(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2020-52931
(P2020-52931A)
(43)公開日　令和2年4月2日(2020.4.2)

(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 9　ＯＬ　（全 19 頁）

(21)出願番号　特願2018-184164 (P2018-184164)
(22)出願日　平成30年9月28日 (2018.9.28)

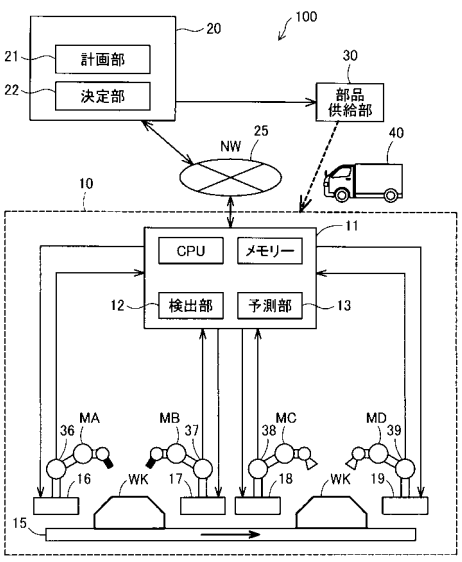
(71)出願人　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目１番６号
(74)代理人　110000028
特許業務法人明成国際特許事務所
(72)発明者　渡邊　亮基
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

Ｆターム(参考)　3C100 AA29 AA56 AA63 BB02 BB03 BB13 BB33 CC02 EE03

(54)【発明の名称】生産システムおよび生産方法

(57)【要約】
【課題】製造機械の１つに故障の可能性が生じ、故障時期までに部品の交換などができないときでも、生産システムの生産を確保する。
【解決手段】生産システムを構成する第１製造機械が故障する予兆を検出したとき、第１製造機械の稼働がこの故障により停止する停止時期を予測し、故障により稼働を停止する第１製造機械を正常な状態に戻せるメンテナンス時期を特定する。計画部によって計画された第１合計生産率を達成するよう、第１，第２製造装置を稼働している際に、故障の予兆が検出され、第１製造機械の停止時期がメンテナンス時期より前である場合には、少なくとも第１製造機械の稼働量を、故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、停止時期までの合計生産率を、第１合計生産率より高い第２合計生産率とする。
【選択図】図１

Fig.1



【特許請求の範囲】
【請求項１】
生産量の計画に基づいて複数の製造機械を運用する生産システムであって、
前記複数の製造機械のうちの一つであり、第１作業を実施する第１製造機械と、
前記複数の製造機械のうちの一つであり、第２作業を実施する第２製造機械であって、前記第１製造機械の前記第１作業の少なくとも一部を代替可能である第２製造機械と、
所定期間の生産量として計画された合計生産量に従って、前記第１，第２製造機械による合計の生産率である合計生産率を計画する計画部と、
前記第１製造機械から動作状態を表わす状態量を取得して、前記第１製造機械が故障する予兆を検出する検出部と、
前記検出部が前記故障の予兆を検出したとき、前記第１製造機械の稼働が前記故障により停止する時期である停止時期を予測する予測部と、
前記故障により稼働を停止する前記第１製造機械を稼働状態に戻せる時期であるメンテナンス時期を特定する決定部と、
前記計画部によって前記計画された合計生産率である第１合計生産率を達成するように、前記第１製造機械および前記第２製造機械の各稼働量を制御する生産制御部と、
を備え、
前記生産制御部は、前記第１製造機械の前記故障の予兆が検出されたとき、前記予測された前記停止時期が前記メンテナンス時期より前である場合には、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、前記停止時期までの前記合計生産率を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とする生産率増加制御を行なう
生産システム。
【請求項２】
請求項１記載の生産システムであって、
前記生産制御部は、前記生産率増加制御として、
前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでと同じ稼働量に維持し、
前記第２製造機械の稼働量を、前記第２合計生産率を達成する稼働量に高める制御を行なう
生産システム。
【請求項３】
請求項１に記載の生産システムであって、
前記生産制御部は、前記生産率増加制御として、
前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量より高く制御し、
前記第２製造機械の稼働量を、前記第２合計生産率を達成する稼働量とする制御を行なう
生産システム。
【請求項４】
請求項１から請求項３のいずれか一項に記載の生産システムであって、
前記生産制御部は、前記生産率増加制御を、前記生産量の前記計画を変更可能な時期から行なう生産システム。
【請求項５】
請求項１から請求項４のいずれか一項に記載の生産システムであって、更に
前記第１製造機械の稼働情報を取得する稼働情報取得部を備え、
前記検出部は、前記第１製造機械の稼働情報を利用して、前記故障の予兆を検出する生産システム。
【請求項６】
請求項１から請求項５のいずれか一項に記載の生産システムであって、

更に、前記検出部の検出した前記故障の予兆に従って、前記第１製造機械の前記故障を回避または修復するために交換すべき部品を特定する特定部と、
前記特定された交換すべき部品の納品の予定を管理する交換部品管理部と
を備え、
決定部は、前記メンテナンス時期を、前記交換すべき部品の納品の予定に従って特定する生産システム。
【請求項７】
請求項１から請求項６のいずれか一項に記載の生産システムであって、
前記予測部は、前記停止時期の予測を、前記生産率増加制御において制御される前記第１製造機械の稼働量に従って行なう生産システム。
【請求項８】
請求項１から請求項７のいずれか一項に記載の生産システムであって、
前記生産制御部は、前記停止時期までの前記第２合計生産率と前記停止時期から前記メンテナンス時期までの合計生産率である第３合計生産率とを、前記メンテナンス時期までに前記第１合計生産率で前記第１，第２製造機械が稼働した場合の合計生産量と同等の合計生産量となるように修正する
生産システム。
【請求項９】
生産量の計画に基づいて複数の製造機械を運用する生産方法あって、
前記複数の製造機械のうちの一つである第１製造機械と、前記第１製造機械が行なう作業の少なくとも一部を代替可能である第２製造機械とによる合計の生産率である合計生産率を計画し、
前記第１製造機械が故障する予兆を検出し、
前記故障の予兆を検出したとき、前記第１製造機械の稼働が前記故障により停止する時期である停止時期を予測し、
前記故障により稼働を停止する前記第１製造機械を稼働状態に戻せる時期であるメンテナンス時期を特定し、
前記計画された合計生産率である第１合計生産率を達成するように、前記第１製造機械および前記第２製造機械の各稼働量を制御し、
前記第１製造機械の前記故障の予兆が検出されたとき、前記予測された前記停止時期が前記メンテナンス時期より前である場合には、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、前記停止時期までの前記合計生産率を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とする
生産方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、複数の機械を用いて生産を行なう生産技術に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、種々の製品を生産する工場の省人化、自動化に伴い、複数の機械やロボット（以下、単に製造機械とも呼ぶ）を協働させる生産システムが普及している。こうした生産システムでは、システムを構成する製造機械の一つが故障すると、システム全体の効率が低下する。そこで、製造機械の故障の予兆を検出し、故障に先立って交換部品を用意し、生産システムを停止する期間を短くすることが試みられている。交換部品を用意するまでに時間がかかる場合には、下記特許文献１のように、故障の予兆を検出した製造機械の作業負荷を低く制御し、他の製造機械の作業負荷を高める制御も提案されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】

【特許文献１】特開２０１７－１０２５５４号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかしながら、上記特許文献１の技術は、生産システムの効率を維持するために、故障の予兆が検出された製造機械以外の他の製造機械の作業負荷を高める。そのため、他の製造機械の劣化が、故障の予兆が検出されなかった場合に比べて他の製造機械の劣化が加速する。この結果、他の製造機械の故障の可能性が高まる虞があった。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本開示にかかる技術は、以下の形態として実現することが可能である。即ち、生産量の計画に基づいて複数の製造機械を運用する生産システムであって、前記複数の製造機械のうちの一つであり、第１作業を実施する第１製造機械と、前記複数の製造機械のうちの一つであり、第２作業を実施する第２製造機械であって、前記第１製造機械の第１作業の少なくとも一部を代替可能である第２製造機械と、所定期間の生産量として計画された合計生産量に従って、前記第１，第２製造機械による合計の生産率である合計生産率を計画する計画部と、前記第１製造機械から動作状態を表わす状態量を取得して、前記第１製造機械が故障する予兆を検出する検出部と、前記検出部が前記故障の予兆を検出したとき、前記第１製造機械の稼働が前記故障により停止する時期である停止時期を予測する予測部と、前記故障により稼働を停止する前記第１製造機械を正常な状態に戻せる時期であるメンテナンス時期を特定する決定部と、前記計画部によって前記計画された合計生産率である第１合計生産率を達成するように、前記第１製造機械および前記第２製造機械の各稼働量を制御する生産制御部と、を備え、前記生産制御部は、前記第１製造機械の前記故障の予兆が検出されたとき、前記予測された前記停止時期が前記メンテナンス時期より前である場合には、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、前記停止時期までの前記合計生産率を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とする生産率増加制御を行なうことを特徴とする。
【図面の簡単な説明】
【０００６】
【図１】第１実施形態の生産システムの構成を示す概略構成図である。
【図２】生産本部が実施する二つの処理である生産本部生産開始処理と生産本部通常処理のそれぞれを示すフローチャートである。
【図３】生産本部が入力した生産量の計画から各製造機械の稼働量を割り当てる様子を示す説明図である。
【図４】工場おける生産を制御するために生産制御部が実行する工場制御処理を示すフローチャートである。
【図５】工場制御処理内の故障対応処理の詳細を示すフローチャートである。
【図６】第１実施形態の生産システムにおける生産量の推移と、これを実現する各製造機械の稼働量を示すグラフである。
【図７】第１実施形態における製造機械毎の溶接箇所数とスポット溶接箇所間を移動する際のスピードを、各期間に分けて示す説明図である。
【図８】第２実施形態の生産システムにおける生産量の推移と、これを実現する各製造機械の稼働量を示すグラフである。
【図９】第２実施形態における製造機械毎の溶接箇所数とスポット溶接箇所間を移動する際のスピードを、各期間に分けて示す説明図である。
【図１０】第３実施形態の生産システムにおける生産量の推移と、これを実現する各製造機械の稼働量を示すグラフである。
【図１１】第３実施形態における製造機械毎の溶接箇所数とスポット溶接箇所間を移動する際のスピードを、各期間に分けて示す説明図である。
【発明を実施するための形態】

【０００７】
Ａ．実施形態のハードウェア構成：
図１は、第１実施形態の生産システム１００の構成を示す概略構成図である。生産システム１００は、複数の製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤが設置された工場１０と、工場１０と広域ネットワーク（ＮＷ）２５を介して通信可能な計画部としての生産本部２０とを備える。生産本部２０は、外部のベンダーまたは自社の倉庫である部品供給部３０に対して、部品の発注が可能であり、部品供給部３０は、発注された製品を最短の納期で、例えばトラック４０等を用いて、工場１０に発送する。
【０００８】
工場１０には、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤを統括・制御する生産制御部１１が設けられている。この生産制御部１１は、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤに設けられた駆動部１６，１７，１８，１９に対して駆動指示を出力し、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの動作を制御する。製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤは、インテリジェントな装置であり、予めプログラムされた動作を自律的に行なう、いわばロボットである。本実施形態において、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤのうち、製造機械ＭＡ，ＭＢは溶接ロボットであり、製造機械ＭＣ，ＭＤは塗装ロボットである。
【０００９】
これらの製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤは、コンベアー１５により搬送されるワークＷＫに対して、生産制御部１１により指示されたタクトタイムで、必要な数のスポット溶接と塗装とを行なう。製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤは、製造機械の稼働状況を取得するために動作状態を表わす状態量を収集し、生産制御部１１に出力するデータ収集装置３６，３７，３８，３９を備える。状態量は、例えば、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤに設けられたモーターなどのトルクや回転数、その際に要した電力、モーターの駆動軸などに生じた振動などである。
【００１０】
生産制御部１１は、プロセッサーやメモリーを内蔵したコンピューターとして構成されており、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤに動作に関して、後述する各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量の制御を行なう。稼働量は、本実施形態では、各製造機械に割り当てられる動作時間と作業速度として定められる。また、生産制御部１１は、検出部１２と予測部１３とを備える。検出部１２は、データ収集装置３６，３７，３８，３９から受信した状態量から、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの故障の予兆を検出する。他方、予測部１３は、故障の予兆を検出したとき故障の予兆が検出された製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの故障時期を予測する。検出部１２や予測部１３を用いた工場における製造機械の制御については、後で詳しく説明する。
【００１１】
生産本部２０は、プロセッサーやメモリーを内蔵したコンピューターとして構成されており、計画部２１や決定部２２を備える。生産本部２０は、工場１０での生産を統括しており、ネットワーク２５を介して、工場１０に生産指示を送信し、また工場１０における生産の状況を受信する。生産本部２０は、工場１０の生産を計画および変更する。具体的には、溶接であれば、製造機械ＭＡ，ＭＢによるスポット溶接の数や溶接完了までの時間などの配分を行なう。生産本部２０は、工場１０の各製造機械ＭＡ，ＭＢの能力、つまりスポット溶接の場所までアームを移動するのに要する時間（作業速度）の下限値から上限値までの範囲などを、予め基礎的なデータとして記憶している。従って、生産本部２０が、ワークＷＫに対して溶接が完了するタクトタイム（作業時間）が短くなるように各製造機械ＭＡ，ＭＢに対してスポット溶接箇所および溶接する順序を設定する。製造機械ごとの、どの場所のスポット溶接を、計何カ所分担させるかという設定、つまり動作時間と作業速度とを、以下、製造機械ごとの稼働量と呼ぶ。塗装用の製造機械ＭＣ，ＭＤに関しても同様である。計画部２１は、こうした製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤごとの稼働量を計画する。
【００１２】

決定部２２は、工場１０のメンテナンス時期を特定する。メンテナンス時期とは、故障した部品や製造機械を取り替えることで、故障により稼働を停止する製造機械を稼働状態に戻せる時期である。具体的には、故障の予兆が検出された製造機械やその部品を、部品供給部３０に発注して、その製造機械や部品が、工場１０に届けられる時期である。もとより、部品を交換する処置に限られず、製造機械の調整や消耗品の補充により、稼働状態に復する場合も含んでいる。調整等には、専用のセンサーや装置が必要な場合があり、そうした装置の手配に時間を要する場合もあるからである。潤滑油や触媒などの消耗品も同様にメンテナンス時期を前後する要因になり得る。こうした要因の影響を受けるメンテナンス時期は、発注や納品の情報をオンラインでやり取りすることで、コンピューターが特定してもよいし、発注や納品の情報を担当者が扱って、メンテナンス時期を特定し、これを生産本部２０において、端末から入力することで、特定するものとしてもよい。この場合、メンテナンス時期はマニュアルで入力され、決定部２２は、これを特定する処理を行なうに留まる。

【００１３】

メンテナンス時期は、製造計画が、何月何日の何時何分から製造を開始するといった絶対的日時を用いて立てられる場合は、何月何日の何時何分に部品等の取り替えが可能になるという絶対的な日時である。もとより、製造計画が、製造を開始する日時を、生産の原点０とする場合は、この開始時期からの相対的な時期として特定される。本実施形態では、後者の手法で製造計画等を立てており、メンテナンス時期は値０から数えるものとし、符号Ｔｍで表記する。同様に、故障の予兆を検出した時期を故障予兆時期と呼び、符号Ｔ０と表記する。また、故障が実際に生じて製造機械が使えなくなると予測される時期を故障時期と呼び、符号Ｔｄと表記する。

【００１４】

Ｂ．生産本部の処理：

図２は、生産本部２０が実施する二つの処理である生産本部生産開始処理と生産本部通常処理のそれぞれを示すフローチャートである。生産本部生産開始処理は、工場１０での生産に先立って、生産本部２０が実施する処理であり、ステップＳ１００からＳ１１０からなる。生産システム１００に対して、まずいつまでに何を何個生産するといった生産計画が、工場１０の管理者などにより立てられ、生産本部２０に入力される（ステップＳ１００）。生産本部２０は、工場１０に配置された各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤにより生産計画が達成できるように、各製造機械の稼働量の割当を決定し、これを工場１０に出力する（ステップＳ１１０）。

【００１５】

図３は、生産本部２０が入力した生産計画から各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量を割り当てる様子を示す説明図である。生産本部２０は、生産計画、つまりいつまでに何個の生産を行なうか、という計画に従って、生産開始（日時０）から目標生産量の生産が完了する生産終了時期Ｔｅまでの単位時間当りの生産量、つまり生産率を決定し、この間の生産量ＰＰを定める。その上で、この生産量ＰＰを達成するために必要な製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量を決定する。図３の下段には、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量をグラフＪＡ，ＪＢ，ＪＣ，ＪＤを示した。各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量は、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤが故障なく安定して動作できる範囲内で決定される。通常は、同じスポット溶接を行なう製造機械ＭＡ，ＭＢや、同じ塗装を行なう製造機械ＭＣ，ＭＤの稼働量は同じに設定されるが、以後の説明における図示の都合上、図３では、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量は異なるものとして示した。

【００１６】

生産本部２０が実行するもう一つの処理である生産本部通常処理は、工場１０での生産が始まった後、生産本部２０が工場１０と連携して実行する処理である。この処理には、図２に示したステップＳ１５０～Ｓ１８０が含まれる。生産本部２０は、工場１０での生産が始まると、工場１０と定期的に通信し（ステップＳ１５０）、工場１０から故障対応

の要求の有無を受信する（ステップＳ１６０）。故障対応の要求とは、工場１０内の製造機械に故障などが生じたり、故障が生じる予兆が検出された場合などに、交換部品などの手配を工場１０の生産制御部１１が生産本部２０に依頼することを言う。

【００１７】

生産本部２０は、故障対応を工場１０から要求されたと判断すると（ステップＳ１６０：「ＹＥＳ」）、交換部品等の発注処理を行ない（ステップＳ２００）、交換部品等が工場１０に配達されて交換が完了し、製造機械が稼働できる時期、つまりメンテナンス時期Ｔｍを決定し、これを工場１０に出力する（ステップＳ１８０）。メンテナンス時期Ｔｍは、生産本部２０が交換部品を部品供給部３０に対して発注し、部品供給部３０が配送の確定日を生産本部２０に返信することにより確定される。なお、本実施形態では、メンテナンス時期Ｔｍは、上記の様に生産本部２０経由で工場１０に出力されるが、部品供給部３０から直接工場１０に出力されるものとすることも可能である。

【００１８】

次に、図４、図５を用いて、工場１０における生産制御部１１が実行する処理については説明する。図４は、工場１０おける生産を制御するために生産制御部１１が実行する工場制御処理を示すフローチャートである。また、図５は、工場制御処理内の故障対応処理の詳細を示すフローチャートである。

【００１９】

生産制御部１１は、生産のための図４に示した処理を開始すると、まず生産本部２０が図２のステップＳ１１０で出力す各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量を入力する（ステップＳ２００）。次に、入力した値を用いて、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの稼働量を設定する（ステップＳ２１０）。その上で、生産制御部１１は、メンテナンス時期Ｔｍを生産終了時期Ｔｅより後に設定する（ステップＳ２２０）。これは、生産計画の段階では、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの故障は予定されていないから、生産の終了時期Ｔｅまでには、部品の交換などを行なう可能性はなく、生産が終了してから、必要なメンテナンスを行なえば足りるからである。従って、生産計画を入力した時点での、生産終了時期Ｔｅとメンテナンス時期Ｔｍとの関係は、図３に示したように、Ｔｍ＞Ｔｅとなる。

【００２０】

続いて、生産制御部１１は、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤを駆動して、生産を実行する（ステップＳ３００）。図１に示した例では、生産は、２台のスポット溶接用の製造機械ＭＡ，ＭＢと、２台の塗装用に製造機械ＭＣ，ＭＤとにより行なわれるが、以後は、説明の便を図って、２台のスポット溶接用の製造機械ＭＡ，ＭＢによる生産を限定して説明する。２台の製造機械ＭＡ，ＭＢは、図３に示した稼働量ＪＡ，ＪＢにより稼働する。具体的には、製造機械ＭＡが、ワークＷＫの図示左側の１０箇所のスポット溶接を担当して、所定の動作時間および作業速度で溶接を行ない、製造機械ＭＢが、ワークＷＫの図示右側の１０箇所のスポット溶接を担当して所定の動作時間および作業速度で溶接するものとする。両者の溶接箇所は同じ１０箇所だが、製造機械ＭＢの溶接点の総距離が製造機械ＭＡの溶接点の総距離と比べて長いことかから、同じタクトタイムまたはお互いのタクトタイムの差が最初となるタクトタイムでスポット溶接が完了するものとすると、製造機械ＭＡの作業速度は製造機械ＭＢの作業速度より遅い。この結果、製造機械ＭＡの稼働量ＪＡの方が、製造機械ＭＢの稼働量ＪＢより低い稼働量に設定される。この状態で２台の製造機械ＭＡ，ＭＢにより生産が実行される。

【００２１】

次に、生産制御部１１は、故障対応処理を実行する（ステップＳ４００）。この処理の詳細を図５に示した。故障対応処理では、生産制御部１１は、生産を継続しながら、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤのデータ収集装置３６～３９から状態量を受信する処理を行なう（ステップＳ４１０）。この状態量には、既述したように、各製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤを構成するモーター等のトルクや回転数、その際に要した電力、モーターの駆動軸などが含まれる。

【００２２】
生産制御部１１は、受信した状態量から故障の予兆が存在するかを判断する（ステップＳ４２０）。故障の予兆とは、例えば回転軸の振動が所定の強度以上となっていることなど、受信した状態量から直接検出するものとしてもよいし、受信した状態量に含まれるフィードバック制御の情報などから検出してもよい。製造機械ＭＡ，ＭＢのモーターを例にとると、製造機械ＭＡ，ＭＢは、モーターの回転数やトルクの目標値を与え、実際の回転数やトルクが目標値に一致していない場合には、フィードバック制御を行なう。こうしたフィードバック制御により回転数やトルクが目標値に一致するまでの時間が、設計値から逸脱している場合などに、モーターの駆動系に故障が生じる可能性が高まっているとして、故障の予兆を検出するものとしてもよい。ステップＳ４２０において故障の入力したデータから、特に故障の予兆を検出しなかった場合（ステップＳ４２０：「ＮＯ」）には、「ＮＥＸＴ」に抜けて、故障対応処理を終了する。
【００２３】
他方、故障の予兆が検出されると（ステップＳ４２０：「ＹＥＳ」）、生産制御部１１は、データ解析を行なう（ステップＳ４３０）。データ解析とは、各製造機械ＭＡ，ＭＢのデータ収集装置３６，３７から受信した状態量を解析して、故障の予兆の進行状況などを知る処理である。生産制御部１１は、生産の開始から、繰り返し、データ収集装置３６，３７から状態量を受信するので、故障の予兆を検出したとき、過去のデータを解析することで、故障の予兆の進行状況を知ることができる。例えば、回転軸の振動が、次第に大きくなっている場合には、このまま振動が大きくなれば、どの時点で製造装置が生産に適さない状況となるかを予測することができる。フィードバック制御の状況などについても同様である。このように、故障とは、実際に製造機械の１つが動作を停止してしまうことのみを意味するのではなく、生産に適さない状況となることを含んでいる。例えばモーターの回転軸の振動が大きくなれば、スポット溶接の精度は低下し、溶接されたワークＷＫは、製品としては不良品と判定されてしまう可能性が生じる。またフィードバック制御の遅れが大きくなれば、タクトタイム内に溶接が完了せず、コンベアー１５を停止させたり、その搬送速度を遅くしたりしなければならなくなる可能性も生じる。これらの場合も、製造装置の故障と判断される。
【００２４】
そこで、データを解析した結果を用いて、生産制御部１１は、故障時期Ｔｄを予測する処理を行なう（ステップＳ４４０）。故障時期Ｔｄの予測は、故障の予兆の進行状況から故障の予兆が閾値を超えると予測されるまでの期間を求める手法により行なってもよいし、過去に同様の故障の予兆が進行した場合において、実際に故障と判断された時期までのデータがあれば、それらを参照して行なってもよい。
【００２５】
故障時期Ｔｄを求めた後、生産制御部１１は、故障対応を生産本部２０に要求し、生産本部２０からメンテナンス時期Ｔｍを取得する（ステップＳ４５０）。具体的には、故障時期Ｔｄを予測した部品を交換するために、部品の発注を生産本部２０に対して行なう。生産本部２０は、図２に示した発注処理（ステップＳ１７０）により、部品供給部３０から、交換部品の配達の時期を取得し、メンテナンス時期Ｔｍとして、これを出力するから（ステップＳ１８０）、生産制御部１１は、発注処理（ステップＳ４５０）において、このメンテナンス時期Ｔｍを受け取ることができる。
【００２６】
生産制御部１１は、受け取ったメンテナンス時期Ｔｍが故障時期Ｔｄより大きいか否かを判断する（ステップＳ４６０）。メンテナンス時期Ｔｍが故障時期Ｔｄより大きい、つまり交換部品などが届くより前に故障が起きて、製造機械の１つが使えなくなると判断した場合（ステップＳ４６０：「ＹＥＳ」）には、生産制御部１１は稼働量割当を修正する処理（ステップＳ４７０）を行なう。稼働量の割当の修正を行なった後、「ＮＥＸＴ」に抜けて、故障対応処理を終了する。この結果、図４のステップＳ２３０以下の処理が実行される。稼働量の割当の修正は、ステップＳ２３０以下の処理において、生産実行の処理

（ステップＳ３００）が行なわれるタイミングから反映される。つまり、各製造機械の稼働量、延いては生産率の変更は、生産計画を変更可能な時期から行なう。

【００２７】

ここで、稼働量割当の修正の一例は図６を用いて説明される。ここでは、製造機械ＭＡにおいて故障の予兆が検出されたものとする。また、検出された故障の予兆に従ってデータ解析した結果、故障時期Ｔｄよりメンテナンス時期Ｔｍの方が大きい、つまり時間的に後であるとする。図６は、こうした場合の生産量の推移と、これを実現する各製造機械の稼働量を示すグラフである。各製造機械としては、スポット溶接用の製造機械ＭＡ，ＭＢのみを取り上げる。

【００２８】

図６は、生産終了までに生産すべき量、つまり目標生産量ＰＴを、故障の予兆の有無に関わらず変更しないで生産を行なう場合を示す。メンテナンス時期Ｔｍ以降、生産終了までの期間Ｘ２では、部品が交換されることから、故障の予兆が検出されるまでの期間Ｘ１と同じ生産が可能となる。従って、生産制御部１１、故障の予兆が検出された時点Ｔ０からメンテナンス時期Ｔｍまでの間の各製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を修正する。この期間のうち、故障の予兆が検出された時点Ｔ０から故障が起きるであろう時点である故障時期Ｔｄまでを期間Ｙ、故障時期Ｔｄからメンテナンス時期Ｔｍまでを期間Ｚと呼ぶものとする。

【００２９】

期間Ｚでは、故障時期Ｔｄで製造機械ＭＡに故障が生じるため、メンテナンス時期Ｔｍまで、製造機械ＭＡが使用できない期間である。このため、この期間Ｚでは、製造機械ＭＢだけで生産を行なうことになり、生産能力は減少する。そこで、本実施形態では、その前の期間Ｙにおいて、生産能力を増加させる。期間Ｙにおける生産能力の増加は、製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を修正することにより実現される。この稼働量の修正については、後でまとめ、複数の実施形態を併せて説明する。いずれにせよ、この期間ＹおよびＺの製造機械の稼働量を修正することにより、生産開始から生産終了の時期Ｔｅまでの生産量を確保する。なお、本実施例では、期間Ｙおよび期間Ｚにおいて、当初の生産計画による生産量に修正するように製造機械の稼働量を修正したが、期間Ｘ２において当初の生産計画による生産量に修正しても構わない。ただし、他の製造装置の故障の予兆など別の要因により生産率が低下する可能性を考慮すると、期間Ｚで生産量を修正することが好ましい。

【００３０】

このように、図５に示した故障対応処理において故障の予兆が検出された場合には、メンテナンス時期Ｔｍと故障時期Ｔｄとの関係で、稼働量の修正を行なう場合があるが、仮にメンテナンス時期Ｔｍが故障時期Ｔｄ以下の場合には（ステップＳ４６０：「ＮＯ」）、製造機械が故障するまでに交換部品が届き、メンテナンスを行なって生産を継続できる可能性が高いので、何を行なわずに、「ＮＥＸＴ」に抜けて、処理を終了する。この場合は、生産の終了まで、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤを用いた生産が継続される。なお、部品の交換には実際には時間を要するので、その分、稼働量は低下し生産量も減少する可能性が存在するが、ここでは部品交換に要する時間は生産量から見て無視できるほど短いか、あるいは毎日存在する定期メンテナンスの時間内に交換できるものとし、メンテナンスに要する時間は考慮しないものとした。もとより、部品交換などに要する時間を考慮して、稼働量の修正を行なっても差し支えない。

【００３１】

故障対応処理が終了すると、次に、故障時期Ｔｄとなったか否かの判断を行なう（ステップＳ２３０）。故障時期Ｔｄになっていれば、期間Ｙは経過としたとして、期間Ｚの稼働量に割当を変更する処理（ステップＳ２４０）を行なう。ここでは、実際に故障が起きていなくても、故障時期Ｔｄとなっていれば、稼働量を変更するものとした。これは後述するように、期間Ｙでは、故障の予兆が検出されていない製造機械ＭＢの稼働量を高めているため、期間Ｙを延ばさないという判断をしているためである。もとより、故障が起きていないので、製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を期間Ｘ１の稼働量に戻すものとしても良い

。なお、故障時期Ｔｄとなるまえに実際の故障が生じた場合も、ステップＳ２３０の判断で検出すものしてもよい。この場合には、製造機械ＭＡは、使用できないので、稼働量を期間Ｚ用のものに変更する。

【００３２】

故障時期Ｔｄに至っていない場合（ステップＳ２３０：「ＹＥＳ」）や故障時期Ｔｄに至って稼働量の割当を修正した後では（ステップＳ２４０）、次に、メンテナンス時期Ｔｍとなっているか否かの判断を行なう（ステップＳ２５０）。故障の予兆がなければ、既述したようにメンテナンス時期Ｔｍは、生産終了時期Ｔｅより後なので、ステップＳ２５０での判断は「ＮＯ」となり、メンテナンス処理（ステップＳ５００）を行なうことなく、生産が終了したかの判断を行ない（ステップＳ２６０）、生産が終了するまで、ステップＳ３００に戻って、生産の実行や故障対応処理（ステップＳ４００）など上述した処理を繰り返す。

【００３３】

このように各製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量の割当を修正して処理を繰り返していると、やがてメンテナンス時期Ｔｍとなる（ステップＳ２５０：「ＹＥＳ」）。メンテナンス時期Ｔｍとなれば、交換部品が到着し、故障した部品の交換が可能となる。そこで、部品を交換することにより、製造機械ＭＡは、稼働状態に復する。従って、この後の期間Ｘ２では、当初の期間Ｘ１と同様の稼働量に戻して生産を継続する。こうして生産終了時期Ｔｅに至れば、生産制御部１１は、「ＥＮＤ」に抜けて、製造機械ＭＡ，ＭＢ，ＭＣ，ＭＤの運転を停止する。

【００３４】

Ｃ．稼働量の割当・修正・変更：

以上説明した生産システム１００において、各製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量の割当やその修正、および変更についてまとめて説明する。図６は、第１実施形態の生産システム１００での製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を示す。図６において、破線ＪＡ０，ＪＢ０は、故障の予兆が検出されない場合の稼働量を示す。この稼働量は、図３に示したものと同一である。故障の予兆が検出されるまでの期間Ｘ１と、メンテナンス時期Ｔｍ以降、つまり部品が交換されて正常な状態に復した後の期間Ｘ２では、この稼働量ＪＡ０，ＪＢ０で、製造機械ＭＡ，ＭＢは運転される。

【００３５】

製造機械ＭＡ，ＭＢの溶接箇所数とスポット溶接箇所間を移動する際のスピードを、各期間に分けて、図７に示した。期間Ｘ１，Ｘ２では、製造機械ＭＡ，ＭＢのスポット溶接箇所は、共に１０箇所である。次に、故障の予兆が検出されて、故障時期Ｔｄが予測された場合、期間Ｙでは、製造機械ＭＡの稼働量は、期間Ｘ１と同程度に保たれ、製造機械ＭＢの稼働量は増加され、結果的にこの期間Ｙでの単位時間当りの生産量である生産率は増加する。これは、図６の生産量のグラフＰｓ１が、期間Ｙにおいて、高い傾きを持っていることに照応している。具体的には、製造機械ＭＡ，ＭＢのスポット溶接箇所は、故障の予兆が検出された製造機械ＭＡについては５箇所に、故障の予兆が検出されていない製造機械ＭＢについては１５箇所に、それぞれ修正される。この場合、製造機械ＭＡについては、スポット溶接する箇所が減るので、従前のタクトタイムより短いタクトタイムで作業を終らせるものの、モーターによる移動スピードは、期間Ｘ１，Ｘ２より低減（ｄｏｗｎ）されるか従前のスピードに維持（ｃｏｎｓｔ．）される。製造機械ＭＡは、スポット溶接箇所が減っているので、スピードを上げなくても、タクトタイムを短くして、生産量を増やすことができる。この場合の製造機械ＭＡの稼働量は、期間Ｘ１と同一であるものとして表示したが、稼働量は低下しているとみなしても差し支えない。他方、製造機械ＭＢについては、スポット溶接する箇所が１５箇所に増えるので、従前のタクトタイムより短い時間で作業を終らせるために、モーターによる移動スピードは、期間Ｘ１，Ｘ２より増大（ｕｐ）される。このとき、製造機械ＭＢの稼働量は、図６に稼働量ＪＢ１として示したように高い稼働量に修正される。

【００３６】

故障時期Ｔｄからメンテナンス時期Ｔｍまでの期間Ｚでは、実際に製造機械ＭＡに故障が生じた場合はもとより、例え故障が生じていなくても、製造機械ＭＡの稼働は取りやめられる。したがって、製造機械ＭＡの稼働量は値０である。他方、製造機械ＭＢの稼働量は、期間Ｙと同一に保たれる。但し、製造機械ＭＢは、スポット溶接の全箇所、つまり２０箇所を担当するよう変更される。この場合、製造機械ＭＢが、全２０箇所のスポット溶接を行なうので、ワークＷＫのスポット溶接は完了するが、タクトタイム内では作業は完了しない。このため、図６に示したように、生産率は、期間Ｙはもとより、期間Ｘ１より低下する。これは、図６の生産量のグラフＰｓ１の傾きが、期間Ｚにおいて、他の期間Ｘ１や期間Ｙより小さいことに照応している。

【００３７】

メンテナンス時期Ｔｍになれば、部品の交換が行なわれるので、製造機械ＭＡ，ＭＢは正常な状態に復し、その稼働量も元に戻される。従って、生産率も期間Ｘ１と同様となり、生産終了時期Ｔｅまでの期間Ｘ２では、その生産率で生産が行なわれる。

【００３８】

以上説明した第１実施形態での各製造機械ＭＡ，ＭＢの期間ＹおよびＺでの稼働量をまとめると以下の様になる。ここで、「長い」「短い」「速い」「遅い」といった比較は、期間Ｘ１での動作距離や作業速度と比較したものである。

（１）期間Ｙ：

製造機械ＭＡ：動作距離・短い、作業速度・遅いまたは一定、負荷・低い

製造機械ＭＢ：動作距離・長い、作業速度・速い、　　負荷・高い

（２）期間Ｚ：

製造機械ＭＡ：停止

製造機械ＭＢ：動作距離・長い、作業速度・速い、タクトタイム・長い

なお、製造機械の作業速度は、一定や遅いであっても、差し支えない。必要な生産率が実現できればよい。

【００３９】

Ｄ．第１実施形態の効果：

以上説明した第１実施形態では、製造機械ＭＡに故障の予兆が検出されてから、故障が生じると予測される故障時期Ｔｄまでの間、製造機械ＭＡの稼働量を落さず、製造機械ＭＢの稼働量ＪＢ０を稼働量ＪＢ１へと若干高め、この期間Ｙでの生産率を高めている。このため、故障時期Ｔｄにとなって、製造機械ＭＡの使用を中止して、メンテナンス時期Ｔｍまでの期間Ｚにおいて、製造機械ＭＢだけで生産を継続しても、メンテナンス時期Ｔｍに至った時点での生産量は、製造機械ＭＡの故障が生じなかった場合と比べて大幅に低下するということはない。この間、製造機械ＭＢは、稼働量ＪＢ１で運転されるために、モーター等のスピードは増加されるが、製造機械ＭＡの稼働量を積極的に下げるという対応は取っていないので、製造機械ＭＢの稼働量の増加を抑制的なものにでき、製造機械ＭＢが生産の終了時期Ｔｅまでに故障するといった事態を回避している。

【００４０】

上記実施形態では、故障時期Ｔｄの時点で、実際に製造機械ＭＡが故障していなくても製造機械ＭＡの稼働を停止したが、製造機械ＭＡについては、実際の故障が生じるまで、稼働することも可能である。その場合には、メンテナンス時期Ｔｍまでの生産率は、図６に示した例より高くなるが、その場合には、終了時期Ｔｅを早めるといった対応を取ることも可能である。上記の実施形態では、一台の製造機械が故障したとき、その作業の全てを他の製造機械（ここでは製造機械ＭＢ）が代替するものとして説明した（図７、期間Ｚ）が、１つの製造機械の作業の全てを他の１つの製造機械が代替するものに限定する必要はなく、例えば３台の製造機械が動作している場合、他の一台の製造機械は、故障した製造機械の少なくとも一部の作業を代替できれば良い。他の製造機械が代替しない作業があれば、別の製造機械で代替すればよく、場合によっては、作業者が残りの作業を代替してもよい。この関係は、以下に説明する他の実施形態でも同様である。

【００４１】

Ｅ．第２，第３実施形態：
上記第１実施形態では、故障の予兆が検出された製造機械ＭＡの期間Ｙでの稼働量を下げることなく、他の製造機械ＭＢの稼働量を上げ、期間Ｙでの生産率を高め、生産終了時期Ｔｅまでの生産システム１００の生産量を低減しないないものとした。こうした生産終了時期Ｔｅまでの生産量を落さない対応として、他のいくつかの実施形態を考えることができる。
【００４２】
（１）第２実施形態：
第２実施形態では、製造機械ＭＡの故障の予兆が検出された場合、実際に故障が生じるまでの期間Ｙの製造機械ＭＡの稼働量を高める対応を取る点で、上述した第１実施形態と異なる。この様子を図８に示した。この例では、故障の予兆が検出された製造機械ＭＡとその他の製造機械ＭＢとの稼働量を、図示ＪＡ２，ＪＢ２のように、共に高めている。具体的には、図９に示したように、期間Ｙでの製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を、スポット溶接箇所１０とし、それぞれのモーターのスピードを増大する。これに拠り、タクトタイムは短くなり、この期間Ｙの生産率は第１実施形態の期間Ｙでの生産率より高くなる。このことは、図８の生産量Ｐｓ２の期間Ｙでの傾きが、図６の期間Ｙでの傾きより大きくなっていることに対応している。なお、他の期間Ｘ１，Ｚ，Ｘ２での各製造機械の稼働量は第１実施形態と同様である。
【００４３】
第２実施形態での各製造機械ＭＡ，ＭＢの期間ＹおよびＺでの稼働量をまとめると以下の様になる。ここで、「長い」「短い」「速い」「遅い」といった比較は、期間Ｘ１での動作距離や作業速度と比較したものであることは、第１実施形態と同様である。
（３）期間Ｙ：
製造機械ＭＡ：動作距離・一定、作業速度・速い、負荷・高い
製造機械ＭＢ：動作距離・一定、作業速度・速い、負荷・高い
（４）期間Ｚ：
製造機械ＭＡ：停止
製造機械ＭＢ：動作距離・長い、作業速度・速い、タクトタイム・長い
なお、製造機械の作業速度は、一定や遅いであっても、差し支えない。必要な生産率が実現できればよい。
【００４４】
図８に示したように、故障の予兆が検出されたときに、製造機械ＭＡ，ＭＢの稼働量を高めるためにモーターのスピードを増大すると、製造機械ＭＡの故障時期Ｔｄは、稼働量を高めない場合と比べて、時期的に早まる可能性が高い。本実施形態では、データ解析（図５、ステップＳ４３０）において、この点を合せて解析し、故障が発生する時期を故障時期Ｔｄ２として予測している。従って、この実施形態での故障時期Ｔｄ２は、図６に示した故障時期Ｔｄより早い時期として予測されており、期間Ｙは短くなっている。また、期間Ｙが短くなっているため、相対的期間Ｚは、長くなっている。期間Ｚでは、第１実施形態と同様に、製造機械ＭＢだけで生産が行なわれるので、その生産率は低下する。この結果、短い期間Ｙにおける高い生産率での生産と、長い期間Ｚでの低い生産率での生産とを併せた全期間の生産量は、当初の生産計画による生産量とほぼ同じになっている。
【００４５】
（２）第３実施形態：
第３実施形態では、製造機械ＭＡの故障の予兆が検出された場合、実際に故障が生じるまでの期間Ｙの製造機械ＭＡの稼働量を、第２実施形態より更に高める対応を取っている。他方、製造機械ＭＢについては、期間Ｙでの稼働量を、期間Ｘ１での稼働量より低くしている。この様子を図１０に示した。この例では、故障の予兆が検出された製造機械ＭＡの稼働量は図示ＪＡ３まで高められ、その他の製造機械ＭＢの稼働量は図示ＪＢ３のように、低下されている。具体的には、図１１に示したように、期間Ｙでの製造機械ＭＡの稼働量を、スポット溶接箇所１５とし、モーターによるアーム等の駆動スピードを増大する

。他方、期間Ｙでの製造機械ＭＢの稼働量を、スポット溶接箇所５とし、モーターによるアーム等の駆動スピードを従前のスピードより低下または維持する。これに拠り、タクトタイムは短くなり、この期間Ｙの生産率は第２実施形態の期間Ｙでの生産率より更に高くなる。このことは、図１０の生産量Ｐｓ３の期間Ｙでの傾きが、図８の期間Ｙでの傾きより大きくなっていることに対応している。

【００４６】

図１０に示したように、故障の予兆が検出されたときに、製造機械ＭＡの稼働量を高めるためにモーターのスピードを第２実施形態より更に増大すると、製造機械ＭＡの故障時期Ｔｄは、稼働量を高めない場合と比べて、時期的に更に早まる可能性が高い。本実施形態では、データ解析（図５、ステップＳ４３０）において、この点を合せて解析し、故障が発生する時期を故障時期Ｔｄ３として予測している。従って、この実施形態での故障時期Ｔｄ３は、図８に示した故障時期Ｔｄ２より更に早い時期として予測されており、期間Ｙは更に短くなっている。また、期間Ｙが短くなっているため、相対的期間Ｚは、長くなっている。期間Ｚでは、第１実施形態と同様に、製造機械ＭＢだけで生産が行なわれるので、その生産率は低下する。

【００４７】

第３実施形態での各製造機械ＭＡ，ＭＢの期間ＹおよびＺでの稼働量をまとめると以下の様になる。

（５）期間Ｙ：

製造機械ＭＡ：動作距離・長い、作業速度・速い、　　負荷・高い

製造機械ＭＢ：動作距離・短い、作業速度・遅いまたは一定、負荷・低い

（６）期間Ｚ：

製造機械ＭＡ：停止

製造機械ＭＢ：動作距離・長い、作業速度・速い、タクトタイム・長い

【００４８】

上記の生産率増加制御を行なう結果、第３実施形態では、短い期間Ｙにおける更に高い生産率での生産と、長い期間Ｚでの低い生産率での生産とを併せた全期間の生産量は、当初の生産計画による生産量とほぼ同じになっている。

【００４９】

Ｆ．一般解：

上記各実施形態では、２台の製造機械を想定し、一方の製造機械ＭＡについて故障の予兆が検出されたとき、期間Ｙに関して、各製造機械の稼働量を挙げることによる生産率の向上を図っている。生産率を向上させるために、製造機械の稼働量をどのように調整すれば良いかは、以下の式により一般解を求めることができる。従って、生産システムに含まれる製造機械は何台であっても差し支えない。また、製造機械の種類も、スポット溶接機や塗装機に限らず、部品の組み付けを行なう組付機械や、はんだ付け装置、パーツフィーダー、プレス機、射出成形機、ロボットなど、生産システムを構成でき、他の製造機械の作業を代替できる製造機械と組み合わせられるものであれば、どのような種類のものであっても差し支えない。

【００５０】

各製造機械のうちの第ｉ番目の製造機械Ｍｉの実生産率Ｐｉは、製造機械Ｍｉの稼働量を、動作時間と作業速度で定義するものとすれば、

Ｐｉ＝Ｐｉ（ｔｉ，ｖｉ）－｛α（ｔｉ）＋β（ｖｉ）｝　　…（１）

と表わすことができる。Ｐｉ（ｔｉ，ｖｉ）は、製造機械Ｍｉを、動作時間ｔｉ、作業速度ｖｉで稼働した場合の理論上の生産率である。α（ｔｉ）は、部品の交換サイクルにより生じる生産率の低下を表わし、これが製造機械Ｍｉの動作時間ｔｉに依存することを表わす。β（ｖｉ）は、不良品の発生により生じる生産率の低下分を表わし、これが製造機械Ｍｉの作業速度ｖｉに依存することを表わす。従って、実生産率Ｐｉは、理論上の生産率Ｐｉ（ｔｉ，ｖｉ）から、部品交換や不良品発生などの要因による生産率の低下分を差引した値となる。

【００５１】
製造機械Ｍｉの生産率の初期値、つまり最初に生産計画が立てられ、製造機械Ｍｉに、動作時間として初期値ｔi0が割り当てられ、作業速度として初期値ｖi0が割り当てられるとする。このとき、製造機械Ｍｉの生産率の初期値Ｐi0は、

Ｐi0＝Ｐｉ（ｔi0，ｖi0）－｛α（ｔi0）＋β（ｖi0）｝　　…（２）

と表わすことができる。初期値Ｐi0は、製造機械Ｍｉの動作時間がｔi0であり、作業速度がｖi0である場合の生産率を表わす。

【００５２】
上記式（１）で表わされた製造機械Ｍｉの生産率Ｐｉは、製造機械Ｍｉの動作時間ｔｉや作業速度ｖｉが変化すると、ほぼ線形に変化する。そこで、動作時間ｔｉや作業速度ｖｉの初期値ｔi0，ｖi0に対する割合を、

Δｔｉ＝ｔｉ／ｔi0

Δｖｉ＝ｖｉ／ｖi0

と定義すると、製造機械Ｍｉの生産率Ｐｉの初期値Ｐi0からの増減部ΔＰｉは、

ΔＰｉ＝Ｐi0・Δｔｉ＋Ｐi0・Δｖｉ－｛α（Δｔｉ）＋β（Δｖｉ）｝　…（３）

と表わすことができる。右辺第１項は、その製造機械Ｍｉの動作時間の増減による生産率の増減分を示し、右辺第２項は、その製造機械Ｍｉの作業速度の増減による生産率の増減分を示す。右辺第３項は、動作時間に依存する部品交換サイクルの増減に伴う生産率の低下の増減分を示し、右辺第４項は、作業速度に依存する不良品発生の増減に伴う生産率の低下の増減分を示す。

【００５３】
そこで、各実施形態で説明したように、故障の予兆を検出した際の各製造装置の稼働量を修正する際には、生産システム１００全体の生産率は、修正後の各製造機械Ｍｉ（ｉ＝１～ｎ）の各生産率Ｐｉの最小値になること、つまり生産システム１００全体の生産率はＰＰは、

Ｐｓ＝ｍｉｎ（Ｐ１，Ｐ２，・・・・Ｐｎ）　　…（４）

となることを利用して、期間Ｙでの生産率Ｐｓを所望の生産率Ｐｓｉまで高めるには、制約条件

$\Sigma^{n}_{i=1}$ΔＰｉ≧１　つまり、

（ΔＰ１＋ΔＰ２＋・・・・ΔＰｎ）≧１

の元で、式（４）を解いて、生産率Ｐｓが所望の値となるように、各製造機械Ｍｉの動作時間ｔｉと作業速度ｖｉを求めればよい。

【００５４】
Ｇ．その他の実施の態様：
［１］この他、以下の構成での実施が可能である。第１の態様は、生産量の計画に基づいて複数の製造機械を運用する生産システムとして態様である。この生産システムは、前記複数の製造機械のうちの一つであり、第１作業を実施する第１製造機械と、前記複数の製造機械のうちの一つであり、第２作業を実施する第２製造機械であって、前記第１製造機械の前記第１作業の少なくとも一部を代替可能である第２製造機械と、所定期間の生産量として計画された合計生産量に従って、前記第１，第２製造機械による合計の生産率である合計生産率を計画する計画部と、前記第１製造機械から動作状態を表わす状態量を取得して、前記第１製造機械が故障する予兆を検出する検出部と、前記検出部が前記故障の予兆を検出したとき、前記第１製造機械の稼働が前記故障により停止する時期である停止時期を予測する予測部と、前記故障により稼働を停止する前記第１製造機械を稼働状態に戻せる時期であるメンテナンス時期を決定する決定部と、前記計画部によって前記計画された合計生産率である第１合計生産率を達成するように、前記第１製造機械および前記第２製造機械の各稼働量を制御する生産制御部と、を備える。ここで、前記生産制御部は、前記第１製造機械の前記故障の予兆が検出されたとき、前記予測された前記停止時期が前記メンテナンス時期より前である場合には、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、前記停止時期までの前記合計生産率

を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とする生産率増加制御を行なうものとしてよい。

【００５５】

この生産システムによれば、第１製造機械の故障の予兆が検出されたとき、メンテナンス時期までの間、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、停止時期までの合計生産率を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とすることができる。このため、故障の予兆が検出されても、生産システムの生産計画からの生産量の減少を抑制することができる。

【００５６】

こうした生産システムは、実施形態の様に、生産本部と工場とに分かれていてもよいし、一体に構成されていてもよい。例えば、交換部品の発注やメンテナンス時期の決定は、工場の生産制御部がまとめて行なっても差し支えない。また、メンテナンス時期の決定は、担当者がマニュアルで行ない、生産システムに入力するものとしてもよい。

【００５７】

［２］こうした生産システムにおいて、前記生産制御部は、前記生産率増加制御として、前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでと同じ稼働量に維持し、前記第２製造機械の稼働量を、前記第２合計生産率を達成する稼働量に高める制御を行なってもよい。こうすれば、故障の予兆が検出された第１製造機械の稼働量を高めることなく、生産システムの生産率を高めることができるので、予測された故障時期まで、第１製造機械を稼働させることができる可能性を高めることができる。

【００５８】

［３］こうした生産システムにおいて、前記生産制御部は、前記生産率増加制御として、前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量より高く制御し、前記第２製造機械の稼働量を、前記第２合計生産率を達成する稼働量とする制御を行なうものとしてもよい。こうすれば、第２製造機械の稼働量の増加を抑制することができ、第２製造機械にかける負担を抑制することができる。生産率増加制御における第１製造機械と第２製造機械との稼働量の組合せは、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御した上で、停止時期までの合計生産率を、第１合計生産率より高い第２合計生産率にできれば、どのような組み合わせであってもよい。

【００５９】

［４］こうした生産システムにおいて、前記生産制御部は、前記生産率増加制御を、前記生産計画を変更可能な時期から行なうもとのしてもよい。生産システムはシステムとして動作しているので、各製造機械の稼働量を変更できるタイミングを、生産計画を変更可能な時期からとすることで、稼働量の変更をスムースに行なうことができる。もとより、稼働量の変更を演算して求めた時点から、稼働量を変更するものとしてもよい。

【００６０】

［５］こうした生産システムであって、更に前記第１製造機械の稼働情報を取得する稼働情報取得部を備え、前記検出部は、前記第１製造機械の稼働情報を利用して、前記故障の予兆を検出するものとしてもよい。こうすれば、第１製造機械の故障の予兆を容易に検出することができる。もとより、故障の予兆の検出は製造装置の外部に置いた監視カメラやセンサなどの信号に基づいて行なってもよい。

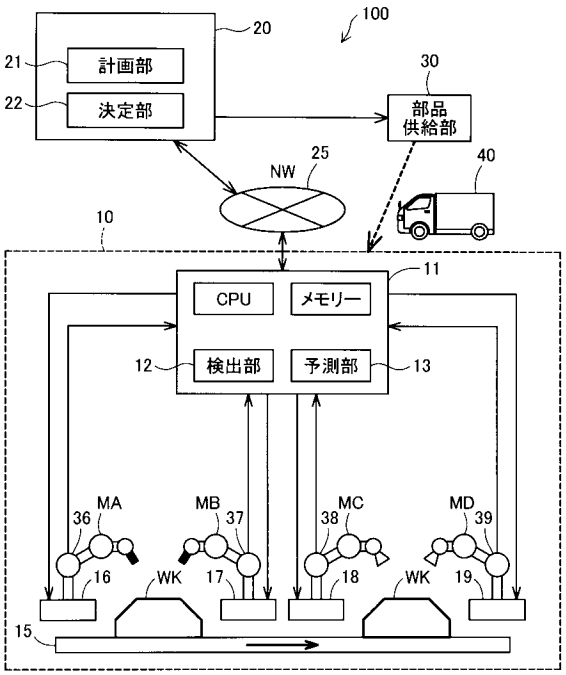
【００６１】

［６］こうした生産システムにおいて、更に、前記検出部の検出した前記故障の予兆に従って、前記第１製造機械の故障を回避または修復するために交換すべき部品を特定する特定部と、前記特定された交換すべき部品の納品の予定を管理する交換部品管理部とを備えるもとのしてよい。ここで、決定部は、前記メンテナンス時期を、前記交換すべき部品の納品の予定に従って決定すればよい。こうすれば、メンテナンス時期を容易に決定することができる。もとよりメンテナンス時期の決定は、交換部品を特定せずに行なってもよい。例えば、故障の予兆が検出された製造機械全体を交換するものとして、メンテナンス時

期を決定してもよい。
【００６２】
［７］こうした生産システムにおいて、前記予測部は、前記停止時期の予測を、前記生産率増加制御において制御される前記第１製造機械の稼働量に従って行なうものとしてもよい。メンテナンス時期までの第１製造機械の稼働量を変更すると、故障が実際に発生して第１製造機械を停止する停止時期が変ることが有り得るからである。
【００６３】
［８］こうた生産システムにおいて、生産制御部は、前記停止時期までの前記第２合計生産率と前記停止時期から前記メンテナンス時期までの合計生産率である第３合計生産率とを、前記メンテナンス時期までに前記第１合計生産率で前記第１，第２製造機械が稼働した場合の合計生産量と同等の合計生産量となるように修正してもよい。こうすれば、故障により第１製造機械を停止しても、生産システム全体としての生産量を確保することができる。
【００６４】
［９］第２の態様は、生産量の計画に基づいて複数の製造機械を運用する生産方法としての態様である。この生産方法は、複数の製造機械のうちの一つである第１製造機械と、前記第１製造機械の作業の一部を代替可能である第２製造機械とによる合計の生産率である合計生産率を計画し、前記第１製造機械が故障する予兆を検出し、前記故障の予兆を検出したとき、前記第１製造機械の稼働が前記故障により停止する時期である停止時期を予測し、前記故障により稼働を停止する前記第１製造機械を稼働状態に戻せる時期であるメンテナンス時期を決定し、前記計画された合計生産率である第１合計生産率を達成するように、前記第１製造機械および前記第２製造機械の各稼働量を制御し、前記第１製造機械の前記故障の予兆が検出されたとき、前記予測された前記停止時期が前記メンテナンス時期より前である場合には、少なくとも前記第１製造機械の稼働量を、前記故障の予兆が検出されるまでの稼働量以上に制御し、前記停止時期までの前記合計生産率を、前記第１合計生産率より高い第２合計生産率とする。こうしても、前述した生産システムと同様の作用効果を奏することができる。
【００６５】
本開示は、上述の実施形態に限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の構成で実現することができる。例えば、発明の概要の欄に記載した各形態中の技術的特徴に対応する実施形態の技術的特徴は、上述の課題の一部又は全部を解決するために、あるいは、上述の効果の一部又は全部を達成するために、適宜、差し替えや、組み合わせを行うことが可能である。また、その技術的特徴が本明細書中に必須なものとして説明されていなければ、適宜、削除することが可能である。例えば、上記実施形態においてハードウェアにより実現した構成の一部は、ソフトウェアにより実現することができる。また、ソフトウェアにより実現している構成の少なくとも一部は、ディスクリートな回路構成により実現することも可能である。
【符号の説明】
【００６６】
ＭＡ～ＭＤ，Ｍｉ…製造機械、ＷＫ…ワーク、１０…工場、１１…生産制御部、１２…検出部、１３…予測部、１５…コンベアー、１６～１９…駆動部、２０…生産本部、２１…計画部、２２…決定部、２５…ネットワーク、３０…部品供給部、３６～３９…データ収集装置、１００…生産システム

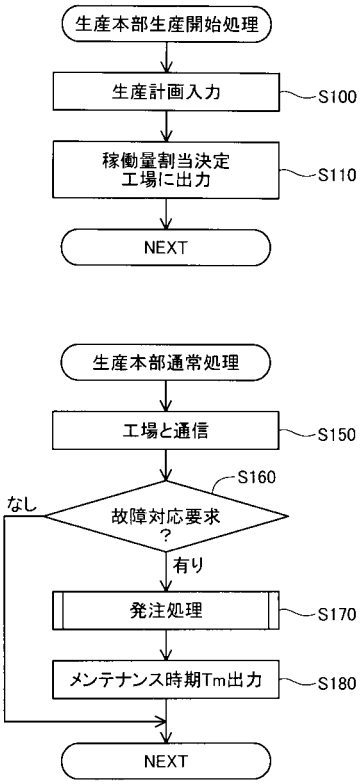
【図１】

Fig.1



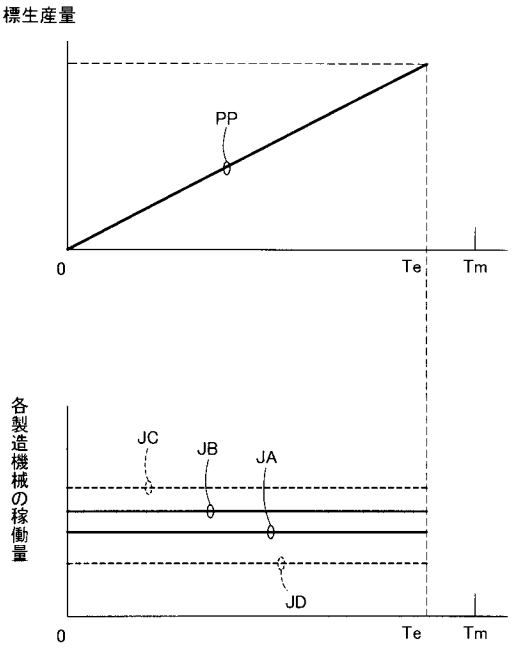
【図２】

Fig.2



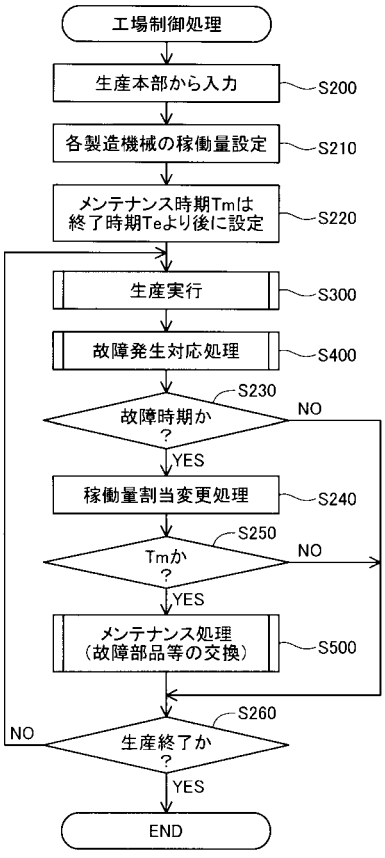
【図３】

Fig.3



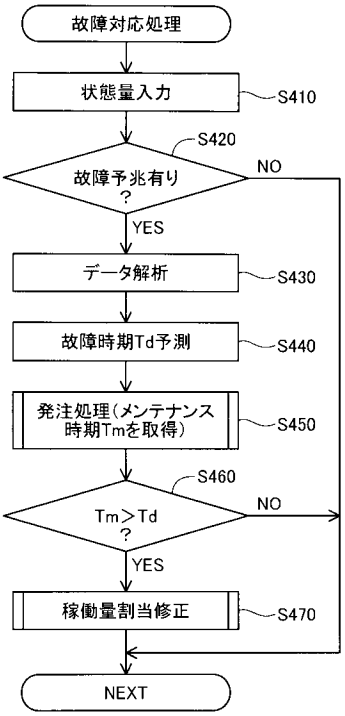
【図４】

Fig.4



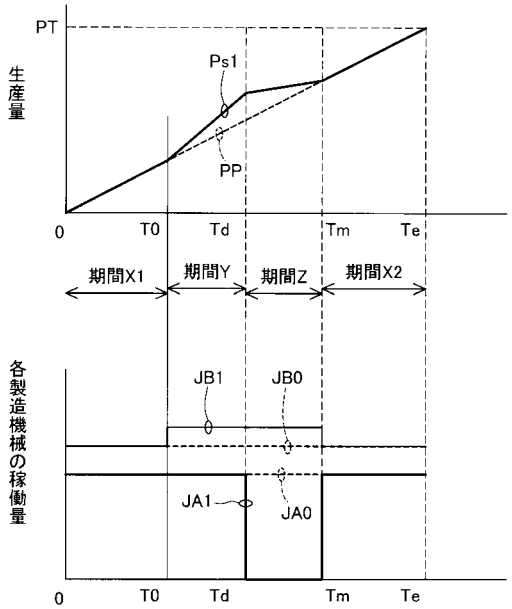
【図５】

Fig.5



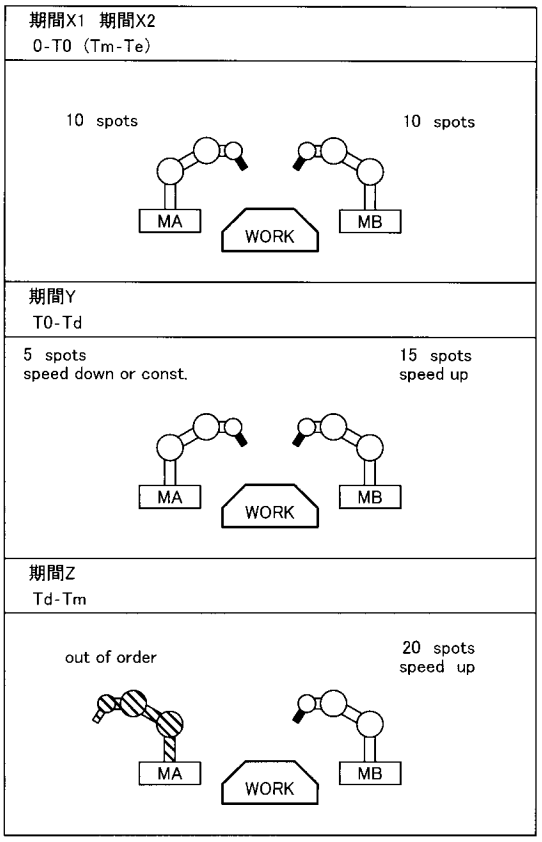
【図６】

Fig.6



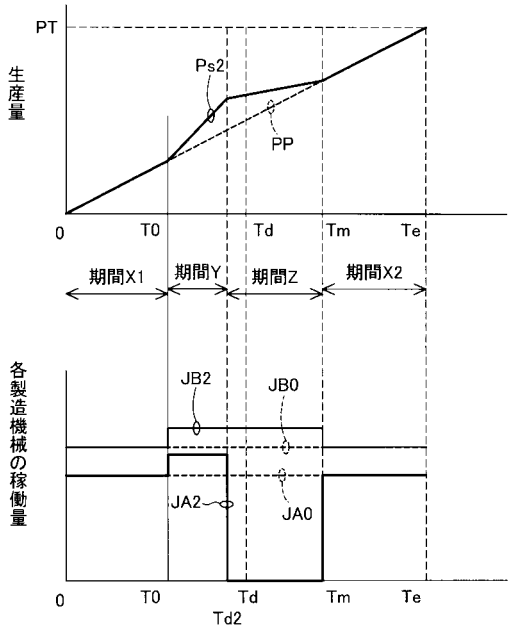
【図７】

Fig.7



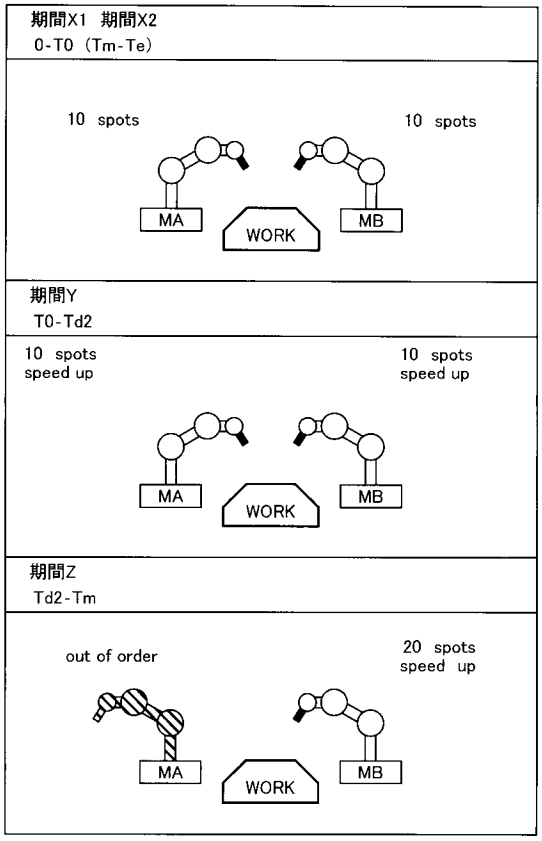
【図８】

Fig.8



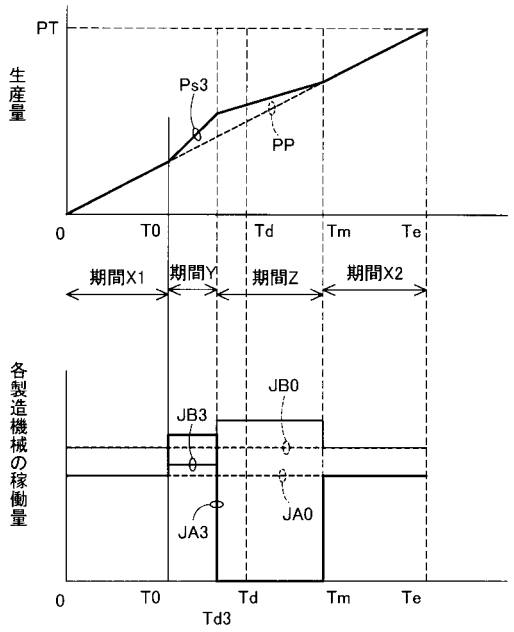
【図９】

Fig.9



【図１０】

Fig.10



【図１１】

Fig.11

