

(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2020-49623  
(P2020-49623A)

(43) 公開日 令和2年4月2日(2020.4.2)

(51) Int.Cl.  
B25J 19/06 (2006.01)

F I  
B25J 19/06

テーマコード(参考)  
3C707

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2018-183905 (P2018-183905)  
(22) 出願日 平成30年9月28日(2018.9.28)

(71) 出願人 000000309  
I D E C 株式会社  
大阪府大阪市淀川区西宮原2丁目6番64号  
(74) 代理人 100103241  
弁理士 高崎 健一  
(72) 発明者 稲田 宏治  
大阪府大阪市淀川区西宮原二丁目6番64号 I D E C 株式会社内  
(72) 発明者 宮本 尚孝  
大阪府大阪市淀川区西宮原二丁目6番64号 I D E C 株式会社内  
Fターム(参考) 3C707 BS10 KS11 KS36 KT01 KT06  
KV11 MS05 MS28

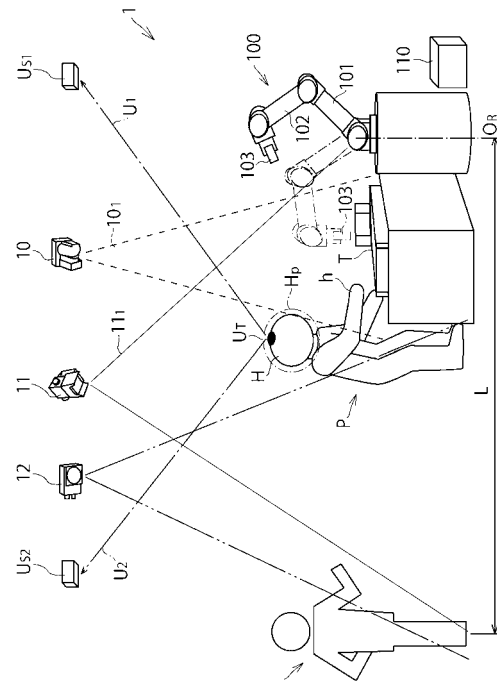
(54) 【発明の名称】 安全制御システム

(57) 【要約】

【課題】 人の頭部を機械から確実かつ効率的に保護する安全制御システムを提供する。

【解決手段】 ロボット100を安全に制御するための安全制御システム1において、作業員Pの頭部Hの位置を検出する頭部位置検出手段としてのUWBセンサU<sub>S1</sub>およびU<sub>S2</sub>と、UWBセンサU<sub>S1</sub>およびU<sub>S2</sub>により検出された頭部Hの位置から所定の頭部安全距離を設定するとともに、頭部安全距離に基づいて、頭部の周りに頭部保護領域H<sub>p</sub>を設定する頭部保護領域設定手段S4と、頭部保護領域設定手段S4で設定された頭部保護領域H<sub>p</sub>とロボット100の位置情報に基づいて、ロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部Hに接触するのを回避するようロボット100を制御する制御手段としてのロボットコントローラ110およびプログラマブルコントローラ130とを設ける。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

機械を安全に制御するための安全制御システムにおいて、  
 人の頭部の位置を検出する頭部位置検出手段と、  
 前記頭部位置検出手段により検出された頭部の位置から所定の頭部安全距離を設定するとともに、前記頭部安全距離に基づいて頭部の周りに頭部保護領域を設定する頭部保護領域設定手段と、

前記頭部保護領域設定手段で設定された前記頭部保護領域と機械の位置情報に基づいて、機械の可動部が頭部に接触するのを回避するよう機械を制御する制御手段と、  
 を備えた安全制御システム。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 において、  
 機械に対する頭部の相対位置を検出する相対位置検出手段をさらに備えた、  
 ことを特徴とする安全制御システム。

## 【請求項 3】

請求項 1 において、  
 機械の危険領域に侵入体が侵入したことを検知する侵入体検知手段をさらに備えた、  
 ことを特徴とする安全制御システム。

## 【請求項 4】

請求項 1 において、  
 前記制御手段は、人が機械の危険領域の外側にいるときは機械の可動部を相対的に高出力で運転し、人が機械の前記危険領域の内側にいるときは機械の可動部を相対的に低出力で運転するように制御している、  
 ことを特徴とする安全制御システム。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 において、  
 人の頭部以外の他部位の位置を検出する他部位位置検出手段と、  
 前記他部位位置検出手段により検出された他部位の位置から所定の他部位安全距離を設定するとともに、前記他部位安全距離に基づいて他部位の周りに他部位保護領域を設定する他部位保護領域設定手段とをさらに備え、

30

前記制御手段が、前記他部位保護領域設定手段で設定された前記他部位保護領域と機械の位置情報に基づいて、機械の可動部が他部位に接触するのを回避するよう機械を制御するとともに、前記他部位安全距離が前記頭部安全距離よりも短く設定されている、  
 ことを特徴とする安全制御システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、機械を安全に制御するための安全制御システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

装置が人と協働して作業を行うシステムとして、例えば特開 2006 - 43862 号公報に示すものでは、同公報の段落 [0015] ~ [0031] および図 1 ~ 図 3 に記載されるように、装置 (1) の位置検出器 (15a ~ 15f) と、位置検出器 (15a ~ 15f) が出力する位置情報に基づいて、装置 (1) の動作領域 (11) を算出する動作領域算出手段 (16) と、動作領域 (11) として、警報領域 (12)、減速運転領域 (13) および停止領域 (14) を設定する動作領域設定手段 (17) と、作業員 (5) の体に取り付けた発信機 (18a、18b、18c) と、装置 (1) に設けられ、発信機 (18a、18b、18c) から発信された信号を受信する受信機 (20a、20b、20c) と、受信機 (20a、20b、20c) の出力信号を演算処理することにより、作業員 (5) の装置 (1) に対する位置を検出する位置検出手段 (21) と、位置検出手段 (21)

40

50

)の出力信号を演算処理することにより、作業員(5)の動作領域(19)を設定する作業員用動作領域設定手段(22)と、動作領域設定手段(17)で設定された装置(1)の各動作領域(12、13、14)と作業員用動作領域設定手段(22)で設定された作業員(5)の動作領域(19)との位置関係に基づいて、いずれかの動作領域(12、13、14)を選択する動作領域選択手段(23)とを備えている。

【0003】

上記システムにおいては、動作領域設定手段(17)で設定された装置(1)の各動作領域(12、13、14)と、作業員用動作領域設定手段(22)で設定された作業員(5)の動作領域(19)との位置関係に基づいて(すなわち、各動作領域の重なり具合に応じて)、動作領域選択手段(23)により装置(1)の動作領域が選択され、装置(1)が警報を発したり、減速運転を行ったり、一時停止したりするようになっている。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記公報に記載のものでは、作業員(5)の動作領域(19)を設定するのに、発信機(18a、18b、18c)から発信された信号を受信機(20a、20b、20c)で受信し、受信機(20a、20b、20c)の出力信号を位置検出手段(21)で演算処理して作業員(5)の装置(1)に対する位置を検出し、位置検出手段(21)の出力信号を作業員用動作領域設定手段(22)で演算処理するようにしている。このため、処理が面倒であり、作業員の特定の部位を装置から確実に保護する観点からは必ずしも効率的なシステムとはいえない。

20

【0005】

本発明は、このような従来の実情に鑑みてなされたものであり、本発明が解決しようとする課題は、人の頭部を機械から確実にかつ効率的に保護することができる安全制御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】

本発明は、機械を安全に制御するための安全制御システムにおいて、人の頭部の位置を検出する頭部位置検出手段と、頭部位置検出手段により検出された頭部の位置から所定の頭部安全距離を設定するとともに、頭部安全距離に基づいて頭部の周りに頭部保護領域を設定する頭部保護領域設定手段と、頭部保護領域設定手段で設定された頭部保護領域と機械の位置情報に基づいて、機械の可動部が頭部に接触するのを回避するよう機械を制御する制御手段とを備えている。

30

【0007】

本発明においては、まず、頭部位置検出手段により人の頭部の位置が検出される。次に、頭部保護領域設定手段により、検出された頭部の位置から所定の頭部安全距離が設定されるとともに、頭部安全距離に基づいて頭部保護領域が設定される。次に、設定された頭部保護領域と機械の位置情報に基づいて、制御手段により、機械の可動部が頭部に接触するのを回避するよう機械が制御される。

【0008】

このように、本発明によれば、まず、人の頭部の位置を検出して頭部保護領域が設定され、次に、頭部保護領域と機械の位置情報に基づいて機械が制御されるので、頭部を機械から確実にかつ効率的に保護できるようになる。

40

【0009】

本発明では、機械に対する頭部の相対位置を検出する相対位置検出手段をさらに備えている。

【0010】

本発明では、機械の危険領域に侵入体が侵入したことを検知する侵入体検知手段をさらに備えている。

【0011】

50

本発明において、制御手段は、人が機械の危険領域の外側にいるときは機械の可動部を相対的に高出力で運転し、人が機械の危険領域の内側にいるときは機械の可動部を相対的に低出力で運転するように制御している。

【0012】

本発明では、人の頭部以外の他部位の位置を検出する他部位位置検出手段と、他部位位置検出手段により検出された他部位の位置から所定の他部位安全距離を設定するとともに、他部位安全距離に基づいて他部位の周りに他部位保護領域を設定する他部位保護領域設定手段とをさらに備え、制御手段が、他部位保護領域設定手段で設定された他部位保護領域と機械の位置情報に基づいて、機械の可動部が他部位に接触するのを回避するよう機械を制御するとともに、他部位安全距離が頭部安全距離よりも短く設定されている。

10

【発明の効果】

【0013】

以上のように、本発明によれば、まず、人の頭部の位置を検出して頭部保護領域が設定され、次に、頭部保護領域と機械の位置情報に基づいて機械が制御されるので、頭部を機械から確実に効率的に保護できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1の実施例による安全制御システムの全体斜視図である。

【図2】前記安全制御システム（図1）の概略ブロック構成図である。

【図3】前記安全制御システム（図1）の制御フローの一例を示すフローチャートである。

20

【図4】前記安全制御システム（図1）の制御フローの一例を示すフローチャートである。

【図5】前記安全制御システム（図1）において、作業者の頭部保護領域の設定の仕方の一例を説明するための図である。

【図6】前記安全制御システム（図1）において、作業者の頭部保護領域の設定の仕方の一例を説明するための図である。

【図7】本発明の第2の実施例による安全制御システムの全体斜視図である。

【図8】前記安全制御システム（図7）の概略ブロック構成図である。

【図9】前記安全制御システム（図7）において、作業者の頭部保護領域の設定の仕方の一例を説明するための図であって、前記第1の実施例の図5に相当している。

30

【図10】前記安全制御システム（図7）において、作業者の頭部保護領域の設定の仕方の一例を説明するための図であって、前記第1の実施例の図6に相当している。

【図11】本発明の第3の実施例による安全制御システムの全体斜視図である。

【図12】前記安全制御システム（図11）の概略ブロック構成図である。

【図13】本発明の第4の実施例による安全制御システムの全体斜視図である。

【図14】前記安全制御システム（図13）の概略ブロック構成図である。

【図15】前記安全制御システム（図13）の制御フローの一例を示すフローチャートである。

【図16】前記安全制御システム（図13）の制御フローの一例を示すフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施例を添付図面に基づいて説明する。

< 第1の実施例 >

図1ないし図6は、本発明の第1の実施例による安全制御システムを説明するための図である。ここでは、機械として、垂直多関節ロボットを例にとる。

【0016】

図1において、本実施例による安全制御システム1は、ロボット100を安全に制御するためのものであって、作業員Pの近傍でロボット100が協働作業を行う際に、作業員

50

Pのとくに頭部Hを効果的に保護するためのシステムである。同図に示すように、ロボット100は、アーム(可動部)101、102と、アーム102の先端に取り付けられたエンドエフェクタ(可動部)103とを有しており、エンドエフェクタ103をテーブルTに対して繰り返し接近・離反させることにより作業を行っている。ロボット100の側方には、ロボットコントローラ110が配置されている。ロボットコントローラ110には、ロボット100の動作状態やエンドエフェクタ103の可動中心(TCP: Tool Center Point)等のリアルタイム情報が常時入力されている。なお、アーム101の基端軸の中心位置 $O_R$ を中心として床面上に描いた半径Lの円の領域が危険領域として設定されており、半径Lとしては例えば2mに設定される。

#### 【0017】

作業員Pの頭部H(好ましくは頭頂部)には、UWB(Ultra Wide Band: 超広帯域無線通信)タグ $U_T$ が取り付けられている。UWBタグ $U_T$ は作業員Pの例えば作業帽やヘルメット等に固定されている。作業員Pの上方には、UWBタグ $U_T$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ をそれぞれ受信するUWBセンサ1( $U_{S1}$ )(頭部位置検出手段)およびUWBセンサ2( $U_{S2}$ )(頭部位置検出手段)が所定の間隔を隔てて設置されている。本安全制御システム1においては、UWBタグ $U_T$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ の各UWBセンサ $U_{S1}$ および $U_{S2}$ に対する入射角度や到達時間差に基づいてUWBタグ $U_T$ (したがって作業員Pの頭部H)のリアルタイムの三次元位置を測距する。

#### 【0018】

作業員Pの上方には、3D LiDAR(Light Detection And Ranging: 光検知・測距)10が設置されている。3D LiDAR10は、下方のテーブルTに向けてレーザーパルス $10_1$ を出射し、戻ってくるレーザーパルスを受信する。本安全制御システム1においては、3D LiDAR10で受信されたレーザーパルスに基づいて、テーブルTの近傍領域の3Dイメージを作成する。すなわち、テーブルTの近傍において作業員Pの手部hおよびロボット100のエンドエフェクタ103のリアルタイム画像が作成される。これにより、作業中の作業員Pの手部hおよびロボット100のエンドエフェクタ103の位置関係が分かるようになっている。

#### 【0019】

危険領域の上方には、プロジェクタ11が設置されている。プロジェクタ11は、作業員Pの周囲の領域、例えば危険領域にプロジェクションマッピングを行うものであって、例えば黄色光や赤色光等の光 $11_1$ を照射することにより、危険領域に侵入する侵入者Iの注意を喚起する。さらに、危険領域の上方には、2Dカメラ12が設置されている。2Dカメラ12は、危険領域に侵入する侵入者Iを検知するためのものである。

#### 【0020】

次に、安全制御システム1の概略ブロック構成を図2に示す。

同図に示すように、安全制御システム1は、各種プログラミングやデータ入力、出力表示等を行うパソコン(PC)100と、これに接続されたプログラマブルコントローラ(PLC)130およびロボットコントローラ(RC)110とを備えている。PLC130/RC110には、ロボット制御プログラムが格納される。また、PLC130およびRC110には、UWBセンサ1( $U_{S1}$ )、UWBセンサ2( $U_{S2}$ )、3D LiDAR10、プロジェクタ11、2Dカメラ12、アクチュエータやモータを含むロボット駆動部140およびランプ/ブザー150が接続されている。

#### 【0021】

図3および図4は、安全制御システム1の制御フローの一例を示している。

プログラムがスタートすると、図3のステップS1において、ロボット制御プログラムを読み込む。次に、ステップS2において、スタート/リセットボタンがONされるのを待つ。ステップS2でスタート/リセットボタンがONされれば、ステップS3に移行する。

#### 【0022】

ステップS3では、頭部位置の検出を行う。この場合には、作業員P(図1)の頭部H

10

20

30

40

50

に取り付けられたUWBタグ $U_T$ から発信されるUWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ をUWBセンサ $U_{S1}$ および $U_{S2}$ により受信し、UWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ のUWBセンサ $U_{S1}$ および $U_{S2}$ に対する入射角度や到達時間差に基づいて、UWBタグ $U_T$ （したがって作業員Pの頭部H、正確には頭部Hの頭頂部）のリアルタイムの三次元位置を測距する。これにより、作業員Pの頭部Hの位置が検出される。次に、ステップS4では、ステップS3で検出された頭部Hの位置情報に基づいて、頭部保護領域 $H_p$ を設定する。

#### 【0023】

頭部保護領域 $H_p$ の設定について、図5および図6を用いて説明する。

図5は、図1から作業員Pの頭部Hを取り出して示す図であって、頭部Hの頭頂部にUWBタグ $U_T$ が取り付けられた状態が示されている。上述したように、UWBタグ $U_T$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ を受信して処理することにより、まず、UWBタグ $U_T$ の三次元位置、したがって頭部Hの頭頂部の三次元位置が検出される（図3のステップS3）。なお、図5中には、UWBタグ $U_T$ の三次元直交座標系（ $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）が記されているが、この座標系は、ロボット100の三次元直交座標系を所定方向に所定距離だけ平行移動したものに相当している。したがって、この場合、頭部Hの頭頂部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能である。

10

#### 【0024】

次に、頭部Hを球体と仮定し、頭頂部の位置から内方、つまり $z$ 軸のマイナス方向に距離 $d$ だけ離れた位置に頭部Hの中心 $O_p$ があると推定する。なお、この例では、簡略化のために、 $x$ 、 $y$ 軸方向へのずれは無視する。そして、図5中の二点鎖線で示すように、点 $O_p$ を中心としかつ半径 $R$ （ $= d + \quad$ ）の球面を描く。ここで、距離 $d$ に加える距離は、頭部Hの個体差および測定誤差等を考慮しつつ頭部Hの周囲に頭部保護領域を設定するための頭部安全距離であって、例えば数十cm（一例として20～30cm程度）に設定される（図5では図示の便宜上、距離を小さめに記載している（図1についても同様））。これにより、図6に示すように、点 $O_p$ を中心としかつ半径 $R$ の球面で囲まれた斜線領域（三次元空間領域）が頭部保護領域 $H_p$ として設定される（図1参照）。

20

#### 【0025】

次に、図3のステップS5において、ロボット100の可動部、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼働時に頭部保護領域 $H_p$ と干渉するか否か、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域 $H_p$ の内部まで進入するか否かを判断する。ステップS5において、干渉すると判断されれば、ステップS6に移行する。ステップS6では、ディスプレイに警告メッセージを表示させたり、警告灯を点灯させたりする警告表示を行う。ステップS6での処理後、ステップS2に戻り、ステップS2でスタート/リセットボタンがONされれば、再びステップS3～ステップS5の処理を行う。

30

#### 【0026】

ステップS5において、アーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼働時に頭部保護領域 $H_p$ と干渉しないと判断されれば、ステップS7に移行して、ロボット100の運転を開始する。次に、ステップS8では、作業員Pの頭部Hの位置の検出を行い、これに続いてステップS9では、ステップS8で検出された頭部Hの位置情報に基づいて、頭部保護領域 $H_p$ を設定する。ステップS8、S9の各処理は、上述したステップS3、S4の各処理と同様である。

40

#### 【0027】

次に、ステップS10では、ロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼働中に頭部保護領域 $H_p$ と干渉するか否か、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域 $H_p$ の内部まで進入するか否かを判断する。ステップS10において、干渉しないと判断されれば、ステップS8に戻り、ステップS8～ステップS10の処理を繰り返す。すなわち、ロボット100の稼働中には、常時、作業員Pの頭部Hの

50

位置が検出されてリアルタイムの三次元位置が測距されるとともに、その測距結果に基づいてリアルタイムの頭部保護領域  $H_p$  が設定されており、ロボット 100 の稼動中にアーム 101、102、エンドエフェクタ 103 が頭部保護領域  $H_p$  と干渉しない限り、ロボット 100 の運転が継続して行われることになる。

#### 【0028】

ステップ S10 において、アーム 101、102、エンドエフェクタ 103 が頭部保護領域  $H_p$  と干渉すると判断されれば、プログラムは図 4 のステップ S11 に移行する。ステップ S11 では、ロボット 100 の運転を停止させる。

#### 【0029】

次に、ステップ S12 では、スタート/リセットボタンが ON されるのを待つ。スタート/リセットボタンが ON されれば、ステップ S13 に移行して、作業員 P の頭部 H の位置を検出し、次に、ステップ S14 では、ステップ S13 で検出された頭部 H の位置情報に基づいて、頭部保護領域  $H_p$  を設定する。ステップ S13、S14 の各処理は、上述したステップ S3、S4 の各処理と同様である。

10

#### 【0030】

次に、ステップ S15 では、ロボット 100 のアーム 101、102、エンドエフェクタ 103 がロボット 100 の稼動時に頭部保護領域  $H_p$  と干渉するか否か、すなわち、アーム 101、102、エンドエフェクタ 103 が頭部保護領域  $H_p$  の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域  $H_p$  の内部まで進入するか否かを判断する。ステップ S15 において、干渉すると判断されれば、ステップ S16 に移行する。ステップ S16 では、ディスプレイに警告メッセージを表示させたり、警告灯を点灯させたりする警告表示を行う。ステップ S16 での処理後、ステップ S12 に戻り、ステップ S12 でスタート/リセットボタンが ON されれば、再びステップ S13 ~ ステップ S15 の処理を行う。

20

#### 【0031】

ステップ S15 において、アーム 101、102、エンドエフェクタ 103 がロボット 100 の稼動時に頭部保護領域  $H_p$  と干渉しないと判断されれば、ステップ S17 に移行して、ロボット 100 の運転を再開する。運転再開後、プログラムは図 3 のステップ S8 に戻る。そして、ステップ S10 においてアーム 101、102、エンドエフェクタ 103 が頭部保護領域  $H_p$  と干渉すると判断されない限り、ステップ S8 ~ ステップ S10 の処理が繰り返されて、ロボット 100 の運転が継続して行われる。

30

#### 【0032】

ここで、図 1 に示したように、アーム 101 の基端軸の中心位置  $O_R$  を中心として床面上に描いた半径 L の円の領域を危険領域として設定したが、この危険領域内に例えば侵入者 I が侵入したとき、この侵入は、危険領域の上方に設置された 2D カメラ 12 により検知される。上述したフローチャートでは、侵入者 I を検知した場合の制御についてまで触れていないが、この場合、例えば次のような制御を行うようにしてもよい。すなわち、侵入者 I が危険領域の外側にいるときはロボット 100 の可動部（アーム 101、102、エンドエフェクタ 103）を相対的に高出力で運転（例えば高速運転/大トルクで運転）し、侵入者 I が危険領域内にいるときはロボット 100 の可動部を相対的に低出力で運転（例えば中・低速運転/中・小トルクで運転）するように制御する。さらに、侵入者 I が危険領域内にいてロボット 100 に接近する場合には、侵入者 I とロボット 100 の距離に応じて可動部の速度をリニアに（つまり距離に比例して）または段階的に（つまりステップ状に）減速させるように制御する。これにより、安全性を確保しつつ、作業効率（例えば生産効率）を低下させることなく、効率よくロボット 100 を稼動できるようになる。

40

#### 【0033】

また、ロボット 100 の稼動時には、3D LiDAR 10 を用いて作成された作業員 P の手部 h およびロボット 100 のエンドエフェクタ 103 のリアルタイム画像を解析することにより、エンドエフェクタ 103 が手部 h と接触するか否かについても判断するようにしてもよく、その場合、接触すると判断された際に、エンドエフェクタ 103 を減速運転に

50

切り替えたり、または停止させたりするようにしてもよい。

【0034】

このように本実施例によれば、まず、作業員Pの頭部Hの位置を検出して頭部保護領域 $H_p$ が設定され、次に、頭部保護領域 $H_p$ とロボット100の可動部、つまりアーム101、102、エンドエフェクタ103の位置情報に基づいて、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ と干渉しないようにロボット100が制御される、すなわち、ロボット100の運転開始前には警告表示を行い、ロボット100の稼働中にはロボット100を停止させるので、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部Hと接触するのを確実に回避でき、頭部Hをロボット100から確実にかつ効率的に保護できるようになる。

10

【0035】

さらに、本実施例によれば、作業員Pの頭部Hの頭頂部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能であり、そのため、製造/組立等のラインの組み替え等の際には、ロボット100の可動部の位置データを変更することなく、作業員Pの頭部保護領域 $H_p$ の位置をロボット100に認識させれば足りるので、ラインの組み換え等を容易に行えるようになる。

【0036】

<第2の実施例>

図7ないし図10は、本発明の第2の実施例による安全制御システムを説明するための図である。これらの図において、前記第1の実施例と同一符号は同一または相当部分を示している。

20

【0037】

この第2の実施例では、図7に示すように、作業員Pの頭部H（例えば左右の側頭部）に2つのUWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ が取り付けられている点、侵入者Iを検知するのに2Dカメラではなくレーザースキャナ15を設置している点、テーブルTの近傍領域において作業員Pの手部hとロボット100のエンドエフェクタ103の位置関係を示す画像を3DLiDAR10ではなく2Dカメラ12で取得するようにしている点が前記第1の実施例とは異なっている。このため、図8に示すように、PLC130およびRC110には、新たにレーザースキャナ15が接続されている。また、図7に示すように、UWBセンサ1( $U_{S1}$ )は、UWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_1'$ を受信しており、UWBセンサ2( $U_{S2}$ )は、UWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ から発信されたUWB信号 $U_2$ 、 $U_2'$ を受信している。したがって、本安全制御システム1においては、UWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_1'$ 、 $U_2$ 、 $U_2'$ のUWBセンサ $U_{S1}$ および $U_{S2}$ に対する入射角度や到達時間差に基づいてUWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ （したがって作業員Pの両側頭部）のリアルタイムの三次元位置を測距する。なお、前記第1の実施例で設置されていたプロジェクタ11は省略されているが、これは設置するようにしてもよい。

30

【0038】

本実施例による安全制御システム1の制御フローは、前記第1の実施例と同様であるが、前記第1の実施例の図3、図4中のステップS3、S8、S13における頭部位置の検出の仕方、およびステップS4、S9、S14における頭部保護領域の設定の仕方が前記第1の実施例とは異なっている。

40

【0039】

本実施例による頭部保護領域 $H_p$ の設定の仕方について、図9および図10を用いて説明する。

図9は、図7から作業員Pの頭部Hを取り出して示す図であって、頭部Hの左右2箇所（ここでは両側頭部）の位置にそれぞれUWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ が取り付けられた状態が示されている（実線で示されたUWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ 参照）。上述したように、UWBタグ $U_{T1}$ から発信されたUWB信号 $U_1$ 、 $U_2$ を受信して処理することにより、UWBタグ $U_{T1}$ の三次元位置、したがって一方の側頭部の三次元位置が検出され、同様に

50

、UWBタグ $U_{T2}$ から発信されたUWB信号 $U_{1'}$ 、 $U_{2'}$ を受信して処理することにより、UWBタグ $U_{T2}$ の三次元位置、したがって他方の頭頂部の三次元位置が検出される。なお、図9中には、UWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ の三次元直交座標系( $x$ 、 $y$ 、 $z$ )が記されているが、この座標系は、ロボット100の三次元直交座標系を所定方向に所定距離だけ平行移動したものに相当しており、そのため、前記第1の実施例と同様に、頭部Hの両側頭部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能である。

#### 【0040】

次に、頭部Hを球体と仮定したとき、球面上で相対する2個所の三次元位置が測距されたことになるので、これに基づいて、頭部Hの中心 $O_{P1}$ および仮想半径 $d$ を求めることができる。そして、図9中の二点鎖線で示すように、点 $O_{P1}$ を中心としかつ半径 $R$ ( $=d + \quad$ )の球面を描く。ここで、仮想半径 $d$ に加える距離は、前記第1の実施例の場合と同様に、頭部Hの個体差および測定誤差等を考慮しつつ頭部Hの周囲に頭部保護領域を設定するための頭部安全距離であって、例えば数十cm(一例として20~30cm程度)に設定される(図9では図示の便宜上、距離を小さめに記載している(図7についても同様))。これにより、図10に示すように、点 $O_{P1}$ を中心としかつ半径 $R$ の球面で囲まれた斜線領域(三次元空間領域)が頭部保護領域 $H_p$ として設定される(図7参照)。

10

#### 【0041】

なお、図9中に一点鎖線で示すように、UWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ が同図中の実線位置よりも若干頭頂部寄りの位置に配置されていた場合には、これらのUWBタグ $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ からUWBセンサ $U_{S1}$ 、UWBセンサ $U_{S2}$ に向けて発信される各UWB信号がなす角度を求めることにより、中心 $O_{P1}$ を求めることが可能である。

20

#### 【0042】

また、ロボット100の稼動時には、2Dカメラ12で撮影された作業員Pの手部 $h$ およびロボット100のエンドエフェクタ103のリアルタイム画像を解析することにより、エンドエフェクタ103が手部 $h$ と接触するか否かについても判断するようにしてもよく、その場合、接触すると判断された際に、エンドエフェクタ103を減速運転に切り替えたり、または停止させたりするようにしてもよい。

#### 【0043】

このように本実施例によれば、前記第1の実施例と同様に、まず、作業員Pの頭部Hの位置を検出して頭部保護領域 $H_p$ が設定され、次に、頭部保護領域 $H_p$ とロボット100の可動部、つまりアーム101、102、エンドエフェクタ103の位置情報に基づいて、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ と干渉しないようにロボット100が制御されるので、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部Hと接触するのを確実に回避でき、頭部Hをロボット100から確実にかつ効率的に保護できるようになる。しかも、本実施例によれば、頭部Hの2個所の位置を検出するので、正確に頭部保護領域 $H_p$ を設定できるようになる。

30

#### 【0044】

さらに、本実施例によれば、作業員Pの頭部Hの両側頭部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能であり、そのため、製造/組立等のラインの組み替え等の際には、ロボット100の可動部の位置データを変更することなく、作業員Pの頭部保護領域 $H_p$ の位置をロボット100に認識させれば足りるので、ラインの組み換え等を容易に行えるようになる。

40

#### 【0045】

<第3の実施例>

図11および図12は、本発明の第3の実施例による安全制御システムを説明するための図である。これらの図において、前記第1、第2の実施例と同一符号は同一または相当部分を示している。

#### 【0046】

50

前記第2の実施例では、テーブルTの近傍領域において作業者Pの手部hとロボット100のエンドエフェクタ103の位置関係を示すデータを2Dカメラ12で撮影した画像から取得するようにした例を示したが、この第3の実施例では、手部h（または手部hに装着した手袋）にRFIDタグ $R_{ft}$ を、エンドエフェクタ103にRFIDタグアンテナ $R_{fa}$ をそれぞれ取り付け、RFIDタグアンテナ $R_{fa}$ によりRFIDタグ $R_{ft}$ を検知することにより、RFIDタグ $R_{ft}$ の位置（したがって手部h）の位置を検出している。このため、図12に示すように、PLC130およびRC110には、新たにRFIDタグアンテナ $R_{fa}$ が接続されている。

【0047】

本実施例による安全制御システム1の制御フローは、前記第2の実施例と同様であって、頭部位置の検出の仕方や頭部保護領域の設定の仕方についても同様である。したがって、本実施例によれば、前記第2の実施例と同様に、まず、作業者Pの頭部Hの位置を検出して頭部保護領域 $H_p$ が設定され、次に、頭部保護領域 $H_p$ とロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103の位置情報に基づいて、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ と干渉しないようにロボット100が制御されるので、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部Hと接触するのを確実に回避でき、頭部Hをロボット100から確実にかつ効率的に保護できるようになる。しかも、本実施例によれば、頭部Hの2個所の位置を検出するので、頭部Hの動きに応じてより正確に頭部保護領域 $H_p$ を設定できるようになる。

10

【0048】

さらに、本実施例によれば、作業者Pの頭部Hの両側頭部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能であり、そのため、製造/組立等のラインの組み替え等の際には、ロボット100の可動部の位置データを変更することなく、作業者Pの頭部保護領域 $H_p$ の位置をロボット100に認識させれば足りるので、ラインの組み換え等を容易に行えるようになる。

20

【0049】

また、ロボット100の稼動時には、RFIDタグアンテナ $R_{fa}$ でRFIDタグ $R_{ft}$ の位置を検出することにより、エンドエフェクタ103が手部hと接触するか否かについても判断することができ、その場合、接触すると判断された場合に、エンドエフェクタ103を減速運転に切り替えたり、または停止させたりすることが可能である。これにより、頭部Hのみならず、手部hについても確実にかつ効率的に保護できるようになる。

30

【0050】

<第4の実施例>

図13ないし図16は、本発明の第4の実施例による安全制御システムを説明するための図である。これらの図において、前記第1ないし第3の実施例と同一符号は同一または相当部分を示している。

【0051】

前記第3の実施例では、テーブルTの近傍領域においてロボット100のエンドエフェクタ103に対する作業者Pの手部hの相対位置を検出する際に、エンドエフェクタ103側のRFIDタグアンテナ $R_{fa}$ が手部h側のRFIDタグ $R_{ft}$ を検知することでRFIDタグ $R_{ft}$ の位置（したがって手部h）の位置を検出するようにした例を示したが、この第4の実施例では、手部h（または手部hに装着した手袋の例えば甲部分）にUWBタグ $U_{T3}$ を取り付け、UWBタグ $U_{T3}$ から発信されたUWB信号 $U_3$ 、 $U_3'$ をそれぞれUWBセンサ $U_{S1}$ 、 $U_{S2}$ （他部位位置検出手段）で受信するようにしている。本安全制御システム1においては、UWBタグ $U_{T3}$ から発信されたUWB信号 $U_3$ 、 $U_3'$ のUWBセンサ $U_{S1}$ および $U_{S2}$ に対する入射角度や到達時間差に基づいてUWBタグ $U_{T3}$ （したがって作業者Pの手部h、正確には手部hの甲部分）のリアルタイムの三次元位置を測距する。また、安全制御システム1の制御ブロック構成は図14に示すとおりである。

40

【0052】

50

次に、安全制御システム 1 の制御フローの一例について、図 15 および図 16 を用いて説明する。

プログラムがスタートすると、図 15 のステップ T 1 において、ロボット制御プログラムを読み込む。次に、ステップ T 2 において、スタート/リセットボタンが ON されるのを待つ。ステップ T 2 でスタート/リセットボタンが ON されれば、ステップ T 3 に移行する。

【 0 0 5 3 】

ステップ T 3 では、頭部位置の検出を行う。この場合には、作業員 P (図 13) の頭部 H の 2 個所の位置 (例えば両側頭部の位置) に取り付けられた UWB タグ  $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$  からそれぞれ発信される UWB 信号  $U_1$ 、 $U_2$  および  $U_1'$ 、 $U_2'$  を UWB センサ  $U_{S1}$  および  $U_{S2}$  により受信し、UWB 信号  $U_1$ 、 $U_1'$  および  $U_2$ 、 $U_2'$  の UWB センサ  $U_{S1}$  および  $U_{S2}$  に対する入射角度や到達時間差に基づいて、UWB タグ  $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$  (したがって作業員 P の頭部 H、正確には頭部 H の両側頭部) のリアルタイムの三次元位置を測距する。これにより、作業員 P の頭部 H の両側頭部の位置が検出される。次に、ステップ T 4 では、ステップ T 3 で検出された頭部 H の位置情報に基づいて、頭部保護領域  $H_p$  を設定する。

10

【 0 0 5 4 】

頭部保護領域  $H_p$  の設定については、前記第 2 の実施例の図 9、図 10 に示したものと同様である。すなわち、UWB タグ  $U_{T1}$  から発信された UWB 信号  $U_1$ 、 $U_2$  を受信して処理することにより、UWB タグ  $U_{T1}$  の三次元位置、したがって一方の側頭部の三次元位置が検出され、同様に、UWB タグ  $U_{T2}$  から発信された UWB 信号  $U_1'$ 、 $U_2'$  を受信して処理することにより、UWB タグ  $U_{T2}$  の三次元位置、したがって他方の側頭部の三次元位置が検出される。次に、頭部 H を球体と仮定したとき、球面上で相対する 2 個所の三次元位置が測距されたことになるので、これに基づいて、頭部 H の中心  $O_{P1}$  および仮想半径が求まる。そして、頭部 H の個体差および測定誤差等を考慮しつつ頭部 H の周囲に頭部保護領域を設定するための頭部安全距離を設定するとともに、この距離を加味した三次元空間領域を頭部保護領域  $H_p$  として設定する (図 13 参照)。

20

【 0 0 5 5 】

次に、図 15 のステップ T 5 において、手部位置の検出を行う。この場合には、作業員 P (図 13) の手部 h に取り付けられた UWB タグ  $U_{T3}$  から発信される UWB 信号  $U_3$ 、 $U_3'$  を UWB センサ  $U_{S1}$  および  $U_{S2}$  により受信し、UWB 信号  $U_3$ 、 $U_3'$  の UWB センサ  $U_{S1}$  および  $U_{S2}$  に対する入射角度や到達時間差に基づいて、UWB タグ  $U_{T3}$  (したがって作業員 P の手部 h、正確には手部 h の甲部分) のリアルタイムの三次元位置を測距する。これにより、作業員 P の手部 h の位置が検出される。次に、ステップ T 6 では、ステップ T 5 で検出された手部 h の位置情報に基づいて、手部保護領域  $h_p$  を設定する。

30

【 0 0 5 6 】

手部保護領域  $h_p$  の設定については、上述したように、UWB タグ  $U_{T3}$  から発信された UWB 信号  $U_3$ 、 $U_3'$  を受信して処理することにより、まず、UWB タグ  $U_{T3}$  の三次元位置、つまり手部 h (正確には手部 h の甲部分) の三次元位置が検出される (図 15 のステップ T 5)。次に、手部 h を球体と仮定したとき、球面上の三次元位置が測距されたことになるので、図 5 と同様の手法で、手部 h の中心および仮想半径を求めることができる。そして、手部 h の個体差および測定誤差等を考慮しつつ手部 h の周囲に手部保護領域を設定するための手部安全距離 (他部位安全距離) を設定する。この手部安全距離としては、例えば数 cm ~ 数十 cm (一例として 5 ~ 10 cm 程度) に設定される。手部安全距離は頭部安全距離よりも小さくなっている。次に、仮想半径に手部安全距離を加味した三次元空間領域を手部保護領域  $h_p$  として手部 h の周りに設定する (図 13 参照)。

40

【 0 0 5 7 】

次に、ステップ T 7 において、ロボット 100 の可動部、つまりアーム 101、102

50

、エンドエフェクタ103がロボット100の稼動時に頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉するか否か、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の内部まで進入するか否かを判断する。ステップT7において、干渉すると判断されれば、ステップT8に移行する。ステップT8では、ディスプレイに警告メッセージを表示させたり、警告灯を点灯させたりする警告表示を行う。ステップT8での処理後、ステップT2に戻り、ステップT2でスタート/リセットボタンがONされれば、再びステップT3～ステップT7の処理を行う。

**【0058】**

ステップT7において、アーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼動時に頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉しないと判断されれば、ステップT9に移行して、ロボット100の運転を開始する。次に、ステップT10では、作業員Pの頭部Hの位置の検出を行い、これに続いてステップT11では、ステップT10で検出された頭部Hの位置情報に基づいて、頭部保護領域 $H_p$ を設定する。ステップT10、T11の各処理は、上述したステップT3、T4の各処理と同様である。

10

**【0059】**

次に、ステップT12では、作業員Pの手部hの位置の検出を行い、これに続いてステップT13では、ステップT12で検出された手部hの位置情報に基づいて、手部保護領域 $h_p$ を設定する。ステップT12、T13の各処理は、上述したステップT5、T6の各処理と同様である。

20

**【0060】**

次に、図16のステップT14では、ロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼動中に頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉するか否か、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の内部まで進入するか否かを判断する。ステップT14において、干渉しないと判断されれば、図15のステップT10に戻り、ステップT10～ステップT14の処理を繰り返す。すなわち、ロボット100の稼動中には、常時、作業員Pの頭部Hおよび手部hの位置が検出されてそれぞれのリアルタイムの三次元位置が測距されるとともに、それらの測距結果に基づいてリアルタイムの頭部保護領域 $H_p$ および手部保護領域 $h_p$ が設定されており、ロボット100の稼動中にアーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉しない限り、ロボット100の運転が継続して行われることになる。

30

**【0061】**

ステップT14において、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉すると判断されれば、ステップT15に移行する。ステップT15では、ロボット100の運転を停止させる。

**【0062】**

次に、ステップT16では、スタート/リセットボタンがONされるのを待つ。スタート/リセットボタンがONされれば、ステップT17に移行して、作業員Pの頭部Hの位置を検出し、次に、ステップT18では、ステップT17で取得された頭部Hの位置情報に基づいて、頭部保護領域 $H_p$ を設定する。ステップT17、T18の各処理は、上述したステップT3、T4の各処理と同様である。

40

**【0063】**

次に、ステップT19では、作業員Pの手部hの位置の検出を行い、これに続いてステップT20では、ステップT19で取得された手部hの位置情報に基づいて、手部保護領域 $h_p$ を設定する。ステップT19、T20の各処理は、上述したステップT5、T6の各処理と同様である。

**【0064】**

次に、ステップT21では、ロボット100のアーム101、102、エンドエフェク

50

タ103がロボット100の稼動時に頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉するか否か、すなわち、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の外縁と接触するか否か、または頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ の内部まで進入するか否かを判断する。ステップT21において、干渉すると判断されれば、ステップT22に移行する。ステップT22では、ディスプレイに警告メッセージを表示させたり、警告灯を点灯させたりする警告表示を行う。ステップT22での処理後、ステップT16に戻り、ステップT16でスタート/リセットボタンがONされれば、再びステップT17～ステップT21の処理を行う。

#### 【0065】

ステップT21において、アーム101、102、エンドエフェクタ103がロボット100の稼動時に頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉しないと判断されれば、ステップT23に移行して、ロボット100の運転を再開する。運転再開後、プログラムは図15のステップT10に戻る。そして、ステップT14においてアーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ または手部保護領域 $h_p$ と干渉すると判断されない限り、ステップT10～ステップT14の処理が繰り返されて、ロボット100の運転が継続して行われる。

10

#### 【0066】

このように本実施例によれば、まず、作業員Pの頭部Hおよび手部hの位置を検出して頭部保護領域 $H_p$ および手部保護領域 $h_p$ が設定され、次に、頭部保護領域 $H_p$ および手部保護領域 $h_p$ とロボット100の可動部、つまりアーム101、102、エンドエフェクタ103の位置情報に基づいて、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部保護領域 $H_p$ および手部保護領域 $h_p$ と干渉しないようにロボット100が制御される、すなわち、ロボット100の運転開始前には警告表示を行い、ロボット100の稼動中にはロボット100を停止させるので、アーム101、102、エンドエフェクタ103が頭部H、手部保護領域 $h_p$ と接触するのを確実に回避でき、頭部H、手部hをロボット100から確実にかつ効率的に保護できるようになる。しかも、本実施例によれば、頭部Hに関しては2個所の位置を検出するので、正確に頭部保護領域 $H_p$ を設定できるようになる。

20

#### 【0067】

さらに、本実施例によれば、作業員Pの頭部Hの両側頭部の三次元位置は、ロボット100の三次元直交座標系を用いて表すことが可能であり、そのため、製造/組立等のラインの組み替え等の際には、ロボット100の可動部の位置データを変更することなく、作業員Pの頭部保護領域 $H_p$ および手部保護領域 $h_p$ の位置をロボット100に認識させればよいので、ラインの組み換え等を容易に行えるようになる。

30

#### 【0068】

しかも、本実施例によれば、手部安全距離 $L_{hp}$ が頭部安全距離 $L_{hp}$ よりも小さく設定されているので、ロボット100の可動部が手部hに接近して作業を行うことができるとともに、手部hに接近したことでロボット100の運転が頻繁に停止するいわゆるチョコ停止を防止でき、これにより、ロボット100の作業効率を向上できる。逆の言い方をすれば、頭部安全距離 $L_{hp}$ が手部安全距離 $L_{hp}$ よりも大きく設定されているので、頭部Hにロボット100の可動部が衝突または接触するのを確実に回避でき、頭部Hをロボット100からより確実に保護できるようになる。

40

#### 【0069】

##### 〔第1の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、作業員Pの頭部Hの位置を検出するのに、2つのUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ を用いた例を示したが、UWBセンサは3つ(またはそれ以上)設置するようにしてもよく、これにより、一層高精度の位置検出が可能になる。

#### 【0070】

##### 〔第2の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、UWBタグ $U_T$ 、 $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ 、 $U_{T3}$ およびU

50

WBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ を用いて、作業者Pの頭部H、手部hの位置を検出するようにした例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。その他のセンサ（例えば高精度レーザー距離センサ等）を用いてもよく、あるいはカメラと画像処理装置を併用するようにしてもよい。

【0071】

〔第3の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、頭部保護領域 $H_p$ として球状領域を用いた例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。球状領域以外の三次元空間領域（例えば多数の微小平面からなる球面状空間または回転楕円状空間等）を用いるようにしてもよい。

【0072】

〔第4の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、頭部Hの中心 $O_p$ 、 $O_{p1}$ を求めることで中心 $O_p$ 、 $O_{p1}$ の回りの球状領域を頭部保護領域 $H_p$ として設定した例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。頭部Hの中心 $O_p$ を求めることなく、UWBタグ $U_T$ 、 $U_{T1}$ 、 $U_{T2}$ の三次元位置、つまり頭部Hの頭頂部、両側頭部の三次元位置を基準とし、その周囲に頭部Hの個体差および測定誤差等を考慮した大きさの三次元空間領域を想定して、これを頭部保護領域 $H_p$ に設定するようにしてもよい。

【0073】

〔第5の変形例〕

前記第1の実施例の図3、図4および前記第4の実施例の図15、図16で示したフローチャートは、制御フローの一例を示しており、その他の制御フローを採用するようにしてもよい。例えば、前記第4の実施例においては、図16のステップT14、T15に示すように、ロボット100の可動部が手部保護領域 $h_p$ と干渉すると判断された場合に、頭部保護領域 $H_p$ との干渉の場合と同様に、ロボット100をすぐに停止させるようにした例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。例えば、ロボット100の可動部が手部保護領域 $h_p$ と干渉する場合にロボット100を停止させるのではなく、減速運転させるようにしてもよく、あるいは、ロボット100の可動部が手部保護領域 $h_p$ の外縁と接触するだけの場合には、ロボット100を通常運転させ、ロボット100の可動部が手部保護領域 $h_p$ の内部まで進入する場合に限って、ロボット100を減速運転または停止させるようにしてもよく、種々のやり方が考えられる。

【0074】

〔第6の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、頭部Hの頭頂部、両側頭部の三次元位置の検出の際に使用される三次元直交座標系として、ロボット100の三次元直交座標系を所定方向に所定距離だけ平行移動したものをを用いることにより、作業者Pの頭部保護領域 $H_p$ の位置をロボット100に認識させるようにした例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。頭部Hの頭頂部、両側頭部の位置とロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103の位置を3DLiDAR10や2Dカメラ12等でそれぞれ検出することにより、ロボット100に対する頭部Hの相対位置を検出し、作業者Pの頭部保護領域 $H_p$ の位置をロボット100に認識させるようにしてもよい。また、ロボット100の原点位置に別のUWBタグ（図示せず）を取り付け、当該UWBタグから発信されたUWB信号を同じUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ を用いて受信することにより、ロボット100の三次元直交座標系に対する頭部Hの位置を検出するようにしてもよい。あるいは、ロボット100のアーム101、102、エンドエフェクタ103の各位置にそれぞれUWBタグ（図示せず）を取り付け、これらのUWBタグから発信されたUWB信号を同じUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ を用いて受信することにより、ロボット100に対する頭部Hの相対位置を検出するようにしてもよい。

【0075】

〔第7の変形例〕

前記第1ないし第4の実施例では、危険領域内に侵入者（つまり人）Iが侵入した例を

10

20

30

40

50

示したが、2Dカメラ12、レーザースキャナ15による検知は、人に限らず物（例えばAGV(Automated Guided Vehicle: 無人搬送車)等)も可能である。この場合、例えばAGVにUWBタグを取り付けておくことにより、侵入体が人ではないことがロボット100側で識別できるので、AGVの接近によってはロボット100の運転速度を減速させる必要がなくなり、これにより、作業効率を低下させることなく、ロボット100を稼働できるようにする。このようにして、侵入体が人が物かに応じて適切な制御が行える。

【0076】

<第8の変形例>

前記第2ないし第4の実施例では、危険領域内への侵入者Iの侵入をレーザースキャナ15により検知するようにした例を示したが、レーザースキャナは侵入者Iまでの距離を測定することができるので、レーザースキャナ15を採用することにより、侵入者Iとロボット100との距離に応じてロボット100を効率よく運転（例えばリニアに減速したり、段階的に減速したりする等）できるようにする。また、一般にレーザースキャナは安全機器なので、侵入者IにもUWBタグを付けてこれをUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ で検出するようにすれば、レーザースキャナ15の正常動作時にUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ が反応しない場合にUWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ が故障していることが分かり、UWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ の故障診断を行えるようになって、より安全な制御システムを構築できる。なお、UWBセンサ $U_{s1}$ 、 $U_{s2}$ に他の安全機器を組み合わせるようにしてもよい。

10

【0077】

20

<第9の変形例>

前記第1および第2の実施例では、3DLiDAR10や2Dカメラ12を採用したが、これらの代わりに3Dカメラやステレオカメラ等を採用するようにしてもよい。また、前記第1の実施例では3DLiDAR10により、前記第2の実施例では2Dカメラ12により、前記第3の実施例ではRFIDタグ $R_{ft}$ およびRFIDタグアンテナ $R_{fa}$ により、作業員Pの手部hとロボット100のエンドエフェクタ103の位置関係を検出するようにした例を示したが、これら3DLiDAR10、2Dカメラ12、またはRFIDタグ $R_{ft}$ およびRFIDタグアンテナ $R_{fa}$ のいずれかを用いて、作業員Pの手部hの位置を直接検出するようにしてもよい。

【0078】

30

<第10の変形例>

前記第4の実施例では、作業員Pの頭部H以外の他部位の位置を検出する例として、作業員Pの手部hを検出するようにしたものを示したが、本発明は手部h以外の体の部位の位置を検出するものにも同様に適用可能である。また、前記第4の実施例では、手保護領域 $h_p$ として、球状領域を用いた例を示したが、本発明の適用はこれに限定されない。球状領域以外の三次元空間領域（例えば多数の微小平面からなる球面状空間または回転楕円状空間等）を用いるようにしてもよい。

【0079】

<第11の変形例>

前記第1ないし第4の実施例では、作業員Pの体に取り付けるUWBタグを作業員Pの体の部位の位置検出のみに使用した例を示したが、UWBタグから発信されるUWB信号に作業員PのID情報（例えば作業の熟練度のデータ等）を重畳するようにしてもよく、その場合には、作業員Pのレベルに応じて効率よくロボット100の運転を制御できるようにする。

40

【0080】

〔その他の変形例〕

上述した実施例および各変形例はあらゆる点で本発明の単なる例示としてのみみなされるべきものであって、限定的なものではない。本発明が関連する分野の当業者は、本明細書中に明示の記載はなくても、上述の教示内容を考慮するとき、本発明の精神および本質的な特徴部分から外れることなく、本発明の原理を採用する種々の変形例やその他の実施

50

例を構築し得る。

【0081】

〔他の適用例〕

前記実施例および前記各変形例では、本発明による安全制御システムが適用される機械として、垂直多関節ロボットを例にとって説明したが、本発明の適用はこれに限定されない。本発明による安全制御システムは、その他のロボット、例えば水平多関節ロボットやスカラロボット等にも適用でき、さらには、パワーショベル等の産業車両にも適用できる。

【産業上の利用可能性】

【0082】

10

本発明は、人の頭部を機械から確実に保護するための安全制御システムに有用である。

【符号の説明】

【0083】

1：安全制御システム

100：ロボット（機械）

101、102：アーム（可動部）

103：エンドエフェクタ（可動部）

110：ロボットコントローラ（制御手段）

20

130：プログラマブルコントローラ（制御手段）

U<sub>S1</sub>：UWBセンサ1（頭部位置検出手段／他部位位置検出手段）

U<sub>S2</sub>：UWBセンサ2（頭部位置検出手段／他部位位置検出手段）

10：3D LiDAR（相対位置検出手段）

12：2Dカメラ（相対位置検出手段／侵入体検知手段）

R<sub>fa</sub>：RFIDタグアンテナ（他部位位置検出手段）

15：レーザースキャナ（侵入体検知手段）

S4、S9、S15、T4、T11、T19：頭部保護領域設定手段

30

T6、T13、T21：手部保護領域設定手段（他部位保護領域設定手段）

P：作業者（人）

I：侵入者（侵入体）

H：頭部

：頭部安全距離

H<sub>p</sub>：頭部保護領域

h：手部

40

：手部安全距離（他部位安全距離）

h<sub>p</sub>：手部保護領域

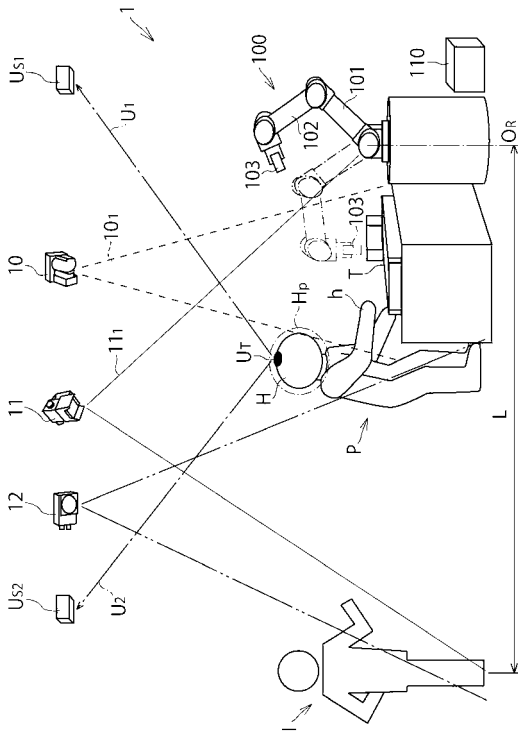
【先行技術文献】

【特許文献】

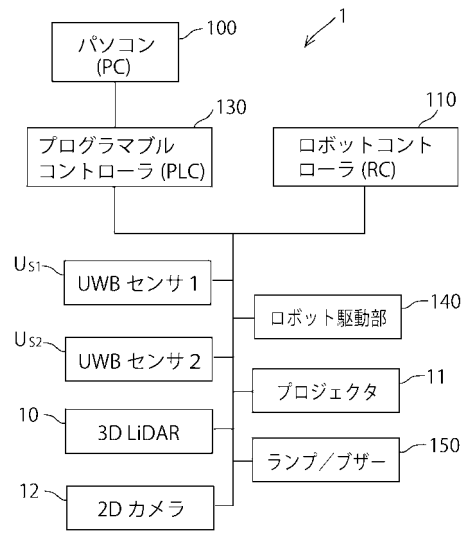
【0084】

【特許文献1】特開2006-43862号公報（段落[0015]～[0031]および図1～図3参照）

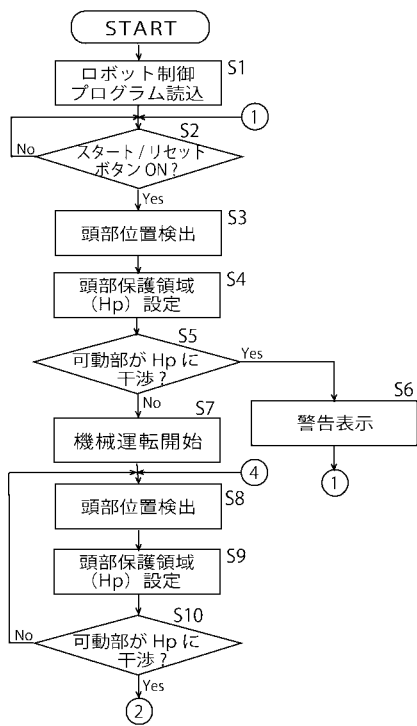
【図 1】



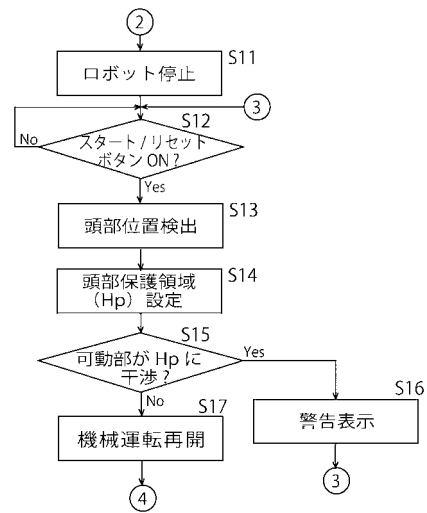
【図 2】



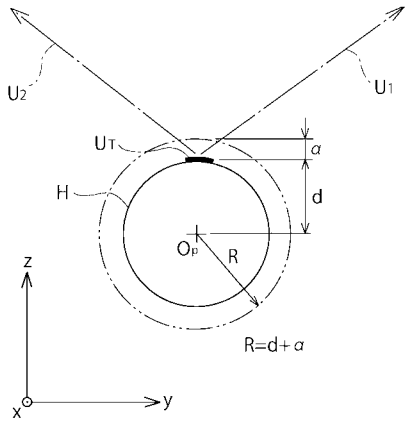
【図 3】



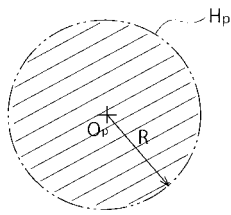
【図 4】



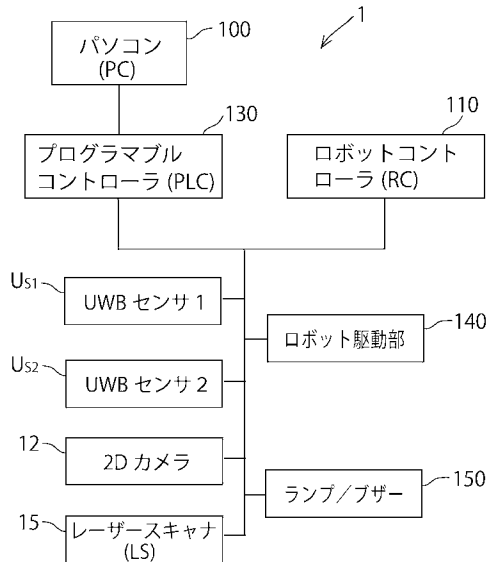
【 図 5 】



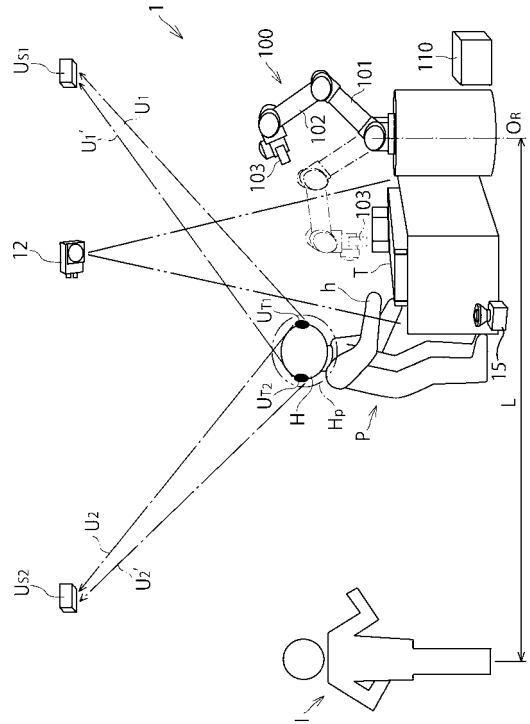
【 図 6 】



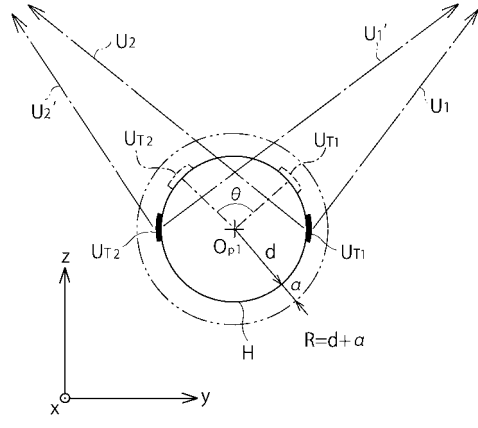
【 図 8 】



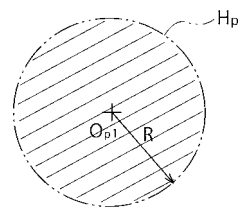
【 図 7 】



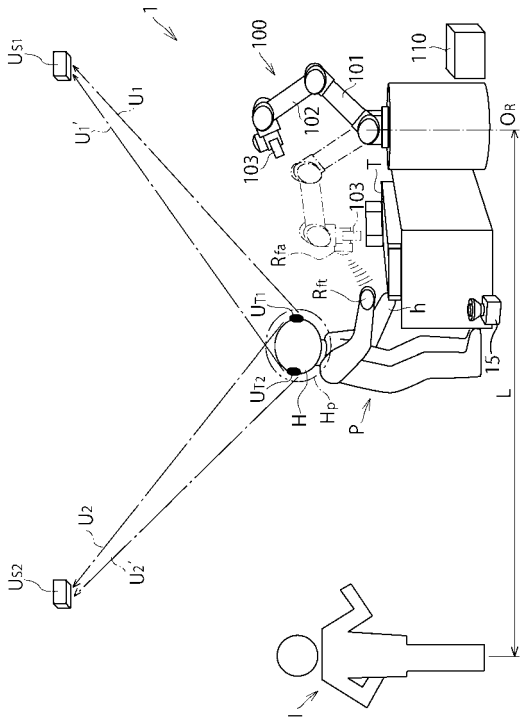
【 図 9 】



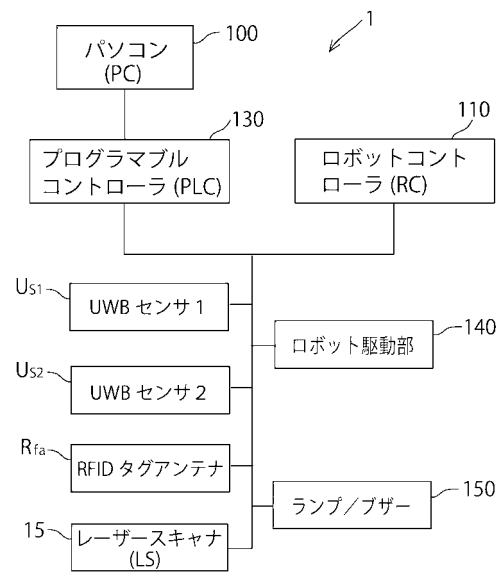
【 図 10 】



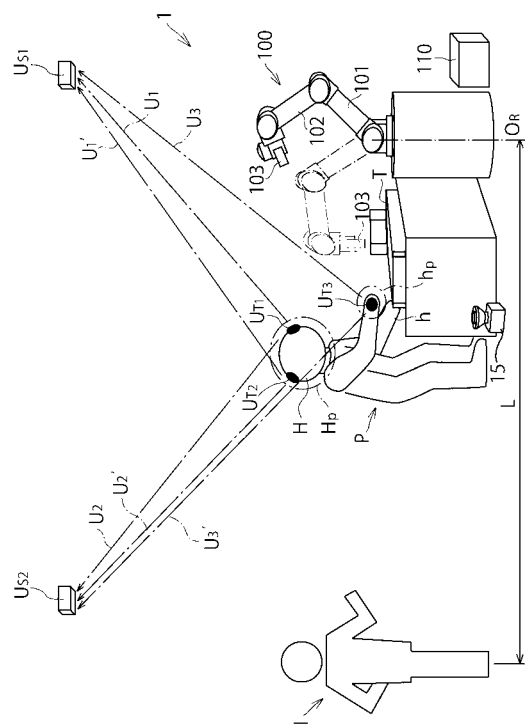
【図 1 1】



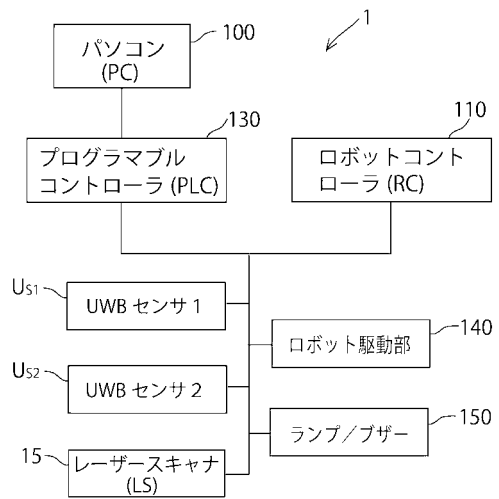
【図 1 2】



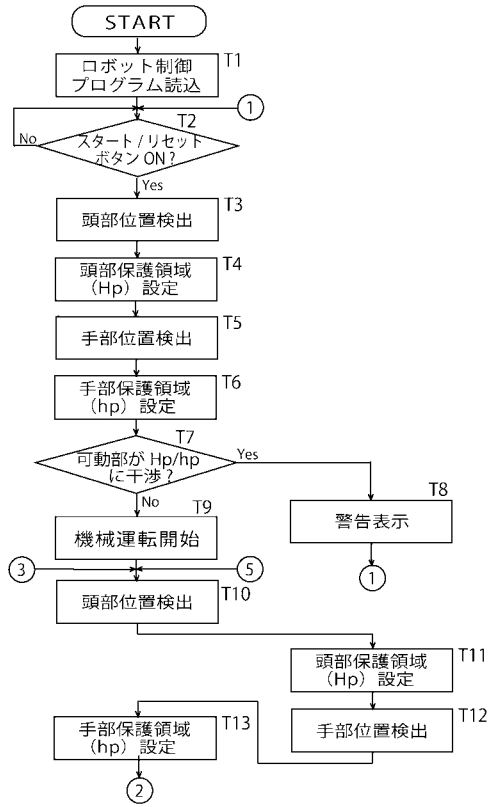
【図 1 3】



【図 1 4】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

