

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-123227

(P2014-123227A)

(43) 公開日 平成26年7月3日(2014.7.3)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
**G05B 19/418 (2006.01)** G05B 19/418 Z 3C100

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2012-278593 (P2012-278593)	(71) 出願人	000000974 川崎重工業株式会社 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(22) 出願日	平成24年12月20日 (2012.12.20)	(74) 代理人	110000556 特許業務法人 有古特許事務所
		(72) 発明者	村田 亘 兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
		(72) 発明者	長尾 陽一 兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
		Fターム(参考)	3C100 AA05 AA13 BB12 BB39

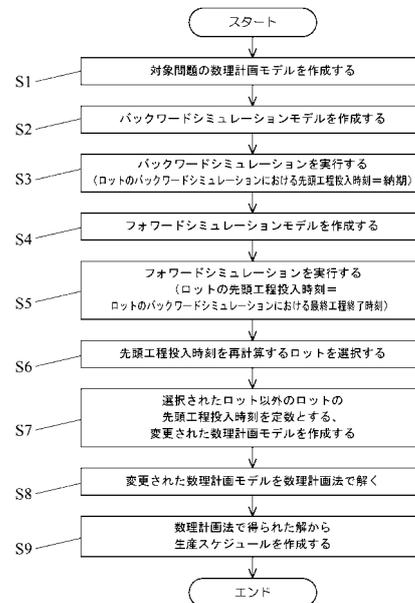
(54) 【発明の名称】 生産スケジュール作成方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 F C F S に従い且つ納期ずれが最小化された生産スケジュールを実用的な計算時間で求める。

【解決手段】 ロット単位でワークを取り扱う生産システムでのスケジューリング対象作業に対し、生産スケジュールを求解できる数理計画モデルを作成する。数理計画モデルは、ロットの先頭工程投入時刻や作業の開始時刻、終了時刻を変数とし、それらの変数が F C F S に従うという制約条件を課したものとする。次に、対象作業のバックワードシミュレーションを実行し、納期ずれ量がある程度小さくなると考えられる各ロットの先頭工程投入時刻を求める。続いて、求めた各ロットの先頭工程投入時刻を用いて、対象作業のフォワードシミュレーションを実行し、その結果から先頭工程投入時刻を再計算すべきロットを選択する。選択された以外のロットの先頭工程投入時刻を定数とした数理計画モデルを数理計画法で解き、再計算すべきロットの先頭工程投入時刻を求める。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

各ロットが 1 以上の工程で処理されるワークを 1 以上含んでおり、ロット単位でワークを処理する生産システムにおいて行われる複数の作業をスケジューリング対象作業とした生産スケジュールの作成方法であって、

前記スケジューリング対象作業について、各ロットの先頭工程投入時刻と、各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とし、それらの変数が F C F S に従うという制約条件を課した数理計画モデルを作成するステップと、

現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、バックワードシミュレーションモデルを作成するステップと、

前記バックワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々のバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻をロットごとに定められた納期としたバックワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻を求めるステップと、

現実の時間の流れに沿って時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、フォワードシミュレーションモデルを作成するステップと、

前記フォワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻としたフォワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとの最終工程終了時刻を求めるステップと、

前記フォワードシミュレーションの結果から、予め設定された第 1 の評価項目の値に基づいて、前記フォワードシミュレーションで用いた前記先頭工程投入時刻を再計算すべき 1 以上の再計算対象ロットを選択するステップと、

前記数理計画モデルの変数のうち前記再計算対象ロット以外のロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である定数に変更して、変更された数理計画モデルを作成するステップと、

前記変更された数理計画モデルを数理計画法で解き、予め設定された第 2 の評価項目の値を最適化する前記再計算対象ロットの前記先頭工程投入時刻を求めるステップと、

前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を少なくとも含む生産スケジュールを作成するステップとを含む、

生産スケジュール作成方法。

## 【請求項 2】

前記第 1 の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量である、請求項 1 に記載の生産スケジュール作成方法。

## 【請求項 3】

前記第 1 の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量である、請求項 1 に記載の生産スケジュール作成方法。

## 【請求項 4】

前記第 2 の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量の全ロットぶんの総和である、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の生産スケジュール作成方法。

## 【請求項 5】

前記第 2 の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量の全ロットぶんの総和である、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の生産スケジュール作成方法。

## 【請求項 6】

各ロットが 1 以上の工程で処理されるワークを 1 以上含んでおり、ロット単位でワークを処理する生産システムで行われる複数の作業をスケジューリング対象作業とした生産スケジュールの作成装置であって、

前記スケジューリング対象作業について、各ロットの先頭工程投入時刻と、各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とし、それらの変数が F C F S に従うという制約条件を課

10

20

30

40

50

した数理計画モデルを作成する数理計画モデル作成部と、

現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、バックワードシミュレーションモデルを作成するバックワードシミュレーションモデル作成部と、

前記バックワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々のバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻をロットごとに定められた納期としたバックワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻を求めるバックワードシミュレーション実行部と、

現実の時間の流れに沿って時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、フォワードシミュレーションモデルを作成するフォワードシミュレーションモデル作成部と、

前記フォワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻としたフォワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとの最終工程終了時刻を求めるフォワードシミュレーション実行部と、

前記フォワードシミュレーションの結果から、予め設定された第1の評価項目の値に基づいて、前記フォワードシミュレーションで用いた前記先頭工程投入時刻を再計算すべき1以上の再計算対象ロットを選択する再計算対象選択部と、

前記数理計画モデルの変数のうち前記再計算対象ロット以外のロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である定数に変更して、変更された数理計画モデルを作成する数理計画モデル変更部と、

前記変更された数理計画モデルを数理計画法で解き、予め設定された第2の評価項目の値を最適化する前記再計算対象ロットの前記先頭工程投入時刻を求め、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を少なくとも含む生産スケジュールを作成する数理計画法適用部とを備えている、

生産スケジュール作成装置。

【請求項7】

前記第1の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量である、請求項6に記載の生産スケジュール作成装置。

【請求項8】

前記第1の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量である、請求項6に記載の生産スケジュール作成装置。

【請求項9】

前記第2の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量の全ロットぶんの総和である、請求項6～8のいずれか一項に記載の生産スケジュール作成装置。

【請求項10】

前記第2の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量の全ロットぶんの総和である、請求項6～8のいずれか一項に記載の生産スケジュール作成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、F C F S (First-Come-First-Served basis ; 先着順制) に従った生産スケジュールの作成方法と、この方法を実行するための装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、或る一のワークの処理に使用する複数の設備と、他のワークの処理に使用する複数の設備とを一部共用することがある。このような場合に、処理順序を適切に設定しなければ、一のワークと他のワークとで設備の使用時間が重複してしまう事態が生じる。こ

10

20

30

40

50

うなれば、いずれかのワークのその設備での処理が終了するまで他のワークは待機せねばならない。ワークの流れが停滞すると、ワークの処理に要する時間やコストを増大させてしまい、生産効率が低下する。そこで、従来、共用する設備の使用時間が重複しないように、ワークに対する各作業の処理順序と開始時刻と設備への割当てを決定する生産スケジュール作成方法が提案されている。

【0003】

例えば、特許文献1では、製鋼プロセスの操業計画作成方法が示されている。この操業計画作成方法は、溶鋼のキャスト単位で処理順序を作成し、作成された処理順序を用いて設備が干渉しない実行可能な操業計画を作成し、設備の停止時間、溶鋼の滞留時間等を用いて作成された操業計画の評価関数を計算するものである。この方法では、溶鋼のキャスト単位で処理順序を変更した新たな操業計画を作成して、評価関数を改善するようにしている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-223848号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の方法で作成される生産スケジュールは、必ずしもFCFSに従ったものとならない。ここで「FCFSに従う」とは、ワークが工程に到着した順に処理を開始するというルールに従うことをいう。生産スケジュールがFCFSに従わない場合は、作成された生産スケジュールを確実に実行するために、決められた設備で決められた時刻に処理が開始されるように全ての作業について事細かに指示する必要がある。しかし、実際の生産現場では、このような事細かな指示をすることが困難であることが多く、作成された生産スケジュール通りに処理を実行することが困難である。

20

【0006】

また、対象問題を数理計画問題として定式化し、単純に数理計画法を適用すれば、FCFSに従い且つ納期ずれが最小化された生産スケジュールを求めることが可能である。しかし、対象問題の規模が大きい場合には、対象問題をそのまま数理計画法に適用すれば計算が膨大となって実用的な時間内に解を求めることができない。

30

【0007】

本発明は以上の事情に鑑みてされたものであり、その目的は、FCFSに従い且つ納期ずれが最小化された生産スケジュールを、実用的な計算時間内で求め得る方法および装置を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、各ロットが1以上の工程で処理されるワークを1以上含んでおり、ロット単位でワークを処理する生産システムにおいて行われる複数の作業をスケジューリング対象作業とした生産スケジュールの作成方法であって、前記スケジューリング対象作業について、各ロットの先頭工程投入時刻と、各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とし、それらの変数がFCFSに従うという制約条件を課した数理計画モデルを作成するステップと、現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、バックワードシミュレーションモデルを作成するステップと、前記バックワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々のバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻をロットごとに定められた納期としたバックワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻を求めるステップと、現実の時間の流れに沿って時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、

40

50

フォワードシミュレーションモデルを作成するステップと、  
 前記フォワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻としたフォワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとの最終工程終了時刻を求めるステップと、  
 前記フォワードシミュレーションの結果から、予め設定された第1の評価項目の値に基づいて、前記フォワードシミュレーションで用いた前記先頭工程投入時刻を再計算すべき1以上の再計算対象ロットを選択するステップと、  
 前記数理計画モデルの変数のうち前記再計算対象ロット以外のロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である定数に変更して、変更された数理計画モデルを作成するステップと、  
 前記変更された数理計画モデルを数理計画法で解き、予め設定された第2の評価項目の値を最適化する前記再計算対象ロットの前記先頭工程投入時刻を求めるステップと、  
 前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を少なくとも含む生産スケジュールを作成するステップとを含むものである。

10

20

30

40

50

#### 【0009】

また、本発明は、各ロットが1以上の工程で処理されるワークを1以上含んでおり、ロット単位でワークを処理する生産システムで行われる複数の作業をスケジューリング対象作業とした生産スケジュールの作成装置であって、  
 前記スケジューリング対象作業について、各ロットの先頭工程投入時刻と、各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とし、それらの変数がFCFSに従うという制約条件を課した数理計画モデルを作成する数理計画モデル作成部と、  
 現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、バックワードシミュレーションモデルを作成するバックワードシミュレーションモデル作成部と、  
 前記バックワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々のバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻をロットごとに定められた納期としたバックワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻を求めるバックワードシミュレーション実行部と、  
 現実の時間の流れに沿って時間を進めながら前記スケジューリング対象作業を模擬する、フォワードシミュレーションモデルを作成するフォワードシミュレーションモデル作成部と、  
 前記フォワードシミュレーションモデルを用いて、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻としたフォワードシミュレーションを実行して、前記ロットごとの最終工程終了時刻を求めるフォワードシミュレーション実行部と、  
 前記フォワードシミュレーションの結果から、予め設定された第1の評価項目の値に基づいて、前記フォワードシミュレーションで用いた前記先頭工程投入時刻を再計算すべき1以上の再計算対象ロットを選択する再計算対象選択部と、  
 前記数理計画モデルの変数のうち前記再計算対象ロット以外のロットの各々の前記先頭工程投入時刻を前記バックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である定数に変更して、変更された数理計画モデルを作成する数理計画モデル変更部と、  
 前記変更された数理計画モデルを数理計画法で解き、予め設定された第2の評価項目の値を最適化する前記再計算対象ロットの前記先頭工程投入時刻を求め、前記ロットの各々の前記先頭工程投入時刻を少なくとも含む生産スケジュールを作成する数理計画法適用部とを備えているものである。

#### 【0010】

上記において「FCFSに従う」とは、ロットが工程に到着した順に処理を開始するというルールに従うことをいう。また、上記においてロットの「先頭工程投入時刻」とは、そのロットが経る複数の工程のうち最初の工程に到着する時刻をいい、ロットの「最終工程終了時刻」とは、そのロットが経る複数の工程のうち最後の工程で作業を終了する時刻

をいい、ロットの「納期」とは、ロットの最終工程終了時刻の目標時刻をいう。

【0011】

上記発明の方法および装置によれば、作成された生産スケジュールには各ロットの先頭工程投入時刻が含まれる。生産スケジュールはFCFSに従ったものであるため、各ロットについて先頭工程投入時刻が定めれば、あとは工程に沿ってロットを移動させて処理を行えば、生産スケジュール通りの生産を行うことができる。この生産スケジュールは、各工程で使用する設備における各ワークに対する作業の開始時刻と処理順序を事細かに指示する必要がないので、実際の生産現場においても容易に実施可能である。

【0012】

また、上記発明によれば、定式化された対象問題に対して、一部のロットの先頭工程投入時刻をバックワードシミュレーションで決定している。換言すれば、全てのロットの先頭工程投入時刻を数理計画法で決定しない。このようにして数理計画法で決定すべき先頭工程投入時刻の数が減少するため、問題が単純となり、実用的な時間内で生産スケジュールを求めることが可能となる。

10

【0013】

さらに、上記発明によれば、対象問題を数理計画モデルとして扱っているため、任意の制約条件や評価関数を設定したり、設定されたものを容易に変更したりすることができる。よって、目的に応じた生産スケジュールを作成することができる。

【0014】

本発明は、上記生産スケジュール作成方法および装置において、前記第1の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量であるものである。

20

【0015】

また、本発明は、上記生産スケジュール作成方法および装置において、前記第2の評価項目が、前記ロットごとの前記納期と前記最終工程終了時刻の時間のずれ量の全ロットぶんの総和であるものである。

【0016】

上記発明によれば、FCFSに従い且つ納期からのずれ量が最小化された生産スケジュールを作成することができる。

【0017】

本発明は、上記生産スケジュール作成方法および装置において、前記第1の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量であるものである。

30

【0018】

また、本発明は、上記生産スケジュール作成方法および装置において、前記第2の評価項目が、前記ロットごとの前記納期から前記最終工程終了時刻までの時間の遅れ量の全ロットぶんの総和であるものである。

【0019】

上記発明によれば、FCFSに従い且つ納期からの遅れ量が最小化された生産スケジュールを作成することができる。

【発明の効果】

40

【0020】

本発明によれば、対象問題に対し、バックワードシミュレーションを実行することにより一部の先頭工程投入時刻を決定してから、数理計画法を適用している。これにより、全ての工程の作業開始時刻を数理計画法で求める場合と比較して問題が単純となり、実用的な時間内で生産スケジュールを求めることが可能となる。また、作成される生産スケジュールはFCFSに従ったものであり、対象となるロットの先頭工程投入時刻のみが指示されているので、作成された生産スケジュール通りの生産を実施することが容易である。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の一実施形態に係る生産スケジュール作成装置の構成を示すブロック図で

50

ある。

【図2】実施例1に係る生産システムの処理工程の流れを説明する図である。

【図3】生産スケジュール作成方法の流れを説明するフローチャートである。

【図4】生産スケジュールのガントチャートである。(a)はバックワードシミュレーションで求めた生産スケジュール第1案であり、(b)はフォワードシミュレーションで求めた生産スケジュール第2案であり、(c)は数理計算法を適用して求めた生産スケジュールである。

【発明を実施するための形態】

【0022】

次に、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。本発明に係る生産スケジュール作成方法が適用される生産システムは、例えば、ワークが複数の工程を経て生産され、各工程では1以上の設備が存在し、1以上のワークがロット単位で工程間を移動して処理されるシステムである。本発明では、このような生産システムで行われる複数の作業をスケジューリング対象作業としている。このスケジューリング対象作業に対して作成される生産スケジュールは、FCFS(First-Come-First-Served basis; 先着順制)に従っている。ここで「FCFSに従う」とは、ロットが工程に到着した順に処理を開始するというルールに従うことをいう。

10

【0023】

図1は本発明の一実施形態に係る生産スケジュール作成装置の構成を示すブロック図である。図1に示すように、本実施の形態に係る生産スケジュール作成装置2は、数理計画モデル作成部11、BS(BS:バックワードシミュレーション(Backward Simulation))モデル作成部12、BS実行部13、FS(FS:フォワードシミュレーション(Forward Simulation))モデル作成部14、FS実行部15、再計算対象選択部16、数理計画モデル変更部17および数理計画法適用部18を備えている。生産スケジュール作成装置2は、ディスプレイなどの出力手段3、キーボードなどの入力手段4が接続されている。生産スケジュール作成装置2は、入力手段4から情報を取得したり出力手段3へ情報を出力したりするためのI/O部、情報やプログラムなどを格納するための記憶部、演算処理を行う演算処理部など(いずれも図示せず)を備えている。そして、生産スケジュール作成装置2は、演算処理部で記憶部に格納された所定のプログラムを実行することにより、上記生産スケジュール作成装置2の各機能部11~18として機能することができる。

20

30

【0024】

続いて、生産スケジュール作成装置2で行われる生産スケジュール生成の流れを、実施例1に沿って説明する。図2は実施例1に係る生産システムの処理工程の流れを説明する図、図3は生産スケジュール作成方法の流れを説明するフローチャートである。図4(a)~(c)は生産スケジュールのガントチャートであり、横軸が時間軸であり、横棒によって設備ごとの作業の進捗状況を表している。

【0025】

図2に示すように、実施例1に係る生産システムでは、第1ロットL1と第2ロットL2の2種のワークを処理する。第1ロットL1には、ワークW1とワークW2が含まれている。第2ロットL2には、ワークW3が含まれている。第1ロットL1のワークW1、W2は、第1工程P1と第2工程P2をそれぞれ1回ずつ順に経る。第2ロットL2のワークW3は、第2工程を2回経る。第1工程P1では、設備M1と設備M2のうちいずれか一方を使用する。設備M1と設備M2は同じ作業を行う設備であり、いずれを使用してもかまわない。第2工程P2では、設備M3を使用する。次に示す表1では、実施例1に係る生産システムで行う全ての作業を記載している。

40

【0026】

【表 1】

ロット	L1				L2	
ワーク	W1		W2		W3	
作業	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6
処理工程	P1	P2	P1	P2	P2	P2

## 【0027】

上記表 1 に示すように、第 1 ロット L 1 のワーク W 1 に対し、第 1 工程 P 1 の作業 Op 1 と第 2 工程 P 2 の作業 Op 2 とが行われる。第 1 ロット L 1 のワーク W 2 に対し、第 1 工程 P 1 の作業 Op 3 と第 2 工程 P 2 の作業 Op 4 が行われる。また、第 2 ロット L 2 のワーク W 3 に対し、第 2 工程 P 2 の作業 Op 5 と第 2 工程 P 2 の作業 Op 6 とが行われる。各処理工程間の移動はロットごとに行い、各処理工程では設備を使用するロットを入れ替える度に段取替え時間が必要である。各ロットには、ロットごとに異なる納期が設定されており、第 1 ロット L 1 の納期が納期 D 1 であり、第 2 ロット L 2 の納期が納期 D 2 である。以下では、実施例 1 に係る生産システムの以上の 6 つの作業 Op 1 ~ 6 をスケジューリング対象作業として、FCFS に従い且つ納期ずれが最小となる生産スケジュール作成方法を説明する。

10

## 【0028】

図 3 に示すように、生産スケジュール作成装置 2 は、まず、数理計画モデル作成部 1 1 で、対象問題の数理計画モデルを作成する（ステップ S 1）。この数理計画モデルは、スケジューリング対象作業について、各ロットの先頭工程投入時刻と、各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とし、それらの変数が FCFS に従うように定式化したものである。実施例 1 に係る生産システムにおいては、上述のスケジューリング対象作業 Op 1 ~ 6 を定式化した数理計画モデルが作成される。この数理計画モデルでは、各ロットの先頭工程投入時刻と、ワークに対する各作業の開始時刻および終了時刻とを変数とする。各作業の処理時間や各作業間の段取替え時間などは既知であり定数である。また、この数理計画モデルの制約条件は、FCFS に従うこと、各設備 M 1 ~ M 3 で作業が時間的に重複しないこと、ロット中での処理順序などである。また、この数理計画モデルの目的関数（評価関数）は、ロットごとの納期ずれ量の全ロットぶんの総和であり、この最適解（評価値が最小となる解）を求める。

20

30

## 【0029】

次に、生産スケジュール作成装置 2 は、BS モデル作成部 1 2 でバックワードシミュレーションモデルを作成する（ステップ S 2）。このバックワードシミュレーションモデルは、現実の時間の流れとは逆方向に時間を進めながらスケジューリング対象作業を模擬するための、シミュレーションモデルである。

## 【0030】

続いて、BS 実行部 1 3 で、バックワードシミュレーションモデルを用いてバックワードシミュレーションを実行する（ステップ S 3）。このバックワードシミュレーションでは、各ロットにおいて、ロットのバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻をそのロットの納期と定める。このバックワードシミュレーションにより、ロットごとのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻を求めることができる。上記において、ロットの「先頭工程投入時刻」とはそのロットが経る 1 以上の工程のうち最初の工程に到着する時刻をいい、ロットの「最終工程終了時刻」とは、そのロットが経る 1 以上の工程のうち最後の工程で作業を終了する時刻をいい、ロットの「納期」とは、ロットの最終工程終了時刻の目標時刻をいう。バックワードシミュレーションでは、時間を実際とは逆方向に進めるので、ワークが完成品の状態から素材の状態に戻る過程を模擬することとなる。したがって、或るロットのバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻はそのロットの正時間軸での最終工程終了時刻であり、或るロットのバックワー

40

50

ドシミュレーションにおける最終工程終了時刻はそのロットの正時間軸での先頭工程投入時刻である。

【0031】

図4(a)はバックワードシミュレーションで求めた生産スケジュール第1案を示すガントチャートである。同図に示すように、実施例1では、第2ロットL2の納期D2を第2ロットL2のバックワードシミュレーションにおける先頭工程投入時刻とする。つまり、作業Op6のバックワードシミュレーションにおける開始時刻(以下、BS開始時刻という)を納期D2である時刻t1とする。作業Op6のBS開始時刻が決まれば、作業Op6のバックワードシミュレーションにおける終了時刻(以下、BS終了時刻という)と、そこから段取替え時間を挟んだ作業Op4のBS開始時刻t2が決まる。作業Op4のBS開始時刻t2が決まれば、作業Op4のBS終了時刻と、作業Op2のBS開始時刻t3およびBS終了時刻が決まる。次いで、第2工程P2での作業を終えた第1ロットL1を第1工程P1へ移す。ここでは、工程でのロットの入れ替えを行わないので段取替え時間は考慮しない。作業Op1および作業Op3のBS開始時刻t4が決まれば、作業Op1と作業Op3のBS終了時刻t5が決まる。時刻t5は、第1ロットL1のバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である。また、作業Op2のBS終了時刻から、段取替え時間を挟んだ作業Op5のBS開始時刻t6と、作業Op5のBS終了時刻t7が決まる。時刻t7は、第2ロットのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻である。

10

【0032】

以上のようにしてバックワードシミュレーションを行うことにより、納期D2をバックワードシミュレーションにおけるロット(第2ロットL2)の先頭工程投入時刻とした生産スケジュール第1案(処理順序と処理開始時刻)を求めることができる。この生産スケジュール第1案は、納期を先頭工程投入時刻としたバックワードシミュレーションで求めたものであるため、納期ずれが比較的小さくなっている。しかし、生産スケジュール第1案は、バックワードシミュレーションで求めたものであるために、正時間軸では必ずしもFCFSに従うとは限らない。図4(a)に示すガントチャートでは、正時間軸で処理の流れをみたときに、ワークW3の作業Op5が、ワークW1の作業Op1およびワークW2の作業Op3よりも先に終了するにもかかわらず、ワークW1の作業Op2が先に行われる。よって、この生産スケジュールはFCFSに従ったものではない。

20

30

【0033】

そこで、生産スケジュール作成装置2は、バックワードシミュレーションで作成された生産スケジュール第1案を利用し、同じスケジュールリング対象作業に対してフォワードシミュレーションを実行することにより、FCFSに従った生産スケジュールを作成するようにしている。ここで、生産スケジュール作成装置2は、まず、FSモデル作成部14で、フォワードシミュレーションモデルを作成する(ステップS4)。このフォワードシミュレーションモデルは、現実の時間の流れに沿って時間を進めながらスケジュールリング対象作業を模擬するための、シミュレーションモデルである。フォワードシミュレーションでは、時間を実際と同じ方向に進めるので、ワークが素材の状態から完成品の状態に変化する過程を模擬することとなる。

40

【0034】

続いて、FS実行部15で、フォワードシミュレーションモデルを用いてフォワードシミュレーションを実行する(ステップS5)。このフォワードシミュレーションでは、各ロットにおいて、ロットの先頭工程投入時刻をそのロットのバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻と定める。このフォワードシミュレーションにより、ロットごとの最終工程終了時刻を求めることができる。

【0035】

図4(b)はフォワードシミュレーションで求めた生産スケジュール第2案を示すガントチャートである。実施例1では、バックワードシミュレーションで得られた第1ロットL1のバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻t5を、フォワードシミ

50

ュレーションにおける第1ロットL1の先頭工程投入時刻 $t_5$ とする。また、バックワードシミュレーションで得られた第2ロットL2のバックワードシミュレーションにおける最終工程終了時刻 $t_7$ を、フォワードシミュレーションにおける第2ロットL2の先頭工程投入時刻 $t_7$ とする。そして、フォワードシミュレーションにおける各ロットL1, L2の最終工程終了時刻を求める。作業Op5の開始時刻 $t_7$ が決まれば、作業Op5の終了時刻、作業Op6の開始時刻 $t_8$ 、および作業Op6の終了時刻 $t_9$ が決まる。作業Op6の終了時刻 $t_9$ は第2ロットL2の最終工程終了時刻である。また、作業Op6の終了時刻 $t_9$ が決まれば、作業Op2の開始時刻 $t_{10}$ 、作業Op2の終了時刻、作業Op4の開始時刻 $t_{11}$ 、および作業Op4の終了時刻 $t_{12}$ が決まる。作業Op4の終了時刻 $t_{12}$ は第1ロットL1の最終工程終了時刻である。このフォワードシミュレーションで得られた生産スケジュール第2案は、FCFSに従って、ワークW3の作業Op5がワークW1, W2の作業Op1, Op3よりも先に終了することから、ワークW3の作業Op6をワークW1, W2の作業よりも先に開始する。この点で、上述のバックワードシミュレーションで求めた生産スケジュール第1案と異なる。

10

#### 【0036】

以上のようなフォワードシミュレーションを行うことにより、FCFSに従った生産スケジュール第2案を求めることができる。しかし、この生産スケジュール第2案は各ロットの最終工程終了時刻が納期からずれている。そこで、最終工程終了時刻と納期との時間ずれ量を小さくするために、数理計画法を利用する。これにあたり、初めに、再計算対象選択部16が、フォワードシミュレーションで定めた先頭工程投入時刻を再計算すべき1以上の再計算対象ロットを選択する(ステップS6)。再計算対象選択部16の評価項目は、ロットごとの最終工程終了時刻と納期との時間ずれ量(すなわち、納期ずれ量)であり、ここでは、時間ずれ量の絶対値としている。生産スケジュール第2案において、第1ロットL1の納期ずれ量 $V_1$ (最終工程終了時刻 $t_{12}$ と納期 $D_1$ との時間ずれ量)の絶対値と、第2ロットL2の納期ずれ量 $V_2$ (最終工程終了時刻 $t_9$ と納期 $D_2$ との時間ずれ量)の絶対値とを比較すると、納期ずれ量 $V_1$ の絶対値よりも納期ずれ量 $V_2$ の絶対値が大きい。そこで、再計算対象選択部16は、第2ロットL2を先頭工程投入時刻を再計算するロットに選択する。なお、本実施の形態では、再計算対象選択部16の評価項目を、ロットごとの納期と最終工程終了時刻の時間ずれ量の絶対値としているが、評価項目は目的に応じて適宜変更することができる。例えば、再計算対象選択部16の評価項目は、ロットごとの納期と最終工程終了時刻の時間ずれ量のうち、納期から最終工程終了時刻までの時間遅れ量に特化したものとすることもできる。この場合、納期より後に最終工程終了時刻が来るロットのみが再計算対象として考慮され、納期遅れがより重視された生産スケジュールが得られることとなる。また、実施例1ではロット数が2であるため、いずれか一方のロットを再計算対象として選択するが、ロット数が3以上の場合は、評価値の悪い複数(例えば、半数、全ロット数の $1/3$ 、全ロット数の $1/4$ など)のロットを再計算対象として選択することができる。このように、再計算対象として選択されるロット数は、全ロット数よりも少なくなる。

20

30

#### 【0037】

上述のように先頭工程投入時刻を再計算するロットが選択されると、数理計画モデル変更部17は、先頭工程投入時刻を再計算するロットの先頭工程投入時刻を変数とし、先頭工程投入時刻を再計算しない余のロットの先頭工程投入時刻が定数となるように、数理計画モデルを変更する(ステップS7)。ここで、定数とするロットの先頭工程投入時刻は、バックワードシミュレーションの結果得られたロットの先頭工程投入時刻とする。そして、数理計画法適用部18は、変更された数理計画モデルを、納期ずれ量の総和を評価関数として、この評価関数が最小となるように解く(ステップS8)。この結果、得られた解が対象問題の解となる。

40

#### 【0038】

図4(c)は数理計算法を適用して求めた生産スケジュールのガントチャートである。同図に示すように、実施例1について求められた生産スケジュールでは、第1ロットL1

50

の先頭工程投入時刻を時刻  $t_5$  とし、納期  $D_1$  が第 1 ロット  $L_1$  の最終工程終了時刻  $t_6$  となるように、作業  $Op_2$  の開始時刻  $t_{14}$  と作業  $Op_4$  の開始時刻  $t_{15}$  が決められている。そして、作業  $Op_2$  の開始時刻  $t_{14}$  から段取替え時間だけ前が作業  $Op_5$  の終了時刻となり、これから作業  $Op_5$  の開始時刻  $t_{13}$  が決まる。作業  $Op_5$  の開始時刻  $t_{13}$  は、第 2 ロット  $L_2$  の先頭工程投入時刻である。また、作業  $Op_4$  の終了時刻  $t_{16}$  から段取替え時間だけ後が作業  $Op_6$  の開始時刻  $t_{17}$  となり、作業  $Op_6$  の終了時刻  $t_{18}$  が決まる。作業  $Op_6$  の終了時刻  $t_{18}$  は、第 2 ロットの最終工程終了時刻である。

#### 【0039】

上記のように変更された数理計画モデルに数理計画法を適用することにより求められた解は、第 1 ロット  $L_1$  の納期ずれ量がゼロで、第 2 ロット  $L_2$  の納期ずれ量  $V_2$  が納期  $D_2$  と最終工程終了時刻  $t_{18}$  との差の絶対値となる。以上のようにして求めた各ロットの先頭工程投入時刻によって、FCFS に従い且つ納期ずれ量の総和が最小化されるような生産スケジュールが定まる。最後に、数理計画法適用部 18 は、各ロットの先頭工程投入時刻を少なくとも含む生産スケジュールを作成する（ステップ S9）。作成された生産スケジュールは、生産スケジュール作成装置 2 から出力手段 3 へ出力される。

10

#### 【0040】

以上説明した生産スケジュールの作成方法は、各ロットの先頭工程投入時刻のみを独立的に決定している。作成された生産スケジュールは FCFS に従っていることから、各ロットについて先頭工程投入時刻を指示すれば、あとは工程に沿ってロットを移動させて処理を行えば、生産スケジュール通りの生産を行うことができる。生産スケジュールは FCFS に従ったものであるため、ロットが工程に到着すれば、そのロットに含まれるワークについての作業の処理順序と処理開始時刻は、実際の生産現場で容易に決定することができる。つまり、この生産スケジュールは、各工程で使用する設備での処理開始時刻と処理順序を事細かに指示する必要がないので、実際の生産現場で実施することが容易である。

20

#### 【0041】

また、上記生産スケジュールの作成方法は、数理計画問題として定式化された対象問題に対して、一部のロットの先頭工程投入時刻をバックワードシミュレーションで決定している。換言すれば、全てのロットの先頭工程投入時刻を数理計画法で決定しない。このようにして数理計画法で決定すべき先頭工程投入時刻の数が減少するため、問題が単純となり、対象問題の規模が大きい場合であっても実用的な時間内で生産スケジュールを求めることが可能となる。

30

#### 【0042】

さらに、上記生産スケジュールの作成方法によれば、対象問題を数理計画モデルとして扱っているため、任意の制約条件（例えば、納期遅れが 0 以下でなければならない、など）や評価関数（例えば、納期前ずれより納期遅れに重みを置いて評価関数を最小化する、納期ずれに加えて段取替え回数を最小化する、など）を設定したり、設定された制約条件や評価関数を容易に変更したりすることができる。よって、目的に応じた生産スケジュールを作成することができる。

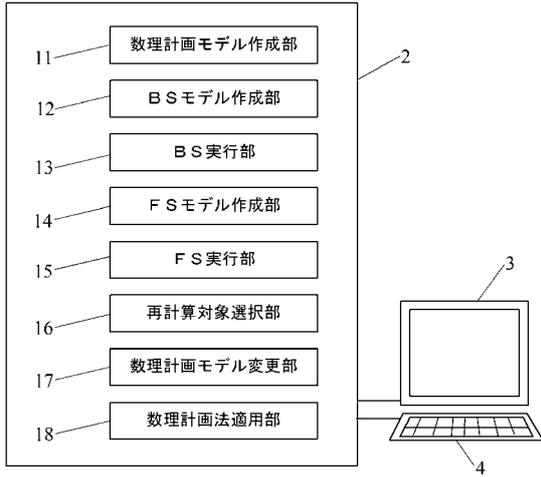
#### 【符号の説明】

#### 【0043】

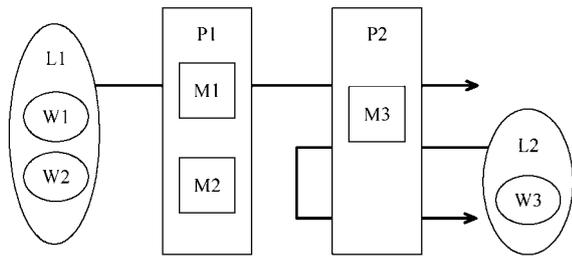
- 2 生産スケジュール作成装置
- 11 数理計画モデル作成部
- 12 BSモデル作成部
- 13 BS実行部
- 14 FSモデル作成部
- 15 FS実行部
- 16 再計算対象選択部
- 17 数理計画モデル変更部
- 18 数理計画法適用部

40

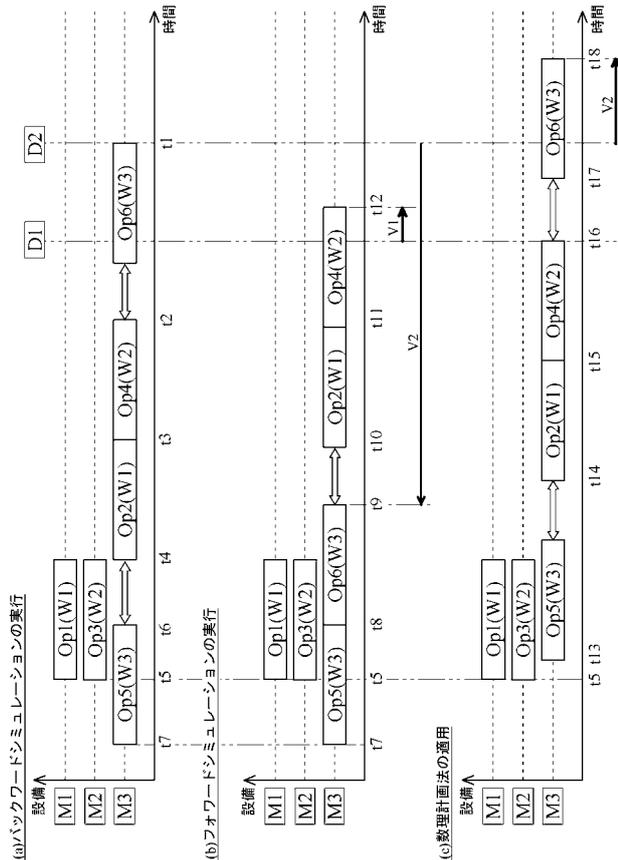
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 4 】



【 図 3 】

