

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3577028号

(P3577028)

(45) 発行日 平成16年10月13日(2004.10.13)

(24) 登録日 平成16年7月16日(2004.7.16)

(51) Int. Cl.⁷

B 2 5 J 13/00

F I

B 2 5 J 13/00

Z

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2001-341905 (P2001-341905)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成13年11月7日(2001.11.7)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2003-145462 (P2003-145462A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成15年5月20日(2003.5.20)	(74) 代理人	100075557
審査請求日	平成13年11月7日(2001.11.7)		弁理士 西教 圭一郎
		(74) 代理人	100072235
			弁理士 杉山 毅至
		(74) 代理人	100101638
			弁理士 廣瀬 峰太郎
		(72) 発明者	松本 直之
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットの協調制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のロボット毎に、各ロボットの動作を、予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する複数の制御装置と、
各制御装置を、相互に通信可能に接続してネットワークを構成する通信接続手段と、
各制御装置毎に設けられ、各ロボットの動作指令を入力する入力手段と、
各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指令に応答して各ロボットを動作させるプログラムが記憶される記憶手段と、
各制御装置毎に設けられ、前記最小割込み周期でタイミング信号を発生するタイミング信号発生手段と含み、
各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのうち少なくとも一つを、前記記憶手段に格納されたプログラムによって選択的に実行可能とされ、
各制御装置のうちの一つが前記プログラムの実行によってマスタ機能実行モードに設定されたとき、各制御装置のうちの前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置を除く残余の制御装置のうち少なくとも一つが前記プログラムの実行によってスレーブ動作を実行するスレーブ機能実行モードに設定され、
前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置は、マスタ機能実行モードの制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a からスレーブ機能実行モードの制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) が

10

20

、予め定める時間 T になるように、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の最小割込み周期 $T_s(b)$ を変化させ、

マスタ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるマスタロボットと、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるスレーブロボットとは、協調動作することを特徴とするロボットの協調制御システム。

【請求項 2】

前記予め定める時間 T は、各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれることを特徴とする請求項 1 記載のロボットの協調制御システム。

【請求項 3】

前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、自己の対象とするロボットへの指令を、スレーブ機能実行モードの制御装置に対する前記通信遅れ時間 $(t_b - t_a)$ だけ遅延させて送信することを特徴とする請求項 2 記載のロボットの協調制御システム。

10

【請求項 4】

前記協調動作において、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が入力手段から動作指令を入力したとき、その動作指令は、前記通信接続手段を介してマスタ機能実行モードに設定された制御装置に入力され、このマスタ機能実行モードに設定された制御装置は、前記入力した動作指令に応答して制御動作を実行することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載のロボットの協調制御システム。

【請求項 5】

各制御装置毎に入出力装置が設けられ、協調動作中は各制御装置のうちでマスタ機能実行モードに設定された制御装置と、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置とは、前記通信接続手段を介して、マスタ機能実行モードに設定された制御装置が、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の入出力装置を使用して信号を入出力することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載のロボットの協調制御システム。

20

【請求項 6】

各制御装置は、協調動作中に各制御装置の協調動作を停止するための緊急停止手段をそれぞれ有し、各緊急停止手段のうちいずれか 1 つから発生した緊急停止信号は、この緊急停止信号を発生した緊急停止手段が設けられる制御手段に入力されるとともに、残余の制御手段に前記通信接続手段を介して入力され、全てのロボットの動作を停止させることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載のロボットの協調制御システム。

30

【請求項 7】

各制御装置には、各ロボット毎に座標系が設定され、各ロボットのアームの先端部に寸法が既知である位置決め用ツールを着脱可能に設け、相互に隣接する各ロボットの位置決め用ツールの先端部を、少なくとも 3 点で突き合わせて同一位置に配置することによって、各ロボット用の座標変換行列を求め、この座標変換行列を用いて前記協調動作を実行することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載のロボットの協調制御システム。

【請求項 8】

前記協調動作において、スレーブ機能実行モードに設定されているロボットの前記マスタ機能実行モードに設定されているロボットに対する相対位置は、教示された動作開始点での相対位置関係と、教示された動作終了点での相対位置関係と満たすように補間することを特徴とする請求項 7 記載のロボットの協調制御システム。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数のロボット毎に設けられるロボットコントローラとも呼ばれる制御装置を、通信ネットワークによって接続し、各ロボットを協調動作させるロボットの協調制御システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、ワークが重量物または大型物である場合、複数台のロボットによって、前記ワ

50

ークを確実に把持した状態を維持しながら、予め設定された出発点から到達点にわたる複数の教示点および各教示点間の補間点を経て、正確にかつ安定して搬送する協調動作を実現するために、各ロボットを協調制御する協調制御システムが採用されている。

【0003】

このような複数台のロボットを用いる協調制御システムにおいては、作業空間内におけるロボットの配置位置に応じた複数箇所て前記ワークを把持することができるため、前記ワークが大型物であっても、安定した搬送が可能である。また、前記ワークが重量物であっても、複数のロボットにワークの重量が分散されるので、各ロボットの重量負荷および慣性負荷が少なく、搬送速度を大きくして搬送時間を短縮することができる。

【0004】

前記協調制御システムには、複数のロボットを1台の制御装置によって統括的に制御する「多：1」のシステムと、各ロボット毎に対応する制御装置が個別に設けられる「1：1」のシステムとがある。複数のロボットを1台の制御装置で統括的に制御する「多：1」のシステムでは、1台の制御装置によって複数台のロボットを制御しなければならないために、制御装置が特殊な構成となる。

【0005】

これに対して、複数のロボット毎に制御装置を設けて各ロボットを個別に制御する「1：1」のシステムでは、1台のロボットを1台の制御装置によって制御するため、上記「多：1」のシステムのように特殊な構成を有する制御装置を用いる必要がなく、汎用の制御装置を用いることができる。したがって「多：1」のシステムに比べて、協調制御用プログラムを導入して、容易に協調制御システムを実現することができ、実現容易性の点で優れている。

【0006】

しかも、前記汎用の制御装置は、協調制御システムを構築せずに、単独で他の用途に用いることが可能であり、制御装置の購入コストを節約することができ、経済的であるという利点を有している。さらにまた、ロボット台数を自在に変更することができるため、システムの設計に際して自在に対応することができ、システム設計に対する自由度が高いという利点を有している。

【0007】

さらに他の従来の技術では、上記の複数のロボットに対して個別に制御装置を設ける「1：1」の個別協調制御システムにおいて、各ロボットについてプログラムを作成し、インタロックを用いて搬送動作を制御する個別制御システムと、複数のロボットのうちの1台をマスタロボットに設定し、マスタロボットを除く他のロボットは、前記マスタロボットに同期して追従するスレーブロボットに設定し、マスタロボットに対して実装されるソフトウェアプログラムによって、マスタロボットおよびスレーブロボットを協調制御して、ワークを搬送するマスタ/スレーブ協調制御システムとが周知である。

【0008】

上記のマスタ/スレーブ協調制御システムでは、ワークの変更および搬送条件の変更などによってロボットの動作を変更する必要がある場合、前記マスタロボットに実装されるプログラムだけを変更すればよいので、プログラムの変更、作成および管理が容易であるという利点を有している。そのため、汎用ロボットコントローラによって実現される複数の制御装置のうちから1台のマスタ制御装置を選択して、残余の1または複数のスレーブ制御装置を協調動作させている。

【0009】

このようなマスタ・スレーブ間で協調制御を行うシステムにおいては、バス結合または通信回線によって接続された各制御装置間でデータの送受信を行う場合、個々に独立して各ロボット毎に制御系を構成する各制御装置は、相互に同期させる必要がある。この同期をとるための手法としては、各制御装置間がバス結合され、かつ共有メモリ方式によって各制御装置間でデータの送受信を行う場合、共有メモリ上にフラグを設ける手法と、割り込みを利用し、割り込み処理内でイベントを発生させる手法とがある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

図 1 1 は、従来の技術のマスチ／スレーブ協調制御システムにおけるマスチロボットおよびスレーブロボットの各制御装置 A , B を同期させるためのソフトウェアプログラム上の構成の一部を示すブロック図である。この従来の技術は、共有メモリ方式によって各制御装置 A , B 間を同期させるために、マスチロボットを制御するマスチ側制御装置 A と、スレーブロボットを制御するスレーブ側制御装置 B とについて見ると、マスチ側制御装置 A の演算処理装置 2 は、スレーブ側制御装置 B の共有メモリ 3 のフラグ 4 に指令値を書き込み、スレーブ側制御装置 B の演算処理装置 5 は、共有メモリ 3 上のフラグ 4 に前記指令値が書き込まれるまで待機し、スレーブ側制御装置 B の演算処理装置 5 の演算処理動作が終了した後、フラグ 4 を監視するために、ポーリング動作に入り、非同期時に発生するイベントを処理することができるように構成されている。

10

【 0 0 1 1 】

図 1 2 は、他の従来の技術のマスチ／スレーブ協調制御システムに用いられる割込み方式によって各制御装置 A , B を同期させる手法を説明するためのブロック図である。各制御装置 A , B 間において、一方の制御装置 A の演算処理装置 1 1 からの割込み指令を、通信回線 1 0 を介して他方の制御装置 B が入力すると、他方の制御装置 B は、割込み処理手段 1 2 が起動し、この割込み処理手段 1 2 内でイベントを発生させて、演算処理手段 1 3 を起動させる。この他方の制御装置 B の演算処理手段 1 3 は、前記イベント処理を終了すると、再びイベント待ち状態になる。

【 0 0 1 2 】

さらに他の従来の技術は、特開平 7 - 2 0 9 1 5 号公報に示されている。この従来の技術では、協調動作の制御対象とされるアームを有する 2 台のロボットと、各ロボットを個別に制御する制御装置とを備え、各ロボットのうちで一方のロボットをマスチロボットとし、他方のロボットをスレーブロボットとして、協調制御するロボットの協調制御システムが開示されている。

20

【 0 0 1 3 】

各制御装置は、教示点データに基づいて補間計算を行い、マスチロボットのアームの移動すべき通過点を決定し、スレーブロボットのアームの次通過点は、前記マスチロボットのアームが次に移動すべき点と、運搬中のワークの状態などに対応する両アームの相対的な位置および姿勢関係とに基づいて、各制御装置のうちのいずれか一方の制御装置内で決定される。マスチ側制御装置は、与えられた教示内容に応じてアームの次通過点を決定し、そのデータをスレーブ側制御装置に送信し、スレーブロボットのアームの次通過点が決定される。これらの制御装置は、上記のように相互のデータを送受信するために通信回線によって接続される。また各制御装置は同期をとるために、各制御装置の CPU (中央演算処理装置) が内蔵しているクロック発振回路からのクロック信号を用い、協調動作するために必要なデータおよびプログラムは、すべてのマスチロボットおよびスレーブロボットに共通の制御装置のメモリに格納されている。

30

【 0 0 1 4 】

【 発明が解決しようとする課題 】

上記の図 1 1 および図 1 2 に示される各従来の技術では、他方の制御装置 B にとっては、フラグに対するポーリングおよびイベント待ちなどの無駄な待ち時間が発生してしまうという問題を有する。また上記の特開平 7 - 2 0 9 1 5 号公報に示される従来の技術では、マスチアームとスレーブアームとを協調動作させるために、各制御装置を同期させるにあたって、各制御装置の同期信号間の微小な差、送信周期と受信周期との微小な差の蓄積による制御周期のずれ、および通信回線による不可避免的な通信遅れなどを解消する具体的対策が採られていないため、複数の制御装置を常に同期させた状態に維持することができないという問題がある。さらに、ロボット毎に設けられる各制御手段にそれぞれ備えられる入力手段から動作指令を入力する手法、ロボット毎の入出力手段間の信号の送受信処理の手法、および各ロボットの相対位置の設定に誤差が生じたときの対処の仕方については、何ら考慮されていないため、實際上、協調制御システムを構築することは不可能である。

40

50

【0015】

本発明の目的は、複数の制御装置間の同期ずれを解消し、各ロボットの協調動作のずれを防止することができるようにしたロボットの協調制御システムを提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の本発明は、複数のロボット毎に、各ロボットの動作を、予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する複数の制御装置と、各制御装置を、相互に通信可能に接続してネットワークを構成する通信接続手段と、各制御装置毎に設けられ、各ロボットの動作指令を入力する入力手段と、

各制御装置に設けられ、各ロボットの動作指令に応答して各ロボットを動作させるプログラムが記憶される記憶手段と、

各制御装置毎に設けられ、前記最小割込み周期でタイミング信号を発生するタイミング信号発生手段と含み、

各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのうち少なくとも1つを、前記記憶手段に格納されたプログラムによって選択的に実行可能とされ、

各制御装置のうち1つが前記プログラムの実行によってマスタ機能実行モードに設定されたとき、各制御装置のうち前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置を除く残余の制御装置のうち少なくとも1つが前記プログラムの実行によってスレーブ動作を実行するスレーブ機能実行モードに設定され、

前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置は、マスタ機能実行モードの制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a からスレーブ機能実行モードの制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間 $(t_b - t_a)$ が、予め定める時間 T になるように、前記スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の最小割込み周期 $T_s(b)$ を変化させ、

マスタ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるマスタロボットと、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置によって制御されるスレーブロボットとは、協調動作することを特徴とするロボットの協調制御システムである。

【0017】

本発明に従えば、複数のロボット毎に制御装置が設けられ、各制御装置は、各ロボットの動作を、タイミング信号発生手段から予め定める最小割込み周期で発生されるタイミング信号に同期して、個別に制御する。各制御装置は、通信接続手段によって相互に通信可能に接続され、各制御装置間に通信ネットワークが構築される。各制御装置は、入力手段をそれぞれ備え、各ロボットの単独動作および協調動作を行う際に必要な教示データなどを入力することができる。また記憶手段には、各ロボット毎に予め定める動作指令に응答して各ロボットを動作させるプログラムが格納され、このプログラムの実行によって、各制御装置は、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれかに選択的に設定され、1つの制御装置がマスタ機能実行モードに設定されると、残余の制御装置の全部または一部がスレーブ機能実行モードに設定される。

【0018】

このように各制御装置は、プログラムによって単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれか1つを選択的に設定可能とされるので、各制御装置のうちでマスタ動作させるべきロボットの制御装置、スレーブ動作させるべきロボットの制御装置、および単独動作させるべきロボットの制御装置をプログラム上に命令として記載しておくことによって、その選択された制御装置は、マスタ動作を実行するマスタ実行モードに設定される。また残余の制御装置のうちでスレーブ動作させるべき制御装置の一部または全部を選択、具体的にはプログラム上の命令として設定しておくことによって、その選択された制御装置は、スレーブ動作を実行するスレーブ実行モードに設定される。

【0019】

このようにして各ロボットが実行する一連の作業のうちで、協調動作する行程については、各ロボットをマスタロボットとスレーブロボットとに設定して、前記通信接続手段を介して相互に通信し、高精度で同期させて協調動作させることができる。

【0021】

また、スレーブ機能実行モードの制御装置は、マスタ機能実行モードの制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a から、スレーブ機能実行モードの制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) が予め定める時間 T となるように、最小割込み周期を変化させるので、スレーブ側制御装置が自己のロボットに対する制御を開始する時刻 t_b が、前記マスタ側制御装置がマスタ側制御装置に対して動作指令を送信した時刻 t_a に対して、前記予め定める時間 T よりも長くなる方向および予め定める時間 T よりも短くなる方向に大きくずれることが防がれる。これによってスレーブロボットのマスタロボットに対する動作上の時間的ずれを制限して、各ロボットを正確に協調動作させることが可能となる。

10

【0022】

請求項2記載の本発明は、請求項1記載のロボットの協調制御システムにおいて、前記予め定める時間 T は、各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれることを特徴とする。

【0023】

本発明に従えば、前記予め定める時間 T が各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれるので、マスタ側制御装置から動作指令が送信される時刻 t_a から、スレーブ側制御装置によって受信されて、このスレーブ側制御装置が自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの時間 ($t_b - t_a$) が、制御周期 W を超えてしまうことが防がれる。これによってスレーブ側制御装置は、スレーブ側制御装置の1制御周期 W の時間内に、マスタ側制御装置から複数の動作指令を受信してしまうという不具合が発生を確実に防止し、マスタロボットとスレーブロボットとを高精度で協調動作させることが可能となる。

20

【0024】

請求項3記載の本発明は、請求項2記載のロボットの協調制御システムにおいて、前記マスタ機能実行モードに設定された制御装置は、自己の対象とするロボットへの指令を、スレーブ機能実行モードの制御装置に対する前記通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) だけ遅延させて送信することを特徴とする。

【0025】

本発明に従えば、マスタ機能実行モードの制御装置が指令を送信して、これをスレーブ機能実行モードの制御装置が受信するまでには、通信による遅れ時間 ($t_b - t_a$) が存在し、マスタロボットとスレーブロボットとの間には動作上のずれが発生する。これを防止するために、マスタ機能実行モードの制御装置が制御するロボットに対する指令を、スレーブ機能実行モードの制御装置の通信遅れ時間 ($t_b - t_a$) だけ遅延させて送信することによって、システム全体の設定を変更せずにマスタロボットに対するスレーブロボットの動作の遅れを防止し、各ロボットを高精度で同期させて、協調動作させることができる。

30

【0026】

請求項4記載の本発明は、請求項1～3のいずれか1つに記載の協調制御システムにおいて、前記協調動作は、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置が入力手段から動作指令を入力したとき、その動作指令は、前記通信接続手段を介してマスタ機能実行モードに設定された制御装置に入力され、このマスタ機能実行モードに設定された制御装置は、前記入力した動作指令に応答して制御動作を実行することを特徴とする。

40

【0027】

本発明に従えば、スレーブ機能実行モードの制御装置は、入力手段から動作指令を入力すると、この動作指令は、通信接続手段を介してマスタ機能実行モードの制御装置に入力される。このマスタ機能実行モードの制御装置は、入力した動作指令に応答して制御動作を実行し、こうしてスレーブ側制御装置からの動作指令の入力によって、マスタロボットを制御することができる。したがってオペレータは、マスタ側制御装置からだけでなく、

50

スレーブ側制御装置側からも動作指令を入力して、場所的にスレーブロボットから離れた位置に設置されているマスタロボットの動作を設定することができ、したがって協調制御システム全体を操作者の希望する場所から操作することが可能となり、操作上の利便性が向上される。

【0028】

請求項5記載の本発明は、請求項1～4のいずれか1つに記載のロボットの協調制御システムにおいて、協調動作中は各制御装置毎に入出力装置が設けられ、各制御装置のうちでマスタ機能実行モードに設定された制御装置と、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置とは、前記通信接続手段を介して、マスタ機能実行モードに設定された制御装置が、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置の入出力装置を使用して信号を入出力す

10

【0029】

本発明に従えば、スレーブ機能実行モードの制御装置によって制御されるロボットに接続されたエンドエフェクタなどの外部機器は、スレーブ機能実行モードに設定された制御手段の入出力装置（略称IO）を用いて行なわれる。協調動作においては、マスタロボット側の記憶手段に記憶されたプログラムの動作命令にしたがって動作するため、スレーブロボットに接続された外部機器の制御は、マスタロボットの制御装置に設けられる入出力装置を用いて行なわれ、そのために信号の配線が煩雑になり、スレーブロボットを単独で使用しようとした場合に、マスタロボットの信号の影響を受けてしまう。このような不具合は、上記のようにマスタロボットがスレーブ側制御装置の入出力装置を用いることによっ

20

【0030】

請求項6記載の本発明は、請求項1～5のいずれか1つに記載のロボットの協調制御システムにおいて、各制御装置は、協調動作中に各制御装置の協調動作を停止するための緊急停止手段をそれぞれ有し、各緊急停止手段のうちのいずれか1つから発生した緊急停止信号は、この緊急停止信号を発生した緊急停止手段が設けられる制御手段に入力されるとともに、残余の制御手段に前記通信接続手段を介して入力され、全てのロボットの動作を停止させることを特徴とする。

【0031】

本発明に従えば、各制御装置には緊急停止手段が備えられるので、どの位置のロボットからでも、異常が発生したときに、前記緊急停止手段を用いて各ロボットの一部または全体を緊急停止させることができ、これによって安全性が向上される。

30

【0032】

請求項7記載の本発明は、請求項1～6のいずれか1つに記載のロボットの協調制御システムにおいて、各制御装置には、各ロボット毎に座標系が設定され、各ロボットのアームの先端部に寸法が既知である位置決め用ツールを着脱可能に設け、相互に隣接する各ロボットの位置決め用ツールの先端部を、少なくとも3点で突き合わせて同一位置に配置することによって、各ロボット用の座標変換行列を求め、この座標変換行列を用いて前記協調動作を実行することを特徴とする。

【0033】

本発明に従えば、マスタ座標系に設定された共通な3点を結ぶ仮想フレームを基準にして協調動作するので、各制御装置は、各ロボットの位置および姿勢、さらには位置および姿勢のずれを、常に共通な座標系上で各ロボットが相対的位置を正確に認識可能とし、各ロボットのうちで、いずれのロボットをマスタとして設定しかつスレーブとして設定しても、1つの座標系内で協調動作を高精度で制御することができる。

40

【0034】

請求項8記載の本発明は、請求項7記載のロボットの協調制御システムにおいて、前記協調動作において、スレーブ機能実行モードに設定されているロボットのの前記マスタ機能実行モードに設定されているロボットに対する相対位置は、教示された動作開始点での相対位置関係と、教示された動作終了点での相対位置関係と満たすように補間することを特徴

50

とする。

【0035】

本発明に従えば、マスタおよびスレーブの各ロボット間の相対位置関係において、マスタロボットとスレーブロボットとが実際の相対位置関係と設定された相対位置変換行列との間にずれがある場合、ツールの寸法に誤差がある場合、ロボットリンク長のばらつきがある場合、ゼロイング精度とも呼ばれるロボットの基準位置への設置精度自体にばらつきがある場合、ならびに負荷によるロボットアームのたわみの影響によって、相対的な位置および姿勢関係を一定に保つように制御しても、実際の位置および姿勢関係が一定に保たれない場合などの相対位置がずれる原因が存在しても、上記のようにマスタ機能実行モードに設定されたロボットの教示位置の他に、スレーブ機能実行モードに設定されるロボット

10

【0036】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の実施の一形態のロボットの協調制御システム20の全体の構成を示す系統図である。本実施の形態のロボットの協調制御システム(以下、単に協調制御システムと略記する場合がある)20は、複数(本実施の形態では2)のロボットRa, Rbと、各ロボットRa, Rbを相互に個別に独立して制御する2台の制御装置Ca, Cbと、各制御装置Ca, Cbを相互に通信可能に接続する通信接続手段21とを含む。

20

【0037】

各ロボットRa, Rbは、一例として述べると、工場内の所定の作業ステージの略水平な床22上に相互に間隔をあけて設置される基台23上に、旋回体24が設けられ、旋回体24には複数のアーム25, 26, 27が各軸まわりに角変位可能に設けられ、最も遊端側のアームの先端部には手首28が設けられ、この手首28にはワーク29を着脱可能に把持するハンド30が設けられる6軸の多関節ロボットによってそれぞれ実現される。

【0038】

各制御装置Ca, Cbは、ロボットコントローラとも呼ばれ、相互に前記通信接続手段21によって接続されて、通信ネットワークを構成する。これらの制御装置Ca, Cbは、各ロボットRa, Rbにライン31a, 31bによってそれぞれ接続される制御装置本体33a, 33bと、ティーチペンダントとも呼ばれ、各制御装置本体33a, 33bにライン35a, 35bによって接続される教示入力手段37a, 37bと有する。

30

【0039】

前記通信接続手段21は、イーサネット(Ethernet)によって実現される。本実施の形態において「イーサネット」とは、米国電気電子学会(略称IEEE; Institute of Electrical and Electronic Engineers)および国際標準化機構(略称IOS; International Organization For Standardization)によって、IEEE802.3およびISO8802-3として標準化されたLAN(Local Area Network)をいう。

40

【0040】

図2は、各制御装置Ca, Cbの構成を示すブロック図である。上記の各制御装置Ca, Cbには、各ロボットRa, Rbにそれぞれ備えられる図示しないサーボモータを駆動するためのサーボ駆動手段41a, 41b、パワーシーケンス回路42a, 42b、各ロボットRa, Rbに動作指令を入力するための操作パネル43a, 43b、中央演算処理装置(略称CPU)によって実現される制御手段44a, 44b、メモリ45a, 45b、前記教示入力手段37a, 37b、教示入力手段用インターフェイス回路46a, 46b、パーソナルコンピュータ用インターフェイス回路(以下、PC用インターフェイス回路

50

と略記する) 47a, 47b、信号入出力回路48a, 48b、および通信制御手段49a, 49bを含む。前記遠隔制御装置用インターフェイス回路47a, 47bには、パーソナルコンピュータ(以下、PCと略記する場合がある)53a, 53bが接続される。

【0041】

前記パワーシーケンス回路42a, 42b、メモリ45a, 45b、教示入力手段用インターフェイス回路46a, 46b、PC用インターフェイス回路47a, 47b、信号入出力回路48a, 48b、および通信制御手段49a, 49bは、バスライン50a, 50bによって相互に接続される。各操作パネル43a, 43bには、各口ポートRa, Rbの動作を停止するための停止指令を入力するための停止スイッチSW1, SW2と、緊急停止スイッチSW5, SW6とが設けられる。また、信号入出力回路48a, 48bには、ハンド開閉検出スイッチSW3, SW4が接続される。

10

【0042】

前記通信接続手段21は、ハブ(HUB)51、各制御装置Ca, Cbに設けられる通信制御手段49a, 49b、および通信ケーブル52a, 52bを含む。各通信ケーブル52a, 52bは、各通信制御手段49a, 49bとハブ51とをそれぞれ接続し、通信ネットワークを構成する。

【0043】

図3は、各制御装置Ca, Cbのソフトウェア上の構成を示すブロック図である。各制御装置Ca, Cbは、各メモリ45a, 45bにそれぞれ格納されるプログラムを実行するために、プログラム格納部61a, 61b、プログラム実行解釈部62a, 62b、スレーブ指令値生成部63a, 63b、動作指令値生成部64a, 64b、指令値送信部65a, 65b、指令値遅延部66a, 66b、指令値受信部67a, 67b、割込み処理部68a, 68b、クロック発生部69a, 69b、および信号経路切換え部71a, 71bを含む。

20

【0044】

各制御装置Ca, Cbは、前記メモリ45a, 45bに格納されるプログラムによって、単独機能実行モード、マスタ機能実行モード、およびスレーブ機能実行モードのいずれかにそれぞれ設定され、各制御装置Ca, Cbのいずれか一方がマスタ機能実行モードに設定されると、各制御装置Ca, Cbのいずれか他方はスレーブ機能実行モードに設定され、各制御装置Ca, Cbによって制御される各口ポートRa, Rbを協調動作させることができるように構成される。

30

【0045】

図4は、各制御装置Ca, Cbの同期処理機能を説明するための図である。各制御装置Ca, Cbは、同様な同期処理機能を有し、便宜上、マスタ機能実行モードに設定された一方の制御装置Caを送信側とし、スレーブ機能実行モードに設定された他方の制御装置Cbを受信側として説明する。一方の制御装置Caから所定の制御周期Wで時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ...毎に送信された指令信号は、通信接続手段21を介して他方の制御装置Cbに前回のスレーブ口ポートRbへの制御時刻 t_{b0} , t_{b1} , t_{b2} , ...から所定時間 t_1 , t_2 , t_3 , ...経過後の各時刻 $(t_{b0} + t_1)$, $(t_{b1} + t_2)$, $(t_{b2} + t_3)$, ...において時系列的に受信される。

40

【0046】

このようなマスタ側制御装置Caからスレーブ側制御装置Cbへの動作指令の通信接続手段21を介する送信では、各制御装置Ca, Cbの制御手段44a, 44b(略称CPU)に内蔵される水晶発振器の個体差による発振周波数の微小な誤差に起因する受信時刻 $(t_{b0} + t_1)$, $(t_{b1} + t_2)$, $(t_{b2} + t_3)$, ...の送信時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ...に対する第1の通信遅れ時間、および前記通信接続手段21を介することによる通信遅れ時間とスレーブ側制御装置Cbがマスタ側制御装置Caからの動作指令1, 2, 3, ...を受信時刻 $(t_{b0} + t_1)$, $(t_{b1} + t_2)$, $(t_{b2} + t_3)$, ...で受信してからスレーブ口ポートRbの制御を開始する制御時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ...までのタイムラグによる第2の通信遅れ時間が存在するため、前記一方の制御装

50

置 C a によって制御されるマスタロボット R a の動作に対して、他方の制御装置 C b によって制御されるスレーブロボット R b の動作のずれが発生し、同一時刻における各ロボット R a , R b 間の相対位置のずれは、作業精度上、無視できなくなってしまう。

【 0 0 4 7 】

上記第 1 の通信遅れ時間は、図 4 において、マスタ側（送信側）制御装置 C a が送信時刻 t_{a1} で指令 1 を送信すると、送信された指令 1 はスレーブ側（受信側）制御装置 C b に受信時刻 $(t_{b0} + t_1)$ で受信される。この受信時刻 $(t_{b0} + t_1)$ は、スレーブ側制御装置 C b が自己が制御対象とするロボット R b に対する前回の制御時刻 t_{b0} から所定時間 t_1 が経過した時刻であり、スレーブ側制御装置 C b の最小割込み周期 $T_s(b)$ を 4 カウント目のタイミング信号の発振時刻で受信している。

10

【 0 0 4 8 】

次に、1 制御周期が経過した後の時刻 t_{a2} で、マスタ側制御装置 C a が指令 2 を送信し、この指令 2 はスレーブ側制御装置 C b によって、次の受信時刻 $(t_{b1} + t_2)$ で受信されるが、上記のようにスレーブ側制御装置 C b の制御手段 4 4 b に内臓される水晶発振器は、マスタ側制御装置 C a の制御手段 4 4 a に内臓される水晶発振器に対して、各 CPU 毎に水晶発振器の個体差による発振周波数の微小な誤差が存在するため、最小割込み周期 $T_s(b)$ の 1 カウント目と 2 カウント目との間に到達した指令 2 は、前回の制御時刻 t_{b1} からみて 2 カウント目の時刻 $(t_{b1} + t_2)$ で受信される。このように前回の制御時刻 t_{b1} からタイミング信号が 3 カウント未満で指令 2 を受信したときには、受信側の制御装置 C b は自己の最小割込み周期 $T_b(b)$ を短くし、受信時刻 $(t_{b1} + t_2)$ が 3 カウント目以上でかつ 5 カウント目以下になるように制御する。

20

【 0 0 4 9 】

また、マスタ側制御装置 C a が時刻 t_{a3} で送信した指令 3 は、スレーブ側制御装置 C b に前回の制御時刻 t_{b2} からみて 5 カウント目と 6 カウント目との間に到達しているため、6 カウント目で受信され、スレーブ側制御装置 C b はスレーブロボット R b に対して制御時刻 t_{b3} で制御する。したがってスレーブ側制御装置 C b は、自己の最小割込み周期 $T_s(b)$ を長くして、受信時刻 $(t_{b2} + t_3)$ が前回の制御時刻 t_{b2} から 3 カウント目以上でかつ 5 カウント目以下になるように制御する。

【 0 0 5 0 】

このようにしてスレーブ側制御装置 C b は、マスタ側制御装置 C a から各指令 1 , 2 , 3 , ... が送信される時刻 t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} , ... から、スレーブ側制御装置 C b によって受信されて、このスレーブ側制御装置 C b が自己のロボット R a の制御を開始する時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... までの時間 $(t_{b1} - t_{a0})$, $(t_{b2} - t_{a1})$, $(t_{b3} - t_{a2})$, ... が、スレーブ側制御装置 C b の制御周期 W を超えてしまうことが防がれる。これによってスレーブ側制御装置 C b は、スレーブ側制御装置 C b の 1 制御周期 W 内に、マスタ側制御装置 C a から複数の動作指令を受信してしまい、あるいは 1 制御周期 W 内に動作指令が受信されないという不具合が発生を確実に防止し、マスタロボットとスレーブロボットと高精度で協調動作させることができる。

30

【 0 0 5 1 】

さらに、マスタ側制御装置 C a とスレーブ側制御装置 C b とを完全に同期させるためには、上記通信接続手段 2 1 を介することによる通信遅れ時間とスレーブ側制御装置 C b がマスタ側制御装置 C a からの動作指令 1 , 2 , 3 , ... を受信時刻 $(t_{b0} + t_1)$, $(t_{b1} + t_2)$, $(t_{b2} + t_3)$, ... で受信してからスレーブロボット R b の制御を開始する制御時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... までのタイムラグによる第 2 の通信遅れを解消する必要がある。そこで、第 1 の通信遅れを解消するために、上記のように制御されるスレーブ側（または受信側）制御装置 C b の最小割込み周期 $T_s(b)$ の n 倍（たとえば $n = 8$ ）が前記制御周期 W に相当するとしたとき、マスタ側の制御時刻 t_{a11} , t_{a12} , t_{a13} , ... をスレーブ側の制御時刻 t_{b1} , t_{b2} , t_{b3} , ... に一致させる必要がある。そのため、マスタ側制御装置 C a は、指令値遅延部 6 6 a によって、動作指令値生成部 6 4 a において生成された自己のロボット R a への制御時刻 t_{a11} , t_{a12}

40

50

, t a 1 3 , ... を、各送信時刻 t a 1 , t a 2 , t a 3 , ... から予め定める時間 T だけ遅延させる。

【 0 0 5 2 】

図 5 は、各ロボット R a , R b 間の相対位置の計測および設定の手順を説明するための図であり、図 6 は各ロボット R a , R b 間の相対位置の計測および設定を行う際に用いられる突合せ用ツール 9 0 を示す側面図である。各ロボット R a , R b の相対位置関係を維持しながら各ロボット R a , R b を協調動作させるために、各ロボット R a , R b 間の相対位置関係を計測し、そのデータを双方の制御装置 C a , C b に登録しておく必要があり、その手順について説明する。

【 0 0 5 3 】

各ロボット R a , R b 間の相対位置を計測し、設定するにあたって、各ロボット R a , R b の手首 2 8 には、図 6 に示される突合せ用ツール 9 0 がそれぞれ設けられる。この突合せ用ツール 9 0 は、前記手首 2 8 にボルトなどのねじ部材によって着脱可能に取り付けられる円板状のフランジ部 9 1 と、フランジ部 9 1 の中心軸線上に垂直に固定される円形断面を成す棒状部 9 2 とを有する。前記棒状部 9 2 の先端部分は先細状に形成され、さらに具体的には、円錐台状に形成される。

【 0 0 5 4 】

この突合せツール 9 0 は、フランジ部 9 1 の手首 2 8 に接触する表面 9 3 から棒状部 9 2 の先端部分 9 4 までの前記中心軸線方向の長さ L が正確にわかっている必要がある。この長さ L は、各ロボット R a , R b 間で突き合わせることができる長さ選ばれている。また前記突合せツール 9 0 は、円板状のフランジ部 9 1 に中心軸線上に棒状部 9 2 を垂直に固定した構成であるので、各先端部分 9 4 を突合せたときにその他の部位が相互に干渉せず、また周囲に対しても干渉することが防がれる。さらに前記棒状部 9 2 の先端部分 9 4 は、先細状とされるので、突合せが容易であり、しかも相互に突合せて接触させた状態ですれにくく、またずれた状態では被接触状態となって明確に認識されるため、正確に突合せすることができる。

【 0 0 5 5 】

図 1 7 は、3 点突合せによる各ロボット R a , R b 間座標系の校正手順を説明するための図である。3 点突合せによる各ロボット R a , R b の相対位置の算出方法について説明する。他方のロボット R b の原点 O b に関するベース座標系 B a s e B を、一方のロボット R a のベース座標系 B a s e A に変換するための変換行列 T A B と定義する。ここで、変換行列 T A B は次のような同時変換行列とする。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 】

$$T_{AB} = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 & o_1 & a_1 & p_1 \\ n_2 & o_2 & a_2 & p_2 \\ n_3 & o_3 & a_3 & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (1)$$

【 0 0 5 7 】

一直線上には、任意の 3 点について突合せを行い、これによって得られるロボット R a ベース座標系 B a s e A におけるロボット R a のツール先端点の位置と、ロボット R b のベース座標系 B a s e B におけるロボット R b のツール先端点の位置とをそれぞれ、点 (P A , P B)、点 (Q A , Q B)、点 (R A , R B) とする。

【 0 0 5 8 】

次に、点 P A を原点とし、この点 P A から点 Q A に向かう線分を X 軸正方向として、点 R A を X Y 平面 (ただし、 Y > 0) に含むようなロボット R a のベース座標系 B a s e A

10

20

30

40

50

におけるフレームを F_A とする。

【0059】

【数2】

$$F_A = \begin{bmatrix} n_A & o_A & a_A & p_A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

ここで、

$$n_A = \frac{\overrightarrow{Q_A O_A} - \overrightarrow{P_A Q_A}}{|\overrightarrow{Q_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A}|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (3) \quad 10$$

$$a_A = \frac{n_A \times (\overrightarrow{R_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A})}{|n_A \times (\overrightarrow{R_A O_A} - \overrightarrow{P_A O_A})|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (4)$$

$$o_A = a_A \times n_A \quad \dots (5)$$

$$p_A = \overrightarrow{P_A O_A} \quad \dots (6)$$

【0060】

20

同様に、点 P_B を原点とし、この点 P_B が点 Q_B に向かう線分を X 軸正方向として、点 R_B を XY 平面（ただし、 $Y > 0$ ）に含むようなロボット R_B のベース座標系 $Base B$ におけるフレームを F_B とする。

【0061】

【数3】

$$F_B = \begin{bmatrix} n_B & o_B & a_B & p_B \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

ここで、

$$n_B = \frac{\overrightarrow{Q_B O_B} - \overrightarrow{P_B Q_B}}{|\overrightarrow{Q_B O_B} - \overrightarrow{P_B O_B}|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (8)$$

$$a_B = \frac{n_B \times (\overrightarrow{R_B O_B} - \overrightarrow{P_B O_B})}{|n_B \times (\overrightarrow{R_B O_B} - \overrightarrow{P_B O_B})|} \quad (\text{単位ベクトル}) \quad \dots (9)$$

$$o_B = a_B \times n_B \quad \dots (10)$$

$$p_B = \overrightarrow{P_B O_B} \quad \dots (11) \quad 40$$

【0062】

このとき、フレーム F_A 、 F_B と変換行列 T_{AB} との間には、次式が成り立つ。

$$F_A = T_{AB} F_B \quad \dots (12)$$

したがって、変換行列 T_{AB} は次式によって求められる。

$$T_{AB} = F_A \cdot F_B^{-1} \quad \dots (13)$$

【0063】

このような変換行列 T_{AB} は、自己（添え字 A 側）から相手（添え字 B 側）への座標変換を行なう関数などとして、各制御装置 C_a 、 C_b のメモリ $45a$ 、 $45b$ に格納される前

50

記プログラムに記載されている。

【 0 0 6 4 】

図 8 は、マスタロボットの動作途中点 M_i に対応するスレーブロボットの動作途中点 S_i の算出方法を説明するための図である。まず、一方のロボット R_a をマスタロボットとし、他方のロボット R_b をスレーブロボットとしたとき、マスタロボットおよびスレーブロボットの共通座標系 0 において、マスタロボット R_a の動作開始点が M_s 、動作終了点が M_e で教示され、また前記共通座標系 0 においてスレーブロボット R_b の動作開始点が S_s 、動作終了点が S_e で教示されたとする。マスタロボット R_a の教示点 M_s から M_e への移動するとき、マスタロボット R_a の動作中間点 M_i に対応するスレーブロボット R_b の動作中間点 S_i を求める。

10

【 0 0 6 5 】

マスタロボット R_a の動作途中点 M_i は、パラメータ s を用いて求められる。このパラメータ s の値は、 $s = 1$ のとき、マスタロボット R_a が動作開始点 M_s 到達し、 $s = 0.0$ のとき動作終了点 M_e に到達するものとする。また、マスタロボット R_a が動作途中点 M_i にあるときのパラメータ s は s_i で表し、このときのスレーブロボット R_b の動作途中点を S_i とする。マスタロボット R_a の動作開始点 M_s からスレーブロボット R_b の動作開始点 S_s への変換行列を $T_{A B}(s)$ とし、マスタロボット R_a の動作終了点 M_e からスレーブロボット R_b の動作終了点への変換行列を $T_{A B}(e)$ とし、次式で表すものとする。

$$T_{A B}(s) = S_s \cdot M_s^{-1} \quad \dots (14)$$

$$T_{A B}(e) = S_e \cdot M_e^{-1} \quad \dots (15)$$

20

【 0 0 6 6 】

また上記の各変換行列 $T_{A B}(s)$ 、 $T_{A B}(e)$ を XYZ オイラー角で表記するとき、 $T_{A B}(s)$ は $(X_s, Y_s, Z_s, O_s, A_s, T_s)$ とし、 $T_{A B}(e)$ は $(X_e, Y_e, Z_e, O_e, A_e, T_e)$ として、マスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対する変換行列 T_i のオイラー角表記を、次式によって求める。

$$X_i = X_e - (X_e - X_s) \cdot s \quad \dots (16)$$

$$Y_i = Y_e - (Y_e - Y_s) \cdot s \quad \dots (17)$$

$$Z_i = Z_e - (Z_e - Z_s) \cdot s \quad \dots (18)$$

$$O_i = O_e - (O_e - O_s) \cdot s \quad \dots (19)$$

$$A_i = A_e - (A_e - A_s) \cdot s \quad \dots (20)$$

$$T_i = T_e - (T_e - T_s) \cdot s \quad \dots (21)$$

30

【 0 0 6 7 】

これらの式 14 ~ 19 を変換行列 T_i と表記し、マスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対するスレーブロボット R_b の動作途中点 S_i は、

$$S_i = T_i \cdot M_i \quad \dots (22)$$

によって求められる。

【 0 0 6 8 】

このようなマスタロボット R_a の動作途中点 M_i に対するスレーブロボット R_b の動作途中点 S_i の関係式は、各制御装置 C_a 、 C_b のメモリ 45a、45b にプログラムとして格納されており、後述するように、各ロボット R_a 、 R_b のうちで任意にマスタロボットおよびスレーブロボットを設定して、協調動作させることができるように構成されている。

40

【 0 0 6 9 】

図 9 は、協調動作部位を教示する手順を説明するための各ロボット R_a 、 R_b のアーム先端部分 94a、94b の移動経路を示す斜視図である。同図において実線はマスタロボットのアーム先端部分 94a の移動経路を示し、破線はスレーブロボットのアーム先端部分 94b の移動経路を示す。図 10 は、図 9 に示される各教示点に対応してマスタロボットおよびスレーブロボットを協調動作させるための協調動作プログラムの一例を示す図である。

50

【0070】

次に、各協調動作のためのプログラムの作成および位置の教示を行う。このプログラムは、一方のロボットR aによって実行されるプログラム「. PROGRAM master ()」と、他方のロボットR bによって実行されるプログラム「. PROGRAM slave ()」とが作成される。

【0071】

一方のロボットR a側に設定されるプログラム「. PROGRAM master ()」は、1～20のステップを有し、図9の実線で示される動作目標位置P m 0から各目標位置P m 1～P m 9を経て動作終了位置P a 10に至る動作を、一方のロボットR aに実行させるために、次のように構成される。

10

【0072】

まず、ステップ1は、一方のロボットR aの各軸を動作開始位置P m 0へ移動させるための動作命令であり、「J MOVE # 1 c 1 # 0」と入力される。「J MOVE」はロボットを指定した目標位置への各軸の補間動作における移動させるための命令である。「# 1 c 1 # 0」は動作目標位置P m 0を指示する変数名である。

【0073】

ステップ2は、動作開始位置P m 0から次の目標位置P m 1へ一方のロボットR aを移動させるための命令であり、「L MOVE # 1 c 1 # 1」と入力される。「L MOVE」は直線動作を指示する予約語であり、「# 1 c 1 # 1」は目標位置P m 1を指示する変数名である。

20

【0074】

ステップ3は、前記ステップ2で指定した位置P m 1でハンド30を閉じさせるための命令であり、「CLOSE」と記載される。以上がマスタロボットR aの単独動作のプログラムである。

【0075】

次に、ステップ4は、協調動作を宣言する命令であり、「MASTER」と記載される。この命令によって、一方のロボットR aがマスタロボットに設定され、他方のロボットR b側でのスレーブ宣言されて、協調動作が開始する。マスタ機能実行モードの制御装置C aが指令を送信して、これをスレーブ機能実行モードの制御装置C bが受信するまでには、通信による遅れが発生するが、スレーブ機能実行モードの制御装置C bの最小割込み周期T s (b)を、マスタ機能実行モードの制御装置C aからの指令がスレーブ機能実行モードの制御装置C bに、たとえば上記のように3カウント未満で入力されたときには、最小割込み周期T s (b)を短くし、5カウントを超えて入力されたときには、最小割込み周期T s (b)を長くするとともに、マスタ機能実行モードの制御装置C aの自己のマスタロボットR aへの制御時刻t a 1 1 , t a 1 2 , t a 1 3 , ...を、予め定める時間Tだけ遅延させて送信することによって、マスタロボットR aに対するスレーブロボットR bの動作の遅れを防止し、各ロボットを高精度で同期させて、協調動作させることができる。

30

【0076】

ステップ5は、マスタロボットR aに対してハンド30を閉じるための命令であり、「SIGNAL 2」と記載される。

40

【0077】

ステップ6は、スレーブロボットR bのハンド30を閉じるための命令であり、「SIGNAL 2 : 2」と記載される。

【0078】

ステップ7は、各ロボットR a , R bを協調動作させながら次の目標位置P m 2 , P s 2へ移動させるための命令であり、「MLL MOVE # 1 c 2 # 2 , # 1 c 2 # 2」と記載される。

【0079】

ステップ8は、各ロボットR a , R bを次の目標位置P m 3 , P s 3へ移動させるための

50

命令であり、「MLLMOVE #1c1#3, #1c2#3」と記載される。

【0080】

ステップ9は、マスタロボットRaを次の指令を満足するまで待機させるための命令であり、「SWAIT 1001」と記載される。

【0081】

ステップ10は、スレーブロボットRbを入出力回路48bに次の指令を入力するまで待機させるための命令であり、「SWAI 2:1001」と記載される。

【0082】

ステップ11は、各口ロボットRa, Rbを次の目標位置Pm4, Ps4へ移動させるための命令であり、「MLC1MOVE #1c1#4, #1c2#4」と記載される。 10

【0083】

ステップ12は、各口ロボットRa, Rbを次の目標位置Pm5, Ps5へ移動させるための命令であり、「MLC1MOVE #1c1#5, #1c2#5」と記載される。

【0084】

ステップ13は、各口ロボットRa, Rbを次の目標位置Pm6, Ps6へ移動させるための命令であり、「MLC2MOVE #1c1#6, #1c2#6」と記載される。

【0085】

ステップ14は、各口ロボットRa, Rbを次の目標位置Pm7, Ps7へ移動させるための命令であり、「MLLMOVE #1c1#7, #1c2#7」と記載される。

【0086】 20

ステップ15は、各口ロボットRa, Rbを次の目標位置Pm8, Ps8へ移動させるための命令であり、「MLLMOVE #1c1#8, #1c2#8」と記載される。

【0087】

ステップ16は、マスタロボットRaの協調動作を解除するための命令であり、「ALONE」と記載される。

【0088】

ステップ17は、一方のロボットRaのハンド30を開くための命令であり、「OPEN」と記載される。

【0089】

ステップ18は、一方のロボットRaに対して、タイマが変数名「1002」で指示された状態を満足するまで待機させるための命令であり、「SWAIT 1002」と記載される。 30

【0090】

ステップ19は、一方のロボットRaを変数名「#1c1#9」で指示させるも目標位置Pm9へ直線移動させるための命令であり、「LMOVE #1c1#9」と記載される。

【0091】

ステップ20は、一方のロボットRaを動作終了位置Pm10へ移動させるための命令であり、「HOME」と記載される。

【0092】 40

次に、他方のロボットRbに対して設定されるプログラムについて説明する。この他方のロボットRb用プログラム「.PRORAM slave()」は、1~10のステップを有し、図9の破線で示される動作目標位置Ps0から各位置Ps1~Ps9を経て動作終了位置Ps10に至る動作を、スレーブロボットRbに実行させるために、次のように構成される。

【0093】

まず、ステップ1は、他方のロボットRaの各軸を動作目標位置Ps0へ移動させるための動作命令であり、「JMOVE #1c1#0」と入力される。「JMOVE」はロボットを指定した位置への補間動作における移動させるための命令である。「#1c1#0」は動作目標位置Ps0の座標である。 50

【 0 0 9 4 】

ステップ2は、動作開始位置 P s 0 から次の位置 P s 1 へ他方のロボット R b を移動させるための命令であり、「 L M O V E # 1 c 1 # 1 」と記載される。「 L M O V E 」は直線動作命令であり、「 # 1 c 1 # 1 」は次の位置 P s 1 の座標である。

【 0 0 9 5 】

ステップ3は、前記ステップ2で指定した位置 P s 1 でハンド30を閉じさせるための命令であり、「 C L O S E 」と記載される。以上がスレーブロボットの単独動作のプログラムである。

【 0 0 9 6 】

次に、ステップ4は、他方のロボット R b を変数名「 1 0 0 2 」で指示される条件を満足するまで待機させるための命令であり、「 S W A I T 1 0 0 2 」と記載される。 10

【 0 0 9 7 】

ステップ5は、自己がスレーブロボットとして動作することを宣言するための命令であり、「 S L A V E 」と記載される。このプログラムの実行時においては、スレーブロボット R b は、マスタロボット R a 側からの各ステップ5～15の命令にตอบสนองして協調動作を行う。この協調動作時は、前述したように、他方のロボット R b はネットワーク通信接続手段21によって一方のロボット R a に接続されるので、制御周期のずれを修正しながら相互に正確に同期して協調動作させることができる。

【 0 0 9 8 】

ステップ6は、協調動作を解除し、単独動作に戻ったことを宣言するための命令であり、「 A L O N E 」と記載される。 20

【 0 0 9 9 】

ステップ7は、他方のロボット R b のハンド30を開くための命令であり、「 O P E N 」と記載される。

【 0 1 0 0 】

ステップ8は、マスタロボット R a およびスレーブロボット R b の双方に対して指令を個別に設定するための命令であり、「 S I G N A L 2 」と記載される。

【 0 1 0 1 】

ステップ9は、他方のロボット R b を変数名「 # 1 c 2 # 9 」で指示される目標位置 P s 9 へ移動させるための命令であり、「 L M O V E # 1 c 2 # 9 」と記載される。 30

【 0 1 0 2 】

ステップ10は、他方のロボット R b を動作終了位置 P s 1 0 へ移動させるための命令であり、「 H O M E 」と記載される。

【 0 1 0 3 】

このようにして各ロボットが実行する一連の作業のうちで、協調動作する行程については、各ロボットをマスタロボットとスレーブロボットとに設定して、前記通信接続手段を介して相互に通信し、高精度で同期させて協調動作させることができる。

【 0 1 0 4 】

またスレーブ機能実行モードの制御装置 C b は、入力手段から動作指令を入力すると、この動作指令は、通信接続手段を介してマスタ機能実行モードの制御装置 C a に入力される。このマスタ機能実行モードの制御装置 C a は、入力した動作指令にตอบสนองして制御動作を実行し、こうしてスレーブ側制御装置 C b からの動作指令の入力によって、マスタロボット R a を制御することができる。したがってオペレータは、マスタ側制御装置 C a からだけではなく、スレーブ側制御装置 C b 側からも動作指令を入力して、場所的にスレーブロボット R b から離れた位置に設置されているマスタロボット R a の動作を設定することができ、したがって協調制御システム全体を操作者の希望する場所から操作することが可能となり、操作上の利便性が向上される。 40

【 0 1 0 5 】

さらにスレーブ機能実行モードの制御装置 C b によって制御されるロボット R a に接続されたエンドエフェクタなどの外部機器は、スレーブ機能実行モードに設定された制御装置 50

C bの入出力回路(略称I O) 4 8 bを用いて行なわれる。協調動作においては、マスタロボット側のメモリ4 5 aに記憶されたプログラムの動作命令にしたがって動作するため、スレーブロボットR bに接続された外部機器の制御は、マスタロボットR aの制御装置C aに設けられる入出力回路4 8 aを用いて行なわれ、そのために信号の配線が煩雑になり、スレーブロボットR bを単独で使用しようとした場合に、マスタロボットR aの信号の影響を受けてしまう。このような不具合は、上記のようにマスタロボットR aがスレーブ側制御装置C bの入出力回路4 8 aを用いることによって、回避することができる。

【0106】

上述の実施の形態では、2台のロボットR a, R bに個別に設けられる2台の制御装置C a, C bを通信接続手段2 1によって接続した構成について述べたが、本発明の実施の他の形態では、3台以上のロボットに個別に設けられる制御装置を通信接続手段によって接続して協調制御する構成に対しても、本発明を好適に実施することができ、高精度で各制御装置を同期させて、協調動作させることができる。

10

【0107】**【発明の効果】**

請求項1記載の本発明によれば、単独機能実行モード、マスタ機能実行モードおよびスレーブ機能実行モードのいずれか1つをプログラム上の命令として設定しておくことによって、各ロボットをマスタロボットとスレーブロボットとに設定して、高精度で同期させて協調動作させることができる。

【0108】

また、マスタ側制御装置が動作指令を送信した時刻 t_a から、スレーブ側制御装置が前記動作指令を受信して自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの通信遅れ時間($t_b - t_a$)が予め定める時間 T となるように、最小割込み周期を変化させるので、スレーブ側制御装置が自己のロボットに対する制御を開始する時刻 t_b が、前記マスタ側制御装置がマスタ側制御装置に対して動作指令を送信した時刻 t_a に対して、前記予め定める時間 T よりも長くなる方向および予め定める時間 T よりも短くなる方向に大きくずれることが防がれる。

20

【0109】

請求項2記載の本発明によれば、前記予め定める時間間隔 T が各制御装置の制御周期 W 以下に選ばれるので、マスタ側制御装置から動作指令が送信される時刻 t_a から、スレーブ側制御装置によって受信されて、このスレーブ側制御装置が自己のロボットの制御を開始する時刻 t_b までの時間($t_b - t_a$)が、制御周期 W を超えてしまうことが防がれる。これによってスレーブ側制御装置は、スレーブ側制御装置の1制御周期 W の時間内に、マスタ側制御装置から複数の動作指令を受信してしまうという不具合が発生を確実に防止し、マスタロボットとスレーブロボットとを高精度で協調動作させることが可能となる。

30

【0110】

請求項3記載の本発明によれば、マスタ機能実行モードの制御装置の指令値をスレーブ機能実行モードの制御装置の通信遅れ時間だけ遅延することによって、マスタロボットに対するスレーブロボットの動作の遅れを防止し、各ロボットを高精度で同期させて、協調動作させることができる。

40

【0111】

請求項4記載の本発明によれば、スレーブ機能実行モードの制御装置は、入力手段から動作指令を入力すると、この動作指令は、通信接続手段を介してマスタ機能実行モードの制御装置に入力される。このマスタ機能実行モードの制御装置は、入力した動作指令にตอบสนองして制御動作を実行し、こうしてスレーブ側制御装置からの動作指令の入力によって、マスタロボットを制御することができる。したがってオペレータは、マスタ側制御装置からだけではなく、スレーブ側制御装置側からも動作指令を入力して、場所的にマスタロボットから離れた位置に設置されているマスタロボットの動作を設定することができ、操作上の利便性が向上される。

【0112】

50

請求項5記載の本発明によれば、協調動作においては、マスタロボットのプログラムの動作命令にしたがって動作するため、スレーブロボットの信号の入出力は、マスタロボットの制御装置に設けられる入出力装置を用いて行なわれ、そのために信号の配線が煩雑になり、スレーブロボットを単独で使用しようとした場合に、マスタロボットの信号の影響を受けてしまうという不具合を、マスタロボットがスレーブ側制御装置の入出力装置を用いることによって、回避することができる。

【0113】

請求項6記載の本発明によれば、各制御装置には緊急停止手段が備えられるので、どの位置のロボットからでも、異常が発生したときに、前記緊急停止手段を用いて各ロボットの全部または全体を緊急停止させることができ、これによって安全性が向上される。

10

【0114】

請求項7記載の本発明によれば、マスタ座標系に設定された共通な3点を結ぶ仮想フレームを基準にして協調動作するので、各制御装置は、各ロボットの位置および姿勢、さらには位置および姿勢のずれを、常に共通な座標系上で各ロボットが相対的位置を正確に認識可能とし、各ロボットのいずれのロボットをマスタとして設定しかつスレーブとして設定しても、1つの座標系内で協調動作を高精度で制御することができる。

【0115】

請求項8記載の本発明によれば、マスタロボットとスレーブロボットとが実際の相対位置関係と設定された相対位置変換行列との間にずれがある場合、ツールの寸法に誤差がある場合、ロボットリンク長のばらつきがある場合、ゼロイング精度とも呼ばれるロボットの基準位置への設置精度自体にばらつきがある場合、ならびに負荷によるロボットアームのたわみの影響によって、相対的な位置および姿勢関係を一定に保つように制御しても、実際の位置および姿勢関係が一定に保たれない場合などの相対位置がずれる原因が存在しても、上記のようにマスタ機能実行モードに設定されたロボットの教示位置の他に、スレーブ機能実行モードに設定されるロボットの位置をも教示することによって、相対位置および姿勢を変更しながらスレーブロボットをマスタロボットに追従させて協調動作させることが可能となる。これによってマスタおよびスレーブの各ロボットの相対位置および姿勢のずれが時間経過とともに拡大することが防がれ、相対位置および姿勢関係を高精度に維持しながら、所定の動作を継続的に実行することができる。

20

【図面の簡単な説明】

30

【図1】本発明の実施の一形態のロボットの協調制御システム20の全体の構成を示す系統図である。

【図2】各制御装置Ca, Cbの構成を示すブロック図である。

【図3】各制御装置Ca, Cbのソフトウェア上の構成を示すブロック図である。

【図4】各制御装置Ca, Cbを同期させるためのソフトウェアプログラムの構成を示す簡略化したブロック図である。

【図5】各ロボットRa, Rb間の相対位置の計測および設定の手順を説明するための図である。

【図6】各ロボットRa, Rb間の相対位置の計測および設定を行う際に用いられる突合せ用ツール90を示す側面図である。

40

【図7】3点突合せによる各ロボットRa, Rb間座標系の校正手順を説明するための図である。

【図8】マスタロボットの動作途中点Miに対応するスレーブロボットの動作途中点Siの算出方法を説明するための図である。

【図9】協調動作部位を教示する手順を説明するための各ロボットRa, Rbのアーム先端部分94a, 94bの移動経路を示す斜視図である。

【図10】図9に示される各教示点に対応してマスタロボットおよびスレーブロボットを協調動作させるための協調動作プログラムの一例を示す図である。

【図11】従来の技術のロボットの協調制御システムのマスタロボットおよびスレーブロボットの各制御装置を同期させるためのソフトウェアプログラム上の構成の一部を示すブ

50

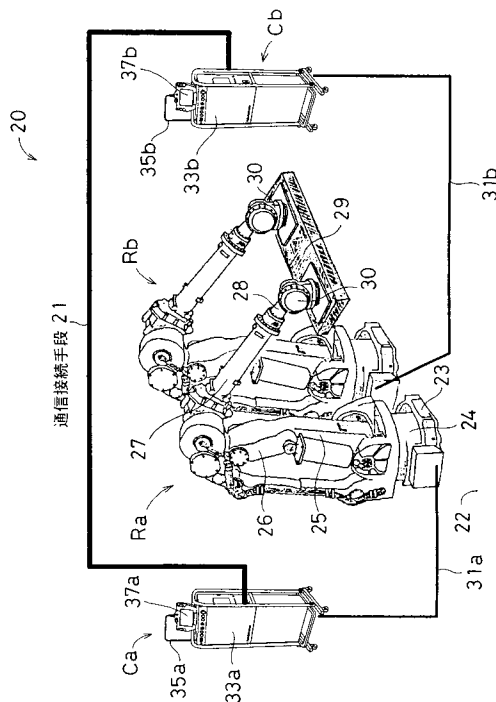
ロック図である。

【図12】他の従来の技術の協調制御システムに用いられる割込み方式によって各制御装置を同期させるソフトウェアプログラム上の手法を説明するためのブロック図である。

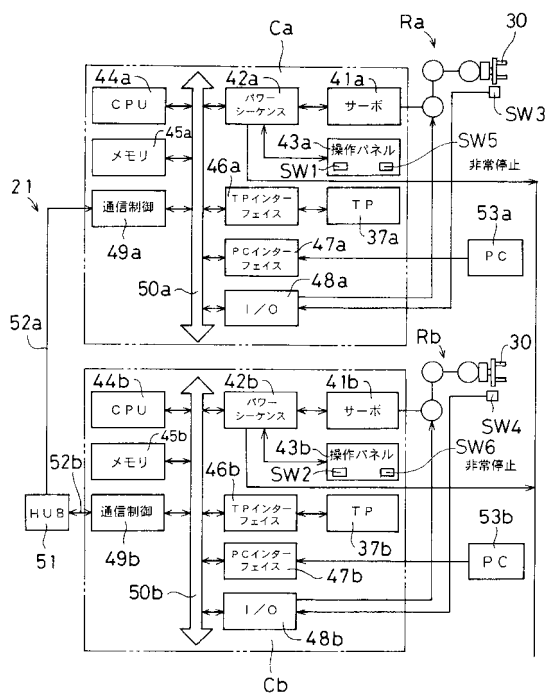
【符号の説明】

20	ロボットの協調制御システム	
21	通信接続手段	
22	床	
23	基台	
24	旋回体	
25, 26, 27	アーム	10
28	手首	
29	ワーク	
30	ハンド	
31a, 31b; 35a, 35b	ライン	
33a, 33b	制御装置本体	
37a, 37b	教示入力手段	
41a, 41b	サーボ駆動手段	
42a, 42b	パワーシーケンス回路	
43a, 43b	操作パネル	
44a, 44b	制御手段	20
45a, 45b	メモリ	
46a, 46b	教示入力手段用インターフェイス回路	
47a, 47b	パーソナルコンピュータ用インターフェイス回路	
48a, 48b	入出力回路	
49a, 49b	通信制御手段	
50a, 50b	バスライン	
51	ハブ	
52a, 52b	通信ケーブル	
53a, 53b		
61a, 61b	プログラム格納部	30
62a, 62b	プログラム解釈実行部	
63a, 63b	スレーブ指令値生成部	
64a, 64b	動作指令値生成部	
65a, 65b	指令値送信部	
67a, 67b	指令値受信部	
68a, 68b	割込み処理部	
69a, 69b	クロック発生部	
Ca, Cb	制御装置	
Ra, Rb	ロボット	
SW1, SW2	停止スイッチ	40
SW3, SW4	ハンド開閉検出スイッチ	
SW5, SW6	緊急停止スイッチ	

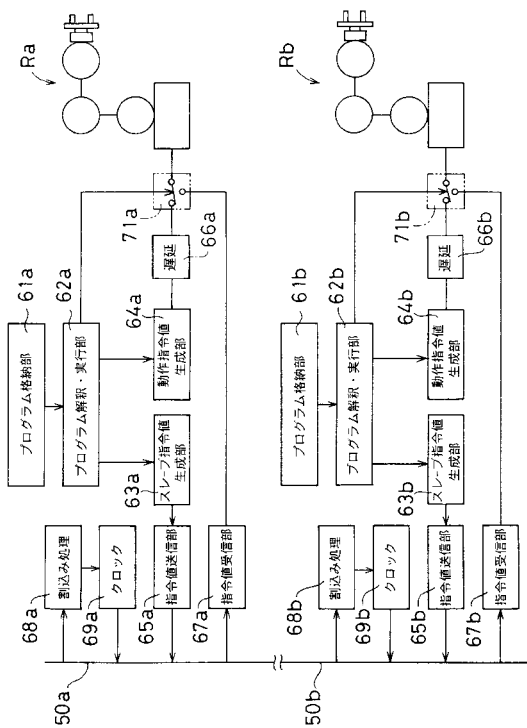
【 図 1 】



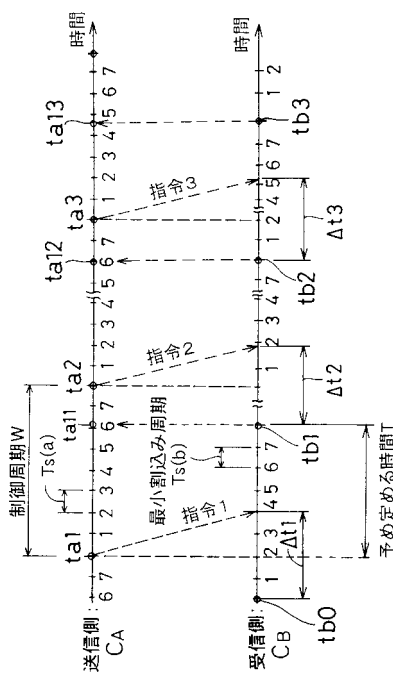
【 図 2 】



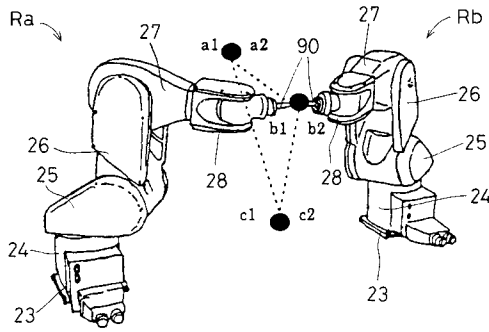
【 図 3 】



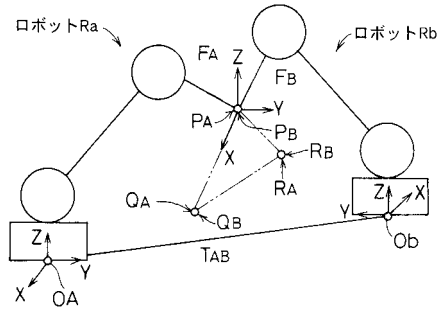
【 図 4 】



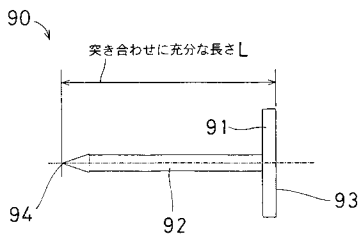
【 図 5 】



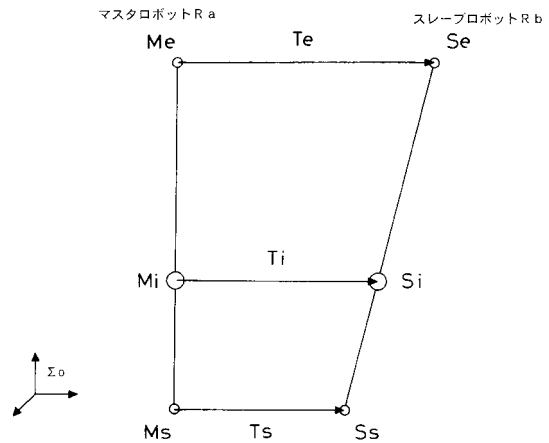
【 図 7 】



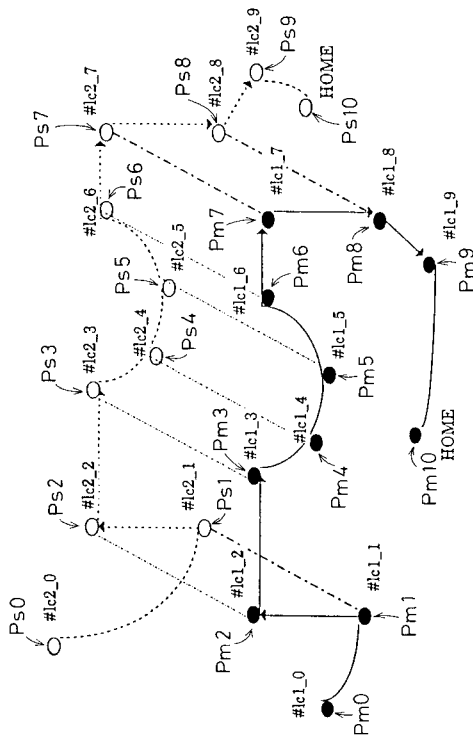
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

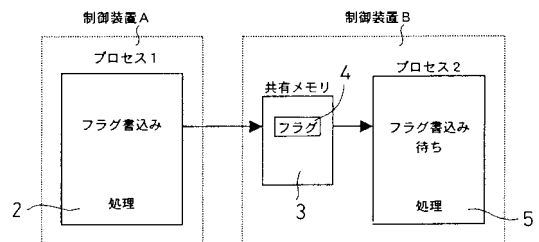
```

.PROGRAM master()
1 JMOVE #lc1_0
2 LMOVE #lc1_1
3 CLOSE
4 MASTER
5 SIGNAL 2
6 SIGNAL 2:2
7 MLLMOVE #lc1_2, #lc2_2
8 MLLMOVE #lc1_3, #lc2_3
9 SWAIT 1001
10 SWAIT 2:1001
11 MLC1MOVE #lc1_4, #lc2_4
12 MLC1MOVE #lc1_5, #lc2_5
13 MLC2MOVE #lc1_6, #lc2_6
14 MLLMOVE #lc1_7, #lc2_7
15 MLLMOVE #lc1_8, #lc2_8
16 ALONE
17 OPEN
18 SWAIT 1002
19 LMOVE #lc1_9
20 HOME
END

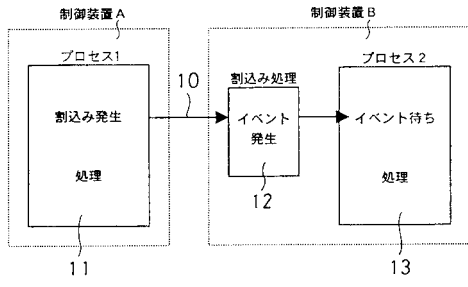
.PROGRAM slave()
1 JMOVE #lc2_0
2 LMOVE #lc2_1
3 CLOSE
4 SWAIT 1002
5 SLAVE
6 ALONE
7 OPEN
8 SIGNAL 2
9 LMOVE #lc2_9
10 HOME
END

```

【 図 11 】



【図12】



フロントページの続き

- (72)発明者 佐野 正俊
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 前原 毅
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 下村 信恭
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 上野 高 廣
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

審査官 八木 誠

- (56)参考文献 特開平09-207088(JP,A)
特開平05-111897(JP,A)
特開2001-150372(JP,A)
特公平08-000381(JP,B2)
特許第2880590(JP,B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
B25J1/00-21/02
G05B19/18