

(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2020-177580

(P2020-177580A)

(43) 公開日 令和2年10月29日(2020.10.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06Q 50/04 (2012.01)	G06Q 50/04	3C100
G05B 19/418 (2006.01)	G05B 19/418	5L049

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2019-81197(P2019-81197)
 (22) 出願日 平成31年4月22日(2019.4.22)

(71) 出願人 000001247
 株式会社ジェイテクト
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 (71) 出願人 301021533
 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 東京都千代田区霞が関1-3-1
 (74) 代理人 110000604
 特許業務法人 共立
 (72) 発明者 若園 賀生
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内
 (72) 発明者 相馬 伸司
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内

最終頁に続く

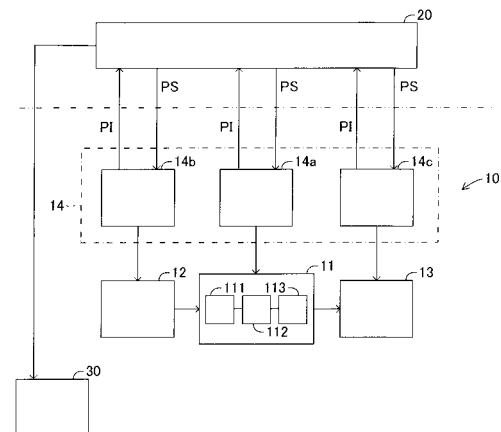
(54) 【発明の名称】 サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム

(57) 【要約】

【課題】生産条件を満たすように自律的に生産指令値を修正することにより稼働可能な生産ラインを有するサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムを提供すること。

【解決手段】CPPS型生産システムは、生産ライン10が、研削盤11、熱処理炉12及び検査機13と、制御装置14と、を備えると共に、生産ライン10の実生産状態を仮想世界における仮想生産状態として生成するラインコンピュータ装置20を備えている。ラインコンピュータ装置20は、生産指令値PIを制御装置14と同期して取得し、取得した生産指令値PIに基づいて、仮想世界における仮想研削加工処理、仮想熱処理及び仮想検査処理として生成することによって仮想生産状態を生成し、且つ、生産ライン10の生産条件を満たすように最適生産指令値PSを制御装置14に出力する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

現実世界に配置され、且つ、少なくとも工作機械を備えて工作物を生産する生産ラインと、

前記生産ラインにおいて前記工作物を生産する実生産状態を仮想世界における仮想生産状態として生成するラインコンピュータ装置と、

を備え、

前記生産ラインは、

前記工作機械と、

前記工作機械の上流及び下流の少なくとも一方に配置された隣接処理機械と、

生産指令値に基づいて前記工作機械及び前記隣接処理機械のそれぞれを制御する制御装置と、

を備え、

前記ラインコンピュータ装置は、

前記制御装置に通信可能に接続され、

前記生産指令値を前記制御装置と同期して取得し、

取得した前記生産指令値に基づいて、前記工作機械による実加工処理及び前記隣接処理機械による実隣接処理を前記仮想世界における仮想加工処理及び仮想隣接処理として生成することによって前記仮想生産状態を生成し、且つ、

前記生産ラインの生産条件を満たすように前記生産指令値のうちの少なくとも一つの要因生産指令値を修正するための最適生産指令値を前記制御装置に出力するサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 2】

前記要因生産指令値は、

前記実加工処理と前記実隣接処理との間で互いに影響を及ぼす前記生産指令値である請求項 1 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 3】

前記ラインコンピュータ装置は、

ネットワークを介して接続され、且つ、前記生産ラインとは異なる場所にて作動する外部端末装置に対して、前記生産指令値、及び、前記仮想生産状態を表す状態情報のうちの少なくとも一方を出力する請求項 1 又は請求項 2 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 4】

前記生産条件は、

前記実加工処理及び前記実隣接処理によって生じる生産コストを合算した総生産コストが予め設定された基準総生産コストを満たすように前記生産ラインを稼働させる稼働条件であり、

前記ラインコンピュータ装置は、

前記仮想加工処理及び前記仮想隣接処理を生成して前記生産指令値のうち前記総生産コストに関連する前記要因生産指令値を特定し、且つ、

前記総生産コストが前記基準総生産コストを満たすように、前記最適生産指令値を決定する請求項 1－3 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 5】

前記生産条件は、

前記実加工処理及び前記実隣接処理によって消費される電力量を合算した総電力量が予め設定された基準総電力量を満たすように前記生産ラインを稼働させる稼働条件であり、

前記ラインコンピュータ装置は、

前記仮想加工処理及び前記仮想隣接処理を生成して前記生産指令値のうち前記総電力量に関連する前記要因生産指令値を特定し、且つ、

前記総電力量が前記基準総電力量を満たすように、前記最適生産指令値を決定する請求項 1－4 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 6】

前記生産条件は、

前記実加工処理及び前記実隣接処理のそれぞれの保守保全作業に伴って生じる停止時間を合算した総停止時間が予め設定された基準総停止時間を満たすように前記生産ラインを稼働させる稼働条件であり、

前記ラインコンピュータ装置は、

前記仮想加工処理及び前記仮想隣接処理を生成して前記生産指令値のうち前記総停止時間に関連する前記要因生産指令値を特定し、且つ、

前記総停止時間が前記基準総停止時間を満たすように、前記最適生産指令値を決定する請求項 1－5 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 7】

前記生産条件は、

前記実加工処理及び前記実隣接処理を経て生産される前記工作物の品質が予め設定された基準品質を満たす品質条件であり、

前記ラインコンピュータ装置は、

前記仮想加工処理及び前記仮想隣接処理を生成して前記生産指令値のうち前記工作物の前記品質に関連する前記要因生産指令値を特定し、且つ、

前記品質が前記基準品質を満たすように、前記最適生産指令値を決定する請求項 1－6 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 8】

前記ラインコンピュータ装置は、

複数の前記生産条件のそれぞれを満たす前記最適生産指令値を決定し、且つ、

前記最適生産指令値を決定した複数の前記生産条件のうちから選択された前記生産条件に対応する前記最適生産指令値を前記制御装置に出力する請求項 1－7 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 9】

前記ラインコンピュータ装置は、

前記制御装置から前記生産指令値を所定の周期で同期して取得する取得部と、

前記取得部によって取得された前記生産指令値に基づいて、前記仮想加工処理及び前記仮想隣接処理を生成することによって前記仮想生産状態を生成する生成部と、

前記生産条件を満たすように前記最適生産指令値を決定し、且つ、決定した前記最適生産指令値を前記制御装置に出力する決定部と、を有する請求項 1－8 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 10】

前記決定部は、

前記仮想生産状態と前記生産条件に応じて予め設定された基準とを比較し、

前記生産指令値のうち前記基準と異なるものを前記要因生産指令値として特定する請求項 9 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 11】

前記ラインコンピュータ装置は、

ネットワークを介して接続された外部端末装置に対して、前記生産指令値、及び、前記仮想生産状態を表す状態情報のうちの少なくとも一方を出力する出力部を有する請求項 9 又は請求項 10 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 12】

前記決定部は、

複数の前記生産条件のそれぞれを満たす前記最適生産指令値を決定し、

前記最適生産指令値を決定した複数の前記生産条件のうちから選択された前記生産条件に対応する前記最適生産指令値を前記制御装置に出力する請求項 9-11 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 13】

前記生産ラインにおいて、前記工作機械及び前記隣接処理機械のうちの少なくとも前記工作機械は、

前記生産指令値に基づいて前記制御装置によって制御されて、前記工作物を加工する機械本体と、

前記工作物及び前記機械本体における実加工現象を前記仮想世界における仮想加工現象として生成するユニットコンピュータ装置と、

を備え、

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記制御装置に通信可能に接続され、

前記生産指令値を前記制御装置と同期して取得し、

取得した前記生産指令値に基づいて将来における前記仮想加工現象である将来仮想加工現象を生成し、且つ、

前記将来仮想加工現象に基づいて前記生産指令値を修正するための個別最適指令値を前記制御装置に出力するサイバーフィジカルシステムである、請求項 1-12 のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 14】

前記サイバーフィジカルシステムにおいて、

前記ユニットコンピュータ装置は、

取得した前記生産指令値に基づいて現在における前記仮想加工現象である現在仮想加工現象を生成し、

前記現在仮想加工現象に基づいて前記将来仮想加工現象を生成する請求項 13 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 15】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記生産指令値を所定の周期で取得することによって同期する同期部と、

前記同期部により同期した同期時点よりも後の任意時点における前記将来仮想加工現象を、前記生産指令値に基づいて演算することにより生成する加工現象演算部と、

前記加工現象演算部が生成した前記将来仮想加工現象に基づき、前記個別最適指令値を決定すると共に決定した前記個別最適指令値を前記制御装置に出力する個別最適指令値決定部と、を有し、

前記制御装置は、

前記個別最適指令値決定部から出力された前記個別最適指令値を取得し、且つ、取得した前記個別最適指令値を用いて前記機械本体を制御するように構成された請求項 14 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 16】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記加工現象演算部は、

前記同期時点において前記現在仮想加工現象を生成し、

前記将来仮想加工現象を、前記現在仮想加工現象に基づいて演算することにより生成する請求項 15 に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項 17】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記機械本体の前記実加工現象と前記現在仮想加工現象との間に生じた差異を比較する差異比較部を有し、且つ、

前記同期部は、

前記差異比較部の比較によって前記差異が所定の第一基準値を満たさない場合に、前記生産指令値を同期する請求項１６に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項１８】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記差異比較部の比較によって前記差異が所定の第二基準値を満たさない場合に、前記差異を含む前記生産指令値を前記ラインコンピュータ装置に出力する請求項１７に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項１９】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記加工現象演算部によって演算された前記将来仮想加工現象が予め設定された所定加工現象であるか否かを判定する判定部を有し、

前記個別最適指令値決定部は、

前記判定部によって前記将来仮想加工現象が前記所定加工現象と異なる場合に、前記個別最適指令値を決定すると共に前記制御装置に出力する請求項１５－１８のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項２０】

前記工作機械は、

砥石車と、前記砥石車を軸線回りに回転駆動可能に支持する砥石台と、前記工作物を軸線回りに回転駆動可能に支持する主軸台と、を有する研削盤であり、

前記仮想世界において、前記砥石車に対応する仮想砥石車と、前記砥石台に対応する仮想砥石台と、前記主軸台に対応する仮想主軸台と、前記工作物に対応する仮想工作物と、が構築される請求項１－１９のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項２１】

前記ラインコンピュータ装置は、

前記現実世界に配置された前記制御装置とネットワークを介して接続されるクラウドスペースに配置される請求項１－２０のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【請求項２２】

前記ユニットコンピュータ装置は、

前記現実世界に配置された前記制御装置とネットワークを介して接続されるクラウドスペースに配置される、請求項１３－１９のうちの何れか一項に記載のサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムに関する。

【背景技術】

【０００２】

一般に、工作物を順次送りながら生産する生産ラインにおいて、生産ラインを構成する各種機械は、それぞれ、生産条件に従って予め設定された生産指令値に基づき処理を実行し、工作物を生産する。一方で、各種機械に工作機械が設けられる場合、例えば、従来から知られている特開２０１８－１５３９０７号公報に開示された研削加工シミュレーション装置を用いて加工シミュレーションを実行することができる。予め加工処理をシミュレーションすることにより、生産条件に従った生産指令値を精度良く設定することが可能であり、その結果、生産ラインの生産性を向上させることが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2018-153907号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上記従来の生産ラインのように、生産ラインを構成する各種機械がそれぞれ独立して各処理を行う場合、例えば、生産ラインの上流側にて工作物に行った処理が下流側にて工作物を行う処理に影響を及ぼす場合がある。この場合、上流側の機械は、例えば、オペレータによって予め設定された生産指令値が修正されるまで下流側に影響を及ぼしてしまう。このため、工作物の品質を確保するためには、下流側の機械は、上流側の影響を吸収（排除）しながら処理を行う必要がある。その結果、上記従来の生産ラインでは、稼働に際して、工作物を生産する生産能率の低下や、生産時間の増加、或いは、生産品質の低下を招く虞がある。

10

【0005】

本発明は、上記課題を解決するためのなされたものであり、その目的は、生産条件を満たすように自律的に生産指令値を修正することにより稼働可能な生産ラインを有するサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係るサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムは、現実世界に配置され、且つ、少なくとも工作機械を備えて工作物を生産する生産ラインと、生産ラインにおいて工作物を生産する実生産状態を仮想世界における仮想生産状態として生成するラインコンピュータ装置と、を備え、生産ラインは、工作機械と、工作機械の上流及び下流の少なくとも一方に配置された隣接処理機械と、生産指令値に基づいて工作機械及び隣接処理機械のそれぞれを制御する制御装置と、を備え、ラインコンピュータ装置は、制御装置に通信可能に接続され、生産指令値を制御装置と同期して取得し、取得した生産指令値に基づいて、工作機械による実加工処理及び隣接処理機械による実隣接処理を仮想世界における仮想加工処理及び仮想隣接処理として生成することによって仮想生産状態を生成し、且つ、生産ラインの生産条件を満たすように生産指令値のうちの少なくとも一つの要因生産指令値POを修正するための最適生産指令値を制御装置に出力する。

20

【0007】

これによれば、生産ラインを構成する工作機械及び隣接処理機械を生産指令値に基づいて制御する制御装置は、通信可能なラインコンピュータ装置に接続される。ラインコンピュータ装置は、制御装置から取得した生産指令値に基づいて、実加工処理及び実隣接処理を仮想世界における仮想加工処理及び仮想隣接処理として生成することによって仮想生産状態を生成することができる。そして、ラインコンピュータ装置は、生産ラインにて工作物を生産する際の生産条件を満たすように要因生産指令値POを修正するための最適生産指令値を決定し、最適生産指令値を制御装置に出力することができる。

30

【0008】

これにより、ラインコンピュータ装置は、生産条件を満たすように、最適生産指令値を制御装置に出力することにより、工作機械及び隣接処理機械を統括して作動させることができる。即ち、制御装置は、ラインコンピュータ装置から最適生産指令値を繰り返し取得することにより、工作機械及び隣接処理機械を自律的に作動させることができる。その結果、工作機械、隣接処理機械、制御装置及びラインコンピュータ装置を備えるサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムでは、生産ラインは生産条件を満たしながら自律的に稼働することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムの構成を示す構成図である。

【図2】図1の工作機械の構成を示す構成図である。

50

【図 3】図1のラインコンピュータ装置の構成を示す構成図である。

【図 4】サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムの作動を説明するための図である。

【図 5】変形例に係り、サイバーフィジカルシステムを工作機械に適用した構成を示す構成図である。

【図 6】図 5 のユニットコンピュータ装置の構成を示す構成図である。

【図 7】サイバーフィジカルシステムを適用した工作機械の作動を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

(1. サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムの概要)

以下、サイバーフィジカルプロダクションシステム (Cyber Physical Production System: 以下、単に「C P P S」とも称呼する。) 型生産ラインについて、図面を参照しながら説明する。C P P S 型生産システム (以下、単に「生産システム」とも称呼する。) は、図 1 に示すように、現実世界に配置された生産ライン 10 と、仮想世界に配置されたラインコンピュータ装置 20 と、を備えている。

【0011】

(2. 生産ライン 10 の構成)

生産ライン 10 は、少なくとも工作機械としての研削盤 11 を備えると共に、隣接処理機械として、研削盤 11 よりも上流側に配置された熱処理炉 12 と、研削盤 11 よりも下流側に配置された検査機 13 と、を備えて工作物 W を生産する。又、生産ライン 10 は、研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 を生産指令値 P I に基づいて制御する制御装置 14 を備えている。制御装置 14 は、研削盤 11 を制御する制御装置 14 a と、熱処理炉 12 を制御する制御装置 14 b と、検査機 13 を制御する制御装置 14 c とから構成される。

20

【0012】

研削盤 11 は、図 2 に示すように、砥石車 111 と、砥石台 112 と、主軸台 113 と、を備えている。尚、図示を省略するが、研削盤 11 には、研削点の周辺をクーラントにより冷却する冷却装置が備えられている。研削盤 11 は、主軸台 113 により回転駆動される工作物 W の周面に、砥石台 112 により回転駆動される砥石車 111 の周面を接触させて、工作物 W の周面を研削する研削加工を行う。

30

【0013】

砥石車 111 は、大量の砥粒により円盤状に形成され、砥石台 112 に砥石軸線 C g 回りに回転可能に支持される。砥石台 112 は、研削盤 11 の作動を制御する制御装置 14 (制御装置 14 a) からの生産指令値 P I により、砥石車 111 を砥石軸線 C g 回りに回転させる。又、砥石台 112 は、制御装置 14 (制御装置 14 a) からの生産指令値 P I により砥石車 111 を砥石軸線 C g の方向及び送り方向 (X 軸線方向) に移動させる。尚、砥石台 112 に対して主軸台 113 を送り方向 (X 軸線方向) に移動させるようにしても良い。主軸台 113 は、工作物 W を主軸線 C w 回りに回転可能に支持し、制御装置 14 (制御装置 14 a) からの生産指令値 P I により工作物 W を主軸線 C w 回りに回転させる。

40

【0014】

熱処理炉 12 は、周知の構成を有しており、加熱炉の内部に投入された工作物 W を加熱することによって熱処理する。熱処理炉 12 は、制御装置 14 (制御装置 14 b) によって作動が制御される。制御装置 14 (制御装置 14 b) は、生産指令値 P I に基づいて、加熱炉の内部の温度及び工作物 W の炉中移動速度を制御する。

【0015】

検査機 13 は、研削盤 11 によって研削加工された工作物 W の形状及び性状を計測することにより検査する。検査機 13 は、例えば、検査用カメラ等を有する計測ヘッドを備えており、制御装置 14 (制御装置 14 c) によって計測ヘッドの作動が制御される。制御

50

装置 1 4 (制御装置 1 4 c) は、生産指令値 P I に基づいて、工作物 W の予め設定された検査位置にて計測するように、計測ヘッドを作動させる。

【0016】

ここで、生産指令値 P I としては、工作物 W (主軸台 1 1 3) 及び砥石車 1 1 1 (砥石台 1 1 2) の位置や、砥石車 1 1 1 の回転数、主軸台 1 1 3 の主軸 (工作物 W) の回転速度、切込速度、研削工程 (粗研削、精研削及び微研削) の切替タイミング、クーラントの有無、熱処理温度、工作物 W の材質、工作物 W の径等である。

【0017】

制御装置 1 4 は、任意の生産条件に基づいて設定される生産指令値 P I に従い、生産ライン 1 0 を構成する研削盤 1 1、熱処理炉 1 2 及び検査機 1 3 を作動させる。そして、制御装置 1 4 は、生産指令値 P I をラインコンピュータ装置 2 0 に出力する。又、制御装置 1 4 は、後述するラインコンピュータ装置 2 0 の決定部 2 3 から出力された最適生産指令値 P S を取得し、且つ、取得した最適生産指令値 P S を用いて研削盤 1 1、熱処理炉 1 2 及び検査機 1 3 を制御する。

【0018】

(3. ラインコンピュータ装置 2 0 の構成)

仮想世界 (サイバー世界) に配置されたラインコンピュータ装置 2 0 は、CPU、ROM、RAM、インターフェース、記憶装置等を備え、ネットワークを介して現実世界の生産ライン 1 0 の制御装置 1 4 と接続されている。ここで、ラインコンピュータ装置 2 0 は、制御装置 1 4 がネットワークを介して接続可能な、所謂、クラウドスペースに配置される。

【0019】

ラインコンピュータ装置 2 0 は、図 1 に示すように、生産指令値 P I を制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c) と同期して取得する。そして、ラインコンピュータ装置 2 0 は、取得した生産指令値 P I に基づいて、研削盤 1 1 による実加工処理である実研削加工処理、熱処理炉 1 2 による実隣接処理である実熱処理及び検査機 1 3 による実隣接処理である実検査処理のそれぞれを、仮想世界における仮想加工処理である仮想研削加工処理、仮想隣接処理である仮想熱処理及び仮想検査処理として生成することによって仮想生産状態を生成する。更に、ラインコンピュータ装置 2 0 は、生産ライン 1 0 の生産条件を満たすように生産指令値 P I のうちの少なくとも一つの要因生産指令値 P O を修正するための最適生産指令値 P S を制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c) に出力する。

【0020】

ここで、要因生産指令値 P O は、実加工処理である研削加工処理と実隣接処理である熱処理及び検査処理との間で互いに影響を及ぼす生産指令値 P I である。具体的に、要因生産指令値 P O は、例えば、熱処理炉 1 2 による熱処理が研削盤 1 1 による研削加工処理に影響を及ぼす生産指令値 P I である。この場合には、例えば、熱処理炉 1 2 によって工作物 W を熱処理することによる熱処理歪等の影響によって工作物 W の見かけの外径寸法が大きくなり、その結果、研削盤 1 1 によって工作物 W を研削加工処理する際の研削開始径が大きくなる可能性がある。この場合、要因生産指令値 P O としては、例えば、熱処理炉 1 2 に設定されている熱処理温度又は工作物 W の炉中移動速度の生産指令値 P I を挙げることができる。

【0021】

更に、要因生産指令値 P O は、研削盤 1 1 による研削加工処理が検査機 1 3 による検査処理に影響を及ぼす生産指令値 P I である。具体的に、要因生産指令値 P O は、例えば、研削盤 1 1 によって工作物 W を研削加工処理した場合に面粗さが悪化し、その結果、検査機 1 3 によって工作物 W を検査処理する際の面粗さ測定値が規格値を超えてしまう場合がある。この場合、要因生産指令値 P O としては、例えば、研削盤 1 1 に設定されている回転数、回転速度、切込速度等の生産指令値 P I を挙げることができる。

【0022】

10

20

30

40

50

又、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理によって生じる生産コストを合算した総生産コストが予め設定された基準総生産コストを満たすように生産ライン10を稼働させる稼働条件である。又、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理によって消費される電力量を合算した総電力量が予め設定された基準総電力量を満たすように生産ライン10を稼働させる稼働条件である。

【0023】

又、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理のそれぞれの保守保全作業に伴って生じる停止時間を合算した総停止時間が予め設定された基準総停止時間を満たすように生産ライン10を稼働させる稼働条件である。更に、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理を経て生産される工作物Wの品質が予め設定された基準品質を満たす品質条件である。

10

【0024】

ラインコンピュータ装置20は、総生産コストが基準総生産コストを満たすことが生産条件とされた場合、例えば、生産ライン10におけるツールコストを低減させるように最適生産指令値PSを決定する。尚、ツールコストとしては、例えば、研削盤11、熱処理炉12及び検査機13の構成部品（例えば、砥石車、炉、検査用カメラ等）の交換費用や再生費用等を挙げることができる。従って、ラインコンピュータ装置20は、例えば、構成部品の寿命を延ばして交換頻度が低下するように最適生産指令値PSを決定する。

【0025】

又、ラインコンピュータ装置20は、総電力量が基準総電力量を満たすことが生産条件とされた場合、例えば、生産ライン10において最も消費される電力量が大きい熱処理炉12の電力量を低減させるように最適生産指令値PSを決定する。又、ラインコンピュータ装置20は、総停止時間が基準総停止時間を満たすことが生産条件とされた場合、例えば、生産ライン10において保守保全作業に要する時間が大きい熱処理炉12の停止時間に合わせて、研削盤11の構成部品（例えば、砥石車や軸受等）の交換も行うように最適生産指令値PSを決定する。更に、ラインコンピュータ装置20は、工作物Wの品質が基準品質を満たすことが生産条件とされた場合、例えば、生産ライン10において最も工作物Wの品質に影響を及ぼす研削盤11による研削加工処理の精度を向上させるように最適生産指令値PSを決定する。

20

【0026】

更に、ラインコンピュータ装置20は、図1に示すように、ネットワークを介して接続され、且つ、生産ライン10とは異なる場所（例えば、研削盤11等を製造及びメンテナンスするメーカ等）にて作動する外部端末装置30に対して、生産指令値PI、及び、生成した仮想生産状態を表す状態情報のうちの少なくとも一方を出力する。これにより、例えば、メーカは、生産ライン10の生産状態をビッグデータとして外部端末装置30を介して取得することができ、生産ライン10の保守保全を適切なタイミングで行うようなサービスを提供することができる。

30

【0027】

ラインコンピュータ装置20は、上述した最適生産指令値PSを決定し、決定した最適生産指令値PSを制御装置14（制御装置14a、14b、14c）に出力すると共に、生産指令値PI及び状態情報を外部端末装置30に出力する。このために、図3に示すように、取得部21と、生成部22と、決定部23と、出力部24と、を備えている。

40

【0028】

取得部21は、制御装置14（制御装置14a、14b、14c）から生産指令値PIを所定の周期で同期して取得する。これにより、現実世界に配置された生産ライン10と仮想世界に配置されたラインコンピュータ装置20とは、同期した生産指令値PIを有する。

【0029】

生成部22は、取得部21によって制御装置14（制御装置14a）から取得された生産指令値PIに基づいて、生産ライン10を構成する研削盤11による実研削加工処理を

50

仮想世界における仮想研削加工処理として生成する。又、生成部 2 2 は、取得部 2 1 によって制御装置 1 4（制御装置 1 4 b）から取得された生産指令値 P I に基づいて、生産ライン 1 0 を構成する熱処理炉 1 2 による実熱処理を仮想世界における仮想熱処理として生成する。

【0030】

又、生成部 2 2 は、取得部 2 1 によって制御装置 1 4（制御装置 1 4 c）から取得された生産指令値 P I に基づいて、生産ライン 1 0 を構成する検査機 1 3 による実検査処理を仮想世界における仮想検査処理として生成する。そして、生成部 2 2 は、仮想研削加工処理、仮想熱処理及び仮想検査処理を生成することにより、実生産状態を仮想世界における仮想生産状態として生成する。

10

【0031】

決定部 2 3 は、上述した生産条件を満たすように最適生産指令値 P S を決定し、且つ、決定した最適生産指令値 P S を制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c のうちの少なくとも一つ）に出力する。又、決定部 2 3 は、仮想生産状態と上述した生産条件に応じて予め設定された基準とを比較し、生産指令値 P I のうち前記基準と異なるものを要因生産指令値 P O として特定する。

【0032】

更に、決定部 2 3 は、上述したような複数の生産条件のそれぞれを満たす最適生産指令値 P S を決定する。そして、決定部 2 3 は、例えば、オペレータによって複数の生産条件のうちから選択された生産条件に対応する最適生産指令値 P S を制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c のうちの少なくとも一つ）に出力する。

20

【0033】

出力部 2 4 は、ネットワークを介して、例えば、メーカに設置された外部端末装置 3 0 と通信可能に接続されている。そして、出力部 2 4 は、外部端末装置 3 0 に対して、生産指令値 P I、及び、生成部 2 2 によって生成された仮想生産状態を表す状態情報のうちの少なくとも一方をビッグデータとして出力する。

【0034】

（４．C P P S 型生産システムの作動）

次に、現実世界に配置された生産ライン 1 0、より詳しくは、研削盤 1 1、熱処理炉 1 2 及び検査機 1 3 と、仮想世界に配置されたラインコンピュータ装置 2 0 と、を備えた C P P S 型生産システムの作動について、図 4 に基づいて説明する。C P P S 型生産システムにおいては、オペレータは、先ず、任意の生産条件を制御装置 1 4 に入力する。これにより、制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c）は、生産指令値 P I（NC プログラム）を生成すると共に、ネットワークを介して生産指令値 P I をラインコンピュータ装置 2 0 に出力する。

30

【0035】

生産ライン 1 0 においては、研削盤 1 1、熱処理炉 1 2 及び検査機 1 3 は、それぞれ、制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c）により、生産指令値 P I に基づいて制御される。これにより、工作物 W は、上流側の熱処理炉 1 2 によって熱処理された後、研削盤 1 1 によって研削加工処理がなされる。そして、工作物 W は、研削盤 1 1 によって研削加工処理された後、研削盤 1 1 よりも下流側の検査機 1 3 によって検査処理が施されて、製品が生産される。

40

【0036】

一方、ラインコンピュータ装置 2 0 においては、取得部 2 1 が制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c）から生産指令値 P I を同期して取得する。そして、制御装置 1 4（制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c）が研削盤 1 1、熱処理炉 1 2 及び検査機 1 3 を作動させて実生産状態を開始させるのと同期して、ラインコンピュータ装置 2 0 は仮想生産状態を生成することを開始する。

【0037】

即ち、ラインコンピュータ装置 2 0 においては、生成部 2 2 が、制御装置 1 4（制御装

50

置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c) から取得した生産指令値 P I に基づき、仮想研削加工処理、仮想熱処理及び仮想検査処理を生成する。そして、生成部 2 2 は、仮想研削加工処理、仮想熱処理及び仮想検査処理を用いて仮想生産状態を生成する。ここで、取得部 2 1 が生産指令を同期して取得しているため、生成される仮想生産状態は、実生産状態と同期して生成される。

【0038】

ここで、ラインコンピュータ装置 2 0 は、制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c) から取得した生産指令値 P I を用いて、仮想世界において研削加工処理、熱処理及び検査処理を生成することができる。即ち、ラインコンピュータ装置 2 0 は、生産ライン 1 0 の生産において、例えば、工作物 W の見かけの外径寸法が大きくなることや、工作物 W の面粗さが悪化することを仮想世界において生成することによって予測 (把握) することができる。

10

【0039】

生成部 2 2 によって仮想生産状態が生成されると、決定部 2 3 は、生産条件を満たすように、生産指令値 P I のうちの少なくとも一つを要因生産指令値 P O として特定する。そして、決定部 2 3 は、要因生産指令値 P O を修正するための最適生産指令値 P S を決定し、決定した最適生産指令値 P S を制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c) に出力する。

【0040】

上述したように、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理によって生じる生産コストを合算した総生産コストが予め設定された基準総生産コストを満たすように生産ライン 1 0 を稼働させる稼働条件とすることができる。この場合、決定部 2 3 は、生産ライン 1 0 におけるツールコストを低減させるように最適生産指令値 P S を決定する。

20

【0041】

この場合、決定部 2 3 は、総生産コストに関連する要因生産指令値 P O として、例えば、研削盤 1 1 の構成部品である砥石車 1 1 1 の寿命を延ばしてツールコストを低減することができるように、砥石車 1 1 1 の回転数や加工抵抗に関連する生産指令値 P I を特定する。ここで、決定部 2 3 は、生成された仮想生産状態と、総生産コストを低減するために予め設定された基準と、を比較し、砥石車 1 1 1 の回転数や加工抵抗に関連する生産指令値 P I を特定する。

30

【0042】

そして、決定部 2 3 は、砥石車 1 1 1 の回転数や加工抵抗に関連する生産指令値 P I について、砥石車 1 1 1 の回転数を増加させたり、加工抵抗を低減したりするように、最適生産指令値 P S を決定して制御装置 1 4 (例えば、制御装置 1 4 a) に出力する。これにより、研削盤 1 1 の構成部品である砥石車 1 1 1 の寿命を延ばしてツールコストを低減することができる、ひいては、生産ライン 1 0 の総生産コストが基準総生産コストを満たすようにすることができる。

【0043】

又、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理によって消費される電力量を合算した総電力量が予め設定された基準総電力量を満たすように生産ライン 1 0 を稼働させる稼働条件とすることができる。この場合、決定部 2 3 は、生産ライン 1 0 において最も消費される電力量が大きい熱処理炉 1 2 の電力量を低減させるように最適生産指令値 P S を決定する。

40

【0044】

この場合、決定部 2 3 は、総電力量に関連する要因生産指令値 P O として、例えば、熱処理炉 1 2 で消費される電力量を低減することができるように、熱処理炉 1 2 の熱処理温度及び工作物 W の炉中移動速度に関連する生産指令値 P I を特定する。ここで、決定部 2 3 は、生成された仮想生産状態と、総電力量を低減するために予め設定された基準と、を比較し、熱処理炉 1 2 の熱処理温度及び工作物 W の炉中移動速度に関連する生産指令値 P I を特定する。

50

【0045】

そして、決定部23は、熱処理炉12の熱処理温度及び工作物Wの炉中移動速度に関連する生産指令値PIについて、熱処理温度を低下させると共に炉中移動速度を低下させるように、最適生産指令値PSを決定して制御装置14（例えば、制御装置14b）に出力する。これにより、熱処理炉12が消費する電力量を低減することができ、ひいては、生産ライン10の総電力量が基準総電力量を満たすようにすることができる。

【0046】

又、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理のそれぞれの保守保全作業に伴って生じる停止時間を合算した総停止時間が予め設定された基準総停止時間を満たすように生産ライン10を稼働させる稼働条件とすることができる。この場合、決定部23は、生産ライン10において保守保全作業に要する時間が大きい熱処理炉12の停止時間に合わせて、研削盤11の砥石車111や軸受等の交換も合わせて行うように最適生産指令値PSを決定する。

10

【0047】

この場合、決定部23は、総停止時間に関連する要因生産指令値POとして、例えば、研削盤11による研削加工が停止できるように、研削盤11の砥石車111の回転数や工作物Wの回転速度に関連する生産指令値PIを特定する。そして、決定部23は、研削盤11の回転数や回転速度に関連する生産指令値PIについて、研削盤11を停止させるように、最適生産指令値PSを決定して制御装置14（例えば、制御装置14a）に出力する。

20

【0048】

これにより、熱処理炉12の停止に合わせて研削盤11の作動を停止させて砥石車111や軸受等を交換ことができ、熱処理炉12と研削盤11とを別々に停止させる場合に比べて生産ライン10の総停止時間を低減することができる。従って、生産ライン10の総停止時間が基準総停止時間を満たすようにすることができる。

【0049】

更に、生産条件は、研削加工処理、熱処理及び検査処理を経て生産される工作物Wの品質が予め設定された基準品質を満たす品質条件とすることができる。この場合、決定部23は、生産ライン10において最も工作物Wの品質に影響を及ぼす研削盤11による研削加工処理の精度を向上させるように最適生産指令値PSを決定する。

30

【0050】

この場合、決定部23は、品質に関連する要因生産指令値POとして、例えば、研削加工において発生する面粗さやひずみ等を低下させるように、研削盤11の砥石車111の回転数や工作物Wの回転速度、加工抵抗に関連する生産指令値PIを特定する。ここで、決定部23は、生成された仮想生産状態と、品質を満たすために予め設定された基準と、を比較し、研削盤11の回転数や回転速度、加工抵抗に関連する生産指令値PIを特定する。

【0051】

そして、決定部23は、研削盤11の砥石車111の回転数や工作物Wの回転速度、加工抵抗に関連する生産指令値PIについて、砥石車111の回転数や工作物Wの回転速度、加工抵抗を低下させるように、最適生産指令値PSを決定して制御装置14（例えば、制御装置14a）に出力する。これにより、研削盤11が研削加工処理を行った場合の工作物Wの加工精度を向上することができ、ひいては、生産ライン10において生産される工作物Wに品質が基準品質を満たすようにすることができる。

40

【0052】

ここで、上述した生産条件同士は、互いに背反する場合がある。例えば、生産条件として生産ライン10の総停止時間を短くして（つまり、生産ライン10の稼働率を高めて）工作物Wを生産する能率を高めた場合、研削盤11の構成部品の交換頻度が高まり、総生産コストが高くなる場合がある。或いは、生産条件として工作物Wの品質を向上させる場合、生産ライン10の総電力量が増加したり、構成部品の交換頻度が高まり、その結果、

50

生産ライン 10 の総生産コストが高くなる場合もある。そこで、決定部 23 は、オペレータに要求する生産条件を選択させ、選択された生産条件を満たして工作物 W を生産する。

【0053】

このため、決定部 23 は、上述したように、複数の生産条件のそれぞれを満たす最適生産指令値 P S を決定する。そして、決定部 23 は、最適生産指令値 P S を決定した複数の生産条件を、例えば、生産ライン 10 を稼働させるオペレータに対して提示して選択させる。そして、決定部 23 は、例えば、オペレータによって選択された生産条件に対応する最適生産指令値 P S を制御装置 14（制御装置 14 a, 14 b, 14 c）に出力する。これにより、オペレータが要求する、換言すれば、工作物 W に要求される品質等を十分に確保することができる。

10

【0054】

又、ラインコンピュータ装置 20 の出力部 24 は、外部端末装置 30 に対して、生産指令値 P I、及び、生成した仮想生産状態を表す状態情報のうちの少なくとも一方をビッグデータとして出力する。これにより、例えば、メーカは、生産ライン 10 の生産状態を容易に把握することができる。従って、メーカは、生産ライン 10 の生産負荷状況に応じて、生産ライン 10 の保守保全、及び、構成部品の交換等を適切なタイミングで行うようなサービスを提供することができる。

【0055】

以上の説明からも理解できるように、サイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムによれば、生産ライン 10 を構成する研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 を生産指令値 P I に基づいて制御する制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）は、通信可能なラインコンピュータ装置 20 に接続される。ラインコンピュータ装置 20 は、制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）から取得した生産指令値 P I に基づいて、研削加工処理、熱処理及び検査処理を仮想世界における仮想研削処理、仮想熱処理及び仮想検査処理として生成することによって仮想生産状態を生成することができる。そして、ラインコンピュータ装置 20 は、生産ライン 10 にて工作物 W を生産する際の生産条件を満たすように要因生産指令値 P O を修正するための最適生産指令値 P S を決定し、最適生産指令値 P S を制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）に出力することができる。

20

【0056】

これにより、ラインコンピュータ装置 20 は、生産条件を満たすように、最適生産指令値 P S を制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）に出力することにより、研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 を統括して作動させることができる。即ち、制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）は、ラインコンピュータ装置 20 から最適生産指令値 P S を繰り返し取得することにより、研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 を自律的に作動させることができる。その結果、研削盤 11、熱処理炉 12、検査機 13、制御装置 14（制御装置 14 a、14 b、14 c）及びラインコンピュータ装置 20 を備えるサイバーフィジカルプロダクションシステム型生産システムでは、生産ライン 10 は生産条件を満たしながら自律的に稼働することができる。

30

【0057】

（５．実施形態の変形例）

【0058】

次に、上記実施形態の変形例を説明する。変形例においては、図 5 に示すように、研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 のそれぞれに対してユニットコンピュータ 40 が設けられる。これにより、変形例においては、研削盤 11、熱処理炉 12 及び検査機 13 は、サイバーフィジカルシステム（Cyber Physical System: 以下、単に「C P S」とも称呼する。）を構成する。尚、以下の説明においては、生産ライン 10 を構成する工作機械が機械本体としての研削盤 11 とユニットコンピュータ装置 40 が設けられた C P S である場合を説明する。

40

【0059】

50

仮想世界（サイバー世界）に配置されたユニットコンピュータ装置４０は、ＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭ、インターフェース、記憶装置等を備え、ネットワークを介して現実世界の研削盤１１の制御装置１４ａと接続されている。ここで、ユニットコンピュータ装置４０は、制御装置１４ａがネットワークを介して接続可能な、所謂、クラウドスペースに配置される。

【００６０】

ユニットコンピュータ装置４０は、制御装置１４ａから生産指令値ＰＩを同期して取得し、取得した生産指令値ＰＩに基づいて実加工現象を仮想世界における仮想加工現象として生成する。そして、ユニットコンピュータ装置４０は、取得した生産指令値ＰＩに基づいて現在における仮想加工現象である現在仮想加工現象を生成すると共に将来における仮想加工現象である将来仮想加工現象を生成する。そして、ユニットコンピュータ装置４０は、将来仮想加工現象に基づいて生産指令値ＰＩを修正するための個別最適指令値ＰＫを制御装置１４ａに出力する。

10

【００６１】

ここで、現在仮想加工現象は、機械本体である研削盤１１及び工作物Ｗの実加工現象に対応する。将来仮想加工現象は、加工（研削加工）によって、機械本体である研削盤１１及び工作物Ｗに将来生じる現象（状態）である。

【００６２】

ユニットコンピュータ装置４０は、図６に示すように、同期部４１と、モデル構築部４２と、加工現象演算部４３と、差異比較部４４と、判定部４５と、個別最適指令値決定部４６と、データベース４７と、を備えている。

20

【００６３】

同期部４１は、制御装置１４ａから所定の周期で生産指令値ＰＩを取得することにより、前回の周期で取得した生産指令値ＰＩを現在の生産指令値ＰＩ（特に、実加工現象に関連するパラメータ）を同期する。又、同期部４１は、制御装置１４ａから取得した生産指令値ＰＩをデータベース４７に更新可能に記憶する。

【００６４】

モデル構築部４２は、現実世界に設置された研削盤１１及び工作物Ｗをコンピュータ上で生成してモデルを構築する。具体的に、モデル構築部４２は、研削盤１１の砥石車１１１に対応する仮想砥石車、砥石台１１２に対応する仮想砥石台、主軸台１１３に対応する仮想主軸台及び工作物Ｗに対応する仮想工作物を再現したモデルを構築する。

30

【００６５】

モデル構築部４２は、仮想砥石車、仮想砥石台、仮想主軸台及び仮想工作物が砥石車１１１、砥石台１１２、主軸台１１３及び工作物Ｗの状態と一致、即ち、現在仮想加工現象が実加工現象と一致するように、モデルを構築する。尚、モデル構築部４２は、研削盤１１及び工作物Ｗを再現したモデルに加えて、例えば、機械挙動を再現した機械挙動モデルや、静圧状態における研削盤１１の加工状態を再現した静圧制御モデル、或いは、研削盤１１の加工状態を計測する計測モデル等を構築することも可能である。

【００６６】

加工現象演算部４３は、同期部４１により同期した同期時点よりも後の任意時点における将来仮想加工現象を、生産指令値ＰＩに基づいて演算することにより生成する。又、加工現象演算部４３は、データベース４７に更新可能に記憶された生産指令値ＰＩである記憶生産指令値ＰＩに基づいて将来仮想加工現象を生成する。

40

【００６７】

又、加工現象演算部４３は、同期部４１により同期された生産指令値ＰＩ又はデータベース４７に記憶された記憶生産指令値ＰＩに基づいて、モデル構築部４２によって再現されたモデルを作動させて現在仮想加工現象を生成する。そして、加工現象演算部４３は、生成した現在仮想加工現象に基づいて将来仮想加工現象を生成する。

【００６８】

具体的に、加工現象演算部４３は、生産指令値ＰＩ又は現在仮想加工現象に基づいて、

50

数値解析やシミュレーション等の演算を行い、将来仮想加工現象を生成する。これにより、加工現象演算部 43 は、研削盤 11 及び工作物 W において時々刻々と変化する実加工現象を反映した将来仮想加工現象を生成することができる。そして、加工現象演算部 43 は、将来仮想加工現象を生じさせる場合の仮想生産指令値 P I を記憶生産指令値 P I としてデータベース 47 に出力する。これにより、データベース 47 は、仮想生産指令値 P I を記憶生産指令値 P I として更新して記憶する。

【0069】

差異比較部 44 は、制御装置 14 a から取得した生産指令値 P I とデータベース 47 に記憶された記憶生産指令値 P I 即ち仮想生産指令値 P I との間に生じた差異を比較する。又、差異比較部 44 は、研削盤 11 の実加工現象と現在仮想加工現象との間に生じた差異を比較する。そして、差異比較部 44 の比較によって差異が所定の基準値を満たさない場合には、同期部 41 は、記憶生産指令値 P I を制御装置 14 a から取得した生産指令値 P I に同期させる。

10

【0070】

判定部 45 は、加工現象演算部 43 によって演算された将来仮想加工現象が予め設定された所定加工現象であるか否かを判定する。判定部 45 は、将来仮想加工現象として、例えば、研削加工によって研削された仮想工作物（工作物 W）の寸法や、研削加工によって研削された仮想工作物（工作物 W）の研削焼けの有無或いは面粗さ等を、これらについて予め設定された基準である所定加工現象と比較する。

【0071】

20

個別最適指令値決定部 46 は、加工現象演算部 43 が生成した将来仮想加工現象に基づき、生産指令値 P I を修正する（較正する）ための個別最適指令値 P K を決定すると共に決定した個別最適指令値 P K を制御装置 14 a に出力する。具体的に、個別最適指令値決定部 46 は、判定部 45 によって将来仮想加工現象が所定加工現象と異なる場合、例えば、仮想工作物（工作物 W）の研削焼けの発生や、仮想砥石台（砥石台 112）及び仮想主軸台（主軸台 113）の軸受の寿命、その他の異常に応じて、個別最適指令値 P K を決定すると共に制御装置 14 a に出力する。

【0072】

この場合、個別最適指令値 P K は、例えば、仮想砥石車（砥石車 111）の回転数を増加させたり、仮想工作物（工作物 W）の回転速度を低減させたりするように決定される。そして、個別最適指令値決定部 46 は、決定した個別最適指令値 P K を制御装置 14 a に出力する。これにより、制御装置 14 a は、個別最適指令値 P K に従って、例えば、仮想砥石車（砥石車 111）の回転数を増加したり、仮想工作物（工作物 W）の回転速度を低減したりして、実加工現象において研削焼け等の発生を防止する。そして、制御装置 14 a が個別最適指令値 P K を新たな生産指令値 P I としてユニットコンピュータ装置 40 に出力することにより、ユニットコンピュータ装置 40 は新たな生産指令値 P I を入力して現実世界の研削盤 11 と同期する。

30

【0073】

ここで、個別最適指令値決定部 46 は、例えば、研削加工された工作物 W の品質に関連する場合には、次回に工作物 W を研削加工する際に出力される。一方、個別最適指令値決定部 46 は、例えば、研削盤 11 の機械的な異常である場合、異常が重大であれば直ちに出力されて研削盤 11 の作動が停止され、異常が軽度であれば次回に工作物 W を研削加工する際に出力される。

40

【0074】

次に、現実世界に配置された機械本体である研削盤 11 及び制御装置 14 a と、仮想世界に配置されたユニットコンピュータ装置 40 を備えた C P S の作動について、図 7 に基づいて説明する。C P S においては、オペレータは、先ず、加工条件として、例えば、工程ごとの切込量、砥石車 111 の回転数、研削工程の切替タイミング、主軸台 113（工作物 W）の回転速度、工作物 W の情報を制御装置 14 a に入力する。これにより、制御装置 14 a は、生産指令値 P I（NC プログラム）を生成すると共に、ネットワークを介し

50

て生産指令値 P I をユニットコンピュータ装置 4 0 に出力する。尚、生産指令値 P I には、研削盤 1 1 の諸元に関する各種データ、具体的に、砥石車 1 1 1 の径データや、砥石台 1 1 2 及び主軸台 1 1 3 の X 軸方向、Y 軸方向の座標データ、工作物 W の形状データ等を含むことができる。

【0075】

ユニットコンピュータ装置 4 0 においては、制御装置 1 4 a から生産指令値 P I を同期して取得し、取得した生産指令値 P I をデータベース 4 7 に記憶生産指令値 P I として記憶する。尚、この場合、ユニットコンピュータ装置 4 0 は、取得した生産指令値 P I をデータベース 4 7 に記憶することなく、モデル構築部 4 2 及び加工現象演算部 4 3 に出力しても良い。

10

【0076】

モデル構築部 4 2 は、データベース 4 7 に記憶された記憶生産指令値 P I 又は制御装置 1 4 a から取得した生産指令値 P I 、具体的には、研削盤 1 1 の諸元に関する各種データに基づき、仮想砥石車、仮想砥石台、仮想主軸台及び仮想工作物をコンピュータ上（サイバー空間）に生成する。これにより、モデルは、研削盤 1 1 と同一の諸元を有して生成される。

【0077】

そして、制御装置 1 4 a が研削盤 1 1 を制御して研削加工を開始させるのと同期して、ユニットコンピュータ装置 4 0 は仮想的に研削加工を開始する。具体的に、現実世界の研削盤 1 1 においては、制御装置 1 4 a が生産指令値 P I に基づき、砥石車 1 1 1 、砥石台 1 1 2 及び主軸台 1 1 3 を作動させて工作物 W を研削加工する。

20

【0078】

一方、ユニットコンピュータ装置 4 0 においては、加工現象演算部 4 3 が、制御装置 1 4 a から取得した生産指令値 P I 又はデータベース 4 7 に記憶された記憶生産指令値 P I に基づき、研削盤 1 1 による実加工現象を現在仮想加工現象として生成する。ここで、生成される現在仮想加工現象は、実加工現象と同期した状態で生成される。

【0079】

そして、加工現象演算部 4 3 は、現在仮想加工現象に基づいて将来仮想加工現象を生成する。尚、この場合、加工現象演算部 4 3 は、現在仮想加工現象を生成することを省略して、制御装置 1 4 a から取得した生産指令値 P I 又はデータベース 4 7 に記憶されている記憶生産指令値 P I に基づいて将来仮想加工現象を生成しても良い。

30

【0080】

加工現象演算部 4 3 は、モデル構築部 4 2 によって構築されたモデルをコンピュータ上で作動させた状態で研削加工についてのシミュレーションを実行したり、生産指令値 P I を用いて数値演算したりすることにより、将来仮想加工現象を生成する。例えば、加工現象演算部 4 3 は、仮想工作物（即ち、同期して作動している研削盤 1 1 によって研削加工される工作物 W）の焼け深さを算出することにより、将来仮想加工現象である研削焼けの有無をシミュレーションや数値演算する。

【0081】

加工現象演算部 4 3 がシミュレーションを実行している最中も、現実世界の研削盤 1 1 は継続して工作物 W に研削加工を施している。このため、ユニットコンピュータ装置 4 0 の同期部 4 1 は、所定の周期で制御装置 1 4 a から生産指令値 P I を取得する。或いは、データベース 4 7 が記憶生産指令値 P I を記憶している場合には、差異比較部 4 4 が制御装置 1 4 a から取得した生産指令値 P I 即ち実加工現象と記憶生産指令値 P I 即ち現在仮想加工現象との間に生じた差異を比較する。そして、差異が所定の第一基準値を満たさない場合、同期部 4 1 はデータベース 4 7 に記憶されている記憶生産指令値 P I を制御装置 1 4 a から取得した生産指令値 P I に更新する。

40

【0082】

これにより、モデル構築部 4 2 は研削盤 1 1 を同期したモデルを繰り返し生成することができ、加工現象演算部 4 3 は実加工現象に同期した現在仮想加工現象又は同期した生産

50

指令値 P I に基づき将来仮想加工現象を演算して生成することができる。

【0083】

又、差異比較部 44 は、制御装置 14 a から取得した生産指令値 P I 即ち実加工現象と記憶生産指令値 P I 即ち現在仮想加工現象との間に生じた差異が所定の第一基準値よりも大きい所定の第二基準値を満たさない場合、差異を含む生産指令値 P I をラインコンピュータ装置 20 に出力する。この場合は、例えば、研削盤 11 が単独で実加工現象と現在仮想加工現象とを同期することが不能であり、生産ライン 10 の全体で差異を修正する必要がある。

【0084】

このため、差異比較部 44 は、実加工現象と現在仮想加工現象との間に生じた差異が所定の第二基準値を満たさない場合、差異を含む生産指令値 P I をラインコンピュータ装置 20 に出力する。これにより、ラインコンピュータ装置 20 は、例えば、上流側の熱処理炉 12 の制御装置 14 (制御装置 14 b) に最適生産指令値 P S を出力したり、下流側の検査機 13 の制御装置 14 (制御装置 14 c) に最適生産指令値 P S を出力したりする。

【0085】

ユニットコンピュータ装置 40 においては、判定部 45 が、将来仮想加工現象が所定加工現象 (例えば、研削焼けが発生していない加工現象) であるか否かを判定する。判定部 45 により、将来仮想加工現象が所定加工現象でない、即ち、将来仮想加工現象において研削焼けが発生することが予測される場合には、個別最適指令値決定部 46 は、予測される研削焼けの発生が抑制されるように個別最適指令値 P K を決定する。

【0086】

そして、個別最適指令値決定部 46 は、決定した個別最適指令値 P K をネットワークを介して制御装置 14 a に出力する。制御装置 14 a は、ユニットコンピュータ装置 40 の個別最適指令値決定部 46 から個別最適指令値 P K を取得する。そして、制御装置 14 a は、個別最適指令値 P K を用いて生産指令値 P I を修正して研削盤 11 を制御する。

【0087】

ここで、ユニットコンピュータ装置 40 の加工現象演算部 43 は、将来仮想加工現象として、例えば、研削加工におけるびびりの発生や面粗さが悪化する加工現象もシミュレーション又は数値演算によって生成する (予測する) ことができる。又、判定部 45 は、びびりの発生しない又は面粗さが悪化しない加工現象を所定加工現象とし、将来仮想加工現象が所定加工現象であるか否かを判定することができる。

【0088】

これにより、判定部 45 により、将来仮想加工現象が所定加工現象でない、即ち、将来仮想加工現象においてびびりの発生や面粗さが悪化することが予測される場合には、個別最適指令値決定部 46 は、予測されるびびりの発生や面粗さの悪化が抑制されるように個別最適指令値 P K を決定する。

【0089】

この場合、個別最適指令値決定部 46 は、例えば、仮想砥石車 (砥石車 111) の砥粒の摩耗状態や仮想砥石台 (砥石台 112) 及び仮想主軸台 (主軸台 113) の回転数を修正するための個別最適指令値 P K を決定して、制御装置 14 a に出力する。尚、びびりの発生や面粗さの悪化が予測される場合には機械的な異常である可能性があるため、個別最適指令値決定部 46 は、例えば、研削盤 11 の作動を停止させる個別最適指令値 P K を出力することも可能である。又、機械的な異常である軸受の寿命が予測される場合、個別最適指令値決定部 46 は、例えば、研削盤 11 の製造メーカに対して軸受の点検や交換を依頼するメンテナンス情報をネットワークを介して接続された製造メーカの外部端末装置に出力することも可能である。

【0090】

上記変形例の C P P S 型生産システムによれば、ユニットコンピュータ装置 40 は、現実世界に配置された工作機械 11 の制御装置 14 (制御装置 14 a) と同期して取得した生産指令値 P I に基づいて将来仮想加工現象を生成することができる。これにより、現実

10

20

30

40

50

世界に配置された研削盤 1 1 及び工作物 W における実加工現象を反映して、より正確に将来仮想加工現象を生成することにより予測することができる。そして、ユニットコンピュータ装置 4 0 は、生成した将来仮想加工現象に基づいて生産指令値 P I を修正するための個別最適指令値 P K を研削盤 1 1 の制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a) に出力することができる。

【0091】

これにより、正確に生成された(予測された)将来仮想加工現象に基づいて生産指令値 P I を修正することが可能となる。従って、制御装置 1 4 (制御装置 1 4 a) がユニットコンピュータ装置 4 0 から繰り返し出力される個別最適指令値 P K を新たな生産指令値 P I として取得し、且つ、研削盤 1 1 を制御することにより、工作物 W の加工精度を大幅に向上させることができると共に、自律的に生産指令値 P I を修正して研削盤 1 1 を作動させることが可能となる。

10

【0092】

本発明の実施にあたっては、上記実施形態及び上記各変形例に限定されるものではなく、本発明の目的を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

【0093】

例えば、上記実施形態及び上記変形例においては、機械本体が研削盤 1 1 であるとした。しかしながら、機械本体としては、研削盤 1 1 に限定されるものではなく、他の工作機械、例えば、切削加工機や旋盤等を採用可能であることは言うまでもない。

20

【0094】

又、上記実施形態及び上記変形例においては、ラインコンピュータ装置 2 0 が出力部 2 4 を備えるように構成した。しかし、出力部 2 4 を省略して構成することも可能である。

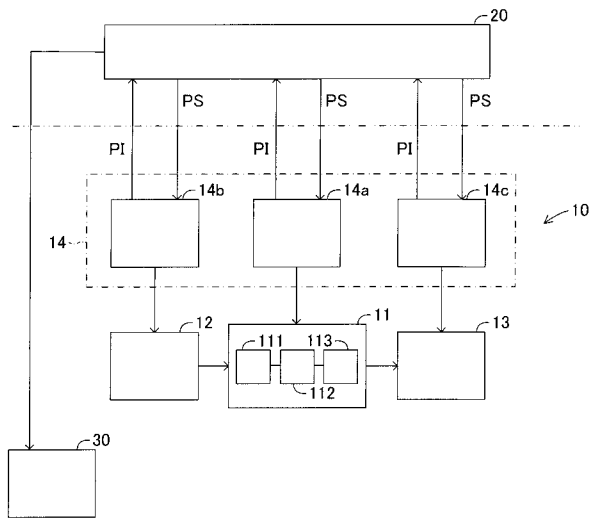
【符号の説明】

【0095】

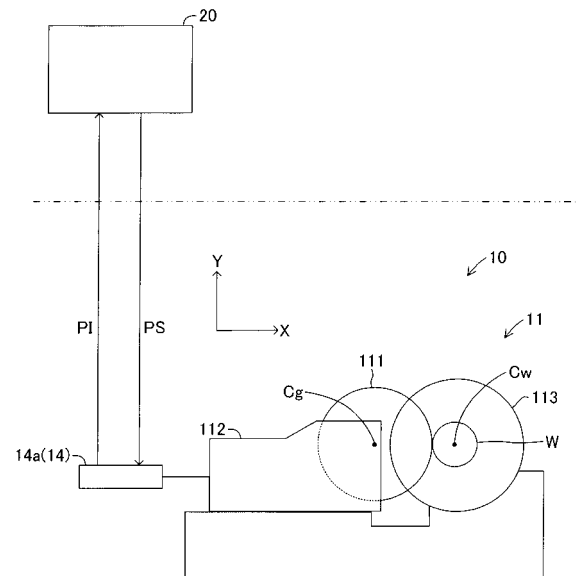
1 0 …生産ライン、1 1 …研削盤(工作機械、機械本体)、1 2 …熱処理炉(隣接処理機械)、1 3 …検査機(隣接処理機械)、1 4, 1 4 a, 1 4 b, 1 4 c …制御装置、2 0 …ラインコンピュータ装置、2 1 …取得部、2 2 …生成部、2 3 …決定部、2 4 …出力部、3 0 …外部端末装置、4 0 …ユニットコンピュータ装置、4 1 …同期部、4 2 …モデル構築部、4 3 …加工現象演算部、4 4 …差異比較部、4 5 …判定部、4 6 …個別最適指令値決定部、4 7 …データベース、W …工作物、P I …生産指令値、P S …最適生産指令値、P K …個別最適指令値

30

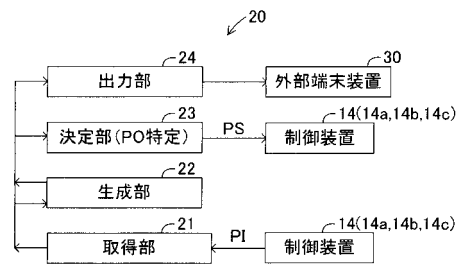
【図 1】



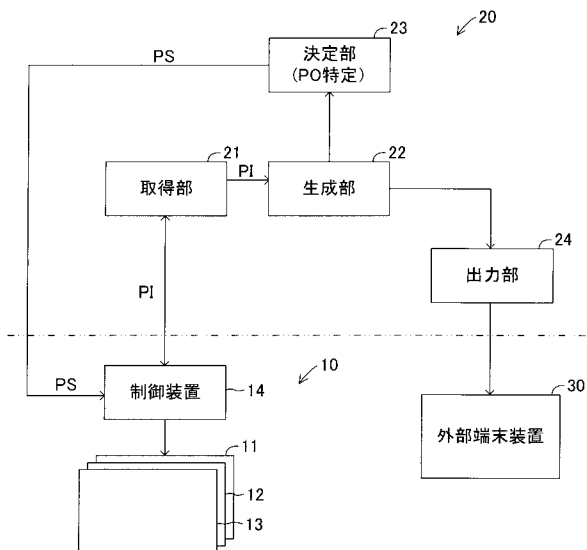
【図 2】



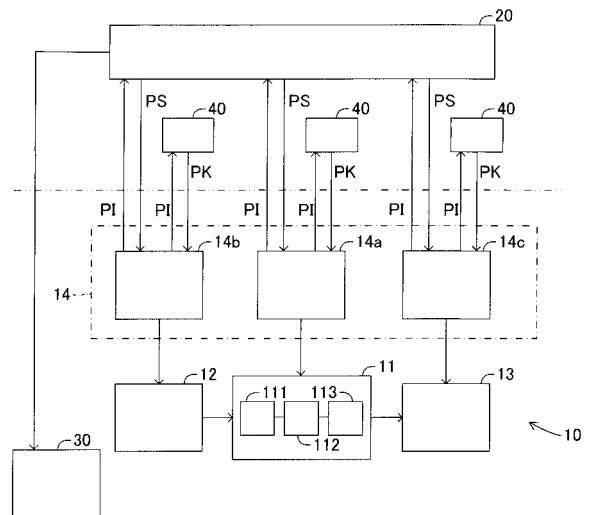
【図 3】



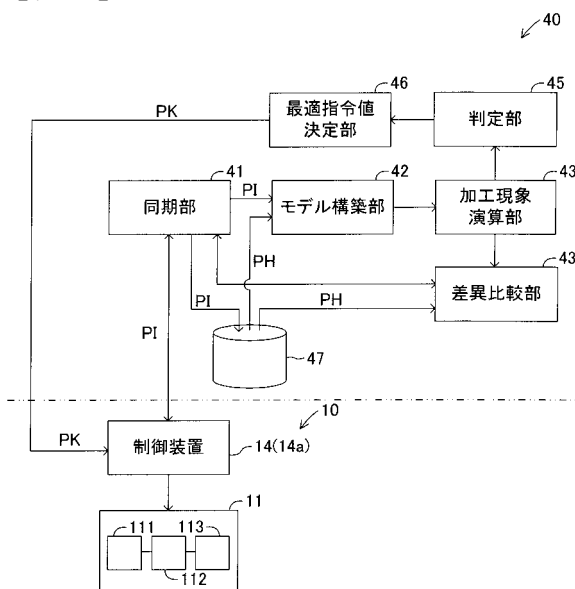
【図 4】



【図 5】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 村上 慎二
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
- (72)発明者 岩井 英樹
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
- (72)発明者 澤田 浩之
茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内
- (72)発明者 近藤 伸亮
茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内
- (72)発明者 ▲高▼本 仁志
茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内
- Fターム(参考) 3C100 AA05 AA07 BB12 BB13 BB27 CC02
5L049 CC03