

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2004-021600**

(43)Date of publication of application : **22.01.2004**

(51)Int.Cl. **G05B 23/02**  
**G06F 17/10**  
**G06F 17/15**  
**G06F 19/00**

(21)Application number : **2002-175593**

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

(22)Date of filing : **17.06.2002**

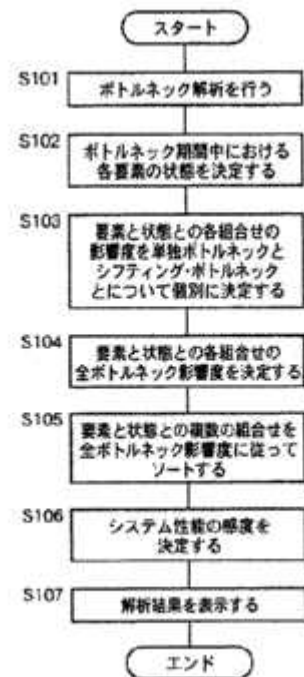
(72)Inventor : **ROSER CHRISTOPH HERMAN  
NAKANO KAN  
TANAKA MINORU**

## (54) SYSTEM PERFORMANCE SENSITIVITY ANALYSIS METHOD, PROGRAM THEREOF, RECORDING MEDIUM THEREFOR, AND SYSTEM PERFORMANCE SENSITIVITY ANALYSIS APPARATUS

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method by which the sensitivity to each variable of the performance about a kind of system whose time attribute in the the active state of each element constituting the system is linked to at least one variable directly or indirectly can be analyzed simply.

**SOLUTION:** In this method, at least one element among a plurality of elements constituting a system is decided as a bottle-neck which exerts larger influence than the other elements to the system performance (S101); the sensitivity of the performance to the object variable is analyzed by deciding the effect to the performance of the object variable, based on the time attribute in the active state of the element by regarding the variable relating to the entity decided as the bottle-neck of at least one of the variables as the object variable (S102 to S104).



(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2004-21600

(P2004-21600A)

(43) 公開日 平成16年1月22日(2004.1.22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO5B 23/02	GO5B 23/02	5B056
GO6F 17/10	GO6F 17/10	5H223
GO6F 17/15	GO6F 17/15	
GO6F 19/00	GO6F 19/00	110

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 56 頁)

(21) 出願番号	特願2002-175593 (P2002-175593)	(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41番地の1
(22) 出願日	平成14年6月17日 (2002.6.17)	(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41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41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41番地の1 株式会社豊田中央研究所内 最終頁に続く

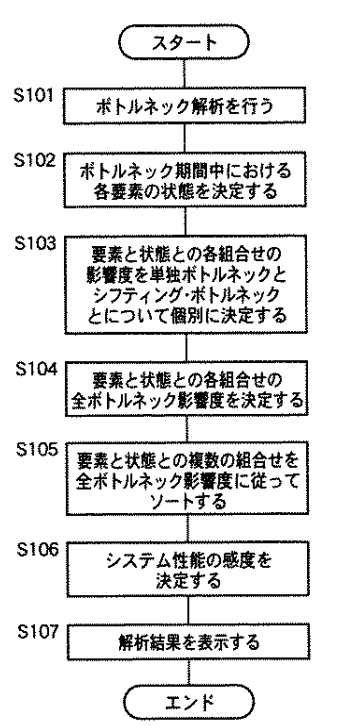
(54) 【発明の名称】 システム性能感度解析方法、プログラム、記録媒体およびシステム性能感度解析装置

(57) 【要約】

【課題】システムを構成する各要素の作用状態の時間的属性が各要素の少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられる種類のシステムについてその性能の各変数に対する感度を簡単に解析する。

【解決手段】システムを構成する複数の要素のうちの少なくとも1つを、他の要素より大きな影響をシステム性能に与えるボトルネックとして決定し(S101)、前記少なくとも1つの変数のうち、前記ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数の前記性能に対する影響度を決定することにより、その対象変数に対する前記性能の感度を解析する(S102ないしS104)。

【選択図】 図4



**【特許請求の範囲】****【請求項1】**

複数の要素により構成されるとともに各要素の状態が作用状態と非作用状態とに時間と共に変化しかつ各要素の作用状態の時間的属性が少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられるシステムの性能の感度を解析する方法であって、

前記複数の要素のうち少なくとも1つを、他の要素より大きな影響を前記性能に与えるボトルネックとして決定するボトルネック解析工程と、

前記少なくとも1つの変数のうち、前記ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数の前記性能に対する影響度を決定することにより、その対象変数に対する前記性能の感度を解析する感度解析工程と

を含むシステム性能感度解析方法。

**【請求項2】**

前記感度解析工程が、前記対象変数の変化に対応する前記システムの性能が予測される際に、前記感度の解析結果が、前記対象変数の変化量について予め定められた有効範囲であって、その変化量が理論的にとり得る最大範囲より狭い範囲についてのみローカルに有効である解析結果として利用されることを前提として実行される請求項1に記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項3】**

前記決定されたボトルネックの作用状態の時間的属性が、その作用状態の持続時間である作用時間を含み、

前記感度解析工程が、

(a) 前記作用時間の長さに基づき、その作用時間が長いほど高くなるように前記影響度を決定する影響度決定工程と、

(b) その決定された影響度をそのまま用いることにより、前記感度を決定する感度決定工程と

を含む請求項1または2に記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項4】**

前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にある作用時間に関する大小関係に基づき、それら複数の要素の少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである請求項1ないし3のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項5】**

前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうち、連続的に前記作用状態にある作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである請求項4に記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項6】**

前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうちある時期に他の要素より大きな影響を前記性能に与える少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである請求項1ないし5のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項7】**

前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうちある時期に共に前記作用状態にある少なくとも1つの要素のうち、連続的に作用状態にある作用期間の長さである作用時間がその少なくとも1つの要素の中で実質的に最大である最大作用時間要素を前記ボトルネックとして決定するものである請求項6に記載のシステム性能感度解析方法。

**【請求項8】**

前記ボトルネック解析工程が、

(a) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素が連続的に前記作用状態にある作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記

作用期間とオーバーラップしない部分を、前記ある要素が単独でボトルネックとして機能する単独ボトルネック期間として決定する単独ボトルネック期間決定工程と、

(b) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素が連続的に前記作用状態にある作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップする部分を、それら2つの時期にそれぞれボトルネックとして決定された複数の要素間においてボトルネックがシフティングするシフティング・ボトルネック期間として決定するシフティング・ボトルネック期間決定工程と

を含む請求項6または7に記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項9】

前記ボトルネック解析工程が、

(a) 前記各要素の状態の変化に関するデータを収集するデータ収集工程と、

(b) その収集されたデータに基づき、前記各要素の各時期における状態を、その要素の作用状態と非作用状態とのいずれかに分類する分類工程と、

(c) 前記各要素が連続的に前記作用状態にある作用期間の長さを作用時間として決定し、その決定された作用時間に関する前記複数の要素間の大小関係に基づき、前記ボトルネックを決定するボトルネック決定工程と

を含む請求項4ないし8のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項10】

さらに、前記システムの作動をコンピュータによるシミュレーションによって再現し、その結果を表すシミュレーション・データを作成するシミュレーション工程を含み、

前記ボトルネック解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データに基づき、前記ボトルネックを決定するとともにそのボトルネックに関するボトルネック・データを作成するものであり、

前記感度解析工程が、その1回の実行を、前記シミュレーション工程の1回の実行により作成されたシミュレーション・データと、前記ボトルネック解析工程の1回の実行により作成されたボトルネック・データとに基づいて行うものである請求項1ないし9のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項11】

前記感度解析工程が、前記感度を、前記ボトルネックとして決定された要素とそれが示す状態とにより構成される複数の組合せにそれぞれ関連付けてそれぞれ決定するとともに、それら複数の組合せを、各組合せに関連付けて決定された感度の高さに従ってソートすることにより、それら複数の組合せの順序を決定する順序決定工程を含む請求項1ないし10のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項12】

前記少なくとも1つの変数が、前記複数の組合せにそれぞれ関連付けられる複数の変数を含み、

前記感度解析工程が、前記決定された順序に従い、前記複数の変数のうち、前記システムの性能を改善するために改善することが適当であるものを選択する変数選択工程を含む請求項11に記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項13】

さらに、前記解析された感度に基づき、前記ボトルネックとして決定された要素に関連する変数を変化させることにより、前記性能を改善する性能改善工程を含む請求項1ないし12のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項14】

さらに、前記解析された感度に基づき、前記対象変数を予め定められた規則に従って変化させることを想定した場合にそれに伴って前記システムにおいて改善される性能を予測する性能予測工程を含む請求項1ないし13のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項15】

前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にあ

る作用期間の長さである作用時間に関する大小関係に基づき、前記複数の要素のうち、ある時期に前記作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するために、

(a) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素についての前記作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップしない部分を、前記ある要素が単独でボトルネックとして機能する単独ボトルネック期間として決定する単独ボトルネック期間決定工程と、

(b) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素についての前記作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップする部分を、それら2つの時期にそれぞれボトルネックとして決定された複数の要素間においてボトルネックがシフトするシフティング・ボトルネック期間として決定するシフティング・ボトルネック期間決定工程と

を含み、

前記感度解析工程が、

(a) 前記決定された単独ボトルネック期間の長さに基づき、その単独ボトルネック期間における前記影響度を単独ボトルネック影響度として決定する単独ボトルネック影響度決定工程と、

(b) 前記決定された単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間との全体ボトルネック期間の長さに基づき、その全体ボトルネック期間における前記影響度を全体ボトルネック影響度として決定する全体ボトルネック影響度決定工程と

を含み、

前記性能予測工程が、

前記決定された単独ボトルネック影響度に基づき、前記対象変数を前記予め定められた規則に従って変化させることを想定した場合にそれに伴って前記性能が改善される改善範囲の下限値を予測するとともに、前記決定された全体ボトルネック影響度に基づき、前記改善範囲の上限値を予測する改善範囲予測工程を含む請求項14に記載のシステム性能感度解析方法。

#### 【請求項16】

さらに、前記解析された感度に基づき、前記ボトルネックとして決定された要素とそれが示す状態とにより構成される複数の組合せのうち選択されたものに対応する変数である対象変数の値を前記性能が最大化されるように最適化する最適化工程を含む請求項1ないし15のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

#### 【請求項17】

さらに、前記システムの作動をコンピュータによるシミュレーションによって再現し、その結果を表すシミュレーション・データを作成するシミュレーション工程を含み、

前記ボトルネック解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データに基づき、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にある作用時間に関する大小関係に基づき、前記複数の要素のうち、ある時期に前記作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものであり、

前記感度解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データと前記決定されたボトルネックとに基づき、前記感度を解析するものであり、

前記最適化工程が、前記解析された最新の感度に基づき、前記対象変数を前記有効範囲内において変化させることを想定した場合に前記性能が最適に改善されることとなる値をローカル最適値として探索する探索工程を含み、かつ、

前記シミュレーション工程と感度解析工程と探索工程とがそれぞれ、その探索された最新のローカル最適値が予め定められた目標を満たさない場合には、前記対象変数を前記有効範囲に隣接する別の有効範囲内において変化させることを想定した状態において探索されるローカル最適値が前記目標を満たすまで、反復させられる請求項16に記載のシステム性能感度解析方法。

#### 【請求項18】

当該方法が、画面を有するコンピュータによって実行されるものであり、前記ボトルネック解析工程が、前記各要素の状態の変化に関するデータに基づき、前記複数の要素のうち前記ボトルネックとして機能するものを決定するものであり、当該方法が、さらに、前記決定された要素をボトルネックとして前記画面上に表示するとともに、前記解析された感度を前記画面上に表示する表示工程を含む請求項1ないし17のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【請求項19】

請求項1ないし18のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法を実行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20】

請求項19に記載のプログラムをコンピュータ読み取り可能に記録した記録媒体。

【請求項21】

複数の要素により構成されるとともに各要素の状態が作用状態と非作用状態とに時間と共に変化しかつ各要素の作用状態の時間的属性が少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられるシステムの性能の感度をコンピュータによって解析する装置であって、前記各要素の状態の変化に関するデータに基づき、前記複数の要素のうち少なくとも1つを、他の要素より大きな影響を前記性能に与えるボトルネックとして決定するボトルネック解析手段と、前記少なくとも1つの変数のうち、前記ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数の前記性能に対する影響度を決定することにより、その対象変数に対する前記性能の感度を解析する感度解析手段と、前記決定されたボトルネックを前記コンピュータの画面上に表示するとともに、前記解析された感度を前記画面上に表示する表示手段とを含むシステム性能感度解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数の要素により構成されるとともに各要素の状態が作用状態と非作用状態とに時間と共に変化するシステムの性能の感度を解析する技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

多くのシステムにおいては、一般に各システムの性能（パフォーマンス）すなわち処理能力（スループット）を最大化することを目的として、各システムの処理能力を制御することに関心が持たれる。例えば、生産システムにおいては、ある時間内に生産される製品または部品の数を最大化することに関心が持たれる可能性がある。

【0003】

しかしながら、現実のシステムの処理能力は常に有限である。システムにおける多くの因子がそのシステムの処理能力に影響を与えるのであるが、システムを構成する複数の要素（エンティティ）のうちそのシステムの処理能力を制限する要素は多くの場合、そのシステムにおける少数の要素（例えば、機械等のプロセッシング・エンティティ、搬送機、コンピュータのプロセッサ等）のみである。

【0004】

そのような要素は一般に、ボトルネックと称される。そのボトルネックは、例えば、離散事象システムを構成する複数の要素のうちそのシステムの全体的な流れを制限するものである。システムを構成する各要素は、物的、人的または抽象的な要素であり、例えば、機械、作業員、注文、情報等として構成され得る。

【0005】

そのため、システムの処理能力を変化させるためには、少なくとも1つのボトルネックの処理能力を変化させることが必要である。ボトルネックでない要素を調整しても、システムの処理能力に影響をほとんど与えないかまたはまったく与えない。

## 【0006】

したがって、システムを構成する複数の要素の各々がそのシステムの性能すなわち処理能力に与える影響度を決定し、それに基づき、それら複数の要素のいずれか1つまたは複数を経路として検出することが重要である。

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

種々のシステムの中には、システムの各要素の作用状態の有する時間的属性（例えば、作用状態の持続時間）が、そのシステムにおける少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられる種類のシステムが存在する。

## 【0008】

この種のシステムにおいては、各要素の作用状態の時間的属性が、例えば、システムの各要素が作用状態において示す少なくとも1つの事象の属性、すなわち、全事象の数、各事象の持続時間等によって定義され得る。

## 【0009】

図21に示す例においては、システム中の要素M1の作用状態が、共に要素M1が稼働状態という事象を示す6つの期間Wが一列に並んで構成されている。さらに、この例においては、要素M2の作用状態が、要素M2が稼働状態という事象を示す期間Wと、要素M2がセルフ・リペア状態という事象を示す期間Rと、共に要素M2が稼働状態という事象を示す3つの期間Wとが一列に並んで構成されている。

## 【0010】

ここで、システムにおける変数を具体的に説明すると、図21に示す例においては、要素M1の稼働時間と、要素M2の稼働時間と、要素M2のセルフ・リペア時間とにそれぞれ対応して3つの変数が存在すると考えることが可能である。例えば、要素M1の稼働時間とそれに対応する変数との関係については、要素M1の稼働時間それ自体が変数であるとも、要素M1の稼働時間を制御するのが変数であるとも考えることもできる。

## 【0011】

この種のシステムにおいては、各要素の変数が、各要素の作用状態の時間的属性に影響を及ぼし、よって、そのような変数を変化させれば、それに伴って各要素の作用状態の時間的属性が変化し、ひいてはシステム性能も変化する。ただし、各要素の作用状態の時間的属性に影響を及ぼさない種類の変数も存在する場合がある。

## 【0012】

この種のシステムにおいては、また、システム性能を最大化するために、システムを構成する複数の要素の中からボトルネックとして機能する要素を検出するだけでは足りない。ボトルネックとして機能する要素に関連するいくつかの変数の中から、それを改善することがシステム全体の性能を最も効果的に向上させることにつながる変数を選択することも必要である。

## 【0013】

そのような必要を満たすべく、従来から、システム変数のシステム性能に対する影響度、すなわち、システム変数に対するシステム性能の感度を測定する方法が多数存在する。

## 【0014】

それら従来方法のうち最も単純なものによれば、まず、システムのそもそもの性能すなわち初期性能が測定され、次に、システムのある変数が少量だけ変化させられる。続いて、その変化を受けたシステムについてその性能が再度測定される。それら測定された2つの性能を互いに比較することにより、そのある変数がシステムに及ぼす影響度が決定される。

## 【0015】

この従来方法は、多くの欠点を有する。一般に、同じシステムにおいて多数の変数が存在する。そのため、この従来方法では、1つの変数ごとに少なくとも1回、システム性能を評価しなければならず、よって、 $n$ 個の変数については、それを変化させる前におけるシステム評価を含めて、 $(n+1)$ 回のシステム評価が必要となる。

## 【0016】

多くの場合、正確なシステム評価結果を取得するために、各変数を両方向（各変数の値を増加させる方向と減少させる方向）に変化させることも推奨される。その結果、 $n$ 個の変数については、 $2 \times (n + 1)$ 回のシステム評価が必要となる。

## 【0017】

1回のシステム評価のために、システムを対象としてその作動のシミュレーションをコンピュータによって1回実行する場合、そのコンピュータを長時間動作させることが必要であることがある。例えば、1回のシミュレーションのために1日というように長い時間コンピュータを動作し続けることが必要となることがある。

## 【0018】

したがって、システム性能の感度を解析するために実行することが必要なシステム評価の回数を減らすことが、その感度解析の高効率化のために重要である。

## 【0019】

また、例えばタグチ・メソッドまたは実験計画法を用いることにより、システム評価の回数を削減するための方法がいくつか存在する。しかし、この従来方法でも、システム性能の感度を解析するために依然として多数回のシステム評価が必要である。

## 【0020】

たいていのシステムについては、わずかに異なった複数のシステムを作って各システムごとにシステム性能を測定することは経済的に見て実現可能であるとはいえない。必要な費用には、システムを評価する費用のみならず、システムを変更する費用もある。

## 【0021】

総合するに、システム性能の比較によってシステム性能の感度を解析することは非常に面倒なことなのである。

## 【0022】

別の従来方法によれば、システムを記述する数学モデルが用いられ、システム変数の第1導関数が関数により計算される。しかし、この従来方法は、最も単純なシステムにしか利用できない。多くの場合、そもそも数学モデルを作ることが不可能であるし、一般に、システム変数の第1導関数を作ることも不可能である。いずれにしても、数学モデルを作るとは常に複雑な作業であり、その結果、熟練された専門家による多くの努力が不可欠となる。

## 【0023】

以上説明した事情を背景とし、本発明は、各要素の作用状態の時間的属性が各要素の少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられる種類のシステムについてその性能の各変数に対する感度を簡単に解析することを課題としてなされたものである。

## 【0024】

## 【課題を解決するための手段および発明の効果】

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。

## 【0025】

(1) 複数の要素により構成されるとともに各要素の状態が作用状態と非作用状態とに時間と共に変化しかつ各要素の作用状態の時間的属性が少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられるシステムの性能の感度を解析する方法であって、前記複数の要素のうちの少なくとも1つを、他の要素より大きな影響を前記性能に与えるボトルネックとして決定するボトルネック解析工程と、前記少なくとも1つの変数のうち、前記ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数の前記性能に対する影響度を決定することにより、その対象変数に対する前記性能の感度を解析す



る感度解析工程と

を含むシステム性能感度解析方法。

【0026】

システム性能の感度解析は、一般に、システム性能を改善したり最適化するために行われるが、その際、システムについての複数の変数のうち、改善することがシステム改善に効果的につながる変数を選択することが必要である場合がある。この場合には、すべての変数について感度を解析することは不可欠ではなく、最終的に選択されるべき変数が属する要素のみに関連するすべての変数またはその一部について感度を解析すれば足りる。

【0027】

そして、最終的に選択されるべき変数が属する要素は一般に、複数の要素のうちボトルネックとして機能するものと一致する。このような知見に基づき、ボトルネックとして機能しない要素について感度解析を省略すれば、無駄な感度解析を行わずに済む。

【0028】

後に「発明の実施の形態」の欄において詳述するが、ボトルネックの作用状態の持続時間が長いほど、そのボトルネックおよびそれに関連する変数がシステム性能に及ぼす影響度が高い。このことは、ボトルネックの作用状態の持続時間が長いほど、変数に対するシステム性能の感度（以下、単に「システム性能の感度」ともいう。）が高いことを意味する。

【0029】

したがって、ボトルネックの作用状態の時間的属性に着目すれば、すべての変数についていちいちシステム感度を解析する場合より、システム性能の感度を簡単に解析することが容易となる。

【0030】

しかも、ボトルネックとして機能する要素については、それに関連する変数と、それがシステム性能に及ぼす影響との間における実際の関係は、変数の変化量が有効範囲を超えない限り、比較的単純な関係として近似することが可能である。例えば、変数を、それと関連して要素が示す事象の持続時間が減少するように変化させれば、その減少量と同量でシステム性能が変化するという単純な関係（例えば、単調増加または単調減少）として近似することが可能である。このことも後に「発明の実施の形態」の欄において詳述する。

【0031】

以上説明した知見に基づき、本項に係る方法においては、少なくとも1つの変数のうち、ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数のシステム性能に対する影響度が決定され、それにより、その対象変数に対するシステム性能の感度が解析される。

【0032】

したがって、この方法によれば、システム性能の感度を簡単に解析することが容易となる。

【0033】

本項に係る方法は、その複数の工程のすべてまたは一部がコンピュータにより実行される態様で実施したり、そのすべての工程がコンピュータを利用しないで作業員により実行される態様で実施することが可能である。

【0034】

本項において「時間的属性」は、例えば、ボトルネックの作用状態の持続時間である作用時間として定義したり、一連の作用状態においてそのボトルネックのステータス（例えば、後述の稼動状態、セルフ・リペア状態等）が時間と共に変化する場合において同じ種類のステータスが現れる回数または頻度として定義することが可能である。

【0035】

また、本項において「影響度」は、例えば、指定解析期間においてボトルネックの作用期間が占める比率または時間として定義することが可能である。

【0036】

また、本項において「感度」は、例えば、システムの変数のある量で変化させることに応答してシステム性能にある量の変化が現れる場合において、変数の変化量のうち、システム性能の変化量に現れる部分の、変数の変化量に対する比率として定義することが可能である。

【0037】

(2) 前記感度解析工程が、前記対象変数の変化に対応する前記システムの性能が予測される際に、前記感度の解析結果が、前記対象変数の変化量について予め定められた有効範囲であって、その変化量が理論的にとり得る最大範囲より狭い範囲についてのみローカルに有効である解析結果として利用されることを前提として実行される(1)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0038】

ある要素の変数を変化させる場合、その変化に伴って作用状態の持続時間が減少するにつれて、そのある要素がボトルネックではなくなる一方、別の要素がボトルネックになる可能性が増加する。

【0039】

したがって、ある要素がボトルネックとして決定された場合に、そのある要素の作用状態の時間的属性に基づいて解析されたシステム性能の感度は、変数の変化量が理論的にとり得る最大範囲より狭い範囲内にある限りにおいて、有効であることとなる。

【0040】

このような知見に基づき、本項に係る方法においては、その感度解析が、対象変数の変化に対応するシステムの性能が予測される際に、感度の解析結果が、対象変数の変化量について予め定められた有効範囲であって、その変化量が理論的にとり得る最大範囲より狭い範囲についてのみローカルに有効である解析結果として利用されることを前提として行われる。

【0041】

したがって、この方法によれば、システム性能について解析された感度を有効に利用することが促進される。

【0042】

本項における「有効範囲」は、例えば、ある変数のある値のもとでボトルネックとして機能する要素が、そのある変数をそのある値から変化させるにもかかわらず、ボトルネックとして機能し続けることとなる、そのある変数の変化範囲として定義することが可能である。

【0043】

(3) 前記決定されたボトルネックの作用状態の時間的属性が、その作用状態の持続時間である作用時間を含み、

前記感度解析工程が、

(a) 前記作用時間の長さに基づき、その作用時間が長いほど高くなるように前記影響度を決定する影響度決定工程と、

(b) その決定された影響度をそのまま用いることにより、前記感度を決定する感度決定工程と

を含む(1)または(2)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0044】

(4) 前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にある作用時間に関する大小関係に基づき、それら複数の要素の少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである(1)ないし(3)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【0045】

従来から、システムのボトルネックを検出する様々な方法が使用されている。一般的な方法は、システムを構成する複数の要素のうち、最大稼働要素、すなわち、最大稼働時間率を有し、その結果、最小のアイドル時間率を有する要素をボトルネックとして決定する方

法である。

【0046】

この従来方法においては、まず、ボトルネックの決定に必要なデータが収集され、次に、システムの各要素の稼働時間率が測定される。続いて、その測定された稼働時間率に従って複数の要素が順序付けられ、その後、最大稼働時間率を有する要素がボトルネックとして決定される。

【0047】

システムにおけるボトルネックの意義を詳しく解析するに、ボトルネックとは、システムを構成する複数の要素のうち、他の要素の潜在的な処理能力を妨げる要素、言い換えると、それ自身の処理能力が足りないために、最も長い時間作用し続けることになる要素である。

【0048】

このような知見に対し、上述の従来方法では、ボトルネックを決定するために、各要素が連続的に作用する作用時間を直接に考慮することはできず、各要素の全稼働時間をシステムの全稼働時間で割り算した稼働時間率として間接に考慮せざるを得ない。

【0049】

そのため、この従来方法では、例えば、ある要素が作用状態と非作用状態とを交互に頻繁に繰り返す場合の如く、ある要素が長い時間連続的に作用し続けたとはいえない場合であっても、その要素についての稼働時間率が大きくなってしまふ。

【0050】

その結果、この従来方法では、各要素がボトルネックとして機能する強さが稼働時間率に敏感に反映されず、真にボトルネックである要素と、真にはボトルネックではないが作用状態と非作用状態とを交互に頻繁に繰り返す要素とを顕著に互いに区別することが困難である。

【0051】

このように、この従来方法では、真にボトルネックとして機能する要素を検出することが本質的に困難なのである。

【0052】

さらに別の従来方法においては、システムが理論的に解析される。その実施可能な例は、論理的構造解析または待ち行列理論解析である。しかし、それら解析の適用は普通、複雑である。たいていの例は、学術研究のために解析される単純なシステムに限定される。その実用的な用途は、単純なシステムについてですら、それら解析の複雑さゆえに限定されてしまふ。たいていの場合、それらの理論解析を使用することは、現実のシステムを解析するには経済的ではない。

【0053】

以上説明したいいくつかの従来方法に対し、本項に係る方法においては、各要素が連続的に作用状態にある作用時間に関する複数の要素間の大小関係に基づき、各要素がシステムの性能に与える影響度が決定される。

【0054】

前述のボトルネックの意義から明らかなように、各要素の連続的な作用時間に着目すれば、各要素がシステム性能に与える影響度を正確に決定することが容易となり、真のボトルネックを確実に決定することも容易となる。

【0055】

一方、前述の説明から明らかなように、作用時間に関する複数の要素間の大小関係が、稼働時間率に関する複数の要素間の大小関係であって前述の従来方法において参照されるものより顕著に、各要素がシステム性能に与える影響度の序列を表す。

【0056】

よって、本項に係る方法によれば、各要素がシステム性能に与える影響度を高精度で決定することが容易になり、真のボトルネックを確実に決定することも容易となる。

【0057】

本項における「大小関係」は、例えば、各要素の状態をある時期に関連付けてローカルに観察することによって取得されるものと定義したり、ある期間に関連付けてグローバルに観察することによって取得されるものと定義することができる。

【0058】

(5) 前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうち、連続的に前記作用状態にある作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである(4)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0059】

この方法においては、複数の要素のうち、連続的に作用状態にある作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素がボトルネックとして機能するのが普通であるという知見を前提に、システムのボトルネックが決定される。

【0060】

(6) 前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうちある時期に他の要素より大きな影響を前記性能に与える少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものである(1)ないし(5)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【0061】

システムを構成する複数の要素のうちボトルネックとして機能するものが時間と共に変化する可能性がある場合には、ボトルネックの時間的な変化すなわちボトルネックのシフティングを検出することが要求される可能性がある。そして、ボトルネックのシフティングの検出は、複数の要素のうちボトルネックとして機能するものを期間にではなく時期に関連付けて検出することにより実現される。

【0062】

このような知見に基づき、本項に係る方法においては、複数の要素のうちある時期にボトルネックとして機能するものが決定される。

【0063】

この方法は、前記システムが、複数の要素のうちボトルネックとして機能するものが時間と共に変化する不安定状態を有する非定常状態システムである場合に有効であるのはもちろんであるが、そのような不安定状態を有しない定常状態システムにおいて実施することは可能である。

【0064】

(7) 前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素のうちある時期に共に前記作用状態にある少なくとも1つの要素のうち、連続的に作用状態にある作用期間の長さである作用時間がその少なくとも1つの要素の中で実質的に最大である最大作用時間要素を前記ボトルネックとして決定するものである(6)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0065】

この方法においては、複数の要素のうちある時期に共に作用状態にある少なくとも1つの要素のうち、連続的に作用状態にある作用時間がその少なくとも1つの要素の中で実質的に最大である最大作用時間要素がボトルネックとして機能するのが普通であるという知見を前提に、システムのボトルネックが決定される。

【0066】

この方法においては、例えば、「複数の要素のうちある時期に共に作用状態にある少なくとも1つの要素」の数が1つである場合には、作用時間に関して比較し得る他の要素が存在しないため、ある時期に作用状態にある1つの要素が自動的に、「最大作用時間要素」となる。

【0067】

これに対し、「複数の要素のうちある時期に共に作用状態にある少なくとも1つの要素」の数が複数である場合には、ある時期に共に作用状態にある複数の要素が、それらについて決定された作用時間に関して互いに比較され、その結果に基づき、「最大作用時間要素」が決定されることになる。

【0068】

本項において「実質的に最大である最大作用時間要素」は、例えば、作用時間が真に最大である要素を意味するように解釈したり、作用時間の最大値近傍に位置する作用時間を有する要素を意味するように解釈することが可能である。

【0069】

(8) 前記ボトルネック解析工程が、

(a) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素が連続的に前記作用状態にある作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップしない部分を、前記ある要素が単独でボトルネックとして機能する単独ボトルネック期間として決定する単独ボトルネック期間決定工程と、

(b) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素が連続的に前記作用状態にある作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップする部分を、それら2つの時期にそれぞれボトルネックとして決定された複数の要素間においてボトルネックがシフティングするシフティング・ボトルネック期間として決定するシフティング・ボトルネック期間決定工程と

を含む(6)または(7)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0070】

(9) 前記ボトルネック解析工程が、

(a) 前記各要素の状態の変化に関するデータを収集するデータ収集工程と、

(b) その収集されたデータに基づき、前記各要素の各時期における状態を、その要素の作用状態と非作用状態とのいずれかに分類する分類工程と、

(c) 前記各要素が連続的に前記作用状態にある作用期間の長さを作用時間として決定し、その決定された作用時間に関する前記複数の要素間の大小関係に基づき、前記ボトルネックを決定するボトルネック決定工程と

を含む(4)ないし(8)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【0071】

本項において「収集工程」は、例えば、システムの実際の作動中にそのシステムから必要なデータを収集する形式としたり、システムを対象とするコンピュータによるシミュレーションによって必要なデータを収集する形式とすることが可能である。

【0072】

(10) さらに、前記システムの作動をコンピュータによるシミュレーションによって再現し、その結果を表すシミュレーション・データを作成するシミュレーション工程を含み、

前記ボトルネック解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データに基づき、前記ボトルネックを決定するとともにそのボトルネックに関するボトルネック・データを作成するものであり、

前記感度解析工程が、その1回の実行を、前記シミュレーション工程の1回の実行により作成されたシミュレーション・データと、前記ボトルネック解析工程の1回の実行により作成されたボトルネック・データとに基づいて行うものである(1)ないし(9)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【0073】

システム性能の感度を解析するために、例えば前述のタグチ・メソッドまたは実験計画法を採用する場合には、例えば、要素がボトルネックとして機能するか否かを問わず、少なくとも、その要素に関連する変数の変域の上限値と下限値とのそれぞれについて、システムの作動がコンピュータによるシミュレーションによってそれぞれ再現される。その後、それら複数の再現の結果と、予め選択された関数とを用いることによってはじめて、変数の変域内の各値ごとに、システム性能の感度が解析される。

【0074】

そのため、タグチ・メソッドまたは実験計画法を採用する場合には、要素の数が多いほど、および各要素に関連する変数の数が多いほど、多数回のシミュレーションを行わなければならない、煩雑である。

## 【0075】

これに対し、前述のように、システムの複数の要素の中からボトルネックとして機能するものを選択した後、その選択された要素の作用状態の時間的属性を利用すれば、その要素に関連する変数に対するシステム性能の感度を解析することが可能である。換言すれば、変数を変化させることが必要である場合には、その変化量が前記有効範囲を超えない限り、その変化量から、その変数の変化に対応するシステム性能の変化を比較的単純な規則で導出することが可能なのである。

## 【0076】

したがって、ボトルネックとして機能する要素の作用状態の時間的属性に着目する場合であって、その時間的属性を取得するためにシステムの作動をコンピュータによるシミュレーションによって再現することが必要である場合には、1回のシミュレーションによる結果を用いるだけで、その時間的属性を取得してシステム性能の感度を取得することが可能である。

## 【0077】

このような知見に基づき、本項に係る方法においては、感度解析工程が、その1回の実行を、シミュレーション工程の1回の実行により作成されたシミュレーション・データと、ボトルネック解析工程の1回の実行により作成されたボトルネック・データとに基づいて行うものとされている。

## 【0078】

(11) 前記感度解析工程が、前記感度を、前記ボトルネックとして決定された要素とそれが示す状態とにより構成される複数の組合せにそれぞれ関連付けてそれぞれ決定するとともに、それら複数の組合せを、各組合せに関連付けて決定された感度の高さに従ってソートすることにより、それら複数の組合せの順序を決定する順序決定工程を含む(1)ないし(10)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0079】

この方法によれば、ボトルネックとして決定された要素とそれが示す状態とにより構成される複数の組合せが、システム性能の感度の高さに従って順序付けられる。

## 【0080】

したがって、この方法によれば、それら複数の組合せのうち、効果的にシステム性能を改善できるものを適格に選択することが支援される。

## 【0081】

(12) 前記少なくとも1つの変数が、前記複数の組合せにそれぞれ関連付けられる複数の変数を含み、

前記感度解析工程が、前記決定された順序に従い、前記複数の変数のうち、前記システムの性能を改善するために改善することが適当であるものを選択する変数選択工程を含む(11)項に記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0082】

(13) さらに、前記解析された感度に基づき、前記ボトルネックとして決定された要素に関連する変数を変化させることにより、前記性能を改善する性能改善工程を含む(1)ないし(12)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0083】

(14) さらに、前記解析された感度に基づき、前記対象変数を予め定められた規則に従って変化させることを想定した場合にそれに伴って前記システムにおいて改善される性能を予測する性能予測工程を含む(1)ないし(13)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0084】

この方法によれば、システム性能の感度の解析結果を利用することにより、ボトルネックとして決定された要素に関連する変数すなわち対象変数の変化に対応するシステム性能の改善を予測することが可能となる。

## 【0085】

(15) 前記ボトルネック解析工程が、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にある作用期間の長さである作用時間に関する大小関係に基づき、前記複数の要素のうち、ある時期に前記作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するために、

(a) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素についての前記作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップしない部分を、前記ある要素が単独でボトルネックとして機能する単独ボトルネック期間として決定する単独ボトルネック期間決定工程と、

(b) ある時期に前記ボトルネックとして決定されたある要素についての前記作用期間のうち、別の時期にボトルネックとして決定された別の要素についての前記作用期間とオーバーラップする部分を、それら2つの時期にそれぞれボトルネックとして決定された複数の要素間においてボトルネックがシフトするシフティング・ボトルネック期間として決定するシフティング・ボトルネック期間決定工程と

を含み、

前記感度解析工程が、

(a) 前記決定された単独ボトルネック期間の長さに基づき、その単独ボトルネック期間における前記影響度を単独ボトルネック影響度として決定する単独ボトルネック影響度決定工程と、

(b) 前記決定された単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間との全体ボトルネック期間の長さに基づき、その全体ボトルネック期間における前記影響度を全体ボトルネック影響度として決定する全体ボトルネック影響度決定工程と

を含み、

前記性能予測工程が、

前記決定された単独ボトルネック影響度に基づき、前記対象変数を前記予め定められた規則に従って変化させることを想定した場合にそれに伴って前記性能が改善される改善範囲の下限値を予測するとともに、前記決定された全体ボトルネック影響度に基づき、前記改善範囲の上限値を予測する改善範囲予測工程を含む(14)項に記載のシステム性能感度解析方法。

【0086】

単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間との間においては、変数のシステム性能に対する影響度の実効度が異なる。

【0087】

具体的には、単独ボトルネック期間中のボトルネックに関連する変数を、その作用状態の持続時間が減少するように変化させる場合には、その減少量と同量かまたはそれより多い量でシステム性能が改善される傾向が強い。これに対し、シフティング・ボトルネック期間中のボトルネックに関連する変数を、その作用状態の持続時間が減少するように変化させる場合には、その減少量と同量かまたはそれより少ない量でシステム性能が改善される傾向が強い。

【0088】

したがって、単独ボトルネック期間中のボトルネックに関連する変数のシステム性能に対する影響度は、その変数を変化させることによってシステム性能が改善され得る範囲の下限値を決定するために有効に利用できる。これに対し、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間との全体ボトルネック期間中のボトルネックに関連する変数のシステム性能に対する影響度は、その変数を変化させることによってシステム性能が改善され得る範囲の上限値を決定するために有効に利用できる。

【0089】

このような知見に基づき、本項に係る方法においては、単独ボトルネック期間に依拠する影響度に基づき、対象変数を予め定められた規則に従って変化させることを想定した場合にそれに伴ってシステムの性能が改善される改善範囲の下限値が予測される。さらに、全体ボトルネック期間に依拠する影響度に基づき、その改善範囲の上限値が予測される。

## 【0090】

すなわち、この方法によれば、ある要素がボトルネックとして機能する期間が、単独ボトルネック期間である場合とシフティング・ボトルネック期間である場合とでは影響度の実効度が互いに異なることを考慮して、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とに区別して解析されるため、ボトルネックとして機能する要素に関連する変数を変化させることによってシステム性能が改善される範囲が予測可能となるのである。

## 【0091】

(16) さらに、前記解析された感度に基づき、前記ボトルネックとして決定された要素とそれが示す状態とにより構成される複数の組合せのうち選択されたものに対応する変数である対象変数の値を前記性能が最大化されるように最適化する最適化工程を含む(1)ないし(15)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0092】

この方法によれば、システム性能の感度の解析結果を利用することにより、システム性能が最大化されるように対象変数の値を最適化することが可能となる。その対象変数の最適値を利用すれば、システム構成を最適化することが容易となる。

## 【0093】

(17) さらに、前記システムの作動をコンピュータによるシミュレーションによって再現し、その結果を表すシミュレーション・データを作成するシミュレーション工程を含み、

前記ボトルネック解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データに基づき、前記複数の要素間の、各要素が連続的に前記作用状態にある作用時間に関する大小関係に基づき、前記複数の要素のうち、ある時期に前記作用時間がそれら複数の要素の中で実質的に最大である少なくとも1つの要素を前記ボトルネックとして決定するものであり、

前記感度解析工程が、前記作成されたシミュレーション・データと前記決定されたボトルネックとに基づき、前記感度を解析するものであり、

前記最適化工程が、前記解析された最新の感度に基づき、前記対象変数を前記有効範囲内において変化させることを想定した場合に前記性能が最適に改善されることとなる値をローカル最適値として探索する探索工程を含み、かつ、

前記シミュレーション工程と感度解析工程と探索工程とがそれぞれ、その探索された最新のローカル最適値が予め定められた目標を満たさない場合には、前記対象変数を前記有効範囲に隣接する別の有効範囲内において変化させることを想定した状態において探索されるローカル最適値が前記目標を満たすまで、反復させられる(16)項に記載のシステム性能感度解析方法。

## 【0094】

システム作動のシミュレーション結果に基づいてシステム性能の感度が解析されれば、目標を満たすようにシステム性能を改善するために必要な変数の最適値を探索することが可能となる。

## 【0095】

しかし、前述のように、システム性能の感度の解析精度は、変数を有効範囲内で変化させる状況においてのみ有効である。すなわち、変数のある値を基準として行われた1回のシミュレーション結果は、その変数の理論的変域全体においてグローバルに有効なのではなく、有効範囲内に限ってローカルに有効なのである。

## 【0096】

このように、各回の感度解析は、ローカルに有効な感度解析なのである。それに伴い、そのようなローカル感度解析の結果に基づき、変数を有効範囲内において変化させることを想定した状態においてシステム性能の最適値(例えば、極値)を探索する各回の探索もまた、ローカルに有効な探索である。

## 【0097】

したがって、ある回のローカル探索により、システム性能についてローカル最適値が探索された後、その最新のローカル最適値によってではシステム性能を目標通りに改善できな



い場合には、変数を先の有効範囲に隣接した別の有効範囲内において変化させることを想定した状態において、システム作動を再度シミュレーションによって再現し、その新たなシミュレーション結果に基づいて新たな感度解析を行い、その解析結果に基づいて新たなローカル探索を行うことが望ましい。

【0098】

以上説明した知見に基づき、本項に係る方法が提案されたのである。

【0099】

(18) 当該方法が、画面を有するコンピュータによって実行されるものであり、前記ボトルネック解析工程が、前記各要素の状態の変化に関するデータに基づき、前記複数の要素のうち前記ボトルネックとして機能するものを決定するものであり、当該方法が、さらに、前記決定された要素をボトルネックとして前記画面上に表示するとともに、前記解析された感度を前記画面上に表示する表示工程を含む(1)ないし(17)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法。

【0100】

この方法によれば、前記(1)項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。

【0101】

本項において「データ」は、前記システムを対象として前記コンピュータと同じかまたは別のコンピュータにより実行されたシミュレーションの結果を表すシミュレーション・データとして解釈したり、前記システムの現実の作動を表すデータとして解釈することが可能である。

【0102】

(19) (1)ないし(18)項のいずれかに記載のシステム性能感度解析方法を実行するためにコンピュータにより実行されるプログラム。

【0103】

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(18)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。

【0104】

本項および下記の各項における「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。

【0105】

また、本項および下記の各項における「プログラム」は、各項に係る機能を果たすためにあえて作成された専用のプログラムとして、または専用のサブプログラム(モジュール等)の組合せとして作成することは不可欠ではなく、専用のサブプログラムと汎用のサブプログラムとの組合せとして作成することが可能であり、場合によっては、専用のサブプログラムを伴わない複数の汎用のサブプログラムの組合せとして作成する場合もあり得る。

【0106】

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

【0107】

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(18)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。

【0108】

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。

【0109】

(21) 複数の要素により構成されるとともに各要素の状態が作用状態と非作用状態と

に時間と共に変化しかつ各要素の作用状態の時間的属性が少なくとも1つの変数に直接にまたは間接に関連付けられるシステムの性能の感度をコンピュータによって解析する装置であって、

前記各要素の状態の変化に関するデータに基づき、前記複数の要素のうちの少なくとも1つを、他の要素より大きな影響を前記性能に与えるボトルネックとして決定するボトルネック解析手段と、

前記少なくとも1つの変数のうち、前記ボトルネックとして決定された要素に関連するものを対象変数として、その要素の作用状態の時間的属性に基づき、その対象変数の前記性能に対する影響度を決定することにより、その対象変数に対する前記性能の感度を解析する感度解析手段と、

前記決定されたボトルネックを前記コンピュータの画面上に表示するとともに、前記解析された感度を前記画面上に表示する表示手段と

を含むシステム性能感度解析装置。

【0110】

この装置によれば、前記(1)項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。

【0111】

本項において「データ」は、前記(18)項におけると同様に、シミュレーション・データとして解釈したり、前記システムの現実の作動を表すデータとして解釈することが可能である。

【0112】

本項に係る装置は、前記(1)ないし(17)項のいずれかに記載の特徴的技術を採用して実施することが可能である。

【0113】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のさらに具体的ないくつかの実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0114】

本発明の第1実施形態は、複数の要素により構成される離散事象システムの性能の感度を解析する方法(以下、「感度解析方法」と略称する。)である。

【0115】

この感度解析方法は、離散事象システムを構成する複数の要素のうちその離散事象システムの性能に関するボトルネックを構成する1つまたは複数の要素を決定するボトルネック解析方法を含んでいる。このボトルネック解析方法においては、その離散事象システムにおけるボトルネックのシフティングが検出される。

【0116】

ボトルネックおよびそのシフティングの検出は、すべての要素につき、連続的な作用期間の持続時間を決定することにより行われる。最も長い作用期間を有する要素がボトルネックであるとみなされる。ボトルネックは、不規則な変動およびシステム変化により、時間と共に変化する可能性がある。

【0117】

以下、この感度解析方法のうちのボトルネック解析方法を説明するが、理解を容易にするために、シミュレーション対象である生産システムに応用した場合を例にとり説明する。ただし、このボトルネック解析方法は、他のシステムに適用することも可能であり、例えば、コンピュータ・システムに適用したり、顧客サービス・システムに適用したり、交通システムに適用することが可能である。

【0118】

離散事象システムは、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。この離散事象システムは、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。

【0119】

そのような離散事象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。

【0120】

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。

【0121】

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搬出したりするために利用することが可能である。さらに、いくつかの要素は、被処理対象物の保存のためにのみ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。

【0122】

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。

【0123】

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限界がある。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限界がある。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度が測定される。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を制限する。それら要素は、一般に、ボトルネックと称される。本実施形態においては、限界のある要素がシステムの性能の限界に与える影響度が計算され、そして、ボトルネックが決定される。

【0124】

本実施形態においては、ボトルネックを決定するために、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。

【0125】

図1は、ある時間中におけるある機械（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働し、別の期間にはアイドル状態となって新たな部品を待ち、別の期間には、出力側の待ち行列がいっぱいであるために、遮断状態となって搬出がすべて終了するのを待ち、そして、別の期間には故障して修理中となる。ここに、機械の遮断状態とは、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働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。

【0126】

図2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が稼働状態、状態1が、アイドル状態となって新たな部品を待っている状態、状態2が、遮断状態となって搬出がすべて終了するのを待っている状態、状態3が、故障して自己修理（セルフ・リペア）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。

【0127】

図3には、前記感度解析方法を実施するためにユーザにより使用されるコンピュータ・システム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。このコンピュータ

・システム10は、システム性能感度解析装置の一例である。

【0128】

このコンピュータ・システム10は、よく知られているように、プロセッシング・ユニット（以下、「PU」で表す。図3においても同じとする。）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。

【0129】

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。

【0130】

ストレージ14には、この感度解析方法を実施するためにPU12により実行されるシステム性能感度解析プログラム（以下、単に「感度解析プログラム」という。）が予め記憶されている。このストレージ14には、PU12がその感度解析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。

【0131】

図4には、その感度解析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。以下、この感度解析プログラムの内容をそのフローチャートに基づいて説明する。

【0132】

この感度解析プログラムにおいては、まず、ステップS101（以下、単に「S101」で表す。他のステップについても同じとする。）において、前述のボトルネック解析方法が実施される。

【0133】

図5には、そのボトルネック解析を実施するためにコンピュータ20により実行されるボトルネック解析ルーチンの第1例の内容がフローチャートで概念的に表されている。この第1例のボトルネック解析ルーチンは、非定常状態システムの現実の作動中に、その非定常状態システムを構成する複数の要素のうち現在ボトルネックとして機能するものをリアルタイムで検出するために実行される。

【0134】

この第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、まず、S31において、各時期における各要素の状態に関するデータが収集される。非定常状態システムの状態を表すデータが収集されるのである。このデータは、非定常状態システムの作動の進行につれて逐次更新され、それにより、各要素の状態が時間と共に変化する様子を、過去および現在については表すが、未来については表さないものである。

【0135】

システムについてのこのデータは、図2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、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することが可能である。

【0136】

なお念のために付言すれば、図2に示す表においては、上記時間的情報に相当する情報として後述の作用時間が記載されているが、このことは、上記データが最初からその作用時間を含むことを意味するわけではない。作用時間は、例えば、上述の開始時期と終了時期とから計算により取得される。

【0137】

次に、S32において、各要素ごとに、各要素が過去に示したかまたは現在示している様

々な状態が評価される。具体的には、前記収集されたデータに基づき、各要素の各状態が2つのグループに分類される。第1のグループは、各要素が作用状態（アクティブ・ステート）にある場合におけるとり得るすべての状態を含んでいる。第2のグループは、各要素が非作用状態（ノン・アクティブ・ステート）にある場合におけるとり得るすべての状態を含んでいる。

【0138】

例えば、生産機械については、その生産機械が、

- (a) 被処理対象物に関して稼動中にある場合、
  - (b) 全自動的または準自動的に工具を交換している場合、
  - (c) 例えば清掃動作またはデータの再ロードのために、セルフ・サービスを行っている場合、
  - (d) その生産機械の故障を自ら修理するためにセルフ・リペアを行っている場合、または、
  - (e) 統合されたローディング機構を用いることにより、被処理対象物をロードまたはアンロードしている場合に、
- 作用状態にあると考えることが可能である。

【0139】

また、その生産機械は、例えば、

- (a) アイドリング状態となって新たな部品の納入を待っている場合、
  - (b) 遮断状態となって部品の搬出を待っている場合、または、
  - (c) その生産機械の故障を修理要素により修理してもらうために、その修理要素がその生産機械の修理を開始するのを待っている場合に、
- 非作用状態にあると考えることが可能である。

【0140】

また、例えば、生産機械のうちの搬送要素は、

- (a) 被処理対象物がある要素に向かって搬送している場合、または、
  - (b) ある部品をつかむためにある要素に向かって移動している場合に、
- 作用状態にあると考えることが可能である。

【0141】

また、その搬送要素は、新たな搬送要求を待っている場合に、非作用状態にあると考えることが可能である。

【0142】

被処理対象物をシステムに搬入したりそのシステムから搬出するための要素は、ある被処理対象物をつかんでシステムに搬入するか、またはある被処理対象物をシステムから搬出する場合に、作用状態にあると考えることが可能である。ここで、注記するに、搬入または搬出の場合のみならず、次の被処理対象物が搬入または搬出可能となるまでその要素が稼動するすべての時間も考慮することが必要である。その要素は、新たな被処理対象物を搬入することが可能であるがシステムの保存／加工能力がないために搬入できない場合、または、ある被処理対象物をシステムから搬出することが可能であるが搬出すべき被処理対象物がないために搬出することができない場合に、非作用状態にあると考えることが可能である。

【0143】

要するに、このS32においては、各要素について観察される様々な状態が評価され、各状態が作用状態であるためにシステムの処理能力が制限されるか否か、または、各状態が非作用状態であるためにシステムの処理能力に影響を与えないか否かが判断されるのである。

【0144】

なお付言すれば、上記において「修理」は、要素の作用状態に分類される動作であると定義することが常に妥当であるとは限らない。例えば、要素の修理までにその要素が長い時間待たなければならないような場合には、そのような修理は、要素の本来的作用を阻害

することから、要素の非作用状態に分類することが妥当である。しかし、要素について修理が稼動終了後に直ちに開始されて短時間で終了するような場合には、そのような修理は、要素の本来的な作用を阻害しないことから、要素の作用状態に分類することが妥当である。

【0145】

その後、S33において、ユーザにより、ボトルネック解析のための開始時期が選択される。この第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、現実の非定常状態システムの作動中にボトルネック解析が行われるため、その開始時期は、現実の現在時刻と一致するように選択される。

【0146】

続いて、S34において、現在、少なくとも1つの要素が作用状態にあるか否かが判定される。図6に例示するように、いずれの要素も作用状態にないと仮定すれば、判定がNOとなり、S35に移行する。これに対して、図7に例示するように、現在、少なくとも1つの要素が作用状態にあると仮定すれば、S34の判定がYESとなり、S35がスキップされてS36に移行する。

【0147】

なお付言すれば、図6および図7において横に延びる破線は、それが位置する期間、対応する要素が作用状態にあることを示すとともに、開始時期である現在より未来に位置するために、対応する要素の状態が未知であることを示している。これに対し、図7において横に延びる各実線は、それが位置する期間、対応する要素が作用状態にあることを示すとともに、開始時期である現在より過去に位置するために、対応する要素の状態が既知であることを示している。

【0148】

S35においては、少なくとも1つの要素が作用状態になるのが待たれる。このS35の実行中、現在時刻が繰返し更新される。

【0149】

このS35は、作用状態にある要素が存在しない間、実行される。いずれの要素も作用状態になければ、非定常状態システムにボトルネックが存在しないと判断される。この判断は、少なくとも1つでも要素が作用状態になるまで正しい。

【0150】

S36においては、現在、少なくとも1つの要素が作用状態にあることが要求されるが、この要求は、S34およびS35の実行によって満たされる。このS36においては、現在、共に作用状態にある少なくとも1つの要素についてそれぞれ決定された少なくとも1つの作用時間相互の大小関係に基づき、複数の要素のうちボトルネックとして機能するのが決定される。

【0151】

具体的には、現在、1つの要素のみが作用状態にある場合には、その要素が自動的にボトルネックとして決定される。これに対して、現在、複数の要素が共に作用状態にある場合には、それら複数の要素のうち、それらについてそれぞれ決定された複数の作用時間の最大値を有するものが、ボトルネックとして決定される。

【0152】

なお付言すれば、各要素の作用時間の長さは、各要素がボトルネックとして機能する強さを反映するため、同じ時期に共に作用状態にある複数の要素のうち、1番目に長い作用時間を有する要素を、1番目に強いボトルネックとして決定し、2番目に長い作用時間を有する要素を、2番目に強いボトルネックとして決定する態様で本発明を実施することが可能である。

【0153】

さらに付言すれば、最大の作用時間を有する要素が複数存在する場合には、それら複数の要素をいずれもボトルネックとして決定する態様で本発明を実施することが可能である。

【0154】

この第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、非定常状態システムの状態を表すデータが、その状態の未来については表さないため、現在作用状態にある要素については、図8に例示するように、その作用状態の開始時期から現在までの期間の長さが作用期間（解析上の作用期間）として決定され、その長さが作用時間（解析上の作用時間）とされる。

【0155】

S36においては、さらに、上述のようにしてボトルネックとして決定された要素の作用期間に対してボトルネック期間が設定される。図9の例においては、要素M2につき、その作用期間の全体に対してボトルネック期間が設定される。

【0156】

その後、S37において、最新のボトルネックについて決定されたボトルネック期間が終了するのが待たれる。続いて、S38において、そのボトルネック期間の終了後のある時期である終了後基準時期が現在時刻と一致するように設定される。

【0157】

続いて、S34に戻り、以後、S34ないしS38のループが再度実行される。

【0158】

このループの今回の実行時には、図9に示す例においては、現在時刻に等しい終了後基準時期に、1つの要素M1しか作用状態にないため、S36において、その要素M1が自動的に新たなボトルネックとして決定される。これに対し、図10に示す例においては、現在時刻に等しい終了後基準時期に、2つの要素M1、M3が共に作用状態にあるため、S36において、それら要素M1、M3の作用時間（解析上の作用時間）が互いに比較され、その結果、要素M3が新たなボトルネックとして決定される。

【0159】

図9に示す例においては、先行する（過去の）ボトルネックである要素M2の作用期間（すなわち先行ボトルネック期間）と、後続する（現在の）ボトルネックである要素M1の作用期間とが互いにオーバーラップしている。この場合、図5のS36においては、要素M1につき、その作用期間のうち先行ボトルネック期間とオーバーラップしない部分に後続ボトルネック期間が設定される。換言すれば、後続するボトルネックについては、先行ボトルネック期間とオーバーラップする部分が除外されて後続ボトルネック期間が設定されるのである。

【0160】

S34ないしS38のループの実行は、必要回数繰り返される。以上で、この第1例のボトルネック解析ルーチンの一回の実行、すなわち、図4におけるS101の一回の実行が終了する。

【0161】

以上の説明から明らかなように、この第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、図5のS31が前記（9）項における「データ収集工程」の一例を構成し、同図のS32が同項における「分類工程」の一例を構成し、同図のS34ないしS38が互いに共同して同項における「ボトルネック決定工程」の一例を構成しているのである。

【0162】

図11には、図4のS101においてボトルネック解析を実施するためにコンピュータ20により実行されるボトルネック解析ルーチンの第2例の内容がフローチャートで概念的に表されている。

【0163】

第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、非定常状態システムの作動中にボトルネックをリアルタイムで解析するリアルタイム解析が行われる。これに対し、第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、非定常状態システムの過去における作動状態を表す過去データ、または、非定常状態システムについてシミュレーションにより解析された作動状態を表すシミュレーション・データに基づいてボトルネックを解析する過去・シミュレーション解析が行われる。

## 【0164】

以下、第2例のボトルネック解析ルーチンを説明するが、第1例のボトルネック解析ルーチンと共通するステップについては簡単に説明し、異なるステップについてのみ詳細に説明する。

## 【0165】

まず、S41において、図5のS31におけると同様にして、非定常状態システムの作動状態を表す過去データまたはシミュレーション・データが収集される。これらデータの形式は第1例のボトルネック解析ルーチンにおけると同様である。

## 【0166】

次に、S42において、図5のS32におけると同様にして、要素の状態が作用状態と非作用状態とのいずれかに分類される。

## 【0167】

その後、S43において、図5のS33におけると同様にして、開始時期が設定される。ただし、この第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけるとは異なり、過去データまたはシミュレーション・データを利用してボトルネック解析を行うための仮想時間軸上において任意に指定し得る現在の仮想時刻と一致するように選択される。過去・シミュレーション解析を行う場合には、リアルタイム解析を行う場合とは異なり、現在までに収集されたデータが非定常状態システムの未来における状態または挙動を表さないという制約はない。

## 【0168】

続いて、S44において、図5のS34におけると同様にして、現在、少なくとも1つの要素が作用状態にあるか否かが判定される。ただし、この第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、「現在」という用語は、このS44の今回の実行時期を意味しており、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけるとは異なり、現実の現在時刻を厳密に反映することは要求されない。

## 【0169】

その後、S45において、図5のS35と同じ目的を達成するために、少なくとも1つの要素が作用状態になるのが待たれる。図5のS35においては、非定常状態システムの未来における挙動が未知であるため、少なくとも1つの要素が作用状態になるまで、現実には時間が経過するのが待たれる。これに対し、この第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、非定常状態システムの挙動がすべての期間にわたって既知であるため、少なくとも1つの要素が作用状態になるまで、現実には時間が経過するのを待つことなく、現在時刻が単に、少なくとも1つの要素の作用状態の開始時期にセットされるにすぎない。

## 【0170】

続いて、S46において、図5のS36におけると同様にして、作用時間が決定されるとともに、その決定された作用時間に基づき、ボトルネックおよびボトルネック期間が決定される。

## 【0171】

ただし、この第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけるとは異なり、ある回の作用状態の開始時期から終了時期までの期間が作用期間として決定され、その作用期間の長さが作用時間とされる。

## 【0172】

また、この第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけると同様に、最新のボトルネックについては、それに先行するボトルネックの作用期間とオーバーラップする期間が除外されて最新のボトルネック期間が設定される。

## 【0173】

その後、S47において、最新のボトルネックの作用期間の終了時期に、ごく短い時間増分 $\Delta t$ が加算されることにより、終了後基準時期が設定される。図9および図10には、最新のボトルネックの作用期間が先行ボトルネック期間である場合に、その終了時期に時間増分 $\Delta t$ が加算されることによって終了後基準時期が設定される様子が具体的に示さ



れている。このS47におけるとは異なり、第1例のボトルネック解析ルーチンにおいては、最新のボトルネックの作用期間が終了するのが待たれ、終了したならば、ちょうどその時期（その作用期間の終了時期の直後）として終了後基準時期が設定される。しかし、いずれの場合にも、終了後基準時期が、最新のボトルネックの作用期間の終了時期よりごく短い時間だけ未来に位置する時期として設定される。

【0174】

S44ないしS47のループの実行は、必要回数繰り返される。以上で、この第2例のボトルネック解析ルーチンの一回の実行、すなわち、図4におけるS101の一回の実行が終了する。

【0175】

図12には、図4のS101においてボトルネック解析を実施するためにコンピュータ20により実行されるボトルネック解析ルーチンの第3例の内容がフローチャートで概念的に表されている。

【0176】

第2例のボトルネック解析ルーチンにおいては、先行するボトルネックの作用期間であって後続するボトルネックの作用期間とオーバーラップする部分を含むものに対して先行ボトルネック期間が一旦設定されたなら、そのオーバーラップする部分に、ボトルネックのシフティングが行われたシフティング・ボトルネック期間を設定することを目的として先行ボトルネック期間が修正されることはない。

【0177】

これに対して、この第3例のボトルネック解析ルーチンにおいては、一旦決定された先行ボトルネック期間が、後続するボトルネックの作用期間とのオーバーラップがあることがその後判明すれば、そのオーバーラップする期間がシフティング・ボトルネック期間に設定されるように修正される。このようにしてシフティング・ボトルネック期間が設定されることは、各要素が単独ボトルネック（同じ時期に単独で存在する）として機能する単独ボトルネック期間と、シフティング・ボトルネック（同じ時期に他のボトルネックと併存する）としてシフティング・ボトルネック機能するシフティング・ボトルネック期間とが明瞭に区別されることを意味する。

【0178】

したがって、この第3例のボトルネック解析ルーチンによれば、各要素につき、単独ボトルネック期間と、シフティング・ボトルネック期間とを精度よく検出することが容易となる。

【0179】

この第3例のボトルネック解析ルーチンにおいては、各要素が有したすべての回の作用期間につき、開始時期のみならず終了時期も、ボトルネックの決定に先立って判明している。したがって、この第3例のボトルネック解析ルーチンによれば、真のボトルネックのみを確実に検出することが容易となる。

【0180】

以下、この第3例のボトルネック解析ルーチンを説明するが、第2例のボトルネック解析ルーチンと共通するステップについては簡単に説明し、異なるステップについてのみ詳細に説明する。

【0181】

まず、S51ないしS55が、図11のS41ないしS45と同様にして実行される。

【0182】

その後、S56において、図11のS46におけると同様にして、作用時間に基づき、現在ボトルネックおよび現在ボトルネック期間が決定される。ただし、この第3例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第2例のボトルネック解析ルーチンにおけるとは異なり、現在ボトルネックにつき、その作用期間の全体に暫定的に現在ボトルネック期間が設定される。

【0183】

S57において、その決定された現在ボトルネック期間が先行ボトルネック期間とオーバーラップするか否かが判定される。オーバーラップしない場合には、判定がNOとなり、S58およびS59がスキップされてS60に移行する。S60においては、図11のS47におけると同様にして、終了後基準時期が設定される。

【0184】

S58においては、現在ボトルネック期間のうち、先行ボトルネック期間とオーバーラップする部分が、シフティング・ボトルネック期間に決定される。このシフティング・ボトルネック期間においては、現在ボトルネックとして決定された要素がシフティング・ボトルネックとして機能する。同様にして、先行ボトルネック期間のうち、現在ボトルネック期間とオーバーラップする部分も、シフティング・ボトルネック期間に決定される。このシフティング・ボトルネック期間においては、先行ボトルネックとして決定された要素がシフティング・ボトルネックとして機能する。

【0185】

S59においては、現在ボトルネック期間が、それに設定されたシフティング・ボトルネック期間が除外されるように修正される。同様にして、先行ボトルネック期間も、それに設定されたシフティング・ボトルネック期間が除外されるように修正される。現在ボトルネック期間も先行ボトルネック期間も、その修正後に、単独ボトルネック期間を意味することとなる。

【0186】

その結果、図13に示す例（後続ボトルネックが現在ボトルネックに該当する。）においては、要素M1については、暫定的な先行ボトルネック期間（図示しない。）が最終的な先行ボトルネック期間（単独ボトルネック期間）とシフティング・ボトルネック期間との組合せに修正されるのに対し、要素M2については、暫定的な後続ボトルネック期間がシフティング・ボトルネック期間と最終的な後続ボトルネック期間（単独ボトルネック期間）との組合せに修正されることとなる。

【0187】

S54ないしS60のループの実行は、必要回数繰り返される。以上で、この第3例のボトルネック解析ルーチンの一回の実行、すなわち、図4におけるS101の一回の実行が終了する。

【0188】

なお付言すれば、上記の説明においては、共に暫定的である先行ボトルネックの作用期間と後続ボトルネックの作用期間とが互いにオーバーラップする期間において行われたボトルネックのシフティングが、継続的な事象として定義されているが、他の事象として定義することが可能である。

【0189】

例えば、ボトルネックのシフティングは、瞬間的な事象として定義することが可能である。この定義によれば、例えば、図14に示すように、共に暫定的である先行ボトルネックの作用期間と後続ボトルネックの作用期間とが互いにオーバーラップする期間内の一時期に、ボトルネックがある要素M1から別の要素M2に遷移したシフティング・ボトルネック時期が設定されることになる。

【0190】

また、ボトルネックのシフティングは、漸進的な事象として定義することも可能である。この定義によれば、例えば、図15に示すように、共に暫定的である先行ボトルネックの作用期間と後続ボトルネックの作用期間とが互いにオーバーラップする期間に、ボトルネックがある要素M1から別の要素M2に徐々にシフトした漸進シフティング・ボトルネック期間が設定されることになる。

【0191】

さらに付言すれば、この第3例のボトルネック解析ルーチンにおいては、過去・シミュレーション解析において、一旦決定された先行ボトルネック期間が、後続ボトルネックの作用期間とのオーバーラップがあることがその後判明すれば、そのオーバーラップする期間がシ

フティング・ボトルネック期間として決定されるように修正される。ただし、このような事後的修正をリアルタイム解析において行う態様で本発明を実施することが可能である。

【0192】

以上の説明から明らかなように、この第3例のボトルネック解析ルーチンにおいては、図12のS58が前記(8)項における「シフティング・ボトルネック期間決定工程」の一例を構成し、同図のS59が同項における「単独ボトルネック期間決定工程」の一例を構成しているのである。

【0193】

図16には、図4のS101においてボトルネック解析を実施するためにコンピュータ20により実行されるボトルネック解析ルーチンの第4例の内容がフローチャートで概念的に表されている。

【0194】

この第4例のボトルネック解析ルーチンにおいては、指定解析期間において、各要素ごとに、少なくとも1つの単独ボトルネック期間と少なくとも1つのシフティング・ボトルネック期間とが決定され、その後、各要素ごとに、少なくとも1つの単独ボトルネック期間についての代表値と、少なくとも1つのシフティング・ボトルネック期間についての代表値とが計算される。それら代表値に基づき、指定解析期間に関連付けて、複数の単独ボトルネックを代表する代表単独ボトルネックと、複数のシフティング・ボトルネックを代表する代表シフティング・ボトルネックとが決定される。

【0195】

すなわち、この第4例のボトルネック解析ルーチンにおいては、時期に関連付けて決定された少なくとも1つの単独ボトルネックと少なくとも1つのシフティング・ボトルネックとに基づき、それら単独ボトルネックとシフティング・ボトルネックとが属する指定解析期間に関連付けて、代表単独ボトルネックと代表シフティング・ボトルネックとが決定されるのである。

【0196】

以下、この第4例のボトルネック解析ルーチンを説明するが、第3例のボトルネック解析ルーチンと共通するステップについては簡単に説明し、異なるステップについてのみ詳細に説明する。

【0197】

まず、S121およびS122が、図12のS51およびS52と同様にして実行される。

【0198】

次に、S123において、解析期間がユーザにより指定される。その指定解析期間は、開始時期と終了時期とによって特定したり、開始時期と指定解析期間の長さによって特定することができる。また、指定解析期間は、非定常状態システムが生産ラインにおいて使用される場合には、例えば、過去15分間として定義したり、過去1年間として定義したり、交替制勤務における一回の連続勤務時間として定義することができる。

【0199】

その後、S124ないしS130が、図12におけるS54ないしS60にと同様にして実行される。

【0200】

続いて、S131において、指定解析期間が終了したか否かが判定される。終了していない場合には、判定がNOとなり、その後、S124に戻る。続いて、S124ないしS131の実行が繰り返された結果、指定解析期間が終了すれば、S131の判定がYESとなる。図17には、指定解析期間内における解析結果の一例が示されている。

【0201】

その後、S132において、各要素ごとに、単独ボトルネック期間の合計値と、シフティング・ボトルネック期間の合計値とが計算される。

【0202】

続いて、S133において、計算された単独ボトルネック期間合計値を指定解析期間の長さで割り算することにより、単独ボトルネック期間が指定解析期間を占有する単独ボトルネック期間占有率が計算される。さらに、計算されたシフティング・ボトルネック期間合計値を指定解析期間の長さで割り算することにより、シフティング・ボトルネック期間が指定解析期間を占有するシフティング・ボトルネック期間占有率が計算される。図18には、図17の例について計算された単独ボトルネック期間占有率とシフティング・ボトルネック期間占有率とが棒グラフで示されている。

【0203】

続いて、S134において、複数の要素のうち、その計算された単独ボトルネック期間占有率の最大値を有する要素が代表単独ボトルネックとして決定される。さらに、複数の要素のうち、その計算されたシフティング・ボトルネック期間占有率の最大値を有する要素が代表シフティング・ボトルネックとして決定される。図18の例においては、要素M1が代表単独ボトルネックとして決定され、要素M2が代表シフティング・ボトルネックとして決定されることになる。

【0204】

以上で、この第4例のボトルネック解析ルーチンの一回の実行が終了する。

【0205】

なお付言すれば、この第4例のボトルネック解析ルーチンにおいては、指定解析期間における少なくとも1つの単独ボトルネック期間の長さを代表する代表値の一例として単独ボトルネック期間占有率が使用されているが、その代表値の別の例として、その少なくとも1つの単独ボトルネック期間の長さの合計値を使用することが可能である。比率を使用しなくてもよいのである。このような思想はシフティング・ボトルネック期間についても適用することが可能である。

【0206】

さらに付言すれば、この第4例のボトルネック解析ルーチンにおいては、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とを互いに区別して複数の要素が互いに比較されるようになっているが、それら単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とを互いに区別しないで複数の要素を互いに比較する態様で本発明を実施することが可能である。

【0207】

この態様においては、例えば、各要素ごとに、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間との代表値を、それら2つの期間の長さを単純に足し算して計算することも可能であるが、各期間の重要性（すなわち重み）を個別に考慮して足し算して計算することも可能である。後者の場合には、例えば、単独ボトルネック期間の重みを1、シフティング・ボトルネック期間の重みを0.5として、シフティング・ボトルネック期間の長さに0.5を掛け算した値に単独ボトルネック期間の長さをそのまま足し算することにより、上記代表値を計算することが可能である。

【0208】

図19には、図4のS101においてボトルネック解析を実施するためにコンピュータ20により実行されるボトルネック解析ルーチンの第5例の内容がフローチャートで概念的に表されている。

【0209】

この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけると同様に、非正常状態システムの現実の作動中に、コンピュータ・システム10のユーザにより指定された解析基準時期（開始時期）に関連付けて、その非正常状態システムを構成する複数の要素のうちボトルネックとして機能するものがリアルタイムで検出される。リアルタイム解析が行われるのである。

【0210】

この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、第1例のボトルネック解析ルーチンにおけると同様に、非正常状態システムの作動の進行につれて逐次更新されるデータを用

いてボトルネック解析が行われる。そのデータは、未来における各要素の状態は表さない。そのため、ボトルネック解析のために考慮の対象となる要素、すなわち、現在作用状態にあるものの作用期間の終了時期は未知である。

【0211】

しかし、この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、その終了時期がシミュレーション解析によって予測される。したがって、この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、リアルタイム解析が、各要素の状態について予測された未来を考慮しつつ行われる。

【0212】

以下、この第5例のボトルネック解析ルーチンを説明するが、第1例のボトルネック解析ルーチンと共通するステップについては簡単に説明し、異なるステップについてのみ詳細に説明する。

【0213】

まず、S151ないしS155が、図5のS31ないしS35と同様にして実行される。

【0214】

その後、S156において、少なくとも1つの要素の作用期間の終了時期がシミュレーション解析によって予測される。この予測は、例えば、同じ要素がその状態変化のために従う既知の規則に従い、かつ、その同じ要素の現在の状態に基づいて行うことが可能である。

【0215】

この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、リアルタイム解析が行われるにもかかわらず、その解析のために考慮の対象となる作用期間の終了時期が、現在到来していなくても、シミュレーション解析によって予測されて取得される。したがって、この第5例のボトルネック解析ルーチンにおいては、過去・シミュレーション解析と同様にして、作用時間の決定、ボトルネックの決定、ボトルネック期間の決定、シフティング・ボトルネック期間の決定およびボトルネック期間の修正が行われる。

【0216】

そのため、S157ないしS161が、第3例のボトルネック解析ルーチンを説明する図12のS56ないしS60と同様に実行される。

【0217】

図20には、この第5例のボトルネック解析ルーチンの実行結果の一例がグラフで概念的に示されている。

【0218】

以上のようにして図4のS101におけるボトルネック解析が実施される。前述のように、システムの要素は多くの異なった状態を取り得、それら状態のうちのいくつかは作用状態であり、残りは非作用状態である。作用状態だけがシステムの処理能力を制限するため、要素が作用状態にある作用期間の持続時間に基づいてシステムのボトルネックが決定される。

【0219】

S101においてボトルネック解析が終了すると、図4のS102ないしS106において、そのボトルネック解析の結果を利用することにより、システム変数に対するシステム性能の感度を解析する感度解析が行われる。

【0220】

この感度解析の実行対象であるシステムにおいては、各要素に少なくとも1つの変数が直接にまたは間接に関連付けられ、ある変数を変化させると、それに伴い、対応する要素が一連の作用期間中に示す状態（ステータス）の種類および数や、各状態の持続時間が変化する。したがって、そのような変数に対するシステム性能の感度が判明すれば、そのシステム性能を最大化するために変化させることが適当な変数が判明し、ひいては、その適当な変数の変化量の最適値を推定することも可能となる。これが、感度解析の主な用途である。

## 【0221】

S102は、各要素がボトルネックとして機能するボトルネック期間をさらに詳細に調査することを目的とする。この目的を達成するため、このS102においては、ボトルネック期間中における各要素の状態（または事象）が決定される。

## 【0222】

なお付言すれば、ここにおいて、ボトルネック期間は、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とを含む用語として使用する。以下、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とを互いに区別しないで言及するときには、単に「ボトルネック期間」という。このことは、ボトルネックという用語を使用する場合にも同様である。

## 【0223】

S102の実行結果の一例が図21に図示されている。同図に示す例は、図13に示す例と同じ全くデータに基づいており、図13に示す例との違いは、作用期間中における事象も示されていることにある。図21には3種類の事象が存在する。

## 【0224】

- (1) 要素M1がある部品について稼動中であること。
- (2) 要素M2がある部品について稼動中であること。
- (3) 要素M2がセルフ・リペア中であること。

## 【0225】

図21には、それら事象が、稼動中という事象については、「W」を有する小さな枠で示される一方、セルフ・リペア中という事象については、「R」を有する小さな枠で示されている。同図には、さらに、前述のボトルネック解析の結果に基づくボトルネック期間も示されている。

## 【0226】

図21に示す例においては、最初に、要素M1が単独ボトルネックとなり、やがて、単独ボトルネックが要素M1から要素M2に遷移し、その後、要素M2が単独ボトルネックとなる。単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネックの一部を構成しない事象は、この感度解析には不要である。しかし、理解を助けるため、そのような事象も図21に示されている。

## 【0227】

このように、単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネック期間中におけるある要素の挙動が決定される。この結果は、後に第2実施形態において説明する瞬間的感度解析に利用することが可能である。しかしながら、本実施形態においては、システム変数に対するシステム性能の感度が、時間的に幅を有する指定解析期間について決定される。

## 【0228】

その後、図4のS103において、ボトルネックであるある要素がある状態（これは、1つの前記ステートの各成分を成すステータスを意味する。）を示すときの影響度が決定される。具体的には、本実施形態においては、ある要素がボトルネックであり、かつ、ある状態にある時間の百分率が決定される。

## 【0229】

この百分率は、指定解析期間中に、ある要素がボトルネックであり、かつ、ある状態にある時間（指定解析期間中にそのある要素がそのある状態を一回しか示さない場合には、そのある状態の持続時間を意味し、一方、複数回示す場合には、そのある状態の持続時間の合計値を意味する。）を指定解析期間の長さで割り算して計算される。この百分率の決定に際しては、単独ボトルネックであり、かつ、ある状態にある要素と、シフティング・ボトルネックであり、かつ、ある状態にある要素とが互いに区別される。

## 【0230】

すなわち、このS103においては、ある要素がボトルネックであり、かつ、ある状態にある時間の百分率が、そのある要素が単独ボトルネックである場合と、シフティング・ボトルネックである場合とについて個別に決定されるのである。

## 【0231】

さらに、このS103においては、単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネックであり、かつ、ある状態を示しているある要素についての百分率が、そのある状態を示しているそのある要素の影響度であって、そのある要素が単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネックであることが原因で生ずるものを表現している。

## 【0232】

図22には、図21に示す例に基づく百分率が棒グラフで示されている。具体的には、要素と状態との3つの組合せ、すなわち、要素M1と稼動中という状態との組合せと、要素M2と稼動中という状態との組合せと、要素M2とセルフ・リペア中という状態との組合せとがそれぞれ、単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネックの一部を構成する時間の百分率が示されている。

## 【0233】

以上、要素と状態との各組合せの影響度を説明したが、その影響度について種々の変更を行うことが可能である。

## 【0234】

例えば、上記の説明においては、要素と状態との各組合せの影響度を表現するために、ある要素が単独ボトルネックまたはシフティング・ボトルネックであり、かつ、ある状態を示している時間の百分率を用いたが、それに代えてその時間そのものを用いることが可能である。その時間は、該当する状態の数が1つである場合には、その状態の持続時間を意味し、一方、該当する状態の数が複数である場合には、それら状態の持続時間の合計値を意味する。さらに、単独ボトルネックとシフティング・ボトルネックとを互いに区別せずに影響度を決定することも可能である。

## 【0235】

以上のようにして図4のS103の実行が終了すると、S104において、1つの変数がシステム性能に与える全ボトルネック影響度が計算される。この計算は、単独ボトルネックであるある要素がある状態を示す時間の百分率（以下、「単独ボトルネック百分率」という。）を、シフティング・ボトルネックである同じ要素が同じ状態を示す時間の百分率（以下、「シフティング・ボトルネック百分率」という。）に加算することにより行われる。

## 【0236】

図22には、図21の例について計算された全ボトルネック影響度も棒グラフで示されている。同図には、単独ボトルネック百分率を表す棒グラフの右にシフティング・ボトルネック百分率を表す棒グラフが示されており、それにより、全ボトルネック影響度の代表値が表されている。

## 【0237】

その後、図4のS105において、要素と状態との複数の組合せが、上記計算された全ボトルネック影響度に従ってソートされる。図22には、図21の例についての要素と状態との3つの組合せが、全ボトルネック影響度に従ってソートされた状態で、棒グラフで示されている。

## 【0238】

続いて、図4のS106において、S104において各組合せごとに計算された全ボトルネック影響度が、前記感度解析の結果として決定される。すなわち、各組合せに影響を直接にまたは間接に影響を及ぼす要素変数に対するシステム性能の感度が決定されるのである。

## 【0239】

図22に示す例によれば、要素M1と稼動中という状態との組合せが、45パーセントの単独ボトルネック百分率と20パーセントのシフティング・ボトルネック百分率とを有して、すべての単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックのうち最も大きな部分に寄与している。したがって、その組合せが、システム性能に対して最も大きな影響度を有している。

## 【0240】

これに対し、要素M2と稼動中という状態との組合せと、要素M1とセルフ・リペア中という状態との組合せとはいずれも、すべての単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックのうち小さな部分に寄与している。したがって、システム性能のそれら2つの変数に対する感度は、敏感ではない。

## 【0241】

このように、百分率で表現されるそれらの感度値は、変数の変化がシステム性能の全体に与える相対的な影響度を表している。よって、S106の実行により、各変数に対するシステム性能の感度が相対的に決定されることとなる。

## 【0242】

そして、例えば、要素M1と稼動中という状態との組合せが少量だけ（精度が保証される範囲内において）改善された場合には、この改善のうちの45パーセントと65パーセントとの間のある部分が、システム性能の全体に利益を与えるであろう。したがって、それら感度値により、変更されたシステムの性能を予測することが可能となる。

## 【0243】

その後、S107において、ボトルネック解析および感度解析の各結果が、例えば図22に示すようなイメージでグラフィカルに（数値表示でも可。）、出力装置40の画面上に表示される。

## 【0244】

以上で、この感度解析プログラムの一回の実行が終了する。

## 【0245】

なお付言すれば、S101におけるボトルネック解析は、ボトルネックとして決定された要素の作用期間が、単独ボトルネック期間であるかシフティング・ボトルネック期間であるか区別されずに決定される場合がある。この場合には、S103およびS104の実行がスキップされ、その後、S105において、上記の作用期間が全ボトルネック期間として取り扱われる。

## 【0246】

本発明者らは、本実施形態に従う感度解析方法をシミュレーション・モデルを用いて検証した。そのシミュレーション・モデルは、図23にブロック図で概念的に示す生産システムを再現する。

## 【0247】

図23に示すように、その生産システムは、7つの要素（機械）M1ないしM7を有するとともに、2種類の部品AおよびBを生産するように構成されている。

## 【0248】

2種類の部品A、Bは、それが流れるべき経路の上流に位置するINボックスにおいて利用可能とされている。それら部品は、部品Aの数：部品Bの数が1：2となる比率で混合させられている。それら部品は、一列をなして生産ラインに供給され、その部品列は、1つの部品Aに2つの部品Bが後続することを一単位として繰り返すように構成されている。その部品列の一部は、

ABBABBABB

という部品名の列として表現される。

## 【0249】

すべての部品は要素M1を通過しなければならず、その後、要素M2に移動する。要素M2の後には、部品の経路が分岐させられており、部品Aは、要素M3とM4とによって処理される一方、部品Bは、要素M5によって処理される。いずれの部品も、続いて、要素M6とM7とによって処理されなければならず、その後、この生産システムから搬出される。要素M7において処理が完了してから、この生産システムから搬出されるまでの間に、部品に遅れは発生しない。

## 【0250】

それら複数の要素は、1つの部品に対する稼動時間（すなわち、1つの部品に対して処理



を行っている処理時間)に関し、互いに離散的であり、各稼動時間として次のような値が与えられている。

【0251】

要素M1	30秒
要素M2	50秒
要素M3	140秒
要素M4	100秒
要素M5	65秒
要素M6	30秒
要素M7	40秒

【0252】

さらに、それら要素は、時折故障し、修理が必要となる。いずれも指数的に分布するように定義された故障間時間TBFと修理に必要な時間TTRとは、次のようになっている。ただし、下記の各数値は、故障間時間TBFと修理に必要な時間TTRとについての各平均値を示している。

【0253】

要素M1	TBF: 0秒	TTR: 0秒
要素M2	TBF: 2500秒	TTR: 120秒
要素M3	TBF: 2200秒	TTR: 100秒
要素M4	TBF: 5000秒	TTR: 100秒
要素M5	TBF: 2000秒	TTR: 100秒
要素M6	TBF: 3000秒	TTR: 200秒
要素M7	TBF: 2000秒	TTR: 200秒

【0254】

最後に、この生産システムには複数のバッファが設けられている。それらバッファのうち、図23においては、各要素の上流側に配置されるものは、要素の番号の前に「BM」を付して表し、一方、各要素の下流側に配置されるものは、要素の番号の前に「AM」を付して表す。各バッファの容量は次のようになっている。

【0255】

AM1	0
AM2	0
BM3	5
AM3	0
AM4	5
BM5	5
AM5	5
BM6	0
AM6	0

【0256】

本発明者らは、以上説明したシミュレーション・モデルを用いて生産システムのシミュレーションを行ったが、そのシミュレーションは、その結果について十分な精度を確保するために、生産システムを600日間稼動する場合を想定して行った。そのシミュレーション結果によれば、2種類の部品A、Bが生産される時間間隔の平均値は、54.0秒であり、これは、2種類の部品A、Bが1時間当たり約66.7個生産されることを意味する。

【0257】

その後、そのシミュレーションの結果に基づき、その生産システム中のすべての要素につき、前記感度解析プログラムを実行することにより、変数に対するシステム性能の感度が決定された。

【0258】

図24には、その感度解析の結果が表形式で示されている。同図には、要素と状態との各組合せの、単独ボトルネックであることによりシステム性能に及ぼす影響度（以下、「単独ボトルネック影響度」という。）と、シフティング・ボトルネックであることによりシステム性能に及ぼす影響度（以下、「シフティング・ボトルネック影響度」という。）と、それらの和である全ボトルネック影響度とが示されている。

【0259】

図25には、図24に示す結果が、すべての組合せのうち全ボトルネック影響度が上位6番目までにランクされる6つの組合せにつき、棒グラフで示されている。図25から明らかかなように、要素M2と稼動中という状態との組合せが、システム性能に対する最大の影響度（実効値）を有しており、具体的には、単独ボトルネック影響度である約68パーセント（予測値）と全ボトルネック影響度である約87パーセント（予測値）との間における影響度（実効値）を有している。さらに、同図に示すように、このシミュレーション例においては、他のすべての組合せは、10パーセント以下という小さな影響度しか有していない。

【0260】

したがって、このシミュレーション例においては、当該生産システムの性能を改善するためには、要素M2の稼動時間を改善することが非常にいいしは最も有効であることが分かる。

【0261】

以上、本実施形態に従う感度解析方法により解析された感度を用いたシステム性能の予測を説明したが、次に、その予測されたシステム性能を、実測されたシステム性能と比較することにより、解析感度の有用性すなわちシステム性能の予測精度を検証する。ここに、システム性能の実測は、前記シミュレーション・モデルに対する多数の設定変更のそれぞれに対してシミュレーションを実行することにより実現される。

【0262】

図24から導かれるように、要素M2の稼動時間は、約68パーセントと約87パーセントとの間においてシステム性能に対する最大の影響度を有する。したがって、要素M2の稼動時間を5パーセント削減すれば、システム性能の改善範囲の下限値が、

$68\text{パーセント} \times 5\text{パーセント} = 3.4\text{パーセント}$

であると予測でき、かつ、その改善範囲の上限値が、

$87\text{パーセント} \times 5\text{パーセント} = 4.4\text{パーセント}$

であると予測できるから、結局、当該生産システムにおいて複数の部品が順に生産されてその生産システムから搬出される際の時間間隔すなわち部品搬出間隔（部品間時間、部品排出周期、部品製造周期、部品生産周期、部品製造時間、部品生産時間等ということも可能である）が、3.4パーセントと4.4パーセントとの間において改善されることになる。

【0263】

前述のように、同じ生産システムについての初期のシミュレーション結果では、部品搬出間隔が54.0秒であったから、要素M2の稼動時間を5パーセント削減すれば、それに応じて変更された生産システムにおける部品搬出間隔の平均値の予測値は、51.6秒（ $=54.0\text{秒} \times (100 - 4.4)\text{パーセント}$ ）と52.2秒（ $=54.0\text{秒} \times (100 - 3.4)\text{パーセント}$ ）との間になる。

【0264】

これに対し、要素M2の稼動時間を5パーセント削減するように改善された生産システムにおける部品搬出間隔の平均値の実測値は、52.1秒（ $=54.0\text{秒} \times (100 - 3.5)\text{パーセント}$ ）と52.3秒（ $=54.0\text{秒} \times (100 - 3.1)\text{パーセント}$ ）との間であった。

【0265】

それらのことが図26にグラフで表されている。同図から明らかかなように、システム性能の予測値と実測値とは非常によく一致する。

## 【0266】

システム性能の予測は、前記シミュレーション・モデルにおける要素と状態との複数の組合せのうちの5つにつき、予測値と実測値とを対比することにより検証された。各組合せに1つの変数が対応すると仮定すれば、それら5つの組合せについてのシステム性能の予測は、5つの変数をそれぞれ変化させた場合におけるシステム性能の改善の予測を意味することとなる。

## 【0267】

図27には、それら5つの変数についての予測値と実測値とが、表形式で示され、一方、図28には、グラフで示されている。それら5つの変数のうちの1つは、前述の、要素M2と稼動中という状態との組合せに対応する変数である。要素M2と稼動中という状態との組合せに対応する変数は、1番目に大きな影響度を有し、要素M7と稼動中という状態との組合せに対応する変数は、2番目に大きな影響度を有し、要素M3と稼動中という組合せに対応する変数は、3番目に大きな影響度を有している。要素M2の稼動時間を5パーセント変化させた場合の予測値の範囲も、要素M7の稼動時間を10パーセント変化させた場合の予測値の範囲も、システム性能の変化の実測値に非常によく一致する。要素M3と稼動中という状態との組合せについても、予測値が実測値に非常に近似している。

## 【0268】

さらに、要素M2のセルフ・リペア時間も10パーセント変化させ、それにより、あまり頻繁に発生しない事象の影響度を得た。この場合にも、システム性能の予測値と実測値とが非常によく一致する。

## 【0269】

最後に、M4の稼動時間を90パーセント変化させ、それにより、前記感度解析方法によれば全ボトルネック影響度が0.02パーセント(図24参照)というように極めて小さい影響度を有する変数がたしかにシステム性能の全体に影響を与えないことを検証した。

## 【0270】

総合するに、システム性能について予測された変化と、実測された変化とは非常によく一致し、このことは、システム性能の予測が小さい変化について有効であることを示している。

## 【0271】

理論的には、感度解析は、解析対象であるシステムについて有効であるのみである。そのシステムが変化した場合には、その感度もまた変化する可能性がある。前記生産システムに関し、前記感度解析により、システム性能に対する各要素(機械)の影響度が決定され、この場合、主要な影響度を有する要素がボトルネックを構成する。仮に、例えば、そのボトルネックの改善によってその生産システムを改善すると、別の要素がボトルネック、すなわち、システム性能に対して最大の影響度を有する要素になってしまう可能性があるとともに、システム性能の改善量の実測値が、その予測値より小さくなってしまいう可能性がある。

## 【0272】

このシミュレーション例においては、図24に示すように、要素M2と稼動中という状態との組合せが、68パーセントないし87パーセントというように、システム処理能力に対して最大の影響度を有する。理論的には、要素M2の稼動時間を0に設定すると、部品搬出間隔が68パーセントないし87パーセント改善される。実際には、もちろん、別の要素がボトルネックとなり、システム処理能力の改善量の実測値は予想値より小さい。

## 【0273】

要素M2の稼動時間の変化に起因するシステム性能の変化を、その稼働時間を0パーセントないし40パーセントの広い範囲で変化させる場合につき、予測するとともに実測した。図29には、システム性能の予測値の範囲と、実測された真のシステム性能とが対比して示されている。予測値は、単独ボトルネック影響度を用いて取得した場合と、全ボトルネック影響度を用いて取得した場合とについてそれぞれ示されている。

## 【0274】

例えば、0パーセントないし10パーセントというように、要素M2の稼働時間を少量変化させる場合には、部品搬出間隔の予測値が、その平均値の実測値に非常に近似している。しかしながら、要素M2の稼働時間を変化させるにつれて、要素M2がますますボトルネックでなくなる。したがって、システム性能の実際の変化は、予測された変化より小さくなり、やがて、要素M2の稼働時間をさらに変化させてもそれがシステム性能に影響しない状態に至る。

【0275】

このことは図30にも示されている。同図には、要素M2の改善された稼働時間についての感度解析の結果が示されている。最初、稼働中の要素M2が主要な影響度を有するが、この影響度は、要素M2の稼働時間の改善につれて次第に減少する。それに代わって、要素M3の稼働時間が次第に重要となり、やがて、要素M3の稼働時間が主要な影響度を有するとともに、要素M2の稼働時間がほとんど重要ではない状態に至る。このことは図29にも表されており、そこでは、システム性能の予測精度が、稼働中の要素M2の影響度が変化するにつれて低下する。

【0276】

図30に示すように、このシミュレーション例においては、ボトルネックが要素M2からM3に次第に移行し、それら2つの要素M2、M3は、要素M2の稼働時間を約10パーセント削減したときに同じ影響度を有する。

【0277】

注目すべきことは、その移行点は、システムが異なれば異なる可能性があり、別の要素がボトルネックになる速さに依存して変化する。したがって、システム性能の予測は、解析対象であるシステムについてのローカルな範囲内で有効であるのみである。

【0278】

よって、その予測を生産システムの最適化に利用するためには、その生産システムの最適化状態がその初期の設計から離れるにつれて、その生産システムを再評価することが必要である。

【0279】

以上説明した事情から、本実施形態においては、図4のS106において決定される感度が、ボトルネックの変数（例えば、稼働中の要素M2の稼働時間）のすべての変化範囲についてグローバルに有効であるとは限らず、例えば、0パーセントないし10パーセントというように、限定された範囲についてのみローカルに有効な感度として出力されるようになっている。

【0280】

以上の説明から明らかなように、本実施形態によれば、下記のいくつかの効果が選択的にまたは一緒に実現され得る。

【0281】

(1) システム変数に対するシステム処理能力の感度を測定することができる。

【0282】

(2) 解析対象であるシステムについて作動状態データの収集を1回行えさえすれば、上記感度を測定することができる。ここに、作動状態データは、現実のシステムからリアルタイムで収集されるデータもあれば、シミュレーションによって収集されるデータもある。

【0283】

(3) 上記感度を短時間で測定することができる。

【0284】

(4) 上記感度を、過去短時間について実質的にリアルタイムで測定することができる。

【0285】

(5) 上記感度の測定を、解析を自動的に行うソフトウェアにおいて容易に実現することができる。

【0286】

(6) 上記感度を実質的にリアルタイムで解析することができるため、システム処理能力を実質的にリアルタイムで改善することができ、その結果、効率最大化のためにシステムを実質的にリアルタイムで改善することができる。

【0287】

(7) 上記感度を解析するために、システムについての標準的なデータであって、取得が容易であるとともに、たいいていの場合に予め利用可能であるデータを利用することができる。

【0288】

(8) 上記感度を解析するために、システムの構成に関する情報、すなわち、そのシステムにおける複数の処理要素が互いに連携する態様に関する情報を必要とせずに済む。

【0289】

(9) システムにおける供給要素に対するシステム処理能力の感度を検出することができる。

【0290】

(10) 他の要素間において被処理対象物を搬送する搬送要素に対するシステム処理能力の感度を検出することができる。

【0291】

(11) 他の要素についてサービスとメンテナンスとを行うサービス・メンテナンス要素に対するシステム処理能力の感度を検出することができる。

【0292】

以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、図4のS101が前記(1)項における「ボトルネック解析工程」の一例を構成し、同図のS102ないしS106が互いに共同して同項における「感度解析工程」の一例を構成しているのである。

【0293】

さらに、本実施形態においては、図4のS102ないしS105が互いに共同して前記(3)項における「影響度決定工程」の一例を構成し、同図のS106が同項における「感度決定工程」の一例を構成しているのである。

【0294】

さらに、本実施形態においては、図4のS105が前記(11)項における「順序決定工程」の一例を構成しているのである。

【0295】

さらに、本実施形態においては、図4のS101が前記(18)項における「ボトルネック解析工程」の一例を構成し、同図のS107が同項における「表示工程」の一例を構成しているのである。

【0296】

さらに、本実施形態においては、コンピュータ20のうち図4のS101を実行する部分が前記(21)項における「ボトルネック解析手段」の一例を構成し、同図のS102ないしS106を実行する部分が同項における「感度解析手段」の一例を構成し、同図のS107を実行する部分が同項における「表示手段」の一例を構成しているのである。

【0297】

次に、本発明の第2実施形態を説明する。ただし、本実施形態は、第1実施形態に対し、ハードウェア構成については共通し、ソフトウェア構成についても感度解析プログラムの一部を除いて共通するため、感度解析プログラムについてのみ詳細に説明し、他の要素については同一の符号または名称を使用して引用することにより、詳細な説明を省略する。

【0298】

第1実施形態においては、時間的に幅を有する解析期間内におけるシステム状態に基づき、システムの各変数に対するシステム性能の感度が、複数の変数間において相対的に解析される。これに対し、本実施形態においては、ある時期における瞬間的なシステム状態に基づき、各変数に対するシステム性能の感度が、複数の変数間において相対的に解析される。

## 【0299】

具体的には、本実施形態においては、同じ時期に共にボトルネックとして機能する複数の要素の各々につき、同じ時期に、特定のいくつかの状態（例えば、稼動中という状態や、セルフ・リペア中という状態）のいずれにあるかが決定され、それら複数の要素について決定された複数の状態が、各状態の持続時間に関して互いに比較される。この比較結果に基づき、システムにおける複数の変数のうち、その時期において主要な影響をシステム性能に及ぼすものが、システム性能をリアルタイムで改善するために改善することが適当な変数として選択される。

## 【0300】

図31には、本実施形態における感度解析プログラムの内容がフローチャートで概念的に表されている。この感度解析プログラムは、ユーザのリクエストに応じて実行され、必要に応じてその実行が繰り返される。

## 【0301】

この感度解析プログラムの各回の実行時には、まず、S201において、図4におけるS101と同様にして、ボトルネック解析が行われる。ただし、本実施形態においては、このS201の1回の実行について図5におけるボトルネック解析ルーチンが1回のみ実行される。

## 【0302】

したがって、このS201の1回の実行が終了すると、その時期は、前記終了後基準時期に一致することになる。本実施形態においては、その終了後基準時期を瞬間的な解析時期として、感度解析が行われる。

## 【0303】

次に、S202において、図4におけるS102と同様にして、ボトルネック期間中における各要素の状態が決定される。ただし、このS202においては、今回の解析時期において、共にボトルネックとして機能する複数の要素の各々につき、その解析時期に、各要素が示す状態が決定される。例えば、稼動中という状態にあるのか、セルフ・リペア中という状態にあるのかが決定されるのである。

## 【0304】

その後、S203において、それら決定された複数の状態が、各状態の持続時間に関して互いに比較される。システム性能の感度が解析されるのである。その比較結果に基づき、システムにおける複数の変数のうち、今回の解析時期において最大の影響をシステム性能に及ぼすものが、システム性能をリアルタイムで改善するために改善することが適当な変数として選択される。

## 【0305】

具体的には、複数の状態のうち、最大の持続時間を有するものを示す要素が選択され、さらに、その選択された要素と、その最大の持続時間を有する状態との組合せに対応する変数、すなわち、その選択された要素の状態の持続時間に影響を及ぼす変数が、改善すべき変数として選択される。

## 【0306】

続いて、S204において、その選択された変数を始めとし、必要な情報が、解析結果として出力装置40の画面上に表示される。

## 【0307】

以上で、この感度解析プログラムの一回の実行が終了する。

## 【0308】

以上、ある解析時期に複数の要素が共にボトルネックとして機能する場合を例にとり説明したが、ある解析時期に1つの要素のみがボトルネックとして機能する場合もある。この場合には、システムにおける複数の変数のうち、その1つの要素がそのある解析時期に示す状態の持続時間に影響を及ぼす変数が自動的に、システム性能を改善するために改善されるべき変数に選択されることとなる。

## 【0309】

以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、図31のS203が前記(12)項における「変数選択工程」の一例を構成しているのである。

【0310】

次に、本発明の第3実施形態を説明する。ただし、本実施形態は、第1実施形態に対し、ハードウェア構成については共通し、ソフトウェア構成についても感度解析プログラムの一部を除いて共通するため、感度解析プログラムについてのみ詳細に説明し、他の要素については同一の符号または名称を使用して引用することにより、詳細な説明を省略する。

【0311】

本実施形態においては、第1実施形態に従う感度解析方法により解析された感度を利用することにより、システムにおける複数の変数のうち選択された1つの変数を変化させた場合に、それに伴うシステム性能の変化が予測される。

【0312】

図32には、本実施形態における感度解析プログラムの内容がフローチャートで概念的に表されている。この感度解析プログラムは、ユーザのリクエストに応じて実行される。

【0313】

この感度解析プログラムにおいては、まず、S301において、図4におけるS101と同様にしてボトルネック解析が行われ、次に、S302において、感度解析が行われる。この感度解析は、図4におけるS102ないしS106と同様にして行われる。

【0314】

その後、S303において、初期のシステムの性能が基準値として測定される。本実施形態においては、複数の部品がシステムから順に搬出される際の部品搬出間隔の平均値が、平均的なシステム性能を表す性能値の一例として測定される。

【0315】

ただし、システム性能を記述するために、一定時間内にシステムから搬出される部品の数(頻度)、すなわち、1時間当たりの部品数を用いることが可能である。また、部品搬出間隔の測定値の精度を、例えば、信頼区間という方式で測定することも可能である。

【0316】

続いて、S304において、前記感度解析において感度に関連付けて示された複数の変数の中から、変化対象となる1つの変数が選択される。さらに、その選択変数の目標変化量が、その後の計算を簡単にするために、百分率により表現される値で決定される。以下、この目標変化量を目標変化率という。

【0317】

ところで、図22に示す例を参照して具体的に説明すれば、本実施形態においては、S305以下のステップの実行により、要素M1の稼働時間の平均値を10パーセント削減した場合のシステム性能の変化量が予測される。

【0318】

ここで注目しなければならないことは、理論的には、前記感度解析により測定される感度は、現在の解析対象であるシステムについてのみであるということである。もちろん、複雑なシステムにおいては、システムが変化すれば感度も変化する可能性がある。したがって、理論的には、システム性能の予測は、小さなシステム変化についてのみ有効である。理論的には、その予測の精度は、システム変数の変化に起因して別の要素がボトルネックになる速さに依存する。

【0319】

その後、図32のS305において、前記選択変数につき、単独ボトルネック影響度に基づき、システム性能の変化量すなわち部品搬出間隔の変化率が予測される。

【0320】

具体的には、前記選択変数に対応する前記単独ボトルネック影響度に前記目標変化率が掛け算され、それにより、その選択変数の変化に起因するシステム性能の変化率、すなわち、単独ボトルネックの改善に寄与した部品搬出間隔の変化率が計算される。以下、単独ボトルネックの改善に依拠した部品搬出間隔の変化率を「単独ボトルネック依拠時間変化率

」といい、単独ボトルネックの改善に寄与した部品搬出間隔の変化量を「単独ボトルネック依拠時間変化量」という。

#### 【0321】

例えば、図22に示す例については、稼働中の要素M2は、45パーセントという単独ボトルネック影響度を有する。したがって、要素M2の稼働時間を選択変数として10パーセントという目標変化率で変化させると、部品搬出間隔の変化率の予測値が、単独ボトルネック影響度の寄与によって4.5パーセントとなる。すなわち、単独ボトルネック依拠時間変化率が4.5パーセントなのである。

#### 【0322】

続いて、S306において、単独ボトルネックの改善によって改善されるべき部品搬出間隔すなわち単独ボトルネック依拠改善時間が予測される。具体的には、前記計算された単独ボトルネック依拠時間変化率の予測値を、前記測定されたシステムの初期性能（前記基準値）すなわち部品搬出間隔の初期値に適用することにより、単独ボトルネック依拠改善時間が計算される。

#### 【0323】

この計算は、例えば、前記計算された単独ボトルネック依拠時間変化率と部品搬出間隔の初期値（基準値）との積が単独ボトルネック依拠時間変化量を表し、かつ、その単独ボトルネック依拠時間変化量を部品搬出間隔の初期値から引き算した値が、単独ボトルネック依拠改善時間を表すという事実を利用して行うことができる。

#### 【0324】

例えば、図22に示す例については、システムが平均的に100秒ごとに1つの部品を生産する場合、すなわち、部品搬出間隔の初期値が100秒である場合には、単独ボトルネック依拠時間変化率の計算値が4.5パーセントであるから、単独ボトルネック依拠時間変化量が4.5秒となる。よって、単独ボトルネック依拠改善時間は、95.5秒となる。

#### 【0325】

その後、S307において、上記予測された単独ボトルネック依拠改善時間として、前記選択変数を改善した場合に部品搬出間隔が改善される場合の最小値が予測される。

#### 【0326】

以上、S305ないしS307は、単独ボトルネック影響度に着目してシステム性能の改善を予測するために実行されたが、続いて、S308ないしS310が、全ボトルネック影響度に着目してシステム性能の改善を予測するために実行される。

#### 【0327】

具体的には、S308においては、S305に準じて、前記選択変数につき、全ボトルネック影響度に基づき、システム性能の変化量すなわち部品搬出間隔の変化率が予測される。

#### 【0328】

具体的には、前記選択変数に対応する全ボトルネック影響度に前記目標変化率が掛け算され、それにより、その選択変数の変化に起因するシステム性能の変化率、すなわち、単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックの改善に寄与した部品搬出間隔変化率が計算される。以下、単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックの改善に依拠した部品搬出間隔の変化率を「全ボトルネック依拠時間変化率」といい、単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックの改善に寄与した部品搬出間隔の変化量を「全ボトルネック依拠時間変化量」という。

#### 【0329】

例えば、図22に示す例については、稼働中の要素M2は、65パーセントという全ボトルネック影響度を有する。したがって、要素M2の稼働時間を選択変数として10パーセントという目標変化率で変化させると、部品搬出間隔の変化率の予測値が、全ボトルネック影響度の寄与によって6.5パーセントとなる。すなわち、全ボトルネック依拠時間変化率が6.5パーセントなのである。



## 【0330】

続いて、S309において、S306に準じて、単独ボトルネックおよびシフティング・ボトルネックの改善によって改善されるべき部品搬出間隔、すなわち、全ボトルネック依拠改善時間が予測される。具体的には、前記計算された全ボトルネック依拠時間変化率の予測値を、前記測定されたシステムの初期性能（前記基準値）すなわち部品搬出間隔の初期値に適用することにより、全ボトルネック依拠改善時間が計算される。

## 【0331】

この計算は、例えば、前記計算された全ボトルネック依拠時間変化率と部品搬出間隔の初期値（基準値）との積が全ボトルネック依拠時間変化量を表し、かつ、その全ボトルネック依拠時間変化量を部品搬出間隔の初期値から引き算した値が、全ボトルネック依拠改善時間を表すという事実を利用して行うことができる。

## 【0332】

例えば、図22に示す例については、部品搬出間隔の初期値が100秒である場合には、全ボトルネック依拠時間変化率の予測値が6.5パーセントであるから、全ボトルネック依拠時間変化量の予測値が6.5秒となる。よって、全ボトルネック依拠改善時間は、93.5秒となる。

## 【0333】

その後、S310において、S307に準じて、上記計算された全ボトルネック依拠改善時間として、前記選択変数を改善した場合に部品搬出間隔が改善される場合の最大値が予測される。

## 【0334】

続いて、S311において、前記選択変数の改善によって部品搬出間隔の改善が予想される範囲が、前記予想された最小値を下限値、最大値を上限値として用いて予測される。

## 【0335】

その後、S312において、部品搬出間隔の改善範囲の予測値が、解析結果として出力装置40の画面上に表示される。

## 【0336】

以上で、この感度解析プログラムの実行が終了する。

## 【0337】

前述のように、システム性能の、単独ボトルネック影響度に基づく予測値と、全ボトルネック影響度に基づく予測値との間に違いがあることを理解することは重要である。その違いは、単独ボトルネックとシフティング・ボトルネックとの違いに起因する。

## 【0338】

ある要素（機械）が単独ボトルネックである間は、そのある要素は、システム性能に影響を及ぼす唯一の要素である。これに対し、ある要素がシフティング・ボトルネックである場合には、そのある要素と、同時にシフティング・ボトルネックである別の要素とのうちのどれがシステム性能のどの部分に影響を及ぼすのか正確には判明しない。

## 【0339】

したがって、ある要素を、それが単独ボトルネックである間に改善すれば、システムも確実に改善され、一方、ある要素を、それがシフティング・ボトルネックである間に改善すると、他の要素も同時にシフティング・ボトルネックであるから、システムが期待通りには改善されない。

## 【0340】

その結果、システム性能の変化は、単独ボトルネック影響度に依拠して予測した変化と同じであるかまたはそれより大きいことが期待されるが、全ボトルネック影響度に依拠して予測した変化と同じかまたはそれより小さいことが期待される。

## 【0341】

要するに、システム性能の実際の変化は、シフティング・ボトルネックによる影響度に依拠した変化の大きさが不明であるという理由により、単独ボトルネック影響度に基づく予測値と、全ボトルネック影響度に基づく予測値との間のどこかにある可能性があるのだ

る。

【0342】

さらに重要なことは、前記感度解析は、厳密には、感度が測定されたシステムについてのみ有効であることを理解することである。例えば変数を変化させることが理由でシステムが変化する場合には、その感度もまた変化する。

【0343】

例えば、生産システムにおいては、システム性能に対して最大の影響を及ぼす変数が減少させられた場合には、その変数に対応する要素とは別の要素がボトルネックになる可能性があるため、その変数の影響度は、その変化させられたシステムにおいて減少する可能性がある。

【0344】

したがって、感度解析は、厳密には、変数の僅かな変化についてのみ有効である。変数の変化が増すにつれて、システム性能の感度が変化することが原因で、そのシステム性能の予測値が正確でなくなる可能性がある。

【0345】

以上の説明から明らかなように、本実施形態によれば、下記のいくつかの効果が選択的にまたは一緒に実現され得る。

【0346】

(1) システム変数の変化後におけるシステム性能を予測することができる。

【0347】

(2) システム変数の変化に起因したシステムの感度変化を予測することができる。

【0348】

(3) システム変数の変化に基づいて予測されたシステム変化の精度を決定することができる。

【0349】

以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、図32のS303ないしS311が互いに共同して前記(14)項における「性能予測工程」の一例を構成しているのである。

【0350】

さらに、本実施形態においては、図32のS305およびS306が互いに共同して前記(15)項における「単独ボトルネック影響度決定工程」の一例を構成し、同図のS308およびS309が互いに共同して同項における「全ボトルネック影響度決定工程」の一例を構成し、同図のS307、S310およびS311が互いに共同して同項における「改善範囲予測工程」の一例を構成しているのである。

【0351】

次に、本発明の第4実施形態を説明する。ただし、本実施形態は、第3実施形態に対し、ハードウェア構成については共通し、ソフトウェア構成についても感度解析プログラムの一部を除いて共通するため、感度解析プログラムについてのみ詳細に説明し、他の要素については同一の符号または名称を使用して引用することにより、詳細な説明を省略する。

【0352】

本実施形態によれば、第3実施形態を利用することにより、ボトルネック解析と感度解析とシステム性能予測とが行われ、それらの結果を利用することにより、システム処理能力を改善するためにシステムの最適化が行われる。その最適化は、基本的には、最適に改善されたシステムを勾配をベースにして探索する勾配ベース探索手法を基礎としている。ここに、勾配は、例えば図29における各グラフの勾配を指しており、これは、各変数に対するシステム性能の感度(各グラフの勾配を百分率で表現したもの)を意味している。

【0353】

本実施形態においては、その勾配ベース探索手法に従い、システム中の複数の変数のうち選択された各選択変数の各値のもとにシステム性能が予測され、その結果に基づいてシステム性能の最適化が探索される。ただし、この探索は、各選択変数が理論的に変化し得る

最大範囲について一括してグローバルに行われるものではない。各選択変数の最大範囲が複数の部分範囲に分割され、各部分範囲を対象にしてローカルにシステム性能が予測されてシステム性能の最適値が探索される。そして、そのようなローカル探索が反復され、その結果として、各選択変数の最大範囲全体を対象にしてシステム性能の最適値が探索されることになる。

【0354】

さらに、本実施形態においては、ローカル探索が反復されるにつれてシステム性能に必要な評価（各要素の状態の解析、ボトルネック解析および感度解析）も反復される。これは、ローカル探索の更新につれてシステムの設定も更新されるからであり、これにより、各回のローカル探索における性能予測の精度が確保される。

【0355】

このように、本実施形態においては、同じシステムについての評価の反復が必要であるため、システム性能の最適化のため、そのシステムを再現するシミュレーション・モデルが用いられて、各回のローカル探索ごとに、システムについての新たな設定についてのシミュレーションが反復される。

【0356】

図33には、本実施形態における感度解析プログラムの内容がフローチャートで概念的に表示されている。この感度解析プログラムは、ユーザのリクエストに応じて実行される。

【0357】

この感度解析プログラムにおいては、まず、S401において、ユーザの指示に従い、システム最適化についての制約が定義される。

【0358】

例えば、システムにおける複数の変数のいくつかは、特定の制約内において変化することが許容される。システムを取得して利用するために投入可能な全費用の額が制約され、例えば、将来の利益が小さいのなら高価な機械を購入することが禁止される。その結果、複数の変数のうち改善が許容されるものが実用上制約され、さらに、改善が実用上許容される変数であってもその改善範囲が実用上制約される。それらの制約は、最適化前に定義しなければならない。ここに、各変数の、実用上制約された改善範囲は、理論的に変化可能な最大範囲より狭い。

【0359】

さらに、最適化前に、システムの初期設定（システムの初期条件、システムの各変数の初期値等ともいうことが可能である）も選択しなければならない。実現可能なシステム設定を初期設定として用いることが重要である。実現可能なシステムについての探索に、第3実施形態における感度解析手法および性能予測手法を組み込むことが可能である。

【0360】

このS401においては、さらに、ユーザの指示に従い、システムが最適であると判定されるためにシステム性能が収まらなければならない最適範囲（または、システム性能が超えなければならない閾値）も定義される。その最適範囲は、システムが承認されるためにそのシステム性能が最適点に近ければならない程度を示すものである。

【0361】

このS401においては、さらにまた、ユーザの指示に従い、探索についてのステップ・サイズも定義される。このステップ・サイズは、各回の探索が終了するごとに次の探索に備えてシステム変数を変化させる量を意味し、さらに、1回の探索中にシステム変数を逐次変化させる場合のその変化量の合計値の限界値を意味する。このステップ・サイズは例えば、各変数の10パーセント以内の値として定義される。このステップ・サイズは、各変数の、実用上制約された改善範囲と等しいかもしくは狭く、よって、各変数の、理論的に変化可能な最大範囲より狭い。すなわち、本実施形態においては、そのステップ・サイズが前記(1)項における「有効範囲」の規定する値の一例なのである。

【0362】

その探索においては、第3実施形態と同様にして性能予測を行った場合の結果が利用され

るが、前述のように、その結果は、基準となるシステムの近傍においてのみ有効である。そのため、システムの同じ設計を基準として探索を1回行う際に、その探索のために各変数を変化させ得る限界を規定することが必要であり、よって、このステップ・サイズの定義が必要なのである。

【0363】

次に、S402において、後続するボトルネック解析、感度解析および性能予測に必要なデータを取得するために、システムがシミュレートされる。

【0364】

続いて、S403において、図32のS301と同様にして、S402の実行によるシミュレーション結果を表すシミュレーション・データに基づき、ボトルネック解析が行われる。これにより、システム中の複数の要素のうち各時期にボトルネックであるものが検出されるとともに、その検出された要素の作用期間につき、単独ボトルネック期間とシフティング・ボトルネック期間とが割り当てられる。

【0365】

その後、S404において、図32のS302と同様にして、S402の実行により得られたシミュレーション・データと、S403の実行によるボトルネック解析結果を表すボトルネック・データとに基づき、感度解析が行われる。これにより、システムの各変数の、システム性能に対する影響度が測定される。

【0366】

続いて、S405において、前記シミュレーション結果により測定されたシステム性能が前記定義された最適範囲内にあるか否か、すなわち、システムが最適であるか否かが判定される。システムが最適である場合には、判定がYESとなり、直ちにこの感度解析プログラムの実行が終了する。これに対し、システムが最適ではない場合には、判定がNOとなり、S406に移行する。

【0367】

このS406においては、第3実施形態における性能予測を行うことにより、改善されたシステムが探索される。その改善されたシステムは、S401において定義された制約を満たすことが要求される。このS406においては、システムの各変数を、前記ステップ・サイズより小さい変化量で変化させてシステム性能を予測することが反復されるが、この際、変数の全体変化量が、S401において定義されたステップ・サイズによって制限される。これにより、性能予測の精度が確保される。

【0368】

このS406においては、具体的には、システム中の複数の変数のうちボトルネックに関連するもののうち改善が実用上許容された少なくとも1つの選択変数が逐次変化させられる。その少なくとも1つの選択変数の個数が複数である場合には、それら複数の選択変数の各値により構成される組合せが逐次変化させられる。

【0369】

このような逐次変化は、各選択変数の最大範囲（各選択変数の初期値を基準とし、かつ、ステップ・サイズと同じ幅を有する範囲）内においてシステム性能が極大となる値をローカル最適値として探索することを目的として、繰り返される。

【0370】

その探索は、種々の手法で行うことが可能であり、例えば、それぞれよく知られた、ランダム探索法で行ったり、勾配探索法で行ったり、実質的な全数探索法で行うことが可能である。

【0371】

本実施形態においては、第3実施形態におけると同様に、システムについての1つの設定（設計）に対応するシステム性能を簡単かつ迅速に予測することができる。したがって、1回の探索において、コンピュータ20を使用することにより、システムについての多数の候補設定についてシステム性能をそれぞれ予測するとともにそれら多数の予測結果を互いに比較することを短時間で行うことができる。

## 【0372】

その後、S407において、S406の実行によってシステム性能についてローカル最適値が取得されたか否かが判定される。ローカル最適値が取得されない場合には、判定がN Oとなり、S406に戻る。

## 【0373】

このS406の今回の実行時には、各選択変数の、前回の探索における初期値がステップ・サイズで変化させられ、これが、次回の探索における各選択変数の初期値とされる。各選択変数の値がステップ・サイズで変化させられれば、それに伴い、システムすなわちシミュレーション・モデルの設定が仮想的に変更される。

## 【0374】

S406およびS407の実行が繰り返された結果、システム性能についてローカル最適値が取得された場合には、S407の判定がYESとなり、S402に戻る。

## 【0375】

このS402においては、最新のシステム設定に対してシミュレーションが行われる。これにより、各選択変数の最新の初期値についてのシミュレーション・データが取得される。

## 【0376】

続いて、S403ないしS407が、以上説明した場合と同様にして実行される。S402ないしS407の実行が繰り返された結果、システム性能の最新のローカル最適値が前記最適範囲内に収まるようになれば、S405において、システム性能が最適であると判定される。

## 【0377】

その後、S408において、システム性能の最新のローカル最適値とそれを実現するための各選択変数の最適値とが、解析結果として出力装置40の画面上に表示される。

## 【0378】

以上で、この感度解析プログラムの実行が終了する。

## 【0379】

以上の説明から明らかなように、本実施形態においては、図33のS402が前記(10)項における「シミュレーション工程」の一例を構成し、同図のS403が同項における「ボトルネック解析工程」の一例を構成し、同図のS404が同項における「感度解析工程」の一例を構成しているのである。

## 【0380】

さらに、本実施形態においては、図33のS405ないしS407が互いに共同して前記(16)項における「最適化工程」の一例を構成しているのである。

## 【0381】

さらに、本実施形態においては、図33のS402が前記(17)項における「シミュレーション工程」の一例を構成し、同図のS403が同項における「ボトルネック解析工程」の一例を構成し、同図のS404が同項における「感度解析工程」の一例を構成し、同図のS406が同項における「探索工程」の一例を構成しているのである。

## 【0382】

以上、本発明の具体的な実施の形態のいくつかを図面に基づいて詳細に説明したが、これらは例示であり、前記「課題を解決するための手段および発明の効果」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】本発明の第1実施形態に従うシステム性能感度解析方法の一応用例における生産システムのある要素の状態が時間と共に変化する様子をそのある要素が加工機である場合について示すタイムチャートである。

【図2】上記応用例においてシステムのボトルネックを検出するために必要なデータのリストを示す図である。

【図3】上記第1実施形態に従うシステム性能感度解析方法を実施するためにユーザにより使用されるコンピュータ・システムのハードウェア構成を概念的に示すブロック図である。

【図4】図3におけるシステム性能感度解析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5】図4におけるS101の実行のために図3におけるコンピュータにより実行されるボトルネック解析ルーチンの第1例の内容を概念的に表すフローチャートである。

【図6】図5のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのグラフである。

【図7】図5のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するための別のグラフである。

【図8】図5のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのさらに別のグラフである。

【図9】図5のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのさらに別のグラフである。

【図10】図5のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのさらに別のグラフである。

【図11】図4におけるS101の実行のために図3におけるコンピュータにより実行されるボトルネック解析ルーチンの第2例の内容を概念的に表すフローチャートである。

【図12】図4におけるS101の実行のために図3におけるコンピュータにより実行されるボトルネック解析ルーチンの第3例の内容を概念的に表すフローチャートである。

【図13】図12のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのグラフである。

【図14】図12のボトルネック解析ルーチンの一改良例であってボトルネックのシフティングの定義が図12のボトルネック解析ルーチンとは異なるものを具体的に説明するためのグラフである。

【図15】図12のボトルネック解析ルーチンの別の改良例であってボトルネックのシフティングの定義が図12のボトルネック解析ルーチンとも図14の改良例とも異なるものを具体的に説明するためのグラフである。

【図16】図4におけるS101の実行のために図3におけるコンピュータにより実行されるボトルネック解析ルーチンの第4例の内容を概念的に表すフローチャートである。

【図17】図16のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのグラフである。

【図18】図16のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するための別のグラフである。

【図19】図4におけるS101の実行のために図3におけるコンピュータにより実行されるボトルネック解析ルーチンの第5例の内容を概念的に表すフローチャートである。

【図20】図19のボトルネック解析ルーチンの実行内容を具体的に説明するためのグラフである。

【図21】図4におけるS102の実行内容を具体的に説明するためのタイムチャートであって図13のグラフに対応するとともに各要素の状態変化をより詳しく示すタイムチャートである。

【図22】図4におけるS103ないしS1052の実行内容を具体的に説明するためのグラフである。

【図23】前記第1実施形態に従うシステム性能感度解析方法を検証するために用いられるシステムのシミュレーション・モデル例を概念的に示すブロック図である。

【図24】上記システムの要素と状態との複数の組合せの各々に関連付けて、図23のシミュレーション・モデル例を用いたシミュレーション結果から計算された単独ボトルネック影響度とシフティング・ボトルネック影響度と全ボトルネック影響度とを表形式で示す図である。

【図25】上記複数の組合せの一部に関連付けて単独ボトルネック影響度とシフティング・ボトルネック影響度とを示すグラフである。

【図26】上記システムの要素M2の稼働時間を変化させた場合につき、そのシステムの部品搬出間隔の、図24のシミュレーション結果に基づく予測値を実測値と対比して示すグラフである。

【図27】上記要素M2の稼働時間とそれ以外の要素の稼働時間とをそれぞれ変化させた場合につき、上記部品搬出間隔の、図24のシミュレーション結果に基づく予測値を実測値と対比して表形式で示す図である。

【図28】図27と同じデータを示すグラフである。

【図29】上記要素M2の稼働時間を変化させた場合につき、図24のシミュレーション結果に基づいて予測されたシステム性能を真のシステム性能と対比して示すグラフである。

【図30】上記要素M2の稼働時間を変化させるにつれて、その要素M2の影響度が減少する一方、別の要素M3の影響度が増加することを示すグラフである。

【図31】本発明の第2実施形態に従うシステム性能感度解析方法を実施するためにコンピュータにより実行されるシステム性能感度解析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32】本発明の第3実施形態に従うシステム性能感度解析方法を実施するためにコンピュータにより実行されるシステム性能感度解析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33】本発明の第4実施形態に従うシステム性能感度解析方法を実施するためにコンピュータにより実行されるシステム性能感度解析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。

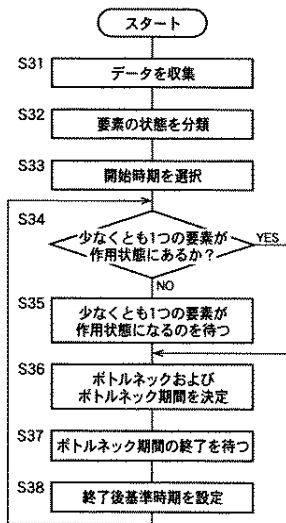
【符号の説明】

- 10 コンピュータ・システム
- 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
- 30 入力装置
- 40 出力装置

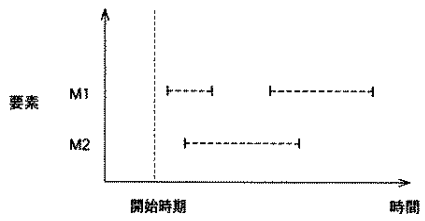




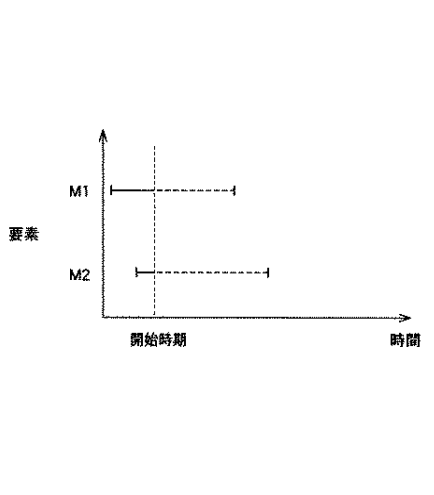
【図5】



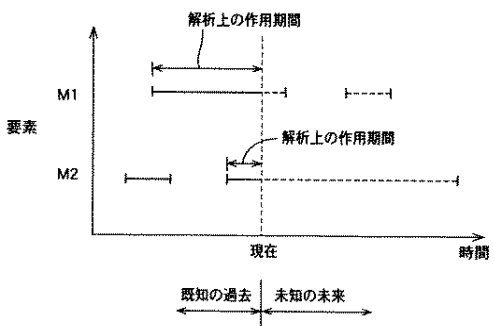
【図6】



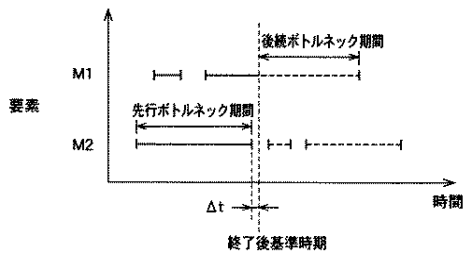
【図7】



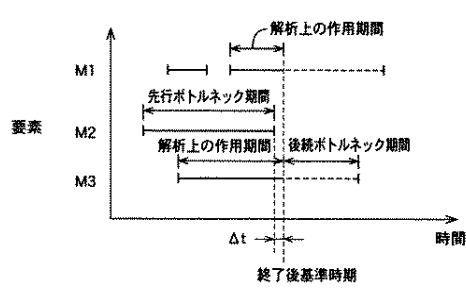
【図8】



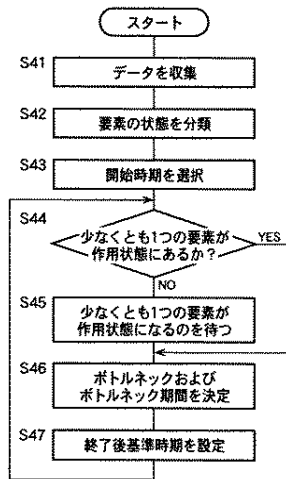
【図9】



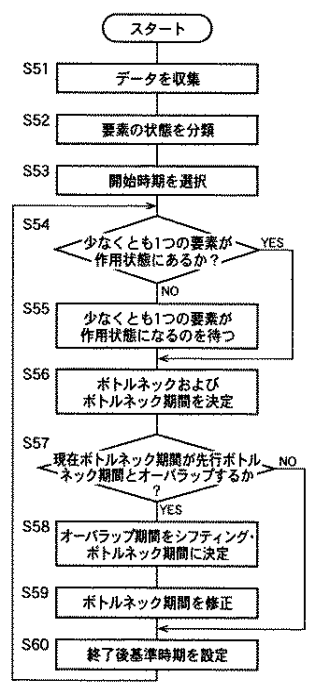
【図10】



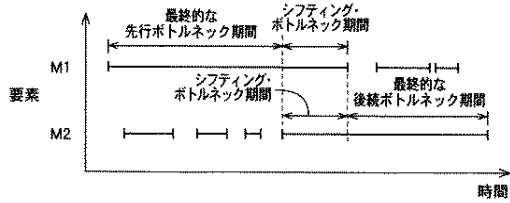
【図11】



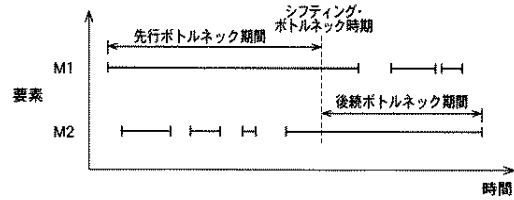
【図12】



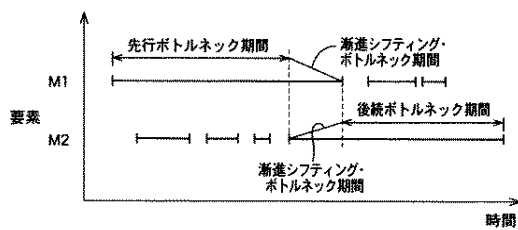
【図13】



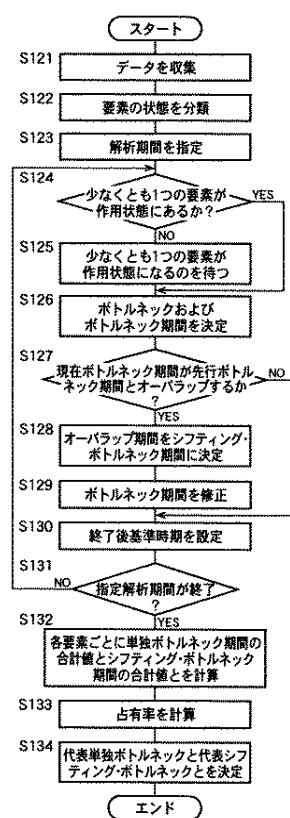
【図14】



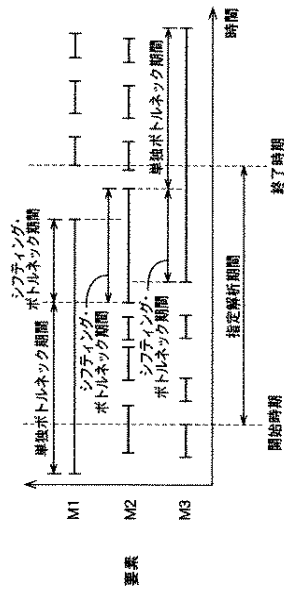
【図15】



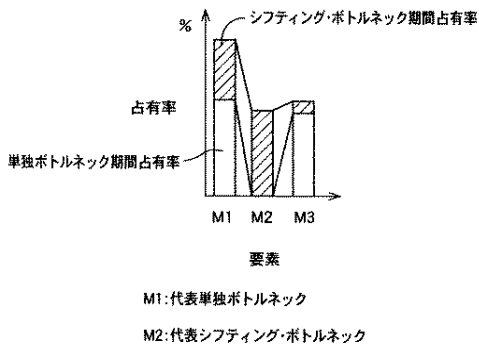
【図16】



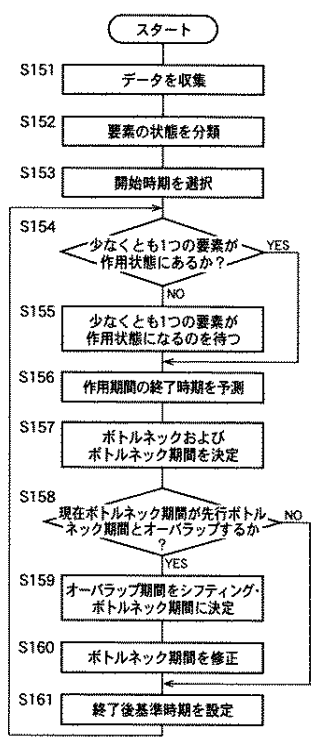
【図17】



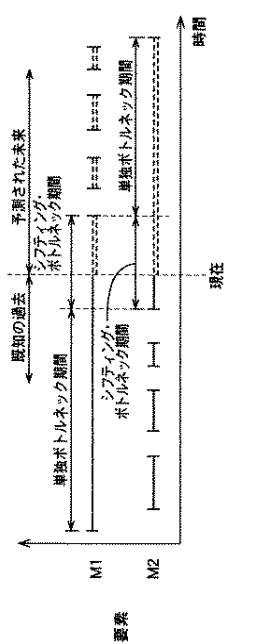
【図18】



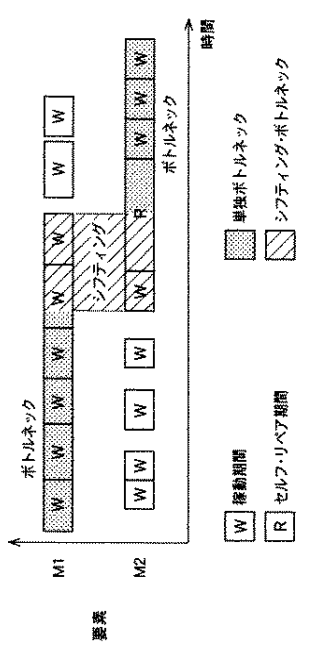
【図19】



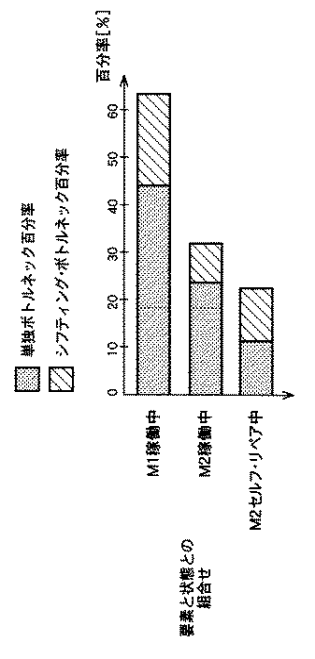
【図20】



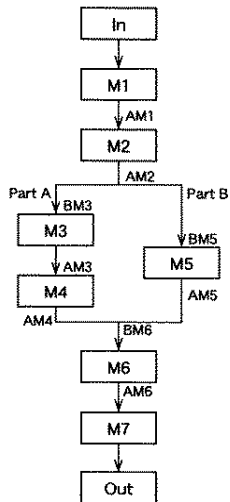
【図21】



【図22】



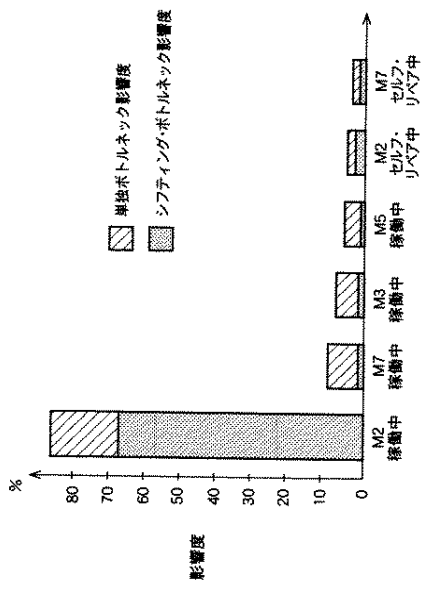
【図23】



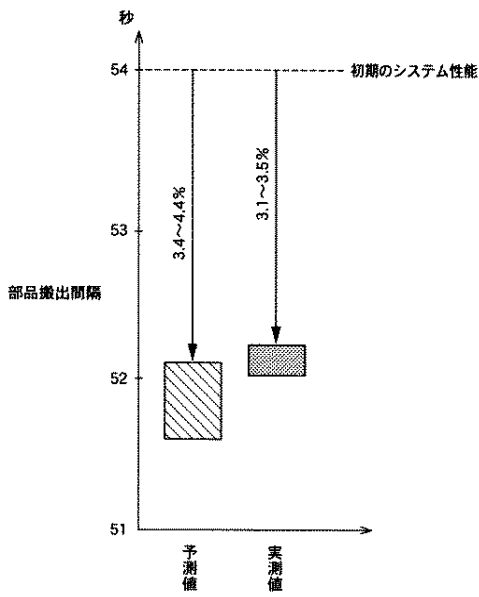
【図24】

組合せ	単独ボトルネック影響度	シフティング・ボトルネック影響度	全ボトルネック影響度
M2稼働中	67.78%	18.85%	86.63%
M7稼働中	2.51%	7.56%	10.06%
M3稼働中	1.42%	7.25%	8.67%
M5稼働中	0.70%	4.82%	5.52%
M2セルフ・リペア中	3.67%	0.79%	4.45%
M7セルフ・リペア中	1.29%	1.87%	3.17%
M6セルフ・リペア中	0.66%	0.68%	1.35%
M5セルフ・リペア中	0.41%	0.68%	1.09%
M3セルフ・リペア中	0.19%	0.73%	0.92%
M6稼働中	0.00%	0.18%	0.18%
M4セルフ・リペア中	0.01%	0.03%	0.04%
M4稼働中	0.00%	0.02%	0.02%
M1稼働中	0.00%	0.00%	0.00%

【図25】



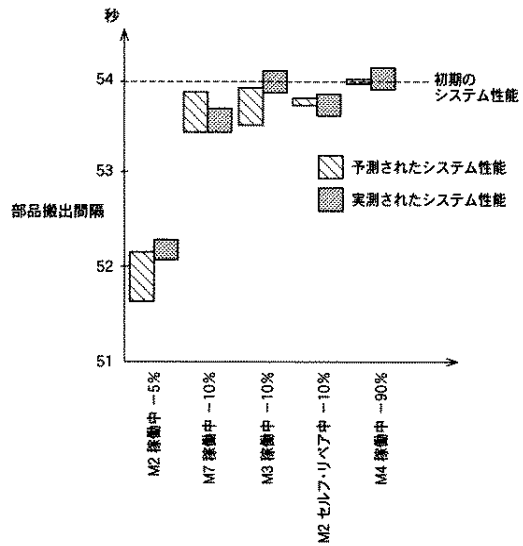
【図26】



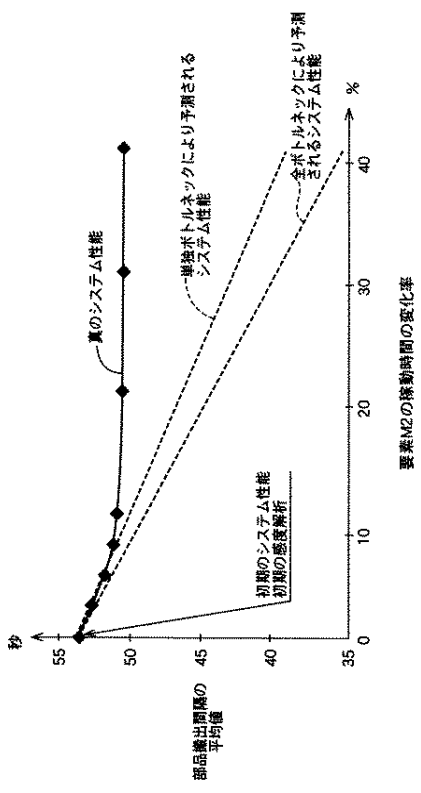
【図27】

変数の変化	予測値		実測値	
	Low	High	Low	High
M2 稼働中 -5%	3.39%	4.33%	3.08%	3.48%
M7 稼働中 -10%	0.25%	1.01%	0.55%	1.00%
M3 稼働中 -10%	0.14%	0.87%	-0.23%	0.22%
M2 セルフ・リペア中 -10%	0.37%	0.45%	0.23%	0.68%
M4 稼働中 -90%	0.00%	0.02%	-0.30%	0.15%

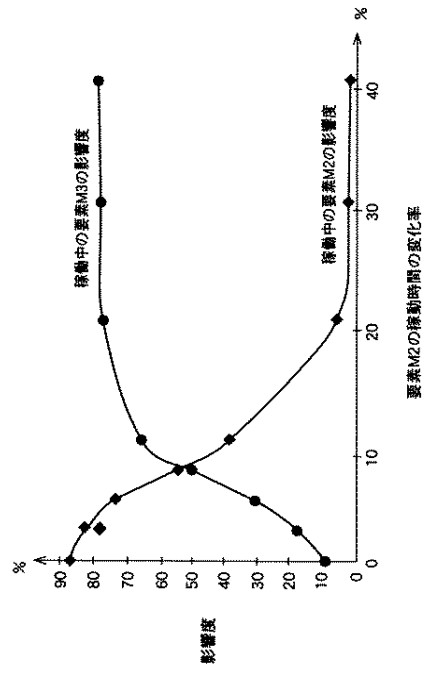
【図28】



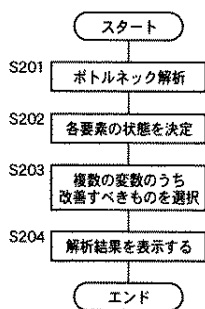
【図29】



【図30】



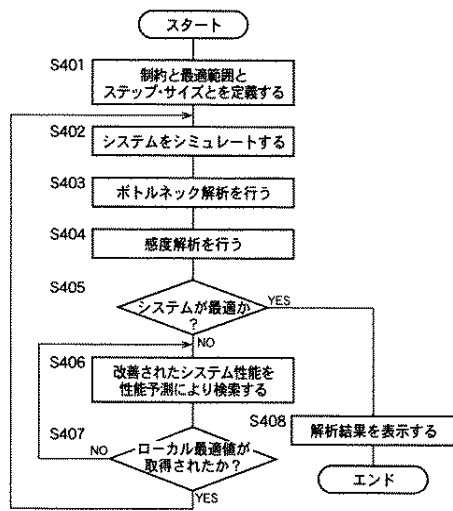
【図31】



【図32】



【図33】





Fターム(参考) 5B056 BB22 BB36 BB66  
5H223 AA01 AA05 AA09 DD09 EE06 FF05