

(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2016-193473

(P2016-193473A)

(43) 公開日 平成28年11月17日(2016.11.17)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)	
B 2 5 J	19/06	(2006.01)	B 2 5 J	19/06	3 C 7 0 7
G 0 8 B	21/02	(2006.01)	G 0 8 B	21/02	3 F 2 0 4
B 6 6 C	15/00	(2006.01)	B 6 6 C	15/00	E 5 C 0 8 6

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2015-74970 (P2015-74970)	(71) 出願人	000005234
(22) 出願日	平成27年4月1日 (2015.4.1)		富士電機株式会社
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
		(74) 代理人	100111763
			弁理士 松本 隆
		(74) 代理人	100163832
			弁理士 後藤 直哉
		(72) 発明者	國分 博之
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		Fターム(参考)	3C707 AS06 BS09 KS36 KT03 KT04
			MS06 MS14 MS27 NS02
			3F204 AA01 BA02 DB03 DC08
			5C086 AA53 BA17 BA20 CA28

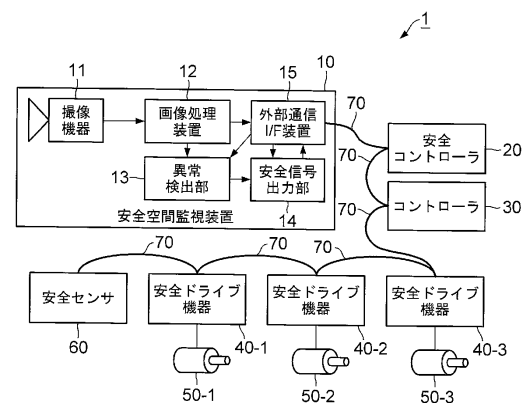
(54) 【発明の名称】 駆動制御装置および安全制御システム

(57) 【要約】

【課題】 工場や港湾等において、産業用機械の処理能力の低下を抑えつつ、産業用機械に起因する危険の発生を未然に回避し、安全を維持するための技術的手段を提供する。

【解決手段】 アクチュエータ50-kは、危険源である産業用機械を動作させる装置である。危険源と保護対象である人体との距離が閾値以内になったことを安全センサ60が検出すると、安全コントローラ20は、危険源に危険回避のための安全動作を行わせる。安全空間監視装置10は、監視対象エリア内を監視し、危険源および人体の所在を示す空間情報を生成してコントローラ30へ送信する。コントローラ30は、空間情報に基づいて危険源と人体との距離を監視し、危険源と人体との距離の閾値への接近に応じて、危険源に危険回避動作を行わせる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

危険源と保護対象との距離が閾値以下になった場合に前記危険源に危険回避のための安全動作を行わせる安全動作制御手段と、

前記危険源および前記保護対象の所在を示す空間情報を生成する空間情報出力手段と、

前記空間情報に基づいて前記危険源と前記保護対象との距離を監視し、前記危険源と前記保護対象との距離の前記閾値への接近に応じて、前記危険源に危険回避動作を行わせる駆動制御装置と

を具備することを特徴とする安全制御システム。

【請求項 2】

前記駆動制御装置は、前記危険源と前記保護対象との距離が短くなるに従って前記危険源の動作速度を低下させる危険回避動作を前記危険源に行わせることを特徴とする請求項 1 に記載の安全制御システム。

【請求項 3】

前記駆動制御装置は、前記危険源と前記保護対象との距離を維持しつつ前記危険源の動作を継続させる危険回避動作を前記危険源に行わせることを特徴とする請求項 1 に記載の安全制御システム。

【請求項 4】

前記駆動制御装置は、前記危険回避動作において、前記危険源と前記保護対象との距離を維持しつつ前記危険源の移動経路を変更させることを特徴とする請求項 3 に記載の安全制御システム。

【請求項 5】

前記駆動制御装置は、前記空間情報に応じて複数種の危険回避動作の中から 1 の種類の危険回避動作を決定することを特徴とする請求項 1 に記載の安全制御システム。

【請求項 6】

危険源の駆動制御を行う駆動制御装置であって、

前記危険源および保護対象の所在を示す空間情報に基づいて前記危険源と前記保護対象との距離を監視し、

前記危険源に安全動作を行わせる前記危険源と前記保護対象との距離の上限値を閾値とし、前記危険源と前記保護対象との距離の前記閾値への接近に応じて、前記危険源に危険回避動作を行わせる

ことを特徴とする駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、産業用機械等を駆動制御する駆動制御装置およびその駆動制御装置を含む安全制御システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

工場の機械室や港湾等では、巻き取り機、クレーン、多関節ロボットなどの産業用機械と、作業員などの人体とが接触して事故が発生する虞がある。従って、産業用機械は、人体等の保護対象にとっての危険源であるといえることができる。なお、作業員などの人体の他、鳥や動物、危険源である産業用機械を制御する制御手段の制御下でない他の機械等が保護対象となる場合もある。

【0003】

危険源である産業用機械が設置される機械室や港湾（以下、機械室等という）には、一般に、安全を維持するための安全制御システムが適用される。安全制御システムの一例としては、危険源である産業用機械の周囲に設定された境界（以下、安全境界という）の内側に人体が侵入したこと、すなわち、危険源と保護対象との距離が所定の閾値以内になったことをセンサにより検出し、産業用機械に非常停止等の安全動作を行わせるものがある

10

20

30

40

50

。このような安全制御システムは、例えば、特許文献 1 に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特表 2014-504394 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、上述した従来の安全制御システムでは、安全動作が起動される危険源と保護対象との距離の閾値を十分に大きな値に設定し、危険源から十分離れた位置に安全境界を設けていた。これは、危険源と保護対象との接近を早期に検出して、安全動作を早期に開始させ、危険を未然にかつ確実に回避するためである。しかし、このような安全制御システムでは、危険源から安全境界までの距離（すなわち、閾値）が長く、安全境界内のエリアが広いため、人体が安全境界内へ頻繁に侵入し、安全動作が頻発する虞がある。

10

【0006】

ここで、安全動作により産業用機械が非常停止すると、危険は回避されるものの、産業用機械が非常停止した分だけ稼働率（＝稼働時間／全運転時間）が低下し、その結果、産業用機械の単位時間当たりの処理能力（スループット）が低下する。そして、安全境界内のエリアを広くした場合には、産業用機械の非常停止が頻繁に行われるため、産業用機械の単位時間当たりの処理能力、稼働率の低下は、著しいものとなる。

20

【0007】

本発明は以上に説明した課題に鑑みて為されたものであり、産業用機械の処理能力の低下、稼働率の低下を抑えつつ、産業用機械に起因する危険の発生を未然に回避し、安全を維持するための技術的手段を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために本発明による安全制御システムは、安全動作制御手段と空間情報出力手段と駆動制御装置とを有している。安全動作制御手段は、危険源と保護対象との距離が閾値以下になった場合に前記危険源に危険回避のための安全動作を行わせる。空間情報出力手段は、前記危険源および前記保護対象の所在を示す空間情報を生成する。駆動制御装置は、前記空間情報に基づいて前記危険源と前記保護対象との距離を監視し、前記危険源と前記保護対象との距離の前記閾値への接近に応じて、前記危険源に危険回避動作を行わせる。

30

【0009】

本発明による安全制御システムの駆動制御装置は、安全動作が行われる危険源と保護対象との距離の閾値に対して、危険源と保護対象との距離が接近することに応じて、危険源に危険回避動作を行わせる。従って、安全動作が行われる頻度を少なくすることができる。また、安全動作に先立って危険回避動作が行われるため、安全動作が行われる危険源と保護対象との距離の閾値を小さくしても、安全動作が成功する可能性を高くすることができる。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、産業用機械の処理能力の低下、稼働率の低下を抑えつつ、産業用機械に起因する危険の発生を未然に回避し、安全を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明の第 1 実施形態である安全制御システム 1 の構成を示すブロック図である。

。

【図 2】同安全制御システム 1 の各構成要素の機能を示す図である。

【図 3】同安全制御システム 1 における安全信号の構成例を示す図である。

50

【図 4】同安全制御システム 1 における安全機能の内容を示す図である。

【図 5】同安全制御システム 1 の安全空間監視装置 10 が出力する空間情報の内容を例示する図である。

【図 6】同安全制御システム 1 の安全空間監視装置 10 内の故障個所と異常検出部 13 が行う故障検出方法を例示する図である。

【図 7】同安全制御システム 1 における安全距離に対するアクチュエータ 50-k の速度を示す図である。

【図 8】監視対象エリアにおける作業者の移動に伴う安全距離の変化を示した図である。

【図 9】同安全制御システム 1 のコントローラ 30 の構成を示すブロック図である。

【図 10】同安全制御システム 1 の安全バス 70 を介して伝送されるデータの内容を例示する図である。

10

【図 11】同安全制御システム 1 における各装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 12】クレーンの移動に従って移動する吊り荷の移動経路の途中に人体が侵入した場合の吊り荷および人体を側面から見た図である。

【図 13】図 12 における吊り荷および人体を天井から見た図である。

【図 14】空間情報が所定の条件を満たした場合に決定される危険回避動作のパターンを例示する図である。

【図 15】危険源に実行させるべき危険回避動作が「安全停止」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。

20

【図 16】危険源に実行させるべき危険回避動作が「移動速度制限」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。

【図 17】危険源に実行させるべき危険回避動作が「移動速度制限」である場合の吊り荷の移動速度の時間変化を示した図である。

【図 18】危険源に実行させるべき危険回避動作が「安全距離の保持」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。

【図 19】図 18 における安全距離の時間変化を示した図である。

【図 20】「移動速度制限」と「安全距離の保持」とを組み合わせた危険回避動作を危険源に行わせた場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示す図である。

【図 21】危険源である多関節ロボットと人体（例えば作業者）とを示す図である。

30

【図 22】本発明の第 3 本実施形態における危険回避動作のパターンを例示する図である。

【図 23】この発明の第 4 実施形態による安全制御システム 1 A の構成を示すブロック図である。

【図 24】同安全制御システム 1 A の各構成要素の機能を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態を説明する。

（第 1 実施形態）

図 1 は、この発明の第 1 実施形態による安全制御システム 1 の構成を示すブロック図である。図 2 は、安全制御システム 1 の各構成要素の機能を示す図である。安全制御システム 1 は、安全空間監視装置 10、安全コントローラ 20、コントローラ 30、安全ドライブ機器 40-k（ $k=1\sim n$ 、 n は 1 以上の整数、図示の例では $n=3$ ）、アクチュエータ 50-k（ $k=1\sim n$ 、 n は 1 以上の整数、図示の例では $n=3$ ）、安全センサ 60 および安全バス 70 を含んでいる。安全空間監視装置 10、安全コントローラ 20、コントローラ 30、安全ドライブ機器 40-k および安全センサ 60 は、Ethernet（登録商標）や RS-485 等の産業用ネットワークをベースとした安全通信方式（以下、安全バス 70）を介して接続されている。

40

【0013】

安全制御システム 1 は、例えば、危険源である産業用機械が設置される工場の機械室や

50

港湾などに適用される。産業用機械は、例えば、巻き取り機やクレーンや多関節ロボットなどである。安全制御システム 1 は、このような危険源の存在する機械室等において安全を維持するためのシステムである。

【0014】

安全制御システム 1 のアクチュエータ 50-k は、危険源である産業用機械を動作させる装置である。例えば危険源が紙を紙管にロール状に巻き取る巻き取り機である場合、アクチュエータ 50-k は、紙管を回転させるモータなどである。

【0015】

安全センサ 60 は、監視対象エリア内を監視し、監視対象エリア内において危険源から所定距離だけ隔たった安全境界を越えて危険源に保護対象たる人体が接近したこと、すなわち、危険源と保護対象との距離が所定の閾値以内になったことを検知する手段である。この安全センサ 60 の一例としては、産業用機械の周囲に設置された安全境界の役割を果たす安全柵の開閉を検知するセンサなどが挙げられる。安全センサ 60 は、検出結果に基づいて安全信号を生成して、生成した安全信号を安全バス 70 を介して安全コントローラ 20 へ出力する。また、安全センサ 60 は、操作に応じて安全信号を出力する操作子（例えば、非常停止ボタンなど）を含んでいても良い。

10

【0016】

図 3 は、安全信号の構成例を示す図である。図 4 は、安全機能の内容を示す図である。図 3 に示すように、安全信号は、安全機能の起動を指示する複数の安全コマンドを時間多重した信号である。図 3 に示す例では、1 個の安全コマンドは 8 ビット (b i t) からなり、各ビットは各々安全機能に対応している。具体的には、8 ビットの先頭ビットは、安全トルクオフ (S T O) に対応し、8 ビットの先頭から 2 番目のビットは、安全停止 1 (S S 1) に対応し、8 ビットの先頭から 3 番目のビットは、安全速度制限 (S L S) に対応する、という具合である。そして、この安全コマンドでは、起動を指示された安全機能に対応したビットのみが“1”とされ、他の安全機能に対応したビットは“0”とされる。なお、いずれの安全機能の起動も指示されていない状態では、安全コマンドは、8 ビットのすべてが“0”とされる。また、危険源が複数ある場合には、安全信号は、各危険源に対応する安全コマンドを含む。

20

【0017】

安全センサ 60 は、ある危険源と保護対象たる人体との距離が所定の閾値以内になったことを検知すると、当該危険源に安全動作を行わせるための安全コマンドを生成する。以下では、この安全動作を行わせる危険源と保護対象との距離の閾値を第 1 の閾値という。この第 1 の閾値は、危険源から見た保護対象の方角によらず一定の値としてもよいが、方角により異なった値としてもよい。安全コマンドにおいて起動する安全機能は、予め設定されていても良い。そして、安全センサ 60 は、この安全コマンドを組み込んだ安全信号を安全バス 70 に出力する。

30

【0018】

安全コントローラ 20 は、安全信号に応じて危険源に危険回避のための安全動作を行わせる安全動作制御手段である。安全コントローラ 20 は、安全センサ 60 が出力する安全信号を安全バス 70 を介して取得する。安全コントローラ 20 は、取得した安全信号の中から安全機能の起動を指示している安全コマンドを取り出す。そして、取り出した安全コマンドが例えばアクチュエータ 50-k により駆動される危険源に安全動作を行わせる安全コマンドである場合、その安全コマンドの指示に従って安全指令を生成し、安全バス 70 を介して安全ドライブ機器 40-k へ出力する。また、安全コントローラ 20 は、安全機能の起動を指示する安全コマンドを全く含まない安全信号を取得した場合、安全を維持している旨の情報を安全バス 70 を介してコントローラ 30 へ出力する。

40

【0019】

安全空間監視装置 10 は、監視対象エリア内を監視し、危険源および保護対象たる人体の所在を示す空間情報を生成して送信する空間情報出力手段である。より詳細には、安全空間監視装置 10 は、機械室等の床から上の空間を監視対象エリアとし、その監視対象エ

50

リアにおける危険源および人体を監視する。そして、安全空間監視装置 10 は、監視結果に基づいて空間情報を生成して、生成した空間情報を安全バス 70 を介してコントローラ 30 へ出力する。

【0020】

図 5 は、空間情報の内容を例示する図である。空間情報には、例えば、三次元空間内の人体（図 5 では作業者）の位置、人体（図 5 では作業者）のサイズ、三次元空間内の危険源の位置および危険源のサイズを示す情報が人体および危険源毎に含まれている。このように、空間情報は、監視対象エリア内の危険源および人体の所在を示している。

【0021】

安全空間監視装置 10 の構成について、より詳細に説明する。図 1 に示すように、安全空間監視装置 10 は、撮像機器 11、画像処理装置 12、異常検出部 13、安全信号出力部 14、外部通信インターフェース（以下、インターフェースを I/F と表記する）装置 15 を含んでいる。

【0022】

撮像機器 11 は、監視対象エリア内の危険源や人体などの監視対象を撮像する装置である。撮像機器 11 は、例えば、ステレオカメラや三次元レーザースキャナや赤外線スキャナなどである。例えば、撮像機器 11 がステレオカメラである場合、撮像機器 11 は 2 台のカメラである。撮像機器 11 は、2 台のカメラの撮像結果を示す各撮像データを画像処理装置 12 に引き渡す。

【0023】

画像処理装置 12 は、撮像機器 11 から引き渡される撮像データを用いた画像処理を行う集積回路である。画像処理装置 12 は、撮像データから危険源の抽出および人体の抽出を行い、危険源や作業者の表面各部の三次元位置座標を求める。具体的には、画像処理装置 12 は、撮像機器 11 を構成する 2 台のカメラによって撮像された危険源および人体の像の各部の撮像画面内での位置に基づいて、三角測量の原理により、撮像機器 11 から危険源および人体の表面各部までの距離 d を算出する。次いで、画像処理装置 12 は、撮像機器 11 の撮像面における危険源および人体の像の各位置（ u v 座標）と各位置に対応付けられた距離 d とから、危険源および人体の表面各部の三次元位置座標（ x y z 座標）を求める。そして、画像処理装置 12 は、このようにして求めた危険源および人体の表面各部の三次元位置座標データを用いて、危険源および人体の三次元空間内の位置（代表点の位置）およびサイズを含む空間情報を生成する。この際、画像処理装置 12 は、外部へ出力可能なデータ形式で空間情報を生成する。

【0024】

異常検出部 13 は、安全空間監視装置 10 内の各機器の故障や同各機器における異常処理を検出し、安全信号を生成する装置である。例えば、異常検出部 13 は、撮像機器 11 によって取得される撮像データの欠落（具体的には、撮像素子の画素の常時点灯もしくは常時消灯、画素ラインの喪失、ブラックアウト、ホワイトアウトなど）、入出力配線の切断、入出力の際の応答なし、入出力の際の巡回冗長検査（CRC）エラー、入出力データの順番の入り違い、メモリに格納されるデータの損傷、演算装置の故障（具体的には、演算エラー）などを検出する。図 6 は、故障箇所と故障検出方法を例示する図である。故障検出方法は、従来と同様であるため、説明を省略する。

【0025】

異常検出部 13 は、上記の故障や異常処理を検出した場合、その故障や異常処理の内容に応じて動作させるべき安全機能を選択する。この故障や異常処理の内容と動作させるべき安全機能とは、予め設定によって対応付けられている。そして、異常検出部 13 は、その安全機能が選択された安全信号を生成する。安全信号は、安全センサ 60 が生成する安全信号と同様のものである。

【0026】

安全信号出力部 14 は、異常検出部 13 が生成した安全信号を安全バス 70 へ送出可能なデータ形式へ加工する処理を行う装置である。具体的には、安全信号出力部 14 は、異

10

20

30

40

50

常検出部 13 から引き渡された安全信号をフレーム化し、さらにそのフレームに巡回冗長検査 (CRC) 符号や特定の識別子 (ID) や送受信番号等を付与するソフトウェア処理を行う。

【0027】

外部通信 I/F 装置 15 は、安全バス 70 に接続されている。外部通信 I/F 装置 15 は、例えば、Ethernet (登録商標) の通信 ASIC (Application Specified Integrated Circuit; 特定用途向集積回路) などである。外部通信 I/F 装置 15 は、空間情報 (より正確には、画像処理装置 12 が生成した空間情報) と、安全信号 (より正確には、安全信号出力部 14 においてソフトウェア処理された安全信号) とを安全空間監視装置 10 外へ出力する装置である。具体的には、外部通信 I/F 装置 15 は、当該安全信号を安全バス 70 を介して安全コントローラ 20 に出力し、当該空間情報を安全バス 70 を介してコントローラ 30 へ出力する。

10

以上が、安全空間監視装置 10 の構成である。

【0028】

安全コントローラ 20 は、安全空間監視装置 10 から図 4 に示した安全機能が選択された安全信号を取得した場合も、その安全機能に対応する安全指令を安全ドライブ機器 40-k へ出力する。

【0029】

コントローラ 30 は、アクチュエータ 50-k ($k=1\sim n$) を制御する制御指令を安全バス 70 を介して安全ドライブ機器 40-k ($k=1\sim n$) へ出力する装置である。制御指令は、例えば、アクチュエータ 50-k ($k=1\sim n$) の速度を示す速度指令などである。すなわち、コントローラ 30 は、危険源を制御対象としてその危険源の駆動制御を行う駆動制御装置である。コントローラ 30 は、例えば、プログラマブルロジックコントローラである。

20

【0030】

本実施形態のコントローラ 30 は、安全空間監視装置 10 が出力した空間情報を安全バス 70 を介して取得する。コントローラ 30 は、複数の危険源の各々について次の処理を行う。すなわち、駆動制御装置であるコントローラ 30 は、取得した空間情報から各危険源と保護対象たる人体 (作業員) との安全距離を各々求め、その人体との安全距離が上述した第 1 の閾値よりも大きい第 2 の閾値以下である危険源を発見した場合、その安全距離に基づいて当該危険源に危険回避動作を行わせる。この危険回避動作とは、危険を低減し、あるいは危険を未然に回避する動作であり、本実施形態では、安全距離が短くなるに従って動作速度が低下する動作である。

30

【0031】

図 7 は、コントローラ 30 が取得した空間情報に含まれる安全距離と、危険源を駆動するアクチュエータ 50-k の動作速度との関係を示す図である。図 8 (A) および (B) は、監視対象エリアにおける作業員の移動に伴う安全距離の変化を示した図である。以下では、危険源が巻き取り機である場合を例にコントローラ 30 の制御内容を説明する。図 8 (A) および (B) に示すように、作業員が危険源たる巻き取り機に接近すると危険源と作業員との間の安全距離は短くなる。図 7 において、第 1 の閾値 t_{h1} は、危険源から安全動作の行われる安全境界までの距離である。また、第 2 の閾値 t_{h2} は、第 1 の閾値 t_{h1} より大きな値となっている。図 7 に示すように、コントローラ 30 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} よりも大きい場合、アクチュエータ 50-k であるモータを予め設定されている通常の回転速度で回転させるように制御指令を出力する。この状態では、人体の安全が維持されている。

40

【0032】

一方、コントローラ 30 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} 以下の場合、保護対象たる人体の安全境界への接近に応じて危険源に危険回避動作を行わせる。具体的には、危険源が巻き取り機である場合、コントローラ 30 は、巻き取り機の巻き取り部分の回転速度を小さくする動作を危険回避動作として決定し、アクチュエータ 50-k であるモータの回転

50

速度を小さくした制御指令を出力する。この際、コントローラ 30 は、危険源と保護対象たる人体との距離が短くなって第 1 の閾値 t_{h1} に接近するに従ってモータの回転速度を低下させ、危険源の動作速度を低下させる危険回避動作を危険源に行わせる。

【0033】

また、図 7 に示すように、コントローラ 30 は、安全距離がゼロと第 2 の閾値 t_{h2} との間の適当な値、より好ましくは、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} と第 1 の閾値 t_{h1} との間の適当な値（図 7 では閾値 $t_{h1} - 2$ ）以下の場合にモータの回転速度が最低値となるように制御するのが好ましい。ここで、第 1 の閾値 t_{h1} は、安全センサ 60、具体的には、安全センサ 60 に含まれる各種センサの配置などによって決定される。安全制御システム 1 では、安全距離が第 1 の閾値 t_{h1} 以下になった場合、安全信号に基づいてアクチュエータ 50-k に安全動作をさせる。そして、本実施形態では、安全距離が第 1 の閾値 t_{h1} から第 2 の閾値 t_{h2} の範囲内にある場合、安全距離が第 1 の閾値 t_{h1} に近づくのに応じて、アクチュエータ 50-k に速度を低下させる危険回避動作を行わせる。従って、安全距離が第 1 の閾値 t_{h1} 以下になった場合に実行される安全動作が成功して危険が回避される可能性を高めることができる。

【0034】

安全距離の変化に対するアクチュエータ 50-k の速度の変化の態様は、図 7 の A1 のように、安全距離の変化に比例して速度が変化する態様であっても良いし、図 7 の A2 のように、閾値 t_{h2} 付近では安全距離の変化に対して速度が大きく変化する一方、閾値 $t_{h1} - 2$ 付近では安全距離の変化に対して速度が小さく変化する態様であっても良いし、図 7 の A3 のように、閾値 t_{h2} 付近では安全距離の変化に対して速度が小さく変化する一方、閾値 $t_{h1} - 2$ 付近では安全距離の変化に対して速度が大きく変化する態様であっても良い。ここで、安全距離の変化に対してアクチュエータ 50-k の速度を A2 のように変化させる場合と A3 のように変化させる場合とを比較すると、前者は後者よりも安全性が高いが、後者は前者よりもアクチュエータ 50-k の処理能力の低下の度合いが小さい。従って、危険源に要求される安全性と処理能力とを比較考量し、安全距離の変化に対するアクチュエータ 50-k の速度の変化の態様を決定すればよい。また、コントローラ 30 は、速度計算のための計算式を複数記憶し、この複数の計算式の中から例えば操作子の操作等により指定された適切な計算式を選択し、安全距離に応じた速度を算出しても良い。

【0035】

図 9 は、コントローラ 30 の構成を示すブロック図である。図 9 に示すように、コントローラ 30 は、制御部 310、揮発性記憶部 320、不揮発性記憶部 330、入出力 I/F 340 およびこれらの各構成要素間のデータの授受を媒介するバス 350 を含んでいる。

【0036】

入出力 I/F 340 は、バス 350 に接続されている。揮発性記憶部 320 は、例えば、RAM (Random Access Memory) である。揮発性記憶部 320 は、不揮発性記憶部 330 に記憶されている各プログラムを実行するためのワークエリアとして使用される。不揮発性記憶部 330 は、例えば、フラッシュ ROM などである。不揮発性記憶部 330 には、制御プログラム 331 が予め格納されている。制御プログラム 331 は、空間情報に基づいて危険源と保護対象たる人体との距離を監視し、危険源と保護対象との距離が第 1 の閾値より長い場合に、危険源と保護対象との距離の第 1 の閾値への接近に応じて、危険源に危険回避動作を行わせるプログラムである。制御部 310 は、例えば、CPU (中央演算装置) である。制御部 310 は、不揮発性記憶部 330 に記憶されている各プログラムを実行することにより、コントローラ 30 の制御中枢として機能する。

以上が、コントローラ 30 の構成である。

【0037】

図 1 に示すように、アクチュエータ 50-k には、当該アクチュエータ 50-k を動作

させる安全ドライブ機器 40-k がアクチュエータ 50-k 毎に接続されている。安全ドライブ機器 40-k は、例えば、インバータである。安全ドライブ機器 40-k は、安全バス 70 を介してコントローラ 30 から制御指令を受信し、その制御指令に応じてアクチュエータ 50-k を動作させる装置である。従って、安全ドライブ機器 40-k が危険回避動作を反映した制御指令（例えば、速度が小さい制御指令など）を受信すると、アクチュエータ 50-k は、危険回避動作を行う。また、安全ドライブ機器 40-k が安全動作を反映した安全指令を受信すると、アクチュエータ 50-k は、安全動作を行う。また、安全ドライブ機器 40-k は、制御指令に従ってアクチュエータ 50-k を動作させた結果を示す状態信号を安全バス 70 を介してコントローラ 30 に出力する。

【0038】

安全制御システム 1 では、安全コントローラ 20 がアクチュエータ 50-k に安全動作をさせる制御を行うのに独立して、コントローラ 30 がアクチュエータ 50-k に危険回避動作をさせる制御を行う。なお、安全バス 70 を介して安全制御システム 1 の各機器間を伝送するデータをまとめたものを図 10 に示す。

以上が、安全制御システム 1 の構成である。

【0039】

次に、危険源が巻き取り機である場合を例に、安全制御システム 1 の動作を説明する。

図 11 は、安全制御システム 1 における各装置の動作の流れを示すフローチャートである。安全制御システム 1 の安全空間監視装置 10 の撮像機器 11 は、常時、監視対象エリア内の監視対象である巻き取り機と作業者を監視する。これにより、安全空間監視装置 10 の画像処理装置 12 は、撮像機器 11 から撮像データを逐次取得する（S110）。次に、画像処理装置 12 は、取得した撮像データから作業者と危険源である巻き取り機の画像を抽出する（S120）。次に、安全空間監視装置 10 の異常検出部 13 は、画像処理装置 12 の撮像データの取得に同期して、安全空間監視装置 10 内の各機器やデータの異常の検出を行う（S130）。そして、画像処理装置 12 は、抽出した作業者と危険源の画像とから三次元空間内における作業者と危険源の所在を示す空間情報を生成し、異常検出部 13 は、異常の検出結果から安全信号を生成する（S140）。その後、安全空間監視装置 10 の外部通信 I/F 装置 15 は、異常検出部 13 が生成し、安全信号出力部 14 においてソフトウェア処理が行われた安全信号を安全コントローラ 20 へ出力するとともに、画像処理装置 12 が生成した空間情報をコントローラ 30 へ出力する（S150）。

【0040】

また、安全制御システム 1 の安全センサ 60 は、常時、危険源と保護対象たる作業者の距離が第 1 の閾値 t_{h1} 以内になったか否かを各種センサによって監視する。そして、安全センサ 60 は、各種センサの検出結果を示すセンサ情報を逐次取得する（S210）。次に、安全センサ 60 は、取得したセンサ情報から安全信号を生成する（S220）。具体的には、安全センサ 60 は、作業者が安全境界を越えて危険源に接近したことをセンサ情報から検知した場合に安全機能が起動された安全信号を生成する。次に、安全センサ 60 は、生成した安全信号を安全コントローラ 20 へ出力する（S230）。

【0041】

次に、安全制御システム 1 の安全コントローラ 20 は、安全空間監視装置 10 および安全センサ 60 から安全信号を逐次取得する（S310）。次に、安全コントローラ 20 は、取得した安全信号に対する処理、具体的には、巡回冗長検査（CRC）符号を用いた誤り検出処理などを行う（S320）。次に、安全コントローラ 20 は、安全信号（より正確にはステップ S320 の後の安全信号）は安全機能が選択されたものであるか否かを判定する（S330）。安全信号が安全機能の起動を指示するものである場合、安全コントローラ 20 は、当該安全信号は危険を知らせているとして（S330：危険）、その安全機能を起動する安全指令を安全ドライブ機器 40-k へ出力する（S340）。そして、安全ドライブ機器 40-k は、安全指令に従ってアクチュエータ 50-k に安全動作をさせる（S530）。具体的には、安全信号が安全トルクオフを起動するものである場合、安全ドライブ機器 40-k は、アクチュエータ 50-k に非常停止をさせる、という具合

10

20

30

40

50

である。一方、安全信号が何ら安全機能の起動を指示するものでない場合、安全コントローラ 20 は、当該安全信号は安全を維持していることを知らせているとして（S 330：安全）、安全を維持している旨の情報を安全バス 70 を介してコントローラ 30 へ出力する。

【0042】

次に、安全制御システム 1 のコントローラ 30 の制御部 310 は、電源の投入を契機として制御プログラム 310 を実行する。制御プログラム 310 の実行を開始すると、コントローラ 30 は、安全空間監視装置 10 が出力する空間情報を逐次取得する（S 410）。空間情報を取得すると、制御部 310 は、空間情報が所定の条件を満たしているか否かを判別する（S 420）。具体的には、制御部 310 は、空間情報から安全距離（巻き取り機の例では、巻き取り機と作業者との間の距離）を算出し、安全距離が図 7 の第 2 の閾値 t_{h2} 以下であるか否かを判別する。

10

【0043】

制御部 310 は、空間情報が所定の条件を満たしていない場合、具体的には、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} よりも大きい場合、危険回避動作が不要であるとして（S 420：不要）、ステップ S 430 からステップ S 450 の処理を行う。すなわち、この場合、制御部 310 は、危険源である巻き取り機を通常運転させるべく制御指令の生成を開始して（S 430）、通常動作の演算を行う（S 440）。その後、制御部 310 は、通常動作の演算によって生成された制御指令を安全ドライブ機器 40-k へ出力する（S 450）。そして、安全ドライブ機器 40-k は、コントローラ 30 からの制御指令に従ってアクチュエータ 40-k に通常運転をさせる（S 510）。なお、制御部 310 は、安全制御システム 1 が安全を維持している際には、安全コントローラ 20 から安全を維持している旨の情報を受信する。

20

【0044】

一方、制御部 310 は、空間情報が所定の条件を満たしている場合、具体的には、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} 以下の場合、危険回避動作が必要であるとして（S 420：要）、ステップ S 460 からステップ S 480 の処理を行う。すなわち、この場合、制御部 310 は、危険源である巻き取り機を危険回避動作させるべく制御指令の生成を開始して（S 460）、空間情報（具体的には安全距離）に基づいて危険回避動作の演算を行う（S 470）。具体的には、制御部 310 は、図 7 に示すように、アクチュエータ 50-k の動作速度を通常速度よりも小さくする演算を行う。この際、制御部 310 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} に近いものであれば定格速度に近い速度でアクチュエータ 50-k を回転させる演算を行い、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} から離れており、第 1 の閾値 t_{h1} に近いものであれば停止に近い速度でアクチュエータ 50-k を回転させる演算を行う。その後、制御部 310 は、危険回避動作の演算によって生成された制御指令を安全ドライブ機器 40-k へ出力する（S 480）。そして、安全ドライブ機器 40-k は、コントローラ 30 からの制御指令に従ってアクチュエータ 40-k に危険回避動作をさせる。これにより、巻き取り機の紙管の回転速度が安全距離に応じて小さくなる。

30

以上が、安全制御システム 1 の動作である。

【0045】

以上のように、本実施形態による安全制御システム 1 は、危険源と保護対象との距離が閾値以下になった場合に危険源に危険回避のための安全動作を行わせる安全動作制御手段（安全センサ 60 と安全コントローラ 20）と、危険源および保護対象の所在を示す空間情報を生成する空間情報出力手段（安全空間監視装置 10）と、空間情報に基づいて危険源と保護対象との距離を監視し、危険源と保護対象との距離の当該閾値への接近に応じて、危険源に危険回避動作を行わせる駆動制御装置（コントローラ 30）とを具備している。このため、安全制御システム 1 によれば、従来の安全制御システムのように危険源の処理能力を大幅に低下させることなく、また、稼働率を大幅に低下させることなく、人体に危険が及ぶのを回避することができる。

40

【0046】

50

さらに詳述すると、従来の安全制御システムでは、安全動作を起動する危険源と保護対象との距離の閾値（図7の第1の閾値 t_{h1} ）を余裕をもって十分大きな値に設定し、安全境界内の領域を十分に広くしていた。このため、作業者が頻繁に安全境界を越えて安全動作が行われ、産業用機械の単位時間当たりの処理能力が低下する可能性が高かった。また、最悪の場合、安全動作によって危険源が稼働を停止し、この場合には稼働率の大幅な低下を招いた。これに対して、本実施形態の安全制御システム1では、危険源と保護対象との距離が第1の閾値 t_{h1} に接近することに応じて危険源に危険回避動作（具体的には速度の低下）を行わせるので、従来よりも安全境界を危険源に近づけたとしても、作業者が安全境界を越えて危険源に接近したときに行われる安全動作が間に合って、危険を回避することができる。従って、危険源の処理能力の低下を抑えつつ、危険回避を行うことができる。また、従来よりも安全境界を危険源に近づけ、安全境界内の領域を狭くすることができるので、保護対象たる作業者が安全境界内に侵入する頻度を減らし、安全動作が行われる頻度を減らすことができる。また、危険回避動作が行われている間に危険源と保護対象との距離が長くなり、安全動作が回避される場合もある。従って、本実施形態では、危険源の稼働率の低下を抑えることができる。このように、安全制御システム1を適用することにより、危険源たる産業用機械の処理能力の低下、稼働率の低下を抑えつつ、産業用機械に起因する危険の発生を未然に回避し、安全を維持することができる。

10

【0047】

なお、本実施形態の安全空間監視装置10の異常検出部13は、故障等を検出した場合に安全機能の起動を指示する安全信号を生成していた。しかし、異常検出部13は、画像処理装置12から空間情報を取得し、その空間情報から安全距離を算出し、安全距離がアクチュエータ50-kに安全動作をさせるべき第1の閾値 t_{h1} 以下となったか否かの判定をして、その判定結果が第1の閾値 t_{h1} 以下となった場合に、安全機能の起動を指示する安全信号を生成しても良い。さらに、異常検出部13は、故障等を検出した場合に安全機能の起動を指示する動作と、安全距離が第1の閾値 t_{h1} 以下となった場合に安全機能の起動を指示する動作の両方を行っても良い。

20

【0048】

（第2実施形態）

第2実施形態では、クレーンが天井付近に設置された工場建屋内に安全制御システム1を適用した態様について説明する。本実施形態によるアクチュエータ50-kは、クレーンを例えば東西方向および南北方向へ移動させるモータやフックを巻き上げるモータなどである。このクレーンは、重量物の吊り荷を吊って移動するものである。このため、本実施形態では、クレーン本体および吊り荷が危険源となる。

30

【0049】

図12は、クレーンの移動に従って移動する吊り荷の移動経路の途中に人体が侵入した場合の吊り荷および人体を側面から見た図である。図13は、図12の場合の吊り荷および人体を天井から見た図である。図12および図13に示すように、吊り荷の移動経路の途中に人体が侵入すると、吊り荷は、人体へ向かって接近する。

【0050】

本実施形態の安全空間監視装置10は、クレーンおよび吊り荷と人体とを監視し、少なくとも吊り荷の三次元空間内の位置情報と人体の三次元空間内の位置情報を含む空間情報を逐次生成し、生成した空間情報をコントローラ30へ出力する。そして、コントローラ30は、取得した空間情報が所定の条件を満たすか否かを判定して、空間情報が所定の条件を満たした場合に（具体的には、安全距離が第2の閾値 t_{h2} 以下となった場合に）、危険源の動作を制限する。コントローラ30は、危険源の動作を制限する際、危険回避動作の内容を決定して、その危険回避動作の演算を行う。この際、コントローラ30は、空間情報から算出した安全距離、吊り荷の移動速度、吊り荷の質量に基づいて危険回避動作の内容を決定する。

40

【0051】

図14は、空間情報が所定の条件を満たした場合に決定される危険回避動作のパターン

50

を例示する図である。図 1 4 に示すように、コントローラ 3 0 の制御プログラム 3 3 1 には、例えば、「安全停止」、「移動速度制限」および「安全距離の保持」などの各種の危険回避動作のパターンに従ってアクチュエータ 5 0 - k を動作させるための制御指令を生成する演算式が記述されている。コントローラ 3 0 は、これらの危険回避動作のパターンの中から危険源に実行させるべき危険回避動作を決定してその危険回避動作を実現するための制御指令の演算を行う。このとき、コントローラ 3 0 は、空間情報に基づいて危険回避動作のパターンを選択しても良い。例えば、コントローラ 3 0 は、通常時の吊り荷の移動速度が所定の閾値よりも大きい場合には「移動速度制限」を選択し、通常時の吊り荷の移動速度が所定の閾値よりも小さい場合には「安全距離の保持」を選択する、という具合である。また、コントローラ 3 0 は、ユーザによって予め設定された危険回避動作のパターンを選択しても良い。

10

【0052】

図 1 5 は、危険源に実行させるべき危険回避動作が「安全停止」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。この「安全停止」では、コントローラ 3 0 は、安全距離の減少に応じてアクチュエータ 5 0 - k の速度を低下させる。その際、コントローラ 3 0 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} に比較的近い閾値 t_{h1-2a} になったときに吊り荷の移動速度がゼロになるように、安全距離の減少に対してアクチュエータ 5 0 - k の速度を滑らかに低下させる。この「安全停止」では、吊り荷が人体に接触する危険を未然に回避することができるだけでなく、クレーンを非常停止する態様に比べ、慣性によって吊り荷の内容物が外に飛び出すなどの危険も回避することができる。

20

【0053】

図 1 6 は、危険源に実行させるべき危険回避動作が「移動速度制限」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。「移動速度制限」は、通常動作時における吊り荷の移動速度に比べて、小さい値に制限した移動速度で吊り荷を移動させる危険回避動作である。より詳細には、図 1 6 に示すように、コントローラ 3 0 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} 以下となった場合に、通常動作時における吊り荷の移動速度 v_1 よりも小さい値である移動速度 v_2 で吊り荷が移動するように、クレーンを移動させるアクチュエータ 5 0 - k の回転速度を小さくさせる制御指令を出力する。なお、図 1 6 の態様では、コントローラ 3 0 は、安全距離が非常停止などの安全動作をさせるべき第 1 の閾値 t_{h1} に近い閾値 t_{h1-2b} において吊り荷の移動速度が v_2 からゼロになるように制御指令を出力する。

30

【0054】

また、図 1 7 は、危険源に実行させるべき危険回避動作が「移動速度制限」である場合の吊り荷の移動速度の時間変化を示した図である。図 1 7 に示すように、コントローラ 3 0 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} と閾値 t_{h1-2b} との間に収まっている時間中、吊り荷を移動速度 v_2 で移動させる制御を行っている。その後、人体が吊り荷の移動軌跡から外れるなどして、安全距離が閾値 t_{h2} よりも大きくなると、コントローラ 3 0 は、吊り荷の移動速度を v_2 から v_1 に戻すべく、クレーンを移動させるアクチュエータ 5 0 - k の回転速度を通常回転速度にする制御指令を出力する。このように、この「移動速度制限」では、吊り荷の移動速度が小さいため、事故が発生したとしてもその事故の程度を低減することができる。

40

【0055】

図 1 8 は、危険源に実行させるべき危険回避動作が「安全距離の保持」である場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示した図である。図 1 9 は、図 1 8 の場合における時間に対する安全距離を示した図である。「安全距離の保持」は、安全距離を所定の安全距離（すなわち、図 1 9 に示す安全距離ボーダー t_{h1-2c} ）以上に保持しつつ吊り荷を移動させる危険回避動作である。「安全距離の保持」は、例えば、図 1 3 に示すように、吊り荷の移動経路を通常移動経路から変えて、人体を避けて吊り荷を移動させる動作などである。さらに具体的には、図 1 3 に示すように、通常時に吊り荷が南から北へ移動する態様では、コントローラ 3 0 は、安全距離が第 2 の閾値 t_{h2} 以下となった場合に、ク

50

レーンを南から北へ移動させるアクチュエータ50-kの回転速度を小さくしつつクレーンを東から西へ移動させるアクチュエータ50-kの回転速度を大きくし、吊り荷が人体よりも北に位置した後に、クレーンを南から北へ移動させるアクチュエータ50-kの回転速度を大きくしつつクレーンを西から東へ移動させるアクチュエータ50-kの回転速度を大きくする、という具合である。これにより、吊り荷は、人体を中心とした弧を描くように人体の周囲を迂回する。このとき、例えば、図18に示すように、コントローラ30は、安全距離が第2の閾値 t_{h2} よりも大きい場合の吊り荷の移動速度の大きさと、安全距離が第2の閾値 t_{h2} よりも小さい場合の吊り荷の移動速度の大きさが同程度になるように各アクチュエータ50-kの回転速度を制御する。この「安全距離の保持」では、危険源が人体を避けて移動するため、危険を未然に回避しつつ、産業用機械の単位時間当たりの処理能力の低下を抑えることができる。特に、「安全距離の保持」では、安全距離が第2の閾値 t_{h2} 以下となった後において人体が吊り荷の通常の移動経路から外れることがないような態様において、吊り荷の移動を継続することができるため、「移動速度制限」の態様に比べ、産業用機械の単位時間当たりの処理能力の低下をより抑えることができる。

10

【0056】

本実施形態において、危険回避動作のパターンは、図14に示すものに限られない。例えば、「移動速度制限」と「安全距離の保持」とを組み合わせた危険回避動作を危険源に行わせても良い。図20は、この場合の安全距離に対する吊り荷の移動速度を示す図である。この態様のコントローラ30は、安全距離が第2の閾値 t_{h2} 以下になった場合に、吊り荷の移動速度を v_1 から v_2 へ小さくさせるとともに、安全距離を所定の安全距離（安全距離ボーダー t_{h1-2c} ）以上に保持しつつ吊り荷を移動させる制御を行う。この態様では、危険源が人体を避けて移動するため、危険を未然に回避しつつ、産業用機械の単位時間当たりの処理能力の低下を抑えることができるとともに、吊り荷の移動速度が小さいため、事故が発生したとしてもその事故の程度を低減することができる。

20

【0057】

（第3実施形態）

第3実施形態では、多関節ロボットが設置された機械室に安全制御システム1を適用した態様について説明する。図21は、危険源である多関節ロボットと人体（例えば作業員）とを示す図である。図21に示す多関節ロボットは、ベルトコンベア上を流れる部品をアームにより搬送して製品を組み立てるロボットであり、人体と協調して製品を組み立てる。この態様では、アームが動くため、多関節ロボット、特にアームを危険源とする。また、この態様における危険源と人体との間の安全距離は、例えば、アームの先端と人体との間の距離である。本実施形態におけるアクチュエータ50-kは、例えば、アーム間の各関節に設置されて当該アームを動かすモータなどである。

30

【0058】

図21には、多関節ロボットの通常可動範囲と最大可動範囲とが示されている。図21の通常可動範囲は、境界 B_n の内側の空間であり、多関節ロボットが通常の組み立て動作を行う際に、そのアームが移動する範囲である。このため、多関節ロボットの通常可動範囲内に人体が侵入すると、通常の組み立て動作時にアームが人体に接触する虞があり、危険である。また、図21の最大可動範囲は、境界 B_m の内側の空間であり、組み立て動作に関わらず、多関節ロボットがそのアームを最大限に伸ばすことが可能な範囲である。このため、多関節ロボットの最大可能範囲内に人体が侵入すると、多関節ロボットが予期せぬ動作を行ったときに、アームが人体に接触する虞があり、危険である。すなわち、本実施形態では、安全距離が十分であったとしても、人体の位置によっては人体に危険が及ぶ。このため、本実施形態の安全制御システム1では、安全距離に加え、人体の位置によっても、多関節ロボットに危険回避動作を実行させる。

40

【0059】

本実施形態の安全空間監視装置10は、多関節ロボットと人体とを監視し、アームの位置（すなわち、多関節ロボットの姿勢）や人体の位置、アームのサイズや人体のサイズな

50

どを含む空間情報を逐次生成し、生成した空間情報をコントローラ 30 へ出力する。本実施形態のコントローラ 30 は、空間情報に基づいて、人体の位置が多関節ロボットの最大可動範囲内であるか否か、人体の位置が多関節ロボットの通常可動範囲内であるか否か、安全距離が所定の閾値以下であるか否かなどを判定する。このような判定を行うために、コントローラ 30 には、この多関節ロボットの通常可動範囲の境界 B_n の位置情報と最大可動範囲の境界 B_m の位置情報が記憶されている。そして、コントローラ 30 は、これらの判定結果に応じて危険回避動作の内容を決定して、その危険回避動作の演算を行う。この際、コントローラ 30 は、空間情報から算出した安全距離（位置ベクトル）、アームの移動速度（速度ベクトル）、アームの質量に基づいて危険回避動作の内容を決定する。

【0060】

図 22 は、本実施形態の危険回避動作のパターンを例示する図である。本実施形態のコントローラ 30 の制御プログラム 331 には、例えば、図 22 に示すような、「安全停止および軸ロック」、「パワー制限」、「移動速度制限」および「安全距離の保持」などの各種の危険回避動作を実現させる制御指令を生成するための演算式が記述されている。

【0061】

「安全停止および軸ロック」は、多関節ロボットの動作を安全に停止して、アームが動かないように当該アームを固定する危険回避動作である。「パワー制限」は、通常動作時におけるアクチュエータ 50-k を動かすパワーに比べて、小さい値に制限したパワーでアクチュエータ 50-k を動かす危険回避動作である。「移動速度制限」は、通常動作時におけるアームの移動速度に比べて、小さい値に制限した移動速度でアームを移動させる危険回避動作である。「安全距離の保持」は、安全距離を所定の安全距離以上に保持しつつアームを移動させる危険回避動作である。

【0062】

本実施形態のコントローラ 30 は、上述した人体の位置や安全距離の判定結果に応じて、図 22 に示す危険回避動作のパターンの中から危険源にさせるべき危険回避動作の内容を決定する。以下、この危険回避動作の内容の決定の一例を示す。

【0063】

人体の位置が最大可動範囲外であった場合、コントローラ 30 は、アクチュエータ 50-k に通常運転をさせる制御指令を出力する。人体が最大可動範囲外にいる場合には、多関節ロボットが予期せぬ動作を行ったとしても、アームが人体に接触する虞がないためである。

【0064】

人体の位置が最大可動範囲内であり、かつ、通常可動範囲外であり、加えて、安全距離が所定の閾値（上記第 1 実施形態の第 2 の閾値に相当する閾値。以下、第 4 の閾値という）以内であった場合、コントローラ 30 は、例えば、「移動速度制限」を危険源に行わせるべき危険回避動作として決定する。人体の位置がこの範囲内にある場合には、多関節ロボットが通常運転している状態においては安全であるが、多関節ロボットが予期せぬ動作を行う可能性があり、人体の位置が通常可動範囲内にある場合に比べて程度は低い、危険だからである。この危険回避動作によれば、多関節ロボットが予期せぬ動作を行ったとしても、コントローラ 30 が通常可動範囲外に伸びて人体に接近するアームの移動速度を制限するため、人体は、アームとの接触を回避し易くなる。なお、人体の位置がこの範囲内であった場合、コントローラ 30 は、「パワー制限」を危険源にさせるべき危険回避動作として決定しても良い。

【0065】

人体の位置が通常可動範囲内であり、加えて、安全距離が所定の第 4 の閾値以下となった場合、コントローラ 30 は、例えば、「安全距離の保持」を危険源にさせるべき危険回避動作として決定する。人体の位置がこの範囲内にある場合には、多関節ロボットが通常運転している状態においても危険だからである。この危険回避動作によれば、コントローラ 30 は、多関節ロボットに安全距離を保持させてアームを人体に接近させないようにしつつ、多関節ロボットに作業を行わせる。このため、多関節ロボットの単位時間当たりの

10

20

30

40

50

処理能力の低下を抑えつつ、多関節ロボットのアームが人体と接触するなどの危険を回避し、人体の安全を維持することができる。

【0066】

人体の位置が通常可動範囲内であり、加えて、安全距離が第4の閾値よりも小さい第3の閾値（上記第1実施形態の第1の閾値に相当する閾値）以下となった場合、コントローラ30は、「安全停止および軸ロック」を危険源にさせるべき危険回避動作として決定する。人体の位置および安全距離がこのような場合、アームが人体に接触する可能性が高く、非常に危険だからである。この危険回避動作によれば、コントローラ30は、アームが人体に接触する前に多関節ロボットを安全に停止させてアームを固定させる。このため、人体の安全を維持することができる。

10

【0067】

以上のように、本実施形態のコントローラ30は、安全距離に加え、危険源である産業用機械の可動範囲（具体的には、多関節ロボットの通常可動範囲および最大可動範囲）に対する人体の位置関係も考慮して危険回避動作の内容を決定している。このため、本実施形態の安全制御システム1では、危険の程度に応じた適切な危険回避動作を危険源にさせることができ、第1実施形態に比べ、より確実に人体の安全を維持することができる。

【0068】

（第4実施形態）

図23は、この発明の第4実施形態による安全制御システム1Aの構成を示すブロック図である。図24は、安全制御システム1Aの各構成要素の機能を示すブロック図である。本実施形態の安全制御システム1Aは、安全空間監視装置10に代えて安全空間監視装置10Aを、安全コントローラ20に代えて安全コントローラ20Aを、安全センサ60に代えて安全センサ60Aを有する点において第1実施形態の安全制御システム1と異なる。加えて、安全制御システム1Aは、安全制御システム1A内の各機器間の接続態様が安全制御システム1と異なる。より詳細には、本実施形態の安全制御システム1Aにおいて、安全空間監視装置10、コントローラ30および安全ドライブ機器40-kは、これらの各構成要素間のデータの授受を媒介する安全バス70に接続されており、産業用ネットワークを形成している。一方、安全コントローラ20Aと安全空間監視装置10A（より正確には、安全空間監視装置10Aの安全信号出力部14A）とは、安全ワイヤ75によって接続されている。同様に、安全コントローラ20Aと安全センサ60Aとは、安全ワイヤ75によって接続されており、安全コントローラ20Aと各安全ドライブ機器40-kとは、安全ワイヤ75によって接続されている。

20

30

【0069】

安全空間監視装置10Aは、生成した空間情報を安全バス70を介してコントローラ30へ出力する点において安全空間監視装置10と同様である。しかし、安全空間監視装置10Aは、生成した安全信号を安全ワイヤ75を介して安全コントローラへ出力する点において安全空間監視装置10と異なる。安全センサ60Aは、安全信号を安全ワイヤ75を介して安全コントローラへ出力する点において安全センサ60と異なる。安全コントローラ20Aは、安全ワイヤ75を介して安全空間監視装置10Aおよび安全センサ60Aから安全信号を取得し、安全指令を安全センサ75を介して安全ドライブ機器40-kへ出力する点において安全コントローラ20と異なる。

40

【0070】

安全ワイヤ75は、2本で1対の導線を複数対有するものである。安全ワイヤ75の1対の導線は、安全信号における1つの安全機能のオン／オフを示す信号（具体的には、ハイまたはローの2値の電圧による信号）の伝送に用いられる。このため、安全ワイヤ75は、安全機能の数だけ対の導線を有している。そして、各安全機能のオン／オフを示す信号は、安全ワイヤ75の複数対の導線によって並列に伝送される。安全ワイヤ75を介した安全信号の伝送が2値の電圧によって行われるため、安全空間監視装置10Aの安全信号出力部14Aは、フォトプラを用いた回路や24ボルトの電圧信号に変換する回路などのハードウェアにより構成される。

50

【0071】

このように、本実施形態の安全制御システム1Aは、安全信号の伝送態様が第1実施形態の安全制御システム1と異なるが、空間情報の伝送態様は第1実施形態の安全制御システム1と同様である。従って、本実施形態においても第1実施形態と同様の効果が得られる。

【0072】

(変形)

以上本発明の第1～第4実施形態について説明したが、これら実施形態に以下の変形を加えても勿論良い。

【0073】

(1) 上記各実施形態におけるコントローラ30と安全コントローラ20は、別個の装置であった。しかし、コントローラ30の機能と安全コントローラ20の機能の両方を同一の装置により実現しても良い。

【0074】

(2) 上記各実施形態の安全空間監視装置10は、安全信号を出力していた。しかし、安全空間監視装置10は、安全信号を出力しなくても良い。安全制御システム1～1Aでは、安全センサ60が安全境界を越えて危険源に人体が接近するのを検知して安全信号を出力しているからである。

【0075】

(3) 上記各実施形態において、コントローラ30の制御が及ばない産業用機械が保護対象となる場合が考えられる。例えば港湾において、安全制御システム1、1Aを運営している業者以外の他の業者の産業用機械がコントローラ30の制御下にある危険源に接近し得る場合である。かかる場合には当該他の業者の産業用機械を保護対象とし、危険源との接触を回避する必要がある。この場合、上記各実施形態のように、コントローラ30の制御下にある危険源に危険回避動作を行わせてもよいが、その代わりに、例えば危険源からその危険源に接近している他の業者の産業用機械に対して、危険回避動作を指示する指令を無線送信し、他の業者の産業用機械に危険回避動作を行わせてもよい。すなわち、危険源は、危険回避動作として、保護対象である他の業者の産業用機械に危険回避動作を指示する動作を行うのである。あるいは、危険源が他の産業用機械と協力して危険回避動作を行ってもよい。例えば危険源が動作速度を低下させる危険回避動作を行うとともに、保護対象である他の業者の産業用機械にも動作速度を低下させる危険回避動作を行う態様が考えられる。この場合、保護対象の協力が得られるか否かにより、危険源が行う危険回避動作の態様を変化させてもよい。例えば保護対象たる他の業者の産業用機械が危険源からの指令に従って危険回避動作を行う場合、図7のA3のように処理能力の低下の少ない態様で危険源に危険回避動作を行わせる。一方、例えば保護対象たる他の業者の産業用機械が危険源からの指令を受け取って危険回避動作を行う能力を有していない場合等、保護対象の協力が得られない場合には、図7のA2のように処理能力の低下が大きいが高い安全性の得られる態様で危険源に危険回避動作を行わせるのである。この態様によれば、可能な限り、危険源の処理能力の低下を抑えて、危険回避動作を行わせることができる。

【符号の説明】

【0076】

1, 1A…安全制御システム、10, 10A…安全空間監視装置、11…撮像機器、12…画像処理装置、13…異常検出部、14, 14A…安全信号出力部、15…外部通信I/F装置、20, 20A…安全コントローラ、30…コントローラ、40-k…安全ドライバ機器、50-k…アクチュエータ、60, 60A…安全センサ、70…安全バス、75…安全ワイヤ。

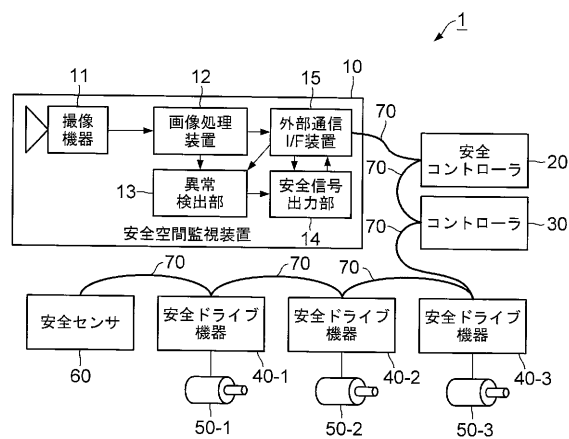
10

20

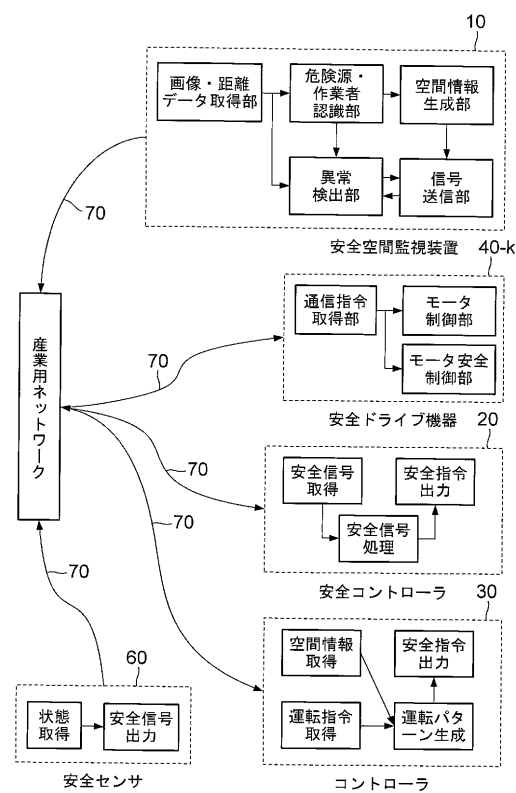
30

40

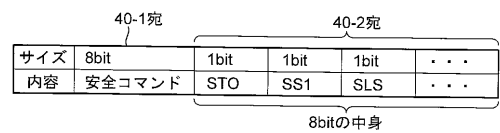
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

安全機能	名称	内容
STO	安全トルクオフ	安全ドライブ機器からアクチュエータへの電力を遮断する。アクチュエータのフリーラン停止。
SLS	安全速度制限	アクチュエータを設定した速度に制限する運転を行なう
SS1	安全停止1	ある設定された減速時間で減速させてアクチュエータを停止させる。フリーラン停止とは異なる。

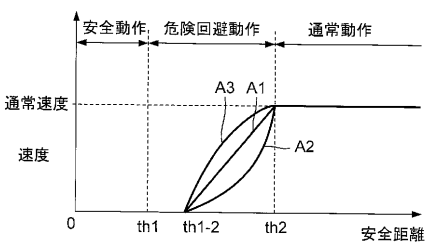
【 図 5 】

項目	データ例
作業員#1	3次元空間内の作業員の位置 作業員のサイズ
作業員#n	3次元空間内の作業員の位置 作業員のサイズ
危険源#1	3次元空間内の危険源の位置 危険源のサイズ

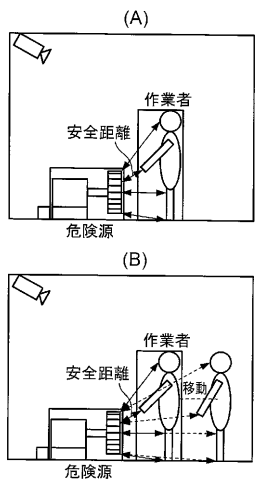
【 図 6 】

故障箇所	故障検出方法	目的
画像処理装置 (CPU, RAM, ROM, クロック、プログラム)	メモリ、ROMチェック シーケンスチェック クロック周波数チェック 生存チェック(ウォッチドッグ)	画像処理装置のCPU自体の故障を検出する
撮像機器	画像データ診断 (ブラックアウト、ホワイトアウト、走査線飛び、色化け)、前回差分チェック	カメラの故障を検出する
画像処理装置～撮像機器間配線	断線検出、短絡検出、	画像データや距離データの流れる配線の故障を検出する
画像処理装置～産業用ネットワーク接続機器間	安全バス	産業用ネットワーク上を流れる通信データのうち、安全に係るデータの故障を検出する

【 図 7 】



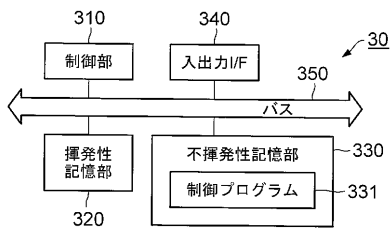
【図 8】



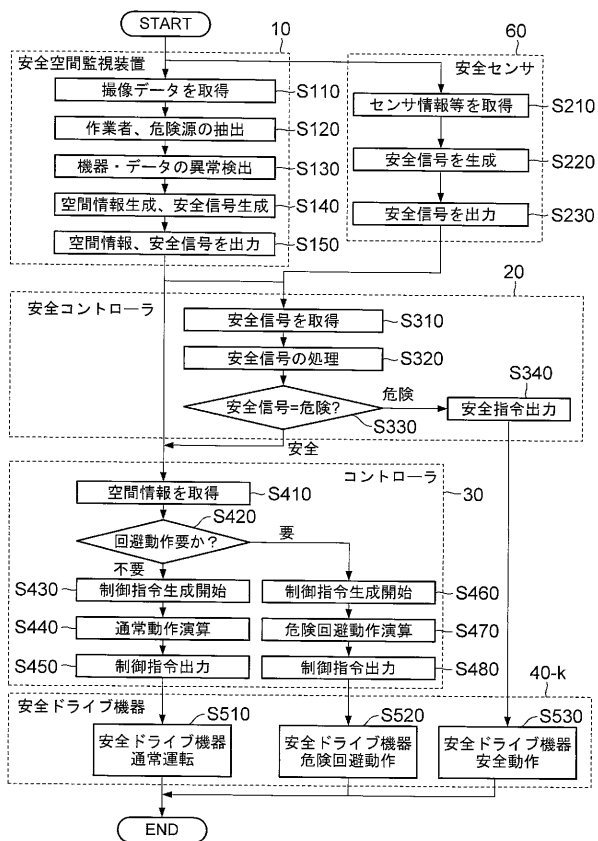
【図 1 0】

データ	送り元	送り先	備考
安全信号(指令)	安全空間監視装置	安全コントローラ 安全ドライブ機器	STO,SS1,SLS等の安全信号
安全距離	安全空間監視装置	コントローラ	危険源と人体の距離
空間情報	安全空間監視装置	コントローラ	危険源、人体の位置関係、大きさ
制御指令	コントローラ	安全ドライブ機器	速度指令、位置指令、トルク指令、運転停止指令
状態信号	安全ドライブ機器	コントローラ	現在速度、位置、トルク、運転状態データ
安全信号(応答)	安全コントローラ 安全ドライブ機器	安全空間監視装置	STO,SS1,SLS等の安全信号の応答

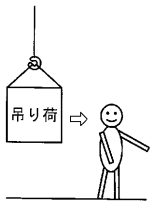
【図 9】



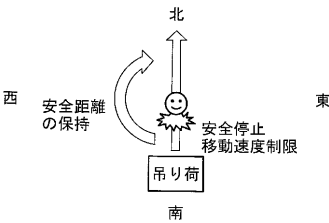
【図 1 1】



【図 1 2】



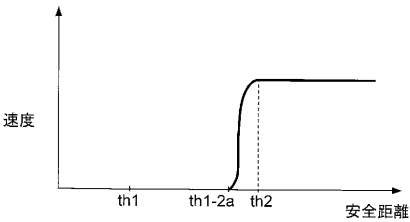
【図 1 3】



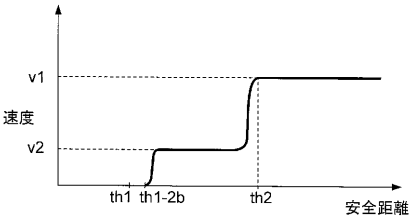
【図 1 4】

回避動作パターン	動作の内容
安全停止	急停止するなどして慣性に従って吊り荷が飛び出して危険が発生しないように、なめらかに停止動作を行う。
移動速度制限	危険が迫りつつある場合、移動速度を落として危険発生時の災害の度合を低減する。
安全距離の保持	危険を発生させないようにしつつ、作業を継続するように動作する (例えば、避けて動く等)

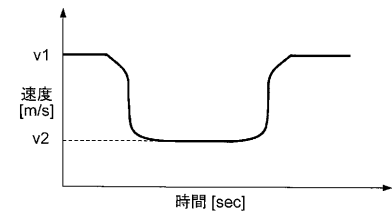
【図 1 5】



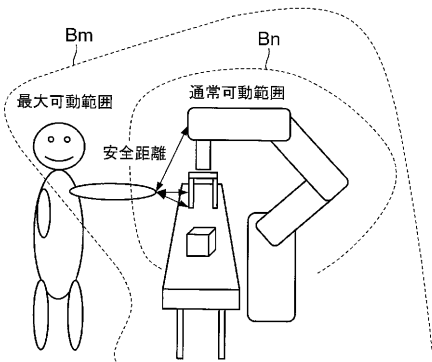
【図 1 6】



【図 1 7】



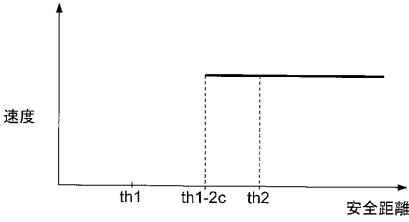
【図 2 1】



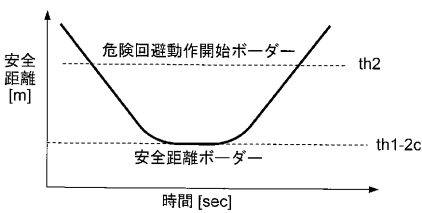
【図 2 2】

回避動作パターン	動作の内容
安全停止および軸ロック	ロボットの動作を停止し、動かないようにロックする。
パワー制限	モータを動かすパワーの上限値を下げる。
移動速度制限	ロボットの移動する速度を制限する。
安全距離の保持	安全距離を保つために、作業員からロボットが避ける動作を行う。

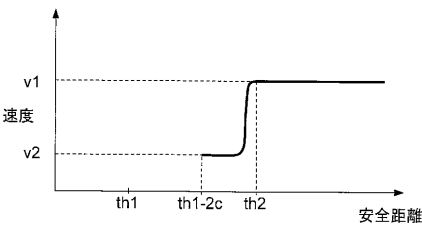
【図 1 8】



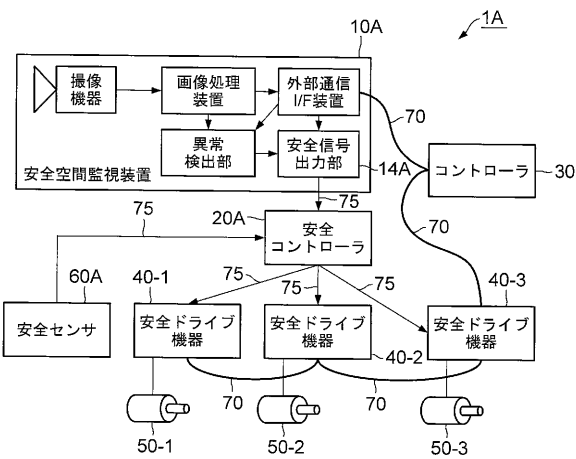
【図 1 9】



【図 2 0】



【図 2 3】



【図 24】

