(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 1 月 3 日(03.01.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/002319 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 19/418 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)
G06Q 50/04 (2012.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/084031

(22) 国際出願日: 2012 年 12 月 28 日(28.12.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2012-148004 2012 年 6 月 29 日(29.06.2012) JP

(71) 出願人: 国立大学法人筑波大学(**UNIVERSITY OF TSUKUBA**) [JP/JP]; 〒3058577 茨城県つくば市天王台一丁目１番１ Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 畠　澄佳(**HATA Sumika**); 〒3058577 茨城県つくば市天王台一丁目１番１　国立大学法人筑波大学内 Ibaraki (JP). 山崎　雄大(**YAMAZAKI Yudai**); 〒4360005 静岡県掛川市伊達方３７３番地 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 鈴木　均(**SUZUKI Hitoshi**); 〒1650026 東京都中野区新井２－６－５　ＤＳＫ情報センタービル２階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) **Title**: OPTIMUM INDICATOR GENERATING DEVICE, OPTIMUM INDICATOR GENERATING METHOD, OPTIMUM INDICATOR GENERATING PROGRAM, AND OPTIMUM INDICATOR GENERATING SERVER

(54) 発明の名称 : 最適指標生成装置、最適指標生成方法、最適指標生成プログラム及び最適指標生成サーバ

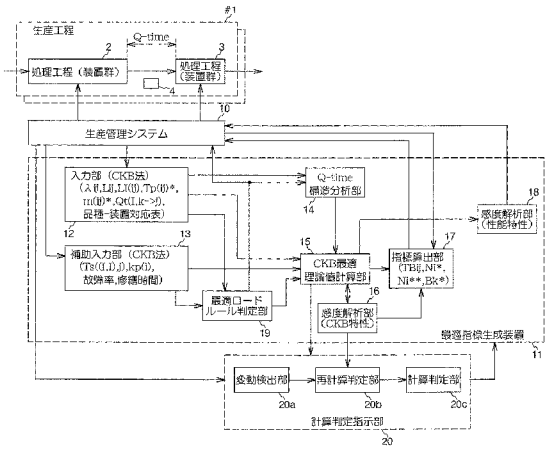


FIG. 1:
#1 Production process
2, 3 Processing process (apparatuses)
10 Production management system
11 Optimum indicator generating device
12 Input unit (CKB method) (λij, Lij, Ll(ij), Tp(j)*, m(ij)*, Qt(l, k->j), product-type / apparatus correspondence list)
13 Auxiliary input unit (CKB method) (Ts((l, l), j), kp(i), failure rate, repair time)
14 Q-time structure analysis unit
15 CKB optimum logical-value calculation unit
16 Sensitivity analysis unit (CKB characteristic)
17 Indicator calculation unit
18 Sensitivity analysis unit (performance characteristic)
19 Optimum load-rule determining unit
20 Calculation evaluation instruction unit
20a Change detection unit
20b Recalculation evaluation unit
20c Calculation evaluation unit

(57) **Abstract**: The purpose of the present invention is to provide optimum operation management conditions that enable observance of Q-time restrictions with reliability, even in a situation wherein Q-time restrictions are easily crossed, as not achieved in conventional methods and enable improvement in throughput of good products, reduction of costs, and reduction of environmental load. Provided is an optimum indicator generating device (11) that supplies indicator information related to a plurality of apparatuses, the device being provided with: an information input unit (12) that inputs information related to a plurality of apparatuses that are contained within a production system via a production management system (10); a Q-time structural analysis unit (14) that analyzes from the inputted information the Q-time restrictions that indicate the upper-limit values and lower-limit values for staying in the time in the middle of processing processes of the plurality of apparatuses; and an indicator calculation unit (17) that calculates, on the basis of the inputted information and the Q-time structure, the number of kanbans and a buffer size that are optimum, and outputs the result as the indicator information. The optimum indicator information calculated by the indicator calculation unit (17) is provided to the production management system (10).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/002319 A1

MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 4.17 に規定する申立て:

— 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則 4.17(v))

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

— 補正された請求の範囲（条約第 19 条(1)）

従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することを目的とする。複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置（１１）であって、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システム（１０）を介して入力する情報入力部（１２）と、入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の上限値や下限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部（１４）と、入力された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別 の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出部（１７）と、を備え、指標算出部（１７）により算出された最適な指標情報を生産管理システム（１０）に提供する。

明　細　書

発明の名称 ：

最適指標生成装置、最適指標生成方法、最適指標生成プログラム及び最適指標生成サーバ

技術分野

[0001] 本発明は、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給するための最適指標生成装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、半導体・液晶製造（以後、半導体製造等）における製造プロセスでは、処理時間等の処理条件のみを設計・管理すれば、設計通りの製品品質が概ね確保できていた。

しかし、加工寸法の微細化（数十ナノメートル単位）や単位製品の大型化に伴い、ある処理と他の処理の開始／終了の間の滞在時間も厳密に管理しなければ設計通りの製品品質を達成できなくなってきた。この滞在時間の上限値または下限値をＱ－ｔｉｍｅ制約（または時間制約）と呼び、あらゆる製品の製造において欠かせない製造条件となっている。

[0003] 製造中にＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守できなかった半製品は、リワーク（再処理）または破棄されるため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れは、品質／価値の低下およびコスト・時間・資源・エネルギー等の浪費をもたらし、大きな損失となっている。

このような損失としては例えば、昨今の大口径・高集積の製品ウエハ単価は１００万円から数１０００万円と高額である。また、生産設備単価も数千万円～数十億円と高額であり、その減価償却費用は年間の製造コストの５０％以上を占めているため、単位時間当たりの良品生産量の確保が極めて重要な課題である。

加えて、リワークの発生により処理工程の負荷が高まり、副次的なリワー

クの増加にもつながる。

[0004] そのため、半導体製造等において、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の遵守は、第一優先の生産目標とされ、他の主要な生産目標（納期の遵守、スループットの向上、段取りの低減など）よりも重視されていることが多い（国内の工場へのヒアリング結果や先行文献等から）。

[0005] Ｑ－ｔｉｍｅ制約に関わる問題は、技術ロードマップに従う加工寸法の微細化や処理単位の大型化（高額化）に伴い、ますます重要性が増し、産業内の共通課題となっている。２０００年代中頃から、生産スケジューリング問題として企業を中心に盛んに研究されている。

[0006] このように、重要性が認識されている一方で、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ他の生産目標を達成するための最適な生産管理方法（特に生産スケジューリング方法）が未だ確立されていない現状にある。

このような現状に留まっている理由は、主に次の３つの問題点による。

[0007] 第１問題点として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守するためには生産流量を制限する必要があり、この制限が他の生産目標（例えばスループット向上）の達成と相反する要件になっている。そのため、多品種生産の多目的の最適化は困難である。加えて、製造工程の処理単位がバッチで処理単位が変わったり、内部で複数の異なる処理を施すマルチタスク型であったりして、解析的モデル化が困難である。

[0008] 第２問題点として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である製造装置の予防保全について、適正化が図られていない。

予防保全時期には、稼働台数が減り、当該工程（装置群）の生産能力が著しく低下する。また、予防保全終了後には、装置を高い稼働率で運用するため、後続工程の物流に大きな変動をもたらす。このように生産能力や物流の変動が大きい状況下では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすく副次的に他の生産目標にも負の影響をもたらす。しかし、従来の生産管理体系では、生産物流等を主に扱う第１次管理と装置の予防保全等を扱う第２次管理が業務上独立しており、両者の総合的管理がなされていない。例えば、予防保全の

計画では、予防保全関連コストの最小化を目的とし、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を考慮に入れていない［非特許文献２等］。

［0009］ 第３問題点として、数十のＱ－ｔｉｍｅ制約が製造フローの中に点在して相互干渉し合っているため、全体の同時管理が不可欠である。また、数百工程にも及ぶ製造フロー全体を実時間で管理するために、高速な計算方法が必要とされる。複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の構造分析や同時管理の方法については、汎用な方法論自体が存在しない。

上記Ｑ－ｔｉｍｅ制約は、例えば７００工程ほどのメモリ製造フロー上にＱ－ｔｉｍｅ制約が６０箇所以上存在する。相互干渉する場合には、片方のＱ－ｔｉｍｅ制約は守れるが他方のＱ－ｔｉｍｅ制約は守れない等の問題が起こるため同時管理する必要がある。

第４問題点として、先行技術に共通する問題点に、実時間管理に適応可能な計算時間を実現すること問題がある。

例えば、非特許文献１や非特許文献２で応用されている混合整数計画法の計算オーダーは指数時間であり、そのため、生産工程の一部分に対する１週間程度の生産期間を対象にした生産スケジュールに限定しなければ現実的な時間内に算定することができない。半導体製造のように、生産期間が１．５ヵ月から２．５ヵ月程度と長く、また、生産工程に含まれる工程数が３００から１０００工程程度と大規模な生産システムの最適管理には、高速な計算方法が必要である。また、日々起こる動的な変化に対応するための再計算を実時間に実現する計算の高速性が求められる。

［0010］ 従来技術では、第１問題点に関連して、多数の先行技術が存在する。大別すると、個々のロットの滞在時間を管理する方法（非特許文献１）と、ロットの個数で滞在時間を管理する方法（特許文献１、特許文献２）などがある。

［0011］ 特許文献１では、半導体前処理工場を対象に、Ｑ－ｔｉｍｅ制約値の遵守と目標生産量の達成とを目的として、前工程完了後から着工前までのＱ－ｔｉｍｅ制約に限定した生産管理システムを提案している。

同一装置群ｉを共用する全ての工程の平均処理時間から装置群ｉの平均処理時間を計算した上で、Ｑ－ｔｉｍｅ制約時間を守るための仕掛ロット数上限値ＷＬ（ｉ）を計算し、待ち行列Ｍ／Ｍ／１モデルを用いて計算した装置群ｉの待ちロット数の期待値Ｗρと上限値ＷＬ（ｉ）などを比較して、リスクの大きさを判断している。工程のスラックと稼働率を用いて定量的に評価し、装置をＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守しない可能性（リスク）の高低で分類し改善指針とする。工程処理時間、工程数、装置数について、複数個の改善案候補の算定とその実現可能性の判定を行い、実行可能な改善案が１つでもあれば改善を施し、なければ改善しない。

[0012] 特許文献２では、従来の搬送システムのホストコンピュータに処理装置からのワーク情報をリンクし、適切な基準在庫を計算させ、コンピュータが自ら搬送指示を行うことで、自動的にワークの品質保証時間を維持する。これにより、液晶表示装置の製造に使用されるワークの搬送において、ワークの品質保証時間、いわいるＱ－ｔｉｍｅのオーバタイムを解決し、品質保証時間の維持が可能な搬送ができる自動管理システムを提供する自動管理システムが報告されている。

[0013] 非特許文献１では、国立台湾大学とコネチカット大学およびＩｎｏｔｅｒａメモリーズ社における共同研究の成果が報告されている。直列する三工程モデルで、第１工程の終了時点から第２工程の処理開始時点まで、および第２工程の処理終了時点から第３工程の処理開始時点までの２つのＱ－ｔｉｍｅ制約が連続する単一のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を対象としている。ジョブの装置への割り付けを混合整数計画問題としてモデル化して解く手法を提案し、ヒューリスティクスと比較した改善効果を示している。比較対象としているヒューリスティクスは、第３工程の処理時間の残りが６０分になった時点で第２工程の処理を始める経験的方法である。提案手法がヒューリスティクスと比べて評価指標が改善した成果（第３工程の稼働率が１６％ＵＰ、生産量１５％ＵＰ、第２工程の待ち時間が１／４、平均待ち時間が約１／２に低減）を示した。比較実験には、実工場のデータを使用している。

[0014] 非特許文献２では、米国の大学・企業・ＩＳＭＩメンバーとの共同研究の成果が報告されている。半導体製造における予防保全（ＰＭ）タスクの最適スケジューリングに関するアルゴリズムを基礎とした予防保守最適化ソフトウェアツール（ＰＭＯＳＴ）のアーキテクチャと活用例を示している。ＰＭのスケジュールは、ＰＭタスクのコスト最小化を目的とした混合整数計画問題を用いて、外部から与えられるベーススケジュールを調整した結果として算定される。実際の産業データと工場モデルを用いた４つ事例のシミュレーション結果を示し、それらの結果から、ＰＭ作業の強化と装置生産性が良好に改善されたことを示した。ＰＭＯＳＴで利用されるＰＭ最適化アルゴリズムの他への実装のためのテンプレートとガイドラインも提供している。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：特開２００８－７７３７０公報

特許文献2：特開２００３－１０８２１３公報

非特許文献

[0016] 非特許文献1：Optimal Wet-Furnace Machine Allocation for Daily Fab Production Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM2010)、 pp.47-50、 2010 October 18-20.

非特許文献2：Optimal Preventive Maintenance Scheduling in Semiconductor Manufacturing Systems: Software Tool and Simulation Case Studies IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing、 vol.23 No.3、 pp.477-489、 2010 August.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0017] しかしながら、これらの方法を用いても、多品種生産において、確実にＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ良品スループット向上とコスト低減を達成する方法は確立されているとは言い難く、生産性の維持と向上を妨げている要因と

なっている。

[0018] 例えば、特許文献１では、モデル化の精度が低いため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れを防止することができないといった問題があった。

特許文献２では、搬送等の管理システム（情報システム）に重点が置かれ、生産効率の向上という観点で実用性に欠ける技術であった。

[0019] 非特許文献１ではＱ－ｔｉｍｅ制約が割れやすい状況、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の下限を扱わないで最適化を指向しているものの、多数のＱ－ｔｉｍｅ制約を扱う場合には組合せが膨大になり、実時間に活用できるような高速な計算は望めないといった問題があった。

[0020] 一方、第２および第３の問題点に関連するような類似技術は見られない。

例えば、非特許文献１では、典型的な１種類のＱ－ｔｉｍｅ制約区間のみを課題にしている。また、特許文献１では、４種類の構造を課題に取り上げているが、管理方法を提供しているのは１種類の構造のみに留まる。この結果、両先行技術とも、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約の構造を網羅的に定義して全体管理する方法を提供してはいない。

[0021] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷や資源・エネルギー消費の低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することを目的とする。

[0022] また、上記目的に関連して、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、装置の予防保全、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することを容易にすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0023] 上記課題を解決するために、請求項１記載の発明は、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置

と製品に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置である。

[0024] 請求項３記載の発明は、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算ステップと、前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出ステップと、製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定ステップと、を実行し、前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0025] 請求項１１記載の発明は、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置と製品に

関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバである。

[0026] 請求項１２記載の発明は、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置と製品に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算ステップと、前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出ステップと、製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定ステップと、を実行し、前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0027] 請求項１３記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数

の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、前記ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出部と、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動内容を算出する最適理論値計算部と、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出部と、前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在するすべてのＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御部と、を備え、前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置である。

[0028] 請求項１４記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介

して入力する情報入力ステップと、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析ステップと、前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析ステップと、前記ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出ステップと、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出ステップと、前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、前記時間指標算出ステップと指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0029] 請求項１８記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、前記受信された情報から１つ以上のＱ－ｔ

ｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、前記ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出部と、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する時間指標算出部と、前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバである。

[0030] 請求項１９記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析ステップと、前記受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析ステップと、前記ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標

算出ステップと、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する時間指標算出ステップと、を実行し、前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0031] 請求項２０記載の発明は、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置である。

[0032] 請求項２２記載の発明は、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用

装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0033] 請求項２５記載の発明は、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報入力部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバである。

[0034] 請求項２６記載の発明は、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、前記開始終了時期算出ステップにより算出さ

れた最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0035] 請求項２７記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する情報入力部と、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出部と、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する情報入力部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置である。

[0036] 請求項２９記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、前記生産実

行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出ステップと、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する情報入力ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出ステップと、前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算ステップおよび前記指標算出ステップにより生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法である。

[0037] 請求項３２記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する情報受信部と、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉ

ｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出部と、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する情報受信部と、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、前記受信された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバである。

[0038] 請求項３３記載の発明は、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出ステップと、前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する情報受信ステップと、前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステ

ップと、前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算ステップおよび前記指標算出ステップにより生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法である。

発明の効果

[0039] 本発明によれば、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

[0040] また、上記効果に関連して、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、装置の予防保全、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。

図面の簡単な説明

[0041] [図1]本発明の第１実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図2]図１に示す処理工程の具体的な事例として、半導体前工程のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を示す図である。

[図3]性能評価指標とその計算方法について説明するための図である。

[図4]バッチ連続マルチタスク処理の装置（洗浄工程）を示す図である。

[図5]バッチ装置（熱処理工程）を示す図である。

[図6]仕掛り制御区間を示す図である。

[図7]ロードルールを示す図である。

[図8]バッチ組待ち時間（要因）を示す図である。

[図9]バッチ組待ち時間（計算）を示す図である。

[図10]単一品種基本モデルを示す図である。

[図11]単一品種基本モデル（工程）を示す図である。

[図12]単一品種基本モデル（品種）を示す図である。

[図13]評価比較（単一品種、定期投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。

[図14]評価比較（単一品種、定期投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

[図15]評価比較（単一品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。

[図16]評価比較（単一品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

[図17]複数品種基本モデルを示す図である。

[図18]複数品種基本モデル（工程）を示す図である。

[図19]複数品種基本モデル（品種）を示す図である。

[図20]処理可能装置（洗浄）を示す図である。

[図21]処理可能装置（熱処理）を示す図である。

[図22]到着率の決定について説明するための図である。

[図23]評価比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。

[図24]評価比較（複数品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

[図25]ρ＝０．３におけるリワーク状況を示す図である。

[図26]ρ＝０．３におけるリワーク要因を示す図である。

[図27]ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．３）を示す図である。

[図28]ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。

[図29]ルール比較（複数品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

[図30]本発明の第２実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図31]ロット・シングルタスク型装置を示す図である。

[図32]定量メンテナンス例を示す図である。

[図33]通常時の装置群（ｍ１～ｍ５）を示す図である。

[図34]装置ｍ６がｍ２を代替するときを示す図である。

[図35]同時期に２台以上のＰＭが起こる場合について説明するための図である。

[図36]同時期に一台のみＰＭが起こる場合について説明するための図である。

[図37]単純な並列処理を示す図である。

[図38]定量メンテナンスを考慮したジョブ割り付け図である。

[図39]ＪＡＭＰ法の条件（３）の［２］について説明するための図である。

[図40]１周期で完全分散化できない場合の装置運用指針１について説明するための図である。

[図41]１周期で完全分散化できない場合の装置運用指針２について説明するための図である。

[図42]指針３の完全分散化（２周期目以降）について説明するための図である。

[図43]モデルの設定値を示す図である。

[図44]ＪＡＭＰ法における代替え回数の設定について説明するための図である。

[図45]単純並列ルールとＪＡＭＰルールの比較について説明するための図である。

[図46]ロットの到着と退去の時刻（ＪＡＭＰ法と単純並列ルールの比較）を示す図である。

[図47]装置台数の稼働状況の変動（単純並列　ＭＴＴＲ＝１３８０［分］の場合）を示す図である。

[図48]本発明の第３実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図49]ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ法について説明するための図である。

[図50]本発明の第４実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図51]ＭＮＡ１法として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の種類について説明するための図である。

[図52]複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が成す構造（直列型４種）について説明するための図である。

[図53]複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が成す構造（並列型５種）について説明するための図である。

[図54]手続き型ＣＫＢ法（標準）のフローチャート（その１）である。

[図55]手続き型ＣＫＢ法（標準）のフローチャート（その２）である。

[図56]並列ネットワークフローと最小カットを示す図である。

[図57]並列ネットワークフローを示す図である。

[図58]非特許文献１の生産工程モデルを示す説明図である。

[図59]手続き型ＣＫＢ法に従ってシミュレーション実験を行った結果の方が、非特許文献１に記載の従来型Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間管理ルールによる結果よりも優れていることを示す説明図である。

[図60]本発明の第５実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図61]図６０のシステムにおける処理フローを示す図である。

[図62]段取り替えサイクル算定部５３の処理フローを示す図である。

[図63]装置区分算定部５４の処理フローを示す図である。

[図64]段取り時間による保全時期のずれを示す図である。

[図65]工程滞在時間制約を満たす仕掛上限値を示す図である。

[図66]（２）多品種生産周期算定部において段取り時間を最小化する最大周期の算定方法を示す図である。

[図67]図６０段取り替えサイクル算定部５３の（２）最小段取りサイクル算定の方法を示す図である。

[図68]図６３装置区分算定部５４（３）装置区分と保全順序の決定方法を例示する図である。

[図69]図６０ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５における段取り活用方法（補助入力部５２でユーザーが指定）を示す図である。

[図70]典型的ルールとの性能比較：段取り率と良品生産率（従来法、本発明）を示す図である。

[図71]典型的ルールとの性能比較：総合設備効率（従来法、本発明）を示す図である。

[図72]本発明の第６実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図73]本発明の第６実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステムの処理フローを示す図である。

[図74]装置群における生産スパイクを説明する図（生産スパイク図）である。

[図75]生産リスクを示す図である。

[図76]装置の稼働状況と生産スパイクの関係を示す図である。

[図77]多品種・繰返し生産において装置群の生産能力のスパイクを適切に分解する方法を説明する図である。

[図78]複数の装置群や生産工程を跨いで生産能力のスパイクを複合した複合スパイクの形成方法を示す図である。

[図79]本発明の第７実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステム構成を示す図である。

[図80]本発明の第７実施形態に係る最適指標生成装置を適用可能なシステムの処理フローを示す図である。

[図81]Ｑ－ｔｉｍｅ制約構造分析のための情報処理を示す図である。

[図82]生産工程の並列構造における生産能力分配と生産スパイクを示す図である。

[図83]工程区間のスパイク連動の例１（到着連動集中在庫型方式）を示す図である。

[図84]工程区間のスパイク連動の例２（段階的変動吸収分散在庫型方式）を示す図である。

[図85]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その１）である。

[図86]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その２）である。

[図87]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その３）である。

[図88]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その４）である。

[図89]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その５）である。

[図90]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その６）である。

[図91]本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その７）である。

[図92]本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その１）である。

[図93]本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その２）である。

[図94]本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法について説明するため

のフローチャート（その３）である。

[図95]本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その４）である。

[図96]本発明の第１０実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その１）である。

[図97]本発明の第１０実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その２）である。

[図98]本発明の第１０実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その３）である。

[図99]本発明の第１１実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その１）である。

[図100]本発明の第１１実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その２）である。

[図101]本発明の第１１実施形態に係る最適指標生成方法について説明するためのフローチャート（その３）である。

発明を実施するための形態

[0042] 本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

＜第１実施形態＞

図１を参照して、本発明の第１実施形態に係る最適指標生成装置について説明する。

本発明の第１実施形態に係る最適指標生成装置１１は、例えば、半導体を生産するための生産工程＃１にそれぞれ設けられた処理工程（装置群）２および処理工程（装置群）３の生産スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。

[0043] 生産管理システム１０は、生産物流制御法（以下、ＣＫＢ法という）のデータ入出力先であり、各種入力データを抽出して、入力部１２、１３（ＣＫＢ法）に引き渡し、ＣＫＢ法の計算結果を受け取ってスケジュールを作成する。

生産管理システム１０は、最適指標生成装置１１から各種生産管理データおよびＣＫＢ法理論値計算結果を入力し、ＣＫＢ法計算に必要なデータを抽出して入力部１２、１３に引き渡すとともに、ＣＫＢ法理論値を用いて、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間を含む生産フローのスケジュールを算出する。生産管理システム１０は、ＣＫＢ法理論値計算結果と、スケジューリングアルゴリズム（ディスパッチングルール、セットアップルールなど）を元に最適スケジュールを計算する。生産管理システム１０は、生産スケジュールに関する情報を各入力部１２、１３に出力する。

[0044] 図１に示すように、最適指標生成装置１１は、入力部１２、補助入力部１３、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部１４、ＣＫＢ最適論理値計算部１５、感度解析部（ＣＫＢ特性）１６、指標算出部１７、感度解析部（性能特性）１８を備えている。

入力部１２は、生産管理システム１０や生産計画装置を介して生産計画、製品情報、工程計画などに関わる情報である、各品種の生産時期・数量、製造フロー（品種別）、各工程の装置の種類と台数、品種一装置対応表、各品種に対する処理時間、ロードサイズ、ロード間隔、主処理以外の最低限必要な時間（搬送時間、段取り時間など）、Ｑ－ｔｉｍｅ制約時間（上限、下限）を入力する。

[0045] 補助入力部１３は、生産管理システム１０から段取り時間（製造条件）、納期（生産条件）、装置の故障／メンテナンスの計画・実績データ、装置停止時間のデータ（設備管理情報）、装置の待機箇所の有無と待機箇所の容量など（設備条件）全てを入力する。補助入力部１３は、必須ではない入力データを入力するが、実用上、次段階のＣＫＢ最適論理値計算部１５で重要となるデータをまとめて前処理を行い、平均段取り時間（製品品種・装置・工程別）、納期係数（製品品種・工程別）、ＭＴＢＦ（平均故障間隔）、ＭＴＴＲ（平均修繕時間）、装置の待機の有無と容量値などを出力する。なお、この補助入力部１３からデータが入力された場合には、ＣＫＢ法最適理論値計算部１５においてより詳細な計算を行う。

[0046] Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部１４は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の構造を分析し、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を検出して必要に応じて変換を行い、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間工程情報を出力する。この分析結果を、内部記憶部１４ａに記録しておき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間のマスターデータとして使用できる。ここで、新規でＱ－ｔｉｍｅ制約が追加された場合や、既存のＱ－ｔｉｍｅ制約が変更された場合には、内部記憶部１４ａが更新される。

ＣＫＢ最適論理値計算部１５は、入力部１２からのデータ、補助入力部１３からのデータ、およびＱ－ｔｉｍｅ構造分析部からのデータを全て入力する。入力データから、最適カンバン枚数を算出するとともに、最適バッファサイズを算出し、最適カンバン枚数および最適バッファサイズなどを出力する。この際、感度解析部（ＣＫＢ特性）１６の内部記憶１６ａの情報を利用することにより、より高速な算出が可能となる。

[0047] 感度解析部（ＣＫＢ特性）１６は、Ｑ－ｔｉｍｅ区間工程情報、トラフィック強度（変数）、ロット到着率（品種別）（変数）、工程処理能力（変数）、ロードサイズ（変数）などを入力し、ロットの到着率や工程の処理能力が変動した場合のＣＫＢ法理論値計算の結果の変化特性を算定する。この感度解析結果を、内部記憶部１６ａに記録しておき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間で、ロットの到着率や工程の処理能力が動的に変化した場合に、即時に更新データとして使用することもできる。感度解析部（ＣＫＢ特性）１６は、性能特性として、トラフィック強度、仕掛り到着率、および工程処理能力に対するカンバン枚数（品種別）とバッファサイズ、ロードサイズ（変数）に対するカンバン枚数とバッファサイズのそれぞれの特性について、各カンバン枚数やバッファサイズの閾値に該当するトラフィック強度や到着率や工程能力やロードサイズやＱ－ｔｉｍｅ時間長を内部記憶部１６ａに記録しておく。内部記憶部１６ａには、ＣＫＢ最適論理値計算部１５の入出力結果も記録される。内部記憶部１６ａの情報は、最適指標生成１１の実行必要性の判定にも用いられる。この必要性の判定は、管理対象の生産工程＃１における各種の変動（装置群の処理能力の変化や、目標生産率の変更、トラフィックの変

動、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の変更・追加など）に対応して判断される。必要性が確認された場合、最適指標生成１１に計算指示が出される。

[0048] 指標算出部１７は、ＣＫＢ最適論理値計算部１５の計算結果を生産管理システム１０に適切なデータ形式で出力する機能と、感度解析部１６の内部記憶部１６ａの情報と今回のＣＫＢ最適論理値計算部１５の計算条件を比較して、より迅速に、生産管理システム１０へ更新データを送る機能も有する。

感度解析部（性能特性）１８は、ＣＫＢ法に使用した入力データ、ＣＫＢ法最適理論値の条件を入力し、決定されたＣＫＢ法最適理論値の条件の下で、工程の性能評価のための計算を行い、性能特性として、トラフィック強度、到着率、および工程処理能力に対する各種性能評価指標を生産管理システム１０などに出力する。

[0049] 最適ロードルール判定部１９は、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間ＴＢとＱ－ｔｉｍｅ制約（上限）Ｔ＿（Ｑ＋）の大小関係が切り替わるＴＢ≦Ｔ＿（Ｑ＋）なる到着率λ≧Ｌの境界値Ｌを算定しておき、適切なロードルールを判定する。

[0050] 図１を参照して、本発明の第１実施形態に係る最適指標生成装置１１の動作について説明する。

生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システム１０を介して情報入力部１２により入力し、入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約の構造をＱ－ｔｉｍｅ構造分析部１４により分析し、入力された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として指標算出部１７により出力し、指標算出部１７により算出された最適な指標情報を生産管理システム１０に供給する。

[0051] これにより、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

また、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。

[0052] 以下、本発明の第１実施形態に係る最適指標生成装置１１を構成する各部の動作について説明する。

最適指標生成装置１１は、例えば、図２に示す半導体前工程のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を制御の対象とする。この工程区間は、洗浄工程と熱処理工程が連続している工程区間で、その特徴として以下のことがあげられる。なお、本実施形態では、最適指標生成装置１１の制御対象を半導体前工程のＱ－ｔｉｍｅ制約区間として扱うが、本発明はこのような対象に限定されるものではなく、例えば、液晶製造工程、情報通信プロセスに適用することができる。

（１）Ｑ－ｔｉｍｅ制約の存在によりこの工程区間が生産実行システム全体のボトルネックになる場合があるため、スループットに影響を及ぼす。

（２）バッチ処理ラインであるので、ロードルールによって決まるロードサイズ（バッチ）がスループットや装置の利用率および単位製品当たりを処理するためのコストに影響する。

[0053] ここで、半導体前工程は、半導体の単結晶を薄くスライスした円盤（ウエハと呼ばれる）の上に、化学物理的処理を行い、所定の仕様を持つ電子回路を形成していくための製造プロセスを指す。半導体製造の中心的プロセスであり、かつ単一工場で高額な初期投資を必要とするため、極めて重要な管理対象である。

製品には「パーツ（ウエハ）」「ロット」「バッチ」のように様々な処理単位がある。

本実施形態では、一般的な工場の処理や搬送の単位である２５パーツを１ロットとし、複数のロットを同時に処理できる場合、その処理できる複数のロットをまとめてバッチと呼ぶ。同時に処理できるロットの最大数（バッチ

サイズ）は工程によって異なる。例えば、本実施形態の対象とする洗浄工程のバッチサイズは２ロットで、熱処理工程のバッチサイズは６ロットである。このようにバッチ単位での処理が可能な工程が連続している処理ラインを「バッチ処理ライン」と呼ぶこととする。なお、洗浄工程、熱処理工程については後述する。

ロードルールとは、バッチ処理装置において、何ロットあれば処理開始可能か、他品種であっても同じスペック（処理条件）であれば同時に処理可能か、などバッチ組の方針を決めるルールである。

[0054] 図２に示す代表的なＱ－ｔｉｍｅ制約区間の工程における生産目標と性能評価指標について説明する。

実工場において重要となる生産目標は、

（１）Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守率の最大化

（２）納期遵守率の最大化

（３）スループット最大化

（４）段取りコスト最大化

（５）装置の利用率適正化

（６）トータルコスト最小化

である。本実施形態では、生産目標（１）、（２）、（３）、（５）、（６）（段取りコスト以外）を取り上げる。これらの目標を達成するために鍵となる性能評価指標とその計算方法を、図３に示す。

[0055] 生産実行システムに設けられている装置について説明する。

［洗浄工程］

洗浄工程は各工程の前あるいは後に必ず用いられ、数十回繰り返し使用される工程である。半導体製品の表面の汚染は、半導体製造技術の微細化が進行するに従って、歩留り（良品率）などに直接的に大きな影響を及ぼすようになっている。洗浄の目的はその表面から汚染物質を除去することである。

図４は、バッチ連続マルチタスク処理装置（洗浄工程）を示す図である。

洗浄工程には、バッチ・マルチタスク（バッチ・マルチチャンバー）型と

呼ばれる装置が使われている。図４に示すように、バッチ・マルチタスク（バッチ・マルチチャンバー）型は、１つの装置の中に複数の洗浄槽（ユニットと呼ぶ）を有し、バッチを処理条件で定められた一連の順番（槽）で処理し終えると、バッチを装置からはき出す。従って、装置で処理を開始してから処理を終えるまでの処理時間と、装置へのバッチの投入や装置からのバッチの出力の間隔は異なる。

バッチ連続マルチタスク処理装置では、ユニット単位でＷＩＰ（バッチ）が装置内に収納されたまま、所定の複数のユニットを通過して処理が進む。バッチは処理時間間隔ではなくロード間隔（Load Interval）で投入される。一般的に、洗浄工程の処理能力は、次工程の熱処理工程よりも処理能力が高いとされている。

[0056] ［熱処理工程］

熱処理工程の目的は表面の酸化膜の形成、疎な膜の緻密化などがある。

図５は、バッチ装置（熱処理工程）を示す図である。

熱処理工程は、バッチと呼ばれる装置が使われている。図５に示すように、このバッチ装置はバッチ単位での処理が可能な装置のことを言う。また、この装置では、処理時間間隔でロットの投入が可能である。

このように異なるバッチサイズでロードされる装置（工程）が連続するバッチ処理ラインにおいては、バッチ組によっても待ち（Queue）が発生する。また、ロードルールによってそれらのバッチ組待ち時間が変化するため、滞在時間が変化する。

[0057] 次に、カンバン方式と待ち行列理論の基本について説明する。

本実施形態では、カンバン方式と待ち行列理論を応用して、バッチ処理ラインにおいてＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ、他の工程性能の悪化を抑えるための生産スケジューリング手法を考える。ここでは、予備知識としてカンバン方式と待ち行列理論の中で特に応用するリトルの公式について説明する。

[0058] ［カンバン方式］

ここで、カンバン方式とは、トヨタ生産方式、特にジャスト・イン・タイム方式の一部分としての在庫システムであり、いわゆる「後補充」（部品在庫が減った分だけ部品を発注・補充して元の在庫量に戻す方式）を原則とする、一種の定量発注方式の従属需要版である。また、本実施形態で用いるカンバンは、生産指示に使われる、繰り返し利用可能な「仕掛りカンバン」のことを言う。カンバン方式の基本は「後工程引き取り」、つまり「下流工程が必要な部品を必要なだけ上流工程へ取りに行く」というやり方である。言い方を変えれば前工程が後工程の指示なしに勝手に生産開始・出荷することは許されないということである。後工程から引っ張るという意味で、「引っ張り方式」（プル・システム）とも呼ばれる。

[0059] ［リトルの公式］

リトルの公式とは、Ｌを平均系内人数、Ｕを平均滞在時間、λを到着率としたときに、

Ｌ＝λＵ （１）

が成り立つという公式で、平均系内人数が、平均滞在時間の比例式で表すことができることを示した式である。

[0060] 以下、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守のための物流制御手法であるＣＫＢ法について説明する。

［Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守と仕掛り数上限値］

本実施形態では、生産システムの全体機能として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ、他の性能評価指標も悪化させない生産スケジューリング手法を考える。Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れは、ＷＩＰが熱処理工程の処理能力を考慮せずに、洗浄工程で次々と処理されて熱処理工程に到着し、熱処理工程の前で多くのＷＩＰが待機した結果として起こる。ゆえに、熱処理工程の処理能力を考慮に入れ、待ちＷＩＰ数を制限し、あらかじめ洗浄工程の前で待機させることでＱ－ｔｉｍｅ制約割れが抑えられると考えられる。その実現のために、待ち行列の理論におけるリトルの公式から、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守できるような最大仕掛り数を求め、また、カンバン方式による仕掛り数の制御を考

える。

[0061] また、工程には処理時間が同じ品種しか流れない場合もあれば、異なる品種が存在する、あるいは繰り返し処理によって品種は同じであってもスペック（レイヤー）が異なり処理時間が違うものが混在して流れることもある。そのような場合には工程でまとめて仕掛り数を制限するだけではなく、処理スペックが異なるものごと個別に仕掛り数を制限する必要がある。本実施形態においては、そのような繰り返しによって処理スペックが異なる製品も別の品種と考えて擬似的に表現して、単一品種の場合と複数品種の場合の両方において仕掛り数の制限を考えて実験を行う。

[0062] 最大仕掛り数制限は、３つの手順で行う。細かい方法については後述する。

（１）リトルの公式を用いてＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守できる最大の待ちロット数を算出する。

（２）その最大待ちロット数をもとに、洗浄工程から熱処理工程にかけての仕掛りを制御するようにカンバンの枚数を決定する。ここで、ＣＫＢ法では、カンバンの枚数を品種（スペック）ごとにカンバン枚数を設定することであり、ＣＫＢ－（マイナス）法は、品種を区別せずに、工程でまとめてカンバン枚数を設定することであり、品種別に管理する効果を確かめるために使用することとした。

（３）洗浄工程の処理能力の高さから、カンバンの枚数だけでは最大仕掛り数の制限が不十分であるため、熱処理工程にバッファサイズ（それ以上待ちロット数が増えると前の工程をダウンさせる最大待ちロット数）を設けることによって最大仕掛り数の制限を確実なものにする。

[0063] ［最大待ちロット数の計算とカンバンの枚数の決定］

（１）最大待ちロット数の計算（リトルの公式）

最大待ちロット数は、リトルの公式を用いて算出する。本実施形態では、リトルの公式の滞在時間の定義を待ち時間の定義に置き換えたものを用いる。

待ちロット数は、

$L\bar{q}$

を単位時間当たりの待ちロット数［ｌｏｔ］、Ｗを１ロットあたりの平均待ち時間［分］、λを単位時間当たりの平均到着ロット数（到着率）［ｌｏｔ／分］とすると、

$$L\bar{q}=\lambda W \qquad (2)$$

で表される。

[0064] 上記の計算式において、ＷをＱ－ｔｉｍｅ制約時間の余裕時間、λを熱処理工程の到着率（ただし、トラフィック強度（ρ）が１より大きい場合には、λはトラフィック強度が１の時の到着率とする）とし、最大待ちロット数

$L\bar{q}$

を求める。これが熱処理工程の前で待つことができる最大ロット数を表す。

なお、

トラフィック強度（ρ）＝（到着率（λ））／｛（サービス率（μ））×（装置台数（ｍ））｝

バッチ装置のサービス率（μ）＝（ロードサイズ）／（平均処理時間）

バッチ連続マルチタスク装置のサービス率（μ）＝（ロードサイズ）／（ロードインターバルＬＩ） （３）

[0065] （２）カンバンの枚数の決定

上記で求めた最大待ちロット数をもとにカンバンの枚数を決めていく。図６をみるとわかるように、カンバンによる仕掛り数制御可能区間のロット数は最大待ちロット数だけでなく、そのとき洗浄工程で処理しているロット数も含んでいる。よってカンバンの枚数は平均的に洗浄工程で処理中のロット数を考慮したうえで決定しなければならない。洗浄工程の平均処理中ロット数を以下の式で求める。

[0066] 洗浄工程の平均処理中ロット数は、ＬＷを洗浄工程の平均処理中ロット数［ｌｏｔ］、Ｔｐを洗浄工程の実効処理時間［分／台］、ＬＩを洗浄装置の

ロード間隔（Load Interval）［分／台］、Ｔｐ／ＬＩを使用ユニット（漕）数、ρ１を洗浄工程のトラフィック強度（利用率）、Ｌ１を洗浄装置の最大ロードサイズ［ｌｏｔ／台］、ρ１×Ｌ１を洗浄装置の平均ロードサイズ［ｌｏｔ／台］、ｍ１を洗浄工程の装置台数［台］とすると、

ＬＷ＝Ｔｐ／ＬＩ×ρ１×Ｌ１×ｍ１　　（４）

と表される。

ここで、洗浄装置の平均ロードサイズは、洗浄装置が１００％稼働になるようにロットを投入した場合の平均値を示す。

[0067] 図６は、仕掛り制御区間を示す図である。図７は、典型的なロードルールを示す図である。図８は、バッチ組待ち時間（要因）を示す図である。

リトルの公式は、１ロットずつの処理を前提としているため、バッチ処理によって生じるバッチ組を待つ時間が考えられていない。バッチ処理では１ロットずつではなく、ロードサイズ（バッチ）ごとに処理がなされる。よって、図８に示すように、洗浄工程からロットが熱処理工程に到着しても、規定のロードサイズに達するまで、リトルの公式によって定義される待機時間よりも余分に待つことになる。このバッチ処理を始める前に必要となる待ち時間を、バッチ組待ち時間と呼ぶことにする。

以下の式（５）～（７）で、熱処理工程のロードルール別に、バッチ組の最初に到着したロットが待つ最大のバッチ組待ち時間を求める。

また、規定のロードサイズはロードルールによって異なる。本実施形態で用いるロードルールを図７に示す。

[0068] 図９は、バッチ組待ち時間（計算）を示す図である。

（ア）「洗浄工程：Full load熱処理工程：Full load」の場合

ＴＢをバッチ組待ち時間［分］、Ｌ１を洗浄工程の装置のロードサイズ［ｌｏｔ／台］、Ｌ２を熱処理工程の装置のロードサイズ［ｌｏｔ／台］、Ｌ２／Ｌ１を熱処理工程の装置の処理可能なロードサイズを満たすまでの洗浄工程からの到着回数、λを洗浄工程の到着率［ｌｏｔ／分］、Ｌ１／λを洗浄工程からのロットの到着間隔［分／ｌｏｔ］とすると、図９に示すように

、洗浄工程に到着間隔（１／λ）で到着したロットはロードサイズＬ１で処理され、到着間隔（Ｌ１／λ）で熱処理工程に到着する。

[0069] バッチ組をする際に、熱処理工程に最初に到着したロットは、バッチ組ができるまで、最初に到着したロットが到着するのを除いた（Ｌ２／Ｌ１－１）回、洗浄工程からロットが到着するのを待つことになる。

以上のことからバッチ組の最初に到着したロットが待つ最大のバッチ組待ち時間は、

ＴＢ＝（Ｌ２／Ｌ１－１）×（Ｌ１／λ） （５）

と表すことができる。

[0070] 以下同様にして、

（イ）「洗浄工程：Full load熱処理工程：Partial load allowed」の場合

ＴＢをバッチ組待ち時間［分］、Ｌ１を洗浄工程の装置のロードサイズ［ｌｏｔ／台］、Ｌ２を熱処理工程の装置のロードサイズ［ｌｏｔ／台］、ρ２を熱処理工程のトラフィック強度（利用率）、ρ２Ｌ２／Ｌ１を熱処理工程の処理可能なロードサイズを満たすまでの洗浄工程からの到着回数、λを洗浄工程の到着率［ｌｏｔ／分］、Ｌ１／λを洗浄工程からのロットの到着間隔［分／ｌｏｔ］とすると、

ＴＢ＝（ρ２Ｌ２／Ｌ１－１）×（Ｌ１／λ） （６）

と表すことができる。

[0071] （ウ）「洗浄工程：Full load、熱処理工程：Attempt full load」の場合

ＴＢをバッチ組待ち時間［分］、Ｌ１を洗浄工程のロードサイズ［ｌｏｔ／台］、Ａｖｇ・Ｌ２を熱処理工程の平均ロードサイズ［ｌｏｔ／台］、Ａｖｇ・Ｌ２／Ｌ１を熱処理工程の処理可能なロードサイズを満たすまでの洗浄工程からの到着回数、λを洗浄工程の到着率［ｌｏｔ／分］、Ｌ１／λを洗浄工程からのロットの到着間隔［分／ｌｏｔ］とすると、

ＴＢ＝（Ａｖｇ・Ｌ２／Ｌ１－１）×（Ｌ１／λ） （７）

と表すことができる。

[0072] 以上のようにロードルールによってバッチ組待ち時間が変化する。

上記の２点を考慮に入れて、以下の計算でカンバンの枚数を求める。

Ｎ＊＊をカンバン枚数［ｌｏｔ］、Ｎ＊をバッチ組待ち時間を考慮した最大待ちロット数［ｌｏｔ］、ＴＱ＋をＱ－ｔｉｍｅ（最大滞在時間）［分］、ＴＱ－をＱ－ｔｉｍｅ（最小滞在時間）［分］、ＴＢをバッチ組待ち時間［分］、Ｅを最低限必要な搬送時間等、λを到着率［ｌｏｔ／分］、ＬＷを洗浄工程の平均処理中ロット数［ｌｏｔ］とすると、

Ｎ＊＝（ＴＱ－ｍａｘ（ＴＢ，ＴＱ－）－Ｅ）×λ　　（８）

となり、

Ｎ＊＊＝Ｎ＊＋ＬＷ　　（９）

でカンバンの枚数が表される。

ただし、トラフィック強度（ρ）が１より大きい場合には、λはトラフィック強度（ρ）が１の時の到着率とする。

また、干渉する後続のＱ－ｔｉｍｅ制約に律速される区間では、カンバンの枚数は、式（１０）で算定される。

[0073] （３）バッファサイズ

バッファサイズは、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守のための物流制御をより確実にするために用いる。図６で示したように、カンバン方式で制御できる仕掛り数は、熱処理工程の待ちロット数と洗浄工程の処理中ロット数の和のみである。ゆえに、熱処理工程よりも洗浄工程の方が高い処理能力をもつ場合には、洗浄工程で処理されているロットはすべて早々にアウトプットされ、カンバンを与えられたロットすべてが熱処理工程の待ちロットとなってしまうことがある。

このような場合、リトルの公式で求めた熱処理工程の前で待つことができる最大ロット数を超えてしまい、結果としてリワークが起こってしまう。現実の工場では、一般に熱処理工程よりも洗浄工程の方が高い処理能力ともっているため、このような状況になることが多々あると考えられる。ただし、処理能力の大小関係が逆の状況の場合には熱処理工程の装置が空き状態であ

る時間が発生しないため、バッファサイズは必ずしも必要なものではないことを付け加えておく。なお、生産物流の変動に対応する場合や実施形態３では、この限りではない。

[0074] 以上のことから、熱処理工程の前にバッファサイズを設け、待ちロット数がリトルの公式で求めた熱処理工程の前で待つことができる最大ロット数を超えないように制限する。ここでのバッファサイズの値（制限するロット数）は（１）で求めた式（Ｌ＝λＵ）を用いて、バッチ組待ち時間を考慮しないで得られる最大待ちロット数の値を使用する。このようにしてバッファサイズを定義する理由は、バッチ組待ち時間を考慮に入れて定義をした結果、本来ならば洗浄工程を停止させなくてもＱ－ｔｉｍｅ制約割れ（リワークなどの発生）が抑えられる状況にもかかわらず、洗浄工程を停止させてしまう状況を防ぐためである。

[0075] 例えば、洗浄工程の平均処理中ロット数が１１ロットで、バッチ組待ち時間を考慮に入れた熱処理工程の最大待ちロット数が８６ロット、バッチ組待ち時間を考慮に入れない熱処理工程の最大待ちロット数が９０としたとき、カンバン枚数は９７枚、バッファサイズは９０ロットということになる。このとき仮に、バッファサイズを８６ロットと設定すると熱処理工程の待ちロット数が８６ロットのとき、洗浄工程が稼働していてもＱ－ｔｉｍｅ制約割れは発生しないにも関わらず、洗浄工程を停止させてしまう。このような状況を防ぐために、バッファサイズはバッチ組待ち時間を考慮に入れない熱処理工程の最大待ちロット数の９０ロットと設定する。

[0076] バッファサイズは工程単位で定義する。品種が複数混在する場合、品種ごとにバッファサイズを求めてその和をバッファサイズとする。

すなわち、Ｂ＊をバッファサイズ［ｌｏｔ］、ＴＱをQueue Time（最大滞在時間）［分］、λ_iを品種$_i$の到着率［ｌｏｔ／分］とすると、

[0077]

[数1]

$$B_* = \left\lceil T_Q \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \right\rceil$$

でバッファサイズが表される。ここで、ｎは品種数とする。

[0078] バッファサイズによる仕掛り数上限値の制御は、強制的に前の工程（この場合は洗浄工程）を停止（処理待機）させるので、スムーズな生産をする上ではあまり望ましいことではないことから、本実施形態では、あくまでカンバン方式の仕掛り数によるＱ－ｔｉｍｅ遵守の制御をより確実にするために用いる機能と位置付けている。

以上の手順で仕掛り数上限値を算出する。

また、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が干渉するＱ－ｔｉｍｅ制約区間において、生産率が最も低い後続の生産工程（以下、ボトルネック工程と呼ぶ）に律速される先行のＱ－ｔｉｍｅ制約では、カンバンの枚数の算定方法が異なる。ボトルネック工程より前のＱ－ｔｉｍｅ制約区間ｊのカンバン枚数Ｎｓ＊＊（ｊ）は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間ｊのバッファサイズＢ＊（ｊ）とボトルネック工程のロードサイズの和として式（１０）で表すことができる。

（カンバンの枚数Ｎｓ＊＊（ｊ））＝（バッファサイズＢ＊（ｊ））＋（ボトルネック工程のロードサイズＬ） （１０）

[0079] 次に、その上限値の設定をした場合としなかった場合についてその性能を比較する。

以下、単一品種シミュレーション実験について説明する。

［目的と方法］

単一品種シミュレーション実験を行う目的は、まず単一品種において、算出したカンバン枚数、バッファサイズの設定がＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ他の性能指標も悪化させないことを確かめるためである。

図１０は、単一品種基本モデルを示す図である。図１１は、単一品種基本モデル（工程）を示す図である。図１２は、単一品種基本モデル（品種）を

示す図である。

実験方法として、図１０、図１１、図１２に示す通り、洗浄工程・熱処理工程のバッチ処理ライン、１品種、洗浄工程の装置台数４台、熱処理工程の装置台数５台の複数装置群を想定したシミュレーション実験を行う。洗浄工程は、バッチ・マルチタスク型の装置群で構成され、実効処理時間９０分、他方の熱処理工程は、バッチ装置で構成され、実効処理時間２４０分のである。また、図１１、図１２に示す通りバッチサイズと装置台数も異なる。

[0080] 以上のようなモデルを用いて、到着率を変化させて実験を行う。品種の到着率は洗浄、熱処理の２つの工程の処理能力の小さい方のトラフィック強度（利用率）が０．３、０．６、０．８、１．０、１．２、１．５となるように決定した。決定した到着率をもとに、定期投入、指数投入の２つの場合についてシミュレーション実験を行う。なお、本実施形態での実験ではすべて熱処理工程の方が処理能力は小さいため、到着率は熱処理工程のトラフィック強度を基準に決定されている。

[0081] これらのことを踏まえたうえで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を割ってしまった場合にリワークをすることを設定したモデル（ＱＴ）、ＱＴのモデルに、算出したカンバンの枚数とバッファサイズを設定したモデル（ＣＫＢ法）、そして、処理開始時点において装置状態と先行ＷＩＰ数（仕掛り数）からＱ－ｔｉｍｅ制約が守れるかどうかを判断して製品の投入の可否を決定する従来型モデル（ＣＴ）の３つのモデルについてシミュレーション実験を行い、その性能を比較する。

また、ロットの処理順序は先入れ先出し順（First In First Out）とし、ロードルールは洗浄工程、熱処理工程ともに、ロット数がバッチサイズを満たした場合にのみ処理を開始するフルロード（Full Load）を用いる。

[0082] ［結果］

シミュレーション実験によって得られた結果の中から、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが発生していない工場の定常状態を想定したトラフィック強度０．８の非ボトルネックの状態と、故障などによってサービス能力が低下し、一時的

に到着率がサービス能力を上回ったためにＱ－ｔｉｍｅ制約割れが発生しやすい状況とを想定したトラフィック強度１．２のボトルネックの状態の結果を以下に示す。

図１３は、評価比較（単一品種、定期投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。図１４は、評価比較（単一品種、定期投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。図１５は、評価比較（単一品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。図１６は、評価比較（単一品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

図１３と図１４が定期投入の場合の結果を表し、図１５、図１６が指数投入の場合の結果を表す。ここでは、性能が良かったものをアンダーラインで、性能が悪かったものを太字で示している。

[0083] ［考察］

以上の実験結果から、定期投入・指数投入どちらの場合であっても、トラフィック強度０．８の非ボトルネックの状態においては、カンバンの枚数とバッファサイズを設定しても、性能が低下していないことが見て取れる。また、この状態ではどの機能においてもリワークが発生していないため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが起こっていないことがわかる。トラフィック強度１．２のボトルネックの状態においてはＱＴのモデルでは定期投入・指数投入にかかわらず多数のＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こっているが、ＣＫＢ法、ＣＴのモデルではリワークがゼロに抑えられている。

[0084] サイクルタイムはＣＫＢ法、ＣＴのモデルの値が大きいが、これは出力されたロットが洗浄工程の前で意図的に待機させられた結果と考えられる。しかし、結果としてスループットは低下していないので必ずしも性能が悪化したとはいえない。稼働率に関しては、ＣＫＢ法、ＣＴのモデル、ともにＱＴのモデルよりも低い稼働率で同じ量のスループットを実現できているので、コスト面の性能はむしろ良くなっている。

単一品種における実験では、カンバンとバッファサイズで大きく性能を落とさずＱ－ｔｉｍｅ制約割れを防ぐことができたが、現段階では必ずしもそ

れが最善の方法とは言えない。複数品種が混在する場合においても実験を行い、その性能を比較していく。

[0085] 以下、複数品種シミュレーション実験について説明する。

［目的と方法］

複数品種シミュレーション実験を行う目的は、単一品種で行った実験が、複数の品種が混在し、装置を共有している場合でも同様の目的が達成できていることを確かめるためである。なお、この実験のモデルは実際の工場で使われている洗浄工程・熱処理工程のバッチ処理の連続工程である。

図１７は、複数品種基本モデルを示す図である。図１８は、複数品種基本モデル（工程）を示す図である。図１９は、複数品種基本モデル（品種）を示す図である。図２０は、処理可能装置（洗浄）を示す図である。図２１は、処理可能装置（熱処理）を示す図である。

実験方法として、図１７、図１８、図１９に示す通り、単一品種の場合と同様、洗浄工程・熱処理工程のバッチ処理の連続工程、３品種、洗浄工程・装置台数５台、熱処理工程・装置台数６台の複数装置群を想定したシミュレーション実験を行う。

[0086] 洗浄工程は、バッチシーケンシャル型の装置群で構成され、他方の熱処理工程は、バッチ装置で構成され、図２０、図２１のようにバッチサイズと装置台数も異なる。実効処理時間、使用装置台数は品種ごとに異なり、品種１（ｐ１）は洗浄工程の実効処理時間９０分、使用装置台数５台、熱処理工程の実効処理時間２４２分、使用装置台数４台である。品種２（ｐ２）は洗浄工程の実効処理時間９０分、使用装置台数４台、熱処理工程の実効処理時間２４０分、使用装置台数５台である。品種３（ｐ３）は洗浄工程の実効処理時間９０分、使用装置台数５台、熱処理工程の実効処理時間１９５分、使用装置台数５台である。また、品種はそれぞれ処理できる装置が決められている。洗浄工程では、図２０に表すように、ｐ１、ｐ２、ｐ３のそれぞれ使用する装置が異なる。熱処理工程でも、図２１に表すように、ｐ１、ｐ２、ｐ３の品種の別で使用する装置が異なるものがある。

[0087] 以上のようなモデルを用いて、到着率を変化させて実験を行う。品種の到着率は前節の実験と同様に、洗浄、熱処理の２つの工程の処理能力の小さい方のトラフィック強度（利用率）が０．３、０．６、０．８、１．０、１．２、１．５となるように決定する。本実施形態では、すべて熱処理工程の方が処理能力が小さいため、トラフィック強度（ρ：利用率）はすべて熱処理工程のものを用いる。

しかし、複数の品種が混在する場合は品種ごとに、実効処理時間・使用できる装置台数が異なるため、それぞれ別々に到着率を求める必要がある。図１５に示すように、品種の到着率は前もってトラフィック強度を決めて品種ごとに処理能力（μ：（μ＝ＬＴｐ／Ｌ：ロードサイズＴｐ：処理時間））、使用装置台数（ｍ）から逆算をして決定する。到着率を決める際の前提として、装置が複数の品種を処理する場合、それらを均等の割合で処理をすることを仮定した。

[0088] 以下に投入率決定の手順を示す。なお、図２２は、投入率の決定について説明するための図である。

（１）ρ＞１の場合、ρを１として計算を行う

（２）各共用装置における各品種の生産比率から、各品種の投入率を計算

（３）品種ごとに、全ての装置における投入率を足し合わせる

（４）足し合わせた投入率から、品種の投入率を算定する

これらのことを踏まえたうえで、先ほどと同様のＱＴ、ＣＴのモデル、品種ごとにカンバン枚数を設定し、バッファサイズを設けたＣＫＢ法のモデル、品種ごとの差別を設けず工程全体でカンバン枚数を設定し、バッファサイズを設けたＣＫＢ－法のモデルの４つのモデルにおいて実験をし、その性能を比較する。

[0089] ［結果］

図２３は、評価比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８）を示す図である。図２４は、評価比較（複数品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

まず、トラフィック強度が０．８、１．２の両方の場合において、ＣＫＢ法がＱ－ｔｉｍｅ制約割れを抑制している。

複数品種が混在しているモデルにおける実験では、指数投入の場合トラフィック強度が０．３、０．６の場合に、全てのモデルにおいてＱ－ｔｉｍｅ制約割れが発生していた。

[0090] そこで、前節と同様のＱ－ｔｉｍｅ制約割れが発生していないトラフィック強度０．８の非ボトルネックの状態と、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが発生しているトラフィック強度１．２のボトルネックの状態の結果に加えて、指数投入の場合において、トラフィック強度０．３の実験結果も示す。ただし、複数品種の場合、品種によって投入数が異なるため、すべての品種の処理が均等に行われているか否かを検証する指標を追加する。処理数に偏りが生じると納期に悪影響を与えることが考えられる。よって、品種ごとにスループットが異なる場合については、各品種の投入率に対するスループット（出力率）の割合を新たに指標として設けることとした。また、リワークが起こったモデルに関してはリワークを投入に加えた第１工程全体の投入に対するスループットの割合を性能評価指標としている。図２３、図２４が指数投入の場合の結果を表す。

[0091] ［考察］

定期投入でトラフィック強度０．８の非ボトルネックの状態のときはＣＴ、ＣＫＢ法、ＣＫＢ－法において１％稼働当たりのスループットが高くなっており、平均仕掛りも低く抑えられている。どれもリワークが起きておらず、性能の悪化も見られない。ここで、サイクルタイムと仕掛りは片方が小さくなれば、もう一方も小さくなる対応関係にあるはずなのにもかかわらず、その挙動が結果からみられないのは、その差が小数点第二位以下のためである。トラフィック強度１．２（ボトルネックの状態）では、図２７の通りＱＴに比べてＣＴ、ＣＫＢ法、およびＣＫＢ－法でＱ－ｔｉｍｅ制約割れを大幅に抑えられている。特に、ＣＫＢ法では、Ｑ－ｔｉｍｅ割れをゼロに抑え、基準となるＱＴに比べてリワークを完全抑制しつつ、スループットを高く

、平均サイクルタイムは短く、仕掛数も少なくなる性能改善を果たしている。

[0092] 一方、従来法のＣＴルールでは、ＱＴルールよりは少ないもののＱ－ｔｉｍｅ制約割れが発生し、また、各品種をバランスよく処理できない等の副作用が出る（図２４青字部分）。また、品種別に管理しない設定を施したＣＫＢ－法では、各品種をバランスよく処理するが、リワーク数などの性能は芳しくなく、ＣＫＢ法の品種別カンバン数の管理が有効であることがわかる。これらのシミュレーション結果は、賞味４０日間（シミュレーション期間５０日）のデータによる性能評価結果であり、期間長に比例してルールによる差は更に広がる。

[0093] 基本となるＱＴのモデルは洗浄工程の１％稼働当たりのスループットは高くなっているが、熱処理工程のそれは低下している。これはボトルネックであるはずの熱処理工程を十分に稼働しきれていないことが原因と考えられ、工場全体から考えれば性能が悪化しているといえる。何より、リワークが多く（３２％）発生していることが性能としてよくない。ＣＴ、ＣＫＢ法、ＣＫＢ－法はＱＴに比べ平均仕掛りに関しては性能の悪化は見られない。最終仕掛りの差はスループットの差がロット換算されて表されている。この差は品種の不均等な処理が生んだ結果と考えられる。

[0094] 指数投入について、トラフィック強度０．３の非ボトルネックの状態の特徴として、どのモデルでもリワークが発生していることが挙げられる。この原因は後に詳しく分析していくことにする。トラフィック強度０．８の非ボトルネックの状態では、ＣＴ、ＣＫＢ法、ＣＫＢ－法のどれもＱＴと比べると性能の悪化は見られず、品種ごとのサイクルタイム、平均仕掛りにばらつきがあるとしても、全体平均は悪化していない。トラフィック強度１．２のボトルネックの状態では、リワークを完全に抑えられているのはＣＫＢ法のみで、ＣＴも到着がばらついたりするとＱ－ｔｉｍｅ制約遵守にも限界が生じることが明らかになった。

[0095] リワークを含めた処理の割合はＣＴ、ＱＴよりもＣＫＢ法、ＣＫＢ－法が

ともに高く、全体スループットはＣＴ、ＣＫＢ法、ＣＫＢ－法のどれもＱＴよりも高い値を示している。１％稼働当たりのスループットもどれもＱＴよりも悪化していない。サイクルタイム、平均仕掛りは品種ごとにばらつきはあるにしても全体平均はＱＴより悪化していないことが見て取れる。

[0096] リトルの方式用いて算出した最大待ちロット数、仕掛り数を品種ごとにカンバン枚数を設定し、バッファサイズを設けたＣＫＢ法のモデルが極端にＷＩＰの到着が少ない場合を除いて完全にＱ－ｔｉｍｅ制約割れを抑えることができ、かつ品種の処理が均等に行われ、性能が悪化しない、性能指標によっては改善もされていることが確認できた。Ｑ－ｔｉｍｅ割れが起こりやすい（ρ＝１．２）場合において、ＣＫＢ法を適用しない場合に約３２％であるリワーク率（Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れ率）を確実にゼロに抑えて製品品質の劣化を防ぎ、かつ、スループット、平均サイクルタイム、仕掛在庫等も改善でき、従来法より優れた生産率（＝（生産量）／（投入量））を達成する結果を得た。

以上の実験結果から、極端にＷＩＰの到着が少ない場合を除けば品種ごとに仕掛り数上限値を設定するＣＫＢ法の性能が最も良いことが明らかになった。

[0097] 以下、ＣＫＢ法のモデルを基に考えていくこととする。

ここからは、前述した指数投入でトラフィック強度が０．３のときに発生しているリワークについて考察する。この場合のリワーク発生は、本実施形態の仕掛り数上限値の制御とは直接関係がない。そこで別のアプローチによって問題を解決していく。

まず、トラフィック強度０．３のときにリワークが発生する理由について、ロットの到着が遅いため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の時間以内にバッチが組めず（バッチサイズ分のロットが到着せず）、処理開始ができないためだと考えられる。

[0098] 複数品種のトラフィック強度０．３のＱＴのモデルにおいて「Ｑ－ｔｉｍｅ制約の時間を超えたらリワークをする」という条件をなくして実験し、そ

の時のロットの工程間滞在時間を表したヒストグラムが図２５である。この図から確かにＱ－ｔｉｍｅ制約割れとなる、滞在時間が７２０分（１２時間）を超えるロットが存在していることがわかる。Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れを起こしていたロットは、品種１と品種２のみであった。これらのロットのＱ－ｔｉｍｅ制約割れの原因を探るため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れを起こしているロットと、そのロットとバッチ組をしたロットを抜き出し、その中から２つを図２６に示した。この表から、定期投入であれば、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが起きる前にバッチを組むことができ、ロットが処理を開始できるはずにもかかわらず、指数投入によってロットの到着にばらつきが生じ、ロットの到着が遅れ、バッチ組時間が長くなった結果としてＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こっていることが見て取れる。

[0099] 図２５は、ρ＝０．３におけるリワーク状況を示す図である。図２６は、ρ＝０．３におけるリワーク要因を示す図である。図２７は、ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．３）を示す図である。図２８は、ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック、ρ＝０．８を示す図である。図２９は、ルール比較（複数品種、指数投入、ボトルネック、ρ＝１．２）を示す図である。

このようなロットの到着が少ない状況で、到着のばらつきによって生じてしまうＱ－ｔｉｍｅ制約割れを防ぐために、ロードルールを変えて実験を行う。各ロードルールの説明は図７に示す。これまでの実験では、ロードルールはすべてフルロードで行ってきた。

[0100] しかし、これでは先ほどのようにバッチ組を待つことによってＱ－ｔｉｍｅ制約割れを起こしてしまう。そこで熱処理工程のロードルールのみを変化させて実験を行う。比較するモデルは熱処理工程のロードルールがＦｕｌｌ、ＰＬＡ、そしてＡＦＬの３つのモデルを比較する。また、トラフィック強度が０．３のときは、Ｆｕｌｌにおけるｐ１のカンバン枚数が熱処理工程のバッチサイズ６ロットよりも小さい４枚になった。そこで、ｐ１のみを４ロットで処理をする設定にしたモデル（ｐ１Ｆｕｌｌ４）でも同様の実験を行

った。ただし、トラフィック強度が０．６以上になったときはｐ１Ｆｕｌｌ４のモデルはカンバン枚数が６枚を超え、すべてＦｕｌｌと同様の設定、結果になる。実験はこれまでと同様、熱処理工程のトラフィック強度を基準に到着率を決定して行った。結果はその中からトラフィック強度０．３、０．８、１．２の場合のものを抜き出して図２７、図２８、図２９に示す。

[0101] 以上の実験結果からトラフィック強度が０．３のときは第２工程（熱処理）のロードルールがＰＬＡ、ＡＦＬの場合にはリワークも抑えられ、かつ、スループット、サイクルタイムなど他の性能評価指標も良いことが読み取れる。ｐ１Ｆｕｌｌ４ではリワークが完全に抑えられていない。これは理論的なカンバン枚数の設定で処理することが可能であれば、必ずしもＱ－ｔｉｍｅ制約割れを抑えることができるわけではないことを示している。しかし、ロードサイズを小さくすることによって中性的な評価が得られることは明らかになった。

[0102] よって、ＷＩＰの到着が遅い場合には、カンバン枚数だけではリワークは制御できず、ロードルールの変更によってリワークを制御するほうが良いことがわかった。トラフィック強度が０．８の場合はＦｕｌｌの方がスループット、サイクルタイムなどの性能評価指標が良い値を示している。トラフィック強度が１．２の場合においては、すべて性能は同じという結果になった。

以上より、トラフィック強度が０．３の場合でもＰＬＡ、ＡＦＬのロードルールを用いればＱ－ｔｉｍｅ制約割れを起こさず、かつ性能評価指標も悪化しないことが明らかになった。しかし、トラフィック強度が０．８の場合はＦｕｌｌのロードルールの方が性能は良いことからより良い生産スケジューリングを行うためには、工程の状態を監視し、トラフィック強度の変化によってロードルールを変化させる必要があると考えられる。

[0103] ［結論］

本実施形態では、半導体製造において重要性の高いＱ－ｔｉｍｅ制約に焦点を当て、特に重要性が指摘されている洗浄・熱処理工程のバッチ処理の連

続工程のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を取り上げた。現在までのＱ－ｔｉｍｅ制約に関する先行技術では厳密性・精度が不十分で、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守以外の他の性能指標に対する影響が考慮されていなかった。本実施形態では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ、他の性能指標も極力悪化させない生産スケジューリング手法として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の仕掛り数の上限値を制御するＣＫＢ法を構築し、その性能を確率的シミュレーション実験により評価した。ＣＫＢ法は、カンバン方式と待ち行列理論を基礎として理論的にカンバン枚数や仕掛数上限値を計算するため信頼性と汎用性が高い。また、特に通常の工場で多い工程利用率６０％以上の状況で特に効果を発揮することが確かめられた。

[0104] 本実施形態では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの原因になる２つ目の原因である到着率が低い状況（トラフィック強度０．３の場合など）に対しても、ロードルール等の簡単な変更で確実にＱ－ｔｉｍｅを遵守する対処方法を考え、シミュレーション結果からＱ－ｔｉｍｅ割れを防ぐことを確認した。本実施形態では、到着率が低くても、バッチ型やバッチ・マルチタスク型装置では、ロードルールなどの設定などによってＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こる場合がある。この場合を判断して、以下のように適切にロードルールを変えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れを回避しつつ、生産性を高めることができる（ＣＫＢ法と合わせて利用する）。最適ロードルール判定部１９は、到着のばらつきを考慮したバッチ組待ち時間ＴＢとＱ－ｔｉｍｅ制約（上限）Ｔ＿（Ｑ＋）の大小関係が切り替わるＴＢ≦Ｔ＿（Ｑ＋）なる到着率λ≧Ｌの境界値Ｌを算定しておき、適切なロードルールを使う。λ≧Ｌの場合は、Full load（フルサイズのバッチ組を強制）。λ＜Ｌの場合は、ＰＬＡやＡＦＬなど、フルサイズのバッチ組を強制しない方法を使う。本実施形態は、到着率が低くばらつきがある場合以外にも、製品品種や工程によって到着率の大小が違うため考慮しておく。

[0105] また、装置の故障やメンテナンスが発生し、装置の処理能力が変動することがある。それらの状況を考慮した場合でも、本実施形態で用いたカンバン

枚数やバッファサイズの決定は、到着率や処理能力の変動に対して、高速かつ高い精度で計算が可能で、しかも確実にＱ－ｔｉｍｅ制約割れを防ぐことができる。

以上のようにＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ他の性能指標も悪化させない生産スケジューリング手法として、計算スピード、精度、実用性などの定性的評価も高いＣＫＢ法の構築と性能評価と通して目的を達成することができた。

[0106] 第１実施形態では、ＣＫＢ法により第１問題点を解決している。

多品種生産において、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ高いスループットを達成する実用的な生産物流管理方法を、ＣＫＢ（Control of Kanban and Buffer sizes）法と名付けた。第１実施形態では、ＣＫＢ法のプログラムとそれを用いた性能評価結果（実際の工場のデータを用いた確率的シミュレーションによる）である。この性能評価結果から、ＣＫＢ法を適用しない場合に約３２％であるリワーク率（Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れ率）を確実にゼロに抑えて製品品質の劣化を防ぎ、かつ、スループット、平均サイクルタイム、仕掛在庫等も改善でき、従来法より優れた生産率（＝生産量／投入量）を達成する結果を得ている。

[0107] ＜第２実施形態＞

図３０を参照して、本発明の第２実施形態に係る最適指標生成装置について説明する。 本発明の第２実施形態に係る最適指標生成装置２１は、例えば、製造装置の予防保全時期を分散化する運用方法について、生産工程＃１にそれぞれ設けられた装置群５の保全スケジュールを管理する生産管理システム１０およびエンジニアリング業務システム２９を制御の対象としている。本実施形態では、保全時期分散化のための生産負荷配分方法（以下、ＪＡＭＰ法という）について説明する。

[0108] 図３０に示すように、最適指標生成装置２１は、入力部２２、補助入力部２３、装置区分算定部２８、ＪＡＭＰ最適論理値計算部２４、感度解析部（ＪＡＭＰ特性）２５、開始終了時期算出部２６、感度解析部（性能特性）２

７を備えている。

入力部２２は、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９からメンテナンス時間、メンテナンス指針（定量メンテナンスでは、メンテナンス開始までの処理数、定期メンテナンスではメンテナンス周期など）、装置群（工程）の装置台数、装置群（工程）の製品品種別生産数量または到着率、品種・工程／装置別の処理時間、装置で処理可能な品種情報、装置種別を入力する。

[0109] 補助入力部２３は、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９から段取り時間、バッチ型装置に関する情報（バッチサイズ、ロードルール、ロードサイズ、ロード間隔）、マルチタスク型装置に関する情報（装置内の待機箇所の有無と容量値など）、入力部からも得られる情報（装置種別、装置台数、処理時間、装置群（工程）の品種別生産数量または到着率、装置で処理可能な品種情報）の全てを入力する。補助入力部２３は、必須ではない入力データを入力するが、実用上、次段階のＪＡＭＰ最適論理値計算部２４で重要となるデータをまとめて前処理を行い、段取り時間（製品品種・装置・工程別）、バッチ装置に関する情報（平均ロードサイズ、ロード間隔、バッチ組時間、装置の実行サービス率）、ＭＴＢＦ（平均故障間隔）、ＭＴＴＲ（平均修繕時間）、マルチタスク型装置に関する情報（装置の待機の有無と容量値）などを出力する。なお、この補助入力部２３からデータが入力された場合には、ＪＡＭＰ法最適理論値計算部２４においてより詳細な計算を行う。

[0110] ＪＡＭＰ最適論理値計算部２４は、入力されるメンテナンス時間、メンテナンス指針、装置台数、製品品種別生産数量または到着率、品種・工程／装置別の処理時間、装置で処理可能な品種情報、装置種別、段取り時間、その他装置に関する情報に基づいて、ＪＡＭＰ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）とその処理時期を算出して出力する。

感度解析部（ＪＡＭＰ特性）２５は、ＪＡＭＰ最適論理値計算部２４から入力されるＪＡＭＰ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）とその処

理時期が変動した場合のＪＡＭＰ法理論値計算の結果の変化特性を算定する。感度解析部（ＪＡＭＰ特性）２５は、この感度解析結果を、内部記憶部２５ａに記録しておき、ＪＡＭＰ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）とその処理時期が動的に変化した場合に、即時に更新データとして使用することもできる。

[0111] 開始終了時期算出部２６は、処理予定のロット情報やエンジニアリング情報を入力し、ＪＡＭＰ法理論値計算結果から、各装置の処理および予防保全の開始・終了時期を算定する。そして、予防保全スケジュールとして、常用装置および代替装置のそれぞれの処理および予防保全の開始・終了時刻を出力する。

感度解析部（性能特性）２７は、ＪＡＭＰ法に使用した入力データ、ＪＡＭＰ法最適理論値の条件を入力し、決定されたＪＡＭＰ法最適理論値の条件の下で、工程の性能評価のための計算を行い、性能特性として、トラフィック強度ｖ．ｓ．各種性能評価指標を生産管理システム１０に出力する。

[0112] 装置区分算定部２８は、入力部２２と補助入力部２３とから入力される情報に基づいて、装置を常用装置と代替装置（常用能力と代替能力）に区分し、装置区分情報を出力する。常用装置（常用能力）は、ロットの待ちが長大化しないために定常的に必要な装置能力を指し、代替装置（代替能力）はそれ以外の平均的な余剰能力を指す。装置群に含まれる装置台数をｍ、各装置のサービス率の加重平均をμとすると、装置群（工程）のサービス能力はＭ＝ｍμとなる。ここで、当該装置群製品の投入率をΛとするとき、常用能力は、Λ／μで、常用装置は、

$$\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor$$

台となる。この時、代替能力は（ｍ－Λ／μ）で、代替装置は、

$$\left(m - \left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor\right)$$

台となる。

[0113] エンジニアリング業務システム２９は、主に生産設備の予防保全や故障対応等の業務を管理とりまとめるシステムで、生産管理システム１０において保持していない、エンジニアリング業務全般の条件や予定・実績を管理する。例えば、装置エンジニアの担当範囲などのマスター情報、シフトなどの実行条件、予防保全や故障対応の実績データなどである。生産管理システムによっては、エンジニアリング業務システム２９が、生産管理システム１０の機能として組み込まれている場合もある。

[0114] 図３０を参照して、本発明の第２実施形態に係る最適指標生成装置３１の動作について説明する。

生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システム１０を介して入力部２２により入力し、また、装置区分算定部２８により複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分し、装置能力区分と入力された情報から複数の常用装置と代替装置（および常用能力と代替能力）の稼働回数と稼働時期を算出するとともに、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を開始終了時期算出部２６により算出し、開始終了時期算出部２６により算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９に供給する。

[0115] これにより、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、装置の予防保全に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。これにより、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況を軽減し、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守しつつ、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

[0116] 以下、本発明の第２実施形態に係る最適指標生成装置２１を構成する各部の動作について説明する。

まず、最適指標生成装置２１による製造装置の予防保全時期を分散化する

運用方法について説明する。

［生産設備管理の重要性］

半導体製造において、製造コストの４割～６．５割は機械設備の減価償却であり、重要な管理対象である。一般に、化学物理的な処理を施す生産設備では、故障や異常状態に陥った場合に、半製品をスクラップまたは再生処理（リワークと呼ぶ）する必要があり、これらスクラップやリワークは時間とコストの浪費になる。

また、設備状態が故障や異常になった後に正常に復帰させるための事後保全に費やす時間に比べて、故障や異常が起こらないうちに設備の保全を行った方が結果的に設備の動作時間を長くすることが可能になるため、予防保全（Preventive maintenance：ＰＭと呼ばれる）が行われている。

予防保全には、一定時間ごとに所定のメンテナンスを行う定期メンテナンスが行われることが多いが、化学物理的な処理を行う装置に対しては、処理した回数に応じてメンテナンスを行う定量メンテナンスが行われる場合が多い。本実施形態では、半導体工場の定量メンテナンスを主に取り上げる（なお、定期メンテナンスにも適用可能である）。

[0117] ［工場内トラフィックと予防保全の関係］

予防保全の期間(Mean Time to Repair：ＭＴＴＲと呼ばれる)は、生産設備は停止し、仕掛品（Work-in-process：ＷＩＰ）を処理することができない。そのため、ＭＴＴＲの間は、その他の生産設備を使用して、ＷＩＰを処理していく必要がある。通常、工場内物流の混雑の程度（トラフィック）は、定常的可動状態における平均として工程利用率（トラフィック強度）を１００％（１）未満として計画される。ここで、工程を実際に運用する際に、同時期にＰＭになる装置台数が多いと、残りの可動装置だけではＷＩＰを処理しきれずに工程利用率が１００％を超える。この状況になった場合、ＷＩＰの待ち時間が急激に長大化することが知られている。待ち時間の長大化は、コスト増加、納期遵守率やＱ－ｔｉｍｅ制約遵守に負の影響を及ぼす。

そのため、複数の装置のＰＭができるだけ同時期に発生しないよう分散化

することが望まれる。

[0118] ［予防保全が品質とコストに与える影響］

半導体の加工寸法は技術ロードマップに従い、微細化が進んでいる。現在、その加工寸法は髪の毛の太さの１０００分の１の太さにまで小さくなってきている。これは、半導体の加工寸法を２分の１の大きさにすると、速度が２倍、消費電力が４分の１になるなど、半導体は微細化をするだけで、高性能・低コストが実現できるからである。しかし、このような加工寸法の微細化は、製造面において歩留り（良品率）の確保を困難にした。設計通りのサイズ、機能を持った製品（良品）を生産するために、加工時間と同様に工程間の滞在時間も厳密に管理しなければならなくなったのである。そのため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約（加工と加工の間の滞在時間の上限値と下限値）を考慮した生産スケジューリングが重要になっている。本実施形態１で述べた通り、製造装置の予防保全（ＰＭ）によって待ち時間が長大化する状況では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすくなるため、装置ＰＭの分散化は品質保証やコストの観点からも非常に重要な課題である。

[0119] 本実施形態では、メンテナンスを定量で行う複数の装置で構成される半導体製造工程を取り上げ、同時期にＰＭになる装置台数を少なくするよう装置へのジョブの割り付けを行う負荷分散方法を新たに開発し、その効果を確かめることを目的としている。

定量メンテナンスの特徴は、当該装置で処理した回数が規定値に達した場合に、メンテナンスを開始することにある。言い換えれば、装置へのＷＩＰの割り付けを制御して各装置の処理回数を制御し、複数の装置の予防保全期間が重ならないようにできる可能性がある。本実施形態では、その点に着目して、装置を常用装置と代替装置に区分し、代替装置を活用してＰＭの時期を分散化し、かつＰＭ以外の時期にもジョブに余計な待ち時間を発生させない負荷分散方法を考える。

[0120] 負荷分散法の性能を、実際の工場の工程モデル（６台の装置で処理時間が所与の１品種を処理する工程、定期投入）を参考にして、シミュレーション

実験により確かめる。ここで、意図的な負荷分散を行わずに順次装置を使用する単純並列ルールとの比較を行う。実験では、負荷分散法によって同時期にＰＭになる装置台数を１台以下に抑えて完全にＰＭを分散化できる場合と、１周期では完全にはＰＭの分散化ができない場合の２つの場合を設定して、それぞれにおける負荷分散の効果を確かめる。

[0121] ここで、特に予防保全期間が長い場合には、ＰＭによるロットの待ち時間が長くなり、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を割ってリワークが発生する事態が生じやすくなる。リワークの発生は、生産上のロスでしかなく望ましくない。同時期にＰＭになる台数を少なくするように事前に負荷分散を行うことで工程のトラフィック強度を常にできる限り低く抑え、余計な待ち時間を発生させないことによって、Ｑ－ｔｉｍｅ割れロットの数を抑えることができることも確認する。

[0122] 以下、対象とする工程モデルと定量メンテナンスについて説明し、次に、定量メンテナンスを考慮した並列装置への負荷分散方法について述べ、さらに、シミュレーション実験の結果と考察を通して負荷分散方法の効果を示し、本実施形態の結論をまとめる。

［問題設定］

本実施形態では、対象として、定量メンテナンスを必要とする複数のロット・シングルタスク型装置で構成される単一工程について取り上げる。

製品には「パーツ（ウエハ）」「ロット」「バッチ」のように様々な処理単位がある。本実施形態では、２５パーツを１ロットとして処理単位として「ロット（ｌｏｔ）」を使用する。半導体工場では、通常、ロットが搬送の単位となる。

ロット・シングルタスク型装置とは、図３１のように装置の処理単位が１つのＷＩＰ（例えばロット）である装置を指す。所定の処理時間を経過した後、ＷＩＰを掃出し、空き状態になると、次のロットの処理を開始することができる。

[0123] ［性能評価指標］

半導体の生産ラインにおいてその工場の有能性を図るものとして様々な性能評価指標がある。本研究で取り上げる性能評価指標とその定義を示す。

性能指標において、待ち時間の総計［分］は、各ロットで発生した待ち時間の総和として計算し、小さいほうがよい。待ちロット数［ｌｏｔ］は、待ち時間が発生したロットの数の総数として計算し、小さいほうがよい。Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れロット数［ｌｏｔ］は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れになったロット数として計算し、小さいほうが良い。

[0124] ［定量メンテナンス］

図３２は、定量メンテナンス例を示す図である。

装置が事前に設定した処理回数（ロット数）に達する度に、図の例では１００ｌｏｔ処理する毎に、メンテナンスを行う方式を定量メンテナンスという。図３２に示すように、メンテナンスに入るとＰＭになる期間が一定期間（平均的にはＭＴＴＲ）あり、その間装置は休止状態になる。ＰＭが終了した時点から再び処理を開始する。

定量メンテナンスの特徴は、当該装置で処理した回数が規定値に達した場合に、メンテナンスを要することにある。言い換えれば、装置へのＷＩＰの割り付けを制御して各装置の処理回数を制御し、複数の装置の予防保全期間が重ならないようにできる可能性がある。

[0125] 次に、定量メンテナンスにおける並列装置へのジョブ割り付け方法について説明する。［全体機能とサブ機能の構造］

図３３は、通常時の装置群（ｍ１～ｍ６）を示す図である。図３４は、装置ｍ６が予防保全中のｍ２を代替するときを示す図である（ＷＩＰ２以外ｍ１、ｍ３、ｍ４、ｍ５、ｍ６）。

本実施形態では、新たに考えた定量メンテナンス（以下ＰＭと呼ぶ）を考慮した負荷分散方法（Job Allocation for Maintenance in Parallel（以下、略称ＪＡＭＰと呼ぶ）について、全体機能、サブ機能の順に、図３３に示す装置６台のモデル（実際の工場のモデル）の事例を取り上げながら説明する。

[0126] まず、本実施形態では、新たに開発したルールの全体構成を実際の工場の工程モデルを用いて説明する。

前提として、どの装置もＰＭを行っていない状況では、工程へのジョブの到着率Λと工程のサービス能力Ｍの比であるトラフィック強度Λ／Ｍ（工程の混雑の程度を示す）は、１（１００％）より小さくなるように設備計画・負荷計画が行われている。言い換えると、余剰のサービス能力がある。例えば、図３３に示す工程では能力が同じ装置が６台あり、通常はそのうち５台（ｍ１、ｍ２、…、ｍ５）で処理を行えば全てのロットの処理を滞りなく行うことができ、残りの１台（ｍ６）の装置は代替装置（代替能力）として使用することができる。これは、この工程のトラフィック強度が０．８の場合で、ジョブを処理するために必要な装置台数は理論的に４．８台、つまり５台となるためである。その残りの装置１台を代替装置として使うことができる。

[0127] 図３５は、同時期に２台以上のＰＭが起こる場合について説明するための図である。図３６は、同時期に一台のみＰＭが起こる場合について説明するための図である。

ここで、ジョブの到着に対応して、通常使用される装置５台（これを常用装置とよぶこととする）を、並列的に順次使用していった場合には、同時期に複数台の装置がＰＭになる期間（ＭＴＴＲ：Mean time to repair）が発生する。図３３に示す工程モデルでは、ジョブの到着に対する処理能力比が４．８であるため、最低でも５台の装置が必要であり、同時に２台以上の装置が停止した（すなわち使用できる装置が４台以下になった）場合には、トラフィック強度が１を超える（図３５）。トラフィック強度が１より大きい場合、ジョブの待ち時間が急激に長大化することが知られている。待ち時間の長大化は、コスト増加、納期遵守やＱ－ｔｉｍｅ制約遵守に負の影響を及ぼす。

[0128] そのため、工程の装置台数をｍとするとき、同時期にメンテナンスになる装置の台数を（ｍ－［Λ／μ］）台以下（図３３の事例では１台）に抑える

ことが望ましい（図３６）。定量メンテナンスの特徴は、当該装置で処理した回数が規定値に達した場合に、メンテナンスを開始する。言い換えれば、ジョブの装置への割り付けを制御して装置での処理回数を制御し、複数の装置の予防保全時期が重ならないようにできる可能性がある。

本実施形態では、その点に着目して、代替装置を活用してＰＭの時期を分散化し、かつＰＭ以外の時期にもジョブに余計な待ち時間を発生させない方法を考える。ここでは、事例として、図３３に示す６台の装置の場合を用いて説明する。

[0129] 以下、ＪＡＭＰ法において、ＰＭの分散化に必要な条件を列挙する。

［負荷分散方法１］

（１）１台目の装置がＰＭを開始してからＭＴＴＲの期間、他の常用装置がＰＭを開始しないように、１台目の装置がＰＭを開始する前に、他の常用装置同士のＭＴＴＲと重なる時間の分、あらかじめ代替装置に処理を代替させておくことにより、ＰＭ開始時期を後ろにずらす。この時、その代替装置での代替処理回数の合計が、１台目の常用装置のＰＭ開始までの残り処理回数規定値以下になれば、常用装置のＰＭ時期をずらせる。

（２）常用装置がＰＭを行う期間内に、代替装置がＰＭを開始しないこと

加えて、

（３）代替装置のＰＭ時期が他の装置のＰＭ時期と重ならないよう調整可能であること

[0130] 条件（１）と条件（２）の条件を合わせて、代替装置の代替処理回数が、ＰＭを始める規定数以下であれば常用装置のＰＭを完全に分散化できる（同時にＰＭになる装置台数を代替装置台数以下に抑えられる）。この条件が満たされない場合には、同時にメンテナンスを要する装置の台数は（ｍ－［Λ／μ］）台より大きくならざるを得ないためジョブに追加の待ち時間が生じることとなる。

以上、条件（１）、（２）および（３）を満たす時、１周期で常用装置および代替装置ＰＭの完全な分散化が可能となる。完全に分散化できない場合

にも、可能な限り負荷分散を行うことによってＰＭ時期が重なる期間を短くする。

[0131] ［負荷分散方法２（条件（１）および（２）を満たさない場合）］

条件（１）および（２）を完全に満たさない場合とは、１周期では、全ての常用装置のＰＭの重複時間をゼロにすることができない場合に該当する。ここで、１周期とは、第１の装置（ｍ１）が稼働し始めてから全ての常用装置が１回ずつＰＭを終了するまでの期間を指す。例えば、ＭＴＴＲの時間長が比較的長い場合などに該当する。

１周期目で、ＪＡＭＰ法による負荷分散を可能な限り適用し、ＰＭの重複時間を低減かつ分散化する。

２周期目以降で、条件の範囲内で代替処理を行い、完全分散化をはかっていく。

[0132] ［指針１：重複する台数・時間長の低減］

ＪＡＭＰ法のコンセプトに基づき、代替装置を用いて負荷を分散させ、可能な限り同時期にＰＭになる台数および時間長を抑える（１周期目）。

［指針２：重複時間の分散化］

ＰＭ時期の重複期間が、出来るだけ連続しないよう、重なる時期を分散化する（１周期目）。

［指針３：ＰＭの分散化］

２周期目以降で、完全分散化のために代替処理を施し、各装置のＰＭ時期をずらす。

[0133] 以上の条件や指針について、それぞれ詳細に説明する。図３７は、単純な並列処理を示す図である。図３８は、定量メンテナンスを考慮したジョブ割り付け図である。

［ＰＭの分散化に必要な条件］

ここでは、上述の条件（１）、（２）、（３）について詳しく説明する。

条件（１）について、図３８に示すモデルの場合では、λ_jを装置ｊ一台当たりの到着率［ｌｏｔ／分］、Λを工程へのロット到着率［ｌｏｔ／分］、

μを単一装置の平均サービス率１／Ｔｐ［ｌｏｔ／分］、Ｍを工程サービス率＝=mμ=m／Ｔｐ［ｌｏｔ／分］（ｍ：装置台数、Ｔｐ：平均処理時間）、（ただし、λ_j＝Λ／［Λ／μ］とする）、Ｎを定量メンテナンスの基準値［ｌｏｔ］、ＭＴＴＲ$_j$を装置ｊの予防保全（ＰＭ）の所要時間［分］（この期間は装置は停止し、生産ロットを処理することはできない）とする。常用装置台数は［Λ／μ］台、代替装置は（ｍ－［Λ／μ］）台となる。

[0134] （１）まず、常用装置ｊ（ｊ＝２、３、…、［Λ／μ］）のために必要な代替回数（基本数）ｎ$_j$を計算する。

[0135] [数2]

$$n_j = \left\{(j-1)MTTR_j - (j-1)\left(\frac{1}{\lambda}\right)\right\}\lambda_j$$

（２）実際には、整数値への切り上げの差分による影響があるため下式の調整が必要になる。

切り上げの差分

[0136] [数3]

$$(j\text{番目}): E_j = \left\lfloor\left\{(j-1)MTTR_j - (j-1)\left(\frac{1}{\lambda}\right)\right\}\lambda_j\right\rfloor - n_j$$

[0137] [数4]

$$(j+1\text{番目}): E_{j+1} = \left\lfloor\left\{(j-1)MTTR_j - (j-1)\left(\frac{1}{\lambda}\right)\right\}\lambda_j\right\rfloor - n_{j+1}$$

[0138] ｊ番目の装置の代替回数ｎ$_j$は、

[0139] [数5]

$$n_j' = \begin{cases} n_j + 1 & (E_{j+1} > E_j) \\ n_j & (E_{j+1} \leq E_j) \end{cases}$$

このとき、ｊ＋１台目以降の常用装置に対しては、

[0140] [数6]

$$\mathrm{n_j''} = \begin{cases} \mathrm{n_j'} + 1 & (\mathrm{E_{j+1}} > \mathrm{E_j}) \\ \mathrm{n_j'} & (\mathrm{E_{j+1}} \leq \mathrm{E_j}) \end{cases}$$

[0141] この調整をｊ＝２からｊ＝［Λ／μ］まで、各ｊにつき（ｊ－１）回ずつ繰り返す。以上の計算から、装置ｊに必要な代替処理回数が計算される。（これは、即ち、１台目の装置がＰＭを開始するまでのＭＴＢＦ期間内で事前に代替処理されるロット数になる）。

以上、（１）、（２）の計算の結果得られた装置ｊに対して必要な代替回数を改めてｎ$_j$とすると、その総和が、（Ｎ－１）以下となる必要がある（条件（１））

[0142] [数7]

$$\sum_{j=2}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor} n_j \leq \mathrm{N}-1$$

で条件（１）が表される。

[0143] 条件（１）は、図３８に示すモデルの中では、ｍ６が、ｍ１のＰＭの期間に他の装置がＰＭにならないためのｍ２～ｍ５の代替処理を行っていて、その合計した時間が条件（１）であり、条件（１）の左辺に示す代替処理がｍ１のＰＭ開始前に終了していることを示している。

条件（２）は１台目の装置がＰＭを開始してから順次［Λ／μ］台目までの装置がＰＭを終えるまでの期間、代替装置がＰＭを開始しないことを意味する。図３８の右側にこの代替の様子を示した。

条件（２）は、下式のように表される。

[0144] [数8]

$$\sum_{j=1}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor \leq \mathrm{N}$$

ここで、実際には、代替装置は、条件（１）に必要な処理回数を消化しているため、これら（１）と（２）の条件を合わせて、代替装置の処理回数がＰＭを始める規定数以下にならなければ常用装置のＰＭの完全な分散化はで

きない。この条件式は、下式のようになる。

[0145] [数9]

$$\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \left\lfloor MTTR_j \lambda_j \right\rfloor \leq N$$

条件（３）は、代替装置のＰＭと他の装置のＰＭが重ならないように、代替装置のジョブの割り付けを調整できることである。本実施形態では、以下２つの場合に分けて考える。

［１］常用装置で最後にＰＭを開始する装置（図３３に示すｍ５）でＰＭを終了した時点に、代替装置（図３３に示すｍ６）がＰＭを開始する場合、下式として表せる。

[0146] [数10]

$$\sum_{j=2}^{m} \left\lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \right\rfloor \leq \mathrm{N}$$

［２］代替装置（図３３に示すｍ６）が、常用装置で最後にＰＭを開始する装置（図３３ではｍ５）でＰＭを終了した後に、後続周期で１回以上処理を行った後にＰＭを行う場合、代替装置が第１周期で代替する回数は、条件（１）と（２）を合わせて、

[0147] [数11]

$$\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{M} \right\rfloor} n_j + \left\lfloor \frac{\Lambda}{M} \right\rfloor \times \left\lceil \frac{\mathrm{MTTR}}{\frac{\Lambda}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{M} \right\rfloor}} \right\rceil$$

$$\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \left\lfloor MTTR_j \lambda_j \right\rfloor$$

であり、第２周期以降は、このうち第２項目のみが必要となる。

[0148] 条件（３）について、代替装置において、第（ｋ－１）周期の終了時における残り代替可能回数は、下式の左辺で表される。代替可能回数は、正値でなければならないので、下式の条件となる。

[0149] [数12]

$$N-\left\{\sum_{j=2}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor} n_j+(k-1)\sum_{j=1}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j \rfloor\right\}>0$$

この左辺で示した残り代替可能回数が、次の１周期で必要な代替回数より小さくなる周期で代替装置はＰＭになる。

[0150] [数13]

$$N-\left\{\sum_{j=2}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor} n_j+(k-1)\sum_{j=1}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j \rfloor\right\}<\sum_{j=1}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j \rfloor$$

$$\frac{\left(N-\sum_{j=2}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor} n_j\right)}{\left(\sum_{j=1}^{\lfloor \Lambda/\mu \rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j \rfloor\right)}<k$$

となる最小のｋ’周期目に、代替装置のＰＭをする必要がある。

さて、ここで、図３８の右側で示したように常用装置のＰＭを順次実施し、その期間に処理すべきロットを代替装置で処理していくと、［Λ／μ］台目の装置のＰＭを終了する前に、代替装置でＰＭが必要になる。これは、常用装置と代替装置が同時期にＰＭになることを意味するため、望ましくない。そこで、代替装置のＰＭが必要になるｋ’周期目では、常用装置のＰＭが開始する前に、代替装置のＰＭを終える必要がある。

[0151] 第ｋ’周期において、代替装置がＰＭ開始前に処理可能な回数Ｎ’は、下式で表される。

[0152]

[数14]

$$N' = N - \left\{ \sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + (k'-1) \left(\sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor \right) \right\}$$

この回数分を、常用装置がＰＭを開始する前に、意図的に処理し終えて、代替装置がＰＭを終了することができれば、代替装置のＰＭと常用装置のＰＭを同時期に発生せずに済む。

そこで、代替装置の残り可能処理数を常用装置の代替処理にあて、代替装置を意図的に事前にＰＭさせることを考える。常用装置は、第１周期ですでにそれぞれのＰＭが分散化するように調整がなされているため、最後にＰＭを終了する装置から順次、代替装置に処理を代替させる。

ここで、常用装置の台数は、［Λ／μ］であるので、通常最初にＰＭを開始する常用装置（図４０に示す例ではｍ１）に対する代替回数Ｎ’１は、

[0153] [数15]

$$N_1' = \left\lceil \frac{N'}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \right\rceil$$

その他の常用装置（図４０に示す例ではｍ２、ｍ３、ｍ４、およびｍ５）に対して代替する合計回数は、Ｎ’－Ｎ’１となる。

[0154] また、代替装置の処理完了回数がＮ’に達した時点で、代替装置のＰＭを行う。代替装置kのＰＭ期間（ＭＴＴＲ）で処理可能なロット数は、

[0155] [数16]

$$\lfloor MRRT_k \lambda_k \rfloor$$

である。

ここで、ある周期において、常用装置の中でＰＭを最初に終了する装置（図４０に示す例ではｍ１）が、ＰＭを最後に終了する常用装置（図４０に示

す例ではｍ５）のＰＭ終了時刻までに処理するロット数は、下式で表される。

[0156] [数17]

$$\sum_{j=2}^{\lfloor \frac{A}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor$$

ここで、次の周期（前の周期でＰＭを最後に終了する常用装置のＰＭ終了時刻以降）に、常用装置の中で最初にＰＭを開始する装置が処理できるロット数は、

[0157] [数18]

$$N - \sum_{j=2}^{\lfloor \frac{A}{\mu} \rfloor} \lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \rfloor + N'_1$$

上式のロット数から代替装置による代替回数を引いた回数が、代替装置がＰＭ終了時までの処理回数以上であれば、代替装置のＰＭが常用装置のＰＭと重ならずに済むので、下式が条件（３）の［２］の条件となる。

[0158] [数19]

$$N - \sum_{j=2}^{\lfloor \frac{A}{\mu} \rfloor} \lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \rfloor + N'_1 \geq N' + \lfloor \mathrm{MTTR}_k \lambda_k \rfloor, k: \text{代替装置}$$

なお、条件（３）の［１］は、条件（３）の［２］でＮ’＝Ｎ’１＝０となる場合の特殊例で、常用装置による処理の代替を必要としない場合である。

[0159] 以上、条件（１）、（２）、および（３）（［１］または［２］）を満たす時、ＪＡＭＰ法では、トラフィック強度が１を超えないようＰＭを分散化することができる。まず、これらの条件が満たされるか否かを調べる。満たされれば、所定の代替回数を代替装置に事前に処理させておくことでＰＭの時期を分散化することができる。

[0160] なお、代替装置が複数の場合には、条件（１）、（２）および（３）はそれぞれ下式のようになる。

条件（１）は、

[0161] [数20]

$$\frac{\sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor} n_j}{(m-\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor)} \leq (N-1)$$

条件（２）は、

[0162] [数21]

$$\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor \leq N(m - \lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor)$$

条件（１）および（２）は、

[0163] [数22]

$$\sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor \leq N(m - \lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor)$$

[0164] 条件（３）の［１］（１）、条件（３）の［２］（２）については、各代替装置が負荷を担当する部分について条件が成り立つことが必要となる。

条件（３）の［１］は、

[0165] [数23]

$$\sum_{j=2}^{m} \lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \rfloor \leq \mathrm{N}$$

条件（３）の［２］は、

[0166] [数24]

$$N' + \lfloor MTTR_k \lambda_k \rfloor \leq N - \sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor + N'_1, k: \text{代替装置}$$

[0167] 次に、条件を満たすことができず、完全にＰＭを分散化できない場合に、代替装置に予め負荷を代替させておくことでＰＭによる負の影響を軽減する方法を説明する。

本実施形態では、負荷分散方法２（条件（１）および（２）を満たさない場合）の基本的な考え方は、以下２点に集約される。

１周期目で、ＪＡＭＰ法による負荷分散を可能な限り適用し、ＰＭの重複時間を低減かつ分散化する。

２周期目以降で、条件の範囲内で代替処理を行い、完全分散化をはかる。

［指針１：重複する台数・時間長の低減］

図４１は、１周期で完全分散化できない場合の装置運用指針１について説明するための図である。

ＪＡＭＰ法のコンセプトに基づき、代替装置を用いて負荷を分散させ、可能な限り同時期にＰＭになる台数および時間長を抑える。

ただし、

[0168] [数25]

$$(\sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor) - N$$

ロットについて同一周期（例えば第１周期）では代替できない。

[0169] ［指針２：重複時間の分散化］

図４１は、１周期で完全分散化できない場合の装置運用指針２について説明するための図である。

ＰＭ時期の重複期間が、出来るだけ連続しないよう、重なる時間長を分散化する。

[0170] [数26]

$$\{(\sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor) - N \}$$

ロットを各装置に分散化する。

［指針３：ＰＭの分散化］

２周期目以降で、完全分散化のために代替処理を施し、各装置のＰＭ時期をずらす。

[0171] ここで、指針２における、重複時間の分散化（１周期目）について、図４１を参照して説明する。

第１周期において完全には代替しきれない

[0172] [数27]

$$\mathrm{R} = \left(\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor\right) - N$$

回の処理がある。

これを、１台目以外の残りの装置（［Λ／μ］－１）台と代替装置（ｍ－［Λ／μ］）台でのＰＭ時期の重なりとして分散し、工程性能が低下した状態が連続すること防ぐ。

常用装置において、ＰＭ期間が重なる処理回数

[0173] [数28]

$$\mathrm{r} = \left\lceil \frac{\left(\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor\right) - N}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor - 1} \right\rceil$$

装置ｊの代替回数（最大）を、$n_j' = n_j' - r$（ｊ＝２、・・・［Λ／μ］）とする。全てｒ回分ずれることになるので、実際に待ちロットを発生させるのはｍ１とｍ２の重なり部分になる。

また、残りの重なり期間の処理回数

[0174] [数29]

$$\mathrm{r} = \frac{\left(\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor MTTR_j \lambda_j \rfloor\right) - N}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor - 1} - r\left(\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor - 1\right)$$

の重なり分を以下のように配分する。なお、より細かな設定条件もあるが、

ここでは省略する。

（１）ｅ≦（ｍ－［Λ／μ］）ならば、代替装置に残り不足回数によるＰＭ重なり期間を分配する。

（２）ｅ＞（ｍ－［Λ／μ］）ならば、常用装置に残り不足回数によるＰＭ重なり期間を分配する。ｒ’＝ｒ＋１とし、ｎ$_j$’’＝ｎ$_j$’－ｒ’とする。

[0175] 図４２は、指針３の完全分散化（２周期目以降）について説明するための図である。

第一周期において完全には代替しきれなかったＲ回分を含めて、ＰＭ時期の重複時間をなくしていく。

装置ｊの代替回数（最大）は、ｎ$_j$’’＝ｎ$_j$’－ｒまたはｎ$_j$’－ｒ’となっている。これは、各装置で、完全なＰＭ分散化に必要な回数よりも最低ｒ（またはｒ’）回の処理時間分ずつ前にずれていることになる。

ここで、第２周期目以降で、そのずれを後ろにずらし、完全分散化を図る。

ただし、ＪＡＭＰ法の条件を満たす範囲内で代替していく（必ず２周期目で完全分散化できるわけではない。必要な周期を使って分散化を図る。）。

[0176] 次に、ＪＡＭＰ法の効果をシミュレーション実験によって確かめる。

［目的と方法］

今回のシミュレーション実験の目的は、複数の装置が存在する工程において、単純に並列処理させた場合（以下、単純並列ルールと呼ぶ）と、定量メンテナンスを考慮して事前に各装置に負荷分散を行うＪＡＭＰルールの性能を比較することで、ＪＡＭＰルールの効果を確かめることにある。

実験方法としては、図３３に示した、ロット・シングルタスク型装置６台、一品種を想定したシミュレーション実験を行う。ここで、ロット・シングルタスク型装置とは、１ロットずつ処理を行う装置をさす。ロットは定期投入によってトラフィック強度に応じた一定間隔で到着するものとする。６台の装置の単純並列ルールによる運用については、トラフィック強度が０．８の場合、図３３に示した通り通常は５台を使用し、いずれかの装置がＰＭな

どで使用ができないときには代替装置として残りの１台を使用する。

[0177] 図４３は、モデルの設定値を示す図である。

図４３に、処理時間、工程のトラフィック強度、定量メンテナンスの開始の指針となるｌｏｔ数（ＰＭ指針ｌｏｔ数）、予防保全の所要時間（ＭＴＴＲ）を示す。

ＭＴＴＲの設定には、ＪＡＭＰルールの条件（１）および（２）が満たせる場合が２つ（Ｓ１、Ｓ２）と、条件（１）、（２）を合わせた条件が満たせなくなる場合（Ｓ３）の計３つのシナリオを使用する。シナリオＳ１とＳ２の違いは、Ｓ１では代替装置のＰＭがちょうど常用装置のＰＭの終了時に発生する場合で、条件（３）の［１］に該当する。

Ｓ２は代替装置のＰＭが何も調整を加えないと他の装置のＰＭの時期と重なってしまうため条件（３）の［２］を適用して待ち時間の発生を抑える必要がある場合となっている。Ｓ３は、必ず２台以上のＰＭが同時に発生する必要がある場合となっている。Ｓ３は、実際の工場のＰＭ条件設定（１００ｌｏｔ処理を終える毎にＰＭのため２４時間停止する）に相当する。

以上のようなモデルを用いて、単純並列とＪＡＭＰの二つのルールについて実験を行い、結果について比較する。

[0178] 今回シミュレーション実験における２つのルールの設定について、以下に説明する。図４４は、ＪＡＭＰにおける代替回数設定について説明するための図である。

単純並列ルールは、図３７のように最初にｍ１、ｍ２、…、ｍ５の５台で、到着間隔に起因して１／Λずつズレが起きる以外は、１００ｌｏｔ目までｍ１～ｍ５台目の５台で単純に並列処理を行い、１～５台目のいずれかがＰＭを行う期間はｍ６または他の装置の中で最も早く処理を開始できる装置が処理を代替する。

[0179] ＪＡＭＰルールは、図３８に示すように、定量メンテナンスを考慮しながら事前にジョブの代替処理を行っておきＰＭを分散するルールで、単純並列ルールと同様に１／Λずつズレが起きる他に、ＰＭが２台以上重なることを

防ぐために、図３８のようにｍ１がＰＭを開始する前に代替装置ｍ６にｍ２～ｍ５の処理数量を代替させることで、ｍ１～ｍ５の５台の装置のＰＭを同時期に起こさずに、ＰＭで休止する装置を常に１台以下に抑えるように負荷分散する。図３９にＪＡＭＰ法の条件（３）の［２］の説明図を示す。図４３に、本実験の設定条件下でＪＡＭＰルールを用いる場合の代替回数を示す。

[0180] ここで、１周期とは、ｍ１が最初のロットの処理を開始してから、ｍ５がＭＴＴＲを終えるまでの期間を指す（図４０参照）。シナリオＳ３は、ＰＭ指針の１００を超えているので、１周期で完全分散化が出来ない場合に該当する。

［結果・考察］

図４４は、ＪＡＭＰ法における代替え回数の設定について説明するための図である。図５１は、単純並列ルールとＪＡＭＰルールの比較について説明するための図である。

図４３、図４４で示した設定で、２つのルールについて３つのシナリオでシミュレーション実験を行った。代替装置がＰＭを実施する周期の終了までの結果を図４５に示す。ここでは、性能評価指標として、ＰＭによる待ちが発生したロット数、サイクルタイム、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を超過したロット数の３点を挙げた。

[0181] 図４５に示すように、代替装置で負荷分散、ＰＭを終える周期までの結果として、Ｓ１では９周期までの結果を、Ｓ２、Ｓ３についてはそれぞれ３、４周期目までの結果を示した。

生産期間（観測周期）が長くなると、上表の値に比例して、単純並列とＪＡＭＰとの差が広がっていく。

以上の実験結果からＪＡＭＰルールでは、シナリオＳ１、Ｓ２ではＰＭによるロットの待ちが発生せず、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を超過するロットがないことがわかる。特に待ち時間の総計から、単純並列ルールでは、長時間の待ちが発生している一方でＪＡＭＰルールでは待ちを発生せずに済んだことが分

かる。

また、待ちが発生したロット数の総計から、単純並列ルールでは、毎周期待ちｌｏｔが発生しており、時間を追うごとにこの差は広がっていく。これらの性能評価の結果から、ＪＡＭＰルールではＰＭを分散することによって、トラフィック強度が１より大きくなることを抑え、ＰＭに起因するロットの待ち時間の発生を抑え、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を超過するロットの発生も抑えることができること、を確かめることができた。

[0182] シナリオＳ１とＳ２のようにＪＡＭＰルールで条件（１）および条件（２）を合わせた条件を満たす場合には、第１周期において、条件（１）に対する代替処理を代替装置で行い予めＰＭの開始時点を調整するため、２周目以降では、条件（１）に関する処理の代替は必要なくなる。２周目以降では、代替装置で条件（２）のための処理の代替と、条件（３）に示した通り、代替装置のＰＭ時期を常用装置のＰＭ時期と重ならないために装置間で処理の代替を行う操作を行う。これらの操作によって、ＪＡＭＰルールにおける待ち時間は発生しないことが確かめられた。

[0183] ＪＡＭＰルールに関して、シナリオＳ１の場合、条件（３）の［１］に該当する。即ち、代替装置ｍ６が１００ｌｏｔ目の処理を完了しＰＭに入るまでの期間は、代替装置ｍ６における代替処理回数が１周期目に３０回、２週目以降１周期ごとに１０回代替するので、代替装置ｍ６における処理回数が１００ｌｏｔ目に達する時点は、８周期目で常用装置５台すべてのＰＭが終わる時点３０＋１０＋１０＋１０＋１０＋１０＋１０＋１０＝１００で、代替装置ｍ６がＰＭに入るので常用装置に影響はなかった。代替装置ｍ６がＰＭを開始する時点で、装置ｍ１はすでに４ＭＴＴＲ期間分の処理２ｘ４＝８ロット分になっているので、次のＰＭが開始するまでの残り処理可能回数は１００－８＝９２回である。

[0184] 一方、２周期以降の代替回数１０回と代替装置がＰＭ期間に装置１台当たりの処理回数２回の合計１２回は、次にＰＭを開始する常用装置ｍ１の残り処理回数９２回に対して小さいため、十分余裕をもってＰＭを終えることが

できる。２周目以降では、常用装置ｍ２～ｍ５までの装置で事前に処理を代替しておく必要はないので、これで問題なくすべての装置のＰＭが分散化され、同時にＰＭを行う装置は１台以下となった。

[0185] 一方、シナリオＳ２の場合を用いて、代替装置ｍ６が２周期目以降の周期の途中で代替装置の１００ｌｏｔに達してＰＭに入る場合の結果を示した。この場合、何も対処をしないと、常用装置のＰＭ中に代替装置のＰＭも開始することになるため、待ちロットが発生することになる。この場合に対処するため、条件（３）の［２］が必要となる。この条件（３）の［２］で、２周目以降も、意図的に代替装置のＰＭ時期を調整するために他の装置の代替を行うことによって、複数の装置のＭＴＴＲが重ならないように調整することができる。Ｓ２の場合、１周目で装置ｍ１～ｍ５のＰＭが同時期に重ならないようにずらすための事前の処理代替回数が６０回、また装置ｍ１～ｍ５がＭＴＴＲの期間に処理を代替するために３５回の代替回数が必要となっている。代替装置は、２周目であと残りの１００－９５＝５回代替した時点でＰＭを開始する必要がある。

[0186] ２周目では、本来は事前に処理を代替する必要がないので、何もしなければ、ｍ１のＰＭ時に処理を５回代替した時点でｍ６の装置がＰＭを開始しなければならず、ｍ６のＰＭの期間ＭＴＴＲの間は２台の装置がＰＭになる。これを防ぐために、２周期目でｍ１がＰＭを始める前に代替装置ｍ６のＰＭを完了しておくことが必要である。そのため、ｍ５のＰＭが終了した時点（この時点までにｍ１は、２８ｌｏｔ処理している）から、装置ｍ６がｍ１からｍ５の装置の代替を１回ずつ行う（これが終わるまでに、ｍ１は２８＋４＝３２ｌｏｔ処理する）。これが終了した時点でｍ６はＰＭを開始する。ＭＴＴＲ経過後ｍ６は使用可能となる（この時点までにｍ１は、３２＋７＝３９ｌｏｔ処理する）。この時点では、最もＰＭが起こりやすい装置ｍ１でも、まだ３９ｌｏｔしか処理を終えておらず、定量メンテナンスの指針ロット数１００以下であるため、すべての装置のＰＭを分散することができる。実験結果から、条件（３）の［２］に該当する場合にも、ＰＭを分散化でき、

ＰＭによるロットの待ち時間の発生を完全に抑えることができることが確かめられた。

[0187] 最後に、シナリオＳ３では、条件（１）と（２）を合わせた条件が成り立たない。つまり、１周期目で複数の装置がＰＭに入らざるを得ない状況が発生する。しかし、この場合でも代替装置を用いてできる限りＰＭの分散化を図っておくことによって、ＰＭによるロットの待ち時間を抑え、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れをゼロに抑えられることができることが確かめられた。シナリオＳ３は、実際の工場における定量メンテナンスの設定であり、効果が期待できる。

[0188] ＪＡＭＰ法は、ＰＭによる工程の生産能力の低下を最低限に抑えて変動を抑制し、生産の平準化を指向した方法である。そのため、後続工程では、ロットの到着が平準化される（図４６：終了時刻）

図４６は、ロットの到着と退去の時刻（ＪＡＭＰ法と単純並列ルールの比較）を示す図である。他方の単純並列の問題として、生産の能力の増減（変動）が大きく（下図）、仕掛数の急激な増加と、後続工程への流量の変動（上図）をもたらす。

図４７は、装置台数の稼働状況の変動（単純並列　ＭＴＴＲ＝１３８０［分］の場合）を示す図である。以上のことから定量メンテナンスを考慮したジョブの割り付け方法ＪＡＭＰの効果が示された。

[0189] ［結論］

本実施形態では、定量メンテナンスのある処理工程を取り上げ、同時期に予防保全になる装置台数を出来るだけ少なくする装置の負荷分散方法を開発し、その効果を確かめることを目的として研究を行った。

本実施形態では、新たに、負荷分散法ＪＡＭＰ（Job Allocation for Maintenance in Parallel）法を提案した。ＪＡＭＰ法の効果を確かめるために、実際の工場の工程モデルを参考にして、シミュレーション実験により単純並列ルールとの比較を行った。シミュレーションモデルは、６台の装置で処理時間が所与の１品種を処理する工程で、工程のトラフィック強度が０．８に

なるよう定期投入が行われる連続処理のモデルを用いた。

実験では、ＪＡＭＰによって同時期にＰＭになる装置台数を１台以下に抑え完全に分散化できる（トラフィック強度を常に１未満に抑えられる）場合と、完全にはＰＭの分散化ができない（常にはトラフィック強度を１未満に抑えられない）場合の２つの場合を設定して、それぞれにおけるＪＡＭＰの効果を確かめた。

[0190] その結果、完全にＰＭを分散化できる場合にはＰＭによる待ち時間をゼロに抑えることができ、また、完全にＰＭを分散化できない場合でも、ＪＡＭＰが同時期にＰＭになる装置の台数を可能な限り少なくするよう働くため、結果として単純並列ルールに比べて優れていることが確かめられた。

ここで、特にＭＴＴＲが大きい場合には、ＰＭによるロットの待ち時間が長くなり、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を割ってリワークが発生する事態が生じやすくなる。リワークの発生は生産上のロスでしかなく、副次的に正規ロットの生産物流を阻害するため望ましくない。このＱ－ｔｉｍｅ制約割れを防ぐためにも、同時期にＰＭになる台数を少なくすることで工程のトラフィック強度を常にできる限り低く抑え、余計な待ち時間を発生させないことによって、Ｑ－ｔｉｍｅ割れロットの数を抑えることができることが確認できた。

本提案法は、定量メンテナンスだけでなく、定期メンテナンスの分散化にも活用できる。

[0191] なお、実用時には、多品種生産における段取り時間やバッチ工程におけるバッチ組時間を考慮する必要がある。

その場合の条件を以下に示す。

λ_jを装置ｊ一台当たりの到着率［ｌｏｔ／分］$\lambda_j = \Lambda /［\Lambda / \mu］$、Λを装置群全体の到着率［ｌｏｔ／分］、Ｍを工程サービス能力＝ｍ／Ｔｐ［ｌｏｔ／分］、（ｍ：装置台数、Ｔｐ：平均処理時間）、Ｎを定量メンテナンスの基準値［ｌｏｔ］、ＭＴＴＲを予防保全（ＰＭ）の所要時間［分］、Ｔｓ１、Ｔｓ２を段取り時間等の合計とするとき、多品種生産における段取りを考慮した場合の条件は、以下のように表せる。

条件（１）は、

[0192] [数30]

装置$j\left(j=2,3,\ldots,\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor\right)$に対して、$T_j=\max\left\{(j-1)MTTR-(j-1)\left(\frac{1}{\lambda_j}\right)\right\},0)$なので

$$\frac{\sum_{j=2}^{\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor}T_j+Ts1}{m-\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor}\leq MTBF-\frac{1}{\Lambda}$$

条件（２）は、

[0193] [数31]

$$\sum_{j=1}^{\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j\rfloor+\mathrm{Ts2}\leq\mathrm{MTBF}\times\left(\mathrm{m}-\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor\right)$$

条件（１）および（２）は、

[0194] [数32]

$$\sum_{j=2}^{\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor}T_j+\mathrm{Ts1}+\sum_{j=1}^{\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor}\lfloor MTTR_j\lambda_j\rfloor+\mathrm{Ts2}\leq\mathrm{MTBF}\times\left(\mathrm{m}-\left\lfloor\frac{\Lambda}{\mu}\right\rfloor\right)-\frac{1}{\Lambda}$$

となる。

[0195] また、バッチ工程におけるバッチ組時間を考慮した条件は、以下の通りとなる。

バッチ装置においては、ロードルールによって処理開始間隔（ロード間隔）と処理単位（ロードサイズ）が異なる。１台あたりの実行サービス率は、以下の式で表せる。

１台当たりの実行サービス率＝（ロードサイズ）／（ロード間隔）

装置からみた場合のロード間隔は、ロードサイズをＬａとしたとき、以下のように算出できる。

１ロットが到着する時間間隔が１／Λなので、サイズＬａのバッチを１つ組むまでの時間間隔は、Ｌａ／Λとなる。装置のロード間隔ＴＬは、

Ｌａ／Λ＞Ｔ／ｐｍ（すなわちρ＜１）のときＴＬ＝Ｔｐ＋（Ｌａ／Λ－Ｔｐ／ｍ）

Ｌａ／Λ≦Ｔｐ／ｍ（すなわちρ≧１）のときＴＬ＝Ｔｐ

[0196] ここで、Ｍを装置台数、Ｔｐを平均処理時間、Ｌａを平均ロードサイズ［ｌｏｔ］、Λを装置群全体の到着率［ｌｏｔ／分］、λ_j＝Λ／［Λ／μ］である。

このＴＬをＴｐの代わりに使用して工程能力Ｍを計算することで、バッチ組時間を考慮することが可能となる。

なお、Ｌａはロードルールとトラフィック強度に依存する。最大バッチサイズを満たさなくても処理を開始できるロードルールとすると、装置が空くとすぐに装置での処理が開始する（常に装置が稼働する）ように作用する。

１台の装置が空く平均時間間隔は、Ｔｐ／ｍで、その期間に到着するＷＩＰ数は、Ｔｐｍ×Λ

計画上のサービス率μ＝ＬＴｐ

[0197] [数33]

$$\text{平均ロードサイズ } L_a = \frac{T_p}{m} \times \Lambda = \frac{T_p}{m} \times \rho m \mu = \frac{T_p}{m} \times \rho m \frac{L}{T_p} = \rho L \ (\rho < 1)$$

$$L_a = \begin{cases} \rho L \ (\rho < 1) \\ L \ (\rho \geq 1) \end{cases},$$

このＬａを用いる。

なお、各変数の定義は、次の通りである。

ρ：工程利用率、Ｌ：最大バッチサイズ［ｌｏｔ］、Ｌａ：平均ロードサイズ［ｌｏｔ］、Λ：装置群全体の到着率［ｌｏｔ／分］、λ_j＝Λ／［Λ／μ］、ρ＝Λ／ｍμ

[0198] 第２実施形態では、ＪＡＭＰ法により第２問題点を解決している。

Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因のである装置の予防保全時期を分散化するための装置への負荷配分方法を、ＪＡＭＰ（Job Allocation for Maintenance in Parallel）法と名付けた。ＪＡＭＰ法で、同時期に停止する装置台数を最小限に抑え、高い生産能力の維持と生産の平準化を図り、製品ロット

の無駄な待ちやＱ－ｔｉｍｅ制約割れを抜本的に防ぐ。第２実施形態は、ＪＡＭＰ法のプログラムとそれを用いた性能評価結果（実際の工場のデータを用いた確定的シミュレーションによる）である。性能評価結果から、ＪＡＭＰ法が並列装置を順々に均等に使用する単純並列ルールに比べて、２．５ヵ月当たり１８８ロットのリワークを削減し、２千万円以上のリワーク費用の削減効果が見込まれ、かつ、待ちロット数を１７２分の１、ロットの待ち時間総計を１３８０５分の１にまで大幅に低減できるため納期遵守にも効果がある。ＣＫＢ法とＪＡＭＰ法とを組み合わせて用いることで、単一Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の最適管理が実現される。

[0199] ＜第３実施形態＞

図４８を参照して、本発明の第３実施形態に係る最適指標生成装置について説明する。

本発明の第３実施形態に係る最適指標生成装置３１は、例えば、半導体を生産するための生産工程＃１にそれぞれ設けられた処理工程（装置群）２および処理工程（装置群）３の生産スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。同時に、製造装置の予防保全時期を分散化する運用方法について、生産工程＃１にそれぞれ設けられた装置群５の保全スケジュールを管理する生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９を制御の対象としている。本実施形態では、生産物流制御法と生産負荷配分法（以下、ＣＫＢ－ＪＡＭＰ法という）について説明する。

[0200] 図４８に示すように、最適指標生成装置３１は、図１に示す最適指標生成装置１１（第１実施形態）と同様に、入力部１２、補助入力部１３、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部１４を備えている。

また、最適指標生成装置３１は、図３０に示す最適指標生成装置２１（第２実施形態）と同様に、入力部２２、補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３、開始終了時期算出部２６、装置区分算定部２８を備えている。

第１および第２実施形態と比較して、第３実施形態に特徴的な構成は、図４８に示すように、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、再計算必要

性判断部３４、感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５、ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適論理値計算部３６、感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）３７を備えていることにある。

[0201] ここで、第３実施形態に特徴的な上記構成について説明する。

変動監視検出部３２は、ロットの処理開始・終了、装置の状態変化（故障等に伴う）と装置群の処理能力の変化など、イベント・状態データ更新による変動を監視・検出し、変動情報を計算必要性判定部３４に出力する。

[0202] 入力変更検出部３３は、ＣＫＢ法関連の入力データやＪＡＭＰ法関連の入力データを入力し、前回のＣＫＢ法関連の入力データやＪＡＭＰ法関連の入力データから変化した部分を検出し、変化があった入力データを出力する。

[0203] 再計算必要性判断部３４は、記憶部３４ａに記憶しておいた予め計算された感度解析結果における整数の閾値を入力し、入力変更検出部３３で検出された変動に対して、再計算が必要であるか否かを判断する。再計算必要性判断部３４は、前回の範囲の上下限の閾値を外れる場合には、再計算が必要と判断する。

[0204] ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適論理値計算部３６は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と入力部（ＪＡＭＰ法）から入力データを受け取り、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内の装置群に対してＪＡＭＰ法理論値計算により各装置の処理負荷（回数）とその処理時期を算出し、装置群における処理能力の時間推移を、１サイクル分算定し、その期間内で区間内の処理能力や生産負荷（または生産目標）が切り替わる毎のＣＫＢ法最適理論値計算を行う。ここで、１サイクルは、全ての常用装置が１回以上かつ全ての代替装置が１回ずつ予防保全を完了するまでの期間（または別途指定された生産期間）などとする。

更に、ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適理論値計算では、装置群の処理能力の変化に応じて、予めＱ－ｔｉｍｅ制約区間における投入量をＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守できる値として変更する機能を備え、円滑なＱ－ｔｉｍｅ区間の管理を実現する。

[0205] 図４９を参照して、最適理論値計算部３６の動作を説明する。ある工程（

例えば、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内のボトルネックの装置群）において、全ての装置が稼働可能な期間は、工程のトラフィック強度は平均的に１（１００％）未満に保たれる。（そうなるように生産計画がなされる。）この時期には、処理工程に到着する全てのロットが、ある一定の滞在時間以下で処理を終了することができる。ここで、いずれかの装置が予防保全になる期間には、工程（装置群）の処理能力が低下する。場合によっては、この期間には、工程のトラフィック強度が１（１００％）を超える。そして、この期間が長くなれば、Ｑ－ｔｉｍｅ制約はいずれ遵守できなくなる。このような状況を避けるために、ＪＡＭＰ法によって、予防保全の分散化をはかるのであるが、可動時間に対して予防保全時間が比較的長い場合などには、あらゆる場合に工程のトラフィック強度を１以下に抑えられるとは限らない。そのため、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の生産流量を、工程の処理能力の変化に合わせて見直す機能を備える。

[0206] また、ＣＫＢ法のようにＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間のスループットを可能な限り高めるために、制約を守れる最大限のロットをＱ－ｔｉｍｅ制約区間に滞在させる。このような場合には、工程の処理能力が低下する前にＱ－ｔｉｍｅ制約区間に投入されたロットが、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を守れなくなる。

そのため、処理能力が低下する前に、予め適切な時期にＱ－ｔｉｍｅ制約区間へのロットの投入率を減らす。

他方で、予防保全が完了した後には、処理能力が向上し、装置を可能な限り稼働させて溜まった中間在庫を解消しようとする。この時も、予め当該工程へのロット投入を増加させておかなければ、装置復旧後の処理能力・時間が無駄になる。

これらを考慮の上、工程能力が異なる各期間に合わせた、それぞれの適正理論値計算を行い、かつ、その工程能力の変化に合わせて投入を調整するための移行期間も含めて理論値の改編時期を適切に算定する。

[0207] ここで、図４９を用いて、工程能力が異なる各期間や移行期間の区分の方

法を説明する。

まず、ＪＡＭＰ法により予防保全の時期と各期の工程能力が決定される。この算定結果に基づき、工程能力の異なる期間を大区分で３つに分ける。第１期間は定常期で、ロットの到着率をΛ、定常期の処理工程のサービス率をμ１、とすると平均的にμ１＝Λの状態である。

次に、第２期間は低下期で、予防保全等により処理工程のサービス率が低下する期間である。低下期のサービス率をμ２とすると平均的にμ２＜Λの状態にある（ＪＡＭＰ法などによりこのような状態の発生を防ぐことができなかった場合）。

次に、第３期は復旧期で、第２期の低下期にたまった中間在庫を早急に解消するために、最大限のサービス率で処理工程を運用する。復旧期のサービス率をμ３とするとき、平均的にμ３＞Λの状態にある。

[0208] ここで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約が付された区間では、第１期（定常期）から第２期（低下期）、第２期（低下期）から第３期（復旧期）、第３期（復旧期）から第１期（定常期）、が切り替わる以前のＴｄ、Ｔｒ、Ｔｋの時点で、予め工程への到着率を適切に変更させる必要がある。

ここで、定常期から低下期へ切り替わる時点をＴ１、低下期から定常記に切り替わる時点をＴ２、復旧期から定常期に切り替わる時点をＴ３とする。定常期において、ロットの到着から処理開始までの滞在時間をＴｗと設定しているものとし、この区間でのＱ－ｔｉｍｅ制約による制限時間がＴｑであるとする。

[0209] ｉ）定常期から低下期への切り替えに関して

（Ａ）Ｔｗ＝Ｔｑの場合には、Ｔｄ＝Ｔ１－Ｔｗ

（Ｂ）Ｔｗ＜Ｔｑの場合には、Ｔｄ＝Ｔ１＋（μ２Ｔｑ－μ１Ｔｗ）／（μ１－μ２）

滞在時間をＴｑ以下に抑えるためには、遅くともＴｄの時点で、到着率をμ１からμ２へ変更するよう制御する。

なお、

（Ｃ）Ｔｗ＞Ｔｑの場合には、常にＱ－ｔｉｍｅ制約が遵守できなくなるので、この場合はまずＣＫＢ法により（Ａ）または（Ｂ）の条件を満たす状態になるように物流制御する必要がある。

[0210] ｉｉ）低下期から復旧期の切り替えに関しては、

（Ａ）Ｔｗ＝Ｔｑの場合には、Ｔｒ＝Ｔ２－Ｔｗ

（Ｂ）Ｔｗ＜Ｔｑの場合には、Ｔｒ＝Ｔ２－Ｔｑ

早くともＴｒの時点以降で、到着率をμ２からμ３へ変更するよう制御する。

[0211] ｉｉｉ）復旧期から定常期への切り替えに関しては、

（Ａ）Ｔｗ＝Ｔｑの場合には、Ｔｋ＝Ｔ３－Ｔｗ

（Ｂ）Ｔｗ＜Ｔｑの場合には、Ｔｋ＝Ｔ３－（μ３Ｔｑ－ΛＴｗ）／（μ３－Λ）

早くともＴｋの時点以降で、到着率をμ３からΛ（＝μ１）へ変更するよう制御する。

[0212] 感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５は、ＣＫＢ法、ＪＡＭＰ法の感度分析部に基づいているが、本感度分析（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）の特徴は、前記ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適論理値計算部３６での特徴と同様に、工程能力が異なる各期間やその移行期間別に、全ての対象期間について、感度解析を行うことを特徴とする。内部記憶部３５ａの情報は、最適指標生成３１の実行必要性の判定にも用いられる。この必要性の判定は、管理対象の生産工程＃１および＃２における各種の変動（装置群の処理能力の変化や、目標生産率の変更、トラフィックの変動、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の変更・追加など）に対応して判断される。必要性が確認された場合、最適指標生成３１に計算指示が出される。

感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）３７は、ＣＫＢ法、ＪＡＭＰ法の感度分析部に基づいているが、本感度分析（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）の特徴は、前記感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５での特徴と同様に、工程能力が異なる各期間やその移行期間別に、全ての対象期間について、

感度解析における性能評価を行うことを特徴とする。

[0213] 図４８を参照して、本発明の第３実施形態に係る最適指標生成装置３１の動作について説明する。

生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システム１０を介して入力部１２、により入力し、入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の上限値や下限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造をＱ－ｔｉｍｅ構造分析部１４により分析し、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約に対して、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定し、生産管理システム１０を介して入力部２２から入力された生産実行システムに含まれる複数の常用装置と代替装置に関する情報から複数の装置を装置区分算定部２８により常用装置と代替装置とに区分し、複数の装置の稼働回数と稼働時期を算出するとともに、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出し、算出された予防保全時期と入力された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として指標算出部１７により出力し、常用装置と代替装置とに関する稼働回数と稼働時期と予防保全開始時間を開始終了時期算出部２６により算出し、指標算出部１７により算出された最適な指標情報を生産管理システム１０に供給するとともに、開始終了時期算出部２６により算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システム１０に供給する。

[0214] これにより、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

また、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、装置の予防保全、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。

[0215] ＜第４実施形態＞

図５０を参照して、本発明の第４実施形態に係る最適指標生成装置について説明する。

本発明の第４実施形態に係る最適指標生成装置４１は、例えば、半導体を生産するための生産工程＃１にそれぞれ設けられた処理工程（装置群）２および処理工程（装置群）３の生産スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。同時に、製造装置の予防保全時期を分散化する運用方法について、生産工程＃１にそれぞれ設けられた装置５の保全スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。本実施形態では、連動型生産物流制御法（以下、手続き型ＣＫＢ法という）について説明する。

[0216] 図５０に示すように、最適指標生成装置４１は、図１に示す最適指標生成装置１１（第１実施形態）と同様に、入力部１２、補助入力部１３、指標算出部１７を備えている。

また、最適指標生成装置４１は、図３０に示す最適指標生成装置２１（第２実施形態）と同様に、入力部２２、補助入力部２３、開始終了時期算出部２６を備えている。

さらに、最適指標生成装置４１は、図４８に示す最適指標生成装置３１（第３実施形態）と同様に、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、再計算必要性判断部３４、感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５、ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適論理値計算部３６、感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）３７を備えている。

第１、第２および第３実施形態と比較して、第４実施形態に特徴的な構成は、図５０に示すように、生産フローボトルネック・流量解析部４２、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３、装置区分算定部４４、補助入力部（手続き型ＣＫＢ法）４５、駆動制御部４６、余裕時間配分解析部４７、手続き実行制御部（ＣＫＢ＋ＰＳ法）４８を備えていることにある。なお、駆動制御部４６は、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、再計算必要性判断部３４、感

度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５から構成されている。

[0217] ここで、第４実施形態に特徴的な上記構成について説明する。

生産フローボトルネック・流量解析部４２は、生産実行システムに含まれる製造フロー全体における生産流量や工程能力の変動に対応してＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理するために、工程の接続行列（生産フロー）、工程の処理容量行列、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の許容流量を入力し、ＴＯＣ理論または最大流問題・最小カット定理などを用いて、生産フロー統合解析、ボトルネック箇所検出、最大流量計算を行う。生産フローボトルネック・流量解析部４２は、ボトルネック箇所（最小カットに該当する工程群）、各処理工程における流量（処理負荷）を出力する。

[0218] Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３は、ＣＫＢ法の入力データおよびＪＡＭＰ法の入力データ、工程接続のデータ（生産フロー）、工程の処理能力データ、Ｑ－ｔｉｍｅ制約データ、工程における生産品種別の処理負荷を入力する。そして、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３は、どのＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造に該当するかを検出し（直列型４種、並列型５種）てＱ－ｔｉｍｅ制約の構造を分析する。同時に、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３は、特別な処理（３工程以上に跨る排他、中間工程重複の場合）を必要とするＱ－ｔｉｍｅ制約区間に該当するか否かチェックする。

Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３は、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の範囲と構造（Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の開始・終了工程、構造Ｎｏ、など）を出力し、特別構造フラグ（ＯＮ＝１）を立てる。

[0219] 装置区分算定部４４は、第２実施形態において用いた装置区分算定部２８と同様である。

[0220] 補助入力部４５は、ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適理論値計算３６、余裕時間配分解析部４７、駆動制御部４６で使用するデータを生産管理システムやエンジニアリング業務システムから入力する。

駆動制御部４６は、生産工程の動的変化に合わせて管理をするために、変動監視検出部３２で生産管理システムから最新の生産計画・実績情報を入力

して、入力変更検出部３３で各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間に対する変化を検出して、再計算必要性判定部３４でＣＫＢ法の再計算が必要か否かを判定する。必要であると判定された場合には、手続き実行制御部４８などに再計算指示を入力し、図５３に示す手続き型ＣＫＢ法のＳ２２からＳ２５までの処理を再実行し、ＣＫＢ法の最適理論値を再計算する。

[0221] 余裕時間配分解析部４７は、補助入力部４５からの入力に応じて、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間における余裕時間配分の箇所（工程間）と時間長を、各工程の装置台数やサービス能力および生産物流の状態などから算定する。手続き型ＣＫＢ法（標準）に追加の手続きを要する構造については、図５５のように条件分岐付き手続きで管理する。追加の手続きを要する構造とは、図５２の直列型（Ｃ）重複に該当する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約、または、単一Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間が３工程以上にまたがる場合（並列構造においては、直列型に変換した際に、上述の構造に該当する場合）である。

これら追加の手続きを要する構造を含む生産工程の場合には、図５５の処理の流れを使用する。図５４との特徴的な違いは、Ｓ３５の時間割り当て箇所決定とＳ３６余裕時間配分決定にある。余裕時間配分解析部４７が、これらの処理機能を担う。

[0222] 手続き実行制御部４８は、手続き型ＣＫＢ法（ＣＫＢ－ＰＳ法）の処理の流れを制御しとりまとめる。このために、図５４、図５５に示すメイン処理フローの実行を制御する。

図５４の処理フローを用いて、手続き型ＣＫＢ法の基本的な処理の流れを説明する。

図５４においては、まずＳ２１で処理が行われる。これは、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３で、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間を全て検出し、その構造を検出した情報とＱ－ｔｉｍｅ制約区間に含まれる処理工程の集合を生産工程のサブ集合として設定し、手続き型ＣＫＢ法のメイン処理フローの対象データを初期化する。すべてのＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造や時間長等が変更されない間は、Ｓ２１で検出された全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間に関する情報を要素

とする集合サブ集合を内部記憶部Ｓ２１ａに記録しておく。次のＳ２２では、生産工程におけるボトルネック箇所の検出と各処理工程における最大流量の算出を行う。Ｓ２２は、図５０に示す生産フローボトルネック・流量解析部４２によるほか、直列構造の生産工程フローの場合には生産計画と処理工程のサービス能力等からより簡単に算定することもできる。このＳ２２の計算結果を内部記憶部Ｓ２２ａに記憶しておく。

[0223] 次いで、Ｓ２３、Ｓ２４は、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間に対する処理である。Ｓ２３では、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間におけるボトルネック箇所の検出と最大流量の算定をＳ２２同様に行う。このとき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間に投入される生産流量を内部記憶部Ｓ２２ａから読み込む。これにより、生産工程全体のボトルネック箇所と最大流量に合わせて、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間を管理することが可能となる。Ｓ２４では、Ｓ２３の計算結果に基づき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間についてＣＫＢ法の計算を行う。Ｓ２４には、図５０に示すＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適理論値計算部３６を用いる。Ｓ２４の算定結果は、内部記憶部Ｓ２４ａに記録される。

Ｓ２５では、内部記憶部Ｓ２１ａに記録された全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間を読み込んでおき、Ｓ２３およびＳ２４の処理を全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間に対して行ったか否かを判定する。Ｓ２５では、Ｓ２３およびＳ２４の処理が終了していないＱ－ｔｉｍｅ制約区間が一つ以上ある間は、Ｓ２３およびＳ２４の処理を実行する。

こうして、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間について最適指標計算が完了した後、Ｓ２６で、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間の最適指標算出結果を生産管理システムに出力し、管理を実行させる。

[0224] その後も、生産工程の動的変化に合わせて管理をするために、Ｓ２７で、生産管理システムから生産履歴情報を取得して、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の変化を監視し、再計算が必要と判断した場合にはＳ２２からＳ２５までの処理を再実行し、最適指標を再計算する。変化の監視には、図４９に示す変動監視検出部３２および入力変更検出部３３が、再計算の必要性の判断は再計

算必要性判定部３４が用いられる。

図５０の再計算必要性判定部３４では、前回の生産工程モデルに基づく感度解析結果（特に再計算の指針となる閾値）と、今回評価したい生産工程モデルとを用いる。

図５０において、再計算必要性判定部３４に、感度解析部３５の内部記憶部３５ａから前回の感度解析結果（特に再計算の指針となる閾値）が入力され、変動監視検出部３２から今回の生産工程モデルに関する情報が入力される。

[0225] 手続き型ＣＫＢ法（標準）に追加の手続きを要する構造については、図５５のように条件分岐付き手続きで管理する。追加の手続きを要する構造とは、図５２の直列型（Ｃ）重複に該当する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約、または、単一Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間が３工程以上にまたがる場合（並列構造においては、直列型に変換した際に、上述の構造に該当する場合）である。

これら追加の手続きを要する構造を含む生産工程の場合には、図５５の処理の流れを使用する。図５４との特徴的な違いは、Ｓ３５の時間割り当て箇所決定とＳ３６余裕時間配分決定にある。

Ｓ３５では、余裕時間配分解析部４７により、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間における余裕時間をどの処理工程間に割り当てるかを決定する。一般には、ボトルネック箇所の前後により重点的に割り当てることが望ましいが、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間においては、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の遵守とボトルネック箇所の生産率の向上との２点を考慮する。

Ｓ３６では、余裕時間配分解析部４７により、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間における余裕時間の配分を、Ｓ３５での決定結果と各工程の装置台数やサービス能力および生産物流の状態などから算定する。

[0226] 図５０を参照して、本発明の第４実施形態に係る最適指標生成装置４１の動作について説明する。

生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力部１２および補助入力部１３により入力し、入力される情報か

ら複数の装置による生産工程の中のボトルネック箇所および最大流量を生産ボトルネック・流量解析部４２により解析し、入力された情報から複数の装置による処理工程間の滞在時間の上限値または下限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造をＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３により分析して内部記憶に記憶し、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約に対して、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定し、入力部２２により入力された生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報から装置区分算定部４４により装置を常用装置と代替装置に区分し、前記算定された装置区分と入力された情報からＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適理論値計算部３６を用いて前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出するとともに、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を開始終了時期算出部２６の内部記憶２６aに記憶し、算出された予防保全時期と判定された最適なロードルール、ボトルネック箇所、最大流量およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する。実施形態３と同様に、開始終了時期算定部２６で算定された工程能力が異なる各期に対して指標算出部１７により算出された最適な指標情報を生産管理システム１０に供給するとともに、開始終了時期算定部２６により算出された最適な指標情報を生産管理システム１０に供給する。

[0227] これにより、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

また、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、装置の予防保全、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。

そして、動的な生産工程の生産物流の変化に対応して、最適なオペレーシ

ョン管理条件を更新し、常に生産工程の状態に合った最適なオペレーション管理条件を提供することができる。

[0228] 以下、本発明の第４実施形態に係る最適指標生成装置４１を構成する各部の動作について説明する。

まず、第４実施形態における、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の構造分析と同時管理の方法、および製造フロー上の生産物流や生産能力の変動への対応方針について説明する。

複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の形成する構造の分析および同時管理の方法をＭＮＡ１法、生産ライン全体の生産流量の検出の結果を元に動的に複数のＱ－ｔｉｍｅ制約を同時管理する方法をＭＮＡ２法とし、ＭＮＡ１法とＭＮＡ２法を総称してＭＮＡ法と名付けた。

そして、ＭＮＡ法（ＭＮＡ１法とＭＮＡ２法）を用いて、生産フロー全体のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を管理する方法を手続き型ＣＫＢ（CKB with Procedure and Structure：ＣＫＢ－ＰＳ）法として定めた。これらにより、独立するＱ－ｔｉｍｅ制約区間を分散管理することで計算量を減らしつつ、干渉関係も考慮するため全体最適化を図ることができる。

[0229] 図５０は、ＭＮＡ法と手続き型ＣＫＢ法を統合した管理システムの全体像を示す図である。

次に、ＭＮＡ１法、ＭＮＡ２法、および手続き型ＣＫＢ法について、以下に説明する。

（１）ＭＮＡ１法は、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の構造分析、および構造に応じた同時管理の方法である。

複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が干渉し合う構造を持つ場合、それらを同時に管理しなければ、片方を守れても他方が守れないといった問題が起こり得る。

そこで、ＭＮＡ１法として、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の種類と変換方法（図５１）を定めた上で、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が成す構造（直列型４種）（図５２）、および並列型５種（図５３）で網羅的に定義し、各構造における複数のＱ－ｔｉｍｅ制約をＣＫＢ－ＰＳ法を活用して同時管理する方法を定めた

。

これにより、生産フロー上に点在するあらゆるＱ－ｔｉｍｅ制約を網羅的に管理することが可能になる。新たに追加されるＱ－ｔｉｍｅ制約についても同様に扱うことができる。このようにＱ－ｔｉｍｅ制約の構造を網羅的に定義し、管理方法を体系づけた先行技術は存在しないため新規性は高い。ＭＮＡ１法とＣＫＢ－ＰＳ法との融合によって、生産フロー上で干渉をもつＱ－ｔｉｍｅ制約を同時管理し、全ての構造のＱ－ｔｉｍｅ制約の遵守と生産性向上の達成が期待できる。

[0230] 図５１では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の種類：技術的に制御可能なのは処理開始時点のみであるためＱ－ｔｉｍｅ制約の始点を処理開始イベントになるように変換（構造定義の前処理）することを示す図である。図５２は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の構造（直列型４種：（Ａ）、（Ｂ）－１（１）、（Ｃ）－１（２）、（Ｃ）－２）を示す図である。図５３は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の構造（並列型５種：（Ｄ）、（Ｅ）－１、（Ｅ）－３、（Ｆ）－１、（Ｆ）－３）を示す図である。

ここで、簡単に各構造の管理方法を述べる。

（ＳＴ１）直列型（Ａ）排他では、其々のＱ－ｔｉｍｅ制約区間をＣＫＢ法で管理可能する。

（ＳＴ２）直列型（Ｂ）点共通では、ボトルネック箇所に合わせて投入し、それぞれのＱ－ｔｉｍｅ制約区間をＣＫＢ法で管理する。ＣＫＢ法を通して先行Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間が後続のＱ－ｔｉｍｅ制約区間と連動する。（後続区間の投入率が低下した場合にはバッファサイズによる連動制御、増加した場合にはカンバンによる連動制御が即座に働く）

（ＳＴ３）直列型（Ｃ）－１工程重複（包囲）では、この「工程重複（包囲）」構造を「点共通」の構造に変換して、被包囲Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間以外に包囲Ｑ－ｔｉｍｅ制約時間の残り時間を割り当てる。ボトルネック箇所に合わせて投入し、それぞれのＱ－ｔｉｍｅ制約区間をＣＫＢ法で管理する（点共通と同様）。

[0231] （ＳＴ４）直列型（Ｃ）－２中間工程重複では、ボトルネック箇所に合わせて投入し、それぞれのＱ－ｔｉｍｅ制約区間をＣＫＢ法で管理する。ただし、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間の終了時点におけるカンバンの解放やバッファサイズ充填率を全てのＱ－ｔｉｍｅ制約の開始時点へ渡し、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間のカンバンおよびバッファサイズ条件が揃った場合のみ処理開始可能とする。（追加事項：カンバンのコピーと配布ほか）

（ＳＴ５）並列型（Ｄ）完全並列では、それぞれの独立ライン区間を、直列型と同様に扱う。

（ＳＴ６）並列型（Ｅ）－１（１）点合流＝（２）工程合流では、多品種のＣＫＢ法と同様に扱う。合流開始工程での能力配分比率を決定して其々を独立に（直列型として）管理する。

（ＳＴ７）並列型（Ｅ）－２区間合流では、多品種のＣＫＢ法と同様に扱う。合流開始以降の重複工程で能力配分比率を決定して其々を独立に（直列型として）管理する。

（ＳＴ８）並列型（Ｆ）－１（１）点分岐＝（２）工程分岐では、多品種のＣＫＢ法と同様に扱う。分岐開始工程での能力配分比率を決定して独立に（直列型として）管理する。

（ＳＴ９）並列型（Ｆ）－２区間分岐では、多品種のＣＫＢ法と同様に扱う。分岐開始以前の重複工程で能力配分比率を決定して其々を独立に（直列型として）管理する。

[0232] （２）ＭＮＡ２法は、動的なボトルネック箇所の検出・監視・予測のための解析方法である。

実際の生産システムでは、動的な状況の変化が起こり、ボトルネック箇所も変化することがある。したがって、ボトルネック箇所を監視して、ボトルネック箇所に合わせた適切な対処をとることが実践において必要となる。

そこで、単位時間当たりのロットの到着数と工程能力を算出し、ボトルネック箇所を検出する方法を定めた。生産フローが直列の場合と並列の場合に応じてボトルネック箇所の検出方法を分け、直列型の場合の計算負荷を減ら

すことができる。

（ＳＴ２１）直列型の場合には到着率と工程サービス率の最小値をもつ箇所を算定する。

（ＳＴ２２）並列型の場合には最大流問題一最小カット定理を応用した高速アルゴリズムでボトルネック箇所を抽出する。

[0233] 半導体製造等に対して、最大流問題一最小カット定理を適用する事例は皆無であるが、製造フロー全体を対象にした管理には、全てのボトルネック箇所と各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の管理指針の計算結果をネットワーク表現で表示する可視化が実務上の全体最適化において有用であるため、ネットワーク理論に基づく方法が適していると考える。ここで、到着数の計算時に実績値のほか指数平滑法など予測法による予測値を用い、工程能力に実績値のほかＪＡＭＰ法や故障解析などに基づく予測値を用いることによって、変動の監視だけでなく予測に活用することもできる。

[0234] ボトルネック箇所とＱ－ｔｉｍｅ制約の位置関係の変化に応じた対応指針について説明する。

生産ラインのボトルネック箇所がＱ－ｔｉｍｅ区間の前にある場合、到着率Λの増減が起こるが、特に問題ない。到着率Λを常に監視（または予測）し、到着率Λに合わせて調整可能とする。

生産ラインのボトルネック箇所がＱ－ｔｉｍｅ区間の中にある場合で、サービス能力Ｍの増減が起こる場合。これは、問題ない。Ｍを常に監視（または予測）し、Ｍに合わせて調整可能とする。

ボトルネック箇所がＱ－ｔｉｍｅ区間の後ろにある場合、スループットの増減要求が起こる。増加については、投入計画の見直しに合わせて、調整を行う。減少については、減らさなければならない場合を考慮に入れておく必要がある。投入計画の見直し後に再調整することが望ましいが、生産性を低下させないために当該区間で実時間の調整がなされるなどが必要となる。この場合、ＣＫＢ法のカンバン枚数およびバッファサイズを当該区間へのロット到着や工程処理能力の変動以外の要因で調整する必要がでる。そのため、

ＭＮＡ２法で生産工程全体のボトルネック箇所とそれに合わせた生産流量を算定する機能が必要である。

[0235] （３）手続き型ＣＫＢ（ＣＫＢ－ＰＳ）法

ＭＮＡ１法やＭＮＡ２法を融合して、製造フロー全体に対して、動的な状態変化の監視・予測等に基づいてＱ－ｔｉｍｅ制約を同時管理する手続き（標準、条件分岐付き（直列型、並列型））を、統一的に「手続き型ＣＫＢ法」として定めた。

図５４は、手続き型ＣＫＢ法（標準）のフローチャート（その１）である。なお、最適指標生成装置４１は、フローチャートで表される制御プログラムを記憶したＨＤＤ、ＲＡＭ、ＣＰＵを備え、ＣＰＵはＨＤＤまたはＲＯＭ、またはＣＤＲＯＭなどの記憶媒体から制御プログラムを読み出して装置４１を制御することとする。

[0236] まず、ステップＳ２１では、制御部は、入力部１２により入力される情報をＭＮＡ１法に基づき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の構造の検出し、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間のサブ集合を検出する。この際、繰り返しループのカウンタ値を初期化（区間数で）する。

次いで、ステップＳ２２では、制御部は、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間への流量を検出（生産ライン全体のボトルネック箇所（ＢＮ）と各区間の流量の検出）する。ここで、静的には、生産計画、工程能力等から決定する。動的には、ＭＮＡ２法を用いて算定する。

[0237] 次いで、ステップＳ２３では、制御部は、当該Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間のボトルネック箇所（ＢＮ）を検出し、総流量率を算出する。

次いで、ステップＳ２４では、制御部は、当該Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間についてＣＫＢ法の計算を行う。

次いで、ステップＳ２５では、制御部は、全区間について上記処理を実行したか否かを判断する。全区間について上記処理を実行していない場合には、繰り返しループのカウンタに対して、カウンタ値をデクリメント（－１）し、ステップＳ２３に戻り、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間（構造別）につい

てステップＳ２３～Ｓ２５を実行する。

全区間について上記処理を実行した場合、ステップＳ２６では、計算結果に基づいて管理を実行する。

なお、動的管理では、変化を監視して、Ｓ２２～Ｓ２７を繰り返して再調整を加える。

[0238] 手続き型ＣＫＢ法（標準）に追加の手続きを要する構造については、それぞれ以下のように条件分岐付き手続きで管理する。追加の手続きを要する構造とは、ＭＮＡ１法で挙げた直列型（Ｃ）重複に該当する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約、または、単一Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間が３工程以上にまたがる場合（並列構造においては、直列型に変換した際に、上述の構造に該当する場合）である。

図５５に示すフローチャート（その２）を参照して、手続き型ＣＫＢ法（条件分岐付き）について説明する。

まず、ステップＳ３１では、制御部は、入力部１２により入力される情報をＭＮＡ１法に基づき、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の構造の検出し、Ｑ－ｔｉｍｅ制約サブ集合を検出する。この際、繰り返しループのカウンタ値を初期化する。

次いで、ステップＳ３２では、制御部は、各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間への流量を検出（生産ライン全体のボトルネック箇所（ＢＮ）と各区間の流量の検出）する。なお、静的には、生産計画、工程能力等から決定する。一方、動的には、ＭＮＡ２法を用いて算定する。

[0239] 次いで、ステップＳ３３では、制御部は、ボトルネック箇所（ＢＮ）に合わせた総スループット、そのための投入率を設定する。このステップＳ３３での動作はＳ２２と同様である。

次いで、ステップＳ３４では、制御部は、設定された投入率から、当該区間内の全ての工程のトラフィック強度、待ちＷＩＰ数および待ち時間（期待値）を計算する。

次いで、ステップＳ３５では、制御部は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約余裕時間の割

り当て箇所を判断する。

次いで、ステップＳ３６では、制御部は、Ｓ３４～Ｓ３５の結果と配分の制約・ルールに基づいて、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の余裕時間の配分を決める。

次いで、ステップＳ３７では、制御部は、当該区間内の各ｓ－ｓ区間（連続する２つの処理工程で、第１工程の処理開始から第２工程の処理開始まで）についてＣＫＢ法の計算を行う。

[0240] 次いで、ステップＳ３８では、制御部は、全区間について上記処理を実行したか否かを判断する。全区間について上記処理を実行していない場合にはカウンタ値がゼロ（０）でないため、ステップＳ３４に戻り、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間（構造別）についてステップＳ３４～Ｓ３８を実行する。

全区間について上記処理を実行した場合、ステップＳ３９では、計算結果に基づいて管理を実行する。なお、動的管理では、実績を監視して、Ｓ３２～３７を繰り返して再調整を加える。

以上、ＭＮＡ１法とＭＮＡ２法を融合した手続き型ＣＫＢ法によって生産フロー全体を統一的に管理でき、更なる実践的効果が期待できる。

[0241] ここで、最大流問題－最小カット定理について説明する。図５６、図５７は並列ネットワークフローを示す図である。

生産流量のボトルネック箇所を評価するためには、製造フロー上で最大流量を決定づけている箇所を見つけなければならないが、図５６と図５７に示す事例の通り、並列構造を含む場合には、ボトルネック箇所を特定することは容易ではない（複数の枝によってボトルネック箇所を形成しているため）。そこで、最大流問題として定式化し、最大流－最小カットの定理を高速な計算アルゴリズムに落とし込み、ボトルネック箇所および各枝の流量を特定する。最大流－最小カット定理では、ネットワークの始点ｓと終点ｔの間のフローの最大値は、図５６の点線のような始点ｓと終点ｔを分離するカットセットのカット容量の最小値（最小カット）に等しいとされる。つまり製造ネットワークの最大流量は最小カット（＝ボトルネック）に制約されることを意味している。

[0242] ネットワークの始点ｓと終点ｔの間で、全てのカット（枝の組合せ）について、容量があり、

[0243] [数34]

$$\text{s-t cut}: X \subseteq V,\ s \in X,\ t \notin X$$
$$\delta^+(X)$$
$$\text{capacity of an s-t cut}\quad \delta^+(X): \sum_{a \in \delta^+(X)} u(a)$$

容量に基づいて、可能流が決まる。

[0244] [数35]

$$\varphi\text{:feasible.}\ \delta^+(X)\text{:s-t cut}$$

$$\text{total out flow from s}: \quad \partial\varphi(s) = \partial\varphi(s) + \sum_{v \in X, v \notin s} \partial\varphi(v)$$
$$= \sum_{v \in X} \partial\varphi(v)$$
$$= \sum_{v \in X} \left(\sum_{a \in \delta^+ v} \varphi(a) - \sum_{a \in \delta^- v} \varphi(a) \right)$$
$$= \sum_{a \in \delta^+(X)} \varphi(a) - \sum_{a \in \delta^-(X)} \varphi(a)$$

$$\leq \sum_{a \in \delta^+(X)} u(a) - \sum_{a \in \delta^-(X)} 0$$
$$= \textit{capacity of}\ \delta^+(X)$$

Maximum－flow Minimum－cut Theorem（最大流-最小カットの定理）では、可能流の最も小さいカットを最小カットとする。

[0245] [数36]

$$\varphi\text{:feasible.}\ \delta^+(X)\text{:s-t cut}$$
$$\text{Total out flow}\ \partial\ \phi\ (s)\ \leqq\ \text{capacity of}\ \delta^+(X)$$

Ford Fulkerson(1956)が発表したMaximum-flow minimum-cut Theoremとして、

[0246] [数37]

$$\varphi^*\text{: maximum flow}$$
$$\delta^+(X^*)\text{: minimum cut (s-t cut with minimum capacity)}$$

$$\partial\varphi^*(s) = \text{capacity of}\ \delta^+(X^*)$$

を用いても良い。

この最小カットの検出のためのアルゴリズムはラベリング法をはじめとし

て、いくつか存在し、検出の高速化に寄与している。

[0247] 第４実施形態は、ＭＮＡ法と手続き型ＣＫＢ法により第３問題点を解決している。

複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の構造分析（ＭＮＡ１法）と製造フロー全体の生産物流の解析（ＭＮＡ２法）とに基づいて、製造フロー全体のＱ－ｔｉｍｅ制約区間を同時管理する方法（手続き型ＣＫＢ法）を提案した。ここで、ＭＮＡ法は、Manufacturing Network Analysisの略称で、ＭＮＡ１法とＭＮＡ２法の総称をＭＮＡ法とした。第４実施形態では、これらの仕様書とプログラムフロー等を対象とする。

[0248] ここで、ＭＮＡ１法は、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の構造分析、および同時管理の方法である。ＭＮＡ２法は、動的なボトルネック箇所の検出・監視・予測のための解析方法である。手続き型ＣＫＢ法は、ＭＮＡ１法、ＭＮＡ２法、およびＣＫＢ法を用いて、生産システム内の全てのＱ－ｔｉｍｅ制約を最適に同時管理する手続き方法である。

これら３つの方法により、製造フローの全体の生産流量に合わせて各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の分散管理を実現し、生産変動に実時間で対応できる計算の高速性と全体最適化の両方が達成できる。なお、ＭＮＡ１法やＭＮＡ２法は、単独でも使用可能である。

[0249] 次に、連動物流制御法（手続き型ＣＫＢ法）の効果をシミュレーション実験によって確かめる。

［目的と方法］

今回のシミュレーション実験の目的は、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在する生産工程において、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が成す干渉構造を考慮せずに意図的な生産物流制御を行う非特許文献１に記載の方法の場合（以下、従来型Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間管理ルールと呼ぶ）と、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約が成す干渉構造を考慮して同時に管理する手続き型ＣＫＢ法の性能を比較することで、手続き型ＣＫＢ法の効果を確かめることにある。

実験方法には、図５８に示した、５つの装置群、７つの処理工程、および

５つのＱ－ｔｉｍｅ制約が設定された非特許文献１に記載の実工場の生産工程のモデルと設定条件を用いたシミュレーション実験を行う。このモデルでは、同一装置群が繰返し処理のために共用される。生産工程におけるトラフィックを非特許文献１と同様に設定し、ロットは定期到着およびポアソン到着としてシミュレーション実験を行った。

[0250] シミュレーション実験の結果、図５９に示す通り、手続き型ＣＫＢ法は、非特許文献１に記載の従来型Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間管理ルールと比べて、生産率を向上しつつ工程間待ち時間を約６０～８０％短縮することを確かめた。

また、最適指標生成にかかる計算時間に関する性能評価結果から、非特許文献１で３秒を要していた計算時間を０．００５秒程に抑え、６００分の一の計算時間を実現することが確かめられた。なお、この性能評価は、同程度性能以下の計算機（パーソナルコンピューター）を用いて実験した結果である。

[0251] ＜第５実施形態＞

［第２実施形態での問題点と課題］

第２実施形態では、図６４に示すような段取り時間による保全時期のずれやその影響を考慮していない点に問題があった。また、半導体製造における段取り時間は、生産期間のうち４分の１を占める重要な管理対象であり、最大の非生産期間である段取り時間を低減する方法を提供する課題が残されていた。第５実施形態は、第２実施形態の変形例で、段取り業務最小化法を保全管理法と統合した装置業務管理法により問題・課題を解決している。半導体製造の生産工程における生産期間の４分の１を占める製造装置の段取り時間を低減し、また逆手に活用する特徴を持つ。本実施形態では、装置業務管理法（以下、ＪＡＭＰ－ｗＳ法という）について説明する。

[0252] 図６０を参照して、本発明の第５実施形態に係る最適指標生成装置について説明する。

本発明の第５実施形態に係る最適指標生成装置５１は、例えば、装置の保

全や多品種生産におけるプロセス切り替えのための段取りなど製造エンジニアリング業務の運用方法について、生産工程＃１にそれぞれ設けられた装置群５に関わるエンジニアリング業務のスケジュール等を管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。同時に、製造装置の予防保全や段取りの時期を適正化する運用方法ついて、生産工程＃２にそれぞれ設けられた装置群５の装置関連業務の計画や指示や実績を管理する生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９を制御の対象としている。

[0253] 図６０に示すように、最適指標生成装置５１は、図１に示す最適指標生成装置１１（第１実施形態）と同様に、入力部１２、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部１４、を備えている。また、図３０に示す最適指標生成装置２１（第２実施形態）と同様に、入力部２２、補助入力部２３、を備えている。第１実施形態や第２実施形態と比較して、第５実施形態に特徴的な構成は、図６０に示すように、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５、感度解析部（ＪＡＭＰ特性）５８、開始終了時期算出部５６、感度解析部（性能特性）５７、を備えていることにある。

[0254] ここで、第５実施形態に特徴的な上記構成について説明する。

補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２は、装置使用可能品種／スペック対応、多品種・繰返し処理における段取り替え時間、段取り活用方法（３種類ほかから選択）、装置－品種スペック割当ルール（３種類ほかから選択）、装置－品種割当（固有条件）、多品種仕掛り、などの情報を入力する。

段取り活用方法の設定によって、最適理論値計算部５５における計算結果が変わる。段取り活用方法は、不可避な段取り時間の活用方法を規定するもので、例えば、ＪＡＭＰ法における保全時期分散化率を高める目的、保全時間の長大化に対応する余裕時間を配置する目的、およびそれら両方を融合した目的、などがある。最適指標生成装置５１のユーザーが選択した段取り活用ルールを、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２から入力する。

[0255] 段取り替えサイクル算定部５３は、生産工程＃１のＱ－ｔｉｍｅ制約や工

程納期を遵守しつつ、装置群５の段取り率が最小になる多品種生産順序（以下、生産サイクル）と生産周期を算定する。段取り替えサイクル算定部５３は、図６２に示す手続き処理（（０）装置-品種割当て決定、（１）多品種生産サイクル検出部、（２）多品種生産周期算定部、（３）最小段取りサイクル算定部）を行う。（０）では、補助入力部５２から固有の装置－品種割当て情報が入力された場合は、入力された情報を使う。

[0256] 装置区分算定部５４は、各入力部と段取り替えサイクル算定部５３の算定結果とを入力として、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の計算結果と装置実体とを対応付けるための情報を算定する。装置区分算定部５４は、図６３に示す手続き処理（（１）装置区分別必要台数算出、（２）段取り時間順ソート、（３）装置区分と保全順序の決定）を行う。

[0257] ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５は、入力部２２と補助入力部２３と補助入力部５２、および段取り替えサイクル算定部５３と装置区分算定部５４の算出結果を入力として、装置群５の装置の保全時期の分散化を図り、装置群５が常に高い処理能力を維持するための各装置の保全時期および各期の装置群の生産能力を算出する。例えば、常用装置と代替装置とに関する保全の開始・終了時期、各装置の多品種生産サイクル、段取り周期などの情報を算出し、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９に供給する。

[0258] 開始終了時期算出部５６は、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の算出結果を内部記憶部５６aに記憶する。また、開始終了時期算出部５６は、内部記憶部５６aと生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９の生産実績や装置関連業務実績の情報を照合して、生産管理システム１０における生産指示やエンジニアリング業務システム２９における業務指示のための情報を出力する。これら生産指示や業務指示のそれぞれに固有の識別番号等が付され、生産実績や業務実績と内部記憶部５６aとの照合に利用することができる。

開始終了時期算出部５６では、第２実施形態の開始終了時期算出部２６と

は異なり、保全に加えて段取り業務の情報が追加されている。

[0259] 感度解析部（性能特性）５７は、ＪＡＭＰ－ｗＳ法に使用した入力データ、ＪＡＭＰ－ｗＳ法最適理論値の条件を入力し、決定されたＪＡＭＰ－ｗＳ法最適理論値の条件の下で、生産工程の性能評価のための計算を行い、性能特性として、装置群の処理能力や生産負荷（仕掛り到着率）に対する各種性能評価指標を生産管理システム１０や装置エンジニアリング業務システムに出力する。

[0260] 感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８は、ＪＡＭＰ最適論理値計算部５５から入力されるＪＡＭＰ－ｗＳ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）や段取り周期とその時期が変動した場合のＪＡＭＰ法理論値計算の結果の変化特性を算定する。また、感度解析部（（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８は、この感度解析結果を、内部記憶部５８ａに記録しておき、ＪＡＭＰ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）とその処理時期が動的に変化した場合に、即時に更新データとして使用することもできる。内部記憶部５８ａの情報は、最適指標生成装置５１の実行必要性の判定にも用いられる。この必要性の判定は、管理対象の生産工程＃１における各種の変動（装置群の処理能力の変化や、目標生産率の変更、トラフィックの変動など）に対応して判断される。必要性が確認された場合、最適指標生成装置５１に計算指示が出される。

[0261] 図６０と図６１を参照して、本発明の第５実施形態に係る最適指標生成装置５１の動作について説明する。

ステップＳ５１では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約に関する情報を生産管理システム１０を介して入力部１２により入力する。ステップＳ５２では、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３を経て算出した情報と、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システム１０を介して入力部２２と補助入力部２３により入力する。

さらに、ステップＳ５３では、装置の段取り替えや段取り活用方法に関する情報を補助入力部５２から入力した情報を用いて、段取り替えサイクル算

定部５３により、Ｑ－ｔｉｍｅ制約や工程納期を遵守しつつ各装置の段取り率最小となる多品種生産サイクルおよび段取り周期等を算出し、装置区分算定部５４に入力する。

次に、ステップＳ５４では、装置区分算定部５４により複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。ステップＳ５５では、装置能力区分と入力された情報および各装置の段取り情報からＪＡＭＰ-wS最適論理値計算部５５により複数の常用装置と代替装置（および常用能力と代替能力）に対する生産負荷・稼働回数と稼働時期を算出する。

ステップＳ５６では、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期および各装置の段取り周期や品種生産サイクルを開始終了時期算出部５６により算出すると共に内部記憶５６aに記憶する。

ステップＳ５７では、開始終了時期算出部５６により算出された製品処理・段取り・保全の最適な開始終了時期情報を生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９に供給する。

これら生産や業務の最適な開始終了時期情報それぞれに固有の識別番号等が付され、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９で管理される生産実績や業務実績と内部記憶部５６aとの照合に利用することができる。

[0262] 図６０の段取り替えサイクル算定部５３は、図６２に示す処理フローに従って算定を行う。段取り替えサイクル算定部５３の計算手続きは、（Ｓ６１）装置－品種割当て決定、（Ｓ６２）多品種生産サイクル検出、（Ｓ６３）多品種生産周期算定、（Ｓ６４）最小段取りサイクル算定、の４段階で構成される。

まず、ステップＳ６１では、段取り替えサイクル算定の前処理で、補助入力部５２から固有の割当て情報が入力された場合は、入力された情報を使う。固有の割当てが指定されない場合は、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２から入力された装置－品種割当ルールと装置使用可能品種／スペック対応

に従って品種ー装置割当を算定する。装置ー品種割当ルールでは、ある品種の生産率が一定期間に渡って大幅に減少するまたはゼロになる生産リスクと段取り時間の低減とが考慮される。

次に、ステップＳ６２では、多品種生産サイクル検出では、装置を共用するｎ品種に対する（ｎー１）！個の生産サイクルを抽出し、各サイクルについて、其々の段取り替えが１回ずつ行われる１周期における総段取り時間を算定する。

次に、ステップＳ６３では、多品種生産周期算定では、ステップＳ６２で抽出した生産サイクル毎に、多品種ロットのＱーｔｉｍｅ制約を遵守しつつ段取りを最小化する生産周期を算定する。最後に、多品種生産周期算定と１周期における段取り時間から、最小段取り率サイクルを算定する。

ステップＳ６４では、段取り替えサイクル算定部５３では、３品種以上の生産ロットに共用される製造装置において、Ｑーｔｉｍｅ制約等の滞在時間制約を遵守しつつ段取りを最小化することを可能にしている。

[0263] 図６０の装置区分算定部５４は、図６３に示す処理フローに従って算定を行う。

装置区分算定部５４の手続きは、（Ｓ７１）装置区分別必要台数算出→（Ｓ７２）段取り順ソート→（Ｓ７３）装置区分と保全順序決定、の3段階で構成される。まず、（Ｓ７１）装置区分別必要台数算出では、第2実施形態と同様に、常用装置（常用能力）と代替装置（代替能力）の区分別の数量を算定する。（Ｓ７２）段取り順ソートでは、生産工程＃１の装置群５に属する各装置について、段取り替えサイクル算定部５３で算定された段取り率の大小順に並べ替える。（Ｓ７３）装置区分と保全順序決定で、（Ｓ７２）段取り順ソートの結果に基づき、各装置の装置区分と保全順序を決定する。

[0264] 段取り替えサイクル算定部５３の算定手続きで、（Ｓ６１）装置ー品種割当て決定において、補助入力部（ＪＡＭＰーｗＳ法）５２から固有の割当てが指定されない場合は、補助入力部（ＪＡＭＰーｗＳ法）５２から入力された装置ー品種割当ルールと装置使用可能品種／スペック対応に従って品種ー

装置割当を算定する。装置－品種割当ルールでは、ある品種の生産率が一定期間に渡って大幅に減少するまたはゼロになるような生産リスクと段取り時間の低減とが考慮される。例えば、（Ａ）段取り最小化ルール、（Ｃ）生産リスク最小化ルール、および、（Ｂ）段取り－生産リスク調整型ルールの３種類などを備えている。（Ａ）段取り最小化ルールは、段取りを最小化するために、生産負荷とサービス率から各品種の必要装置台数を算定し、その整数台は可能な限り専用装置に割り当て、残り端数分を複数品種の共用装置に割り当てる。（Ｃ）生産リスク最小化ルールは、生産リスクを最小化するために、各製品品種の使用可能装置に均等に生産負荷を配分する方法で、装置側から見ると、同一装置において複数の製品品種を処理する割り当てとなる。（Ｂ）段取り－生産リスク調整型ルールは、（Ａ）段取り最小化ルールと（Ｃ）生産リスク最小化ルールの中庸に位置するルールで、過去の実績データを元に、ある程度の共用装置と専用装置を組み合わせた割り当てを行うものである。各品種の生産負荷と装置一台当たりの平均負荷から、必要な装置台数を計算し、その台数に所定の（例えば、プラス１台）のマージンを追加する。なお、（Ｓ６１）装置－品種割当て決定の機能を単体で使用することもできる。

[0265] 図６２に示した段取り替えサイクル算定部５３の算定フロー上の（２）多品種生産周期算定では、図６５に示すように工程滞在時間制約を満たす仕掛上限値を算定し、次に各品種ロットの仕掛上限値を満たすように、図６７に示すような生産周期を算定する。まず、図６５に示す仕掛上限値を、待ち行列理論のリトルの公式を応用して数式３８から数式３２により算定する。

連続生産期間Ｔｐ、待ち時間Ｔｗ、製品ロット到着率λ_0、製品サービス率μ、生産周期Ｔｃ、基本割当装置台数ｎとすると、ある品種の仕掛品のバッファ内での平均滞在時間ＷＢは、数式３８で表せる。

[0266] [数38]

$$W_B = \frac{T_w(T_w + T_p)}{2T_c}\left(1 - \frac{n\mu}{\lambda_0}\right)$$

で表せる。ここで、バッファに蓄積されることになる仕掛品の最大量とこの時の待ち時間上限時間（平均）は、それぞれ、

[0267] [数39]

$$N_{B,limit} = (\lambda_0 - n\mu)T_w$$

[0268] [数40]

$$\overline{w_{B,limit}} = \frac{N_{B,limit}}{2\lambda_0}$$

と表せる。

[0269] [数41]

$$T_{W,j} \geqq \sum_{i=1}^{k} T_{p,i} + t_0$$

（ｉ≠ｊ）、は制約条件で、

[0270] [数42]

$$t_0 = \sum_{i=1}^{k-1} t_{i \to i+1} + t_{k \to 1}$$

は、k種類の品種交換に必要とされる時間の総和である。

[0271] 下数式４３～４７で定式化した最大化問題を解き、最大サイクルＴｃを求める。

最適化問題の定式化（例えば、図６６に示すように３品種で生産順序がＡ、Ｂ、Ｃの場合）

[0272]

[数43]

$$\frac{1-\rho_A}{\rho_A}T_{p,A} \geqq T_{p,B}+T_{P,C}+t_0 \qquad T_{p,A} \leqq \frac{N_{B,A,limit}}{\mu_A(1-\rho_A)}$$
$$\frac{1-\rho_B}{\rho_B}T_{p,B} \geqq T_{p,C}+T_{P,A}+t_0 \qquad T_{p,B} \leqq \frac{N_{B,B,limit}}{\mu_B(1-\rho_B)}$$
$$\frac{1-\rho_C}{\rho_C}T_{p,C} \geqq T_{p,A}+T_{P,B}+t_0 \qquad T_{p,C} \leqq \frac{N_{B,C,limit}}{\mu_C(1-\rho_C)}$$

ここで、Ａ品種の処理後のアイドル時間、Ｂ品種の処理後のアイドル時間、Ｃ品種の処理後のアイドル時間（スラック）をそれぞれをt_A、t_B、t_Cとすると、

[0273] [数44]

$$\frac{1-\rho_A}{\rho_A}T_{p,A} = T_{p,B}+T_{P,C}+t_0+t_B+t_C$$
$$\frac{1-\rho_B}{\rho_B}T_{p,B} = T_{p,C}+T_{P,A}+t_0+t_C+t_A$$
$$\frac{1-\rho_C}{\rho_C}T_{p,C} = T_{p,A}+T_{P,B}+t_0+t_A+t_B$$

改めて、

[0274] [数45]

$$\frac{1-\rho_A}{\rho_A}T_{p,A}/\rho_A = T_{W,A}$$
$$\frac{1-\rho_B}{\rho_B}T_{p,B}/\rho_B = T_{W,B}$$
$$\frac{1-\rho_C}{\rho_C}T_{p,C}/\rho_C = T_{W,C}$$

であるから

[0275] [数46]

$$t_B-t_A = T_{W,A}+T_{P,A}-(T_{W,B}+T_{P,B})$$
$$t_C-t_B = T_{W,B}+T_{P,B}-(T_{W,C}+T_{P,C})$$
$$t_A-t_C = T_{W,C}+T_{P,C}-(T_{W,A}+T_{P,A})$$
$$t_A+t_B+t_C = T_C-(T_{P,C}+T_{P,B}+T_B)-t_C$$

ここで、

[0276] [数47]

$$Tc=(T_{P,C}+T_{P,A}+T_{P,B})+(t_{C\to A}+t_{A\to B}+t_{B\to C})+(t_C+t_A+t_B)$$

制約条件下で、Ｔｃの最大生産周期を算定する。

３品種以上の場合には、全２通りの品種サイクルに対する最大サイクルを求める。

[0277] ここで、段取りを要する処理スペックの違いは、製品品種によるものに限らない。繰返し処理の場合でも段取りが発生する場合には、スペック（製品品種・繰返し処理段階や処理条件等の対）の別で、段取り最小化サイクルを求める。ここで、繰返し処理ロットにおける円滑な生産物流を実現しスループットを最大化するためには、繰返し処理ロットに対するサービス率が均等になるように配分すればよい。

[0278] 段取り替えサイクル算定部５３の処理フロー上の（３）最小段取りサイクル算定部では、図６７に示すように、各サイクルのｋ種類の品種交換に必要とされる時間の総和t_0を、各品種サイクルのＴｃで割り、段取り率を算定する。この段取り率が最小の生産サイクルと生産周期を採用する。

[0279] ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５は、入力部２２、補助入力部２３、および段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４から入力される情報に基づいて、ＪＡＭＰ－ｗＳ法理論値計算の結果、各装置の処理負荷（回数）とその処理時期、生産サイクルと段取り時期、および保全時期などを算出して出力する。

感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８は、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５から入力される処理負荷（回数）とその処理時期、生産サイクルや段取り時間、保全時間、が変動した場合のＪＡＭＰ－ｗＳ法理論値計算の結果の変化特性を算定する。感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８は、この感度解析結果を、内部記憶部５８ａに記録しておき、ＪＡＭＰ－ｗＳ法理論値計算結果、各装置の処理負荷（回数）とその処理時期、生産サイクルや段取り時間、保全時間が動的に変化した場合に、即時に更新データとして使用

することもできる。内部記憶部５８ａの情報は、最適指標生成５１の実行必要性の判定にも用いられる。この必要性の判定は、管理対象の生産工程＃１における各種の変動（装置群の処理能力の変化や、目標生産率の変更、トラフィックの変動など）に対応して判断される。必要性が確認された場合、最適指標生成５１に計算指示が出される。

[0280] ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５では、第２実施形態のＪＡＭＰ最適論理値計算部２４での計算とは異なり、多品種生産における段取り時間による可動時間長のズレや常用装置から代替装置に移行する代替処理回数の変化を考慮する。例えば、常用装置ｊ（ｊ＝１、…、ｍ’）とするとき、装置ｊの可動期間における段取り時間の総和がそれぞれＴｓ（ｊ）であれば、装置ｊの連続稼働期間は段取り時間Ｔｓ（ｊ）の分後ろにずれる。また、常用装置を保全順序順に並べた際の装置番号をｊとするとき、常用装置ｊのＪＡＭＰ法計算における必要代替回数は、

$$n'_j=\left\{(j-1)MTTR_j-(j-1)\left(\frac{1}{\Lambda}\right)+T_S(1)-T_S(j)\right\}\times\lambda_j$$

となる。ここで、

$$T_S(1)\leq T_S(j)$$

の場合、負になるため代替回数の軽減が可能になる。これは、即ち、段取り時間を逆手に活用することによって、保全時期の分散化の可能性を高められることを意味する。常用装置ｍ’台全体としては代替処理個数は、段取りを活用することにより、

$$\left\{(m'-1)T_S(1)-\sum_{j=2}^{m'}T_S(j)\right\}\lambda_j$$

回減らすことが可能となる。これを利用して、図６９に示す段取り活用法（１）を定めた。また、一方で、実際の工場では、保全時間が予定より長大化することが少なくない。ＪＡＭＰ法が提供する保全時期分散化方法は、ある

保全が終了した後に次の保全が開始するまでの時間間隔をゼロから可能な範囲まで代替回数や段取り時間を用いて柔軟に調整できる。そこで、保全時間の長大化へ対応するために段取り時間を活用する図６９に示す段取り活用（２）を定めた。段取り活用法（３）は、段取り活用方法（１）と段取り活用法（２）を合体させたものである。

[0281] 第５実施形態では、第２実施形態とは異なり、図６４に示すような段取り時間による保全時期のずれやその影響を考慮すると共に、図６９に示したように不可避な段取り時間を活用する方法を提供する。生産工程における生産期間のうち４分の１を占める段取り時間を低減し、また逆手に活用して、装置の稼動時間や生産能力の低下を抑制する特徴を持つ。

[0282] 次に、ＪＡＭＰ－ｗＳ法の効果を数値実験によって確かめる。

［目的と方法］

図１７（Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間）に示した実際の生産工程モデルを用いて、典型的ルール（先着順（ＦＣＦＳ））や、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間投入制御付き先着順（以下、ＦＣＦＳ－ＣＴ）、投入制御付き最短処理時間順（以下、ＳＰＴ－ＣＴ）などの従来法と、本発明の段取り低減・活用方法の性能を比較する。性能指標には、単位生産期間あたりの段取り時間の占める割合として定義される段取り率、生産ロット投入率と工程の良品出力率の比を表す良品生産率、ならびに、良品生産率と稼動率の総合的指標である総合設備効率（以下ＯＥＥ）を用いた。総合設備効率は、実用上重要な性能指標で、半導体製造等のように製造コストに占める設備の減価償却費が非常に高い産業において重要視されている。なお、ここでは、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を遵守した非リワークロットを良品とした。また、先行技術（非特許文献１や非特許文献２など）との計算時間の比較を行う。

[0283] 性能評価の結果を図７０と図７１に示す。図７０には、平均トラフィック強度が０．８の設定下の（あ）段取り率の比較と（い）良品生産率の比較結果を示す。これらの結果から、本発明の段取り低減方法が他の方法より大幅に段取りを低減し、かつ、唯一全ての品種の目標生産率を達成することが確

かめられた。ＳＰＴ－ＣＴでは品種間の生産率の格差が大きく、ＦＣＦＳ－ＣＴでは段取り率が高い。また、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間に対する投入制御を付けないＦＣＦＳでは、著しく良品率が低くなる。

図７１に示す通り、本発明の提案手法が、総合設備効率（ＯＥＥ）を高められる方法であることが確かめられた。

計算時間に関しては、非特許文献１で３秒を要していた計算を０．０１秒以内に抑え、つまり３００分の１の計算時間を実現した。これにより、保全等を含むまとまった生産期間を対象にした生産業務やエンジニアリング業務の実時間での最適管理を実現できる（実工場では、実時間管理のために各生産指示を約３秒以内に高速行えることが期待されている）。また、非特許文献１や非特許文献２に応用されている混合整数計画法の計算オーダーが指数時間に従うのに対して、本発明の第５実施形態の計算オーダーは線形時間を実現する方法であり、計算の高速性を実現している。例えば、非特許文献１の計算では、対象とする生産工程の一部（５装置群７工程）について生産期間１０時間分の生産スケジュールの計算に３秒かかり、その計算時間は指数時間に従うことから原理的に６日以上の計算を６日以内に終えることが難しい。しかし、本発明の第５実施形態の方法では、数カ月の生産期間を対象にした生産業務とエンジニアリング業務の計画を数秒以内に計算することを可能にしている。こうして、現実に生じる動的な変化に対応するための再計算を即時に行う性能も実現している。

[0284] 第５実施形態は、第２実施形態の応用例で、段取り業務最小化法を保全管理法と統合した装置業務管理法により、Ｑ－ｔｉｍｅ制約など時間的制約を満たしつつ生産工程における製造装置の段取り時間を最小化し、段取り時間による保全時期のずれを考慮して保全時期を最適化する課題を解決している。半導体製造の生産工程における生産期間の４分の１を占める製造装置の段取り時間を低減し、また逆手に活用する特徴を持つ。典型的手法や従来技術と比べて、大幅に段取り時間を低減して生産設備の稼動率を高め、多品種生産における各品種の良品生産率を高められることが、性能評価実験により示

された。

特に、フォトリソグラフィー装置群は、単価が高額で台数が限られており、生産工程全体の生産率を決定づけるボトルネックとなっている。また、フォトリソグラフィー工程では、マスク（工場ではレチクルと呼ばれる）という集積回路製造の原版を複数の装置で共有し、その交換のための段取り時間などが生産率に影響している。このようなボトルネックの生産率を高め、生産工程における製造装置の生産率を抜本的に向上し、また適切な多品種生産における段取り作業の最小化に基づく、適切なレチクル枚数の削減などのコスト削減の問題の解決に資するものである。

[0285] なお、本発明の第５実施形態に係る最適指標生成装置の変形例として、図６１、図６２、図６３にあるフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッサに実行させてもよい。この変形例であっては、サーバに通信制御部を設け、通信制御部が生産管理システムやエンジニアリング業務システムと通信回線を介して情報を通信することとする。これにより、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムやエンジニアリング業務システムに対して、サーバが通信回線を介して複数の装置と製品に関する指標情報を送信することができる。

[0286] ＜第６実施形態＞

［第３実施形態と第５実施形態での問題点と課題］

第３実施形態では、滞在時間に制約が付された生産工程における生産物流・在庫管理と製造設備の保全業務の最適化方法とを統合的に管理する方法を示した。また、第５実施形態では、製造設備に関わる段取り業務と保全業務を統合的に最適化する方法を示した。しかし、製造設備に関わる業務の統合的最適化方法と生産物流・在庫の最適管理方法を総合的に管理する技術として統合されていない点が課題であった。また他方で、プロセスの高度化・自動化に伴う製造設備の予定外停止への対応もまた重要な問題であり、予定された保全や段取りに加えて、突発的な故障や予知保全などによる動的な装置停止による生産能力の低下なども考慮できるような技術の改良が求められる

。そこで、第６実施形態では、第３実施形態と第５実施形態の変形例として、段取り業務と全般的保全管理法を生産物流・在庫管理と統合した製造業務統合管理法を示し、これらの課題を解決する方法を示す。

これらを踏まえた第６実施形態の動的装置業務・生産物流の最適管理方法を、ＣＫＢ＝JAMP-with Setup and Stop（以下、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^2）法と呼ぶ。

第６実施形態では、多品種・繰返し処理ロットのＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ段取りや保全業務の実施時期を最適化し、装置稼動率の向上と良品率向上と目標生産達成率向上を同時に達成することを目的とする。

[0287] 図７２を参照して、本発明の第６実施形態に係る最適指標生成装置６１について説明する。本発明の第６実施形態に関わる最適指標生成装置６１は、例えば、半導体を生産するための生産工程＃１にそれぞれ設けられた処理工程（装置群）２および処理工程（装置群）３の生産スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。同時に、製造装置の予防保全や段取りの時期を適正化する運用方法、および、故障監視・予測に基づく事後保全・予知保全等を適正に管理する方法ついて、生産工程＃２にそれぞれ設けられた装置群５の装置関連業務の計画や指示や実績を管理する生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９、ならびに生産工程＃１の業務を行うエンジニア／オペレータ、を制御の対象としている。

[0288] 図７２に示すように、最適指標生成装置６１は、図４８に示す最適指標生成装置３１（第３実施形態）と同様に、入力部１２、補助入力部１３、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部１４、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、再計算必要性判断部３４、を備えている。

また、最適指標生成装置６１は、図６０に示す最適指標生成装置５１（第５実施形態）と同様に、入力部２２、補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５、感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８、など最適指標生成装置５１の全体、を備えている。な

お、図７２では、入力部１２と補助入力部１３をまとめて入力モジュール（ＣＫＢ法）１２Ａに、入力部２２、補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２をまとめて入力モジュール２２Ａとして表している。

第３および第５実施形態と比較して、第６実施形態に特徴的な構成は、図７２に示すように、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２、装置群生産周期位相設定部６３、生産スパイク算定部６４、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部６５、指標算出部６６、感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能特性）６７、感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}特性）６８、を備えていることにある。

[0289] 第３実施形態や第５実施形態と対比させて、第６実施形態の主要な特徴を説明する。

第５実施形態では、予防保全時期の決定に際して、各装置で処理する多品種生産ロットのＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守しつつ段取り時間の最小化を図り、さらに、不可避な段取り時間を逆手に活用して予防保全時期の分散化の進展や生産リスク提言を図る方法を示した。第５実施形態の最適指標生成装置５１により、図７５に示すような生産スパイクを可能な限り減じて、常に生産能力を高く維持することが可能となる。ここで、第５実施形態で算定された多品種生産の段取りや予防保全を考慮した各装置の生産負荷配分方法を用いることによって、第１実施形態、第３実施形態、ならびに第４実施形態に示した最適指標生成装置１１、最適指標生成装置３１、ならびに最適指標生成装置４１の機能・性能を高める方法を第６実施形態で示す。第６実施形態では、製造設備の保全と多品種・繰返し生産の段取りを考慮してＱ－ｔｉｍｅ制約区間等の工程間滞在時間制限が付された生産工程を管理する方法を示す。

他方、最適指標生成装置３１（第３実施形態）ほかでは、管理対象とする生産工程のボトルネックに合わせたＱ－ｔｉｍｅ制約区間の生産物流・在庫管理のための最適指標とその置き換え条件を生成した。第６実施形態では、

第５実施形態の最適指標生成装置５１で生成される保全や段取りや各装置への生産負荷配分に伴う各時点の装置群の生産能力や生産負荷の情報を元に、（１）ボトルネックの箇所や生産能力の変化を予期・分析し（生産スパイク算定部６４）、第３実施形態や図４９に示した生産スパイクの発生原因と分析方法を具体的に示し、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の生産物流・在庫管理の応用例を具体化する（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部６５）。（２）この時、最適指標生成装置５１（第５実施形態）で算定される各装置の多品種生産サイクルに位相を導入することによって、生産工程の生産リスクを減じて生産率を高めるよう、生産スパイクを変形する（装置群生産周期位相設定部６３）。

（３）また、第５実施形態で取り上げた予防保全や段取りや生産負荷配分に加えて、製造装置の異常の監視・予測に基づく予知保全や突発的な故障による生産スパイクの動的変化への対応方法についての記述を加える。

[0290] 図７２と図７３を参照して、本発明の第６実施形態に係る最適指標生成装置６１の動作について説明する。

まず、第５実施形態の最適指標生成装置５１の主要な処理を実行する。具体的には、ステップＳ８１では、入力部１２や補助入力部１３を介して生産管理システム１０やエンジニアリング業務システムから入力された情報に基づいてＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３でＱ－ｔｉｍｅ構造を分析する。

ステップＳ８２では、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析の結果と、入力部２２や補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３や補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２を介して生産管理システム１０やエンジニアリング業務システムから入力された情報に基づいて、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の計算を実行する。

ステップＳ８３では、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の算出結果と感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の算出結果が内部記憶５８ａに記憶される。

ステップＳ８４では、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５から算出され

る複数の常用装置と代替装置（および常用能力と代替能力）の稼働回数と稼働時期、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期および各装置の段取り周期や品種生産サイクルを、開始終了時期算出部５６を介して入力して、生産スパイク算定部６４では、生産スパイクを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。

ステップＳ８５では、生産スパイク算定部６４は、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２と内部記憶６４ａから入力された情報を元に、感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の内部記憶５８ａと照合して、動的な生産スパイクなどを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。

また、ステップＳ８６では、生産スパイク算定部６４での計算に装置群生産周期位相設定部６３の算定結果を用いて生産スパイクの変形することができる。

ステップＳ８７、Ｓ８８では、各入力部やＱ－ｔｉｍｅ構造分析部１４や最適ロードルール判定部１９ならびに生産スパイク算定部６４から入力される情報に基づいて、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部６５では、対象とする生産工程のＱ－ｔｉｍｅ制約区間における生産物流・在庫管理のための最適指標を生成し、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９、または生産工程＃１のエンジニアやオペレータに指標算出部６６を介して出力すると共に、内部記憶６６ａに記憶する。

また、ステップＳ８９では、指標算出部６６は、内部記憶部６６ａと生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９などの生産実績や装置関連業務実績の情報を照合して、生産管理システム１０における生産指示やエンジニアリング業務システム２９における業務指示のための情報を出力する。これら生産指示や業務指示のそれぞれに固有の識別番号等が付され、生産実績や業務実績と内部記憶部６６ａとの照合に利用することができる。

指標算出部６６では、第３実施形態の算出部１７Ａ、ならびに、第５実施形態の５６と同様であるが、保全や段取り業務の情報と、生産物流・在庫管理に関する情報とが含まれた総合的な生産・業務指示情報を出力する点が異

なる。

[0291] ここで、第６実施形態に特徴的な上記構成について説明する。

補助入力部６２では、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９などを介して、動的な故障や予知保全の発生箇所や発生時期や保全終了予定時期、目標生産負荷（投入）計画の変更、生産工程の多品種ロットの仕掛り数量、などの情報を入力する。また、生産周期位相設定部６３で用いる生産周期位相設定ルールに関する情報を入力する。

[0292] 生産スパイク算定部６４では、生産工程＃１の装置群を対象として、図４８の第３実施形態の最適指標生成装置３１を用いた各装置群の生産能力の変化や補助入力部６２の動的な生産能力または生産負荷の変動に関する情報を入力し、図７４に示すような生産スパイクの大きさを分析する。生産スパイク算定部６４では、算定した生産スパイクと生産スパイクによって発生する生産リスクに関わる情報を内部記憶６４ａに記憶する。

生産スパイクは、生産目標率や実績生産投入率に対する生産能力（装置群や工程のスループット）の差を示す。生産リスクとして、図７５に示すような生産率（と在庫）に関する生産リスクと時間（と在庫）に関する生産リスクの２種類のリスクを分析する。

[0293] 生産スパイク算定部６４で算定される生産スパイクには、静的生産スパイクと、動的生産スパイクの２種類がある。静的生産スパイクには、各装置群のＪＡＭＰ－ｗＳ法に基づく保全時期前・中・後の装置群の生産能力スパイク（最大生産率の時間推移）や、装置群の生産能力を多品種生産負荷に割付けた多品種生産負荷配分スパイク（ロット生産サイクルに基づく各品種の生産率の時間推移）、などを用いる。

また、補助入力部６２から動的な故障や予知保全の情報入力を受けて、記憶部６４ａの生産スパイクを更新した場合の生産スパイクを、動的生産スパイクと呼ぶ。

生産スパイクの算定単位には、装置、装置群、複数装置群、処理工程、複数処理工程、などがある。

[0294] 生産スパイクを、図７４に示す通り、目標生産率に対する生産能力の差として表現する。生産スパイクの大きさは、低下期のスパイクの深さと復旧期の長さによって定まるスパイクの面積で表す。生産スパイクの影響度合いは、スパイクの形状と大きさで決まる。

単一のスパイクに、複数個の異なる低下期や復旧期が重なることもある。このような生産スパイクは、例えば、段階的に保全対象装置台数が増えていった後、保全を終了した装置が段階的に製造処理を再開するような場合などに発現する他、図７８のように複数工程のスパイクを重ねた複合スパイクに発現する。

[0295] 図７４に示すような生産スパイク図を用いて、以下の手続きで解析し、図７５に示すように生産スパイクと生産リスクを定量的に分析する。

（１）各装置群のＪＡＭＰ－ｗＳ法に基づく算出結果を入力する

（２）各装置群ｊで予防保全、故障や予知保全などにより発生するスパイクｋ（低下期と復旧期）の深さと長さを算定する。

（Ａ）低下期のスパイクの深さ（μ_1（ｊ，ｋ）－μ_2（ｊ，ｋ））と長さT_r（ｊ，ｋ）によって定まる低下期終了点と目標生産率線（または生産工程の生産率容量など）の時間差：

[0296] [数48]

$$t_d(j,k) = (\mu_2(j,k) \cdot T_r(j,k)/\lambda(j,k))$$

（Ｂ）復旧期の長さ：

[0297] [数49]

$$t_u(j,k) = \frac{\lambda(j,k) \cdot t_d(j,k)}{\mu_3(j,k) - \lambda(j,k)} = \frac{\mu_2(j,k) \cdot T_r(j,k)}{\mu_3(j,k) - \lambda(j,k)}$$

（Ｃ）生産スパイクの大きさ（＝スパイクの面積）：

[0298] [数50]

$$\frac{1}{2} T_r^2(j,k)\{\lambda(j,k) - \mu_2(j,k)\} + \frac{1}{2} T_r(j,k)\{\lambda(j,k) - \mu_2(j,k)\} \cdot t_u$$

この面積分が在庫ロスや生産期間ロスを引き起こす。これは、理想の生産能力や生産目標に対する生産実績の差を表し、各種生産目標割れの可能性（生産リスク）を定量化したものである。

（Ｄ）生産スパイクを用いた生産リスクの分析：

図７４や図７５に示すような生産スパイク図を用いて、生産リスクを以下（あ）と（い）の観点で定量的に分析する。

（あ）生産率（と在庫）に関する生産リスク：生産スパイクの面積

生産スパイクに与える目標生産率を、工程区間や生産工程全体のボトルネックにおける生産率とした場合、工程区間や生産工程全体の生産率を更に低下させる生産リスクを定量的に分析することができる。当該リスクの大きさS_A（ｊ，ｋ）は、数式５０で示した式で算定する。

$$S_A(j,k)=\frac{1}{2}T_r^{\,2}(j,k)\{\lambda(j,k)-\mu_2(j,k)\}+\frac{1}{2}T_r(j,k)\{\lambda(j,k)-\mu_2(j,k)\}\cdot t_u(j,k)$$

（い）時間（と在庫）に関する生産リスク：限界線と実績の差分

対象とする装置群ｊ、工程ｋにおける滞在時間の制約t_{dd}（ｊ，ｋ）とt_d（ｊ，ｋ）を比較してt_{dd}（ｊ，ｋ）＜t_d（ｊ，ｋ）である場合、滞在時間の制約を超過する生産リスクが発生する。この生産リスクの大きさを面積の差分S_B（ｊ，ｋ）として計算する。

$$S_B(j,k)=\frac{\{t_d(j,k)-t_{dd}(j,k)\}^2}{t_d(j,k)^2}S_A$$

（３）（２）で算定された各装置群ｊで最大スパイクや生産リスクの大きな順に並べる。

（４）（２）で算定された各装置群ｊのスパイク（時刻ｔに依存）や生産リスクを重ね合わせ、図７８に示すような生産工程を通した複合生産スパイクや複合生産リスクを算定する（Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間、ボトルネック－ボトルネック区間、生産工程全体、など）。

なお、最適指標生成装置２１（第２実施形態）の性能評価事例で図４６に

示したように、ＪＡＭＰ法を用いて保全時期を分散化（すなわち生産能力の平準化）を図ることによって生産スパイクが発生しない場合もある。このように、生産スパイク図は、最適指標生成装置の性能評価指標としても用いることができる。

[0299] 装置群生産周期位相設定部６３は、第５実施形態の最適指標生成装置６１における段取り替えサイクル算定部５３によって算定される各製造装置の多品種ロット生産サイクルに対して、多品種生産における生産スパイク・生産リスクを減ずる位相を算定する。装置群生産周期位相設定部６３を用いることによって、生産スパイク・生産リスクを軽減することができる。

例えば、図２２のような装置－品種割当がなされた装置群（処理工程）で、製品ｐ１、ｐ２、ｐ３の３品種に共用される装置が３台（６２４、６２５、６２７）ある。これらの装置では、最適指標生成装置５１（第５実施形態）を用いて、Ｑ－ｔｉｍｅ制約等の滞在時間制約を遵守しながら段取りを最小化する生産サイクルが算定される。例えば、ｐ１、ｐ２、ｐ３の生産順序が最適と算定されたとする。ここで、３台が全て設定条件が同じのため最適生産順序もｐ１、ｐ２、ｐ３の同順で、其々の品種の継続可能生産時間がＴｐ（ｐ１）、Ｔｐ（ｐ２）、Ｔｐ（ｐ３）である場合、全ての装置で同一の生産サイクルを同じ生産サイクル開始点の設定下で用いると、最初のＴｐ（ｐ１）時間は、３台全てで品種ｐ１を処理し、他の品種ｐ２とｐ３の仕掛りロットはＴｐ（ｐ１）の時間待たされる。すると、このＴｐ（ｐ１）期間の品種ｐ２とｐ３の処理工程では生産能力が低下し、生産スパイクや生産リスクが発生する可能性が高まる。このような事態を避け、全ての製品ロットに対して配分する生産能力を平準化するために、装置群生産周期位相設定部６３を用いて、適切な位相を算定する。この位相の設定には、補助入力部６２で入力される生産周期位相設定ルールを用いる。

[0300] ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部６５は、最適指標生成装置５１（第５実施形態）で算出された各装置における多品種生産の処理順序と段取りサイクル、処理負荷（回数）とその処理時期、装置群生産周期位相設定部

６３で設定された位相、および、所定サイクル分の装置群における処理能力の時間推移をもとに生産スパイク算定部６４で算定された生産スパイクとを入力し、所定サイクル内で対象とする生産工程の処理能力や生産負荷（または生産目標）が切り替わる毎のＣＫＢ法最適理論値計算を行う。ここで、所定サイクルは、例えば、全ての常用装置が１回以上かつ全ての代替装置が１回ずつ予防保全を完了するまでの期間（１サイクル）、装置群の保全時期分散化の限界周期（保全スケジュールの最適化に必要な期間）、または別途指定された生産期間などとする。

更に、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法最適理論値計算では、最適指標生成装置３１（第３実施形態）のように、装置群の処理能力の変化に応じて、予めＱ－ｔｉｍｅ制約区間における投入量をＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守できる値として変更する機能を備え、円滑なＱ－ｔｉｍｅ区間の生産物流・在庫管理を実現する。

ここで、第５実施形態のＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ法最適理論値計算と異なる点は、生産スパイクや生産リスクの分析に基づいて生産サイクルの位相を適切に調整して多品種・繰返し生産の平準化を図るように多品種の投入・生産の時期を具体的に定める点、および、予防保全や段取りに加えて、装置の突発故障や予知保全、あるいは各種生産目標の変更などに伴う動的な処理能力や生産負荷の変化を加味する点にある。この動的な変化が、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２を介して、装置群生産周期位相設定部６３や生産スパイク算定部６４などに入力される。

[0301] 指標算出部６６は、生産スパイク算定部６３の計算結果、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算６５の算出結果を内部記憶部６６ａに記憶する。また、指標算出部６６は、内部記憶部６６ａと生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９ならびにエンジニア・オペレータの生産実績や装置関連業務実績の情報を照合して、生産管理システム１０における生産指示やエンジニアリング業務システム２９における業務指示のための情報を出力する。これら生産指示や業務指示のそれぞれに固有の識別番号等が付され

、生産実績や業務実績と内部記憶部６６ａとの照合に利用することができる。

[0302] 感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能特性）６７は、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法に使用した入力データ、生産スパイク算定結果、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法最適理論値計算結果を入力し、決定されたＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法最適理論値の条件の下で、生産工程の性能評価のための計算を行い、性能特性として、装置群の処理能力や生産負荷（仕掛り到着）に対する各種性能評価指標を生産管理システム１０や装置エンジニアリング業務システムに出力すると共に、内部記憶部６７aに記憶する。

[0303] 感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}特性）６８は、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算６５から入力されるＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法の理論値計算結果、各装置群の生産能力や処理負荷と処理時期などが変動した場合の変化特性を算定する。また、感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}特性）６８は、この感度解析結果を、内部記憶部６８ａに記録しておき、ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法の理論値計算結果、各装置群の生産能力や処理負荷と処理時期などが変動した場合に、即時に更新データとして使用することもできる。

[0304] 第６実施形態は、第３実施形態と第５実施形態の変形例で、段取り業務と保全管理法を生産物流・在庫管理と統合した製造業務統合管理法により、製造設備に関わる業務の統合的最適化方法と生産物流・在庫の最適管理方法を総合的に管理する課題を解決している。

また、第６実施形態は、予定された保全や段取りに加えて、突発的な故障や予知保全などによる動的な生産能力の低下を加味して、生産スパイクに基づく装置群・生産工程の生産リスクを定量的に分析する評価指標を備える。装置停止などによって発生する生産スパイクや生産リスクの分析に基づいて、生産物流・在庫を最適管理する方法を提供する。

[0305] なお、本発明の第６実施形態に係る最適指標生成装置の変形例として、図７３にあるフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッ

サに実行させてもよい。この変形例であっては、サーバに通信制御部を設け、通信制御部が生産管理システムやエンジニアリング業務システムと通信回線を介して情報を通信することとする。これにより、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムやエンジニアリング業務システムに対して、サーバが通信回線を介して複数の装置と製品に関する指標情報を送信することができる。

[0306] ＜第７実施形態＞

［第４実施形態と第６実施形態での問題点と課題］

第４実施形態では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の構造分析に関わる情報処理手続きや、並列構造を直列構造に変換する生産能力配分の方法を明示していなかった。特に、複数の工程が同一装置群を共用し、かつ、各工程でのＱ－ｔｉｍｅ制約時間が異なる場合に、段取り時間の短縮とＱ－ｔｉｍｅ制約の遵守と生産率最大化を同時に達成する管理方法を定めることが課題であった。また、第６実施形態では、対象とする生産工程全体における多品種ロットの生産期間を短縮する方法の構築などの課題が残されていた。

第７実施形態では、第４実施形態と第６実施形態の変形例として、管理対象とする生産工程の全ての装置群についてＪＡＭＰ－ｗＳ法により算定される保全や段取り時期により発生する静的生産スパイクに動的な故障などを合わせた動的生産スパイクを複数の生産工程について重ね合わせた複合スパイクを分析し、対象とする生産工程における生産スパイクを最小の安全在庫で吸収して、生産工程全体の生産率を決定づける資源的ボトルネックにおける生産率低下を防ぎながら、在庫の削減と生産期間の短縮を実現することを目的としている。

[0307] 図７９を参照して、本発明の第７実施形態に係る最適指標生成装置７１について説明する。本発明の第７実施形態に関わる最適指標生成装置７１は、例えば、半導体を生産するための生産工程＃１の処理工程（装置群）の生産スケジュールを管理する生産管理システム１０を制御の対象としている。同時に、製造装置の予防保全や段取りの時期を適正化する運用方法、および、

故障監視・予測に基づく事後保全・予知保全を適正に管理する方法ついて、生産工程＃２にそれぞれ設けられた装置群５の装置関連業務の計画・指示・実績を管理する生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９、ならびに生産工程＃１の業務を行うエンジニア／オペレータ、を制御の対象としている。

[0308] 図７９に示すように、最適指標生成装置７１は、図７２に示す最適指標生成装置６１（第６実施形態）と同様に、入力部１２、補助入力部１３、入力部２２、補助入力部２３、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５、感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８、装置群生産周期位相設定部６３、生産スパイク算定部６４、などを備えている。これらの全体を、最適指標生成成装置６１計算モジュール７２とする。なお、図７９では、図７２と同様に、入力部１２と補助入力部１３をまとめて入力モジュール（ＣＫＢ法）１２Ａに、入力部２２、補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３、補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２をまとめて入力モジュール２２Ａとして表している。

また、最適指標生成装置７１は、図５０に示す最適指標生成装置４１（第４実施形態）と同様に、最適ロードルール判定部１９、生産フローボトルネック・流量解析部４２、補助入力部（手続き型ＣＫＢ法）４５、駆動制御部４６、余裕時間配分解析部４７、手続き実行制御部（ＣＫＢ＋ＰＳ法）４８、を備えている。これらの全体を、最適指標生成成装置４１計算モジュール７３とする。なお、駆動制御部４６は、変動監視検出部３２、入力変更検出部３３、再計算必要性判断部３４、感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）３５から構成されている。

第４および第６実施形態と比較して、第７実施形態に特徴的な構成は、図７９に示すように、最適指標生成成装置６１計算モジュール７２、最適指標生成成装置４１計算モジュール７３、最適指標計算部（手続き型ＣＫＢ＝Ｊ

ＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）７５、指標算出部７６、感度解析部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）７７、感度解析部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能）７８から構成されている。

[0309] 図８０を参照して、本発明の第７実施形態に係る最適指標生成装置７１の動作を説明する。

まず、最適指標生成装置６１計算モジュール７２において、最適指標生成装置６１（第６実施形態）の特徴的な処理を実行する。

具体的には、ステップＳ９１では、入力部１２や補助入力部１３を介して生産管理システム１０やエンジニアリング業務システムから入力された情報に基づいてＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３でＱ－ｔｉｍｅ構造を分析する。

次いで、ステップＳ９２では、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析の結果と入力部２２や補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３や補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２を介して生産管理システム１０やエンジニアリング業務システムから入力された情報に基づいて、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の計算を実行する。ここで、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の算出結果と感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の算出結果が内部記憶５８ａに記憶される。

次いで、ステップＳ９３では、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５から算出される複数の常用装置と代替装置（および常用能力と代替能力）の稼働回数と稼働時期、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期および各装置の段取り周期や品種生産サイクルを、開始終了時期算出部５６を介して入力して、生産スパイク算定部６４では、生産スパイクと各種生産リスクを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。

次いで、ステップＳ９４では、生産スパイク算定部６４は、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２と内部記憶６４ａから入力された情報を元に、感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の内部記憶５８ａと照合して、動的な生産スパイクなどを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。

また、ステップＳ９５では、生産スパイク算定部６４での計算に装置群生

産周期位相設定部６３の算定結果を用いて生産スパイクの変形することができる。

[0310] 次に、最適指標生成成装置４１計算モジュール７３において、最適指標生成装置４１（第４実施形態）の特徴的な処理を実行する。

具体的には、ステップＳ９６では、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力部１２や補助入力部１３や補助入力部（手続き型ＣＫＢ法）４５により入力し、さらに生産スパイク算定部６４から入力される情報から生産ボトルネック・流量解析部４２により解析した複数の装置による生産工程の中のボトルネック箇所および最大流量と、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３による分析結果を入力し、手続き実行制御部（ＣＫＢ＋ＰＳ法）４８を用いて全ての各Ｑ－ｔｉｍｅ区間の最適管理指標を計算する指示を出す。

次いで、ステップＳ９７では、最適管理指標の計算においては、最適ロードルール判定部１９やＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３や生産スパイク算定部６４からの情報を入力して、手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部７５において、対象とする生産工程の全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間における生産物流・在庫管理のための最適指標を生成し、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９や生産工程＃１のエンジニアやオペレータに指標算出部７６を介して出力すると共に、内部記憶７６ａに記憶する。

また、指標算出部７６は、内部記憶部７６ａと生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９などの生産実績や装置関連業務実績の情報を照合して、生産管理システム１０における生産指示やエンジニアリング業務システム２９における業務指示のための情報を出力する。これら生産指示や業務指示のそれぞれに固有の識別番号等が付され、生産実績や業務実績と内部記憶部７６ａとの照合に利用することができる。

[0311] 指標算出部７６では、第６実施形態の算出部６６、ならびに、第４実施形態の算出部１７Ａや開始終了時期算出部２６と同様であるが、生産工程全体に対して、保全や段取りなどエンジニアリング業務の情報と、生産物流・在

庫管理に関する情報とが含まれた総合的な生産・業務指示関連情報を出力する点が異なる。

感度解析部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）７７や感度解析部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能）７８は、感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６７や感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能）６８と同様の機能をもつが、それらの内部記憶部７７ａや７８ａには生産工程の全体に対する感度解析結果が記憶される。

[0312] ここで、第７実施形態に特徴的な上記構成について説明する。

最適指標生成成装置６１計算モジュール７２は、生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９を介して入力部２２や補助入力部（ＪＡＭＰ法）２３や補助入力部（ＪＡＭＰ法）４５や補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）５２から入力された情報と、入力部１２から入力された情報に基づいてＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３を行った結果を入力し、段取り替えサイクル算定部５３、装置区分算定部５４、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の計算を実行する。ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５の算出結果と感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の算出結果が内部記憶５８ａに記憶される。ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部５５から算出される複数の常用装置と代替装置（および常用能力と代替能力）の稼働回数と稼働時期、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期および各装置の段取り周期や品種生産サイクルを、開始終了時期算出部５６を介して入力して、生産スパイク算定部６４では、生産スパイクと各種生産リスクを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。生産スパイク算定部６４は、補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）６２と内部記憶６４ａから入力された情報を元に、感度解析部（ＪＡＭＰ－ｗＳ特性）５８の内部記憶５８ａと照合して、動的な生産スパイクなどを算出し、内部記憶６４ａに記憶する。また、生産スパイク算定部６４での計算に装置群生産周期位相設定部６３の算定結果を用いて生産スパイクの変形することができる。

[0313] 最適指標生成成装置４１計算モジュール７３は、最適指標生成装置４１（

第４実施形態）の特徴的な処理を実行する。具体的には、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力部１２や補助入力部１３や補助入力部（手続き型ＣＫＢ法）４５により入力し、さらに生産スパイク算定部６４から入力される情報から生産ボトルネック・流量解析部４２により解析した複数の装置による生産工程の中のボトルネック箇所および最大流量と、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３による分析結果を入力し、手続き実行制御部（ＣＫＢ＋ＰＳ法）４８を用いて全ての各Ｑ－ｔｉｍｅ区間の最適管理指標を計算する指示を出す。

[0314] 最適指標計算部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）７５は、最適ロードルール判定部１９やＱ－ｔｉｍｅ構造分析部４３や生産スパイク算定部６４からの情報を入力して、手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部７５において、対象とする生産工程の全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間における生産物流・在庫管理と装置群５の関連業務のための最適指標を生成する。各Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間に対する最適指標は、最適指標生成成装置６１（第６実施形態）が算出する指標と同様である。

[0315] 最適指標計算部（手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）７５の算出結果が、指標算出部７６を介して生産管理システム１０やエンジニアリング業務システム２９（あるいは生産工程＃１のエンジニアやオペレータ）に出力されると共に、内部記憶７６ａに記憶される。

[0316] 第７実施形態で、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部４３の情報処理について図８１を用いて説明を加える。まず、入力部１２および補助入力部１３から、製品別の製造プロセスフローとＱ－ｔｉｍｅ制約の開始点、終了点、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の時間長などが入力される。ここで、開始点や終了点は、ある処理工程の処理開始または処理終了時点で指定される。一般的には、開始点をある処理工程２の処理終了時点、終了点を後続の処理工程３の処理開始時点に設定されることが多い。これらのＱ－ｔｉｍｅ制約に関する情報に図５１に示すような適切な前処理を施した後、図８１に示すようにＱ－ｔｉｍｅ制約に関する情報から開始点の装置群（または処理工程）と終了点の装置群（また

は処理工程）の接続行列で表現する。処理工程順装置群Ｑ－ｔｉｍｅ行列を用いた換算から、３工程以上に跨るＱ－ｔｉｍｅ制約を検出する。また、開始点と終了点の装置群の対でＱ－ｔｉｍｅ制約の情報をセルに記した装置群Ｑ－ｔｉｍｅ行列で、同じ装置群を持つ行や列における正数値のセルの数を計数し、その計数値が２以上か否か確かめることによって、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の開始点が同一の分岐構造、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の終了点が同一の合流構造を検出できる。

[0317] 第７実施形態で、並列構造をもつ生産工程を直列構造に変換して計算の高速化を図るための生産能力の配分方法について説明を加える。

生産工程の並列構造は、同一装置群を共用する多品種ロットや繰返し処理ロットによって発生する。並列構造には、第４実施形態に示した通り、合流や分岐を含む。これは、異なる属性をもつ仕掛りロットが同一装置（同一装置群）を用いた処理のために合流する場合や、逆に、同一装置（同一装置群）で処理された仕掛りロットが、次に異なる処理のために異なる装置（装置群）へと分岐していくことなどに該当する。一般には、多品種生産ロットの製造プロセスフローの違いが、生産工程上での合流や分岐として現れる。さらに、電子デバイス製造（半導体・フラッドパネルディスプレイ等）では、また、３次元構造を形成するために各層を形成する処理を繰返すために、処理ロットの合流・分岐が発生する。

[0318] 並列構造を直列構造に変換することは、すなわち、共用される製造装置における生産能力を多品種・繰返し生産ロットに配分することを意味する。多品種生産ロットに対する最適な生産能力の配分については、最適指標生成装置６１（第６実施形態）によって示された。第７実施形態では、さらに、異なるＱ－ｔｉｍｅ制約をもつ繰返し処理ロットへの生産能力の配分を生産率最大化を目的として最適化する方法を示す。同一品種の繰返し処理ロットに対する装置群の生産能力配分において、生産率最大化を目的とした場合には、図８２に示したような証明により、繰返し処理ロットに均等に生産能力を配分すること、すなわち繰返し処理ロットの生産率（スループットとも呼ば

れる）を同等にすることが最適と示せた。ただし、この均等とは、一定期間の平均値である。ここで、この生産能力配分のルールを、REFS(Re-entrant flow Smoothing)と呼ぶことにする。生産率の最大化を図りつつ、さらに、工程間の滞在時間の制約（Ｑ－ｔｉｍｅ制約や納期など）を遵守しつつ段取り時間を低減する多目的の達成が求められる。ここで、（１）生産能力の配分を均等化すること、および（２）図７７に示したように工程間の滞在時間の制約を遵守しつつ段取り時間を低減するような共用装置の切り替え周期を定めることで、多目的の達成を可能にする最適な生産物流・在庫管理が実現する。

複数Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間への生産能力の最適な配分方法を、以下（Ａ）、（Ｂ）の前提をおいて、（ｉ）、（ｉｉ）の場合分けを用いて実現する。このように、複数の工程が同一装置群を共用し、かつ、各工程での－ｔｉｍｅ制約時間が異なる場合の扱いを定めた。

（Ａ）各工程ｊ１、ｊ２へ配分される機械台数$\alpha_{j1}m$、$\alpha_{j2}m$は整数とは限らない。

（Ｂ）整数でない場合、図７７のように$\lfloor\alpha_{j1}m\rfloor$台を用いる期間と（$\lfloor\alpha_{j1}m\rfloor$+1）台を用いる期間を切り替えて処理する。ここで、$\lfloor\alpha_{j1}m\rfloor \le \alpha_{j1}m < \lfloor\alpha_{j1}m\rfloor+1$。この時、それぞれの工程ｊにおけるＱ－ｔｉｍｅ制約T_{Qj}を遵守する条件は、以下（ｉ）または（ｉｉ）で記述できる。ここで、λ_jをロットの平均到着率、μ_jを工程ｊの平均処理時間から換算した平均サービス率、$\lfloor\alpha_{j1}m\rfloor = n_j$、とする。

（ｉ）$\frac{T_{Q2}}{T_{Q1}} \ge \frac{\lambda_j - n_2\mu_2}{(n_1+1)\mu_1 - \lambda_j}$の場合、$T_x = \frac{T_{Q1}\lambda_j}{\lambda_j - n_1\mu_1}$　　$T_y = \frac{T_{Q1}\lambda_j}{(n_1+1)\mu_1 - \lambda_j}$

（ｉｉ）$\frac{T_{Q2}}{T_{Q1}} \le \frac{\lambda_j - n_2\mu_2}{(n_1+1)\mu_1 - \lambda_j}$の場合、$T_x = \frac{T_{Q2}\lambda_j}{(n_2+1)\mu_2 - \lambda_j}$　　$T_y = \frac{T_{Q2}\lambda_j}{\lambda_j - n_2\mu_2}$

[0319] 同一の装置で同時に処理する品種スペック数は１つに限られる。そのため、複数品種で共用される装置では、段取り替えをして異なる品種を異なる時期に処理する形態で共用する。

図７７に示した２品種の例を、３品種以上の一般形に拡張する。

３回以上の繰返し処理がある場合として、処理工程ｉにおけるＱ－ｔｉｍ

ｅ制約をＴＱ$_i$（ｉ＝１，２，・・・，ｎ）、また、処理工程ｉが共用装置を使用する期間を、ＴＸ$_i$とする。

期間ＴＸ$_i$に共用装置を使用する工程ｉ、期間ＴＸ$_i$に共用装置を使用しないｊのＱ－ｔｉｍｅ制約ＴＱ$_j$を全て守りつつ、段取り周期を最大化することで段取り最小化を実現する。

各ｉの目標生産率平均をλ、期間ＴＸ$_i$において配分される装置台数を（ｍ$_i$＋１）、単位装置当たりの処理能力をμ_i、Ｔｘ$_i$期間以外で溜まる仕掛理数量をＬ$_i$とする。対象装置群における総装置台数ｍと各ｉに割り当てられる基本装置台数ｍ$_i$、共用装置台数ｍｓとの関係は、

[0320] [数51]

$$\mathrm{ms} + \sum_{i=1}^{n} m_i = m$$

ここで、最適能力配分比において、

$$m_i \leq \alpha_{ji} m \leq m_i + 1$$

共用装置を使用しない期間に滞留する仕掛数Ｌ$_i$は、共用装置を使用する期間ＴＸ$_i$において解消する必要がある。従って、全てのｉについて、

[0321] [数52]

$$(\lambda - m_i\mu_i) \sum_{\substack{j=1, \\ j\neq i}}^{n} TX_j \leq \{(m_i + 1)\mu_i - \lambda\} TX_i$$

[0322] また、各工程ｉが仕掛品発生の期間内に発生した仕掛品の最大待ち時間は、Ｑ－ｔｉｍｅ制約で制限される最大待ち時間を超過できない。従って、全てのｉについて、

[0323] [数53]

$$\frac{(\lambda - m_i\mu_i)}{\lambda} \sum_{\substack{j=1, \\ j\neq i}}^{n} TX_j \leq TQ_i$$

$$(\lambda - m_i\mu_i) \sum_{\substack{j=1, \\ j\neq i}}^{n} TX_j \leq \lambda TQ_i$$

数式５２と数式５３から、全てのｉについて、滞留仕掛数Ｌ$_i$は、ＴＸ$_i$期間で消化できる仕掛数またはＱ－ｔｉｍｅ制約遵守のうち厳しい条件に制約される。

[0324] [数54]

$$(\lambda - m_i\mu_i)\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{n} TX_j \leq min(\{(m_i+1)\mu_i - \lambda\}TX_i, \lambda TQ_i)$$

ここで、特に、あるｋについて、

[0325] [数55]

$$(\lambda - m_k\mu_k)\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{n} TX_j = min(\{(m_k+1)\mu_k - \lambda\}TX_k, \lambda TQ_k)$$

[0326] 特に、最も厳しいＱ－ｔｉｍｅ制約の付された工程ｋにおいて、

[0327] [数56]

$$\sum_{j=1}^{n} TX_j = T \text{とおくと、} \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{n} TX_j = T - TX_k$$

$$(\lambda - m_k\mu_k)\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{n} TX_j = \lambda TQ_k \text{、即ち} (\lambda - m_k\mu_k)(T - TX_k) = \lambda TQ_k$$

よって、

$$TX_k = T - \frac{\lambda TQ_k}{\lambda - m_k\mu_k}$$

また、ｋ以外の期間に仕掛りが全て解消される。

[0328] [数57]

$$\sum_{\substack{j=1,\\ j\neq k}}^{n} TX_j = T - TX_k = \frac{\lambda TQ_k}{(m_k+1)\mu_k - \lambda}$$

[0329]

ただし、数式５６から $m_k = \frac{\lambda}{\mu_k} - \frac{1}{2}$ が成り立つ場合に限られる。そこで、スラック t_i （ $t_i \geq 0$)をおき、以下の一般形で表す。

$TX_i + \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{n} TX_j - t_i = T'_i \ (T'_i = T - t_i)$

とおくと、数式５６、５７は、下記数式５８、５９のようになる。

[0330] [数58]

$$\sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^{n} TX_j = T'_i + t_i - TX_i = \frac{\lambda TQ_i}{(m_i+1)\mu_i - \lambda}$$

[0331] [数59]

$$TX_i = T'_i - \frac{\lambda TQ_i}{\lambda - m_i \mu_i}$$

以上により、ｋについて求められる値を固定して、順次ｉについても計算する。

$m_k = \left\lfloor \frac{\lambda}{\mu_k} - \frac{1}{2} \right\rfloor$ の時、$t_k = 0, m_i > \left\lfloor \frac{\lambda}{\mu_k} - \frac{1}{2} \right\rfloor$ の時、$t_i > 0$

[0332] 第７実施形態では、さらに、図７２に示す最適指標生成装置６１（第６実施形態）における生産スパイクとリスクの算定に基づいて、適切な在庫の配置箇所と数量を定めて生産期間を短縮する方法を示す。まず、生産期間の短縮の重要性について説明する。生産工程において、高額で台数が限られて生産工程全体の生産率を決定づける資源的ボトルネック（例えば、半導体製造におけるフォトリソグラフィー装置等）の生産能力を高く維持することが重要である。しかし、実態として、資源的ボトルネックや非資源的ボトルネックにおける装置の保全や故障などに起因する装置の停止によって装置群の生産能力の低下が発生し、生産物流の変動（特に、装置群の生産率がボトルネックの（目標または最大）生産率以下に陥いる低下期、および、その後の復旧期が形成する生産スパイク）を引き起こし、生産物流としてボトルネックに伝搬し、資源的ボトルネックの生産率を低下させることがある。また、資源的ボトルネックの前後などにＱ－ｔｉｍｅ制約区間が存在し、Ｑ－ｔｉｍ

ｅ制約区間における生産物流制御が資源的ボトルネックの生産率に影響を与えることがある。このような装置群の生産能力の変化やＱ－ｔｉｍｅ制約区間の生産物流制御による影響を吸収するために、半導体製造工程では、一般的に、工程間に多量の中間在庫（実態としては工場の中のストッカや搬送経路上のバッファに格納される）を配備している。この中間在庫の影響で、半導体製造における生産期間の４０～６５％程度を工程間の処理待ち時間が占めており、長大な生産期間（一般的に１．５～２．５ヵ月）の原因となり、時間競争力が向上せず製品の死蔵化の一因にもなっている。

[0333] 第７実施形態では、生産期間の問題を解決するために、図８３に示す、到着連動集中在庫型方式と図８４に示す段階的変動吸収分散在庫型方式の２種類の方式を示す。資源的ボトルネック間や動的ボトルネック間やＱ－ｔｉｍｅ制約区間を管理単位（工程管理モジュールと呼ぶ）として、これらの方式により、最小の安全在庫量の配置と数量を定める。

[0334] Ｉ．到着連動集中在庫型方式

生産工程で起こった装置停止（予防保全時）による生産物流率のスパイクを、Ｑ－ｔｉｍｅ制約などの製造条件としての時間的制約が付されていない工程区間にまとめて中間在庫を持たせて取り除き、後続の資源的ボトルネック工程（リソグラフィー工程）などへ当該装置停止による物流変動を伝搬させない方式を指す。ここで、工場では、基本的に同様の考え方で「大量の在庫」を抱えていることが本質的に問題であるので、このスパイク除去のための在庫量を適正化（最小化）することが課題になる。到着連動集中在庫型方式では、変動が少なくＱ－ｔｉｍｅ制約などが設定されていないような生産リスクの小さい工程区間に安全在庫を置き、能力低下が発生した工程のロット退去（生産物流率）の変化に関わらず、安全在庫を配置した工程以降では生産率が一定（平準）になるように制御する。なお、この方法では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間では、原則として、手続き型ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法で、装置停止によって発生する低下期と復旧期の生産能力（生産率）に連動して各Ｑ－ｔｉｍｅ制約のＣＫＢ法最適管理値が再計算・再設定される。各工程

間に余計な在庫を配置しない場合、工程の利用率が１００％を超えない限りはロットの到着に追従するように連動して稼動する。図８３のように、装置集中停止時間t_dによって発生するスパイクを取り除くための中間在庫L_rは$L_r=\lambda_0 t_r$となる。ここで、制約が付されていない工程区間にまとめて取り除くため$t_r=t_d$。

到着連動集中在庫型方式の利点は、在庫集約により同一サービスレベルをより少ない在庫で達成することが可能になる点である。手前の複数の工程での装置停止の影響を一手に吸収する点にある。到着連動集中在庫型方式に想定される欠点は、バッチ処理工程のように一定の在庫を要する工程の中間在庫を活用しないことや、全ての区間にＱ－ｔｉｍｅ制約が付された場合、対応できない点が挙げられる。

[0335] （事例）図５８に示した非特許文献１の生産工程モデル：

フォトリソグラフィー～「ＤＲＹ１－ＷＥＴ（１）－Ｆｕｒ（１）－ＤＲＹ２－ＷＥＴ（２）－N_2－Ｆｕｒ（２）」～フォトリソグラフィーの区間で、Ｆｕｒ（１）の予防保全が起こる場合を例に説明を加える。

Ｆｕｒ（１）は、定常時は、利用率８０％程度である。

ここで、Ｆｕｒ（１）において、Ｆｕｒ（１）の利用率１００％を超えるような装置停止が起こったとする。これは、前述の通り、同時に一定台数以上が保全や故障などのため停止する場合である（このような低下が起こらないように保全時期を分散化するが、万一起こった場合について）。

予め、このような低下期に陥ることが分かっている場合には、第３実施形態で示したように、所定の時点で予め、Ｆｕｒ（１）に関わるＱ－ｔｉｍｅ制約区間：ＤＲＹ１－ＷＥＴ（１）－Ｆｕｒ（１）の最適仕掛管理値を再計算して置き換えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の超過を防ぐと共に目標生産率の達成を目指す（第３実施形態）。

ここで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の最終工程：Ｆｕｒ（１）のロット退出率は、処理開始と同様の形となり、定常期、低下期、復旧期と大きく変化する。この生産物流率の生産スパイクを、次の資源的ボトルネック装置群（フォト

リソグラフィー工程）に伝搬させないよう、速やかに後続の非Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間：Ｆｕｒ（１）－Ｄｒｙ（２）で除去する。そのためにＤｒｙ（２）の仕掛りロット（中間在庫）を最大の生産スパイクを吸収する程度溜めておく。

このような中間在庫は、常にためておく必要はない。仮に予防保全など予め実施時期が決められた場合には、その時期に合わせて溜めてゆけばよい（例えば、Ｄｒｙ（２）では、偶発故障が起こるため、その際に処理しきれなかった分が溜まる機会もある。）。

[0336] 半導体加工寸法の微細化（高度化）に伴い、生産工程上のＱ－ｔｉｍｅ制約区間は増加の一途にあるため、到着連動集中在庫型方式のようにＱ－ｔｉｍｅ制約区間では生産物流率のスパイクに対応しないと限定すると、このスパイク低減に限界が出る可能性がある。また、中間在庫を持たせる工程は、バッチ型などある一定以上の在庫を当初から必要とする工程や、また装置が偶発故障しづらい装置群が適しており、それが必ずしもＱ－ｔｉｍｅ制約区間以外であるとは限らない。先の工程モデルの例でいえば、ＷＥＴやＦＵＲは、バッチ型でかつ偶発故障がほとんどない装置の典型例である。そこで、以下の段階的変動吸収分散在庫型方式の利用を考える。

[0337] ＩＩ．段階的変動吸収分散在庫型方式

到着連動集中在庫型方式との違いは、Ｑ－ｔｉｍｅ制約の有無に関わらずバッチ処理工程など一定の在庫を要する工程区間の在庫を活用して、順次可能な限り生産スパイクを低減していく点である。また、資源的ボトルネック工程の目標生産率との乖離を減らすために、バッチ工程でのロードサイズを適切に変更する。

図８４のような装置集中停止時間t_dによって発生するスパイクを取り除くための中間在庫L_{ri}は$L_{ri}=\lambda_0 t_{ri}$となる。

ここで、制約が付されてるため、制約時間$T_{qi}<t_{r1}$のとき$t_{r1}=T_{q1}$。

そして、後継制約区間の時間長$t_{r(i+1)}$は

$$t_{r(i+1)} = Min[(t_d - \sum_{k=1}^{i} t_{rk}),\ T_{q(i+1)}]$$

となる。

段階的変動吸収分散在庫型方式の利点は、プロセスの高度化の影響で増加の一途にあるＱ－ｔｉｍｅ制約が点在する生産工程でも、各工程の中間在庫を活用して可能な限り生産スパイクを段階的に低減し、資源的ボトルネック工程へのスパイクの伝搬を早い段階で防ぐ可能性を高める点にある。また、バッチ工程でのローディングを生産工程全体に合致させるよう適正化する。段階的変動吸収分散在庫型方式の想定される欠点は、バッチ工程でローディングサイズを小さくすることを許容すると、同一期間長におけるローディング回数を増やすことになり、熱処理炉（Ｆｕｒ）などの装置群では予防保全周期が短くなることがあり、注意を払う必要がある。

[0338] 事例を用いて、段階的変動吸収分散在庫型方式の動作を説明する。

先の図５８の生産工程モデルのＤＲＹ１とＤＲＹ２は、不安定なプラズマ系プロセスを採用している装置のため偶発故障が発生する。なお、ＤＲＹ１、ＤＲＹ２共にＱ－ｔｉｍｅ制約区間の先頭工程であるためＱ－ｔｉｍｅ制約の遵守には問題ない。故障により処理中止などを強いられたロット（ウェハ群）は没となる。

一般的な運用条件としてＦｕｒの稼働率が８０％（通常可動、停止無し）となるリソグラフィー工程の平均生産率である場合に、ＤＲＹ１で低下期が発生するのは、同時に１０台以上ダウンした場合である。（全部でＤＲＹ１は装置１６台、ＤＲＹ２も別の装置１６台があるモデル）

前の工程ｊ（例えばＤＲＹ１）で故障による装置停止の影響で低下期（生産率μ__（ｄ，ｊ）＜当初目標生産率（平均）λ）になる。低下期が始まっても、次の工程（ＷＥＴ（１））以降ではＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ、中間在庫（仕掛りロット）が一定以下（特段の定めなえればゼロ）になるまで同じ生産率（当初目標生産率（平均）λ）で処理を続ける。

中間在庫が一定以下（特段の定めなえればゼロ）になった後は、到着ロットに合わせて処理を開始する（低下期の終了時点＝復旧期の開始時点まで）。

もし、復旧期のＤＲＹ１の生産率μ＿（ｒ，ｊ）（＝ＷＥＴ（１）へのロット到着率）がＷＥＴ（１）の平均処理能力より勝っていた場合、ＷＥＴ（１）でのロット仕掛数が増えていく。その仕掛数がＱ－ｔｉｍｅ制約を遵守するための最大ロット数に達したら、再度ＣＫＢ法の上限管理が機能し始める（図８４の変化点）。

この場合、ＣＫＢ法最適値計算に使用する平均到着率は前の工程（Ｄｒｙ１）の復旧期の生産率μ＿（ｒ，ｊ）（＞λ）となる。低下期の期間ｔｄと当初目標生産率（平均）λがわかっているので、復旧期の長さＹは見積もることができる。Ｙ＝ｔｄ（λ－μ＿（ｄ，ｊ））／μ＿（ｒ，ｊ）。偶発故障時でも復旧終了時点で見積もることができる。

こうして、装置停止の後続工程でＱ－ｔｉｍｅ制約区間でもＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ、段階的に生産物流のスパイクを減らしていく。

[0339] 第７実施形態では、第４実施形態と第６実施形態の変形例として、管理対象とする生産工程の全ての装置群についてＪＡＭＰ－ｗＳ法により算定される保全や段取り時期により発生する静的生産スパイクに動的な故障などを合わせた動的生産スパイクを複数の生産工程について重ね合わせた複合スパイクを分析し、対象とする生産工程における生産スパイクを最小の安全在庫で吸収して、生産工程全体の生産率を決定づける資源的ボトルネックにおける生産率低下を防ぎながら、在庫の削減と生産期間の短縮化を図る方法を示した。

[0340] ＜第８実施形態＞

図８５を参照して、本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法について説明する。なお、本実施形態は、第１実施形態に係る最適指標生成装置を構成する各部の動作について、下記のフローチャートで示すプログラムをプロセッサに実行させたことを特徴としている。各ステップはソフトウエアモジュールの動作内容を示しており、詳細な動作内容については第１実施形態に記載しているので、その説明を省略する。

最適指標生成装置に電源が投入されると、ＣＰＵは、補助記憶部から読み

込んだＯＳをＲＡＭ上にブートして実行する。そして、ＣＰＵは、このＯＳ上で補助記憶部からＲＡＭ上に読み出したアプリケーションソフトウエアの一例として下記の最適指標生成アプリケーションプログラムを実行する。

[0341] なお、本実施形態にあっては、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給することを特徴とする。

まず、ステップＳ３０１では、複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する。次いで、ステップＳ３０３では、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する。

次いで、ステップＳ３０３では、入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析し、内部記憶部１４ａに記憶する。

次いで、ステップＳ３０４では、入力された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する。

次いで、ステップＳ３０５では、計算された情報を指標情報として出力する。次いで、ステップＳ３０６では、算出された最適な指標情報とロードルールとを生産管理システムに供給する。

[0342] また、図８６に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３１１では、ステップＳ３０４により算出された最適な指標情報に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する。ステップＳ３１２では、各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する。

また、図８７に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３１５では、後続工程区間または先行工程区間のスループットの変化に連動してカンバン枚数やバッファサイズを変更する。

また、図８８に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３１７では

、加工工程間で待つことが可能な最大ロット数を超えないように、複数の装置による加工工程間に設けられたバッファのサイズを制限することにより、先行工程の製品の出力を制御する。

[0343] また、図８９に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３１８では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内のボトルネック箇所のトラフィック強度が１を超えないように制御する。ステップＳ３１９では、トラフィック強度が１より大きい場合には、λはトラフィック強度（ρ）が１の時の投入率とする。

また、図９０に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３２０では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内に滞在するロットの数を製品品種および処理条件別のカンバン枚数によって制限し、各ロットの処理開始時期を空きカンバンによって制御する。

[0344] 次に、図９１を参照して、本発明の第８実施形態に係る最適指標生成方法の変形例として、下記のフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッサに実行させたこととして説明する。

なお、本変形例であっては、多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して複数の装置と製品に関する指標情報を送信するサーバが実行することを特徴とする。また、サーバには通信制御部が設けられており、通信制御部が生産管理システムと通信回線を介して情報を通信することとする。

[0345] まず、ステップＳ３２１では、複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して受信する。次いで、ステップＳ３２２では、受信された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析し、内部記憶部に記憶する。

次いで、ステップＳ３２３では、計算された情報を指標情報として出力する。

次いで、ステップＳ３２４では、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する。

次いで、ステップＳ３２５では、受信された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する。次いで、ステップＳ３２６では、算出された最適な指標情報とロードルールとを生産管理システムに送信する。

[0346] 以上のようにＱ－ｔｉｍｅ制約を守りつつ他の性能指標も悪化させない生産スケジューリング手法として、計算スピード、精度、実用性などの定性的評価も高いＣＫＢ法の構築と性能評価と通して目的を達成することができた。

[0347] ＜第９実施形態＞

図９２を参照して、本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法について説明する。なお、本実施形態は、第４実施形態に係る最適指標生成装置を構成する各部の動作について、下記のフローチャートで示すプログラムをプロセッサに実行させたことを特徴としている。各ステップはソフトウエアモジュールの動作内容を示しており、詳細な動作内容については第１実施形態に記載しているので、その説明を省略する。

最適指標生成装置に電源が投入されると、ＣＰＵは、補助記憶部から読み込んだＯＳをＲＡＭ上にブートして実行する。そして、ＣＰＵは、このＯＳ上で補助記憶部からＲＡＭ上に読み出したアプリケーションソフトウエアの一例として下記の最適指標生成アプリケーションプログラムを実行する。

[0348] なお、本実施形態にあっては、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、複数の装置に関する指標情報を供給することを特徴とする。

次いで、ステップＳ３３１では、生産実行システムに含まれる複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する。

次いで、ステップＳ３３２では、入力された情報から複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する。

次いで、ステップＳ３３３では、入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析し、内部記憶部

に記憶する。

次いで、ステップＳ３３４では、Ｓ３３３で内部記憶部に記憶した情報を用いて、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間について最適指標計算を完了したか否かを判断する。最適指標計算を完了した場合には、ステップＳ３３９に進む。最適指標計算を完了していない場合には、ステップＳ３３５に進む。

[0349] 次いで、ステップＳ３３５では、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する。

次いで、ステップＳ３３６では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。

次いで、ステップＳ３３７では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する。

次いで、ステップＳ３３８では、ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズと、常用装置と代替装置とに関する生産負荷と予防保全開始時期を計算して指標情報として内部記憶部に記憶し、ステップＳ３３４に進む。

次いで、ステップＳ３３９では、Ｓ３３８で内部記憶部に記憶された最適な指標情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給し、処理を終了する。

[0350] また、図９３に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３４１では、生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在するすべてのＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する。

また、図９４に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３４３では、生産実行システムに含まれる製造フロー全体における生産流量や工程能力の変動に対応してＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理するために、製造フローにおけるボトルネック箇所と各工程の最大流量を解析する。

[0351] 次に、図９５を参照して、本発明の第９実施形態に係る最適指標生成方法

の変形例として、下記のフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッサに実行させたこととして説明する。

なお、本変形例であっては、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行することを特徴とする。また、サーバには通信制御部が設けられており、通信制御部が生産管理システムと通信回線を介して情報を通信することとする。

[0352] 次いで、ステップＳ３５１では、生産実行システムに含まれる複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して受信する。

次いで、ステップＳ３５２では、受信された情報から複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する。

次いで、ステップＳ３５３では、受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析し、内部記憶部に記憶する。

次いで、ステップＳ３５４では、Ｓ３５３で内部記憶部に記憶した情報を用いて、全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間について最適指標計算を完了したか否かを判断する。最適指標計算を完了した場合には、ステップＳ３５９に進む。最適指標計算を完了していない場合には、ステップＳ３５５に進む。

[0353] 次いで、ステップＳ３５５では、製品の到着に関連するバッチ組待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する。

次いで、ステップＳ３５６では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。

次いで、ステップＳ３５７では、Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する。

次いで、ステップＳ３５８では、ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として内部記憶部に記憶し、ステップＳ３５４に

進む。

次いで、ステップＳ３５９では、Ｓ３５８で内部記憶部に記憶された最適な指標情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信し、処理を終了する。

[0354] これにより、従来法では達成されていなかったＱ－ｔｉｍｅ制約割れが起こりやすい状況に対しても、Ｑ－ｔｉｍｅ制約を確実に遵守し、良品スループット向上とコスト低減および環境負荷低減を達成することが可能な最適オペレーション管理条件を提供することができる。

また、Ｑ－ｔｉｍｅ制約割れの主要な原因である、多品種生産の扱い、装置の予防保全、複数のＱ－ｔｉｍｅ制約の相互干渉に対しても、解析方法と適正な管理手法を与えることで、Ｑ－ｔｉｍｅ制約遵守しつつ良品スループットの向上とコスト低減・環境負荷低減を同時に達成することができる。

[0355] ＜第１０実施形態＞

図９６を参照して、本発明の第１０実施形態に係る最適指標生成方法について説明する。なお、本実施形態は、第２実施形態に係る最適指標生成装置を構成する各部の動作について、下記のフローチャートで示すプログラムをプロセッサに実行させたことを特徴としている。各ステップはソフトウエアモジュールの動作内容を示しており、詳細な動作内容については第１実施形態に記載しているので、その説明を省略する。

最適指標生成装置に電源が投入されると、ＣＰＵは、補助記憶部から読み込んだＯＳをＲＡＭ上にブートして実行する。そして、ＣＰＵは、このＯＳ上で補助記憶部からＲＡＭ上に読み出したアプリケーションソフトウエアの一例として下記の最適指標生成アプリケーションプログラムを実行することを特徴とする。

[0356] なお、本実施形態にあっては、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給することを特徴とする。

まず、ステップＳ３６１では、複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する。次いで、ステップＳ３６２では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。次いで、ステップＳ３６３では、算定された装置区分と入力された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数（生産負荷）と稼働時期を算出する。

次いで、ステップＳ３６４では、計算出結果から常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する。次いで、ステップＳ３６５では、算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給する。

[0357] また、図９７に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ３７１では、最適理論値計算ステップにより算出された最適な開始終了時期情報に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する。次いで、ステップＳ３７２では、各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に前記生産管理システムに供給する。

[0358] 次に、図９８を参照して、本発明の第１０実施形態に係る最適指標生成方法の変形例として、下記のフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッサに実行させたこととして説明する。

なお、本変形例であっては、多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行することを特徴とする。また、サーバには通信制御部が設けられており、通信制御部が生産管理システムと通信回線を介して情報を通信することとする。

まず、ステップＳ３８１では、複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する。次いで、ステップＳ３８２では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。次いで、ステップＳ３８３では、算定された装置区分と受信された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数（生産負荷）と稼働時期を算出する。

次いで、ステップＳ３８４では、計算出結果から常用装置と代替装置とに

関する予防保全開始・終了時期を算出する。次いで、ステップＳ３８５では、算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信する。

[0359] ＜第１１実施形態＞

図９９を参照して、本発明の第１１実施形態に係る最適指標生成方法について説明する。なお、本実施形態は、第３実施形態に係る最適指標生成装置を構成する各部の動作について、下記のフローチャートで示すプログラムをプロセッサに実行させたことを特徴としている。各ステップはソフトウエアモジュールの動作内容を示しており、詳細な動作内容については第１実施形態に記載しているので、その説明を省略する。

最適指標生成装置に電源が投入されると、ＣＰＵは、補助記憶部から読み込んだＯＳをＲＡＭ上にブートして実行する。そして、ＣＰＵは、このＯＳ上で補助記憶部からＲＡＭ上に読み出したアプリケーションソフトウエアの一例として下記の最適指標生成アプリケーションプログラムを実行する。

[0360] なお、本実施形態にあっては、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給することを特徴とする。

次いで、ステップＳ３９１では、生産実行システムに含まれる複数の装置や製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する。

次いで、ステップＳ３９２では、入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析し、内部記憶部に記憶する。

次いで、ステップＳ３９３では、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する。次いで、ステップＳ３９４では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。

[0361] 次いで、ステップＳ３９５では、算定された装置区分と入力された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する。次いで、ス

テップＳ３９６では、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する。

次いで、ステップＳ３９７では、入力された情報とＱ－ｔｉｍｅ構造および予防保全開始時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する。

次いで、ステップＳ３９８では、算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を生産管理システムに供給する。

[0362] また、図１００に示すフローチャートを参照すると、ステップＳ４０１では、算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する。

次いで、でステップＳ４０２では、各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に生産管理システムに供給する。

[0363] 次に、図１０１を参照して、本発明の第１１実施形態に係る最適指標生成方法の変形例として、下記のフローチャートで示すプログラムをサーバに設けられたプロセッサに実行させたこととして説明する。

なお、本変形例であっては、多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行することを特徴とする。また、サーバには通信制御部が設けられており、通信制御部が生産管理システムと通信回線を介して情報を通信することとする。

まず、ステップＳ４１１では、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する。次いで、ステップＳ４１２では、受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析し、内部記憶部に記憶する。

[0364] 次いで、ステップＳ４１３では、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する。次いで、ステップＳ４１４

では、複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する。次いで、ステップＳ４１５では、算定された装置区分と受信された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する。

次いで、ステップＳ４１６では、常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する。

次いで、ステップＳ４１７では、受信された情報と前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および予防保全開始時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する。

次いで、ステップＳ４１８では、算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を生産管理システムに送信する。

[0365] ＜第１２実施形態＞

まず、第６実施形態の問題点について説明する。

第６実施形態によって、設備や人員の稼働・保全・段取りの最適な時期と多品種製品の納期やＱ－ｔｉｍｅ制約を守りながら生産率を最大化する製品仕掛りの最適な処理順序とを同時に算定することができる。しかし、その最適指標生成方法は、設備・人員の最適運用に留まっていた。

そこで、第１２実施形態では、第６実施形態を応用して、更に、設備人員計画の高精度化や生産計画の実行可能性向上を実現し、コスト削減や利益向上を実現することを目的としている。

[0366] 大幅なコスト削減を達成するためには、投資や利益の計画に関わる設備人員計画を高精度化して、あらかじめ設備等への投資の余剰を削減することが必要となる。ここで、設備人員計画とは、生産計画に基づいて所定の時期に所定の製品品種と数量を生産するために算定される生産設備や人員の計画を指す。設備人員の計画は、処理時間等の製造条件、生産計画と投入出荷計画、設備の停止時間と可動率、製造における設備の実行稼働率など主に４種類

の情報が、各種関連業務部門から集められて行われる。これらの情報の精度が、設備人員計画の精度や実行可能性を決める。設備人員計画の計画精度や実行可能性は、企業の利益計画に直接影響する。

[0367] 設備の計画の高精度化と余剰の削減のためには、設備の保全等による停止や多品種生産における設備共用に伴う段取り作業による停止を考慮した上で、同時期に稼働可能な設備の数量を正確に算定することが必要となる。また、装置停止の影響を生産リスクとして定量化し、生産計画を達成するために必要なリスク対応のための余剰数量と設備性能を適正に定める必要がある。そのために、第６実施形態に示した最適指標生成方法を応用する。

設備計画の従来技術においては、余剰が経験的あるいは感覚的に定められており、余剰が最適化されていない問題があり、また設備人員計画の計算規則と生産実行の運用規則が異なり実行可能性が低い計画になる問題があった。これらの問題を本発明の技術により解決することができる。

[0368] 第６実施形態では、以下３点を算定する。

（１）設備保全の時期の分散化と最適化によって、同時期に稼働可能な設備数量と性能、および生産可能な製品品種・数量の算定。逆に、同時期に停止する設備の数量と性能、および生産計画を達成できない製品品種・数量の算定。

（２）設備の稼働期間における最適な多品種の生産順序と段取り時期の算定。

（３）段取り時間を活用して設備の保全時期を分散化する装置対製品品種割り当てと保全順序の算定。

[0369] まず、第１２実施形態に係わる設備数量の計画方法について説明する。

上記（１）の同時期に稼働可能な設備数量と性能、および生産可能な製品品種・数量によって、生産計画として目標とされる製品品種と数量の条件を満たすか否かを判断することができる。また、同時期に停止する設備の数量と性能、および生産計画を達成できない製品品種・数量の算定によって定量化された生産リスクに基づき、設備投資の追加または生産計画の減産や納期

変更のいずれかの意思決定を行う指針として利用できる。この設備計画を高額な設備群から順次算定することによって、資源的ボトルネックに合わせたラインバランスを実現できる。

[0370] 設備計画の手順は以下の通りである。

まず、生産計画で定められた製品品種ｉの生産数量N_iと、各工程ｊでの処理時間ｔ_ｉｊ、および納期Ｄｄ_ｉから、暫定設備台数N_tを算定する。

次に、暫定装置台数N_tと生産負荷計画などによって定められた生産期間全体を通した装置の平均稼働率目標（あるいは、実効稼働率平均）Ｕｐの積により、基準装置台数Ｍ＝N_t×Ｕｐを算定する。ここで、実施形態６の保全計画から算定される装置群ｋにおける基準装置台数をM_k、同時停止装置台数の最大値をN_d（ｋ）とすると、同時可動台数の最小値は（M_k－N_d（ｋ））となる。

[0371] また、装置の可動期間における稼働率は、目標生産率（生産負荷）と第６実施形態に示した最適段取り周期により定まる。装置ｊの可動期間Ｔｕ__ｊにおける製品品種ｉの処理継続時間Ｔｐ__ｉｊと求まり、可動期間における装置群の稼働率は、数式６０で求まる。この稼働率は業務として実行可能で高精度な計画値である。また、可動期間における装置群の平均稼働率は、数式６１で求まる。

[0372] [数60]

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{Tp_ij} \div \mathrm{Tu_j}$$

[0373] [数61]

$$\frac{1}{M_k} \sum_{j=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Tp_ij} \div \mathrm{Tu_j}$$

[0374] 生産期間全体を通した目標生産率平均A_pに対して、下記数式６２を満たさない場合に、目標生産率や時間的制約（納期やＱ－ｔｉｍｅ制約など）を達成できない生産リスクが発生すると判定できる。

[0375] [数62]

$$A_p \leq \frac{M_k - N_d(k)}{M_k} \times \frac{1}{M_k} \sum_{j=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Tp_ij} \div \mathrm{Tu_j}$$

当該生産リスクが許容できる範囲でない場合には、Ｍを増分するか生産量や納期を変更する必要がある。数式６２を満たす最小のＭが、目標生産率平均Ａ$_p$を守ることのできる必要装置台数となる。

以上、最適な保全・段取り計画に基づく同時可動台数や稼働率により、適正な装置台数を算定することができ、設備計画の高精度化が可能となる。また、この装置台数を用いて行われる業務スケジュールは、実際の時間軸・設備運用条件下で実行可能であることが確認されており、実行可能性が高い。

[0376] 次に、第１２実施形態に係わる人員数量の計画方法を説明する。

上記（１）の同時期に停止する設備の数量と性能と、上記（２）の最適な多品種の生産順序と段取り時期によって、同時期に必要となる人員（設備エンジニアやプロセスエンジニア、オペレータ等）の最適数量を算定できる。

[0377] 実施形態６の最適指標生成方法から求められる生産期間Ｔｃにおける段取り回数Ｎｓ、総段取り時間Ｔｓ、同時期に発生する保全数Ｎｄとその時間長から、必要とされる人員数を算定していく。まず、同時期に停止する設備数Ｎｄから、設備保全に関わる最小要員数が算定される。また、段取りプロセスの作業に必要な人員数は、人員要求率Ｎｓ／Ｔｃおよび作業要求率Ｔｓ／Ｔｃを用いて算定する。人員の勤務時間や休憩時間を考慮した人員実効作業率Ｕｏに対して、Ｎop×Ｔｓ／Ｔｃ＜Ｕｏの条件を満たす最大の人員数Ｎop＊を基本人員数として算定する。

[0378] ここで、通常、段取り作業を行う人員は、複数の装置やプロセスを管理対象としていることが多い。段取りプロセスの作業に必要な人員数の算定においても、同時期に複数の異なる段取り作業が発生する場合には、必要人員数を追加する。なお、半導体産業などの設備投資が製造コストの半分以上を占める産業では、人員数が少ないことによって設備を止めることのないように人員計画されることが多い。

[0379] 設備と人員の計画に共通して、上記（３）段取り時間を活用して設備の保全時期を分散化する装置対品種割り当て（以下、第２次割当て）と保全順序を算定する前に、段取り時間低減と生産リスク低減および良品率向上の多目的での生産設備の使用条件・処理品種の限定（以下、第１次割当て）を決定する。ここで、段取り最小化のためには、専用装置を最大限に増やし、共用装置台数を最小限に抑える。また、一方で、生産リスク最少化のためには、製品品種を処理可能な装置台数を最大限に増やし、結果的に共用装置台数を最大限に増やすことになる。現実の第一次装置割り当てでは、必要装置台数に１以上の値を加えるなどしている。第１次割当ては、企業各社の方針・方法に依存するが、特定装置と特定製品品種の割当が複雑に設定されている場合（例えば、図２２）でも、第１２実施形態の設備人員計画方法は使用可能である。

[0380] ＜第１３実施形態＞

まず、第７実施形態と第１２実施形態の問題点について説明する。

第７実施形態では、管理対象とする生産工程の全ての装置群についてＪＡＭＰ－ｗＳ法により算定される保全や段取り時期に寄り発生する静的生産スパイクに動的な故障などを合わせた動的生産スパイクを複数の生産工程について重ね合わせて複合スパイクを分析し、対象とする生産工程のスパイクを最小の安全在庫で吸収する方法を示した。しかし、その最適指標生成方法は、設備・人員・仕掛り品の最適運用を示すに留まっていた。また、第１２実施形態では、第６実施形態の応用によって設備人員計画の高精度化や生産計画の実行可能性向上を実現する変形例を示した。しかし、第１２実施形態には、動的に発生する装置の突発故障等の対応を明示的に扱った技術ではなかった。

そこで、第１３実施形態では、第７実施形態を応用して、第１２実施形態に対して更に動的に発生する装置故障を考慮して、設備人員計画の高精度化や生産計画の実行可能性向上を実現し、コスト削減や利益向上を実現することを目的としている。

[0381] 第１３実施形態では、第７実施形態の故障監視・予測等に基づく装置の停止予定を加えて算定される同時停止装置台数の最大値を$N_{dd}(k)$とすると、同時可動台数の最小値は（$M_k - N_{dd}(k)$）となる。

産業上の利用可能性

[0382] 本発明は、生産シミュレーション、生産スケジューリング、生産計画、設備人員計画、負荷計算などに利用でき、また、半導体・液晶産業のほか、情報通信業、卸売業、医療業などにも応用できる。

符号の説明

[0383] ２　処理工程（装置群）、３　処理工程（装置群）、４　バッファサイズ、１０　生産管理システム、１１　最適指標生成装置、１２　入力部、１２Ａ　入力モジュール、１３　補助入力部、１４　Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部、１５　ＣＫＢ最適論理値計算部、１６　感度解析部（ＣＫＢ特性）、１７　指標算出部、１８　感度解析部（性能特性）、１９　最適ロードルール判定部、２１　最適指標生成装置、２２　入力部、２２Ａ　入力モジュール、２３　補助入力部、２４　ＪＡＭＰ最適論理値計算部、２５　感度解析部（ＪＡＭＰ特性）、２６　開始終了時期算出部、２７　感度解析部（性能特性）、２８　装置区分算定部、２９　エンジニアリング業務システム、３１　最適指標生成装置、３２　変動監視検出部、３３　入力変更検出部、３４　再計算必要性判断部、３５　感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ特性）、３６　ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ最適論理値計算部、３７　感度解析部（ＣＫＢ＋ＪＡＭＰ性能特性）、３８　計算指示部、４１　最適指標生成装置、４２　生産フローボトルネック・流量解析部、４３　Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部、４４　装置区分算定部、４５　補助入力部、４６　駆動制御部、４７　余裕時間配分解析部、５１　最適指標生成装置、５２　補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）、５３　段取り替えサイクル算定部、５４　装置区分算定部、５５　ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部、５６　開始終了時期算出部、５７　感度解析部（性能特性）、５８　感度解析部（ＪＡＭＰ特性）、６１　最適指標生成装置、６２　補助入力部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}法）、６３　装置群生産周期位

相設定部、６４　生産スパイク算定部、６５　ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}最適理論値計算部、６６　指標算出部、６７　感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}性能特性）、６８　感度解析部（ＣＫＢ＝ＪＡＭＰ－ｗＳ^{2}特性）、７１　最適指標生成装置、７２　最適指標生成成装置６１計算モジュール、７３　最適指標生成成装置４１計算モジュール、７６　指標算出部

請求の範囲

［請求項1］ 多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、

前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

［請求項2］ 前記最適理論値計算部により算出された最適な指標情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析部と、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する指標算出部と、をさらに備え、

前記指標算出部は、後続工程区間または先行工程区間のスループットの変化に連動してカンバン枚数やバッファサイズを変更することを特徴とする請求項１記載の最適指標生成装置。

［請求項3］ 多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給する最適

指標生成方法であって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算ステップと、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出ステップと、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定ステップと、を実行し、

前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

［請求項4］ 前記最適理論値計算ステップにより算出された最適な指標情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する指標算出ステップをさらに行うことを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

［請求項5］ 前記指標算出ステップは、後続工程区間または先行工程区間のスループットの変化に連動してカンバン枚数やバッファサイズを変更することを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

［請求項6］ 前記指標算出ステップは、前記加工工程間で待つことが可能な最大ロット数を超えないように、前記複数の装置による加工工程間に設けられたバッファのサイズを制限することにより、先行工程の製品の出

力を制御することを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

[請求項7] 前記Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内のボトルネック箇所のトラフィック強度が１を超えないように制御することを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

[請求項8] 前記トラフィック強度が１より大きくなる場合には、トラフィック強度が１になるようにＱ－ｔｉｍｅ制約区間へのロットの投入率を制御することを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

[請求項9] 前記Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内に滞在するロットの数を製品品種および処理条件別のカンバン枚数によって制限し、各ロットの処理開始時期を空きカンバンによって制御することを特徴とする請求項３記載の最適指標生成方法。

[請求項10] 請求項３乃至９の何れか１項記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項11] 多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置と製品に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロー

ドルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、

前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[請求項12] 多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置と製品に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算ステップと、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出ステップと、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定ステップと、を実行し、

前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項13] 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、

前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出部と、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、　前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在するすべてのＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御部と、を備え、

前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

［請求項14］　多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生

産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析ステップと、

前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析ステップと、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出ステップと、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、

前記時間指標算出ステップと指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

［請求項15］ 前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在するすべてのＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御ステップをさら

に行うことを特徴とする請求項１４記載の最適指標生成方法。

［請求項16］ 前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体における生産流量や工程能力の変動に対応してＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理するために、製造フローにおけるボトルネック箇所と各工程の最大流量を解析する生産フローボトルネック・流量解析ステップをさらに行うことを特徴とする請求項１４記載の最適指標生成方法。

［請求項17］ 請求項１４乃至１６の何れか１項記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

［請求項18］ 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、

前記受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する時

間指標算出部と、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

［請求項19］ 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析ステップと、

前記受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析ステップと、

前記ボトルネック箇所、最大流量および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出ステップと、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代

替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する時間指標算出ステップと、を実行し、

前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項20] 多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

[請求項21] 前記最適理論値計算部により算出された最適な開始終了時期情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析部と、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に前記生産管

理システムに供給する開始終了時期算出部をさらに備えることを特徴とする請求項２０記載の最適指標生成装置。

[請求項22] 多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項23] 前記最適理論値計算ステップにより算出された最適な開始終了時期情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出ステップとをさらに行うことを特徴とする請求項８記載の最適指標生成方法。

[請求項24] 請求項２２または２３記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項25] 多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信

する情報入力部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[請求項26] 多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、

前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項27] 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関す

る指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する情報入力部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、

前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

［請求項28］ 前記指標算出部および前記開始終了時期算出部により算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行ってお

く感度解析部と、各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出部とをさらに備えることを特徴とする請求項２７記載の最適指標生成装置。

［請求項29］ 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する情報入力ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出ステップと、

前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供

給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算ステップおよび前記指標算出ステップにより生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項30] 前記指標算出ステップおよび前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出ステップとをさらに行うことを特徴とする請求項２９記載の最適指標生成方法。

[請求項31] 請求項２９または３０記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項32] 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する情報受信部と、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計

算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、

前記受信された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

［請求項33］ 多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信するサーバが実行する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する情報受信ステップと、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する指標算出ステップと、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する情報受信ステップと、

前記複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算ステップおよび前記指標算出ステップにより生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成方法。

補正された請求の範囲
[2013年4月26日（26.04.2013）国際事務局受理]

[請求項1] （補正後）多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記複数の装置と製品に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、

前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

[請求項2] （追加）前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、

前記複数の装置による製造フロー全体に点在する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御部と、を備えることを特徴とする請求項１記載の最適指標生成装置。

[請求項3] （補正後）感度解析の結果を内部記憶部に記録しておき、

各種入力情報が変化した場合に、前記指標情報を即時に更新することを特徴とする請求項１記載の最適指標生成装置。

補正された用紙（条約第19条）

[請求項4] （補正後）多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置と製品に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記入力された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算ステップと、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出ステップと、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定ステップと、を実行し、

前記指標算出ステップにより算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項5] （追加）前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析ステップと、

前記複数の装置による製造フロー全体に点在する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御ステップと、を備えることを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項6] （追加）繰返し処理ロットにおける円滑な生産物流を実現しスループットを最大化するために繰返し処理ロットに対するサービス率が均等になるように配分するステップを備えることを特徴とする請求項５記

載の最適指標生成方法。

[請求項7] （補正後）前記最適理論値計算ステップにより算出された最適な指標情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する指標算出ステップをさらに行うことを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項8] （補正後）前記指標算出ステップは、後続工程区間または先行工程区間のスループットの変化に連動してカンバン枚数やバッファサイズを変更することを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項9] （補正後）前記指標算出ステップは、前記加工工程間で待つことが可能な最大ロット数を超えないように、前記複数の装置による加工工程間に設けられたバッファのサイズを制限することにより、先行工程の製品の出力を制御することを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項10] （補正後）前記Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内のボトルネック箇所のトラフィック強度が１を超えないように制御することを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項11] （補正後）前記トラフィック強度が１より大きくなる場合には、トラフィック強度が１以下になるようにＱ－ｔｉｍｅ制約区間へのロットの投入率を制御することを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項12] （削除）

[請求項13] （補正後）前記Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間内に滞在するロットの数を製品品種および処理条件別のカンバン枚数によって制限し、各ロットの処理開始時期を空きカンバンによって制御することを特徴とする請求項４記載の最適指標生成方法。

[請求項14] （補正後）請求項４乃至１１、および１３の何れか１項記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴と

する最適指標生成プログラム。

[請求項15] （補正後）多品種の製品を生産するため複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置と製品に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記複数の装置と製品に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記受信された情報および前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する最適理論値計算部と、

前記計算された情報を指標情報として出力する指標算出部と、

製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する最適ロードルール判定部と、を備え、

前記指標算出部により算出された最適な指標情報とロードルールとを前記生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[請求項16] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、

前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析

部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出部と、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、

前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御部と、を備え、

前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

[請求項17] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析ステップと、

前記入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析

ステップと、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する時間指標算出ステップと、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、

前記時間指標算出ステップと指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムや生産工程の業務を行うエンジニア／オペレータに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項18] （補正後）前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在する複数のＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する手続き実行制御ステップをさらに行うことを特徴とする請求項１７記載の最適指標生成方法。

[請求項19] （削除）

[請求項20] （補正後）前記生産実行システムに含まれる製造フロー全体における生産流量や工程能力の変動に対応してＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理するために、製造フローにおけるボトルネック箇所と各工程の最大流量を解析する生産フローボトルネック・流量解析ステップをさらに行うことを特徴とする請求項１７記載の最適指標生成方法。

[請求項21] （補正後）請求項１７、１８または２０記載の最適指標生成方法におけるステップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項22] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析するボトルネック箇所解析部と、

前記受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析するＱ－ｔｉｍｅ制約構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する時間指標算出部と、

前記ボトルネック箇所、最大流量、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記時間指標に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

前記時間指標算出部と指標算出部により算出された最適な指標情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記時間指標算出部により算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[請求項23] （補正後）製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

[請求項24] （追加）前記最適指標生成装置に対して、さらに、段取りに関する情報を入力する補助入力部と、

前記入力された情報から、生産工程のＱ－ｔｉｍｅ制約や工程納期を遵守しつつ段取り率が最小になる生産順序と生産周期を算定する段取り替えサイクル算定部と、

前記段取り替えサイクル算定部と前記装置区分算定部の算出結果を入力として、複数の装置の保全時期と多品種生産サイクル、段取り周期、各期の生産能力を算出するＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部と、

保全と段取りの開始終了時期情報を生産管理システムや装置エンジ

ニアリング業務システムに出力する開始終了時期算出部とを備える、ことを特徴とする請求項２３記載の最適指標生成装置。

[請求項25] （補正後）感度解析の結果を内部記憶部に記録しておき、各種入力情報が変化した場合に、前記指標情報を即時に更新することを特徴とする請求項２３記載の最適指標生成装置。

[請求項26] （削除）

[請求項27] （補正後）多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力ステップと、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項28] （補正後）前記最適理論値計算ステップにより算出された最適な開始終了時期情報に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出ステップとをさらに行うことを特徴とする請求項２７記載の最適指標生成方法。

[請求項29] （補正後）請求項２７または２８記載の最適指標生成方法におけるス

テップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項30] （補正後）多品種の製品を生産するための複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記複数の装置に関する情報を前記生産管理システムを介して受信する情報入力部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記計算出結果から前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する開始終了時期算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[請求項31] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成装置であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力部と、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置

と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、

前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成装置。

[請求項32] （補正後）前記指標算出部および前記開始終了時期算出部により算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行っておく感度解析部と、各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出部とをさらに備えることを特徴とする請求項３１記載の最適指標生成装置。

[請求項33] （削除）

[請求項34] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、前記複数の装置に関する指標情報を供給する最適指標生成方法であって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を最適理論値計算部へ入力する情報入力ステップと、

前記入力された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時

間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析ステップと、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定ステップと、

前記算定された装置区分と入力された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算ステップと、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出ステップと、

前記入力された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算ステップと、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出ステップと、を実行し、

前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算ステップおよび前記指標算出ステップにより生産管理システムに供給することを特徴とする最適指標生成方法。

[請求項35] （補正後）前記指標算出ステップおよび前記開始終了時期算出ステップにより算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行っておく感度解析ステップと、

各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に前記生産管理システムに供給する開始終了時期算出ステップとをさらに行うことを特徴とする請求項３４記載の最適指標生成方法。

[請求項36] （補正後）請求項３４または３５記載の最適指標生成方法におけるス

テップをプロセッサに実行させることを特徴とする最適指標生成プログラム。

[請求項37] （補正後）多品種の製品を生産するための生産実行システムに設けられた複数の装置を制御する生産管理システムに対して、通信回線を介して前記複数の装置に関する指標情報を送信する最適指標生成サーバであって、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する情報受信部と、

前記受信された情報から前記複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するＱ－ｔｉｍｅ構造分析部と、

前記生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する情報受信部と、

前記複数の装置の能力を常用能力と代替能力とに区分する装置区分算定部と、

前記算定された装置区分と受信された情報から前記複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期と稼動条件を算出する最適理論値計算部と、

前記常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時間を算出する開始終了時期算出部と、

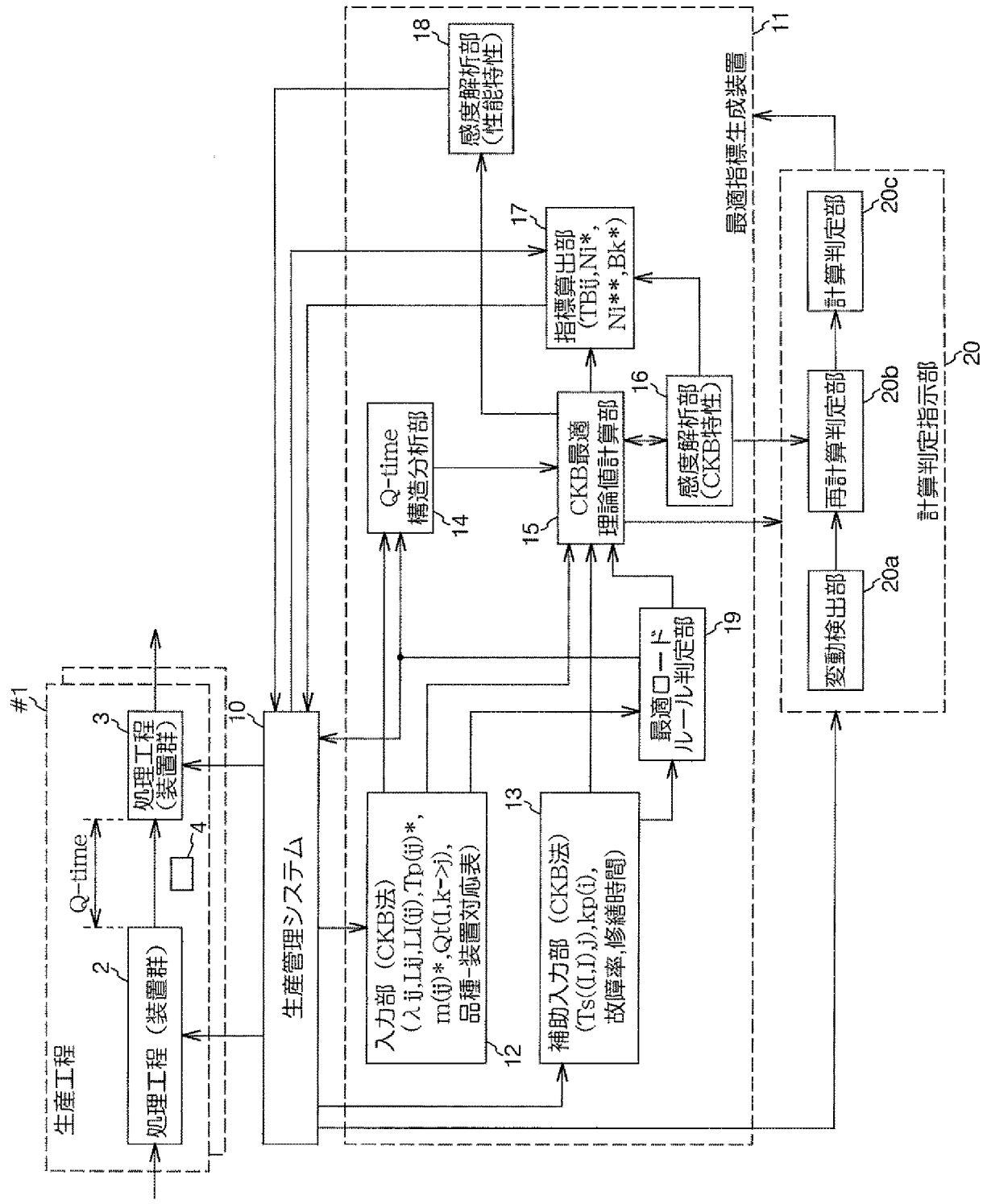
前記受信された情報、前記Ｑ－ｔｉｍｅ構造および前記装置区分と前記開始終了時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを算出する最適理論値計算部と、

前記算出された最適理論値を指標情報として出力する指標算出部と、を備え、

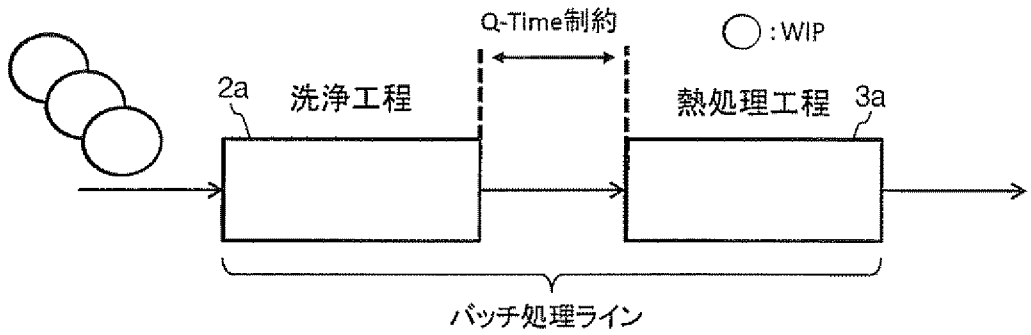
前記開始終了時期算出部により算出された最適な開始終了時期情報を前記生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、前記算出された開始終了時期により定まる工程能力が異な

る各期に対して最適な指標情報を最適理論値計算部および前記指標算出部により生産管理システムに送信することを特徴とする最適指標生成サーバ。

[図1]


#1
生産工程
処理工程（装置群）
2
Q-time
処理工程（装置群）
3
4
生産管理システム
10
最適指標生成装置
11
入力部（CKB法）
(λij,Lij,LI(ij),Tp(ij)*,
m(ij)*,Qt(I,k->j),
品種-装置対応表)
12
補助入力部（CKB法）
(Ts((I,I),j),kp(i),
故障率,修繕時間)
13
Q-time
構造分析部
14
CKB最適
理論値計算部
15
感度解析部
(CKB特性)
16
指標算出部
(TBij,Ni*,
Ni**,Bk*)
17
感度解析部
(性能特性)
18
最適ロード
ルール判定部
19
計算判定指示部
20
変動検出部
20a
再計算判定部
20b
計算判定部
20c

[図2]



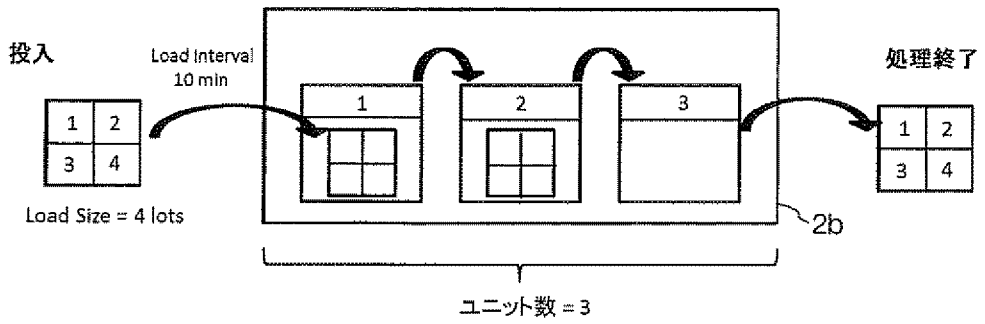
代表的な Q-time 制約の研究対象

[図3]

優先順位	生産目標※	性能評価指標	備考
1	Q-Time制約順守率の最大化	リワーク延べ数	小さいほうが良い
2	納期順守率の最大化	平均サイクルタイム [hour/lot]	小さいほうが良い
3	生産量の最大化	スループット[part/week]	大きいほうが良い
		(生産率)= (スループット)/(リワーク含む投入数)	大きいほうが良い 良品生産の効率を表す 納期遵守にも影響
4	段取りコスト最小化	段取り率 [%] (時間,回数)	小さい方が良い
5	装置の利用率適正化	稼働率[%] =(稼働時間)/(生産期間)	計画された適正範囲内が良い
		1%稼働当たりのスループット[part/week]	大きいほうが良い
6	トータルコスト最小化	平均仕掛数[lot/day]	小さいほうが良い
		最終仕掛数[lot]	小さいほうが良い
		リワーク延べ数 (操業費,原材料費等の増加)	小さいほうが良い

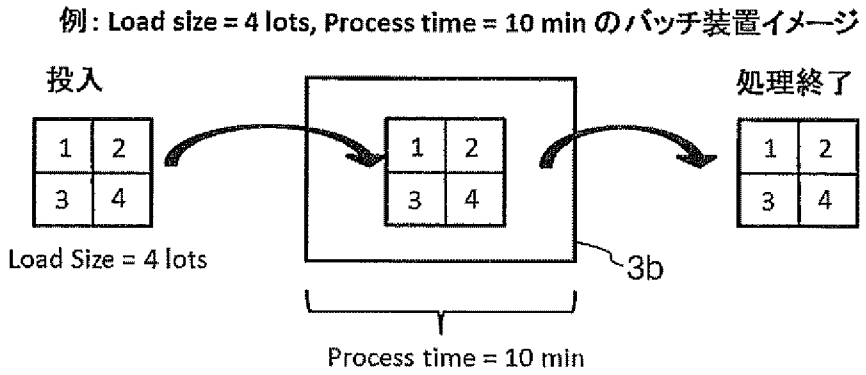
[図4]

例：Load size=4 lots,Load Interval=10 minのバッチ連続マルチタスク処理装置イメージ



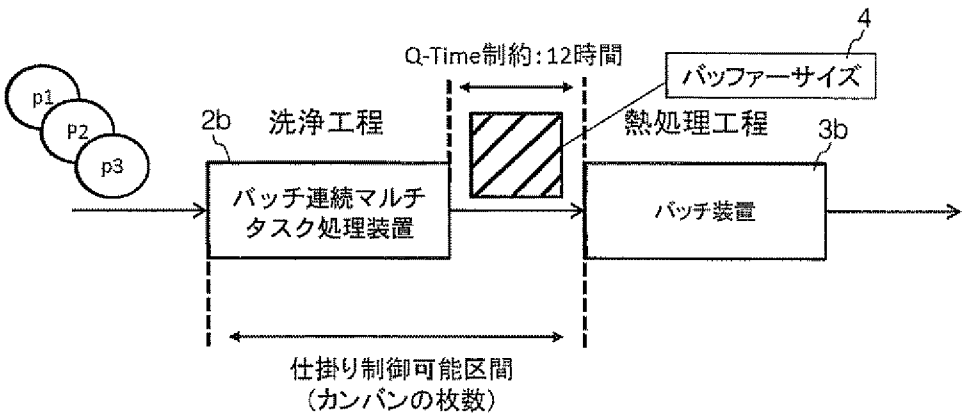
バッチ連続マルチタスク処理装置(洗浄工程)

[図5]



バッチ装置（熱処理工程）

[図6]



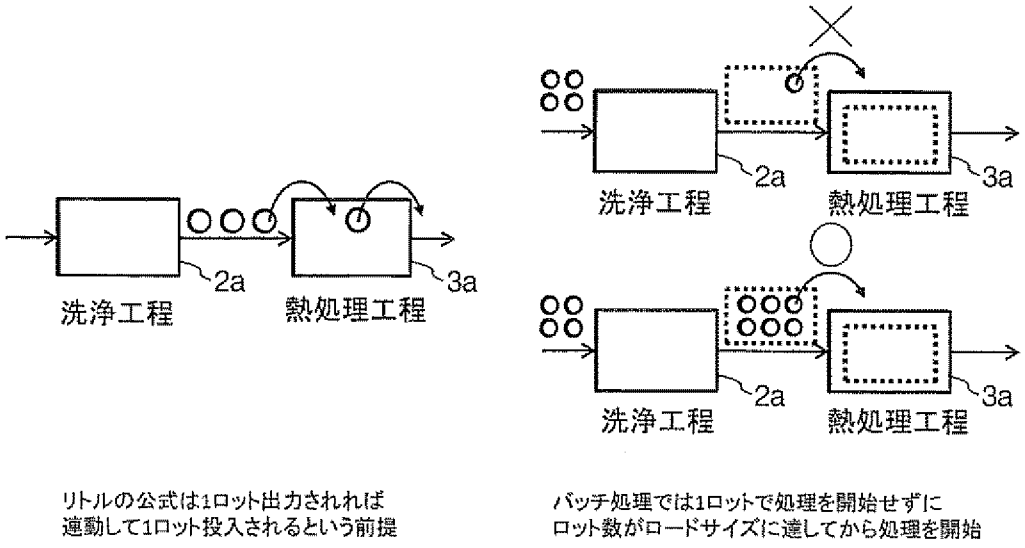
仕掛り制御区間

[図7]

ロードルール

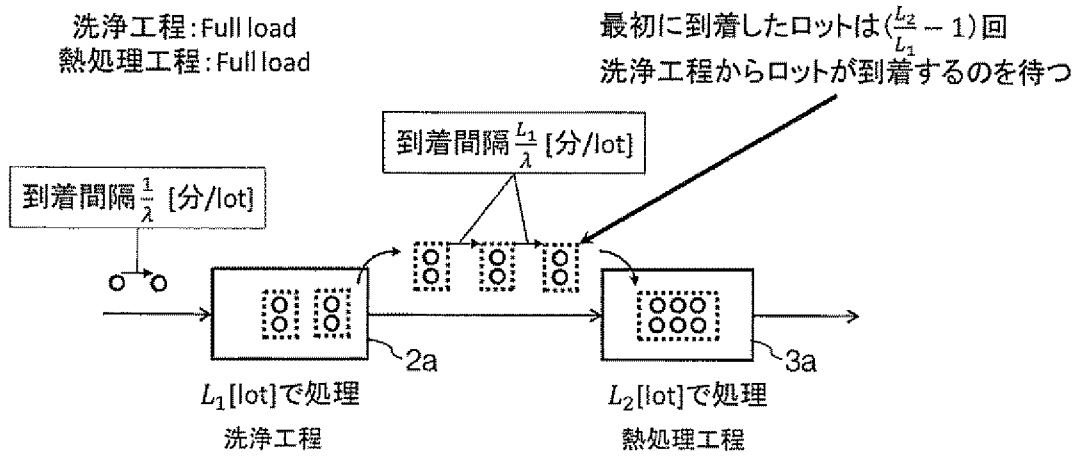
ロードルール名	処理優先度決定方法
Full load(Full)	・最大バッチ数を満たせるロットのみ処理する
Partial load allowed(PLA)	・処理優先度の高いロットから処理する ・ロードサイズを満たさなくても処理する
Attempt full load(AFL)	・ロードサイズを満たすロットから処理する ・該当がない場合は処理優先度が高いロットから処理する

[図8]



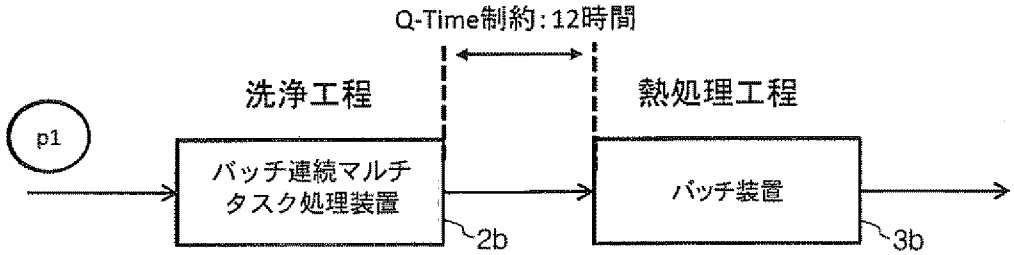
バッチ組待ち時間（要因）

[図9]



バッチ組待ち時間（計算）

[図10]



単一品種基本モデル

[図11]

単一品種基本モデル（工程）

洗浄工程

バッチサイズ	2lots(50parts)
ロードインターバル	20min
装置台数	4台

熱処理工程

バッチサイズ	6lots(150parts)
装置台数	5台

[図12]

単一品種基本モデル（品種）

プロダクト	実効処理時間[分]（洗浄工程）	使用装置台数[台]（洗浄工程）	実効処理時間[分]（熱処理工程）	使用装置台数[台]（熱処理工程）
p1	90	5	240	4

[図13]

評価比較（単一品種、定期投入、非ボトルネック,ρ=0.8 ）

Constant	非ボトルネック(ρ=0.8)		
Full			
FIFO	CT	QT	CKB法
延べリワーク回数	0	0	0
スループット	25200	25200	25200
洗浄工程稼働率(平均)	25	25	25
1%稼働当たりのスループット	1008	1008	1008
熱処理工程稼働率(平均)	80	80	80
1%稼働当たりのスループット	315	315	315
サイクルタイム(理論値5.5)	5.9	5.9	5.9
平均仕掛り（洗浄）	10	10	10
平均仕掛り（熱処理）	26	26	26
平均仕掛り（合計）	36	36	36
最終仕掛り	36	36	36

[図14]

評価比較（単一品種、定期投入、ボトルネック,ρ=1.2 ）

Constant	ボトルネック(ρ=1.2)		
Full			
FIFO	CT	QT	CKB法
延べリワーク回数	0	17726	0
スループット	31500	31500	31500
洗浄工程稼働率(平均)	75	100	75
1%稼働当たりのスループット	420	315	420
熱処理工程稼働率(平均)	100	100	100
1%稼働当たりのスループット	315	315	315
サイクルタイム(理論値5.5)	129	128.7	129
平均仕掛り（洗浄）	870.5	663.9	847.3
平均仕掛り（熱処理）	89.5	296.1	112.7
平均仕掛り（合計）	960	960	960
最終仕掛り	1842	1842	1842

[図15]

評価比較（単一品種、指数投入、非ボトルネック,ρ=0.8 ）

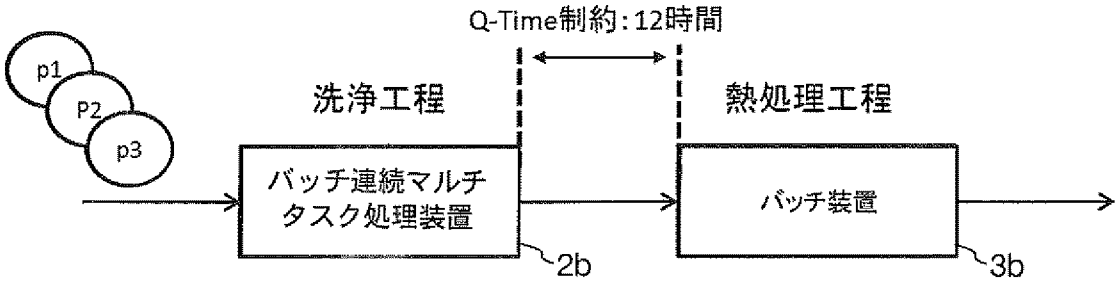
Random	非ボトルネック(ρ=0.8)		
Full			
FIFO	CT	QT	CKB法
延べリワーク回数	0	0	0
スループット	25174	25174	25174
洗浄工程稼働率(平均)	57.3	57.3	57.3
1%稼働当たりのスループット	439.34	439.34	439.34
熱処理工程稼働率(平均)	79.9	79.9	79.9
1%稼働当たりのスループット	315.07	315.07	315.07
サイクルタイム(理論値5.5)	6	6	6
平均仕掛り（洗浄）	10.1	10.1	10.1
平均仕掛り（熱処理）	26.2	26.2	26.2
平均仕掛り（合計）	36.3	36.3	36.3
最終仕掛り	38	38	38

[図16]

評価比較（単一品種、指数投入、ボトルネック,ρ=1.2 ）

Random Full FIFO	ボトルネック(ρ=1.2) CT	QT	CKB法
延べリワーク回数	0	18154	0
スループット	31500	31500	31500
洗浄工程稼働率(平均)	72.2	100	72.2
1%稼働当たりのスループット	436.29	315	436.29
熱処理工程稼働率(平均)	100	100	100
1%稼働当たりのスループット	315	315	315
サイクルタイム(理論値5.5)	129.2	128.7	129.2
平均仕掛り（洗浄）	888.54	677.12	865.02
平均仕掛り（熱処理）	83.8	295.2	107.32
平均仕掛り（合計）	972.34	972.32	972.34
最終仕掛り	1890	1890	1890

[図17]



複数品種基本モデル

[図18]

複数品種基本モデル（工程）

洗浄工程

バッチサイズ	2lots(50parts)
ロードインターバル	20min
装置台数	5台

熱処理工程

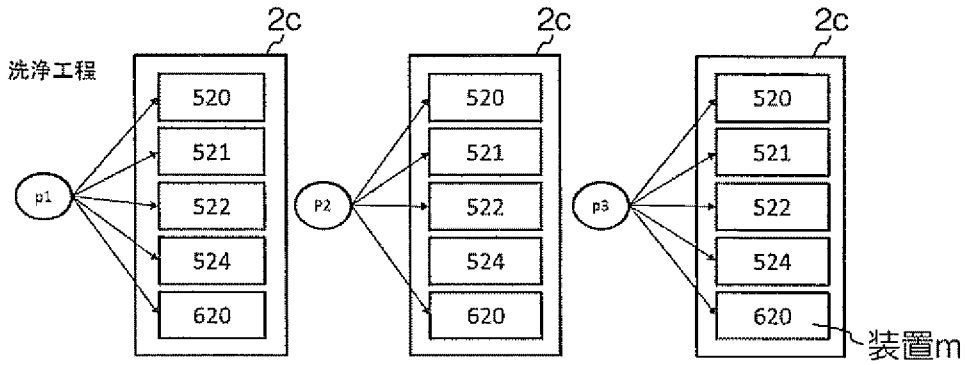
バッチサイズ	6lots(150parts)
装置台数	6台

[図19]

複数品種基本モデル（品種）

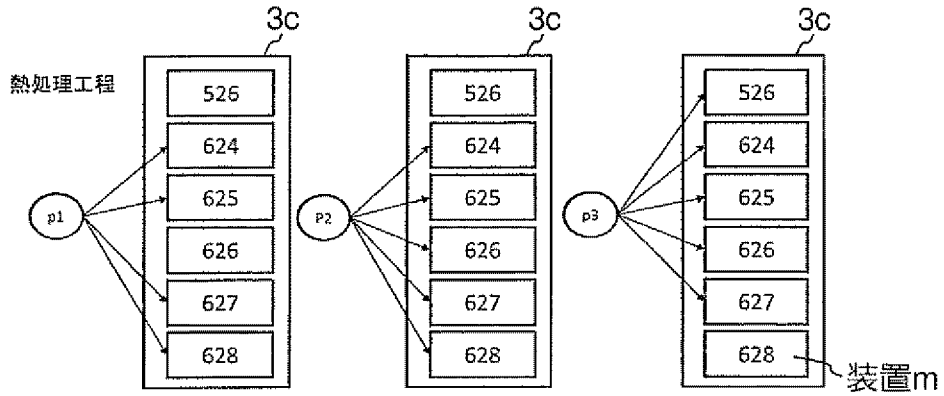
プロダクト	実効処理時間[分]（洗浄工程）	使用装置台数[台]（洗浄工程）	実効処理時間[分]（熱処理工程）	使用装置台数[台]（熱処理工程）
p1	90	5	242	4
p2	90	4	240	5
p3	90	5	195	5

[図20]



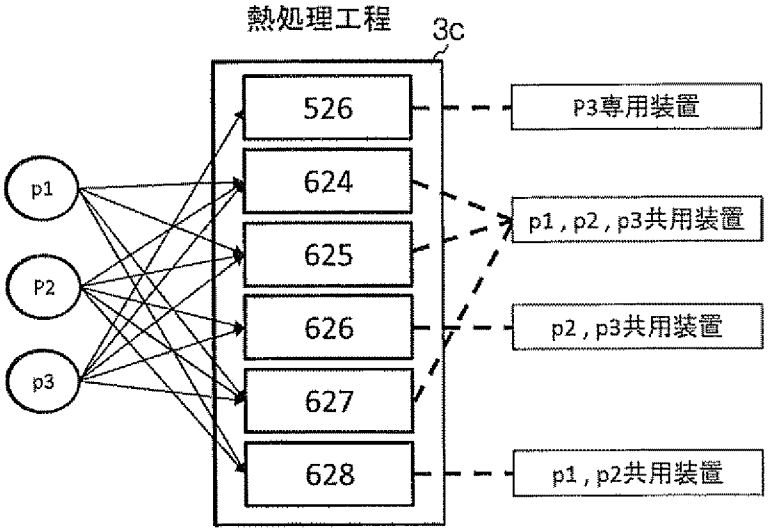
処理可能装置（洗浄）

[図21]



処理可能装置（熱処理）

[図22]



到着率の決定

[図23]

評価比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック,ρ=0.8）

Random Full FIFO	CT	QT	CKB法	CKB一法
	非ボトルネック(ρ=0.8)			
延べリワーク回数	0	0	0	0
スループット(p1)	7849	7849	7849	7849
スループット(p2)	10579	10579	10579	10579
スループット(p3)	14516	14516	14516	14516
スループット(合計)	32944	32944	32944	32944
洗浄工程稼働率(平均)	86.2	86.5	86.5	86.5
1%稼働当たりのスループット	382.2	380.9	380.9	380.9
熱処理工程稼働率(平均)	80.1	80.1	80.1	80.1
1%稼働当たりのスループット	411.3	411.3	411.3	411.3
サイクルタイムp1(理論値5.5)	7.1	7.1	7.2	7.1
サイクルタイムp2(理論値5.5)	6.8	6.8	6.8	6.8
サイクルタイムp3(理論値4.8)	5.7	5.8	5.7	5.7
サイクルタイム(理論値5.3)	6.4	6.4	6.4	6.4
平均仕掛りp1（洗浄）	3.1	3.34	3.22	3.22
平均仕掛りp1（熱処理）	10.28	9.68	10.04	10.04
平均仕掛りp1（合計）	13.38	13.02	13.26	13.26
平均仕掛りp2（洗浄）	4.16	4.24	4.04	4.04
平均仕掛りp2（熱処理）	13.16	13.32	13.4	13.4
平均仕掛りp2（合計）	17.32	17.56	17.44	17.44
平均仕掛りp3（洗浄）	6.38	6.58	6.34	6.42
平均仕掛りp3（熱処理）	14.04	14.08	13.96	13.88
平均仕掛りp3（合計）	20.42	20.66	20.3	20.3
平均仕掛り（全体合計）	51.12	51.24	51	51
最終仕掛り	57	57	57	57

[図24]

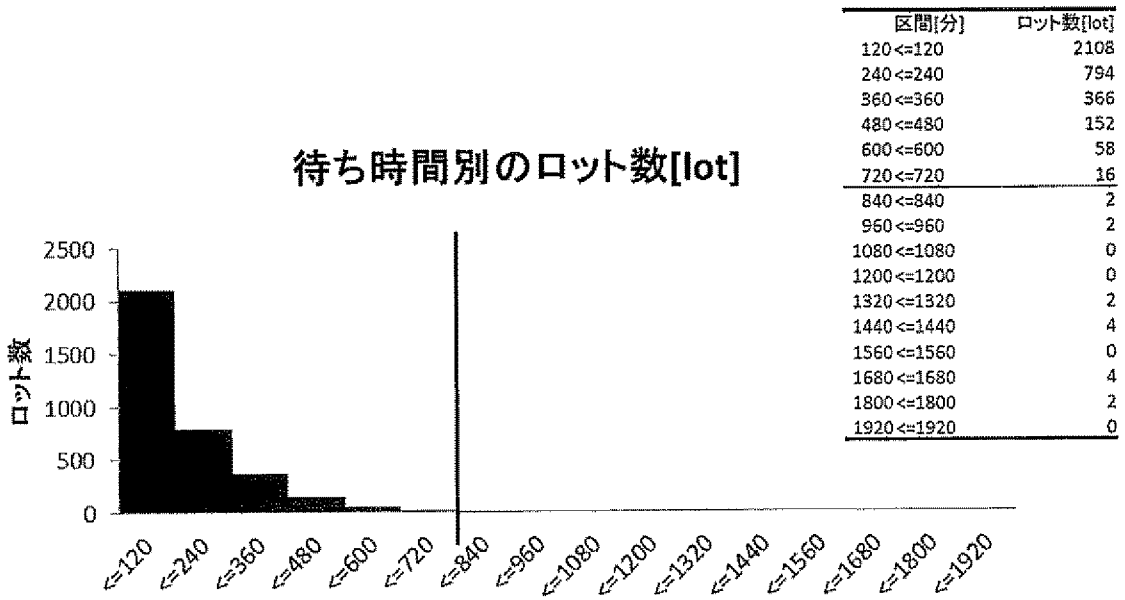
評価比較（複数品種、指数投入、ボトルネック,ρ=1.2 ）

到着規則：ポアソン到着 ロードルール：Full load ディスパッチルール：FIFO	ボトルネック（ρ=1.2） 従来ルール CT	基準ルール QT	提案ルール CKB法	品種を勘案しない場合 CKB一法
リワーク延べ数	54	12904	0	340
スループット(p1)	4358	9555	9161	9975
スループット(p2)	15802	13912	13361	12889
スループット(p3)	21516	17561	18664	18296
スループット（合計）	41676	41028	41186	41160
洗浄工程稼働率（平均）	88.0	100.0	93.7	93.4
１%稼働当たりのスループット	473.6	410.3	439.6	440.7
熱処理工程稼働率（平均）	100.0	100.0	100.0	100.0
１%稼働当たりのスループット	416.8	410.3	411.9	411.6
平均サイクルタイムp1	569.3	153.4	173.2	131.8
平均サイクルタイムp2	11.8	96.7	111.8	128.4
平均サイクルタイムp3	11.1	142.3	115.9	129.4
平均サイクルタイム	48.5	129.4	126.8	129.6
平均仕掛数　（洗浄）	1074.0	1020.8	1132.5	1131.6
平均仕掛数　（熱処理）	93.6	255.6	121.6	133.8
平均仕掛数（全体合計）	1167.6	1276.4	1254.1	1265.5
最終仕掛数	2200	2416	2368	2386

(生産率)=(スループット)／(投入数)

	リワークを含めた投入	CT	リワークを含めた投入	QT	リワークを含めた投入	CKB法	リワークを含めた投入	CKB一法
p1	11858	0.368	15100	0.633	11804	0.776	11952	0.835
p2	15976	0.989	20366	0.683	15976	0.836	16095	0.801
p3	21516	1.000	26734	0.657	21516	0.867	21589	0.847
	平均	0.786		0.658		0.827		0.828

[図25]



区間[分]	ロット数[lot]
120<=120	2108
240<=240	794
360<=360	366
480<=480	152
600<=600	58
720<=720	16
840<=840	2
960<=960	2
1080<=1080	0
1200<=1200	0
1320<=1320	2
1440<=1440	4
1560<=1560	0
1680<=1680	4
1800<=1800	2
1920<=1920	0

ρ=0.3 におけるリワーク状況

[図26]

	到着率[lot/分](B)	到着間隔[min/lot]	×6
p1	0.011710806	85.39121788	512.3473

	Lot_id	product_id	workstation_id	in_queue_time	batch_load_order
			熱処理工程	待ち時間[分]	バッチ組
R	466	p1	VDF1	1382	1
R	467	p1	VDF1	1382	2
R	470	p1	VDF1	1283	3
R	472	p1	VDF1	1283	4
	475	p1	VDF1	0	5
	499	p1	VDF1	0	6

定期投入であれば
平均的に
512min間隔で
6lot到着するはず
↓
指数到着のため
到着しなかった

	到着率[lot/分](B)	到着間隔[min/lot]	×6
p2	0.015848737	63.09650971	378.5791

	Lot_id	product_id	workstation_id	in_queue_time	batch_load_order
			熱処理工程	待ち時間[分]	バッチ組
R	453	p2	VDF1	1622	1
R	455	p2	VDF1	1622	2
R	456	p2	VDF1	1385	3
R	465	p2	VDF1	1385	4
	469	p2	VDF1	0	5
	498	p2	VDF1	0	6

定期投入であれば
平均的に
378min間隔で
6lot到着
↓
指数到着のため
到着しなかった

ρ=0.3 におけるリワーク要因

[図27]

ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック,ρ=0.3 ）

CKB法 Random	非ボトルネック(ρ=0.3)			
FIFO	Full	PLA	AFL	p1Full4
延べリワーク回数		24	0	0	18
スループット(p1)		2940	2931	2931	2940
スループット(p2)		4069	4086	4086	4069
スループット(p3)		5198	5215	5215	5198
スループット(合計)		12207	12232	12232	12207
洗浄工程稼働率(平均)		41.4	41	41	41.3
1%稼働当たりのスループット		294.9	298.3	298.3	295.6
熱処理工程稼働率(平均)		29.8	82.2	82.2	33.8
1%稼働当たりのスループット		409.6	148.8	148.8	361.2
サイクルタイムp1(理論値5.5)		9.1	6.6	6.7	7.7
サイクルタイムp2(理論値5.5)		8.6	6.4	6.4	8.6
サイクルタイムp3(理論値4.8)		6.9	5.5	5.5	6.9
サイクルタイム(理論値5.3)		8.00	6.1	6.1	7.6
平均仕掛りp1（洗浄）		1.44	1.44	1.44	1.48
平均仕掛りp1（熱処理）		5	3.2	3.2	3.88
平均仕掛りp1（合計）		6.44	4.64	4.64	5.36
平均仕掛りp2（洗浄）		2.12	2.06	2.06	2.12
平均仕掛りp2（熱処理）		5.9	3.76	3.76	6.02
平均仕掛りp2（合計）		8.02	5.82	5.82	8.14
平均仕掛りp3（洗浄）		2.56	2.52	2.52	2.56
平均仕掛りp3（熱処理）		5.88	4.36	4.36	5.88
平均仕掛りp3（合計）		8.44	6.88	6.88	8.44
平均仕掛り（全体合計）		22.9	17.34	17.34	21.94
最終仕掛り		25	17	17	23

（スループット）／（投入）

	リワークを含めた投入	Full	リワークを含めた投入	PLA	リワークを含めた投入	AFL	リワークを含めた投入	Full(p1=4)
p1	2959	0.99358	2951	0.99322	2951	0.99322	2953	0.996
p2	4010	1.01471	3994	1.02303	3994	1.02303	4010	1.015
p3	5379	0.96635	5379	0.96951	5379	0.96951	5379	0.966
	AVERAGE	0.99155	AVERAGE	0.99526	AVERAGE	0.99526	AVERAGE	0.99222

[図28]

CKB法 Random FIFO	Full	非ボトルネック(ρ=0.8) PLA	AFL	
延べリワーク回数		0	0	0
スループット(p1)		7849	7840	7831
スループット(p2)		10579	10579	10588
スループット(p3)		14516	14490	14499
スループット(合計)		32944	32909	32918
洗浄工程稼働率(平均)		86.5	86.3	86.8
1%稼働当たりのスループット		380.9	381.3	379.2
熱処理工程稼働率(平均)		80.1	99.8	99.8
1%稼働当たりのスループット		411.3	329.7	329.8
サイクルタイムp1(理論値5.5)		7.2	7.4	7.4
サイクルタイムp2(理論値5.5)		6.8	7.2	7.1
サイクルタイムp3(理論値4.8)		5.7	6.3	6.1
サイクルタイム(理論値5.3)		6.4	6.8	6.7
平均仕掛りp1 (洗浄)		3.22	3.06	3.1
平均仕掛りp1 (熱処理)		10.04	10.28	10.56
平均仕掛りp1 (合計)		13.26	13.34	13.66
平均仕掛りp2 (洗浄)		4.04	4	4.08
平均仕掛りp2 (熱処理)		13.4	13.92	13.68
平均仕掛りp2 (合計)		17.44	17.92	17.76
平均仕掛りp3 (洗浄)		6.34	6.26	6.18
平均仕掛りp3 (熱処理)		13.96	15.64	15.72
平均仕掛りp3 (合計)		20.3	21.9	21.9
平均仕掛り (全体合計)		51	53.16	53.32
最終仕掛り		57	59	61

	(スループット)／(投入) リワークを含めた投入	Full	リワークを含めた投入	PLA	リワークを含めた投入	AFL
p1	7870	0.99733	7870	0.99619	7870	0.99504
p2	10650	0.99333	10650	0.99333	10650	0.99418
p3	14344	1.01199	14344	1.01018	14344	1.01081
	AVERAGE	1.00089	AVERAGE	0.9999	AVERAGE	1.00001

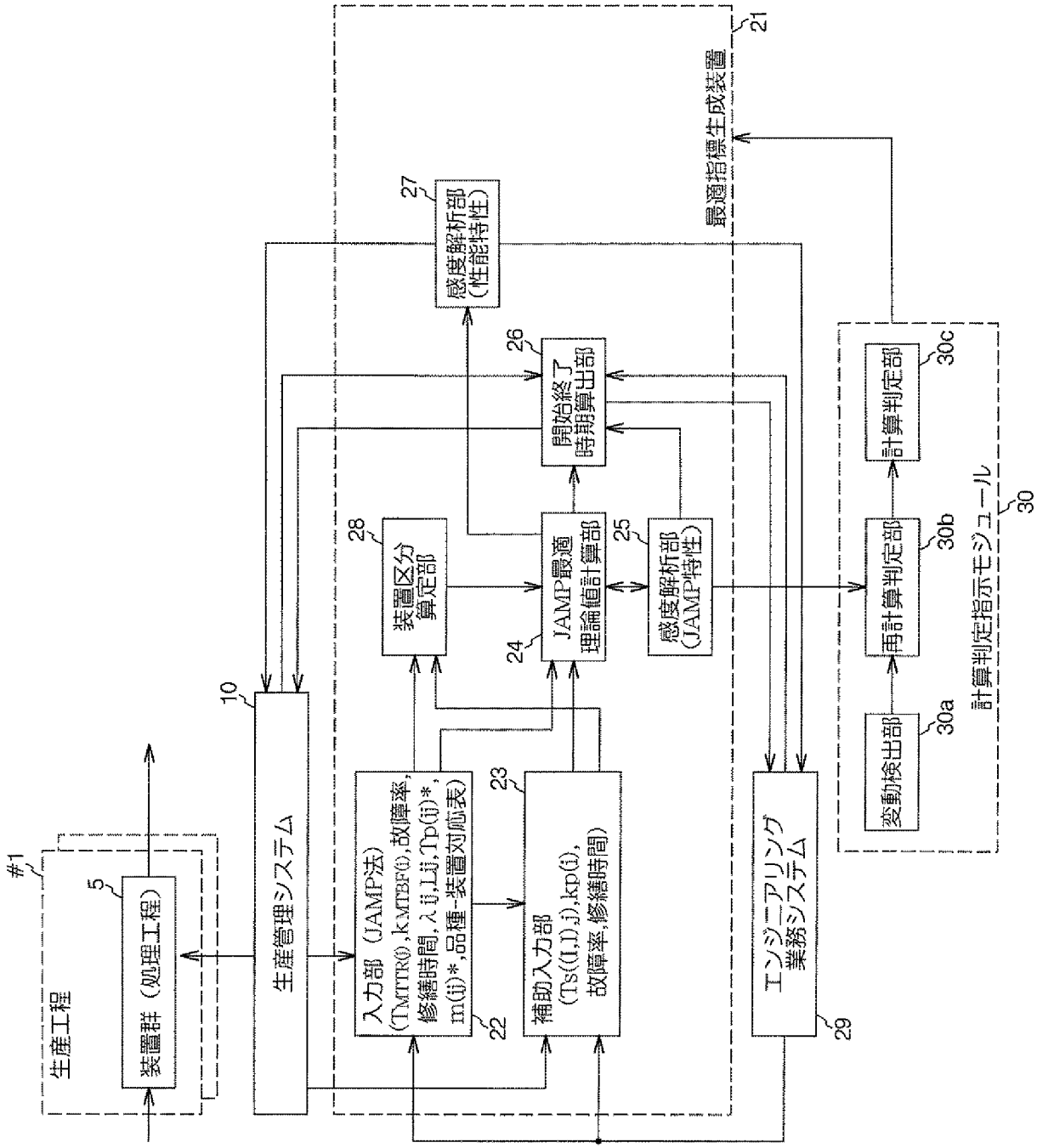
ルール比較（複数品種、指数投入、非ボトルネック,ρ=0.8）

[図29]

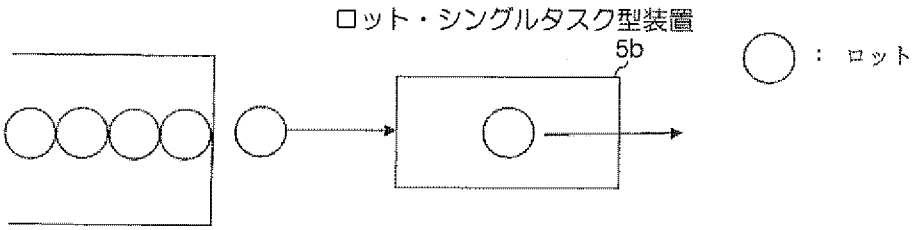
ルール比較（複数品種、指数投入、ボトルネック,ρ=1.2 ）

CKB法 Random FIFO	Full	ボトルネック(ρ=1.2) PLA	AFL	
延べリワーク回数		0	0	0
スループット(p1)		9082	9082	9082
スループット(p2)		13440	13440	13440
スループット(p3)		18664	18664	18664
スループット(合計)		41186	41186	41186
洗浄工程稼働率(平均)		93.1	93.1	93.1
1%稼働当たりのスループット		442.4	442.4	442.4
熱処理工程稼働率(平均)		100	100	100
1%稼働当たりのスループット		411.9	411.9	411.9
サイクルタイムp1(理論値5.5)		175.6	175.6	175.6
サイクルタイムp2(理論値5.5)		112.5	112.5	112.5
サイクルタイムp3(理論値4.8)		115.4	115.4	115.4
サイクルタイム(理論値5.3)		127.3	127.3	127.3
平均仕掛りp1（洗浄）		382.88	382.88	382.88
平均仕掛りp1（熱処理）		28.76	28.76	28.76
平均仕掛りp1（合計）		411.64	411.64	411.64
平均仕掛りp2（洗浄）		310	310	310
平均仕掛りp2（熱処理）		39.84	39.84	39.84
平均仕掛りp2（合計）		349.84	349.84	349.84
平均仕掛りp3（洗浄）		445.14	445.14	445.14
平均仕掛りp3（熱処理）		54.08	54.08	54.08
平均仕掛りp3（合計）		499.22	499.22	499.22
平均仕掛り（全体合計）		1260.7	1260.7	1260.7
最終仕掛り		2372	2372	2372

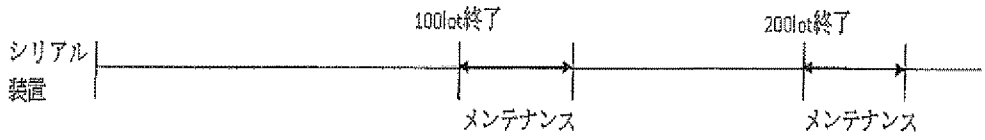
[図30]


最適指標生成装置
21
感度解析部
(性能特性)
27
開始終了
時期算出部
26
装置区分
算定部
28
JAMP最適
理論値計算部
24
感度解析部
(JAMP特性)
25
生産管理システム
10
入力部 (JAMP法)
(TMTTR(i),kMTBF(i),故障率,
修繕時間,λij,Lij,Tp(ij)*,
m(ij)*,品種-装置対応表)
22
補助入力部
(Ts((I,J),j),kp(i),
故障率,修繕時間)
23
エンジニアリング
業務システム
29
計算判定部
30c
再計算判定部
30b
変動検出部
30a
計算判定指示モジュール
30
#1
生産工程
5
装置群 (処理工程)

[図31]

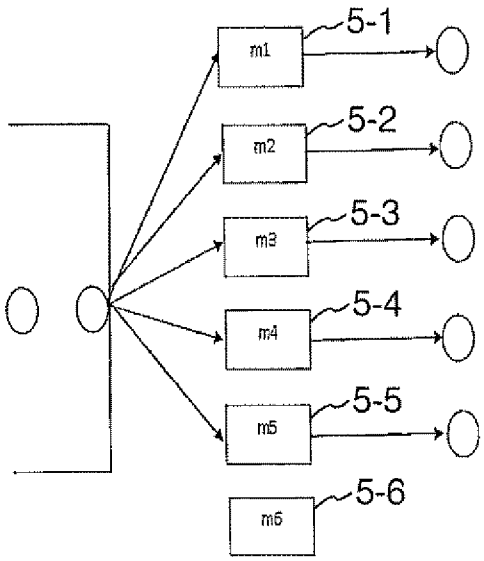

ロット・シングルタスク型装置
5b
: ロット

[図32]



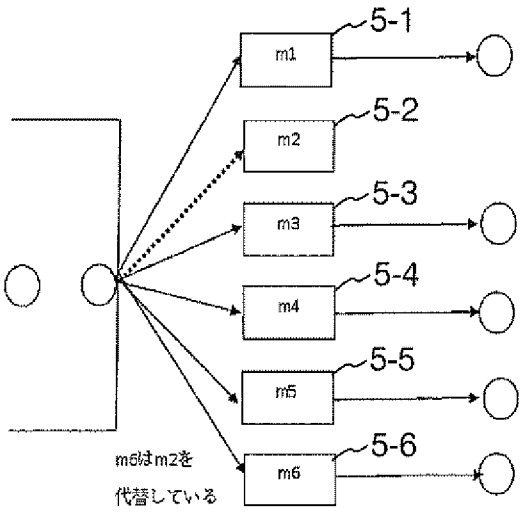
定量メンテナンス例

[図33]



通常時(m1~m5)

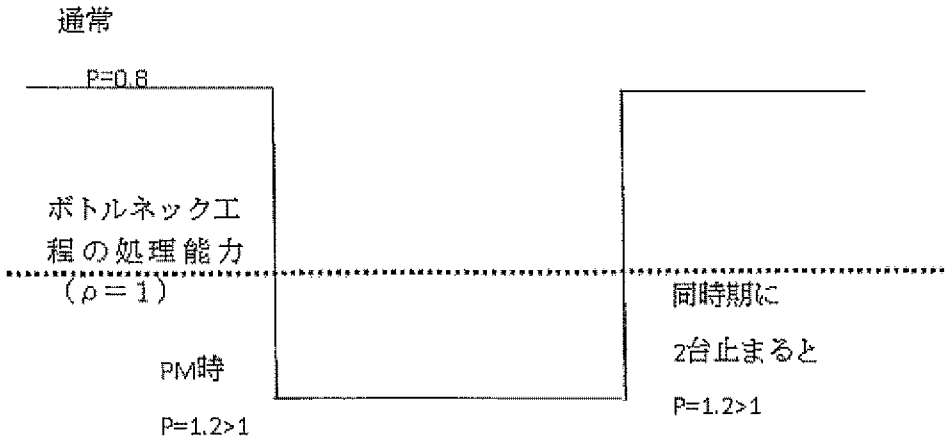
[図34]



m6 が m2 を代替するとき

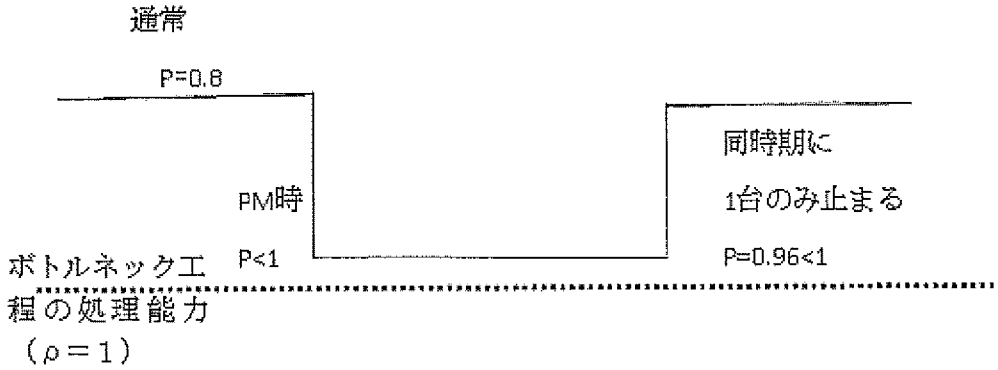
(WIP2 以外 m1, m3, m4, m5, m6)

[図35]

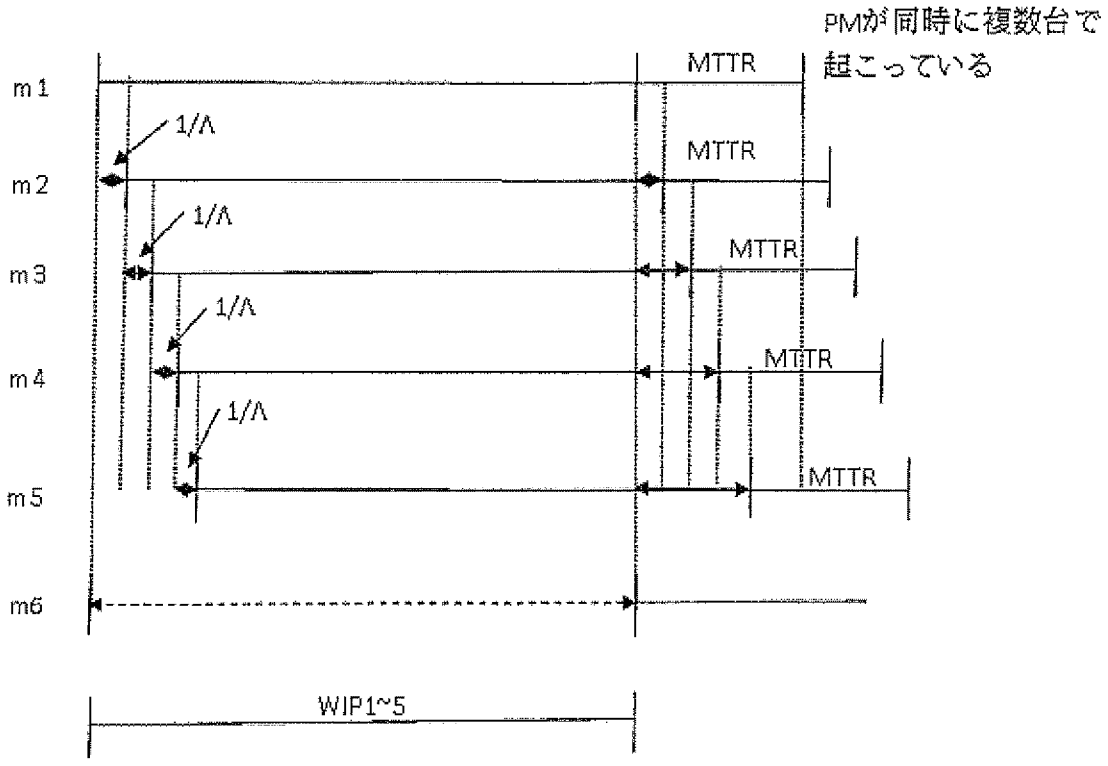


同時期に２台以上のPMが起こる場合

[図36]

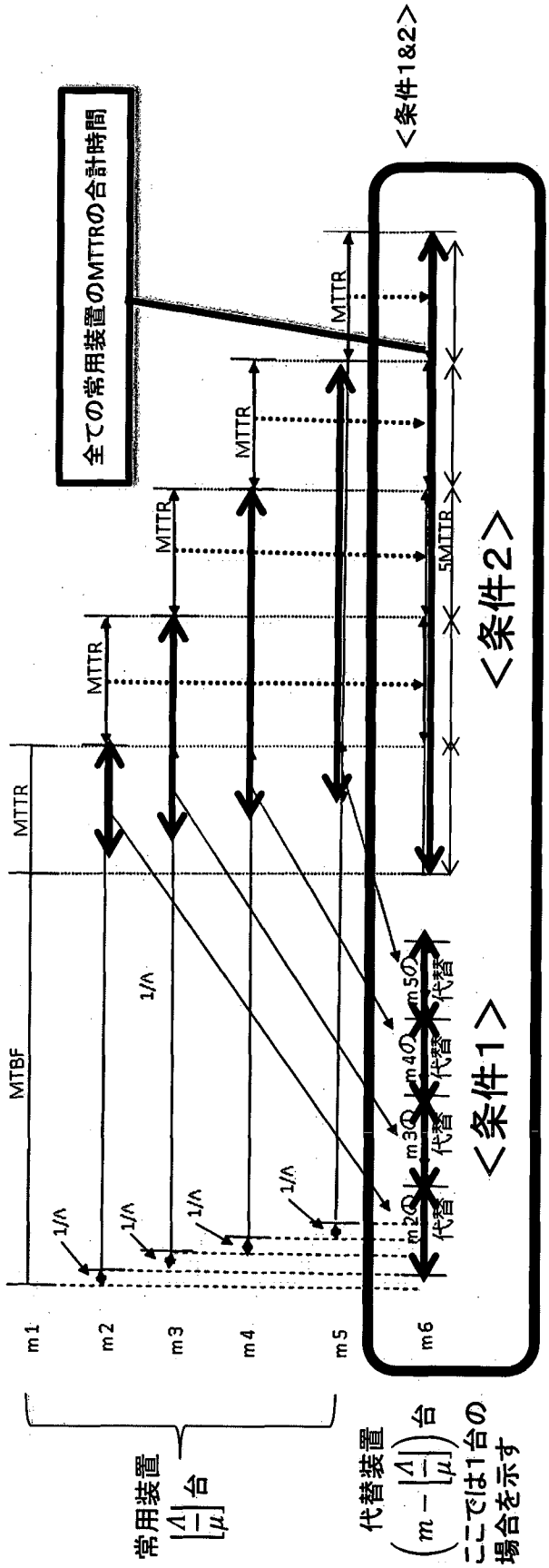


[図37]

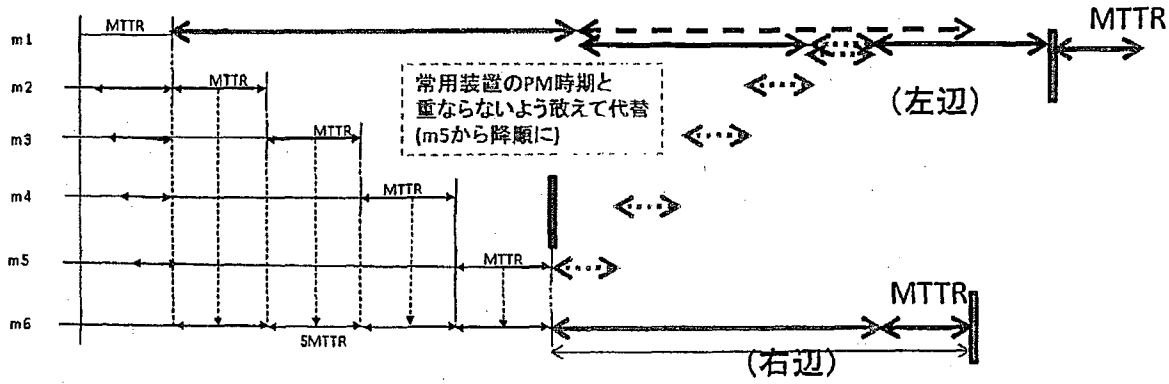


単純な並列処理の図

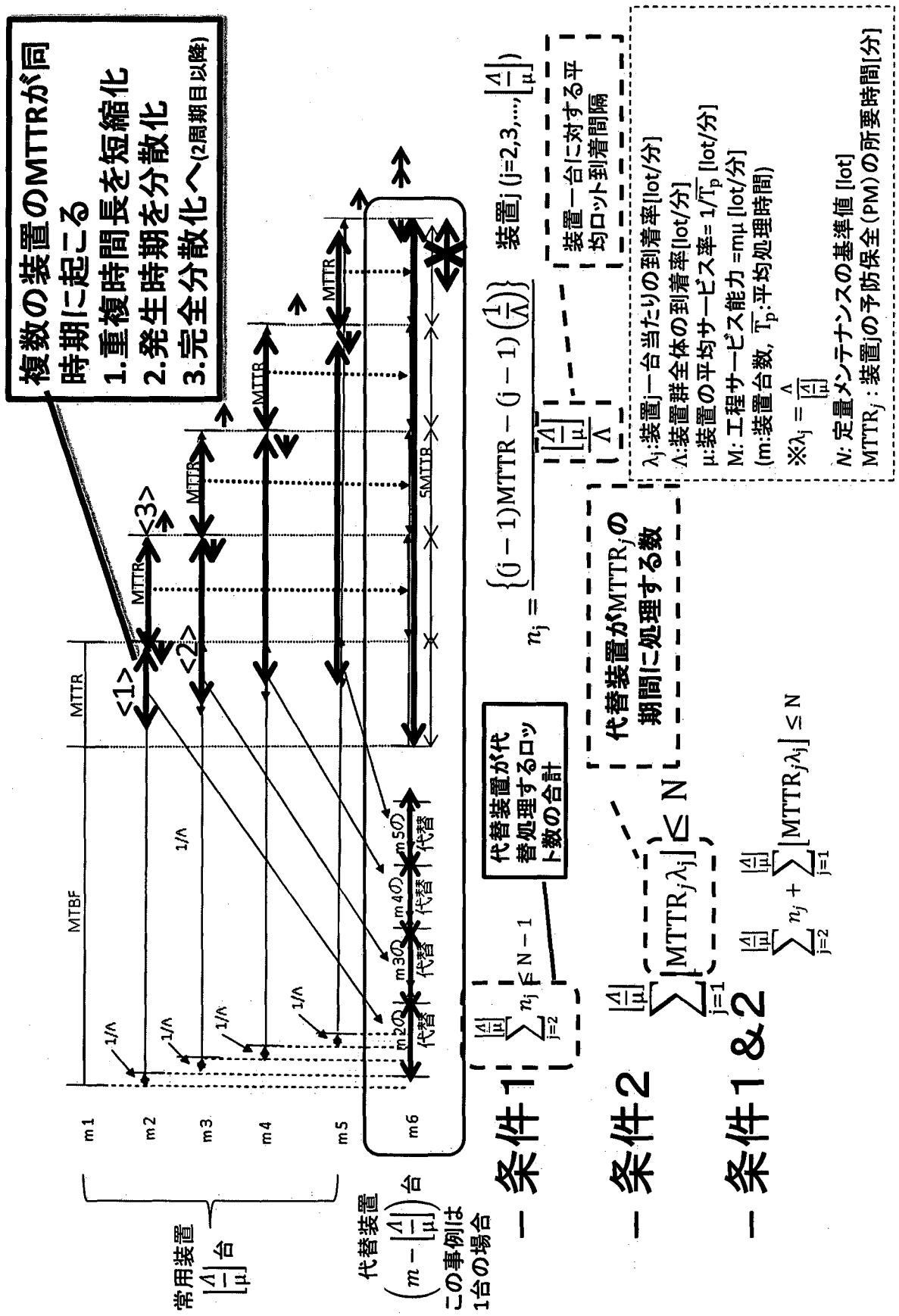
[図 38]


全ての常用装置のMTTRの合計時間
<条件1&2>
<条件2>
<条件1>
MTTR
5MTTR
MTBF
1/λ
代替
m1
m2
m3
m4
m5
m6
常用装置 $\left\lfloor \frac{\lambda}{\mu} \right\rfloor$ 台
代替装置 $\left(m - \left\lfloor \frac{\lambda}{\mu} \right\rfloor\right)$ 台
ここでは1台の場合を示す

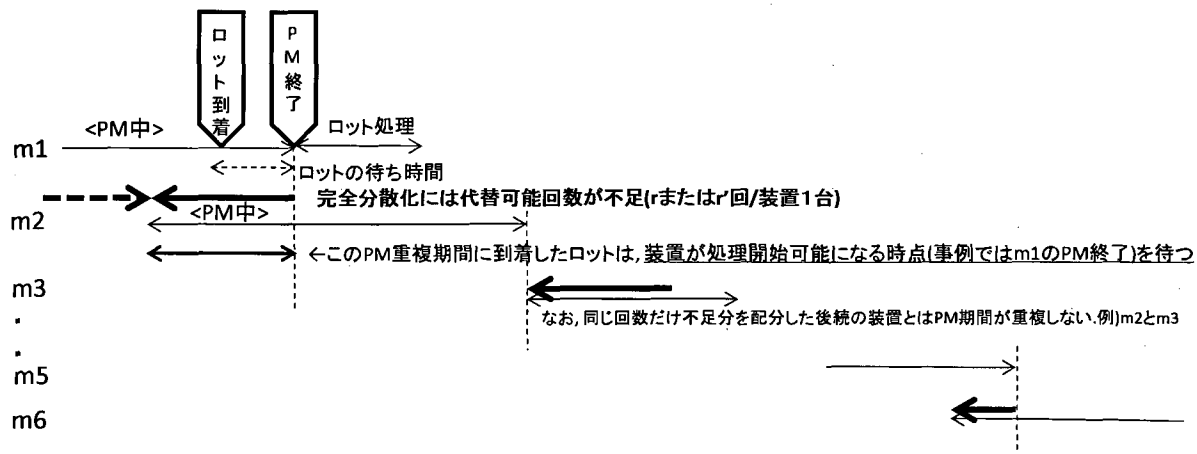
[図 39]


m1
m2
m3
m4
m5
m6
MTTR
MTTR
MTTR
MTTR
MTTR
MTTR
5MTTR
常用装置のPM時期と
重ならないよう敢えて代替
(m5から降順に)
(左辺)
(右辺)

[図 40]

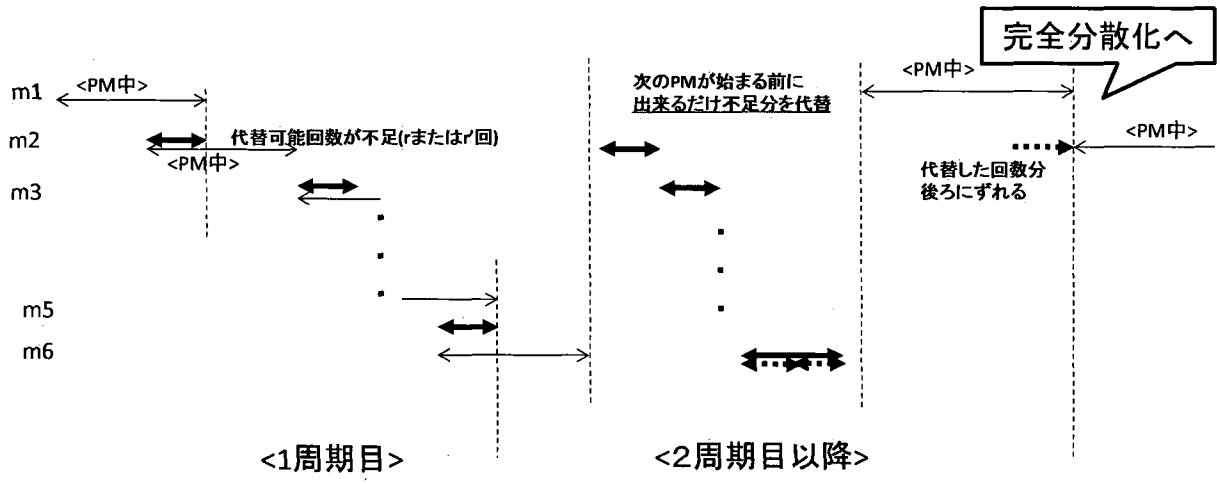

複数の装置のMTTRが同時期に起こる
1.重複時間長を短縮化
2.発生時期を分散化
3.完全分散化へ(2周期目以降)
MTTR
MTBF
1/Λ
<1>
<2>
<3>
SMTTR
m1
m2
m3
m4
m5
m6
常用装置 $\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor$ 台
代替装置 $\left(m - \left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor\right)$ 台
この事例は1台の場合
代替装置が代替処理するロット数の合計
$n_j = \frac{\{(j-1)\mathrm{MTTR} - (j-1)\left(\frac{1}{\Lambda}\right)\}}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor}$ 装置j (j=2,3,...,$\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor$)
装置一台に対する平均ロット到着間隔 $\frac{1}{\Lambda}$
代替装置がMTTR$_j$の期間に処理する数
λ_j:装置j一台当たりの到着率[lot/分]
Λ:装置群全体の到着率[lot/分]
μ:装置の平均サービス率= $1/\overline{T_p}$ [lot/分]
M: 工程サービス能力 =mμ [lot/分]
(m:装置台数, $\overline{T_p}$:平均処理時間)
※$\lambda_j = \frac{\Lambda}{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor}$
N: 定量メンテナンスの基準値 [lot]
MTTR$_j$: 装置jの予防保全(PM)の所要時間[分]
－条件1 $\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j \leq N-1$
－条件2 $\sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \rfloor \leq N$
－条件1&2 $\sum_{j=2}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} n_j + \sum_{j=1}^{\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor} \lfloor \mathrm{MTTR}_j \lambda_j \rfloor \leq N$

[図 41]



1周期で完全分散化できない場合の装置運用指針2

[図 42]



1周期で完全分散化できない場合の装置運用指針3

[図 43]

モデルの設定値表

シナリオ No.	品種数	装置台数	平均処理時間	平均トラフィック強度	MTTR	PM 指針 lot 数
S1	1	6	220	0.8	300	100
S2	1	6	220	0.8	1380	100
S3	1	6	220	0.8	1440	100

[図44]

JAMP における代替回数設定表

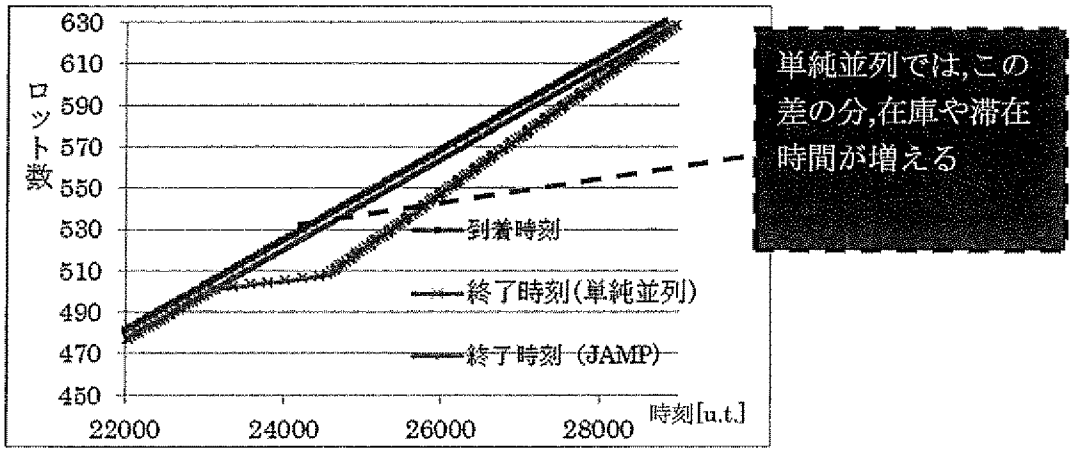
	代替回数の下限[回]					JAMPにおける代替回数設定表		
シナリオ番号	1台目 m1	2台目 m2	3台目 m3	4台目 m4	5台目 m5	6台目がm1のPM開始前にm1~m5の処理を代替する回数の合計	6台目がSMTTRの期間に処理する数 (2周期目以降はこの回数)	1周期を終了するまでの6台目の代替処理回数
S1	0	2	4	6	8	20	10	30
S2	0	6	12	18	24	60	35	95
S3	0	7	14	21	28	70	35	105*

[図45]

単純並列ルールと JAMP ルールの比較

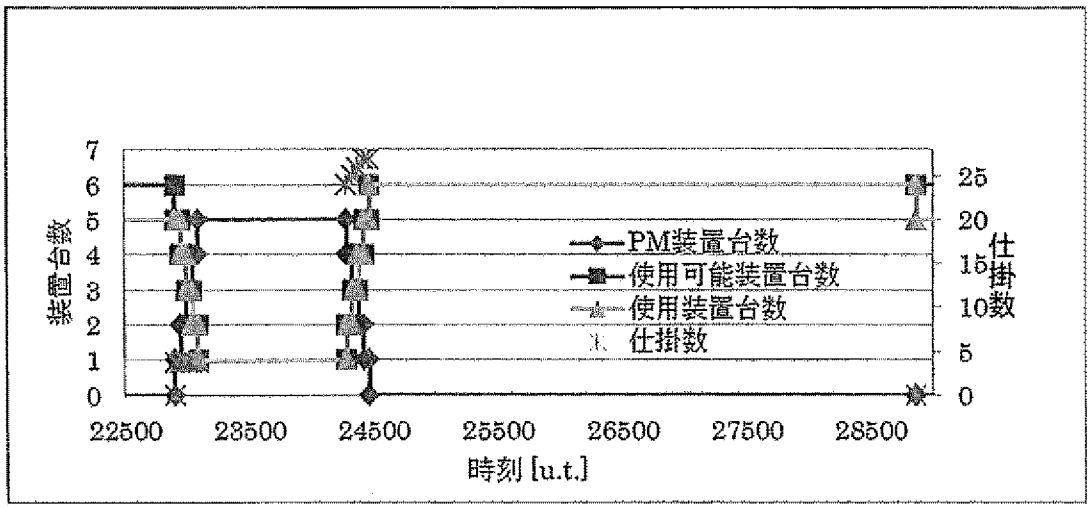
シナリオ番号	ルール	待ち時間の総計[分]	待ちロット数[lot]	Q-time制約を超過したロット数[lot]
S1	単純並列	22672.5	180	0
	JAMP	0	0	0
S2	単純並列	197437.5	375	126
	JAMP	0	0	0
S3	単純並列	287150.0	516	188
	JAMP	20.8	3	0

[図46]



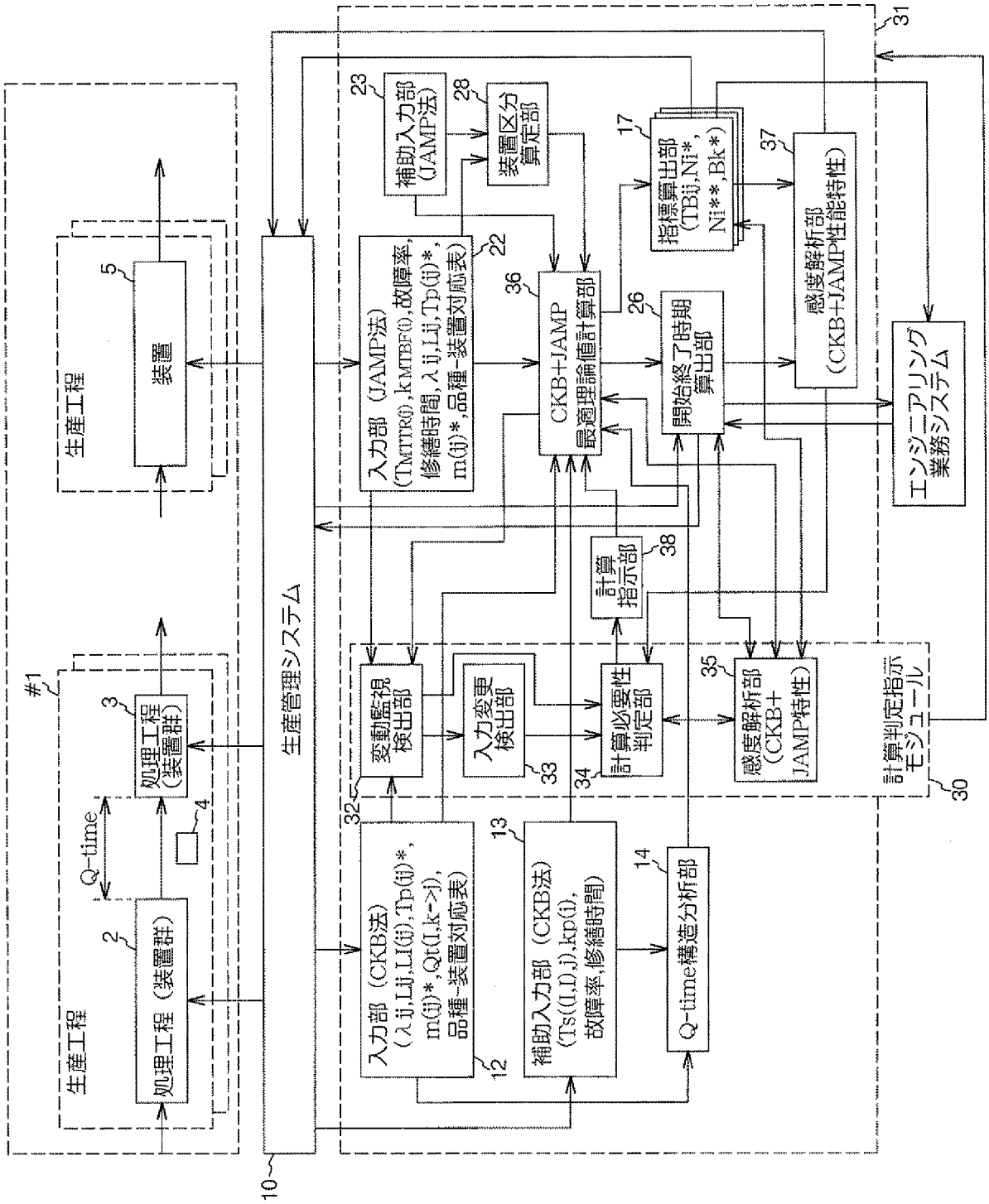
ロットの到着と退去の時刻（JAMP 法と単純並列ルールの比較）

[図47]

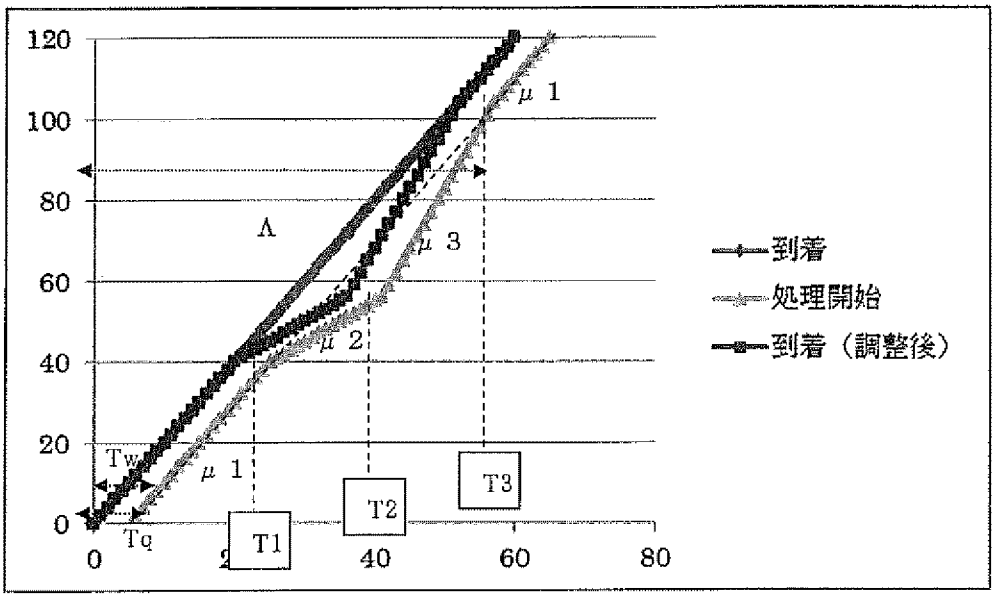


装置台数の稼働状況の変動 (単純並列 MTTR=1380[分]の場合)

[図48]

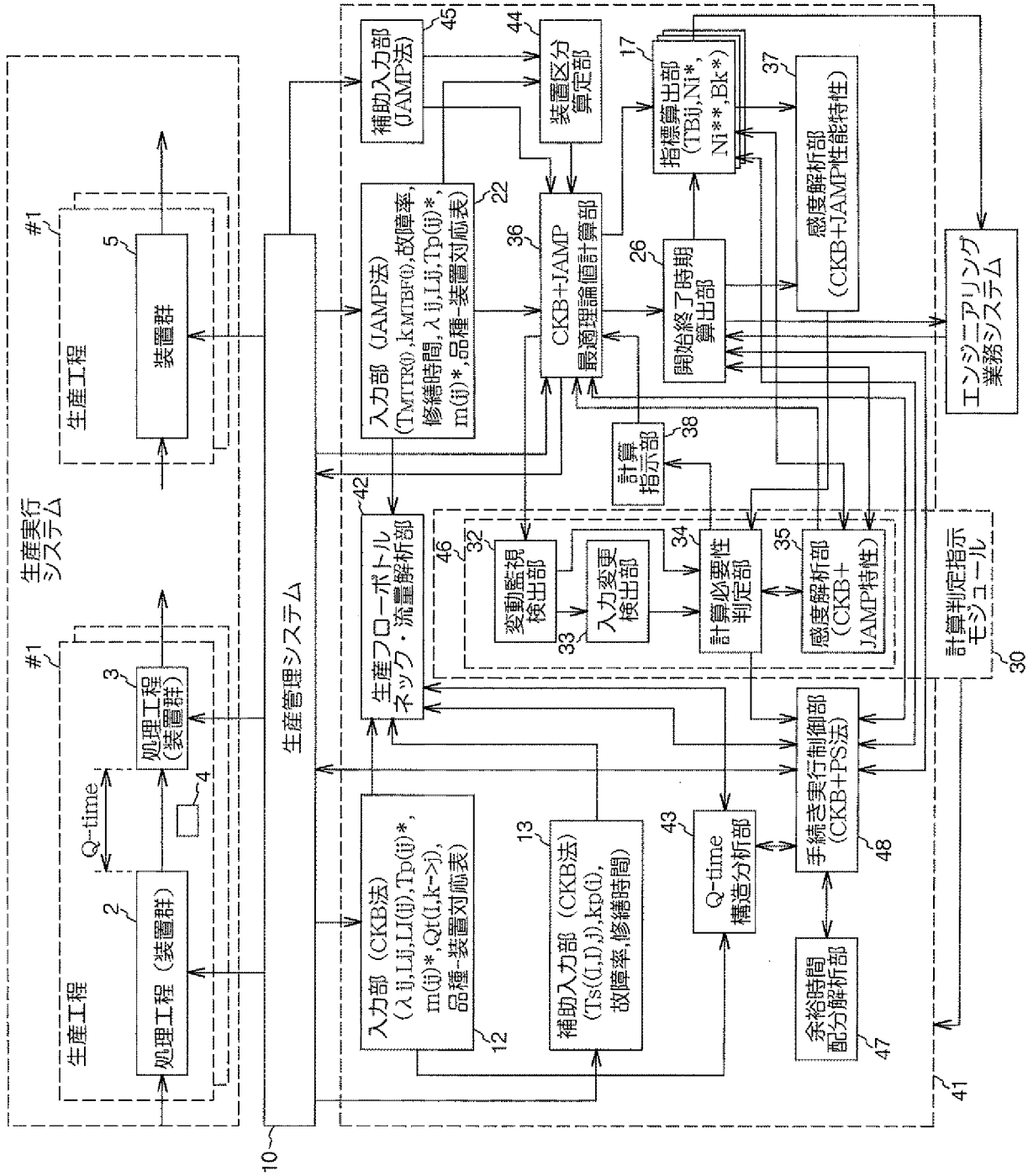

#1
生産工程
処理工程（装置群）
2
Q-time
4
処理工程（装置群）
3
生産工程
装置
5
生産管理システム
10
入力部（CKB法）
（λij,Lij,Li(ij),Tp(ij)*,
m(ij)*,Qt(I,k->j),
品種-装置対応表）
12
補助入力部（CKB法）
（Ts((I,J),j),kp(i),
故障率,修繕時間）
13
Q-time構造分析部
14
変動監視検出部
32
入力変更検出部
33
計算必要性判定部
34
感度解析部（CKB+JAMP特性）
35
計算判定指示モジュール
30
計算指示部
38
CKB+JAMP最適理論値計算部
36
入力部（JAMP法）
（TMTTR(i),kMTBF(i),故障率,
修繕時間,λij,Lij,Tp(ij)*,
m(ij)*,品種-装置対応表）
22
補助入力部（JAMP法）
23
装置区分算定部
28
開始終了時期算出部
26
指標算出部
（TBij,Ni*,
Ni**,Bk*）
17
感度解析部（CKB+JAMP性能特性）
37
エンジニアリング業務システム
31

[図49]

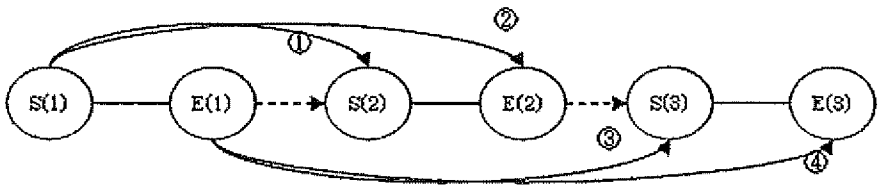


CKB+JAMP法の説明用

[図50]


生産実行システム
#1
生産工程
処理工程（装置群）
2
Q-time
処理工程（装置群）
3
4
#1
生産工程
装置群
5
生産管理システム
10
入力部（CKB法）
(λij,Lij,LI(ij),Tp(ij)*,
m(ij)*,Qt(i,k->j),
品種-装置対応表)
12
補助入力部（CKB法）
(Ts((i,I),j),kp(i),
故障率,修繕時間)
13
生産フローボトルネック・流量解析部
42
46
変動監視検出部
32
33
入力変更検出部
34
計算必要性判定部
35
感度解析部（CKB+JAMP特性）
Q-time構造分析部
43
手続き実行制御部（CKB+PS法）
48
余裕時間配分解析部
47
41
入力部（JAMP法）
(TMTTR(i),kMTBF(i),故障率,
修繕時間,λij,Lij,Tp(ij)*,
m(ij)*,品種-装置対応表)
22
補助入力部（JAMP法）
45
装置区分算定部
44
CKB+JAMP最適理論値計算部
36
計算指示部
38
指標算出部
(TBij,Ni*,
Ni**,Bk*)
17
開始終了時期算出部
26
感度解析部
(CKB+JAMP性能特性)
37
エンジニアリング業務システム
計算判定指示モジュール
30

[図51]

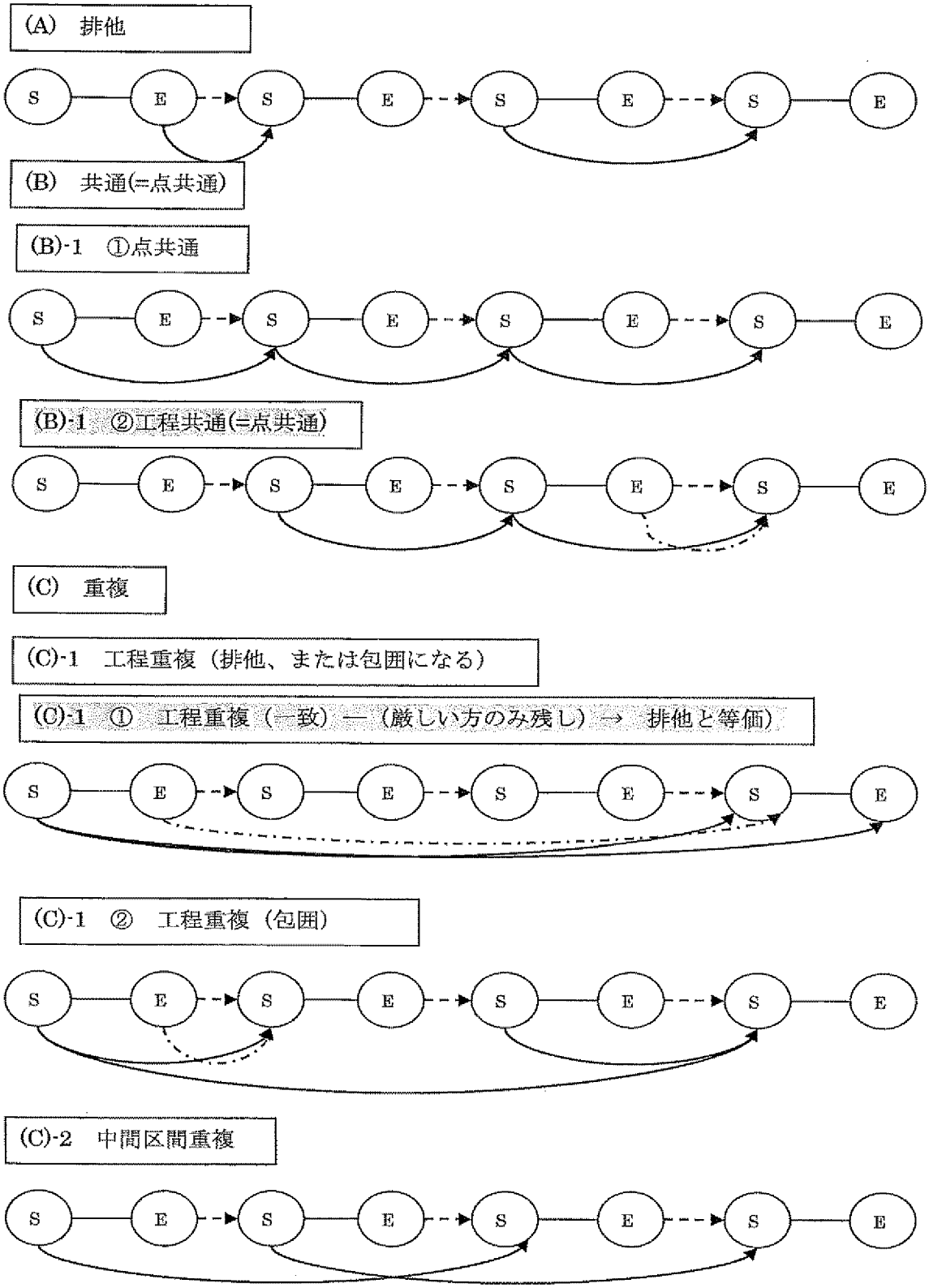


時間制約を構成するノード対の違い:
時間制約の始点 ss, 終点 ee とし、ある工程 i での処理の開始イベントを S(i), 終了イベントを E(i)とすると、時間制約[ss,ee]は、以下の 4 つの組み合わせになる。それぞれの組み合わせによって、時間制約中に含まれる工程（処理時間）が異なることに留意する。

		ee	
		S(j)	E(j)
Ss	S(i)	[S(i), S(j)] 図中①	[S(i), E(j)] 図中②
	E(i)	[E(i), S(j)] 図中③	[E(i), E(j)] 図中④

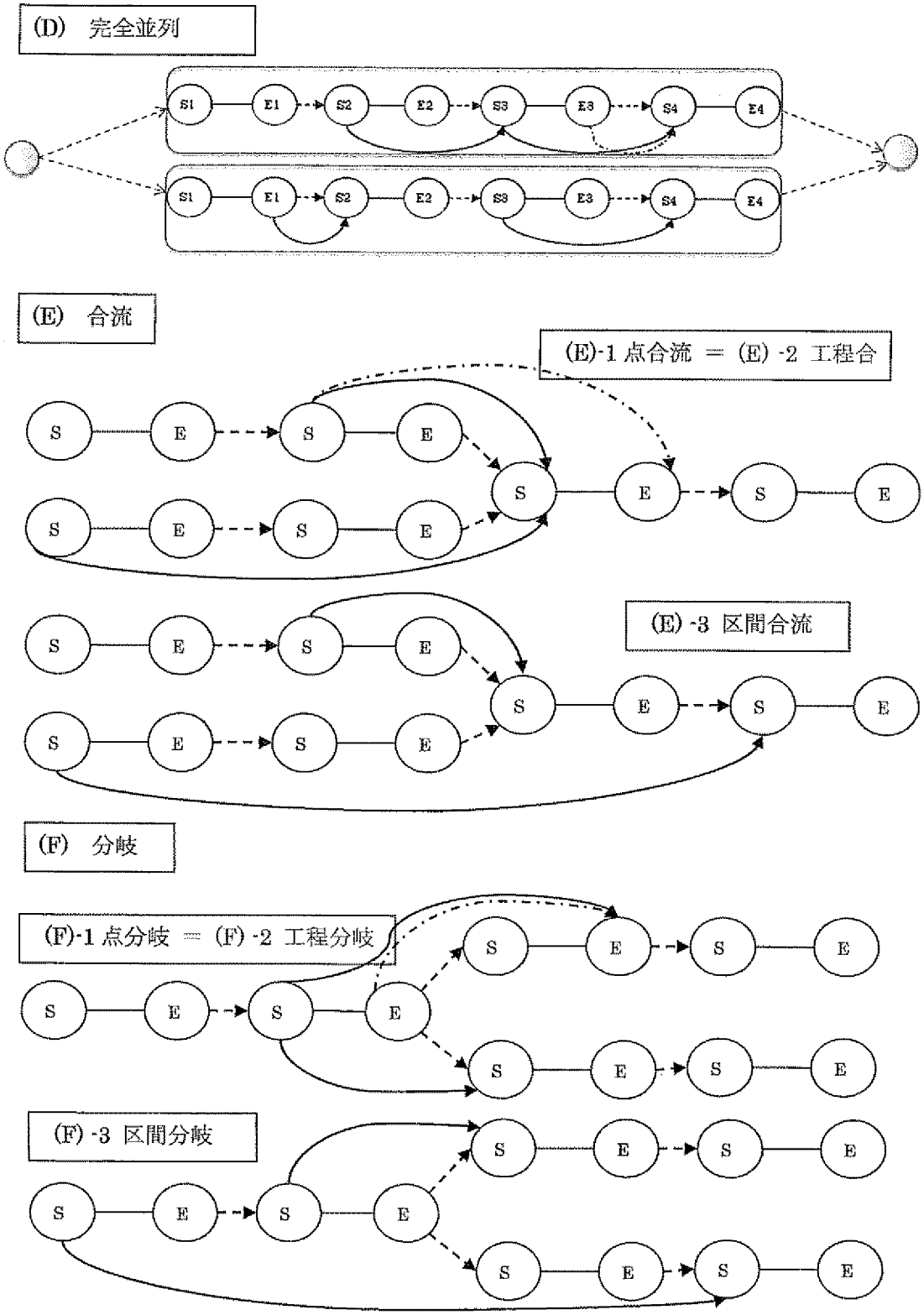
Q-time 制約の種類: 技術的に制御可能なのは処理開始時点のみであるため Q-time 制約の始点を処理開始イベントになるように変換（構造定義の前処理）.

[図52]



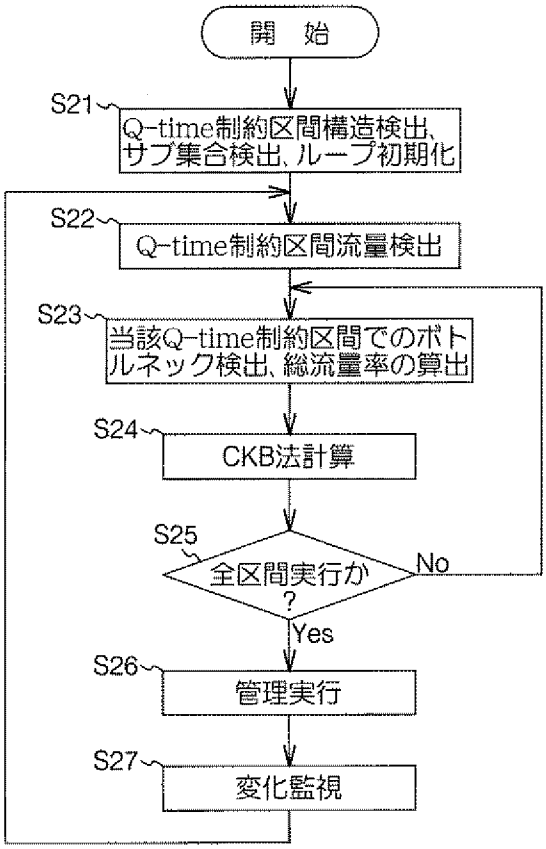
Q-time制約の構造（直列型４種：(A)、(B) -1①、(C) -1②、(C) -2 ）

[図53]

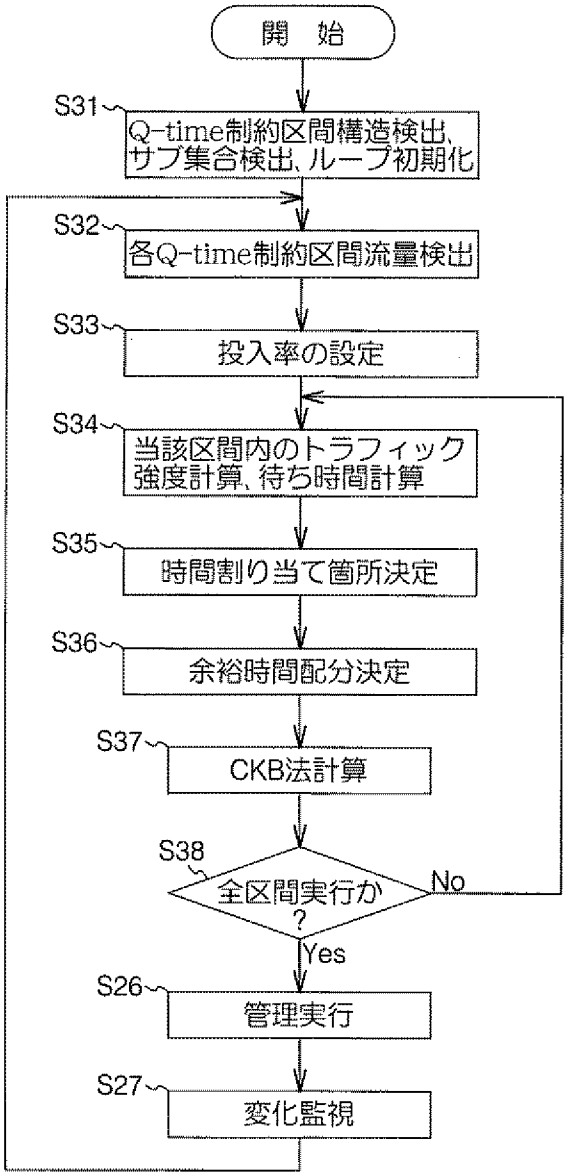


Q-time 制約の構造（並列型 5 種：(D)，(E)-1，(E)-3，(F)-1，(F)-3 ）

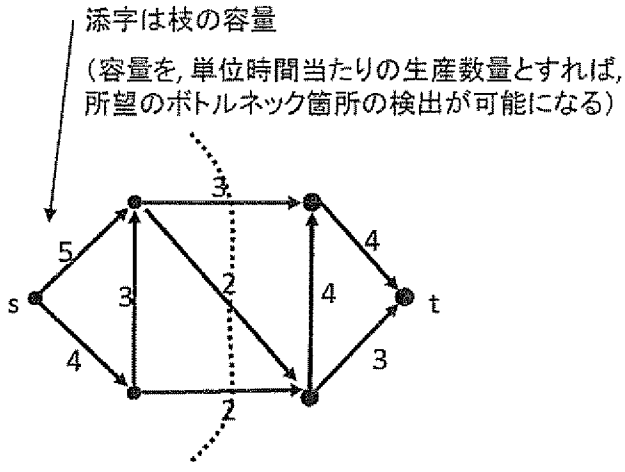
[図54]


開　始
S21
Q-time制約区間構造検出、
サブ集合検出、ループ初期化
S22
Q-time制約区間流量検出
S23
当該Q-time制約区間でのボト
ルネック検出、総流量率の算出
S24
CKB法計算
S25
全区間実行か
？
No
Yes
S26
管理実行
S27
変化監視

[図55]

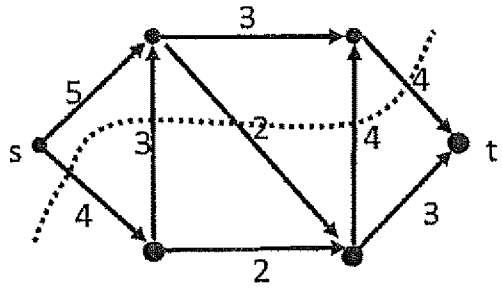


[図56]

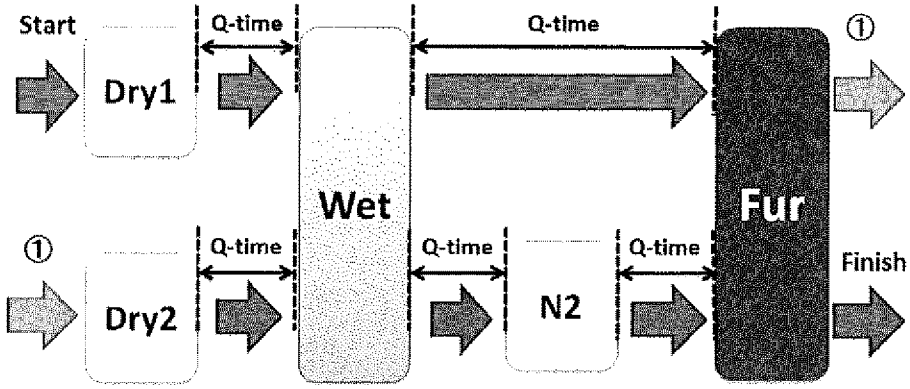


並列ネットワークフロー

[図57]



[図58]



	1st Dry	1st Wet	1st Fur	2nd Dry	2nd Wet	N2	2nd Fur
Capacity	16	8	27	16	share	40	share
Raw Processing Time[minutes]	60	45	390	45	45	30	405
Batch Size[lot]	1	2	4	1	2	1	4

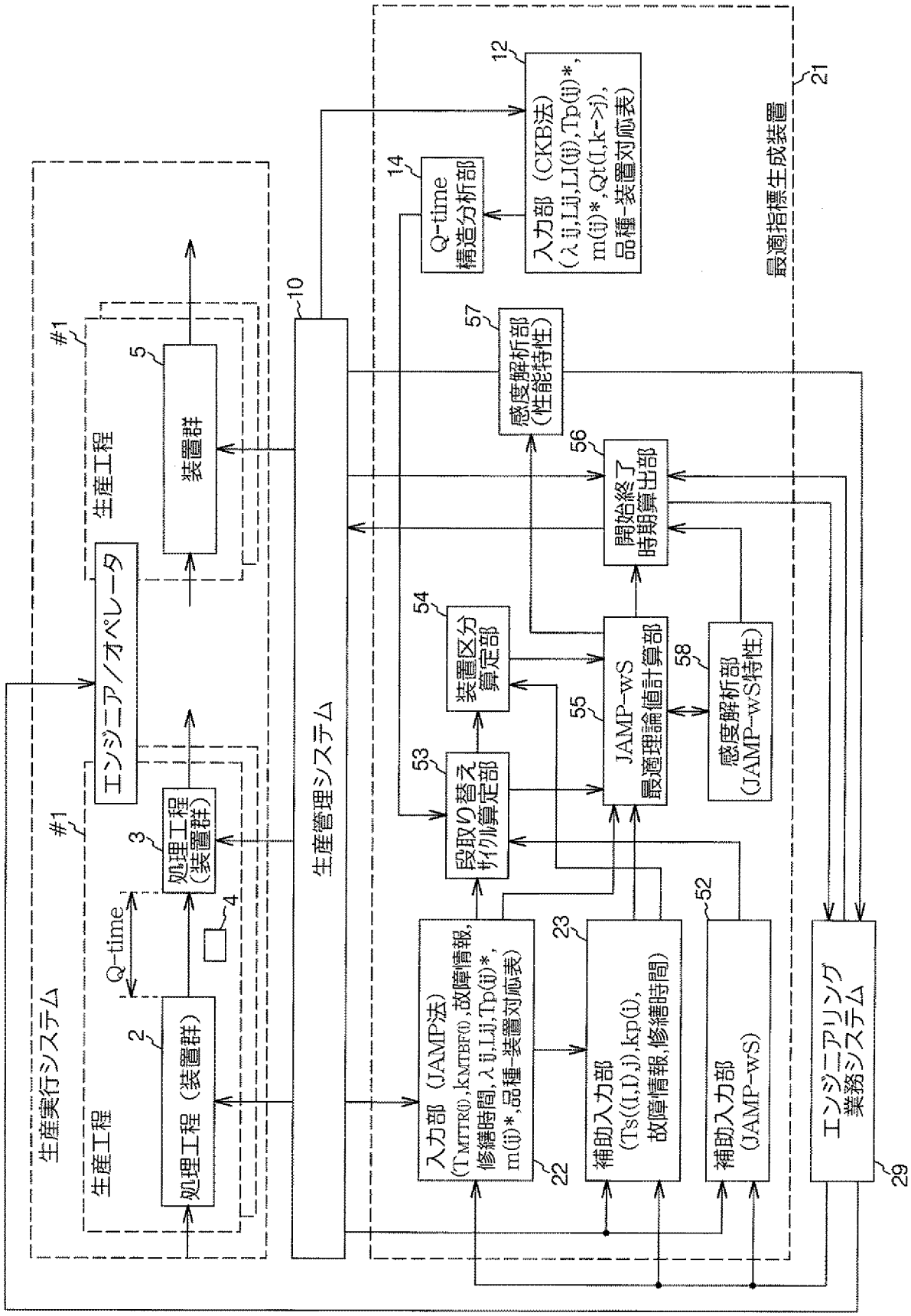
Q-Time[minutes]		360	150		300	30	90	
Transport Time[minutes]		30	15	15	15	15	15	

※搬送時間は、Dry1－Wet間では30分，その他の工程区間では１５分

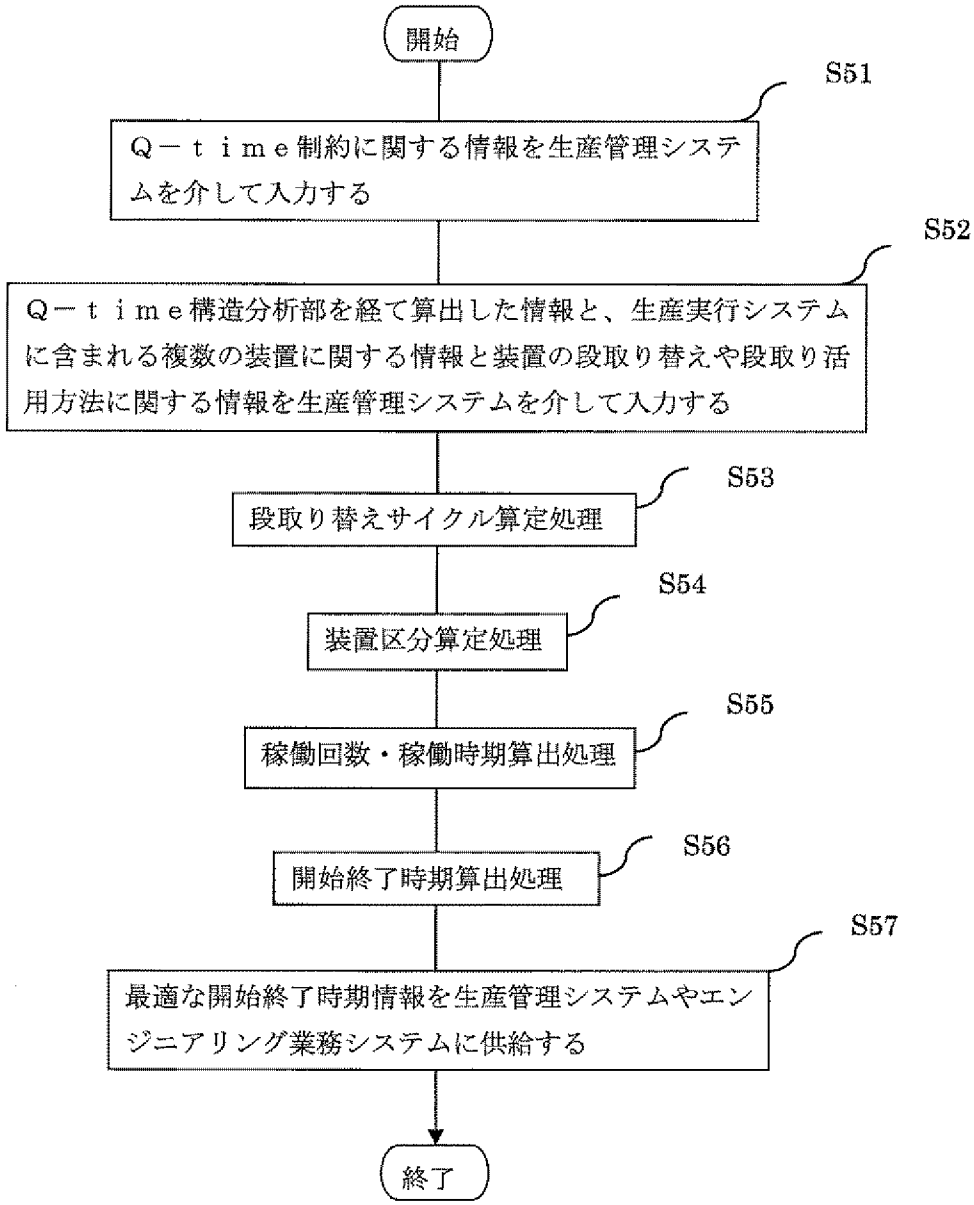
[図59]

	Wait timeの削減	生産率の増加
定期投入	約80%	1.17%
ポアソン到着	約60%	0.18%

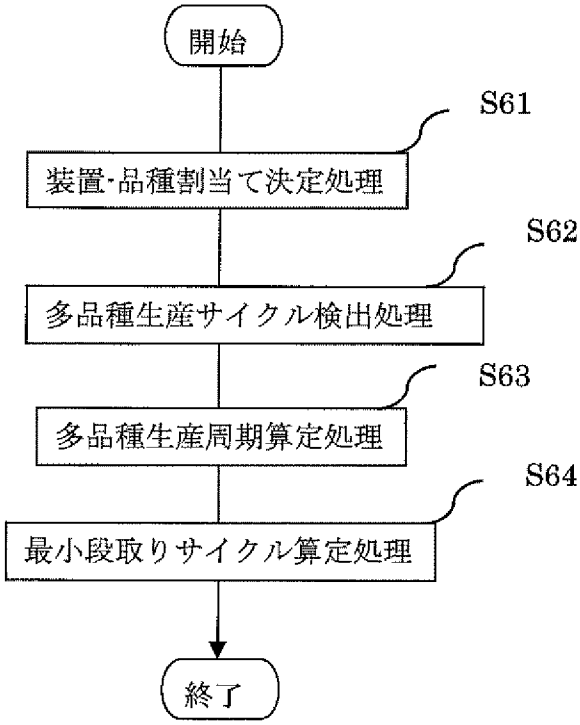
[図60]


生産実行システム
生産工程
#1
処理工程（装置群）
2
Q-time
4
処理工程
(装置群)
3
エンジニア／オペレータ
生産工程
#1
装置群
5
生産管理システム
10
最適指標生成装置
21
Q-time
構造分析部
14
入力部（CKB法）
(λij,Lij,LI(ij),Tp(ij)*,
m(ij)*,Qt(I,k->j),
品種-装置対応表)
12
感度解析部
(性能特性)
57
開始終了
時期算出部
56
装置区分
算定部
54
段取り替え
サイクル算定部
53
JAMP-wS
最適理論値計算部
55
感度解析部
(JAMP-wS特性)
58
入力部（JAMP法）
(TMTTR(i),kMTBF(i),故障情報,
修繕時間,λij,Lij,Tp(ij)*,
m(ij)*,品種-装置対応表)
22
補助入力部
(Ts((I,I),j),kp(i),
故障情報,修繕時間)
23
補助入力部
(JAMP-wS)
52
エンジニアリング
業務システム
29

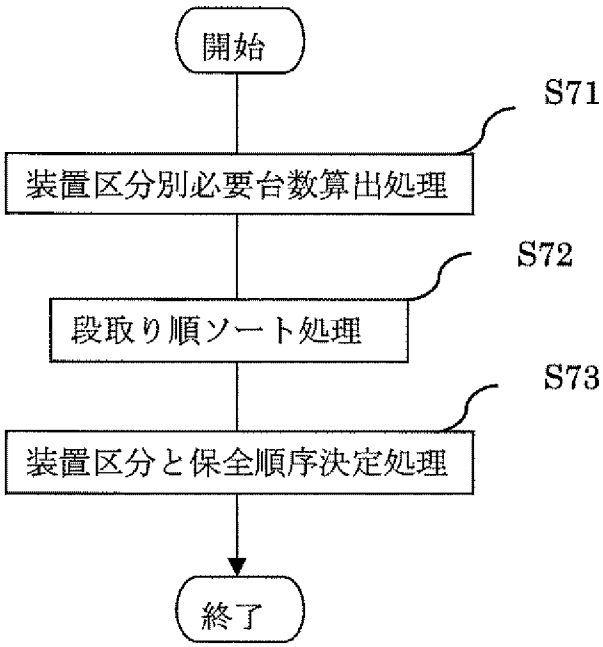
[図61]


開始
S51
Ｑ－ｔｉｍｅ制約に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S52
Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析部を経て算出した情報と、生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報と装置の段取り替えや段取り活用方法に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S53
段取り替えサイクル算定処理
S54
装置区分算定処理
S55
稼働回数・稼働時期算出処理
S56
開始終了時期算出処理
S57
最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給する
終了

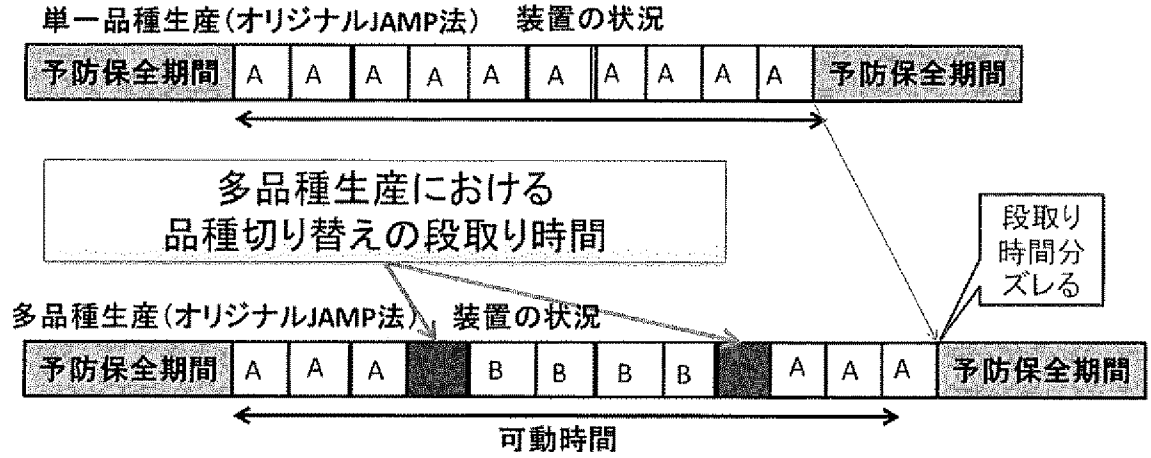
[図62]


開始
S61
装置・品種割当て決定処理
S62
多品種生産サイクル検出処理
S63
多品種生産周期算定処理
S64
最小段取りサイクル算定処理
終了

[図63]


開始
S71
装置区分別必要台数算出処理
S72
段取り順ソート処理
S73
装置区分と保全順序決定処理
終了

[図64]

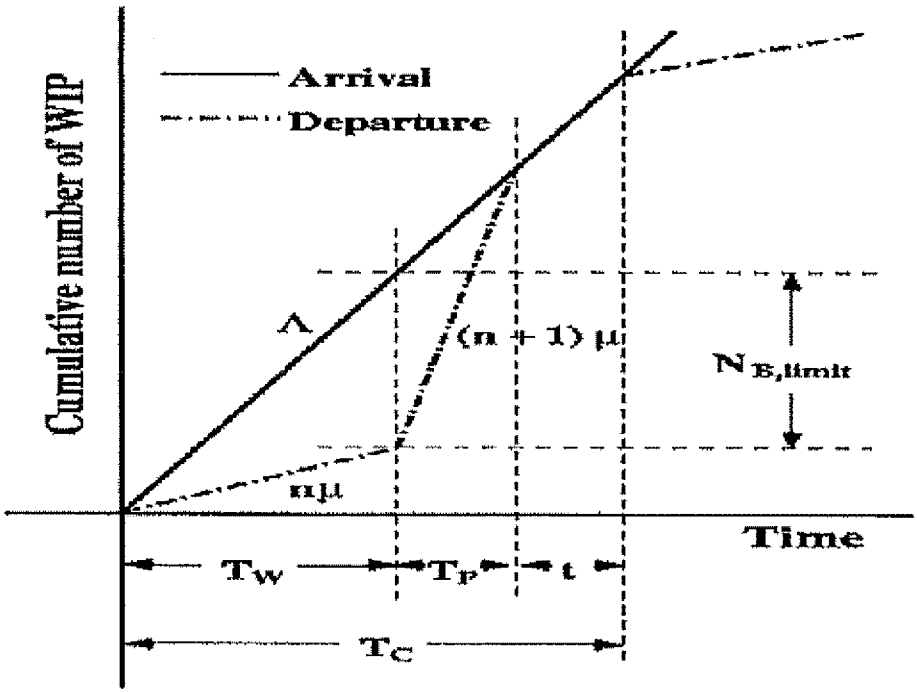


課題2：　段取り時間の低減と見積り、不可避な段取り時間の活用

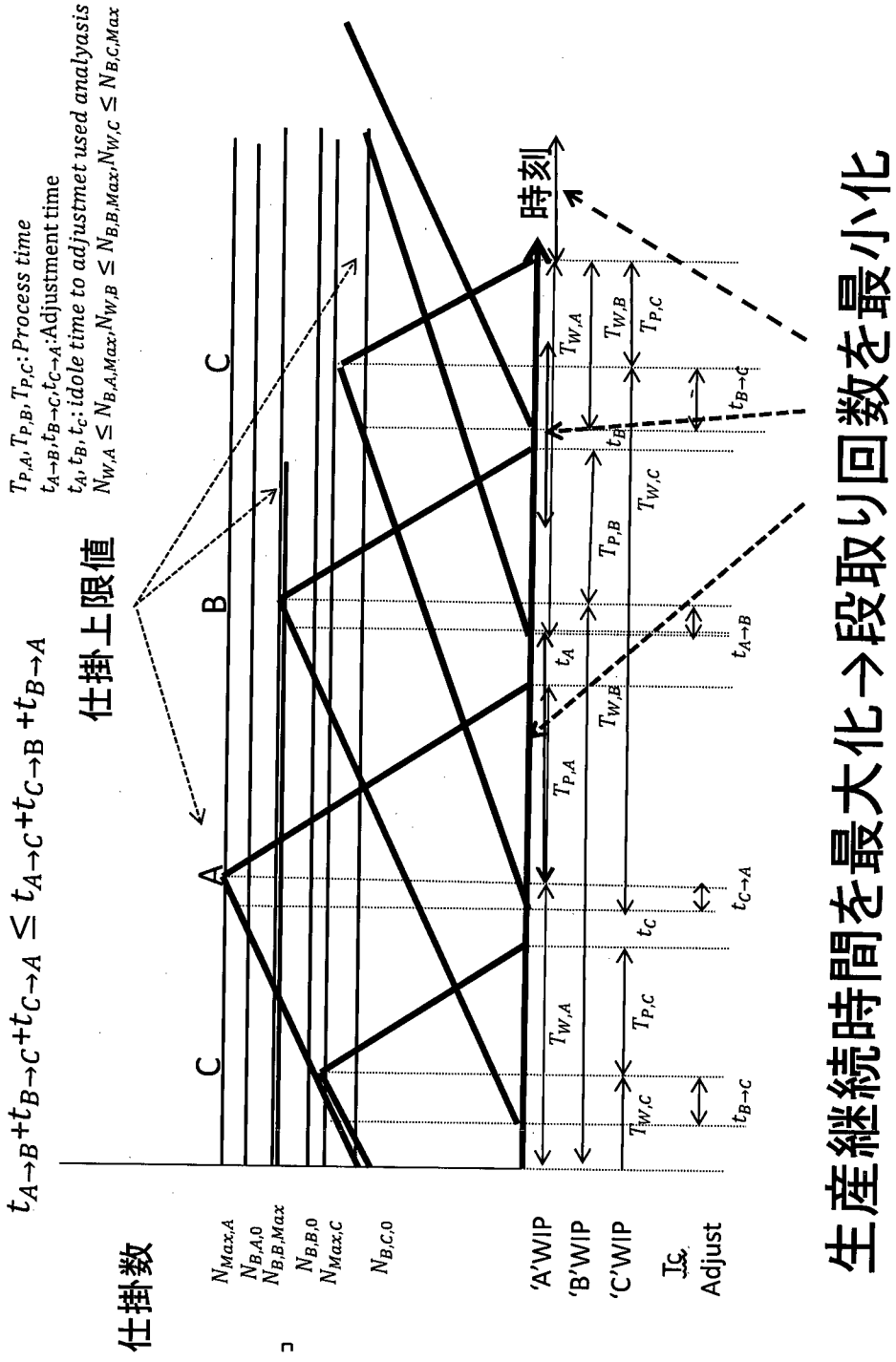
常用装置j(j＝1,…, $\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor$)において，　MTBF(j) = MTBF+Ts(j)

常用装置j(j＝2,…, $\left\lfloor \frac{\Lambda}{\mu} \right\rfloor$)において，　$n_j = \left\{ (j-1)MTTR_j - (j-1)\left(\frac{1}{\Lambda}\right) + T_S(1) - T_S(j) \right\} \times \lambda_j$

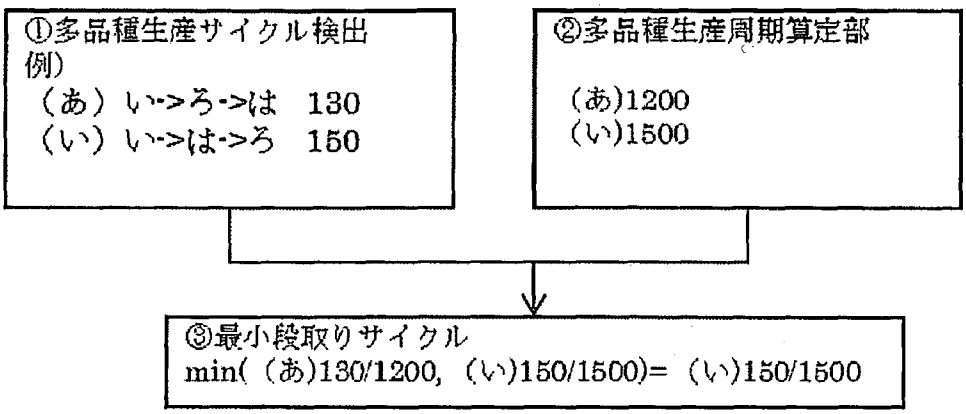
[図65]



[図 66]


$t_{A\to B}+t_{B\to C}+t_{C\to A} \leq t_{A\to C}+t_{C\to B}+t_{B\to A}$
$T_{P,A}, T_{P,B}, T_{P,C}$: Process time
$t_{A\to B}, t_{B\to C}, t_{C\to A}$: Adjustment time
t_A, t_B, t_C: idole time to adjustmet used analysis
$N_{W,A} \leq N_{B,A,Max}, N_{W,B} \leq N_{B,B,Max}, N_{W,C} \leq N_{B,C,Max}$
仕掛上限値
時刻
仕掛数
$N_{Max,A}$
$N_{B,A,0}$
$N_{B,B,Max}$
$N_{B,B,0}$
$N_{Max,C}$
$N_{B,C,0}$
'A'WIP
'B'WIP
'C'WIP
Adjust
A
B
C
$T_{W,A}$
$T_{W,B}$
$T_{W,C}$
$T_{P,A}$
$T_{P,B}$
$T_{P,C}$
t_A
t_B
t_C
$t_{A\to B}$
$t_{B\to C}$
$t_{C\to A}$
生産継続時間を最大化→段取り回数を最小化

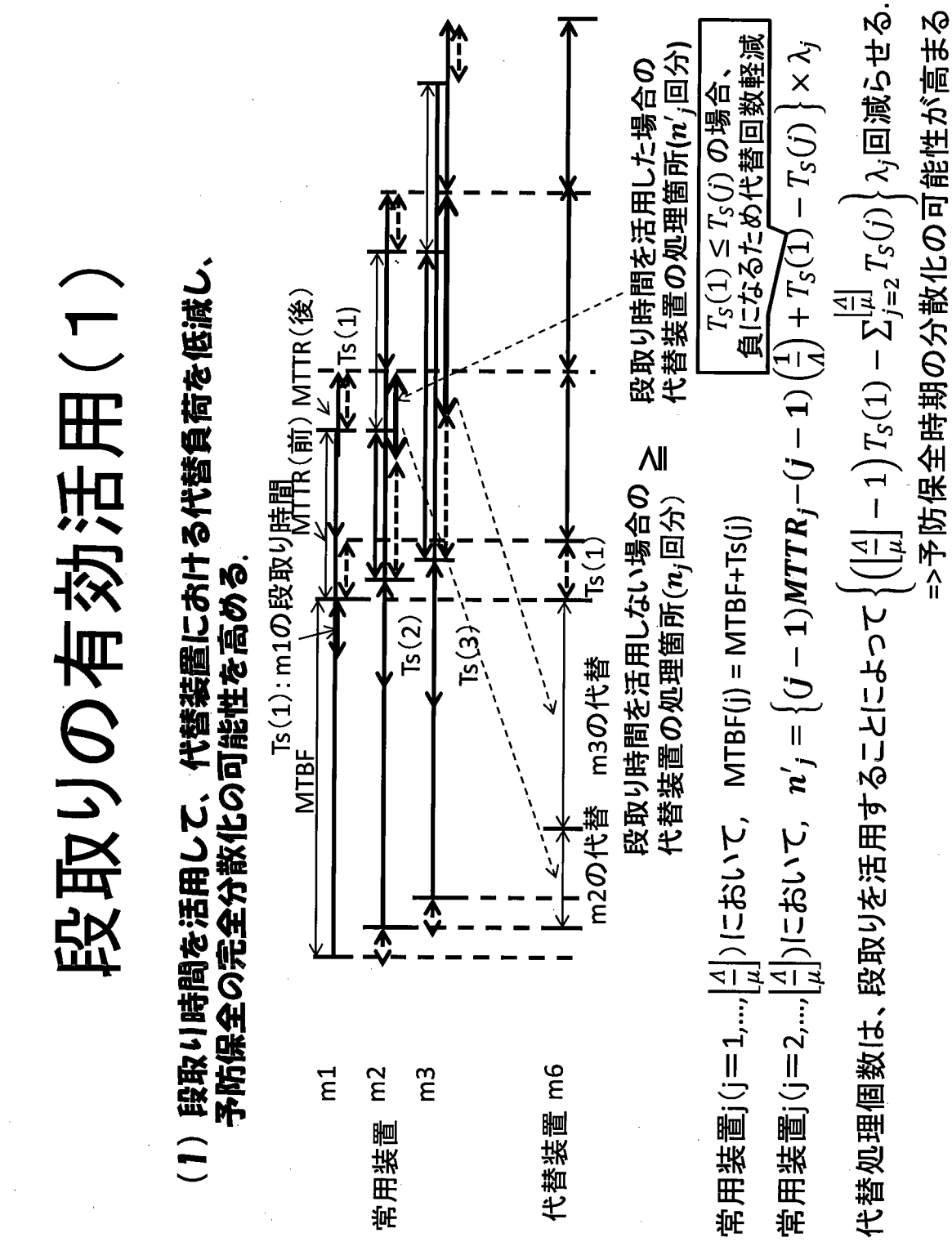
[図 67]


①多品種生産サイクル検出
例)
（あ）い->ろ->は 130
（い）い->は->ろ 150
②多品種生産周期算定部
(あ)1200
(い)1500
③最小段取りサイクル
min(（あ)130/1200, (い)150/1500)= (い)150/1500

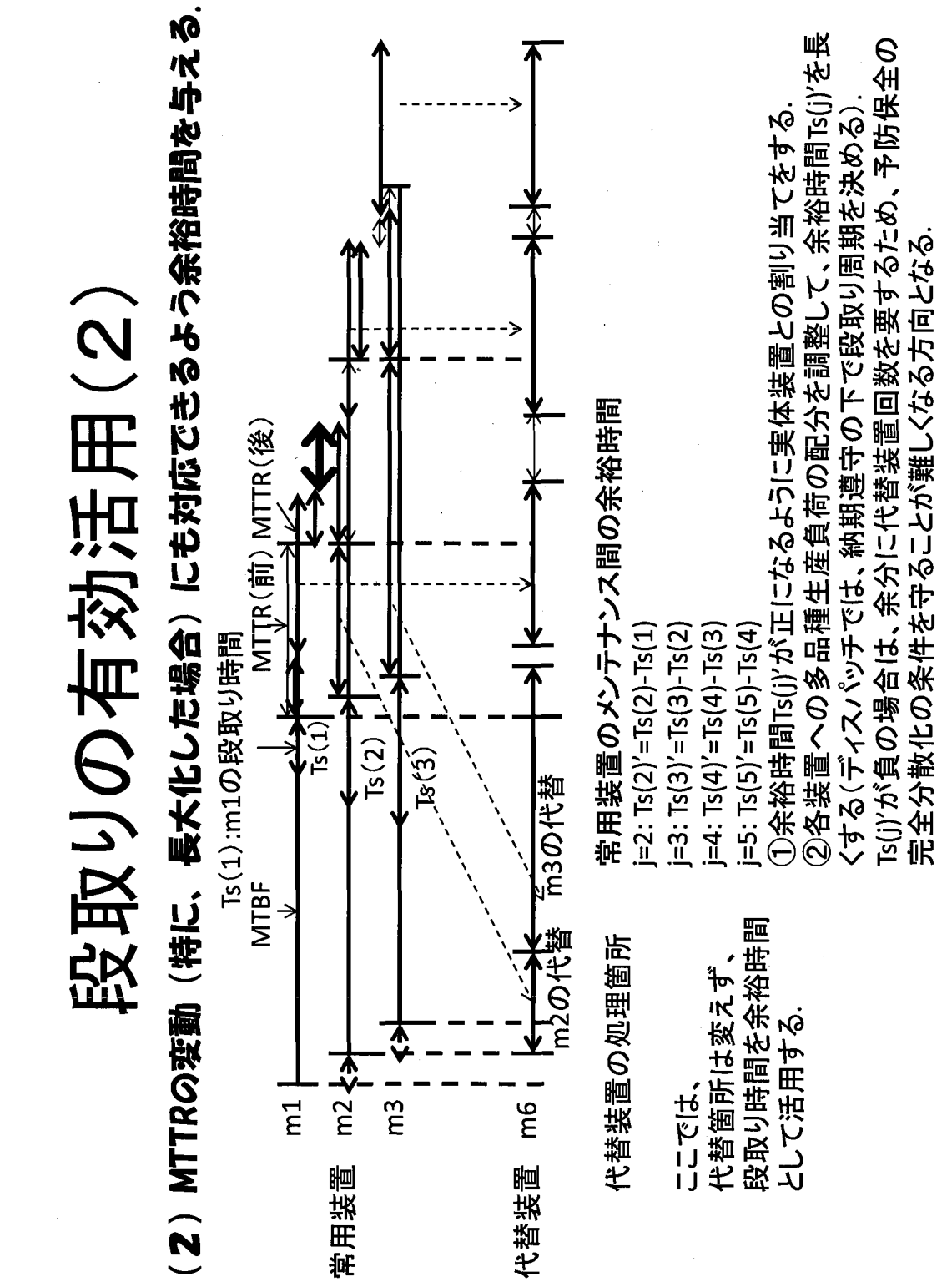
[図68]

	割当候補						下線は割り当て事例
装置#	m6	m1	m2	m3	m4	m5	
a	1						段取り極小または無し
b			2				段取り短い
c		2					↑
d				3	3	3	↕
e				3	3	3	↕
f				3	3	3	段取り長い

[図 69]
(1)


段取りの有効活用（1）
（1）段取り時間を活用して、代替装置における代替負荷を低減し、
予防保全の完全分散化の可能性を高める.
Ts(1)：m1の段取り時間
MTBF
MTTR(前) MTTR(後)
Ts(1)
Ts(2)
Ts(3)
Ts(1)
m2の代替 m3の代替
m1
m2
m3
常用装置
代替装置 m6
段取り時間を活用しない場合の
代替装置の処理箇所(n_j回分)
≧
段取り時間を活用した場合の
代替装置の処理箇所(n'_j回分)
$T_S(1) \leq T_S(j)$ の場合、
負になるため代替回数軽減
常用装置j(j=1,…,$\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor$)において、 MTBF(j) = MTBF+Ts(j)
常用装置j(j=2,…,$\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor$)において、 $n'_j = \left\{(j-1)MTTR_j - (j-1)\left(\frac{1}{\Delta}\right) + T_S(1) - T_S(j)\right\} \times \lambda_j$
代替処理個数は、段取りを活用することによって $\left\{\left(\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor - 1\right) T_S(1) - \sum_{j=2}^{\lfloor \frac{\Delta}{\mu} \rfloor} T_S(j)\right\} \lambda_j$ 回減らせる.
=>予防保全時期の分散化の可能性が高まる

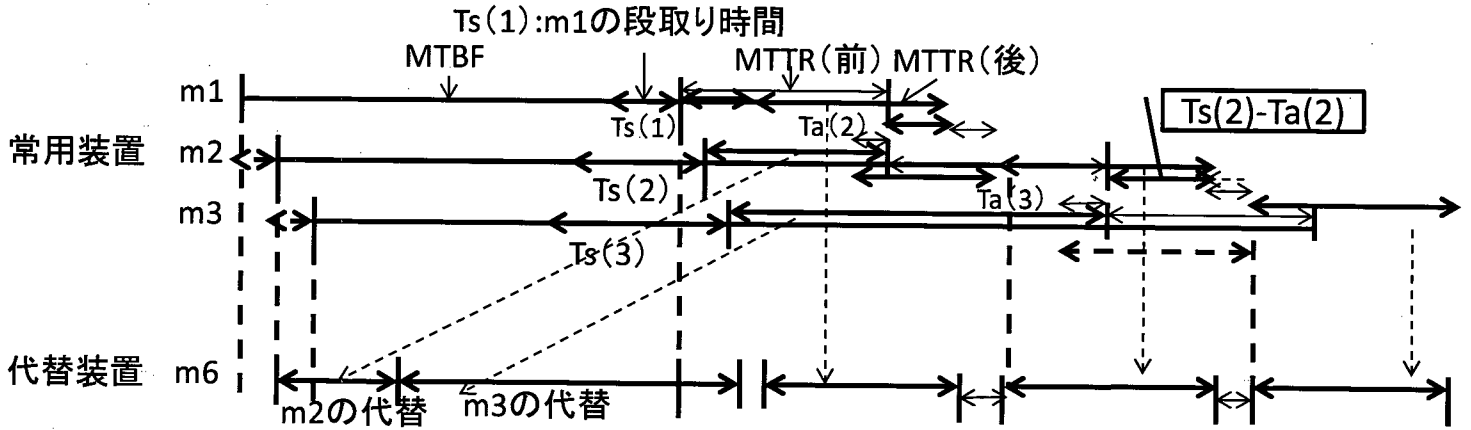
[図 69]
(2)


段取りの有効活用(2)
(2) MTTRの変動（特に、長大化した場合）にも対応できるよう余裕時間を与える.
Ts(1):m1の段取り時間
MTBF
MTTR(前)
MTTR(後)
Ts(1)
Ts(2)
Ts(3)
m1
m2
m3
m6
常用装置
代替装置
m2の代替
m3の代替
代替装置の処理箇所
ここでは、
代替箇所は変えず、
段取り時間を余裕時間
として活用する.
常用装置のメンテナンス間の余裕時間
j=2: Ts(2)'=Ts(2)-Ts(1)
j=3: Ts(3)'=Ts(3)-Ts(2)
j=4: Ts(4)'=Ts(4)-Ts(3)
j=5: Ts(5)'=Ts(5)-Ts(4)
①余裕時間Ts(j)'が正になるように実体装置との割り当てをする.
②各装置への多品種生産負荷の配分を調整して、余裕時間Ts(j)'を長くする(ディスパッチでは、納期遵守の下で段取り周期を決める).
Ts(j)'が負の場合は、余分に代替装置回数を要するため、予防保全の完全分散化の条件を守ることが難しくなる方向となる.

[図 69]
(3)

段取りの有効活用(3)

(3)代替装置の代替回数を軽減して、予防保全時期の分散化の可能性を高めると共に、MTTRの変動(特に長大化した場合)にも対応できるよう余裕時間を与える.



代替装置の処理箇所
ここでは、
必要な代替回数を軽減するために段取り時間の一部を用いて一定時間長立て替える.

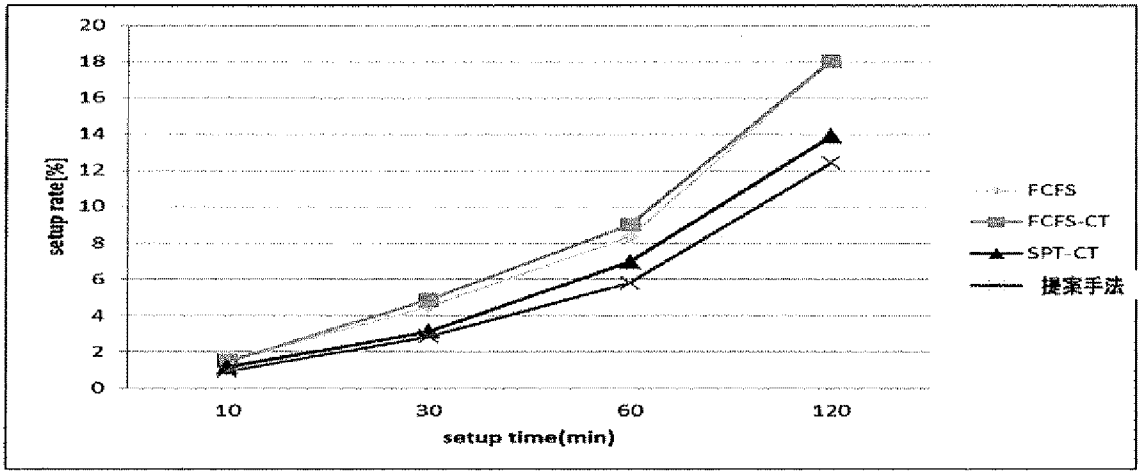
Ts(2)≧Ta(2)
Ts(3) ≧Ta(3)
Ts(4) ≧Ta(4)
Ts(5) ≧Ta(5)

常用装置のメンテナンス間の余裕時間
j=2: Ts(2)'=Ts(2)-Ts(1)-Ta(2) ・・・Ts(1)とTs(2)の差が大きい程よい.
j=3: Ts(3)'=Ts(3)-{Ts(2)-Ta(2)}-Ta(3) ・・・Ta(3)-Ta(2)でTa(3)の効果がある.
j=4: Ts(4)'=Ts(4)-{Ts(3)-Ta(3)}-Ta(4)
j=5: Ts(5)'=Ts(5)-{Ts(4)-Ta(4)}-Ta(5)

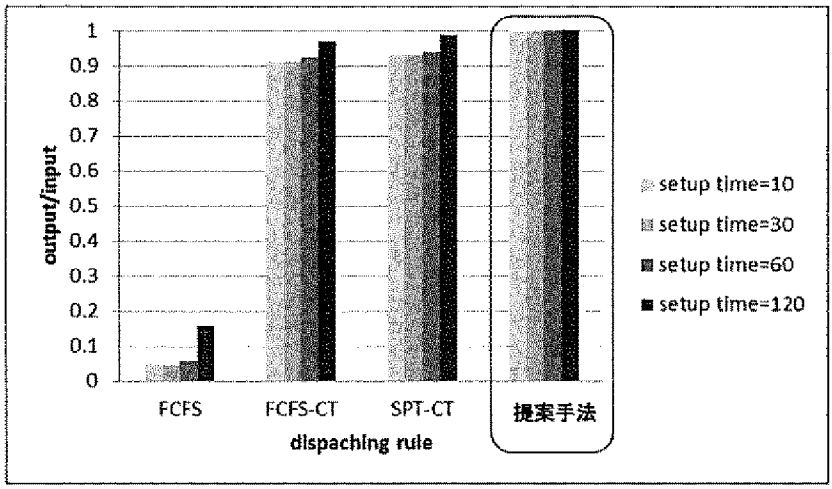
N1をMTBF期間の代替回数、
N2を1周期の全MTTR期間の代替回数とすると, N ≧ N1+N2を成り立たせたい.
ここで、予防保全時期が長大化してN2が増える場合、N1を減らす必要が出る可能性もあり、
N2によってN1を減らすなど両方の調整をする必要が出てくる.

差替え用紙(規則26)

[図70]



(あ) 段取り率

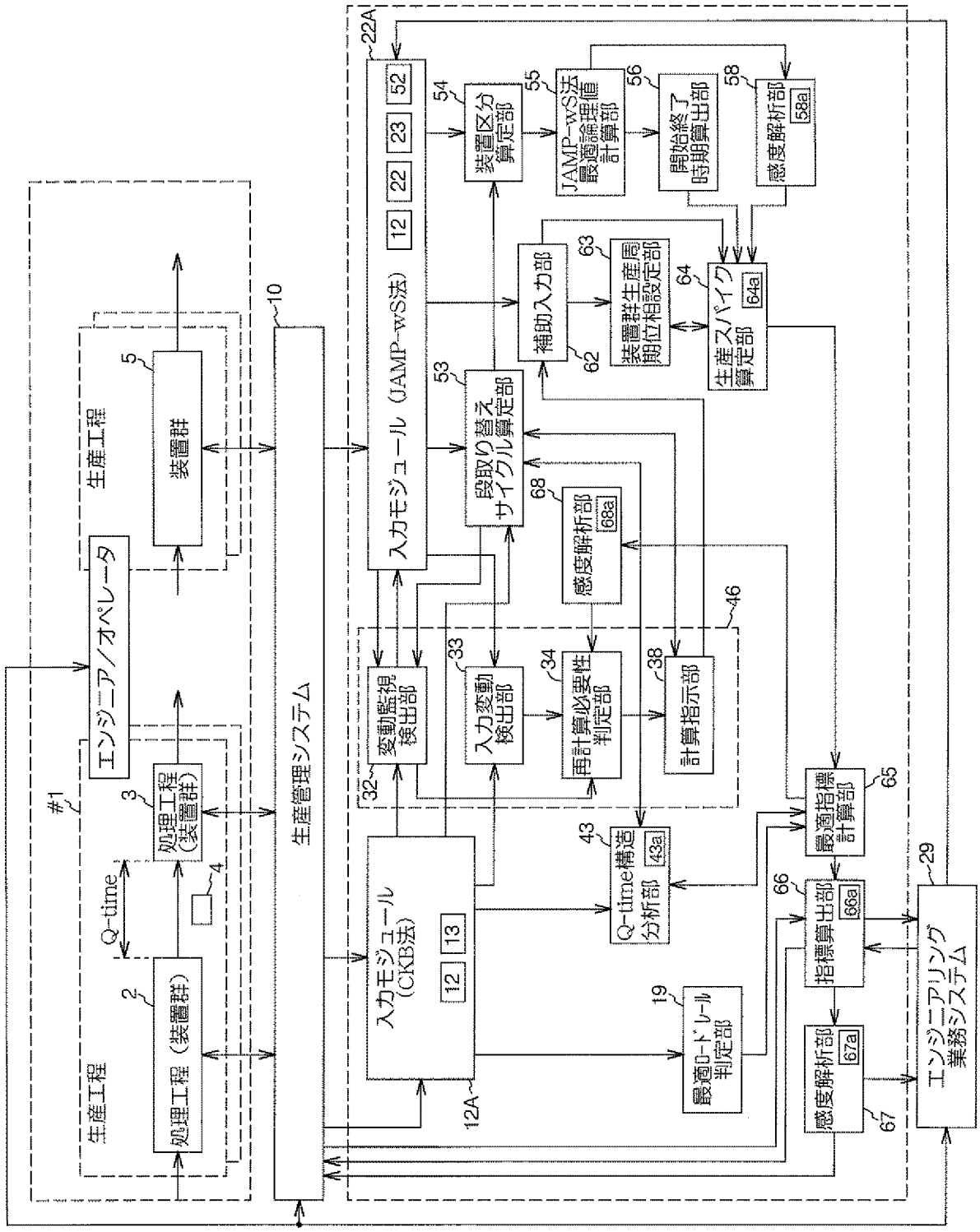


(い) 良品生産率＝(良品出力率)/(投入率)

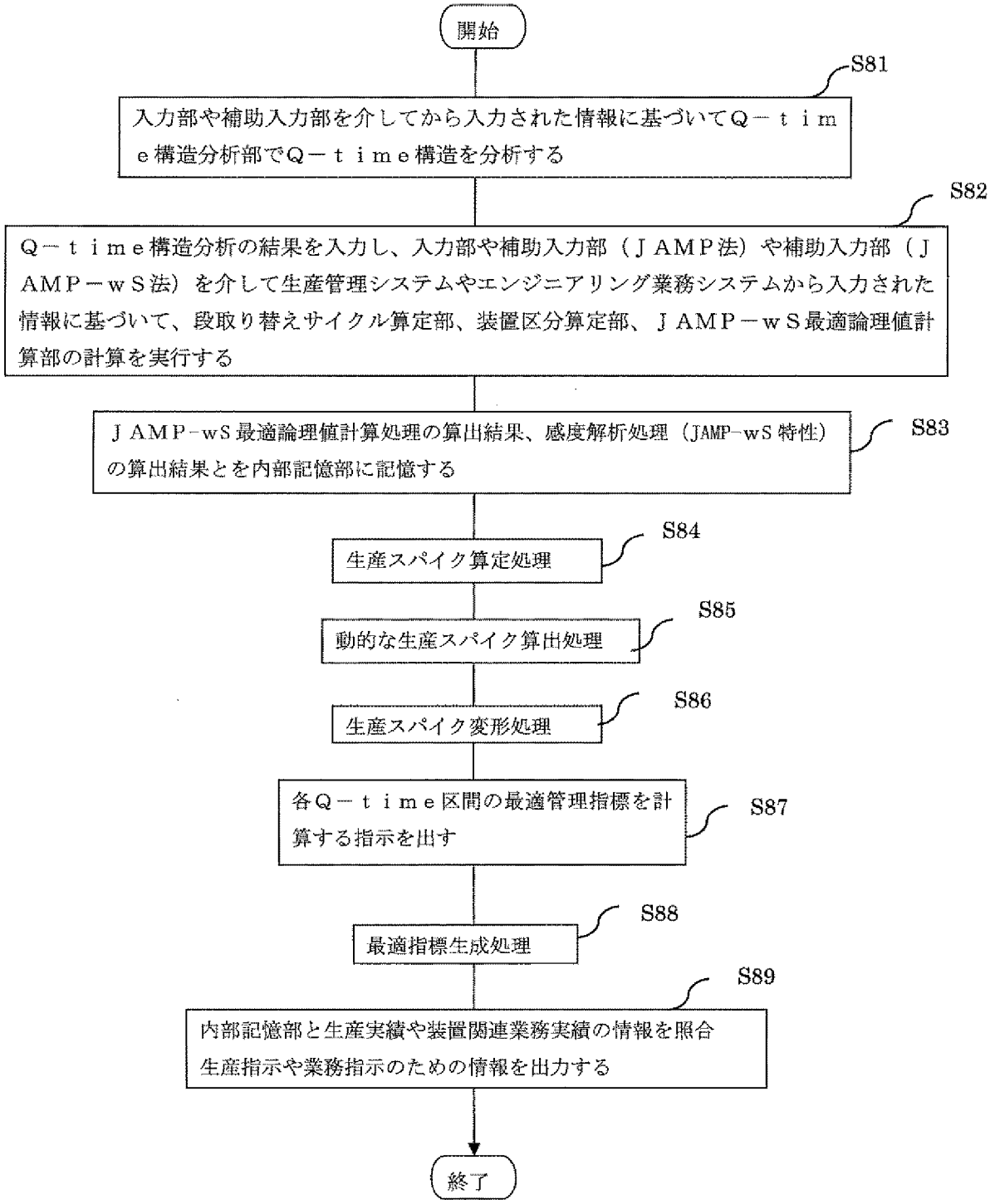
[図71]

	FCFS	SPT	FCFS-CT	SPT-CT	提案手法
The rate of Quality products	0.063	0.063	1	1	1
Throughput ratio	0.934	0.939	0.925	0.939	1
Utilization	0.916	0.916	0.909	0.93	0.942
OEE	0.053	0.054	0.84	0.873	0.942

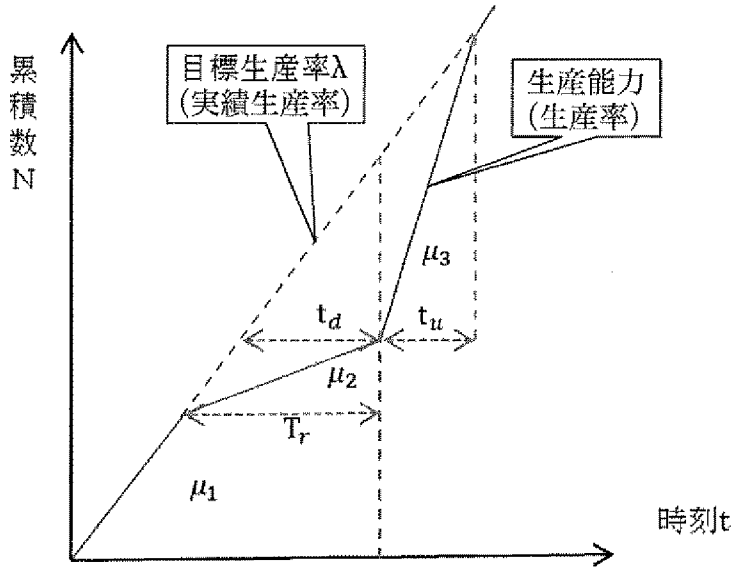
[図72]


#1
生産工程
処理工程（装置群）
2
Q-time
4
処理工程（装置群）
3
エンジニア／オペレータ
装置群
5
生産工程
生産管理システム
10
入力モジュール（JAMP-wS法）
12
22
23
52
22A
装置区分算定部
54
JAMP-wS法最適論理値計算部
55
開始終了時期算出部
56
感度解析部
58
58a
補助入力部
62
装置群生産周期位相設定部
63
生産スパイク算定部
64
64a
段取り替えサイクル算定部
53
感度解析部
68
68a
変動監視検出部
32
入力変動検出部
33
再計算必要性判定部
34
計算指示部
38
46
入力モジュール（CKB法）
12
13
12A
Q-time構造分析部
43
43a
最適指標計算部
65
指標算出部
66
66a
最適ロードバル判定部
19
感度解析部
67
67a
エンジニアリング業務システム
29

[図73]


開始
S81
入力部や補助入力部を介してから入力された情報に基づいてＱ－ｔｉｍｅ構造分析部でＱ－ｔｉｍｅ構造を分析する
S82
Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析の結果を入力し、入力部や補助入力部（ＪＡＭＰ法）や補助入力部（ＪＡＭＰ－ｗＳ法）を介して生産管理システムやエンジニアリング業務システムから入力された情報に基づいて、段取り替えサイクル算定部、装置区分算定部、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算部の計算を実行する
S83
ＪＡＭＰ－wS最適論理値計算処理の算出結果、感度解析処理（JAMP－wS特性）の算出結果とを内部記憶部に記憶する
S84
生産スパイク算定処理
S85
動的な生産スパイク算出処理
S86
生産スパイク変形処理
S87
各Ｑ－ｔｉｍｅ区間の最適管理指標を計算する指示を出す
S88
最適指標生成処理
S89
内部記憶部と生産実績や装置関連業務実績の情報を照合
生産指示や業務指示のための情報を出力する
終了

[図74]



【式】３つ

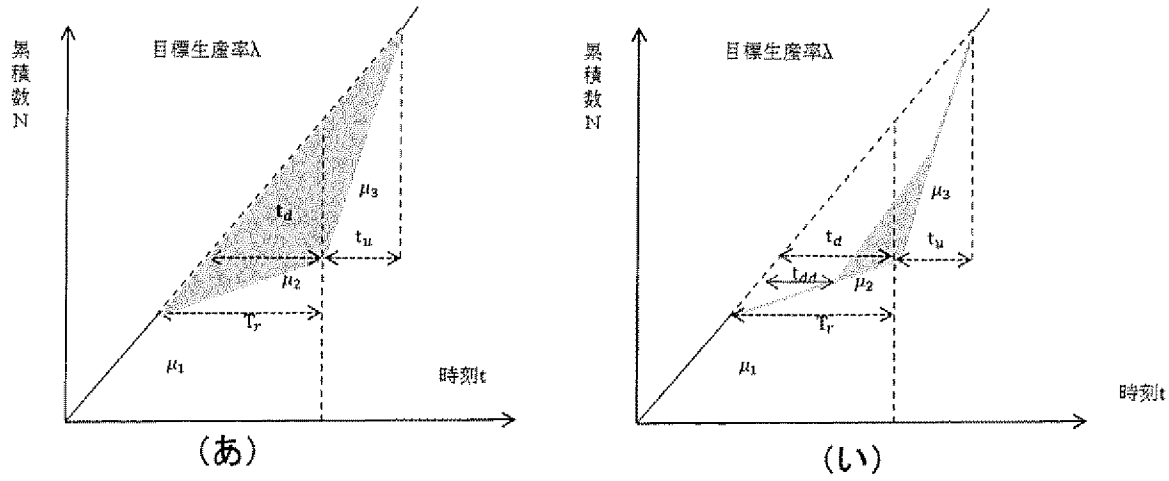
①低下期のスパイクの深さ（$\mu_1(j,k)-\mu_2(j,k)$）と長さ$T_r(j,k)$によって定まる復旧期開始点と目標生産率線の時間差$t_d(j,k)$ $(=\mu_2(j,k)\cdot T_r(j,k)/\lambda(j,k))$，

②復旧期の長さ$t_u(j,k) = \frac{\lambda(j,k)\cdot t_d(j,k)}{\mu_3(j,k)-\lambda(j,k)} = \frac{\mu_2(j,k)\cdot T_r(j,k)}{\mu_3(j,k)-\lambda(j,k)}$

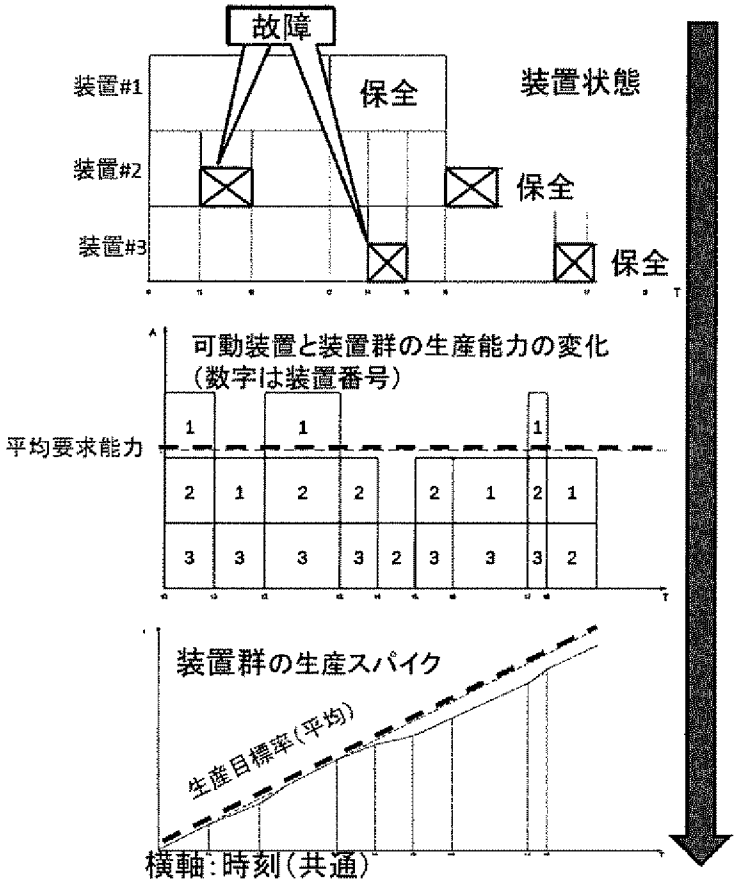
③スパイクの大きさ（＝スパイクの面積）：

$$\frac{1}{2}T_r{}^2(j,k)\{\lambda(j,k)-\mu_2(j,k)\}+\frac{1}{2}T_r(j,k)\{\lambda(j,k)-\mu_2(j,k)\}\cdot t_u$$

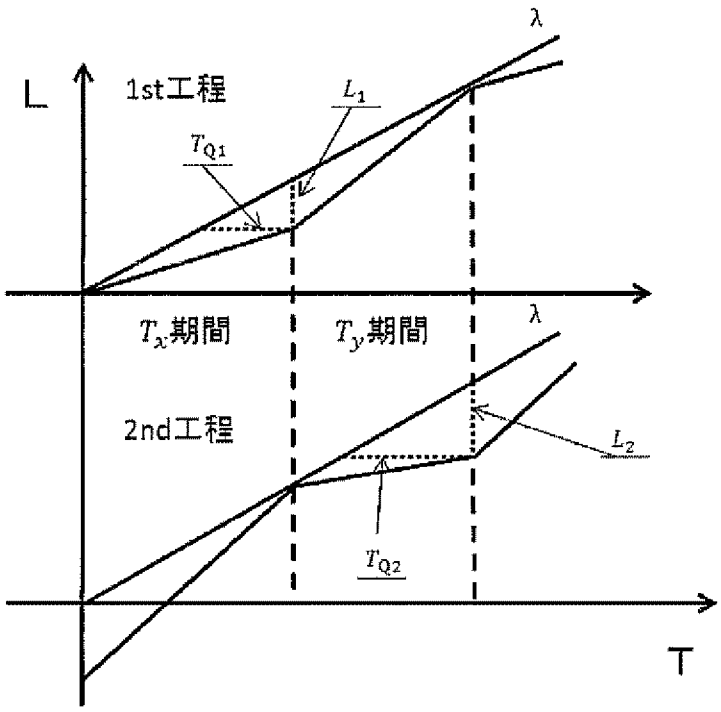
[図75]



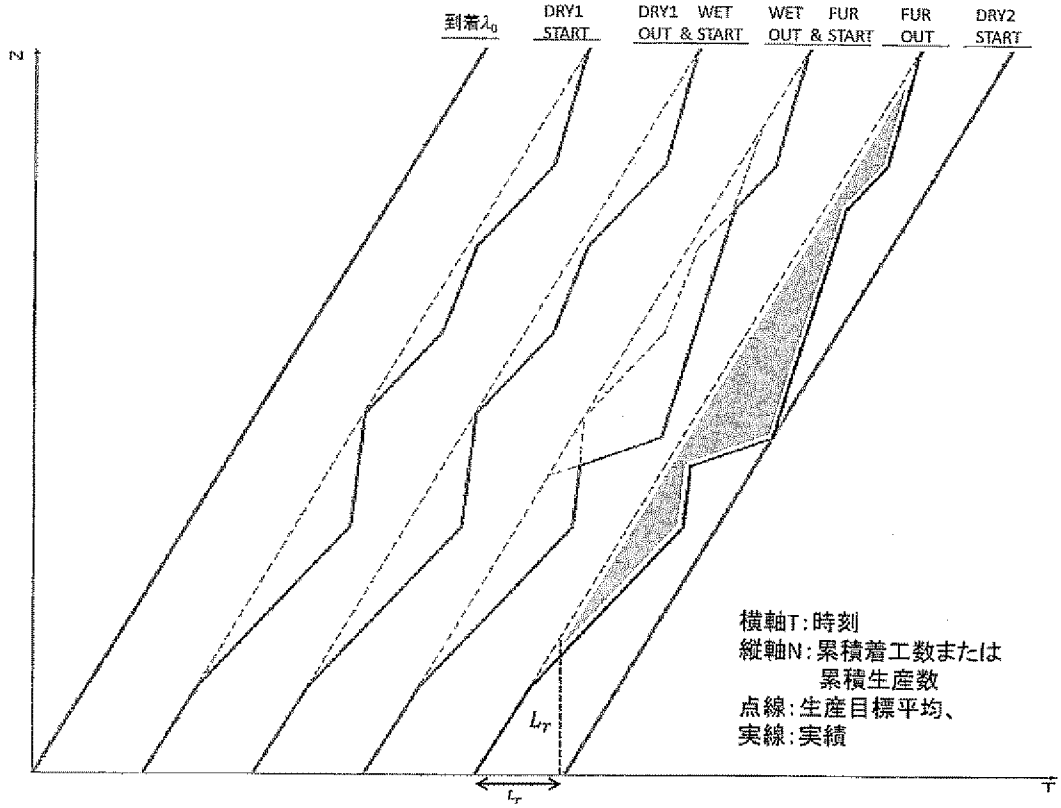
[図76]


故障
装置#1
保全
装置状態
装置#2
保全
装置#3
保全
可動装置と装置群の生産能力の変化
（数字は装置番号）
平均要求能力
装置群の生産スパイク
生産目標率(平均)
横軸:時刻(共通)

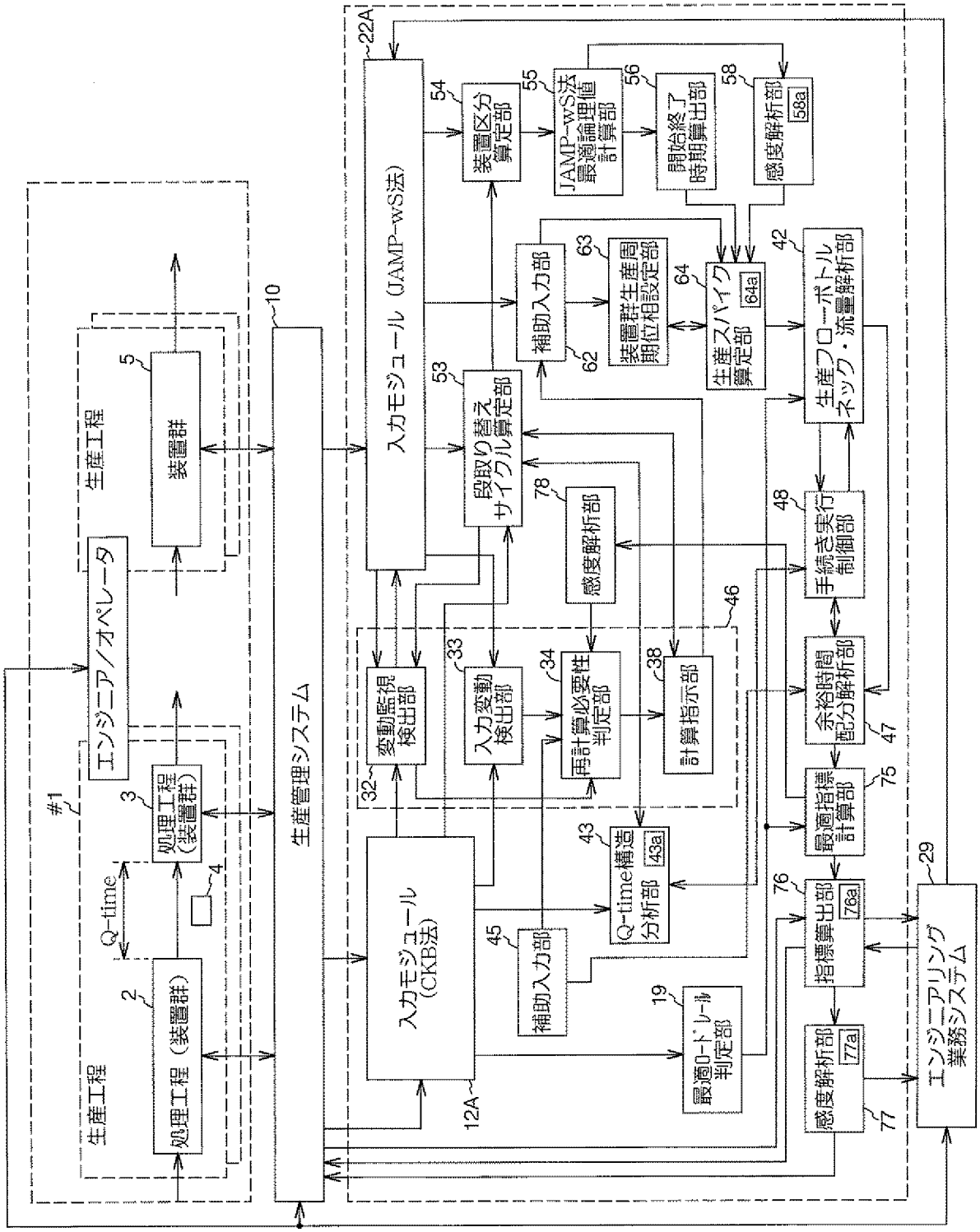
[図77]


λ
L
1st工程
L_1
T_{Q1}
T_x期間
T_y期間
λ
2nd工程
L_2
T_{Q2}
T

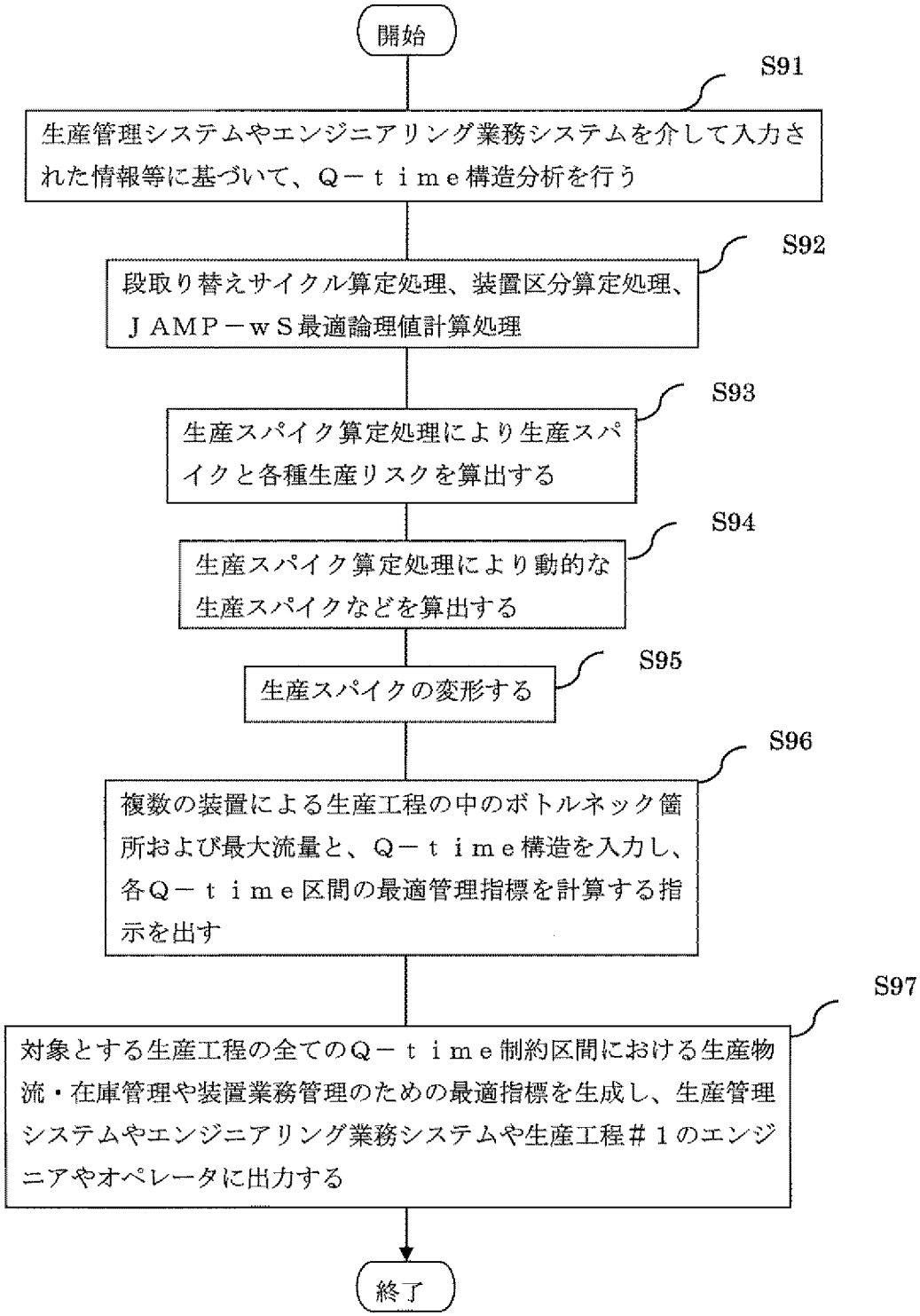
[図78]


到着λ_0
DRY1 START
DRY1 OUT & WET START
WET OUT & FUR START
FUR OUT
DRY2 START
N
T
L_T
L_T
横軸T:時刻
縦軸N:累積着工数または累積生産数
点線:生産目標平均、
実線:実績

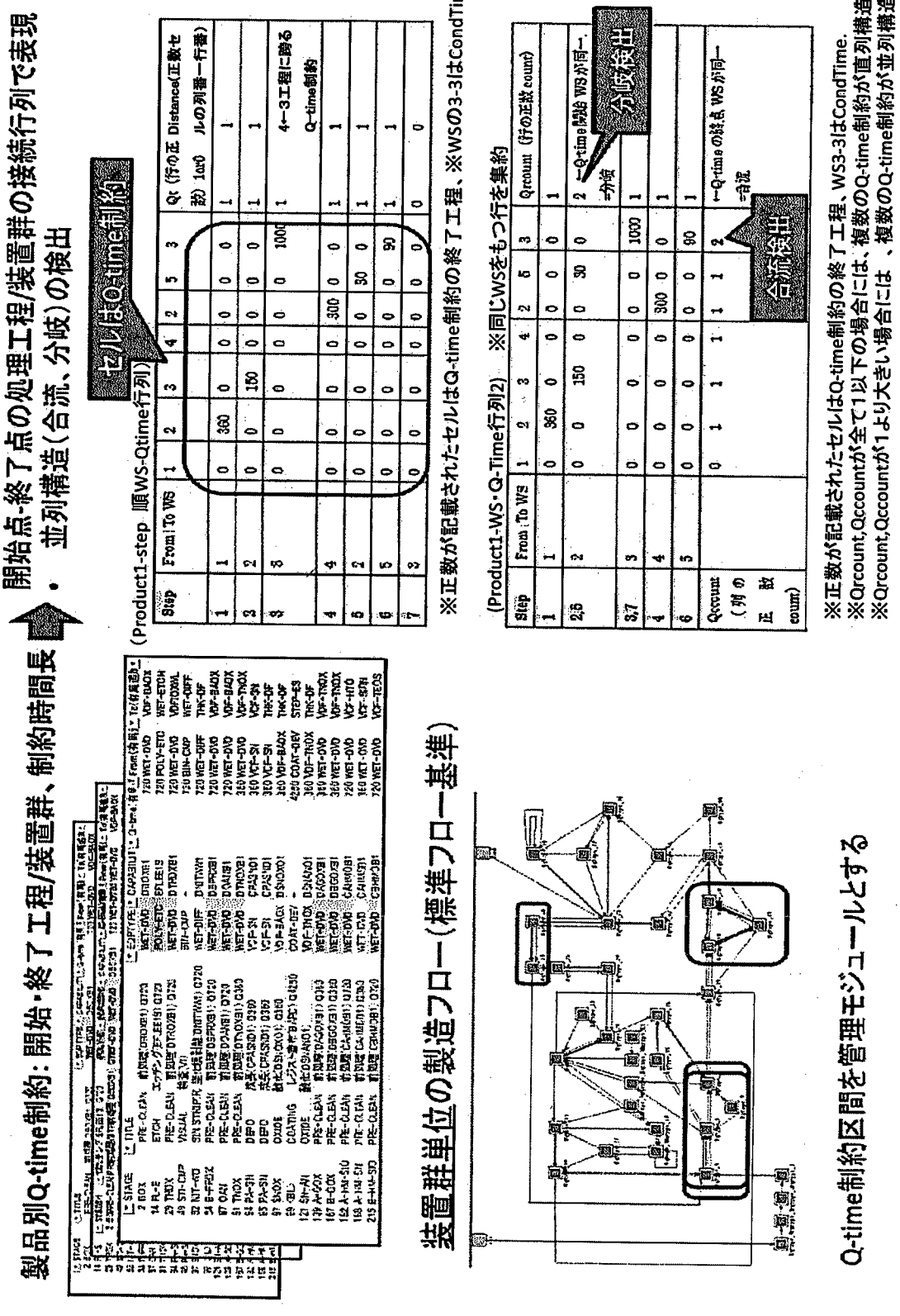
[図79]


#1
生産工程
処理工程（装置群）
2
Q-time
4
処理工程（装置群）
3
エンジニア／オペレータ
生産工程
装置群
5
生産管理システム
10
入力モジュール（JAMP-wS法）
22A
装置区分算定部
54
JAMP-wS法最適論理値計算部
55
開始終了時期算出部
56
感度解析部
58a
58
補助入力部
62
装置群生産周期位相設定部
63
生産スパイク算定部
64a
64
生産フロー・ボトルネック・流量解析部
42
段取り替えサイクル算定部
53
感度解析部
78
手続き実行制御部
48
変動監視検出部
32
入力変動検出部
33
再計算必要性判定部
34
計算指示部
38
46
余裕時間配分解析部
47
入力モジュール（CKB法）
12A
Q-time構造分析部
43a
43
最適指標計算部
75
補助入力部
45
最適ロードトリール判定部
19
指標算出部
76a
76
感度解析部
77a
77
エンジニアリング業務システム
29

[図80]


開始
S91
生産管理システムやエンジニアリング業務システムを介して入力された情報等に基づいて、Ｑ－ｔｉｍｅ構造分析を行う
S92
段取り替えサイクル算定処理、装置区分算定処理、ＪＡＭＰ－ｗＳ最適論理値計算処理
S93
生産スパイク算定処理により生産スパイクと各種生産リスクを算出する
S94
生産スパイク算定処理により動的な生産スパイクなどを算出する
S95
生産スパイクの変形する
S96
複数の装置による生産工程の中のボトルネック箇所および最大流量と、Ｑ－ｔｉｍｅ構造を入力し、各Ｑ－ｔｉｍｅ区間の最適管理指標を計算する指示を出す
S97
対象とする生産工程の全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間における生産物流・在庫管理や装置業務管理のための最適指標を生成し、生産管理システムやエンジニアリング業務システムや生産工程＃１のエンジニアやオペレータに出力する
終了

[図 81]


製品別Q-time制約：開始・終了工程/装置群、制約時間長
開始点-終了点の処理工程/装置群の接続行列で表現
・並列構造(合流、分岐)の検出
(Product1-step 順WS-Qtime行列)
Q-time制約
※正数が記載されたセルはQ-time制約の終了工程、※WSの3-3はCondTime
(Product1-WS・Q-Time行列2) ※同じWSをもつ行を集約
分岐検出
合流検出
※正数が記載されたセルはQ-time制約の終了工程、WS3-3はCondTime.
※Qrcount,Qcountが全て1以下の場合には、複数のQ-time制約が直列構造をなす.
※Qrcount,Qcountが1より大きい場合には 、複数のQ-time制約が並列構造をなす.
装置群単位の製造フロー(標準フロー基準)
Q-time制約区間を管理モジュールとする

[図 82]

n: Number of re-entrant flow

μ: Service rate of an equipment group, α: Distribution ratio

$$1\text{st: } \frac{\mu}{2}+\alpha \qquad 2\text{nd: } \frac{\mu}{2}-\alpha$$

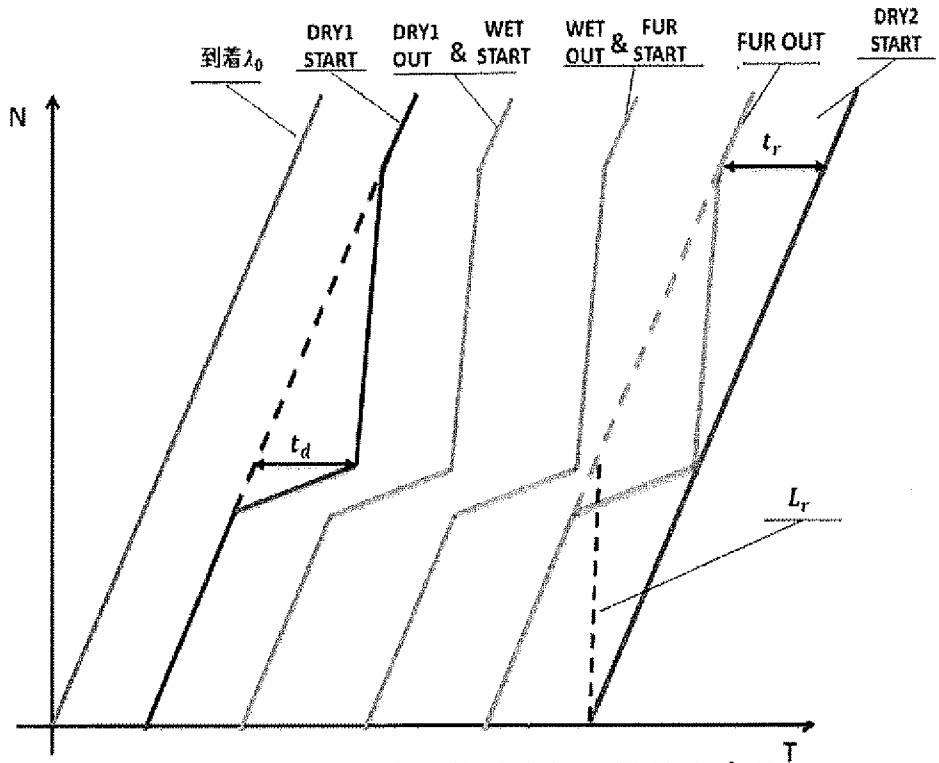
$$Throughput = min\left(\frac{\mu}{2}+\alpha, \frac{\mu}{2}-\alpha\right) = \frac{\mu}{2}-\alpha$$

Throughput achieves maximum if $\alpha = 0$ in stable condition.

This proof holds even in the case of nth re-entrant flow.

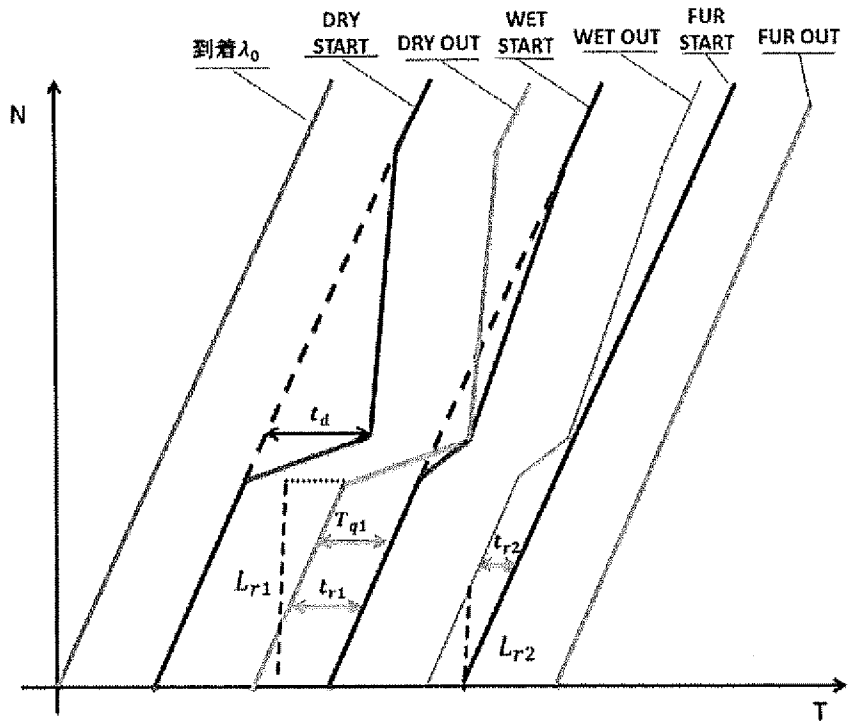
$$1\text{st: } \frac{\mu}{n}+\alpha_1, \ldots, n\text{th: } \frac{\mu}{n}+\alpha_n$$

[図83]



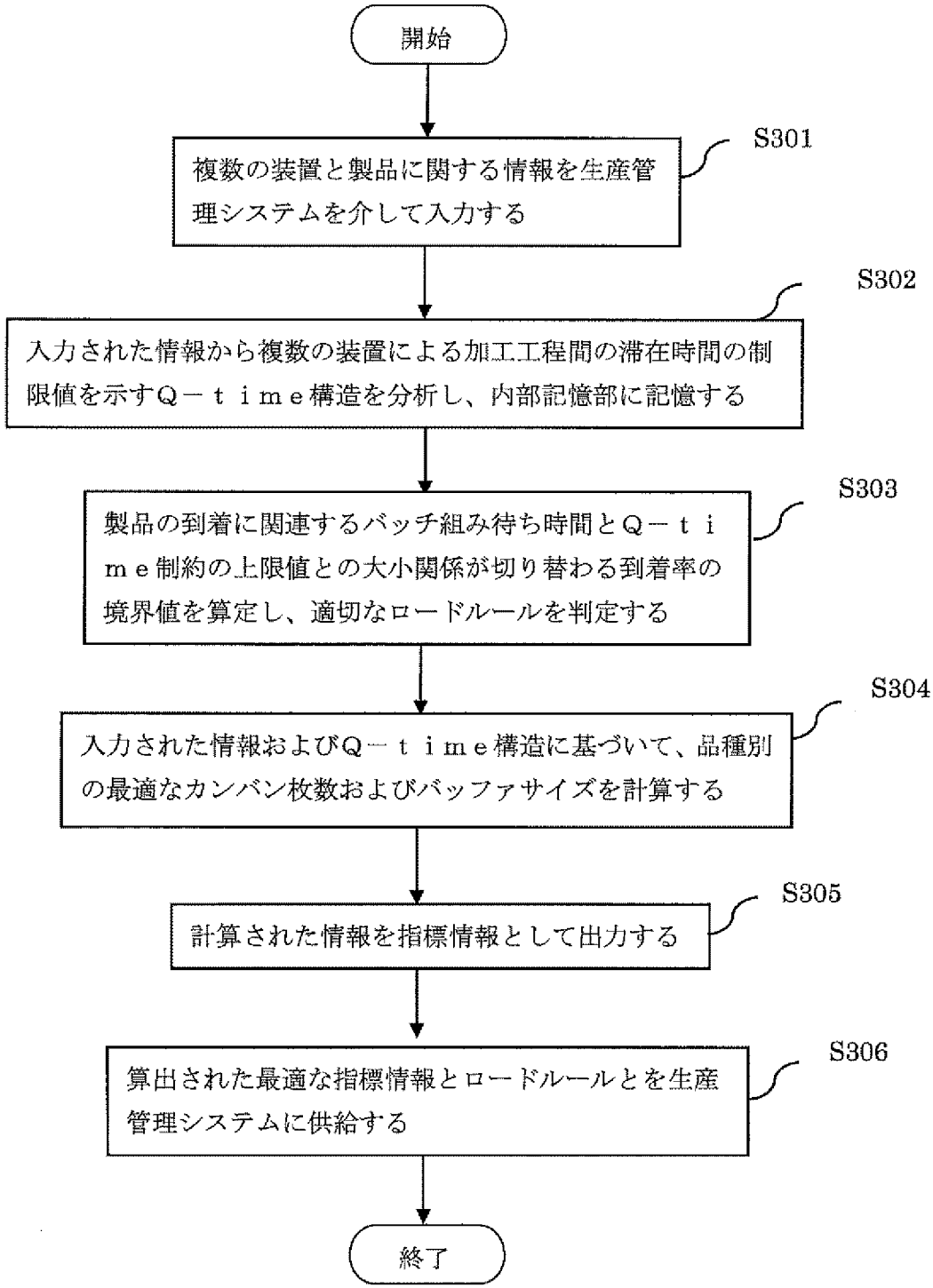
横軸T:時刻、縦軸N:累積到着数または累積生産数

[図84]

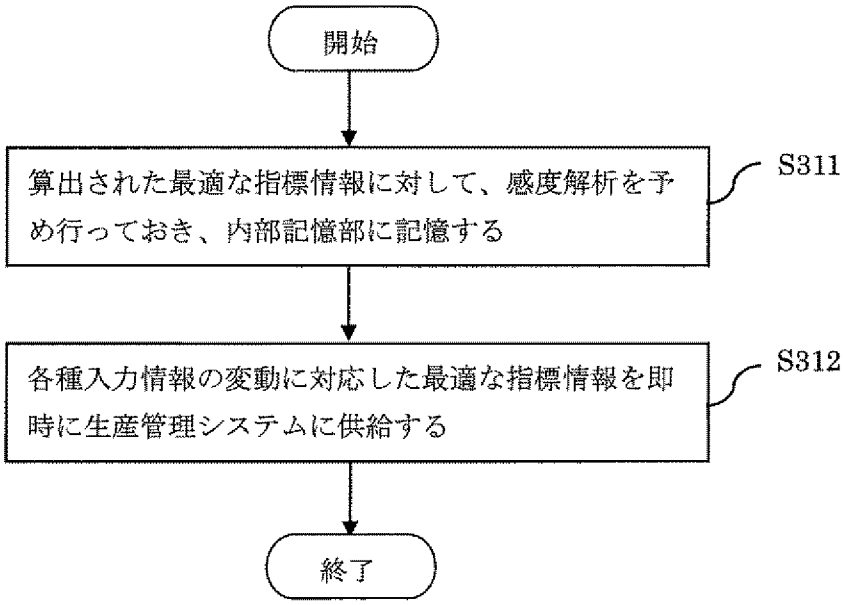


横軸T:時刻、縦軸N:累積到着数または累積生産数

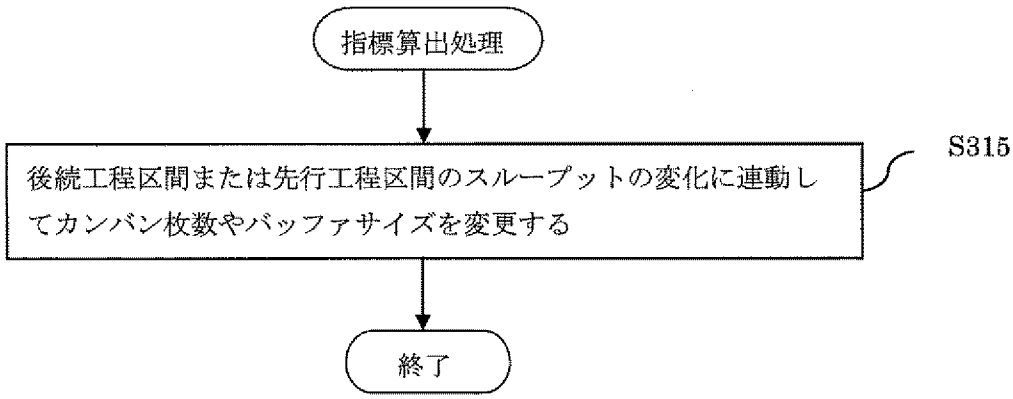
[図85]


開始
S301
複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S302
入力された情報から複数の装置による加工工程間の滞在時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析し、内部記憶部に記憶する
S303
製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する
S304
入力された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する
S305
計算された情報を指標情報として出力する
S306
算出された最適な指標情報とロードルールとを生産管理システムに供給する
終了

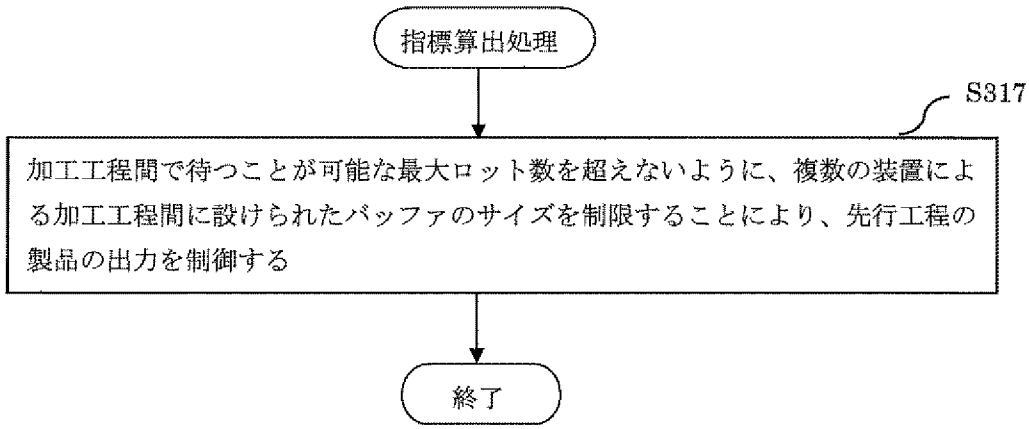
[図86]


開始
算出された最適な指標情報に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する
S311
各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する
S312
終了

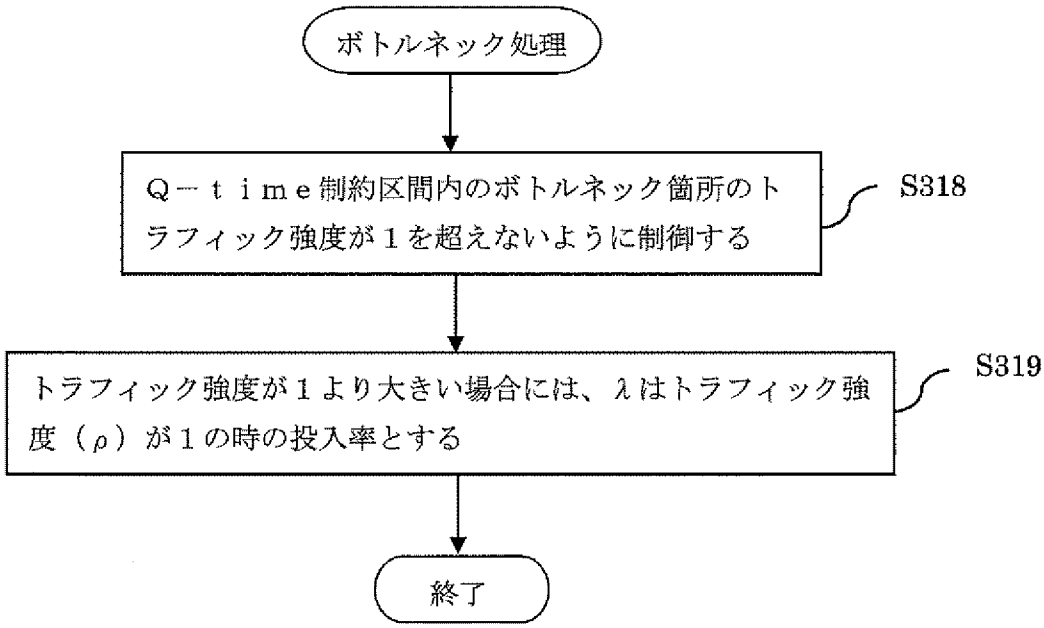
[図87]


指標算出処理
後続工程区間または先行工程区間のスループットの変化に連動してカンバン枚数やバッファサイズを変更する
S315
終了

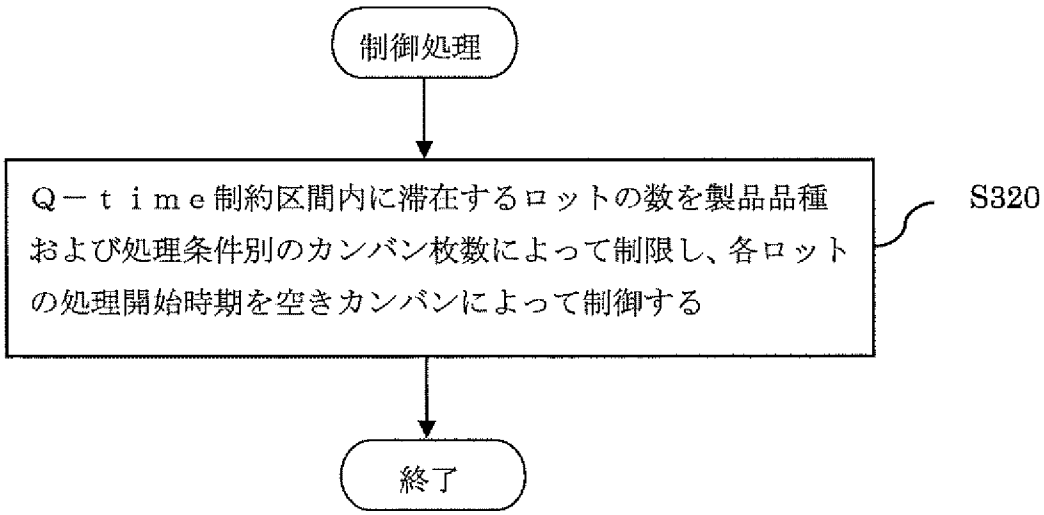
[図88]


指標算出処理
S317
加工工程間で待つことが可能な最大ロット数を超えないように、複数の装置による加工工程間に設けられたバッファのサイズを制限することにより、先行工程の製品の出力を制御する
終了

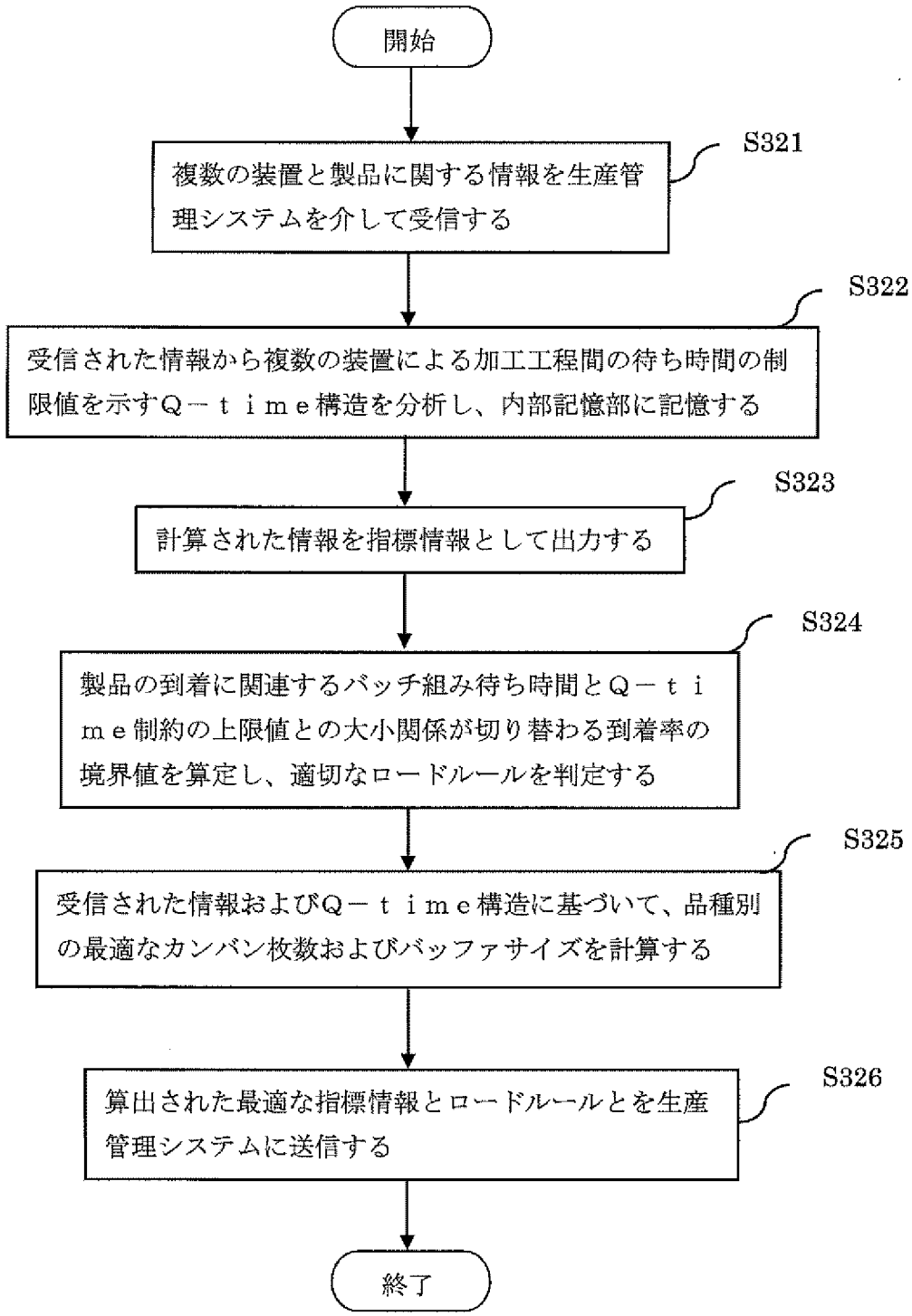
[図89]


ボトルネック処理
Q－ｔｉｍｅ制約区間内のボトルネック箇所のトラフィック強度が１を超えないように制御する
S318
トラフィック強度が１より大きい場合には、λはトラフィック強度（ρ）が１の時の投入率とする
S319
終了

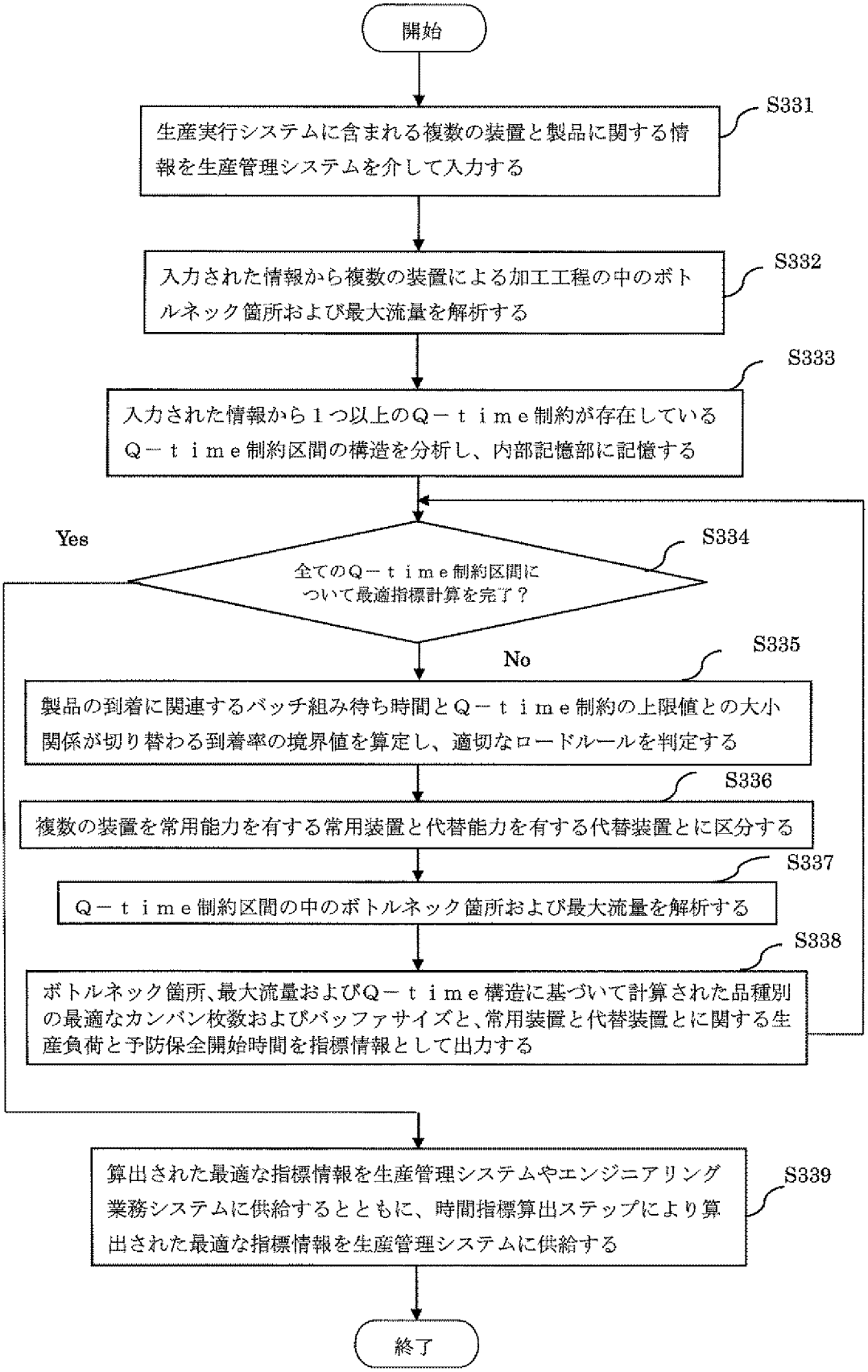
[図90]


制御処理
Q－ｔｉｍｅ制約区間内に滞在するロットの数を製品品種および処理条件別のカンバン枚数によって制限し、各ロットの処理開始時期を空きカンバンによって制御する
S320
終了

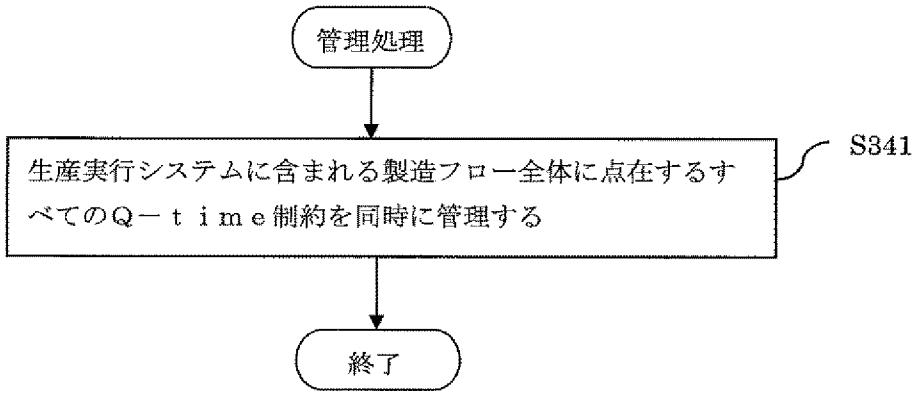
[図91]


開始
S321
複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して受信する
S322
受信された情報から複数の装置による加工工程間の待ち時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ構造を分析し、内部記憶部に記憶する
S323
計算された情報を指標情報として出力する
S324
製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する
S325
受信された情報およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算する
S326
算出された最適な指標情報とロードルールとを生産管理システムに送信する
終了

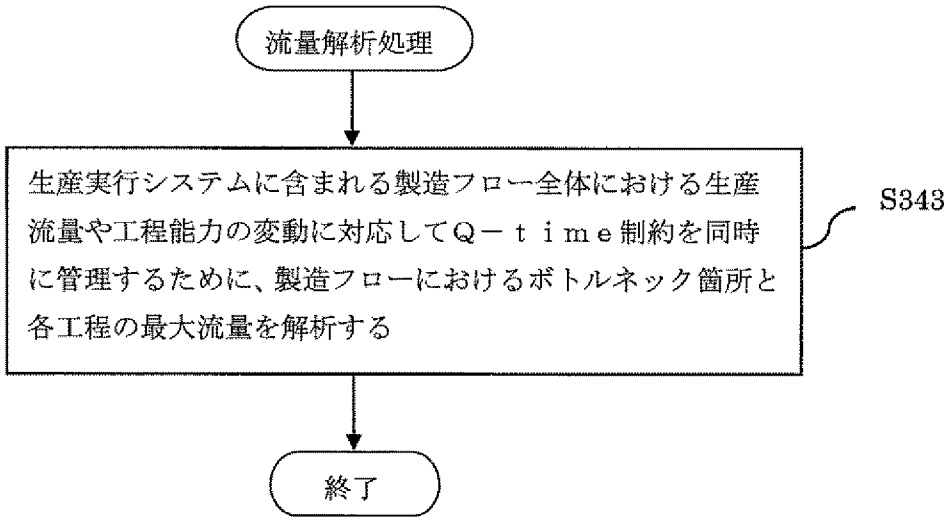
[図92]


開始
生産実行システムに含まれる複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S331
入力された情報から複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する
S332
入力された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析し、内部記憶部に記憶する
S333
全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間について最適指標計算を完了？
S334
Yes
No
製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する
S335
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S336
Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する
S337
ボトルネック箇所、最大流量およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて計算された品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズと、常用装置と代替装置とに関する生産負荷と予防保全開始時間を指標情報として出力する
S338
算出された最適な指標情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに供給する
S339
終了

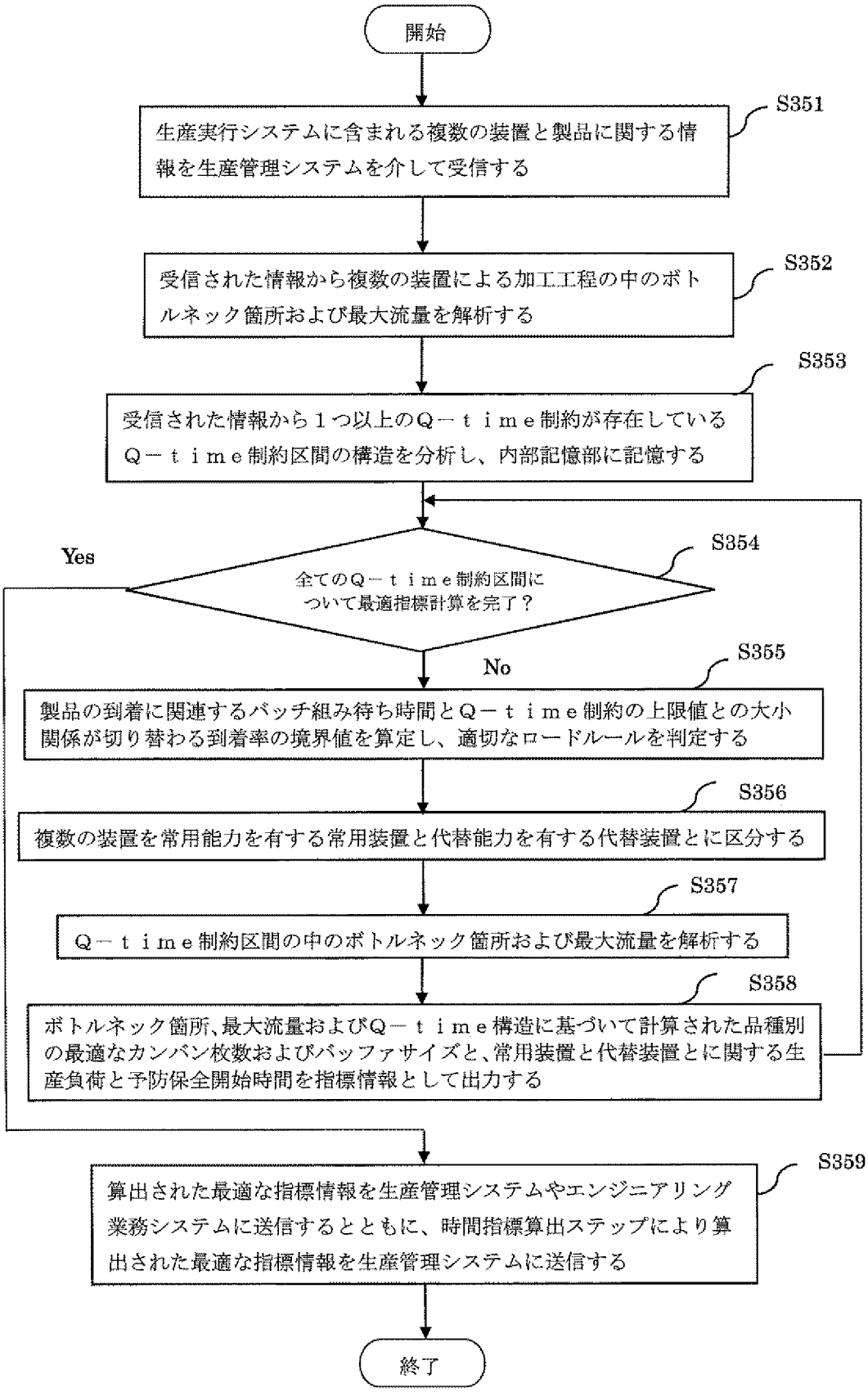
[図93]


管理処理
生産実行システムに含まれる製造フロー全体に点在するすべてのＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理する
S341
終了

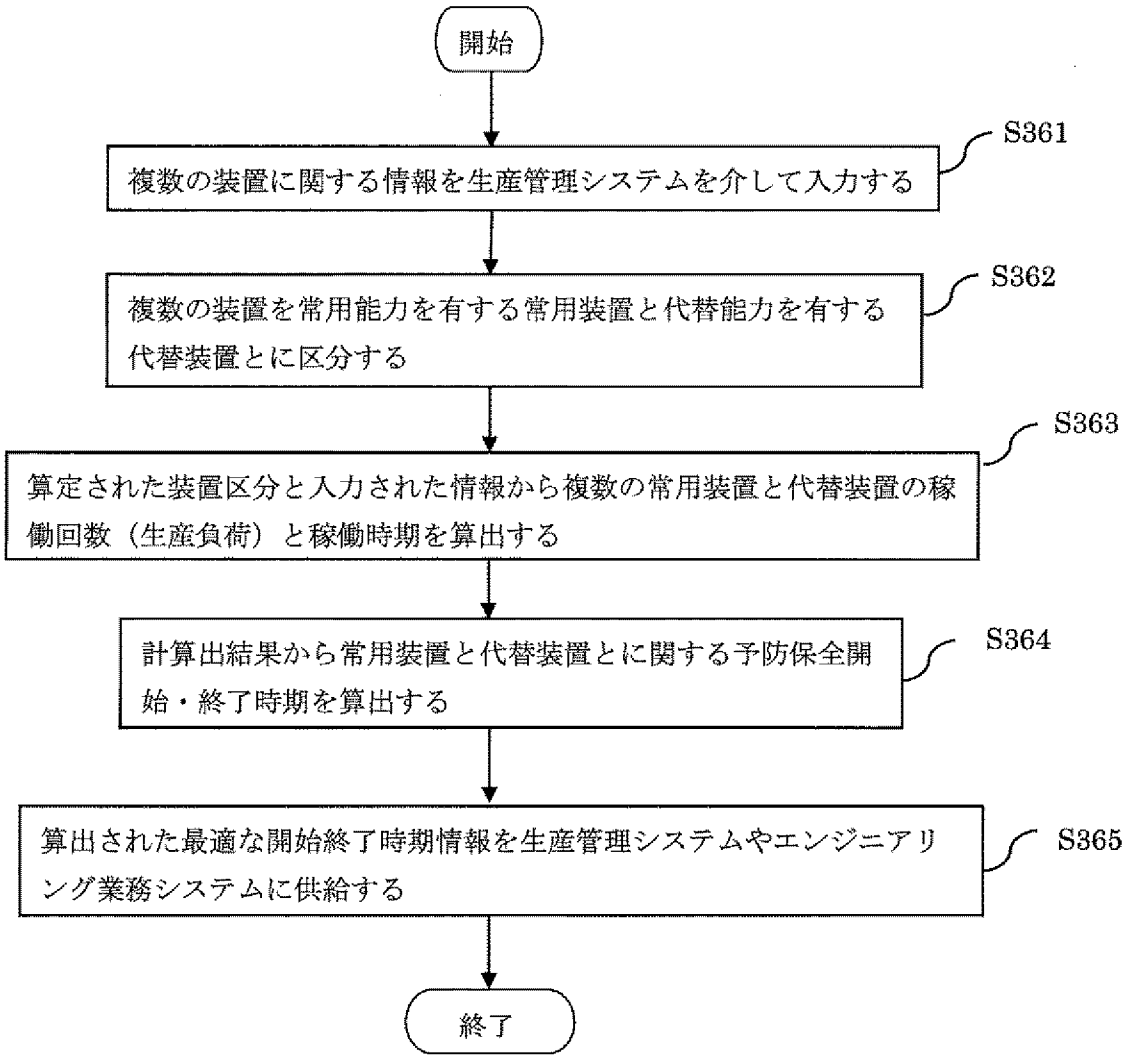
[図94]


流量解析処理
生産実行システムに含まれる製造フロー全体における生産流量や工程能力の変動に対応してＱ－ｔｉｍｅ制約を同時に管理するために、製造フローにおけるボトルネック箇所と各工程の最大流量を解析する
S343
終了

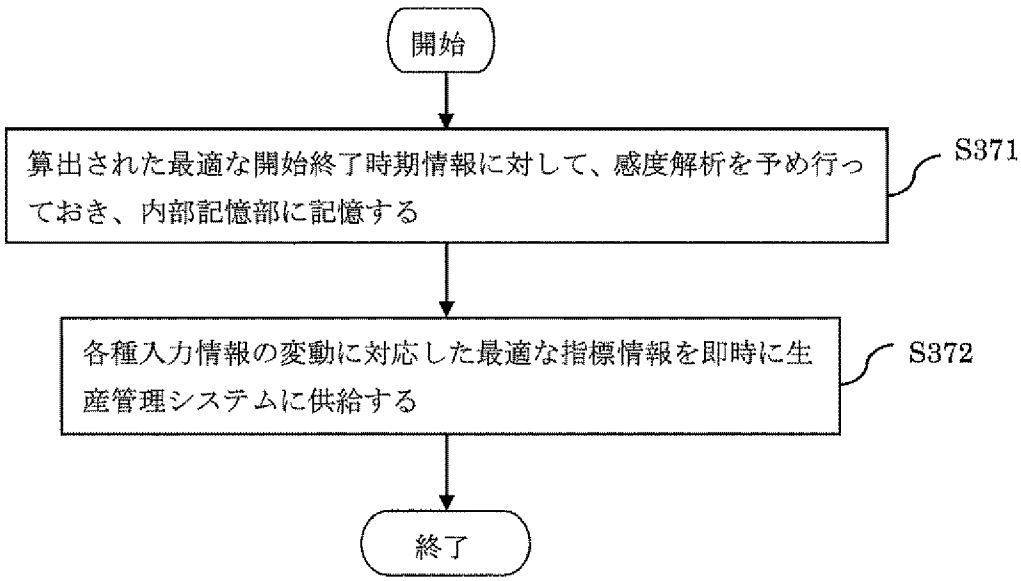
[図95]


開始
S351
生産実行システムに含まれる複数の装置と製品に関する情報を生産管理システムを介して受信する
S352
受信された情報から複数の装置による加工工程の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する
S353
受信された情報から１つ以上のＱ－ｔｉｍｅ制約が存在しているＱ－ｔｉｍｅ制約区間の構造を分析し、内部記憶部に記憶する
S354
全てのＱ－ｔｉｍｅ制約区間について最適指標計算を完了？
Yes
No
S355
製品の到着に関連するバッチ組み待ち時間とＱ－ｔｉｍｅ制約の上限値との大小関係が切り替わる到着率の境界値を算定し、適切なロードルールを判定する
S356
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S357
Ｑ－ｔｉｍｅ制約区間の中のボトルネック箇所および最大流量を解析する
S358
ボトルネック箇所、最大流量およびＱ－ｔｉｍｅ構造に基づいて計算された品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズと、常用装置と代替装置とに関する生産負荷と予防保全開始時間を指標情報として出力する
S359
算出された最適な指標情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、時間指標算出ステップにより算出された最適な指標情報を生産管理システムに送信する
終了

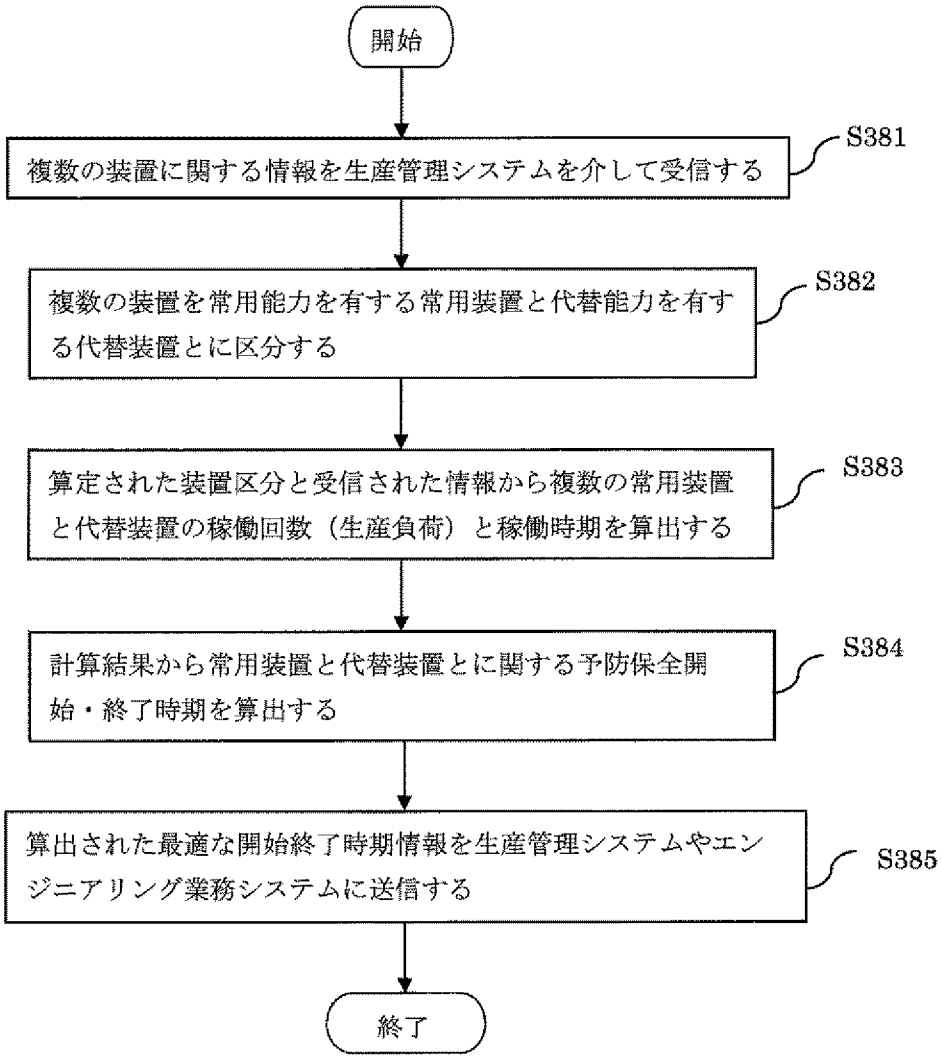
[図96]


開始
S361
複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S362
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S363
算定された装置区分と入力された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数（生産負荷）と稼働時期を算出する
S364
計算出結果から常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する
S365
算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給する
終了

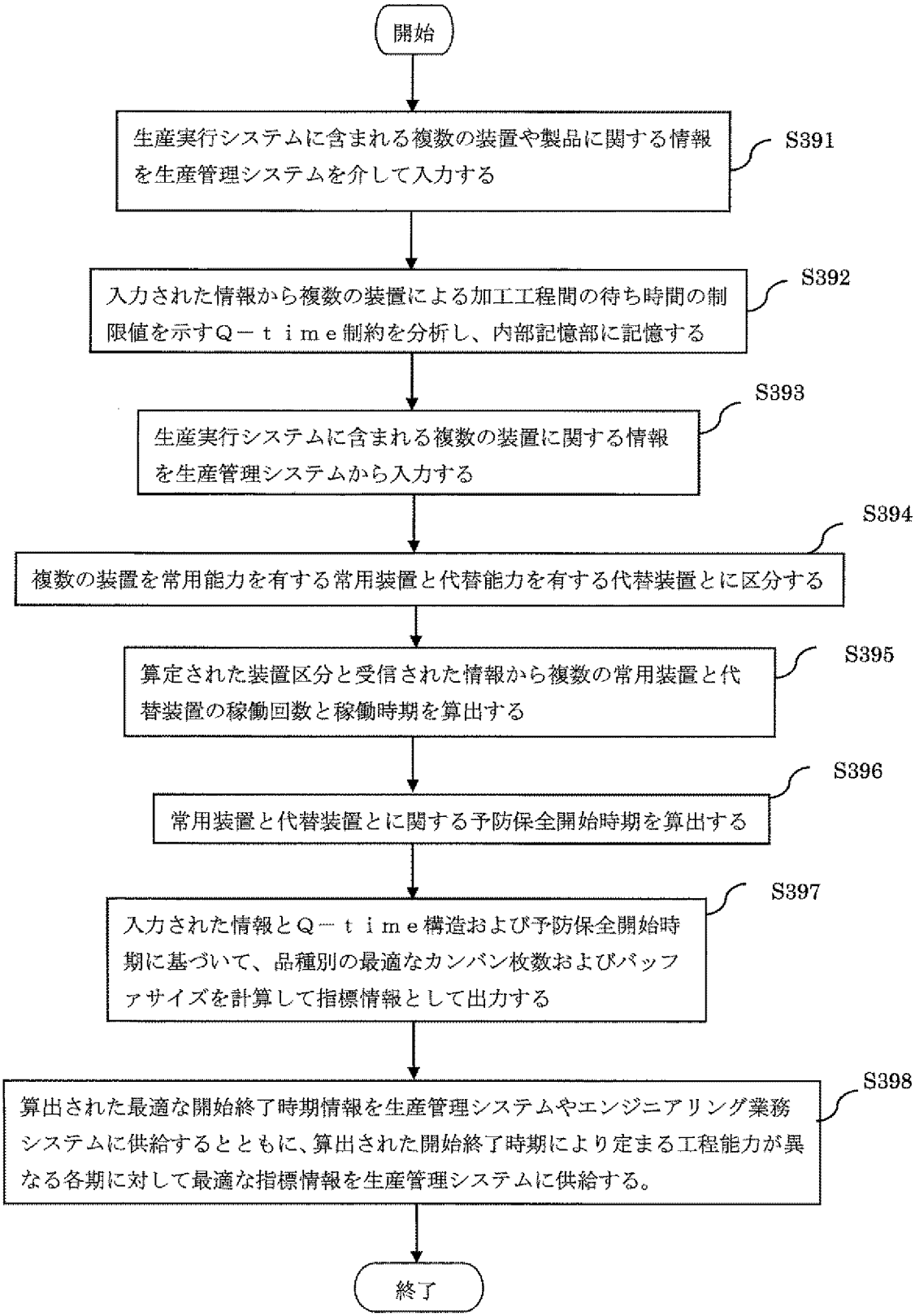
[図97]


開始
S371
算出された最適な開始終了時期情報に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する
S372
各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報を即時に生産管理システムに供給する
終了

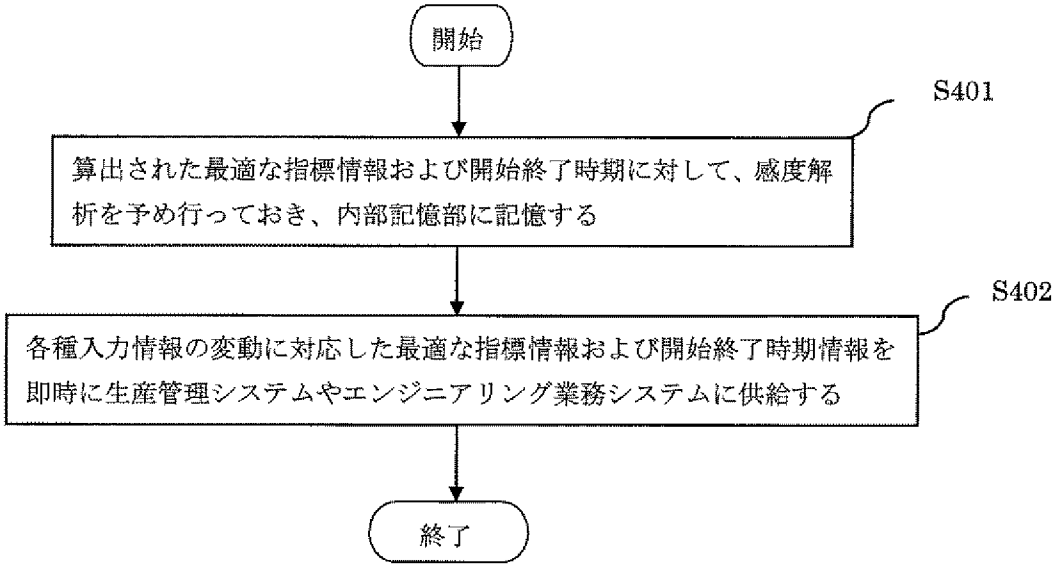
[図98]


開始
複数の装置に関する情報を生産管理システムを介して受信する
S381
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S382
算定された装置区分と受信された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数（生産負荷）と稼働時期を算出する
S383
計算結果から常用装置と代替装置とに関する予防保全開始・終了時期を算出する
S384
算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信する
S385
終了

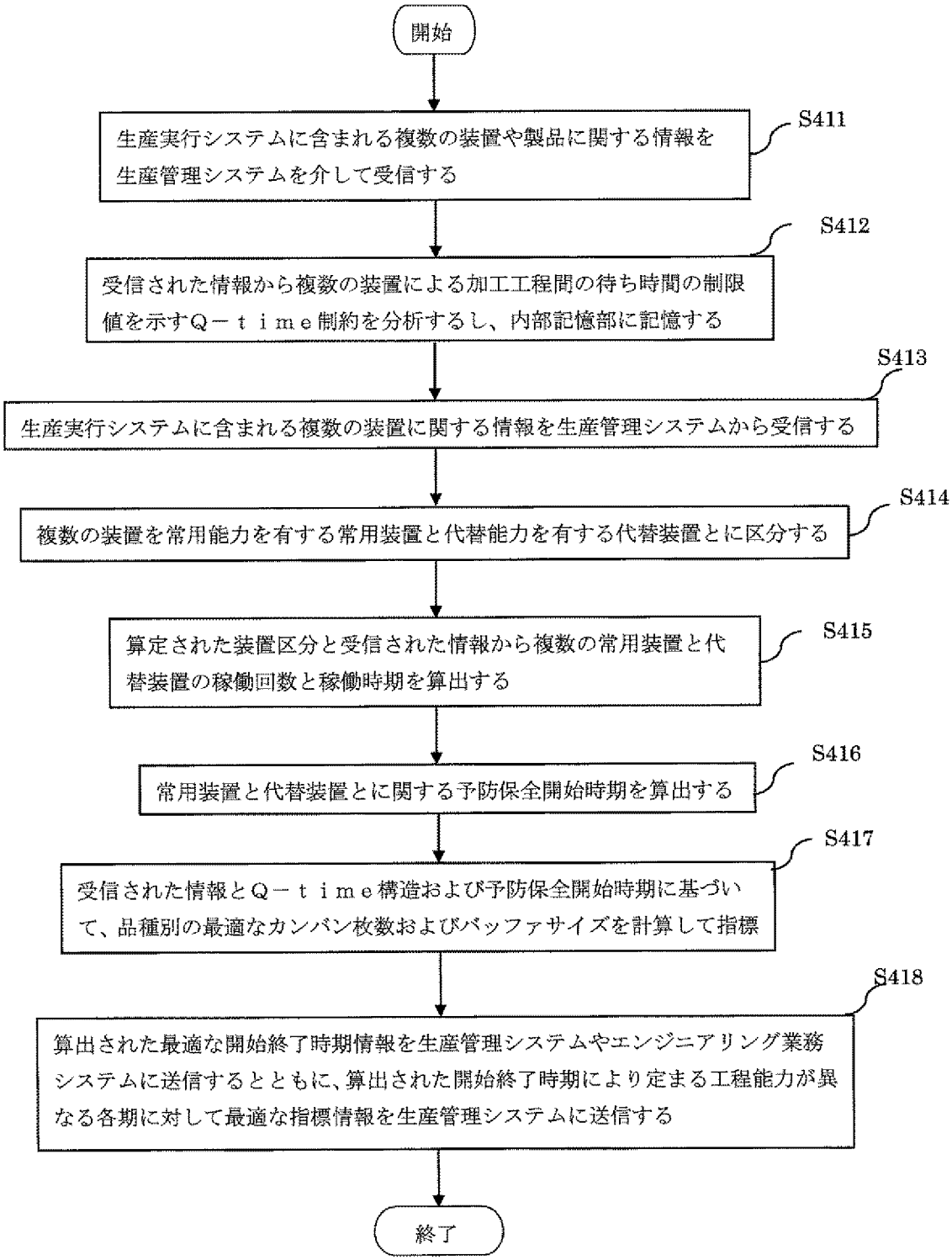
[図99]


開始
生産実行システムに含まれる複数の装置や製品に関する情報を生産管理システムを介して入力する
S391
入力された情報から複数の装置による加工工程間の待ち時間の制限値を示すQ－ｔｉｍｅ制約を分析し、内部記憶部に記憶する
S392
生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから入力する
S393
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S394
算定された装置区分と受信された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する
S395
常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する
S396
入力された情報とQ－ｔｉｍｅ構造および予防保全開始時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標情報として出力する
S397
算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給するとともに、算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を生産管理システムに供給する。
S398
終了

[図100]


開始
S401
算出された最適な指標情報および開始終了時期に対して、感度解析を予め行っておき、内部記憶部に記憶する
S402
各種入力情報の変動に対応した最適な指標情報および開始終了時期情報を即時に生産管理システムやエンジニアリング業務システムに供給する
終了

[図101]


開始
生産実行システムに含まれる複数の装置や製品に関する情報を生産管理システムを介して受信する
S411
受信された情報から複数の装置による加工工程間の待ち時間の制限値を示すＱ－ｔｉｍｅ制約を分析するし、内部記憶部に記憶する
S412
生産実行システムに含まれる複数の装置に関する情報を生産管理システムから受信する
S413
複数の装置を常用能力を有する常用装置と代替能力を有する代替装置とに区分する
S414
算定された装置区分と受信された情報から複数の常用装置と代替装置の稼働回数と稼働時期を算出する
S415
常用装置と代替装置とに関する予防保全開始時期を算出する
S416
受信された情報とＱ－ｔｉｍｅ構造および予防保全開始時期に基づいて、品種別の最適なカンバン枚数およびバッファサイズを計算して指標
S417
算出された最適な開始終了時期情報を生産管理システムやエンジニアリング業務システムに送信するとともに、算出された開始終了時期により定まる工程能力が異なる各期に対して最適な指標情報を生産管理システムに送信する
S418
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/084031

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G05B19/418(2006.01)i, *G06Q50/04*(2012.01)i, *H01L21/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05B19/418, G06Q50/04, H01L21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-77370 A (Renesas Technology Corp.), 03 April 2008 (03.04.2008), paragraphs [0019] to [0157]; fig. 1 to 12 (Family: none)	1-33
A	JP 2003-108213 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 April 2003 (11.04.2003), paragraphs [0042] to [0081]; fig. 1, 3 to 5 (Family: none)	1-33
A	JP 2003-22119 A (Japan Science and Technology Corp.), 24 January 2003 (24.01.2003), paragraphs [0025] to [0078]; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-33

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 February, 2013 (18.02.13)	26 February, 2013 (26.02.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０８４０３１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G05B19/418(2006.01)i, G06Q50/04(2012.01)i, H01L21/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G05B19/418, G06Q50/04, H01L21/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2008-77370 A（株式会社ルネサステクノロジ）2008.04.03, 段落【００１９】－【０１５７】，図１－１２ （ファミリーなし）	１－３３
A	JP 2003-108213 A（松下電器産業株式会社）2003.04.11, 段落【００４２】－【００８１】，図１，３－５ （ファミリーなし）	１－３３
A	JP 2003-22119 A（科学技術振興事業団）2003.01.24, 段落【００２５】－【００７８】，図１－９ （ファミリーなし）	１－３３

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １８．０２．２０１３	国際調査報告の発送日 ２６．０２．２０１３
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｕ　９５５６ 稲垣　浩司 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３２４