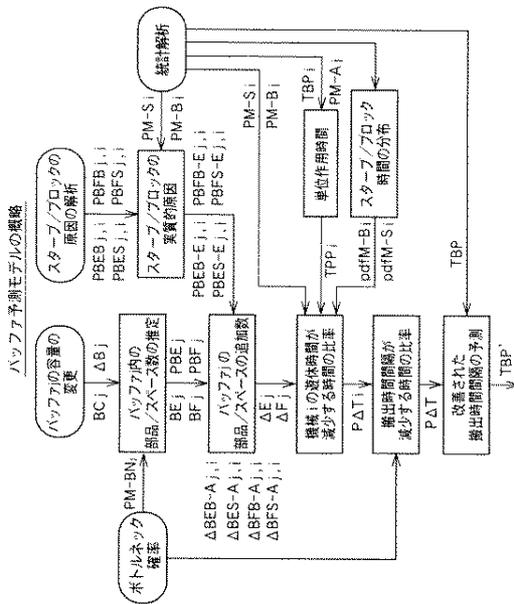
【図3】

機械	時間	状態	機械	時間	状態	機械	時間	状態
M2	500.83	1	M3	2051.81	0	M2	3624.22	1
M2	507.51	0	M1	2247.56	0	M1	4108.22	0
M1	803.76	0	M1	2248.86	0	M1	4153.23	0
M2	839.55	3	M2	2292.09	0	M2	4161.00	0
M2	926.46	0	M1	2296.09	0	M3	4254.25	2
M3	1131.25	2	M1	2449.38	2	M3	4312.62	0
M2	1429.32	0	M2	2463.47	0	M3	4484.12	0
M2	1534.14	3	M2	2633.26	3	M1	4491.37	1
M2	1621.92	0	M1	2800.22	0	M1	4676.00	0
M2	1637.48	0	M1	2952.75	1	M3	4847.93	0
M3	1776.54	0	M3	3001.22	0	M3	5131.79	0
M1	1803.99	0	M1	3194.47	0	M3	5377.56	0
M1	1888.20	2	M1	3356.31	1	M3	5382.11	3
M3	1927.83	0	M3	3412.67	0	M2	5527.55	0
M3	1938.73	2	M2	3537.85	0	M1	5536.00	2
			M1	3548.16	0	M1	5585.46	0

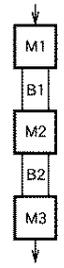
【図4】



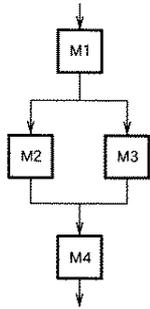
【図5】



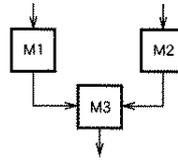
【図6】



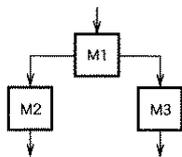
【図7】



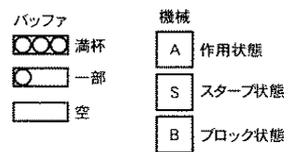
【図8】



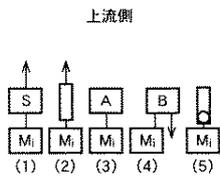
【図9】



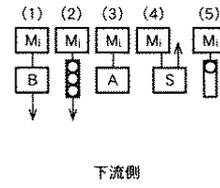
【図10】



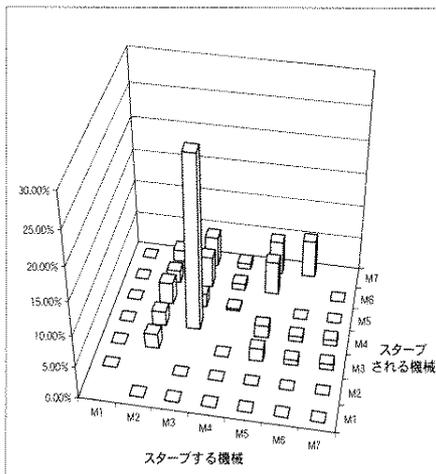
【図11】



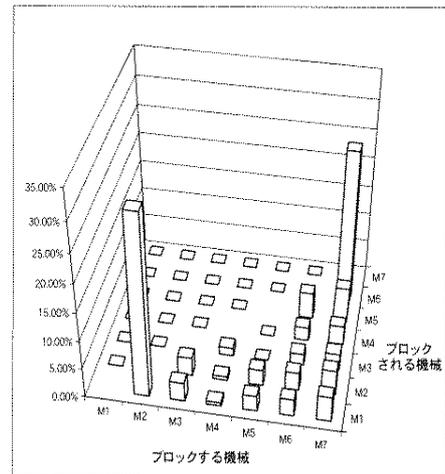
【図12】



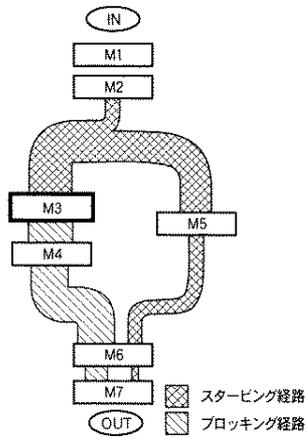
【図13】



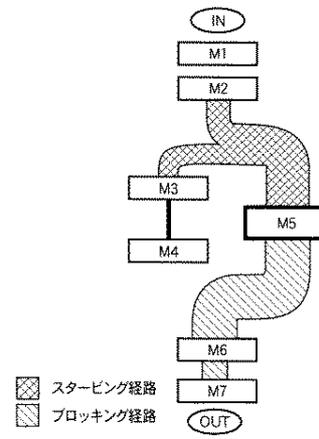
【図14】



【図15】



【図16】



【図17】

空スペースの追加	ブロッキングの減少	スターピングの減少
製品の追加	空スペースを追加すると別の機械のブロッキングが減少する	空スペースを追加すると別の機械のスターピングが減少する
	パッファ内の製品を追加すると別の機械のブロッキングが減少する	パッファ内の製品を追加すると別の機械のスターピングが減少する

【図18】

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
AM1	46.1%	-	-	-	-	-	-
BM2	46.1%	-	-	-	-	-	-
AM2	14.6%	14.6%	-	-	-	-	-
BM3	4.4%	4.4%	-	-	-	-	-
AM3	1.7%	1.7%	6.1%	-	-	-	-
BM4	1.7%	1.7%	6.1%	-	-	-	-
AM4	1.1%	1.1%	4.8%	5.9%	-	-	-
BM5	9.9%	9.9%	-	-	-	-	-
AM5	6.7%	6.7%	-	-	11.1%	-	-
BM6	7.7%	7.7%	4.7%	5.9%	11.0%	-	-
AM6	4.4%	4.4%	2.8%	3.4%	6.3%	26.6%	-
BM7	4.4%	4.4%	2.8%	3.4%	6.3%	26.6%	-

【図19】

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
AM1	-	-	-	-	-	-	-
BM2	-	-	-	-	-	-	-
AM2	-	-	-	-	-	-	-
BM3	-	-	-	-	2.5%	1.1%	1.1%
AM3	-	-	-	-	0.4%	0.2%	0.2%
BM4	-	-	-	-	0.4%	0.2%	0.2%
AM4	-	-	-	-	-	-	-
BM5	-	-	3.4%	3.4%	-	0.6%	0.6%
AM5	-	-	1.6%	1.6%	-	-	-
BM6	-	-	1.6%	1.6%	-	-	-
AM6	-	-	0.8%	0.8%	-	-	-
BM7	-	-	0.8%	0.8%	-	-	-

【図20】

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
AM1	-	-	-	-	-	-	-
BM2	-	-	-	-	-	-	-
AM2	-	-	-	-	-	-	-
BM3	-	-	-	-	-	-	-
AM3	-	-	-	-	-	-	-
BM4	-	-	-	-	-	-	-
AM4	-	-	-	-	-	-	-
BM5	-	-	-	-	-	-	-
AM5	-	-	-	-	-	-	-
BM6	-	-	-	-	-	-	-
AM6	-	-	-	-	-	-	-
BM7	-	-	-	-	-	-	-

【図21】

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
AM1	-	-	-	-	-	-	-
BM2	-	-	-	-	-	-	-
AM2	-	-	2.2%	2.2%	3.4%	1.7%	1.7%
BM3	-	-	5.8%	5.8%	-	1.3%	1.3%
AM3	-	-	-	32.2%	-	4.9%	4.9%
BM4	-	-	-	32.2%	-	4.9%	4.9%
AM4	-	-	-	-	-	6.5%	6.5%
BM5	-	-	-	-	6.3%	2.3%	2.3%
AM5	-	-	-	-	-	6.4%	6.4%
BM6	-	-	-	-	-	13.4%	13.4%
AM6	-	-	-	-	-	-	19.1%
BM7	-	-	-	-	-	-	19.1%

【図22】

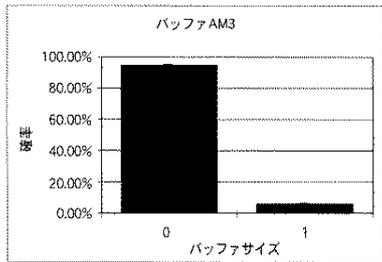
$$BF_j = PBF_j \cdot BC_j$$

$$BE_j = PBE_j \cdot BC_j$$

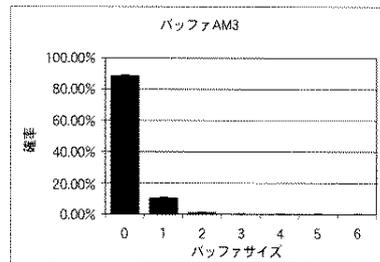
$$PBF_j = 1 - PBE_j$$

$$BF_j = BC_j - BE_j$$

【図23】



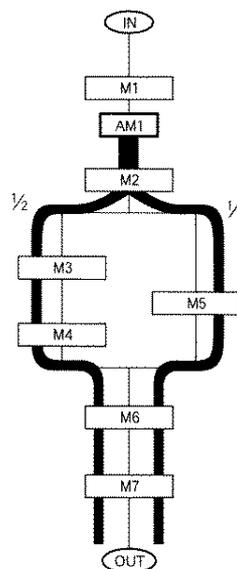
【図24】



【図25】

機械	ボトルネック 確率
M1	0%
M2	31%
M3	62%
M4	2%
M5	23%
M6	5%
M7	22%

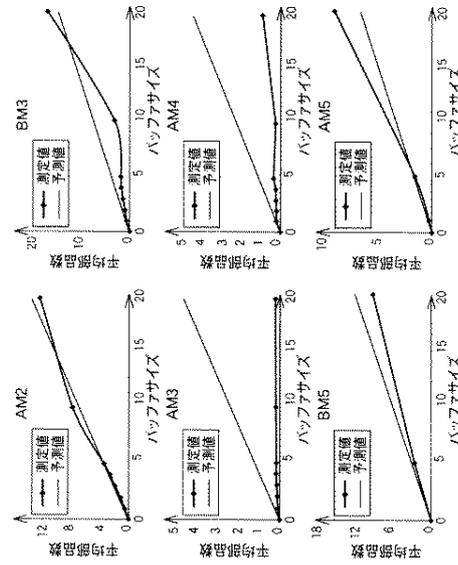
【図26】



【図27】

パuffア	満杯率の推定値	満杯率の測定値		
		平均	最小	最大
AM1	100.0%	-	-	-
AM2	69.7%	59.0%	35.3%	78.1%
BM3	74.2%	50.9%	24.1%	85.5%
AM3	23.3%	2.8%	0.9%	5.3%
AM4	21.8%	11.9%	2.3%	18.8%
BM5	61.3%	64.4%	39.1%	81.2%
AM5	32.8%	25.4%	23.3%	44.8%
BM6	26.2%	-	-	-
AM6	21.3%	-	-	-

【図28】



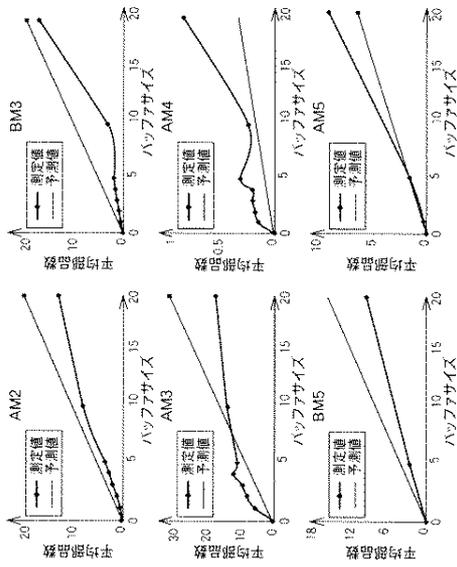
【図29】

機械	ボトルネック確率	
	初期の パuffア	増加後の パuffア
M1	0%	0%
M2	31%	1%
M3	62%	99%
M4	2%	0%
M5	23%	2%
M6	5%	0%
M7	22%	2%

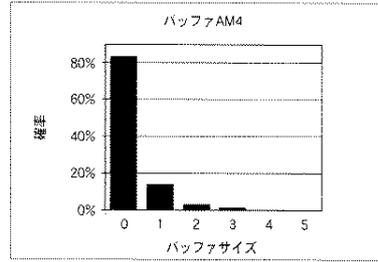
【図30】

パuffア	満杯率の予測値		満杯率の測定値	
	初期	増加後	初期	増加後
AM1	100.0%	100.0%	-	-
AM2	69.7%	97.8%	-	63.2%
BM3	74.2%	98.9%	53%	85.5%
AM3	23.3%	1.6%	-	0.9%
AM4	21.8%	1.6%	13%	4.3%
BM5	61.3%	77.6%	62%	47.3%
AM5	32.8%	31.1%	23%	44.8%
BM6	26.2%	3.0%	-	-
AM6	21.3%	2.8%	-	-

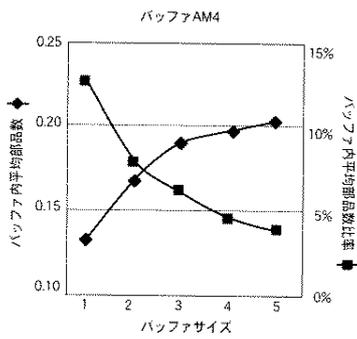
【図31】



【図32】



【図33】



【図34】

パフア位置	対総時間比率	対ブロッキング時間比率
AM3	6.10%	100.00%
BM4	6.10%	100.00%
AM4	4.80%	78.69%
BM6	4.70%	77.05%
AM6	2.80%	45.90%
BM7	2.80%	45.90%

【図35】

$$PBEB-E_{j,i} = \frac{PBEB_{j,i}}{PM-B_i}$$

$$PBES-E_{j,i} = \frac{PBES_{j,i}}{PM-S_i}$$

$$PBFB-E_{j,i} = \frac{PBFB_{j,i}}{PM-B_i}$$

$$PBFS-E_{j,i} = \frac{PBFS_{j,i}}{PM-S_i}$$

【図36】

$$\Delta BEB-A_{j,i} = PBEB-E_{j,i} \cdot PBE_j \cdot \Delta B_j$$

$$\Delta BES-A_{j,i} = PBES-E_{j,i} \cdot PBE_j \cdot \Delta B_j$$

$$\Delta BFB-A_{j,i} = PBFB-E_{j,i} \cdot PBF_j \cdot \Delta B_j$$

$$\Delta BFS-A_{j,i} = PBFS-E_{j,i} \cdot PBF_j \cdot \Delta B_j$$

【図37】

$$\Delta E_i = \sum_{j=1}^m \Delta BEB-A_{j,i} + \sum_{j=1}^m \Delta BFB-A_{j,i}$$

$$\Delta F_i = \sum_{j=1}^m \Delta BES-A_{j,i} + \sum_{j=1}^m \Delta BFS-A_{j,i}$$

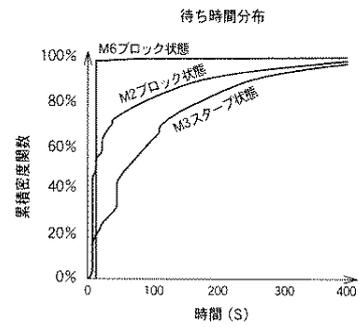
【図38】

機械	代表的追加 スペース数	代表的追加 部品数
M1	0.81	-
M2	2.57	-
M3	-	2.49
M4	-	0.45
M5	-	2.73
M6	-	0.73
M7	-	0.51

【図39】

機械	搬出部品 間隔(S)	作用時間 比率(%)	単位作用 時間(S)
M1	55.7	54%	30.0
M2	55.7	85%	47.6
M3	167.0	88%	147.2
M4	167.0	62%	103.4
M5	83.5	83%	69.0
M6	55.7	60%	33.4
M7	55.7	81%	45.0

【図40】



【図41】

$$P\Delta T_i = PM - B_i \cdot \frac{\int_0^{\Delta E_i \cdot TPP_i} pdfM - B_i(t) \cdot t dt}{\int_0^{\infty} pdfM - B_i(t) \cdot t dt}$$

$$+ PM - S_j \cdot \frac{\int_0^{\Delta F_j \cdot TPP_j} pdfM - S_j(t) \cdot t dt}{\int_0^{\infty} pdfM - S_j(t) \cdot t dt}$$

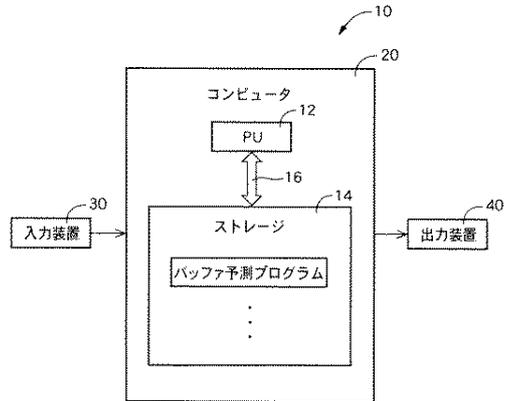
【図42】

$$P\Delta T = \sum_{i=1}^n P\Delta T_i \cdot PM - SBN_i$$

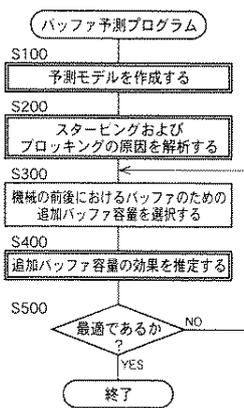
【図43】

機械	削減待ち時間 比率	単独ボトルネック 確率	有効削減量 比率
M1	24.18%	0.00%	0.00%
M2	8.31%	10.85%	0.90%
M3	5.29%	31.91%	1.69%
M4	11.96%	0.53%	0.06%
M5	6.24%	6.50%	0.41%
M6	6.10%	2.51%	0.15%
M7	5.18%	8.00%	0.41%
		合計	3.63%

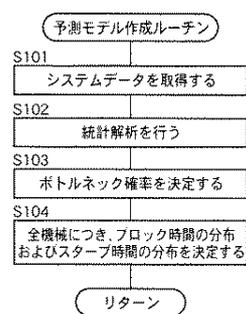
【図44】



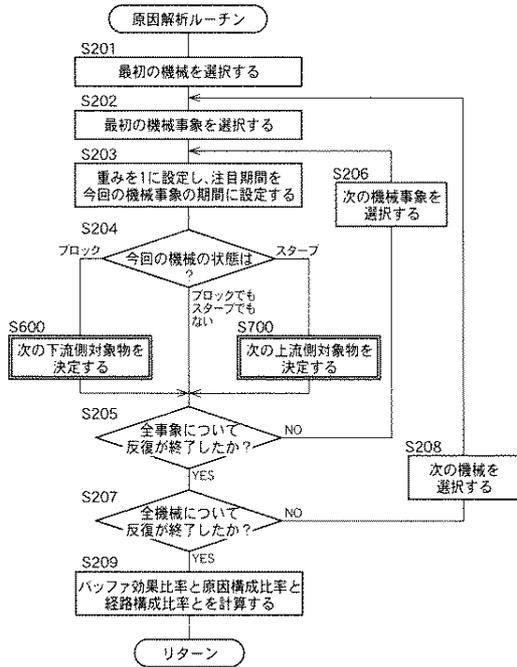
【図45】



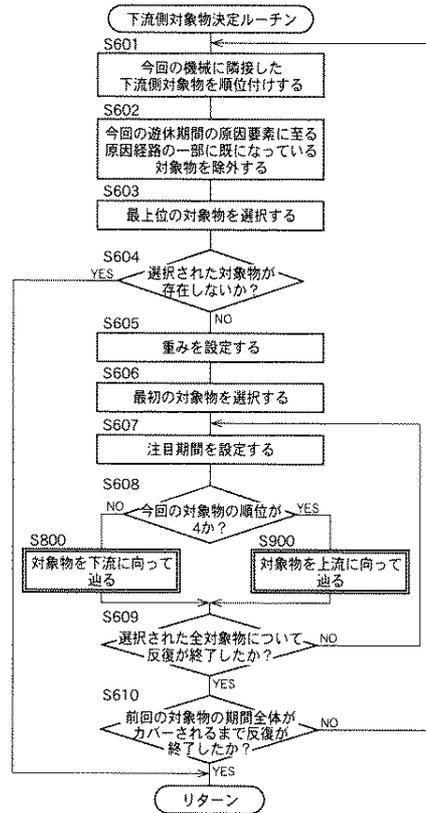
【図46】



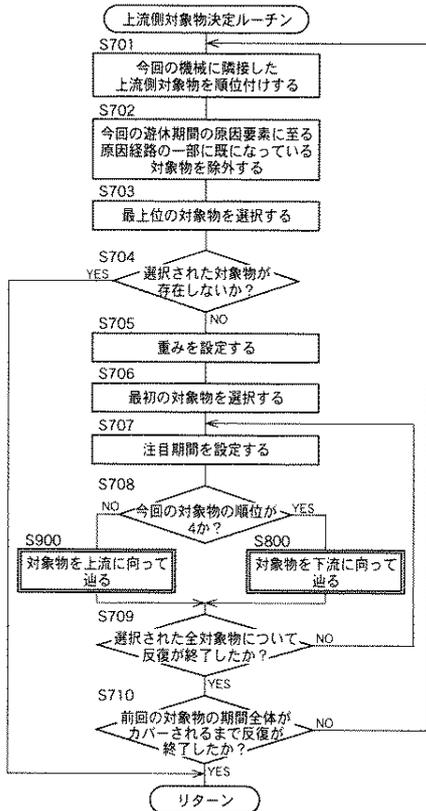
【図47】



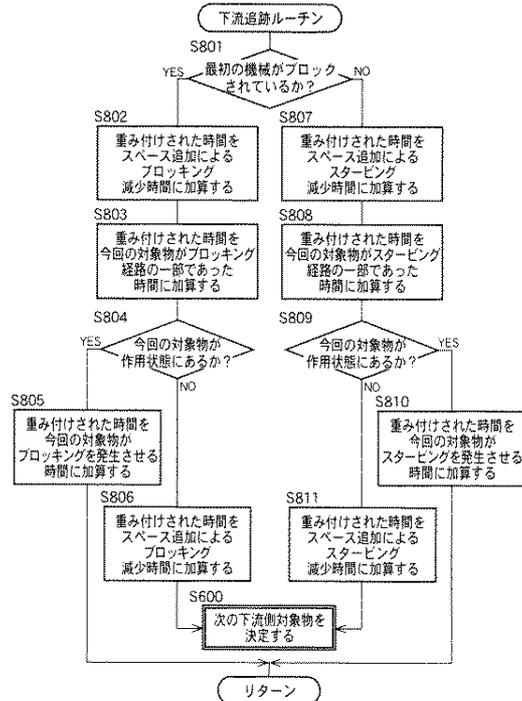
【図48】



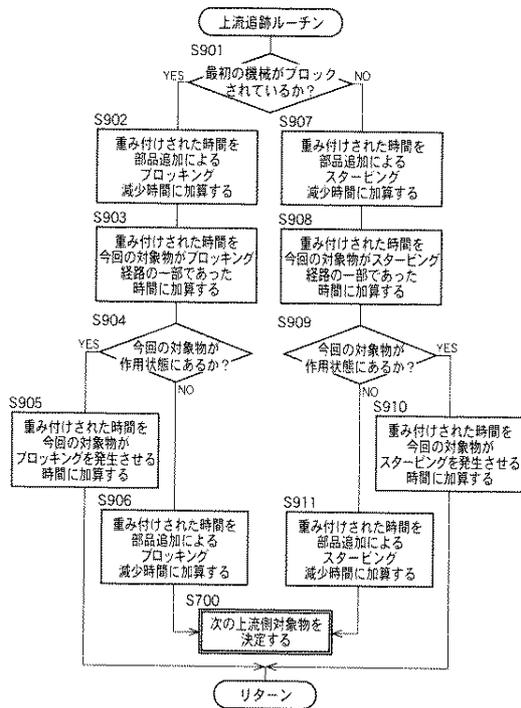
【図49】



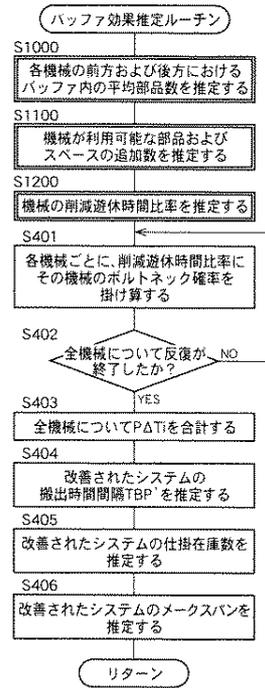
【図50】



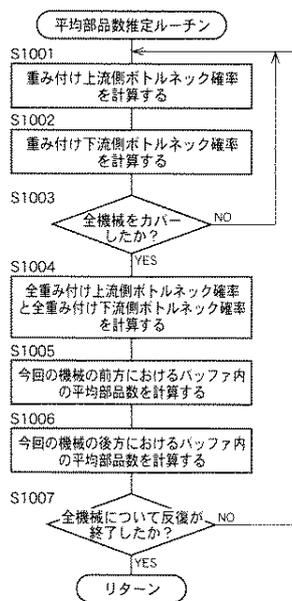
【図51】



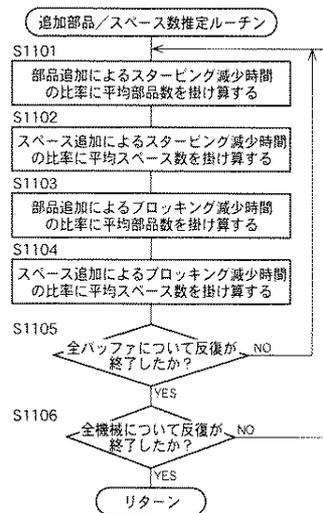
【図52】



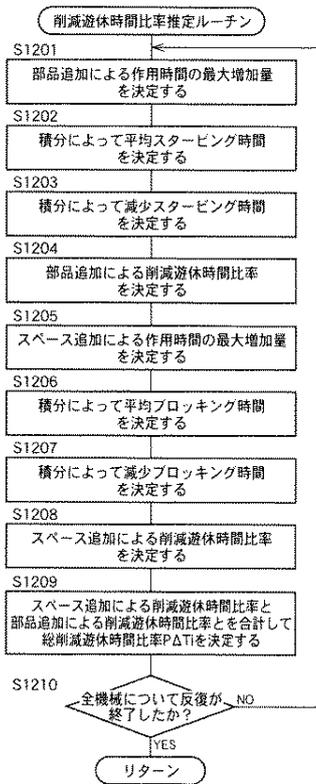
【図53】



【図54】



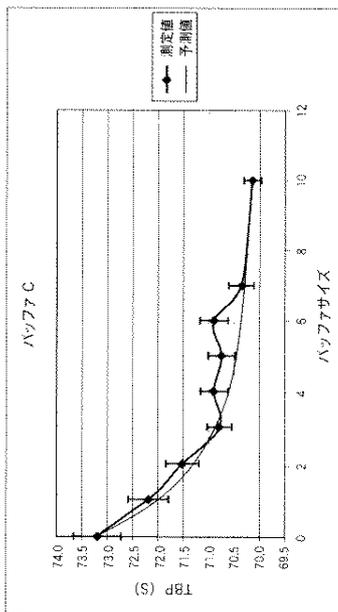
【図55】



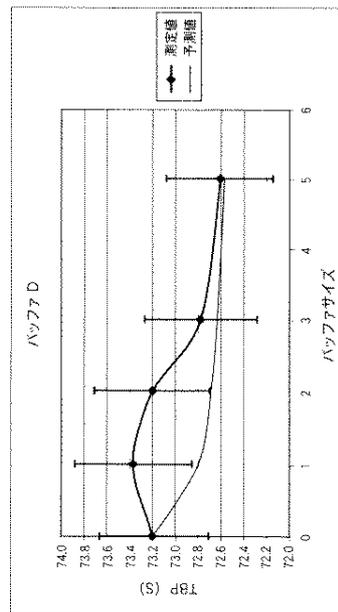
【図56】



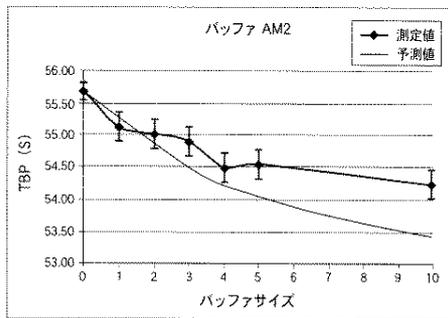
【図57】



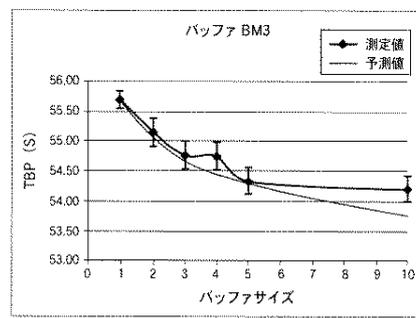
【図58】



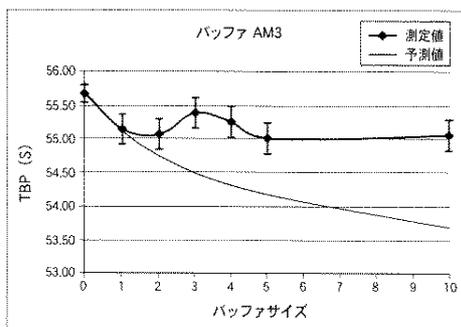
【図59】



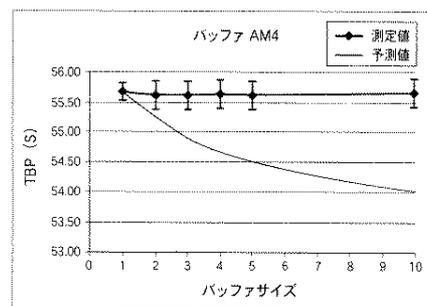
【図60】



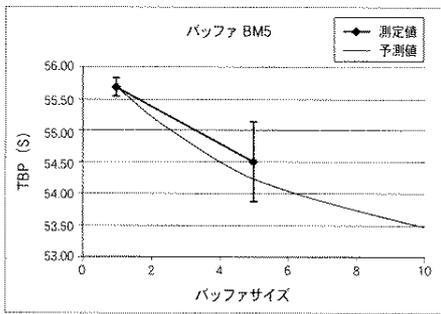
【図61】



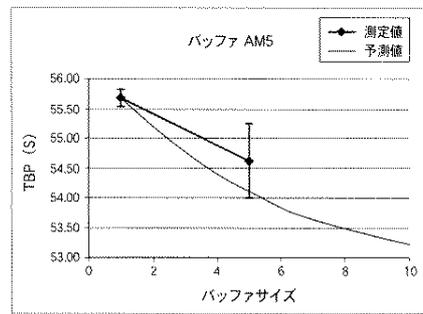
【図62】



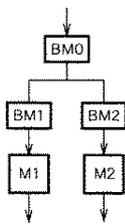
【図63】



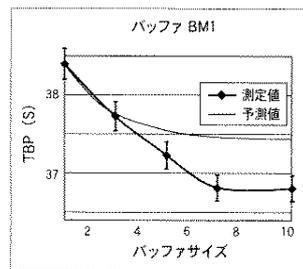
【図64】



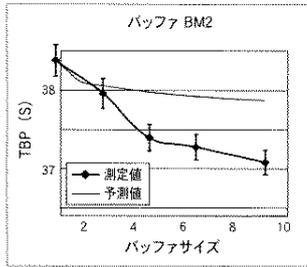
【図65】



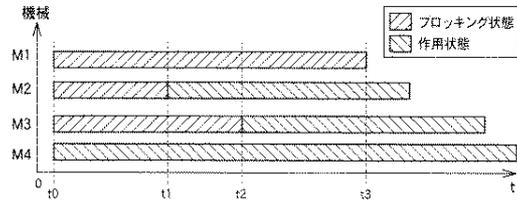
【図66】



【図67】



【図68】



【図69】

記号	定義
BF_j	バッファj内の平均部品数
BE_j	バッファj内の平均スペース数
PBF_j	バッファjが空である比率である空乏率
PBE_j	バッファjが満杯である比率である満杯率
BC_j	バッファjの容量
$PBEB-E_{j,i}$	空のバッファjによって機械iのブロッキングが減少する時間の、そのブロッキング時間に対する比率(効果比率)
$PBES-E_{j,i}$	空のバッファjによって機械iのスターピングが減少する時間の、そのスターピング時間に対する比率(効果比率)
$PBFB-E_{j,i}$	満杯のバッファjによって機械iのブロッキングが減少する時間の、そのブロッキング時間に対する比率(効果比率)
$PBFS-E_{j,i}$	満杯のバッファjによって機械iのスターピングが減少する時間の、そのスターピング時間に対する比率(効果比率)
PBE_j, i	空のバッファjによって機械iのブロッキングが減少する時間の、総時間に対する比率
PBE_j, i	空のバッファjによって機械iのスターピングが減少する時間の、総時間に対する比率
$PBFB_j, i$	満杯のバッファjによって機械iのブロッキングが減少する時間の、総時間に対する比率
$PBFS_j, i$	満杯のバッファjによって機械iのスターピングが減少する時間の、総時間に対する比率

【図70】

記号	定義
$PM-B_i$	機械iのブロッキング時間の、総時間に対する比率
$PM-S_i$	機械iのスターピング時間の、総時間に対する比率
$\Delta BEB-A_{j,i}$	バッファj内の空スペースの増加に起因する、機械iの後方における代表的追加空スペース数
$\Delta BES-A_{j,i}$	バッファj内の空スペースの増加に起因する、機械iの前方における代表的追加部品数
$\Delta BFB-A_{j,i}$	バッファj内の部品の増加に起因する、機械iの後方における代表的追加空スペース数
$\Delta BFS-A_{j,i}$	バッファj内の部品の増加に起因する、機械iの前方における代表的追加部品数
ΔB_j	バッファjの容量の変化量
ΔE_j	機械iの後方における利用可能スペース数
ΔF_j	機械iの前方における利用可能部品数
TPP_i	機械iが1個の部品を処理するのに必要な作用時間である単位作用時間
TBP_i	機械iの搬出時間間隔
$PM-A_i$	機械iが作用状態にある時間の、総時間に対する比率
$P\Delta T_i$	機械iについて搬出時間間隔 TBP_i の削減量比率
$pdfM-B_i(t)$	機械iのブロッキング時間についての確率密度関数
$pdfM-S_i(t)$	機械iのスターピング時間についての確率密度関数
$PM-SBN_i$	機械iが単独ボトルネックである確率
$P\Delta T$	搬出時間間隔 TBP_i の削減量比率の、全機械についての合計値

