

明 細 書

発明の名称： 結束装置

技術分野

[0001] 本実施形態は、結束装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、例えば、縦方向に延伸する鉄筋と、横方向に延伸する鉄筋とが交差する交差部をワイヤ等により結束する鉄筋結束作業を自動化する技術が検討されている。例えば、特許文献1には、鉄筋工事に使用できる自走型の作業用ロボットが開示されている。

[0003] また、特許文献1に記載の自走型の鉄筋結束作業用ロボットには、センサーとして、交差鉄筋検知センサー、鉄筋端部センサー、障害物センサー等が設けられている。特許文献1に記載の技術においては、交差鉄筋検知センサーにより縦方向の鉄筋と交差する横方向の鉄筋を検知し、鉄筋同士の交差部において作業用ロボットが停止し、結束ユニットにより結束を行う。また、鉄筋端部センサーにより鉄筋の端部を検知し、鉄筋上を走行する作業ロボットを鉄筋の端部において停止させる。また、障害物センサーにより作業用ロボットの周囲の、作業員や物品を障害物として検知し、作業用ロボットの作業員や物品との衝突を防止する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2019-039174号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に開示された技術により、結束作業用ロボットの鉄筋からの脱落や障害物との衝突を防止することができるので、作業用ロボットの走行や作業を安全に進めることが可能となる。しかしながら、特許文献1に記載の鉄筋結束作業用ロボットにおいては、鉄筋検出のセンサと、障害物検出のセ

ンサとが設けられるので、装置全体のコストの増大となり得る。従って、結束装置のセンサの構成には改善の余地があると考えられる。

[0006] 本開示は、上記課題に鑑みてなされたものであり、センサを簡易な構成とすることが可能な結束装置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

[0007] 本開示の一態様は、互いに交差して配置された複数の鉄筋上を移動可能に構成された移動ユニットと、複数の鉄筋を結束可能に構成された鉄筋結束ユニットと、移動ユニット又は鉄筋結束ユニットの近傍に位置する鉄筋を含む第1鉄筋エリア、及び、第1鉄筋エリアより移動ユニットによる移動方向前方に位置する鉄筋を含む第2鉄筋エリアの双方を含む領域を検出範囲とするセンサを有する検出ユニットと、を備え、検出ユニットは、鉄筋上の障害物を検出するように構成される結束装置を提供する。

[0008] また、本開示の他の一態様は、互いに交差して配置された複数の鉄筋上を移動可能に構成された移動ユニットと、複数の鉄筋を結束可能に構成された鉄筋結束ユニットと、移動ユニット又は鉄筋結束ユニットの近傍に位置する鉄筋を含む第1鉄筋エリアを含む領域を検出範囲とするセンサを有し、センサは、鉄筋上の障害物を検出可能に構成される、検出ユニットと、検出ユニットの検出結果に基づき、移動ユニットの移動制御を行う制御部と、備える結束装置を提供する。

発明の効果

[0009] 本開示によりセンサを簡易な構成とすることが可能な結束装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本開示の一実施例である鉄筋結束ロボット100の斜め上方向から見た全体斜視図である。

[図2]図2は、本開示の一実施例である鉄筋結束ロボットの斜め下方向から見た全体斜視図である。

[図3]図3は、鉄筋結束ロボット100を上方向（Z方向における上方）から

見た平面図である。

[図4]図4は、鉄筋結束ロボット100を下方（Z方向における下方）から見た平面図である。

[図5]図5は、鉄筋結束ロボット100の鉄筋結束ユニット110を外した状態を斜め上方向から見た斜視図である。

[図6]図6は、鉄筋結束ロボット100の鉄筋結束ユニット110を外した状態を斜め上方向から見た斜視図である。

[図7]図7は、鉄筋結束ロボット100の機能ブロック構成を説明する図である。

[図8]図8は、第1鉄筋R10に沿って走行中の鉄筋結束ロボット100をY方向から見た図である。

[図9]図9は、第1鉄筋R10に沿って走行中の鉄筋結束ロボット100をX方向から見た図である。

[図10]図10は、走行を停止し結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100をY方向から見た図である。

[図11]図11は、結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100をX方向から見た図である。

[図12]図12は、結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100をZ方向下側から見た図である。

[図13A]図13Aは3D距離カメラにより撮影された第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所付近の画像を示す。

[図13B]図13Bは、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所付近の画像を模式的に示す。

[図14A]図14Aは、鉄筋結束ロボット100を水平方向（X方向）から見た模式的な側面図である。

[図14B]図14Bは、鉄筋結束ロボット100を上方向（Z方向上側）から見た模式的な上面図である。

[図15]図15は、第1センサ130aによる撮像画像を模式的に示す図であ

る。

[図16]図16は、テンプレートマッチングを説明するための模式的な図である。

[図17]図17は、交差箇所の推定方法を説明するための、鉄筋結束ロボット100を模式的に示す図である。

[図18]図18は、本開示の実施形態における交差箇所c12の推定方法のフローチャートである。

[図19]図19は、鉄筋結束ロボット100の横移動に関するフローチャートである。

[図20A]図20Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図20B]図20Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[図21A]図21Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図21B]図21Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[図22A]図22Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図22B]図22Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[図23A]図23Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図23B]図23Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[図24A]図24Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図24B]図24Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

た図である。

[図25A]図25Aは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を背面から見た図である。

[図25B]図25Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[図26]図26は、本開示の他の実施形態に係る鉄筋結束ロボット200のZ方向下方から見た模式的な図である。

[図27]図27は、本開示の実施形態に係る結束装置100を+X方向から見た図である。

[図28]図28は、本開示の実施形態に係る結束装置100を-Y方向から見た図である。

[図29]図29は、本開示の実施形態に係る結束装置100の機能ブロック構成を説明する図である。

[図30A]図30Aは、本開示の実施形態に係る結束装置300を-X方向から見た図である。

[図30B]図30Bは、本開示の実施形態に係る結束装置300の斜視図である。

[図31A]図31Aは、本開示の実施形態に係る結束装置400を-X方向から見た図である。

[図31B]図31Bは、本開示の実施形態に係る結束装置400の斜視図である。

[図32]図32は、本開示の実施形態に係る結束装置300の機能ブロック構成を説明する図である。

[図33]図33は、本開示の実施形態に係る結束装置400の機能ブロック構成を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、添付図面を参照しながら本実施形態について説明する。説明の理解を容易にするため、各図面において同一の構成要素に対しては可能な限り同

一の符号を付して、重複する説明は省略する。

[0012] 以下、本開示の実施形態に係る結束装置１００の構成について説明する。

なお、本実施形態においては、結束装置は、互いに交差して配置された複数の鉄筋を結束する鉄筋結束装置であり、例えば、鉄筋結束ロボットであってもよい。以下では、結束装置１００として、鉄筋結束ロボットである場合を例に説明し、結束装置１００は、鉄筋結束ロボット１００とも称される。なお、各図面には、Ｘ軸、Ｙ軸及びＺ軸を示すことがある。Ｘ軸、Ｙ軸及びＺ軸は、右手系の３次元の直交座標を形成する。以下、Ｘ軸の矢印方向をＸ軸前方、＋Ｘ方向、Ｘ方向の右側またはＸ軸右側、矢印とは逆方向をＸ軸後方、－Ｘ方向、Ｘ方向の左側またはＸ軸左側と呼ぶことがある。その他の軸についても同様である。なお、Ｚ軸前方及びＺ軸後方を、それぞれ「上側」乃至「上方」及び「下側」乃至「下方」と呼ぶこともある。また、Ｘ軸、Ｙ軸又はＺ軸にそれぞれ直交する面を、ＹＺ面、ＺＸ面又はＸＹ面と呼ぶことがある。ただしこれら方向等は相対的位置関係を説明するために便宜的に用いられているものである。従ってこれら方向等は絶対的位置関係を規定するものではない。

[0013] 図１は、本開示の一実施例である鉄筋結束ロボット１００の斜め上方向から見た全体斜視図である。図２は、本開示の一実施例である鉄筋結束ロボット１００の斜め下方向から見た全体斜視図である。図１及び図２に示すように、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット１００は、鉄筋結束ユニット１１０と、走行ユニット１２１と、センサユニット１３０と、を備える。鉄筋結束ロボット１００は、さらに、本体ユニット１４０、支持バー１５０、制御ユニット１６０、リール１８０（第１リール１８０ａ及び第２リール１８０ｂ）、バッテリー１８２（第１バッテリー１８２ａ及び第２バッテリー１８２ｂ）、横移動ユニット１４６、及び記憶装置１９８（不図示）等、他の構成を備えていてもよい。

[0014] 図１及び図２には、Ｙ方向に延伸する複数の鉄筋Ｒ１０（本実施形態において「第１鉄筋」、または「縦鉄筋」ともいう。）を含む鉄筋群Ｒも併せて

示す。図1及び図2に示すように、鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R10に沿って走行するように鉄筋群R上に配置されている。鉄筋群Rは、複数の鉄筋R10に加え、X方向に延伸する複数の鉄筋（本実施形態において「第2鉄筋R20」、または「横鉄筋」ともいう。）を含んでもよい。

[0015] 本開示の実施形態においては、第1鉄筋R10は、その延伸する方向である第1の方向がY方向と平行となるように配置される。また、第2鉄筋R20は、その延伸する方向である第2の方向がX方向と平行となるように配置される。従って、本開示の例示の実施形態においては、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、互いに直交するように配置されている。また、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20が形成する平面（本実施形態において「鉄筋面」ともいう。）がXY面と平行となるように配置されている。従って、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20が形成する平面は、本実施形態においては水平面である。なお、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の配置についてはこれに限られない。例えば、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、互いに非直交となるように配置されてもよい。例えば、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、第1鉄筋R10と第2鉄筋R20とがなす角度が、例えば30°、45°、60°、または他の角度となるように配置されてもよい。また、本開示の実施形態においては、第1鉄筋R10と第2鉄筋R20とは、互いに直交するように配置されているが、例えば交差する箇所によっては必ずしも直交の関係となっていなくてもよく、例えば85°以上90°未満の角度をなすように配置されていてもよい。

[0016] また、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、有限の長さを有しており、複数の第1鉄筋R10または複数の第2鉄筋R20は、それぞれ、第1の方向または第2の方向に継ぎ目を介して接続されていてもよい。さらに、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、後述するように端部を有していてもよく、例えば第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20は、それぞれ第1の方向及び第2の方向における一端及び他端に後述する端部R10e及びR20eを有し

ていてもよい。

[0017] 鉄筋結束ユニット 110 は、第 1 鉄筋 R10 と第 2 鉄筋 R20 との交差箇所 c12（図 6）を結束するように構成されている。鉄筋結束ユニット 110 による第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 の交差箇所 c12 の結束動作については後に詳述する。

[0018] 図 1 及び図 2 に示すように、走行ユニット 121 は、4 つの走行ユニット 121a、121b、121c、及び 121d を有していてもよい（本実施形態において、それぞれ、「第 1 走行ユニット」、「第 2 走行ユニット」、「第 3 走行ユニット」、及び「第 4 走行ユニット」、ともいう。）。本開示の実施形態においては、走行ユニット 121 は、鉄筋結束ロボット 100 が Y 方向に進行するように鉄筋群 R 上に配置されている。第 1 走行ユニット 121a、第 2 走行ユニット 121b、第 3 走行ユニット 121c、及び第 4 走行ユニット 121d は、それぞれ、第 1 ローラ部 122a、第 2 ローラ部 122b、第 3 ローラ部 122c、及び第 4 ローラ部 122d を有し、第 1 ローラ部 122a、第 2 ローラ部 122b、第 3 ローラ部 122c、及び第 4 ローラ部 122d が第 1 鉄筋 R10 の延伸方向である Y 方向（第 1 の方向）に沿って、複数の第 1 鉄筋 R10 のいずれかの第 1 鉄筋 R10 上を走行するように構成されている。

[0019] なお、本実施形態においては、走行ユニット 121 は、移動ユニット（後述の移動ユニット 120）の一例である。移動ユニット 120 は、走行ユニット 121 に替えて、または走行ユニット 121 に加えて、走行ユニット 121 以外の移動ユニットの構成を有していてもよい。

[0020] 本開示の実施形態においては、第 1 走行ユニット 121a、第 2 走行ユニット 121b、第 3 走行ユニット 121c、及び第 4 走行ユニット 121d は、Y 方向に進行するように構成される場合を例に説明するが、第 1 走行ユニット 121a、第 2 走行ユニット 121b、第 3 走行ユニット 121c、及び第 4 走行ユニット 121d は、Y 方向以外の方向に進行するように構成されていてもよい。

[0021] 例えば、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dは、Y方向から数度～数十度の角度傾く方向に進行してもよい。例えば、Y方向から数度～数十度の角度で+X方向または-X方向に傾く方向に進行してもよい。例えば、走行する第1鉄筋R10上に異物が存在する等により鉄筋結束ロボット100の向きがY方向から傾いた場合、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dが進行する方向はY方向から少なくとも一時的に+X方向または-X方向に傾く。その場合でも、例えば、鉄筋結束ロボット100の向きの傾きをY方向に戻す方向（-X方向または+X方向に）に第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dが進行する等により、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R10上をほぼ追従するように進行させてもよい。これにより、鉄筋結束ロボット100の鉄筋結束ユニット110による第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束動作を継続して実行することが可能である。

[0022] また、例えば第1鉄筋R10が曲線を描くように配置された建設現場においても、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dは、曲線状の第1鉄筋R10に追従するように、曲線を描くように進行するように構成されていてもよく、この場合、第1鉄筋R10の延伸方向である第1の方向は、曲線を構成する点ごとに異なってもよい。

[0023] 図1及び図2並びに後述する図3に示すように、センサユニット130は、センサ130a、センサ130b、センサ130c、及びセンサ130d（本実施形態において、それぞれ、「第1センサ」、「第2センサ」、「第3センサ」、及び「第4センサ」、ともいう。）を有する。第1センサ130a及び第2センサ130bは、互いに、図1及び図2においてY方向（本実施形態において第1センサ130a及び第2センサ130bを結ぶ直線の延伸する方向を「第3の方向」ともいう）に沿って離間して配置されている

。また、第4センサ130dは鉄筋結束ロボット100の第3センサ130cが設けられる側面の反対側の側面（図1及び図2において紙面奥側の側面）に配置されており、第3センサ130c及び第4センサ130dは、互いに図1及び図2においてY方向に交差する方向（図1及び図2に示す例においてはX方向、本実施形態において第3センサ130c及び第4センサ130dを結ぶ直線の延伸する方向を「第4の方向」ともいう。）に沿って離間するように配置されている。

[0024] 第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20を検出可能に構成されている。例えば、第1センサ130a及び第2センサ130bは第1鉄筋R10を検出可能に構成され、第3センサ130c及び第4センサ130dは第2鉄筋R20を検出可能に構成されていてもよい。あるいは、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、いずれも、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20を検出可能に構成されていてもよい。

[0025] 図3は、鉄筋結束ロボット100を上方向（Z方向における上方）から見た平面図を示す。また、図4は、鉄筋結束ロボット100を下方向（Z方向における下方）から見た平面図を示す。

[0026] 図3及び図4からわかるように、第1走行ユニット121a及び第2走行ユニット121bは、第1センサ130aに対して第4の方向（X方向）の一方及び他方（図3において、それぞれX方向の左側及び右側）に配置されていてもよい。また、第3走行ユニット121c及び第4走行ユニット121dは、第2センサ130bに対して第4の方向（X方向）の一方及び他方に配置されていてもよい。言い換えると、第1センサ130aは、第4の方向において第1走行ユニット121a及び第2走行ユニット121bの間に配置されてもよい。同様に、第2センサ130bは、第4の方向において第3走行ユニット121c及び第4走行ユニット121dの間に配置されてもよい。

- [0027] さらに、図3及び図4に示すように、第3センサ130cは、第3の方向（図3及び図4においてY方向）において第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cの間に配置されてもよく、同様に、第4センサ130dは、第3の方向（Y方向）において第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dの間に配置されてもよい。
- [0028] また、例えば図4に示すように、第1センサ130aは、下面視において、第1走行ユニット121aを構成する第1ローラ部122aの回転軸128aと、第2走行ユニット121bを構成する第2ローラ部122bの回転軸128bとを通過する直線上、または回転軸128aと回転軸128bとを通過する直線よりも後方（図4において-Y方向）に配置されてもよい。同様に、第2センサ130bは、下面視において、第3走行ユニット121cを構成する第3ローラ部122cの回転軸128cと、第4走行ユニット121dを構成する第4ローラ部122dの回転軸128dとを通過する直線上、または回転軸128cと回転軸128dとを通過する直線よりも前方（図4において+Y方向）に配置されてもよい。なお、センサユニット130の具体例は後述する。
- [0029] また、図3や図4等に示されるように、第1センサ130aは、本体ユニット140のY軸方向の前方（+Y方向）に配置される。同様に、第2センサ130bは、本体ユニット140のY軸方向の後方（-Y方向）に配置される。第3センサ130c及び第4センサ130dは、それぞれ、本体ユニット140の図3において上面視でX方向の左側及び右側に配置される。すなわち、例えば図4等からわかるように、本実施形態においては、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、鉄筋結束ロボット100についての平面視において、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dのほぼ中心付近を接続して仮想的に形成される長方形の外縁上またはその外縁の内側となるように配置される。なお、第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dにより仮想的に形成さ

れる長方形は、例えば各走行ユニット間のX方向及びY方向の間隔が略等しい場合等には、正方形となることがあってもよく、この場合には、第1センサ130a～第4センサ130dは、仮想的な正方形の外縁上またはその内側となるように配置されていてもよい。また、第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dの配置構成によっては、第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dにより、仮想的に、長方形及び正方形以外の四角形が形成されてもよく、その場合においても、第1センサ130a～第4センサ130dは、仮想的な四角形の外縁上またはその内側となるように配置されていてもよい。

[0030] 第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、上述の第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dのほぼ中心付近を接続して仮想的に形成される長方形の外縁上またはその外縁の内側となるように配置される場合を例に説明したが、これに限られない。例えば、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dの配置構成、及び／または本体ユニット140の形状等に応じて、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、異なる配置構成であってもよい。例えば、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dは、鉄筋結束ロボット100についての平面視において、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dのほぼ中心付近を接続して仮想的に形成される長方形の外縁上またはその外縁の外側となるように配置されてもよい。

[0031] 図1及び図3に示すように、本体ユニット140は、本体上面142を備えていてもよい。本体上面142は、中央部付近に、例えば円形の穴部144が形成されていてもよく、鉄筋結束ユニット110が、穴部144を貫通するように配置されていてもよい。

[0032] 本実施形態において、鉄筋結束ロボット100は、例えば2本の支持バー150（それぞれ、第1支持バー150a及び第2支持バー150b）を備えてもよい。第1支持バー150a及び第2支持バー150bは、一方向に延伸するバーであり、例えば第4の方向（図1～図4においてX方向）に平行に設けられている。従って、本開示の実施形態においては、第1支持バー150a及び第2支持バー150bは、例えば水平方向に平行となるように設けられている。また、図1～図4に示すように、第1支持バー150a及び第2支持バー150bは、互いにY方向（第3の方向）に離間するように設けられていてもよい。第1支持バー150a及び第2支持バー150bは、例えば、鉄筋結束ロボット100が横方向（図1～図4においてX方向、鉄筋結束ロボット100において第4の方向）に移動する際に、鉄筋結束ロボット100の本体ユニット140等を支持するように構成されていてもよい。

[0033] 図5は、鉄筋結束ロボット100の鉄筋結束ユニット110を外した状態を右斜め後ろ方向から見た斜視図である。また、図6は、鉄筋結束ロボット100の鉄筋結束ユニット110を外した状態を右斜め前方向から見た斜視図である。図5及び図6に示されるように、鉄筋結束ユニット110は、穴部144に貫通した状態で上下方向（図5においてZ方向）に移動可能に設けられていてもよい。これにより、例えば、鉄筋結束ユニット110を下降させ、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12に到達した際に、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12を結束するように構成される。図5及び図6に示すように、結束装置100は、リール180a及び180bを有する。リール180a及びリール180bには、鉄筋の結束に用いられるワイヤが収容されており、鉄筋結束ユニット110が第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12を結束する際にリール180a及び／またはリール180bに収容されるワイヤが引き出され、交差箇所c12の結束が行われるように構成されている。また、詳細な説明は省略するが、鉄筋結束ユニット110は、鉄筋結束ユニ

ット１１０の一端（図５においてＺ方向の下側の端部）には、ワイヤガイド等を有し、鉄筋結束作業を実行するように構成されるワイヤ振り部１１４（図５）が設けられている。ワイヤ振り部１１４の鉄筋結束作業は、例えば公知の鉄筋結束機と同様の機能により実現されてもよい。

[0034] 図７は、鉄筋結束ロボット１００の機能ブロック構成を説明する図である。図７に示すように、鉄筋結束ロボット１００は、上述した鉄筋結束ユニット１１０、走行ユニット１２１、及びセンサユニット１３０等の構成のほか、制御ユニット１６０と、横移動ユニット１４６と、記憶装置１９８と、を備えていてもよい。

[0035] 制御ユニット１６０は、鉄筋結束ロボット１００により実行される移動や結束作業を制御するように構成される。制御ユニット１６０は、センサ検出結果取得部１６２と、判定部１６４と、交差箇所算出部１６６（本実施形態において、「交差箇所推定部」や「交差箇所推定ユニット」ともいう。）と、鉄筋結束ユニット制御部１６８と、鉄筋追従制御部１７０と、停止制御部１７２と、移動量算出部１７４と、姿勢制御部１７６と、モータ制御部１７８と、異物迂回制御部１７９とを備えていてもよい。

[0036] なお、本実施形態の鉄筋結束ロボット１００においては、図１に示されるように、制御ユニット１６０は、Ｙ方向において、鉄筋結束ユニット１１０に対してリール１８０ａ及びリール１８０ｂと反対側に配置されている。より具体的には、図１に示されるようにリール１８０ａ及びリール１８０ｂは鉄筋結束ユニット１１０の－Ｙ方向に配置されているのに対し、制御ユニット１６０は鉄筋結束ユニット１１０の＋Ｙ方向に配置されている。特にワイヤーリール（リール１８０ａ及び／またはリール１８０ｂ）の交換直後においては、ワイヤが巻かれたリールは比較的重くなるが、鉄筋結束ユニット１１０の反対側に制御ユニット１６０を配置することにより、重さのバランスをとることが可能となる。

[0037] 横移動ユニット１４６（図７）は、鉄筋結束ロボット１００の本体ユニット１４０の移動を制御するように構成される。本開示の実施形態に係る鉄筋

結束ロボット100においては、横移動ユニット146により鉄筋結束ロボット100が水平方向に移動されてもよい。横移動ユニット146は、第1横移動モータ146ma及び第2横移動モータ146mbを備えていてもよく、例えば、後述する鉄筋結束ロボット100の横移動にあたり、2つのモータ146ma及び146mbにより、本体ユニット140を水平移動させてもよい。

[0038] より具体的には、図6に示されるように、横移動ユニット146は、第1横移動ローラ146laと、第1駆動ラック146caとを有する。第1横移動ローラ146laは、第1走行ユニット121a及び第2走行ユニット121bを本体ユニット140に連結する第1連結部147aに設けられている。第1駆動ラック146caは、本体ユニット140の裏面（-Z方向の表面）にX方向に沿って設けられている。

[0039] 同様に、図2に示されるように、横移動ユニット146は、第2横移動ローラ146lbと、第2駆動ラック146cbとを有する。第2横移動ローラ146lbは、第3走行ユニット121c及び第4走行ユニット121dを本体ユニット140に連結する第2連結部147bに設けられている。第2駆動ラック146cbは、本体ユニット140の裏面（-Z方向の表面）にX方向に沿って設けられている。

[0040] 第2横移動ローラ146lbは、例えば駆動歯車を構成する。第2駆動ラック146cbは、例えば、第2横移動ローラ146lbの外周に設けられた外歯に噛み合う複数の歯がX方向に直線状に並列されている。第2横移動ローラ146lbは、第2横移動モータ146mbにより駆動される。第2横移動ローラ146lbが第2横移動モータ146mbにより回転されると、第2横移動ローラ146lbが第2駆動ラック146cbの長手方向に沿うように第2駆動ラック146cbに対して相対的に移動する。こうして、本体ユニット140は、第3走行ユニット121c及び第4走行ユニット121dに対して、相対的にX方向に移動することができる。

[0041] 第1横移動ローラ146la（図6）も同様に、例えば駆動歯車を構成し

、第1駆動ラック146c aは、第1横移動ローラ146 l aの外周に設けられた外歯に噛み合う複数の歯がX方向に直線状に並列されている。第1横移動ローラ146 l aは、第1横移動モータ146 m aにより駆動される。第1横移動ローラ146 l aが第1横移動モータ146 m aにより回転されると、第1横移動ローラ146 l aが第1駆動ラック146 c aの長手方向に沿うように第1駆動ラック146 c aに対して相対的に移動することにより、本体ユニット140が、第3走行ユニット121 c及び第4走行ユニット121 dに対して、相対的にX方向に移動することができる。

[0042] このように、第1横移動ローラ146 l a及び第2横移動ローラ146 l bを、それぞれ、第1横移動モータ146 a及び第2横移動モータ146 bにより駆動することにより、本体ユニット140を走行ユニット121に対する横移動（X方向の移動）を行う構成としてもよい。

[0043] 記憶装置198は、例えば、制御ユニット160において実行される1つまたは複数のコンピュータ・プログラムや、鉄筋結束ロボット100の制御に用いられるデータ等を非一時的（non-transitory）に格納する記憶媒体（例えば半導体記憶素子）その他のメディアを備えてもよい。記憶装置198は、例えばテンプレートデータベース198 tを備えていてもよい。テンプレートデータベース198 tは、例えば、後述するように、センサユニット130による検出結果に基づき、テンプレートマッチングを用いて第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の検出や、第1鉄筋R10の端部R10 e及び／または第2鉄筋R20の端部R20 eの検出を行う際に用いられるテンプレートの画像やテンプレートの画像に周波数分析等の画像処理を施して得られたデータ等を格納してもよい。また、制御ユニット160が、さらにテンプレートデータ作成部を有していてもよく、例えば、鉄筋結束作業を行う対象となる現場に応じてセンサユニット130を用いて撮像された画像を基にテンプレートデータを作成し、テンプレートデータベース198 tに格納するように構成されていてもよい。テンプレートデータベース198 tに格納されるテンプレートデータは、例えば、新たなテンプレートデータが

作成されるタイミングで蓄積されてもよいし、各建設現場での結束作業の終了のタイミングで消去されてもよい。あるいは、作成されたテンプレートデータは、記憶装置198のテンプレートデータベース198tに一定期間保持された後、例えば定期的に削除されるように構成されていてもよい。

[0044] センサ検出結果取得部162は、センサユニット130による検出結果を取得する。例えば、センサユニット130の第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果は、後述する判定部164の第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2による第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置の判定に用いられてもよい。また、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果は、判定部164の第1鉄筋端部判定部164b1及び／または第2鉄筋端部判定部164b2による第1鉄筋R10の端部R10e及び／または第2鉄筋R20の端部R20eの位置の判定に用いられてもよい。

[0045] 判定部164は、第1鉄筋判定部164a1と、第2鉄筋判定部164a2と、第1鉄筋端部判定部164b1と、第2鉄筋端部判定部164b2と、姿勢判定部164cと、障害物判定部164dと、ロボット高さ算出部164eと、を備えていてもよい。第1鉄筋判定部164a1及び第2鉄筋判定部164a2は、例えば、センサ検出結果取得部162により取得された第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果を用いて、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を判定する。後述するように、第1鉄筋判定部164a1及び第2鉄筋判定部164a2は、第1センサ130a～第4センサ130dの検出結果である撮像画像に基づき、テンプレートマッチングを行うことにより、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を判定してもよい。

[0046] 第1鉄筋端部判定部164b1及び第2鉄筋端部判定部164b2は、例えば、センサ検出結果取得部162により取得された第1センサ130a、

第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果を用いて、第1鉄筋R10の端部R10e及び／または第2鉄筋R20の端部R20eを判定する。第1鉄筋端部判定部164b1及び第2鉄筋端部判定部164b2も、第1鉄筋判定部164a1及び第2鉄筋判定部164a2と同様に、テンプレートマッチングに基づき第1鉄筋R10の端部R10e及び／または第2鉄筋R20の端部R20eの位置を判定してもよい。

[0047] ロボット高さ算出部164eは、例えば、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果に基づき、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さを算出してもよい。例えば、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dにより、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20が撮像される場合（例えば、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20を含む範囲が撮像される場合）に、ロボット高さ算出部164eは、撮像された第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の撮像画像内における第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の相対的な大きさに基づき、鉄筋結束ロボット100の、鉄筋群Rからの距離を算出することにより、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さを算出してもよい。

[0048] 鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さは、例えば、走行ユニット121の角度に基づいて算出されてもよい。走行ユニット121aは、図6に示されるように、本体部140に接続される第1本体側リンク部125aと、第1ローラ部122aに接続される第1ローラ側リンク部123aとを有しており、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとがリンク機構を構成してもよい。このとき、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが為す角度であるリンク角度をセンサユニット130の第1リンク角度検出センサ134a（図7）により検出し、リンク角度に基づき、第1走行ユニット121aの高さが算出されてもよい。

- [0049] 同様に図2に示されるように、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dは、第2本体側リンク部125bと第2ローラ側リンク部123b、第3本体側リンク部125cと第3ローラ側リンク部123c、及び第4本体側リンク部125dと第4ローラ側リンク部123d、を有し、第2本体側リンク部125bと第2ローラ側リンク部123b、第3本体側リンク部125cと第3ローラ側リンク部123c、及び第4本体側リンク部125dと第4ローラ側リンク部123dが為すリンク角度を、それぞれ、第2リンク角度検出センサ134b、第3リンク角度検出センサ134c、及び第4リンク角度検出センサ134dにより検出することにより、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dの高さが算出されてもよい。
- [0050] ロボット高さ算出部164eは、こうして算出された第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dの高さ（鉄筋群Rからの高さ）に基づき、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さを算出してもよい。例えば、算出された第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dの高さの一部または全部の平均値により鉄筋結束ロボット100の高さを算出してもよい。また、例えば鉄筋結束ロボット100が、鉄筋群Rが構成する仮想的な平面と平行、あるいはほぼ平行に位置する場合には、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dの高さのうちのいずれか一つにより鉄筋結束ロボット100の高さとしてもよい。
- [0051] センサユニット130は、図7に示すように、上述の第1センサ130a～第4センサ130dに加えて、傾斜度検出センサ132を備えていてもよい。傾斜度検出センサ132としては、例えば公知の傾斜センサや水平センサ等、鉄筋結束ロボット100の傾斜角度を検出可能なセンサが用いられてもよい。センサ検出結果取得部162は、傾斜度検出センサ132の検出結

果も取得してもよい。傾斜度検出センサ 132 の検出結果に基づき、例えば、判定部 164 の姿勢判定部 164c により鉄筋結束ロボット 100 の姿勢を判定し、姿勢判定部 164c の判定結果に基づき、姿勢制御部 176 により、走行ユニット 121 の高さ変更モータ 126（第 1 走行ユニット 121a の第 1 高さ変更モータ 126a、第 2 走行ユニット 121b の第 2 高さ変更モータ 126b、第 3 走行ユニット 121c の第 3 高さ変更モータ 126c、及び／または第 4 走行ユニット 121d の高さ変更モータ 126d）を駆動し、鉄筋結束ロボット 100 の姿勢を調整してもよい。

[0052] 鉄筋結束ロボット 100 は、例えば、本体ユニット 140 が、第 1 鉄筋 R10 及び／または第 2 鉄筋 R20 により形成される面（本実施形態において、「鉄筋面」ともいう。）に平行となるように傾斜度検出センサ 132 の検出結果に基づき、高さ変更モータ 126 を駆動してもよい。例えば、鉄筋面が水平方向に延びるように第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 が配置されている場合に、鉄筋結束ロボット 100 が X 方向に傾いている場合には、第 1 走行ユニット 121a～第 4 走行ユニット 121d のうち、第 1 走行ユニット 121a 及び第 3 走行ユニット 121c、または第 2 走行ユニット 121b 及び第 4 走行ユニット 121d の高さを変更し、鉄筋結束ロボット 100 の姿勢を調整してもよい。

[0053] 交差箇所算出部 166 は、第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 の交差箇所 c12 を算出することにより推定する。交差箇所算出部 166 は、例えば、後述するように、第 1 鉄筋判定部 164a1 及び第 2 鉄筋判定部 164a2 により判定された第 1 鉄筋 R10 の位置及び第 2 鉄筋 R20 の位置に基づき、交差箇所 c12 の位置を算出してもよい。算出された交差箇所 c12 の位置に基づき、鉄筋結束ロボット 100 は、鉄筋結束ユニット 110 による結束作業を行ってもよい。推定された交差箇所 c12 の位置に基づき、モータ制御部 178 は、第 1 走行ユニット 121a、第 2 走行ユニット 121b、第 3 走行ユニット 121c、及び／または第 4 走行ユニット 121d により鉄筋結束ロボット 100 の位置を鉄筋結束ユニット 110 が交差箇所 c12

上となるように調整してもよい。

- [0054] 鉄筋結束ユニット制御部168は、鉄筋結束ユニット移動部168mを制御することにより、鉄筋結束ユニット110の移動を制御する。鉄筋結束ユニット110は、第1鉄筋R10と第2鉄筋R20とが交差する交差箇所c12を結束する結束動作を実行する結束位置と、結束動作が完了した後、次の結束動作を実行する交差箇所c12に移動する間に退避する退避位置と、を採り得る。鉄筋結束ユニット110は、退避位置から結束位置に向かう場合、−Z方向に移動し、結束位置から退避位置に向かう場合に＋Z方向に移動する。このような鉄筋結束ユニット110のZ方向の移動は、例えばモータ等により構成される鉄筋結束ユニット移動部168mにより実現される。また、鉄筋結束ユニット移動部168mによる鉄筋結束ユニット110のZ方向の昇降動作は、鉄筋結束ユニット制御部168により制御される。
- [0055] 鉄筋結束ユニット制御部168は、また、鉄筋結束ユニット110が結束位置に移動した後、鉄筋結束ユニット110による交差箇所c12の結束動作を制御する。例えば、後述するワイヤ引き出し部によりリール180から引き出されたワイヤを用いて実行される鉄筋結束ユニット110による結束作業は、鉄筋結束ユニット制御部168により制御される。例えば、鉄筋結束ユニット110が交差箇所c12の上方に位置するように、第1走行ユニット121a、第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び／または第4走行ユニット121dにより鉄筋結束ロボット100を移動した後、鉄筋結束ユニット制御部168は、鉄筋結束ユニット移動部168mを制御し、鉄筋結束ユニット110を交差箇所c12に近付くように結束位置まで下降させ、交差箇所c12の結束を行ってもよい。
- [0056] 鉄筋追従制御部170は、例えば、第1鉄筋判定部164a1により判定された第1鉄筋R10の位置等の情報に基づき、鉄筋結束ロボット100が走行中の第1鉄筋R10を追従するように走行ユニット121を、モータ制御部178により制御してもよい。例えば、図5に示されるように、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R12及び第1鉄筋R14を走行する場合、鉄

筋結束ロボット１００が第１鉄筋Ｒ１２及び第１鉄筋Ｒ１４から離脱しないように、走行ユニット１２１の駆動モータ（第１ローラ部１２２ａを駆動する第１車輪駆動モータ１２４ａ、第２ローラ部１２２ｂを駆動する第２車輪駆動モータ１２４ｂ、第３ローラ部１２２ｃを駆動する第３車輪駆動モータ１２４ｃ、及び／または第４ローラ部１２２ｄを駆動する第４車輪駆動モータ１２４ｄ）を駆動させてもよい。

[0057] 例えば、第１車輪駆動モータ１２４ａ、第２車輪駆動モータ１２４ｂ、第３車輪駆動モータ１２４ｃ、及び第４車輪駆動モータ１２４ｄのうち、Ｘ方向において同じ位置、またはほぼ同じ位置に配置される第１走行ユニット１２１ａ及び第３走行ユニット１２１ｃの駆動モータである第１車輪駆動モータ１２４ａ及び第３車輪駆動モータ１２４ｃを、Ｘ方向の他方に配置される第２走行ユニット１２１ｂ及び第４走行ユニット１２１ｄの駆動モータである第２車輪駆動モータ１２４ｂ及び第４車輪駆動モータ１２４ｄに対し加速または減速することにより、鉄筋結束ロボット１００の位置を調整し、鉄筋結束ロボット１００を第１鉄筋Ｒ１０に追従するように走行させてもよい。

[0058] あるいは、鉄筋追従制御部１７０は、例えば、第１車輪駆動モータ１２４ａ、第２車輪駆動モータ１２４ｂ、第３車輪駆動モータ１２４ｃ、及び／または第４車輪駆動モータ１２４ｄの回転数を調整することにより、鉄筋結束ロボット１００を第１鉄筋Ｒ１０に追従するように走行させてもよい。例えば、第１車輪駆動モータ１２４ａ、第２車輪駆動モータ１２４ｂ、第３車輪駆動モータ１２４ｃ、及び第４車輪駆動モータ１２４ｄのうちの一つまたは複数の回転数を、その他の車輪駆動モータの回転数と異なる回転数に設定することにより、あるいは、第１車輪駆動モータ１２４ａ、第２車輪駆動モータ１２４ｂ、第３車輪駆動モータ１２４ｃ、及び第４車輪駆動モータ１２４ｄ全ての回転数を互いに異なる回転数に設定することにより、鉄筋結束ロボット１００を第１鉄筋Ｒ１０に柔軟に追従させることが可能となる。

[0059] 停止制御部１７２は、鉄筋結束ロボット１００の停止動作を制御するように構成される。例えば、後述するように、第１鉄筋Ｒ１２及び第１鉄筋Ｒ１

4を走行してきた鉄筋結束ロボット100が、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果に基づき、第1鉄筋端部判定部164b1及び／または第2鉄筋端部判定部164b2により第1鉄筋R13の端部R13e付近にある、または端部R13eに接近しつつあると判定された場合に、停止制御部172は、モータ制御部178により、第1車輪駆動モータ124a～第4車輪駆動モータ124dを駆動及び停止させるように制御し、鉄筋結束ロボット100を停止させてもよい。なお、第1鉄筋R13の端部R13eに限らず、端部R13eに替えて、あるいは端部R13eに加えて、第1鉄筋R12の端部R12e及び／または第1鉄筋R14の端部R14e付近に鉄筋結束ロボット100がある、あるいは鉄筋結束ロボット100が、端部R12e及び／または端部R14eに近づきつつあると判定された場合に、鉄筋結束ロボット100を停止させてもよい。

[0060] また、停止制御部172は、例えば、上述の交差箇所算出部166により、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12を算出した場合に、交差箇所c12を鉄筋結束ユニット110により結束するため、鉄筋結束ロボット100を停止させてもよい。

[0061] 移動量算出部174は、後述するように、例えば、鉄筋結束ロボット100が横移動（X方向への移動）をする場合の移動量を算出するように構成されていてもよい。例えば、上記のように、鉄筋結束ロボット100について、第1鉄筋端部判定部164b1及び／または第2鉄筋端部判定部164b2により第1鉄筋R12の端部R12e及び第1鉄筋R14の端部R14e付近にある、または接近しつつあると判定された場合に、鉄筋結束ロボット100は第1鉄筋R12と第1鉄筋R14との間に配置されている第1鉄筋R13上の交差箇所c12の鉄筋結束作業を完了し、別の第1鉄筋R10に移動し、交差箇所c12の鉄筋結束作業を開始する。

[0062] 例えば、鉄筋結束ロボット100が、第1鉄筋R13上の交差箇所c12の鉄筋結束作業を完了し、次に第1鉄筋R14上の交差箇所c12の鉄筋結

束作業を行う場合、鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R10のX方向の間隔について、1つの間隔分、X方向に移動する。このとき、移動量算出部174は、第1鉄筋判定部164a1により判定された第1鉄筋R10の位置の情報に基づき、隣り合う第1鉄筋R10同士のX方向の間隔に基づき移動量を算出してもよい。鉄筋結束ロボット100が、X方向に2つ以上離間する第1鉄筋R10上の交差箇所c12の鉄筋結束作業を行う場合にも同様に、第1鉄筋R10同士の間隔に基づき移動量を算出してもよい。また、算出された移動量に基づき、横移動の際の横移動ユニット146による本体ユニット140の横移動（例えば水平移動）を行ってもよい。なお、移動量算出部174は、横移動量以外の他の方向の移動量の算出を実行してもよい。例えば、移動量算出部174は、鉄筋結束ロボット100の縦移動（第1の方向、Y方向の移動）の移動量を、各センサ130の検出結果や、鉄筋端部判定部164b1及び／または鉄筋端部判定部164b2による判定結果等に基づいて算出してもよい。

[0063] センサユニット130としては、例えば2次元画像または3次元画像の撮影が可能なカメラが用いられてもよく、センサユニット130の検出結果に基づき、例えば判定部164の障害物判定部164dにより、異物の位置が判定されてもよい。鉄筋を組み上げる建設現場等においては、例えば、鉄筋面上に工具等が放置されている、あるいは、作業員が作業を行っていることがある。これらをセンサユニット130による検出結果に基づいて異物として検知し、異物の検知結果に基づき、異物迂回制御部179は、モータ制御部178により第1車輪駆動モータ124a、第2車輪駆動モータ124b、第3車輪駆動モータ124c、及び／または第4車輪駆動モータ124dを駆動して異物を迂回するように構成されていてもよい。あるいは、鉄筋結束ロボット100が後述する横移動を行うことにより、異物を迂回するように構成されていてもよい。

[0064] 制御ユニット160は、例えば、演算部に相当するCPU（Central Processing Unit）等のプロセッサであり、記憶装置198に記憶されたコンピュ

ータ・プログラムの実行に関する制御やデータの演算、加工を行う制御部である。プロセッサは、各検出データ等を用いて鉄筋結束ロボット１００の動作（鉄筋追従及び走行、横移動（例えば水平移動）、鉄筋結束作業、等）を実行するプログラムを実行する演算部である。記憶装置１９８に記憶されたプログラムをプロセッサが実行することにより、制御ユニットの各ユニット（例えば、センサ検出結果取得部１６２等）が実現される。

[0065] 記憶装置１９８は、例えばＲＡＭ（Random Access Memory）と、ＲＯＭ（Read only Memory）とを有していてもよい。ＲＡＭは、記憶部のうちデータの書き換えが可能なものであり、例えば半導体記憶素子で構成されてよい。ＲＡＭは、プロセッサが実行するプログラムやプログラムの実行に必要なデータ（例えば、後述するように、センサユニット１３０の検出結果に基づき鉄筋の位置の判定に用いられるテンプレートのデータ等）を記憶してもよい。なお、これらは例示であって、ＲＡＭには、これら以外のデータが記憶されていてもよいし、これらの一部が記憶されていなくてもよい。

[0066] ＲＯＭは、記憶部のうちデータの読み出しが可能なものであり、例えば半導体記憶素子で構成されていてもよい。ＲＯＭは、例えば制御ユニット１６０が実行するプログラムや、書き換えが行われないデータを記憶してもよい。

[0067] 制御ユニット１６０により実行されるプログラムは、記憶装置１９８（例えばＲＡＭやＲＯＭ）等のコンピュータによって読み取り可能な記憶媒体に記憶されて提供されてもよいし、本実施形態に係る鉄筋結束ロボット１００が不図示の通信部を有する場合には、通信部により接続される通信ネットワークを介してプログラムが提供されてもよい。

[0068] 上記の物理的な構成は例示であって、本開示の実施形態による鉄筋結束ロボット１００においては、制御ユニット１６０及び記憶装置１９８が必ずしも独立した構成でなくてもよい。例えば、鉄筋結束ロボット１００は、プロセッサとメモリとが一体化したＬＳＩ（Large-Scale Integration）を備えていてもよい。また、鉄筋結束ロボット１００は、制御ユニット１６０として

G P U (Graphical Processing Unit) を備えていてもよく、G P Uがプログラムを実行することにより、上記で説明した様々な動作が実現されてもよい。

[0069] 次に、図8及び図9を参照して、鉄筋結束ロボット100による鉄筋上の走行動作について説明する。図8は、第1鉄筋R10に沿って走行中の鉄筋結束ロボット100をY方向（-Y方向）から見た図である。図9は、第1鉄筋R10に沿って走行中の鉄筋結束ロボット100をX方向（+X方向）から見た図である。図8及び図9において、鉄筋結束ロボット100は、第1の方向（Y方向）に走行する。図8及び図9に示すように、鉄筋結束ロボット100は、走行中において、第3走行ユニット121cの第3ローラ122cが第1鉄筋R12上にあり、第4走行ユニット121dの第4ローラ122dが第1鉄筋R14上にあるように走行する。図9に示すように、第2走行ユニット121bの第2ローラ部122bも第4走行ユニット121dの第4ローラ部122dと同様に、第1鉄筋R14上を走行する。図8及び図9には図示されていないが、第1走行ユニット121aの第1ローラ部122aも、第3走行ユニット121cの第3ローラ部122c同様に第1鉄筋R12上を走行する。このように、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R10に沿って走行する際に、例えば、ある第1鉄筋R10（第1鉄筋R12）と、ある第1鉄筋R12の2つ隣に配置された第1鉄筋R10（第1鉄筋R14）とを走行し、走行する第1鉄筋R12及び第1鉄筋R14との間に存在する第1鉄筋R10である第1鉄筋R13上に存在する、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12を結束する。

[0070] 次に、図10、図11、及び図12を参照して、鉄筋結束作業時の鉄筋結束ロボット100について説明する。図10は、走行を停止し結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100をY方向（-Y方向）から見た図である。図11は、結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100をX方向（+X方向）から見た図である。図12は、結束作業を実行する鉄筋結束ロボット100

をZ方向下側（－Z方向）から見た図である。図10、図11、及び図12は、鉄筋結束ロボット100が、第1鉄筋R13及び第2鉄筋R20の交差箇所c12を結束する例を示している。結束作業にあたり、鉄筋結束ロボット100は、走行を停止し（図10）、鉄筋結束ユニット110を下降させて結束を行う（図11及び図12）。

[0071] 次に本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100による鉄筋群R（第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20）の位置を算出する構成について説明する。本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、延伸方向がY方向（第1の方向）である複数の第1鉄筋R1と、延伸方向がY方向（第1の方向）に交差するX方向（第2の方向）であり第1鉄筋R1と交差するように配置される複数の第2鉄筋R2と、を含む鉄筋群R上を走行可能に構成される走行ユニット121と、少なくとも一つの第1鉄筋R10及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R20を検出可能に構成されるセンサユニット130と、センサユニット130の検出結果により生成される二次元画像を構成する複数の画素の画素値に基づき、センサユニット130により検出される少なくとも一つの第1鉄筋R10及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R20の位置を算出するように構成される第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（本実施形態において、「鉄筋位置算出ユニット」ともいう。）を備える。本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、センサユニット130の検出結果により生成される二次元画像に基づき第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を算出することにより、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置の算出プロセスを効率化することができる。例えば、センサユニットの検出結果として、3次元データを用いて鉄筋の位置を算出する場合に比べ、二次元画像に基づいた計算を行うことにより、計算負荷を軽減することができる。

[0072] 本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100において、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置の算出に用いられる二次元画像は、濃淡画像であってもよい。このとき、鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R

１０及び／または第２鉄筋Ｒ２０の部分画像を含む少なくとも一つのテンプレート画像の情報を格納する記憶装置１９８を備え、上記二次元画像は、濃淡画像を含み、第１鉄筋判定部１６４ａ１及び／または第２鉄筋判定部１６４ａ２（鉄筋位置算出ユニット）は、濃淡画像を、テンプレート画像と照合することにより、少なくとも一つの第１鉄筋Ｒ１０及び／または少なくとも一つの第２鉄筋Ｒ２０の位置を算出するように構成されていてもよい。

[0073] また、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット１００では、濃淡画像において、画素の濃度値が所定の閾値以上である場合に、当該画素が第１鉄筋Ｒ１０及び／または第２鉄筋Ｒ２０に対応すると判断してもよい。このとき、第１鉄筋判定部１６４ａ１及び／または第２鉄筋判定部１６４ａ２（鉄筋位置算出ユニット）は、濃淡画像を構成する画素の濃度値が、所定の閾値（第１閾値）以上である場合に、所定の閾値以上の濃度値を有する画素に対応する位置に第１鉄筋Ｒ１の少なくとも一部及び／または第２鉄筋Ｒ２の少なくとも一部が存在すると判断してもよい。あるいは、二次元画像として濃淡画像を用いる場合に、対象物が存在する領域の画像濃度を低くし、対象物が存在しない領域の画像濃度を高くすることにより濃淡画像を生成してもよく、この場合、画素の濃度値が所定の閾値未満である場合に、当該画素が第１鉄筋Ｒ１０及び／または第２鉄筋Ｒ２０に対応すると判断してもよい。

[0074] 本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット１００においては、濃淡画像は３次元センサの検出結果により生成されてもよい。このとき、センサユニット１３０は、検出対象物の表面の複数の点のｘ座標、ｙ座標、及びｚ座標を検出可能な３次元センサを含み、３次元センサにより検出されるｚ座標値は、ｚ座標値の大きさに応じて異なる画像濃度に変換され、濃淡画像は、ｘ座標と、ｙ座標と、画像濃度とに基づき２次元画像を構成することにより生成されてもよい。

[0075] あるいは、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット１００は、センサユニット１３０が濃淡画像を撮像するように構成されていてもよい。このとき、センサユニット１３０は、撮像装置を含んでいてもよく、濃淡画像は、撮

像装置により撮像された画像に基づき生成されてもよい。

[0076] また、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、マッチング度により第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を算出してもよい。このとき、第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（鉄筋位置算出ユニット）は、濃淡画像と、テンプレート画像とのマッチング度に基づき、少なくとも一つの第1鉄筋R10及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R20の位置を算出するように構成されていてもよい。

[0077] 本開示の実施形態においては、マッチング度は、例えば、センサユニット130による検出結果、センサユニット130による検出結果に基づき生成される二次元画像と、またはテンプレート画像とを比較することにより算出されてもよい。例えば、センサユニット130による検出結果に基づき生成される二次元画像のうちの比較対象となる部分画像における全画素の画素値と、テンプレート画像における全画素の画素値とを比較し、比較される2つの画像の互に対応する各画素の画素値が一致するか否かに基づき、一致する画素の割合を百分率で表す等によりマッチング度として算出してもよい。例えば、テンプレート画像が50,000個の画素を含み、比較対象とする濃淡画像における50,000個の画素と比較し、40,000個の画素の濃度が一致、あるいはほぼ一致していた（例えば両者の差異が10%以内等）場合に、マッチング度は80%と算出されてもよい。

[0078] このとき、マッチング度の基準値を用いて第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を算出してもよい。このとき、第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（鉄筋位置算出ユニット）は、マッチング度が所定の基準値以上か判断し、マッチング度が所定の基準値以上である場合に、センサユニット130による検出範囲内に第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20が存在すると判断してもよい。

[0079] 本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100においては、マッチング度の基準値として、高さごとに異なる値が設定されていてもよい。このとき、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、鉄筋結束ロボット1

00の鉄筋群Rからの高さを算出するロボット高さ算出部164e（本実施形態において、「ロボット高さ算出ユニット」ともいう）を備え、所定の基準値は、鉄筋結束ロボット100の異なる高さに応じた複数の基準値を含み、第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（鉄筋位置算出ユニット）は、複数の基準値に、ロボット高さ算出部164e（ロボット高さ算出ユニット）により算出された鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さに対応する基準値が存在するか判断し、複数の基準値に、鉄筋結束ロボット100の高さに対応する基準値が存在すると判断される場合、この基準値に基づき、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を算出し、複数の基準値に、鉄筋結束ロボット100の高さに対応する基準値が存在しないと判断される場合、複数の基準値のうちの少なくとも2つの基準値に基づき、測定された鉄筋結束ロボット100の高さに対応する新たな基準値を算出するように構成されていてもよい。

[0080] 本開示の実施形態においては、例えば、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さが所定の大きさごとに複数の基準値が設定されていてもよい。例えば、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さが10cmから5cmごとに30cmまでの5つの基準値が設定されていてもよい。このとき、例えば、ロボット高さ算出部164eにより、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さが20cmであると判断された場合に、高さが20cmについて基準値が60%と設定されていた場合に、60%が基準値として用いられてもよい。また、例えば、ロボット高さ算出部164eにより、鉄筋結束ロボット100の鉄筋群Rからの高さが23cmと判断された場合に、23cmに対する基準値が設定されていないときは、例えば20cmの基準値と25cmの基準値とに基づいて新たな基準値が設定されてもよい。例えば、高さが20cmの基準値が60%であり、高さが25cmの基準値が50%であった場合に、23cmでの基準値を、 $50\% + ((60\% - 50\%) * ((25\text{cm} - 23\text{cm}) / (25\text{cm} - 20\text{cm}))) = 54\%$ と線形補間による内挿により算出されてもよい。新たに算出された基準値は、例

えば記憶装置 198 に格納され、以降の作業において必要に応じて利用されてもよい。なお、上記の高さ、基準値、また、新たな基準値の算出方法は例示であり、これに限られない。例えば、さらに多くの基準値が設定されていてもよいし、例えば、高さが 10 cm 未満、あるいは 30 cm 超についても基準値が設定されてもよい。

[0081] 以下、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボットによる鉄筋の位置の算出プロセスについて説明する。

[0082] まず、鉄筋結束ロボット 100 で用いられるセンサユニット 130 の具体例について詳述する。センサユニット 130 としては、例えば、ToF (Time of Flight) カメラ等の 3D 距離カメラを用いることができる（例えば ESPRIMO Photonics 社製の TOFcam-635）。3D 距離カメラにより、例えば、被写物体ごとにカメラからの離間距離に応じて濃淡が異なる画像が出力され、画素ごとに対象となる被写物体までの距離を取得し、比較的近い物体は濃度を高く（黒に近く）、比較的遠い物体ほど濃度を淡く（白に近く）なるように表すことができる。本開示の実施形態においては、鉄筋結束ロボット 100 が鉄筋群 R を走行中は、鉄筋結束ロボット 100 と鉄筋群 R との距離は概ね変わらないので、比較的黒く近い物体を鉄筋（第 1 鉄筋 R10 及び／または第 2 鉄筋 R20）として認識することにより、鉄筋を検出してもよい。

[0083] 図 13A 及び図 13B は、3D 距離カメラにより出力された画像を示す。図 13A は 3D 距離カメラにより撮影された第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 の交差箇所付近の画像を示す。図 13B は、第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 の交差箇所付近の画像を模式的に示す。図 13A に示されるように、3D 距離カメラにより撮像される画像には、濃淡が現れ、本開示の実施形態においては、濃度が高い部分を第 1 鉄筋 R10 及び／または第 2 鉄筋 R20 であると認識することが可能である。図 13B に模式的に示されるように、画素ごとに濃度の濃淡の異なる画像が取得される。

[0084] センサユニット 130 としては、上記で例示してきたカメラ等の撮像装置に限らず、他のセンサが用いられてもよい。例えば、深さ方向または高さ方

向の情報を取得可能なレーザ等が用いられてもよい。例えばレーザにより取得された深さ方向の情報に基づき、上記同様の画像濃度を用いた二次元画像を生成してもよい。

[0085] 続いて、センサユニット130により撮像され、取得された画像（本実施形態においては濃淡画像）に基づき鉄筋を検出するプロセスについて説明する。まず、図14A及び図14Bを参照して、センサ130の第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dの配置について説明する。図14A及び図14Bは、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び第4センサ130dの配置を模式的に示す図である。図14Aは、鉄筋結束ロボット100を水平方向（X方向）から見た模式的な側面図である。図14Bは、鉄筋結束ロボット100を上方向（Z方向上側）から見た模式的な上面図である。図14Aには、第1センサ130a、第2センサ130b、及び第3センサ130cと共に、第1センサ130a、第2センサ130b、及び第3センサ130cによる撮像範囲も併せて模式的に示す。

[0086] 図14A及び図14Bに模式的に示されるように、Y方向に互いに離間して配置される第1センサ130a及び第2センサ130bは、斜め下向きに撮像するように配置されている。第3センサ130c、及び不図示の第4センサ130dも同様に、斜め下向きに撮像するように配置される。第1センサ130a及び第2センサ130bは、例えば、撮像範囲を規定する画角が例えば80°以上100°以下となるように設定される。また、第3センサ130c及び第4センサ130dは、例えば、画角が例えば50°以上70°以下となるように設定される。いずれのセンサ130も、他の画角となるように設定されてもよい。上述のように、第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130dの検出結果に基づき、異物の判定を行う場合には、例えば、各センサの角度を上向きにする等、各センサの撮像範囲を変更してもよい。

[0087] 図15は、第1センサ130aによる撮像画像を模式的に示す。図15に

示されるように本開示の実施形態においては、第1センサ130aは斜め下方向を撮像するように配置されているので、手前から奥に向かって隣り合う第1鉄筋R10同士の間隔が狭くなる。本開示の実施形態においては、こうして得られた画像に基づき、例えばテンプレートマッチングを行うことにより、鉄筋群Rを構成する各鉄筋（複数の第1鉄筋R10及び複数の第2鉄筋R20）の位置を検出することができる。本開示の実施形態においては、テンプレートマッチングにより、例えば、撮像した画像と、予め用意した画像との類似度（本実施形態において、「マッチング度」ともいう。）に基づき、鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を検出し、鉄筋に対応する濃淡部分を含む濃淡画像をテンプレートとして用意し、各センサユニット130により撮像された画像を走査し、走査方向に類似度を算出する。

[0088] 図16を参照して、本開示の実施形態において実施されるテンプレートマッチングについて説明する。図16は、本実施形態に係るテンプレートマッチングを説明するための模式的な図である。図16には、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12付近の撮像画像と、X方向及びY方向に走査するためのテンプレート画像T110及びT120とを併せて示す。また、図16には、テンプレート画像T110及びT120、それぞれの走査に応じて算出された類似度の模式的なグラフG10及びG20も併せて示す。テンプレート画像T110及びT120を、それぞれ、Y方向及びX方向に走査し、テンプレート画像T110及びT120との類似度を算出することにより、撮像された画像上において、算出された類似度の最大値が閾値を超えた箇所は、鉄筋が存在する位置に対応すると判断する。グラフG10及びG20に示されるように、Y方向及びX方向に沿った類似度の分布においては、閾値TH10及び閾値TH20を超える部分が確認され、これらが鉄筋の存在する位置に対応する。なお、類似度（マッチング度）は例えば、撮像された画像の各画素の色濃度と、テンプレート画像を構成する各画素の色濃度とを比較することにより算出してもよい。例えば、まず、撮像された画像の各画素の対象物までの距離を色濃度として抽出する。次に、撮像された

画像全体の色濃度の合計値又は平均値が、薄い場合（例えば所定の閾値より低い場合）は、撮像された画像内に鉄筋が無いと判断する。一方、色濃度が濃い場合（例えば、所定の閾値より高い場合）は、抽出した色濃度とテンプレート画像を構成する各画素の色濃度との差を画素毎に比較する。撮像された画像の画素のうち、撮像された画素の色濃度と、テンプレート画像を構成する画素の色濃度との差の絶対値の合計が最も低い位置を鉄筋位置として抽出してもよい。このように、撮像画像に対しテンプレート画像を走査し算出された類似度に基づき、テンプレートマッチングによる第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の検出が可能である。

[0089] 図15を参照して上述したように、本開示の実施形態においては、第1センサ130aにより撮像される画像においては、X方向に隣り合う第1鉄筋R10同士の間隔がY方向に沿って変化する。同様に、第2センサ130bにより撮像される画像についても、第1鉄筋R10のX方向の間隔がY方向に変化し、また、第3センサ130c及び第4センサ130dにより撮像される画像についても、撮像される第2鉄筋R20同士のY方向の間隔がX方向に沿って変化する。従って、例えば、撮像される画像に対し正射変換を行うことにより、撮像画像上の鉄筋同士の間隔が略等しくなるように画像を補正してからテンプレートマッチングを行ってもよい。なお、正射変換等の画像の変換を行わず、テンプレートとして図15のような鉄筋同士の間隔が変化する画像を用意することによっても、テンプレートマッチングに基づく鉄筋の検出を行うことができる。

[0090] 本開示の実施形態に係るテンプレートマッチングにおいては、例えば、各画像に対し周波数分析を行い、位相相関法を用いることにより撮像画像とテンプレート画像との間の関連性を評価してもよい。

[0091] 第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の位置は、例えば、3次元センサ等を用いることにより、検出範囲内の対象物のXYZの3次元データを取得し、推定することも可能である。上述のように、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100においては、Z方向の第3次元のデータを画素の濃度の情

報として扱うテンプレートマッチングを行うことにより、交差箇所c 1 2の位置の算出の計算量を、例えば3次元のXYZのデータに基づき計算を行う場合に比べ、比較的小さくすることができる。本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100のように、走行しながら交差箇所c 1 2の結束作業を行う場合には、計算量を小さくすることができるテンプレートマッチングによる鉄筋の位置の判定方法が好適に用いられる。

[0092] 次に、本開示の実施形態における第1鉄筋R 1 0及び第2鉄筋R 2 0の交差箇所の判定方法について説明する。本開示の実施形態においては、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R 1 0及び第2鉄筋R 2 0の交差箇所c 1 2の判定を行う場合には、上述のように、第1センサ130 a及び第2センサ130 bが第1鉄筋R 1 0を検出するように構成されていてもよい。すなわち、鉄筋結束ロボット100は、上述のように、鉄筋群Rの第1鉄筋R 1 0と第2鉄筋R 2 0との交差箇所c 1 2を結束するように構成される鉄筋結束ユニット110を備え、センサユニット130は、互いに第3の方向に沿って離間して配置され、少なくとも第1鉄筋R 1 0を検出可能に構成される第1センサ130 a及び第2センサ130 bを含み、上述の少なくとも一つのテンプレート画像は、第1鉄筋R 1 0の部分画像を含むテンプレート画像T 1 10（第1テンプレート画像）を含み、鉄筋結束ロボット100は、走行ユニット121がY方向（第1の方向）に進行し、且つ、第1センサ130 a及び第2センサ130 bが配置される方向（第3の方向）がY方向（第1の方向）と平行となるように配置され、第1鉄筋判定部164 a 1及び／または第2鉄筋判定部164 a 2（鉄筋位置算出ユニット）は、第1センサ130 a及び／または第2センサ130 bの検出結果と、第1テンプレート画像とを照合することにより第1鉄筋R 1 0の位置を算出し、鉄筋結束ユニット110は、位置が算出された第1鉄筋R 1 0上の交差箇所c 1 2を結束してもよい。

[0093] また、このとき、鉄筋結束ロボット100は、さらに、第3センサ130 c及び第4センサ130 dが、第1鉄筋R 1 0に加え第2鉄筋R 2 0も検出

し交差箇所c 1 2を推定するように構成されていてもよい。すなわち、鉄筋結束ロボット1 0 0は、交差箇所c 1 2を推定する交差箇所算出部1 6 6（本実施形態において、「交差箇所推定ユニット」ともいう。）をさらに備え、センサユニット1 3 0は、互いに上記第3の方向に交差する第4の方向に沿って離間して配置され、少なくとも第2鉄筋R 2 0を検出可能に構成される第3センサ1 3 0 c及び第4センサ1 3 0 dを含み、少なくとも一つのテンプレート画像は、第2鉄筋R 2 0の部分画像を含むテンプレート画像T 1 2 0（第2テンプレート画像）を含み、鉄筋結束ロボット1 0 0は、第4の方向がX方向（第2の方向）と平行となるように配置され、第1鉄筋判定部1 6 4 a 1及び／または第2鉄筋判定部1 6 4 a 2（鉄筋位置算出ユニット）は、第3センサ1 3 0 c及び／または第4センサ1 3 0 dの検出結果と、第2テンプレート画像とを照合することにより第2鉄筋R 2 0の位置を算出し、交差箇所推定部（交差箇所推定ユニット）は、算出された第1鉄筋R 1 0と、算出された第2鉄筋R 2 0との交点を交差箇所c 1 2と推定し、鉄筋結束ユニット1 1 0は、推定された交差箇所c 1 2を結束するように構成されていてもよい。

[0094] また、鉄筋結束ロボット1 0 0は、第1鉄筋R 1 0の端部R 1 0 eを検出した場合、第3センサ1 3 0 c及び／または第4センサ1 3 0 dに第1鉄筋R 1 0を検出させ、第3センサ1 3 0 c及び／または第4センサ1 3 0 dに検出される第1鉄筋R 1 0に基づき、鉄筋結束ロボット1 0 0の後述する横移動量の算出に用いられてもよい。すなわち、鉄筋結束ロボット1 0 0は、走行ユニット1 2 1が進行する第1鉄筋R 1 0から他の第1鉄筋R 1 0に移動する場合に、第1鉄筋判定部1 6 4 a 1及び／または第2鉄筋判定部1 6 4 a 2（鉄筋位置算出ユニット）により算出される第1鉄筋R 1 0の位置情報に基づき、走行ユニット1 2 1の移動量を算出する移動量算出部1 7 4（移動量算出ユニット）を備え、第1鉄筋判定部1 6 4 a 1及び／または第2鉄筋判定部1 6 4 a 2（鉄筋位置算出ユニット）は、第1センサ1 3 0 a及び／または第2センサ1 3 0 bの検出結果に基づき、走行ユニット1 2 1が

進行する第1鉄筋R10の位置を算出し、第1センサ130aの検出結果のマッチング度が所定の基準値未満である場合に、マッチング度が、所定の端部基準値以上であるか判断し、マッチング度が所定の端部基準値以上であると判断される場合に、第1センサ130aの検出範囲内に第1鉄筋R10の端部R10eが存在すると判断し、第1センサ130aの検出範囲内に第1鉄筋R10の端部R10eが存在すると判断される場合に、第3センサ130c及び／または第4センサ130dは、第1鉄筋R10を検出するように設定され、第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（鉄筋位置算出ユニット）は、第3センサ130c及び／または第4センサ130dの検出結果に基づき、走行ユニット121が進行する第1鉄筋R10からX方向（第2の方向）に離間する他の第1鉄筋R10の位置を算出し、移動量算出部174（移動量算出ユニット）は、第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（鉄筋位置算出ユニット）により算出される他の第1鉄筋R10の位置と、走行ユニット121が進行する第1鉄筋R10の位置と、に基づき走行ユニット121のX方向（第2の方向）の移動量を算出し、走行ユニット121は、算出されたX方向（第2の方向）の移動量に基づき、X方向（第2の方向）に移動するように構成されているように構成されている。

[0095] 図17を参照して、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所の推定方法について説明する。図17は、交差箇所の推定方法を説明するための、Z方向下側（-Z方向）から見た鉄筋結束ロボット100を模式的に示す図である。図17に示すように、例えば、本開示の実施形態においては、鉄筋結束ロボット100は、上述のように、2本の第1鉄筋R12及び第1鉄筋R14を走行し、第1センサ130a及び第2センサ130bが第1鉄筋R13を検出し、第3センサ130c及び第4センサ130dが第2鉄筋R20を検出するように構成されている。図17に示す例においては、第3センサ130c及び第4センサ130dが例えば第2鉄筋R23を検出する。このとき、第1センサ130a及び第2センサ130bの検出結果に基づき、

第1センサ130aと第2センサ130bとの間に延伸する第1鉄筋R13を推定し、また、第3センサ130c及び第4センサ130dの検出結果に基づき、第3センサ130cと第4センサ130dとの間に延伸する第2鉄筋R23を推定する。推定された第1センサ130aと第2センサ130bとの間に延伸する第1鉄筋R13と、第3センサ130cと第4センサ130dとの間に延伸する第2鉄筋R23とが交差する箇所を交差箇所c12と推定する。

[0096] 図18を用いて、本開示の実施形態における交差箇所c12の推定方法について説明する。図18は本開示の実施形態における交差箇所c12の推定方法のフローチャートである。

[0097] まず、第1センサ130a及び第2センサ130bの検出結果を取得する(S1802)。

[0098] 次に、第1センサ130a及び第2センサ130bの検出結果に基づき、テンプレートマッチングを実行することにより、第1センサ130a及び第2センサ130bにより検出された第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20を確認する(S1804)。

[0099] 第1センサ130a及び第2センサ130bの検出結果に基づき第1鉄筋R13の位置を推定する(S1806)。

[0100] 続いて、第3センサ130c及び第4センサ130dの検出結果を取得する(S1808)。

[0101] 次に、第3センサ130c及び第4センサ130dの検出結果に基づき第2鉄筋R20の位置を推定する(S1810)。

[0102] 続いて、推定された第1鉄筋R13及び推定された第2鉄筋R20の位置に基づき交差箇所を推定する(S1812)。

[0103] このように、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、第1センサ130a及び第2センサ130bが配置される第3の方向(Y方向)が、第1鉄筋R10の延伸する方向である第1の方向と平行となり、且つ第3センサ130c及び第4センサ130dが配置される方向である第4の方向

が第2鉄筋R20の延伸する方向である第2の方向と平行となるように、鉄筋群R上に配置されており、交差箇所c12を推定する交差箇所推定部である交差箇所算出部166を備え、第1センサ130a及び第2センサ130bは、第1鉄筋R10を検出可能に構成されており、第3センサ130c及び第4センサ130dは、第2鉄筋R20を検出可能に構成されており、交差箇所推定部である交差箇所算出部166は、第1センサ130a及び第2センサ130bの検出結果に基づき、第1センサ130a及び第2センサ130bのいずれにもより検出される第1鉄筋R10（第1鉄筋R13）の位置を推定し、第3センサ130c及び第4センサ130dの検出結果に基づき、第3センサ130c及び第4センサ130dのいずれにもより検出される第2鉄筋R20（第2鉄筋R23）の位置を推定し、第1センサ130a及び第2センサ130bにより検出された第1鉄筋R13と、第3センサ130c及び第4センサ130dにより検出された第2鉄筋R23との交点を、交差箇所c12と推定するように構成されていてもよい。

[0104] 鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R13上の第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の位置を算出する場合、例えば第1センサ130aは、交差する点（交差部cp12）を通過している可能性がある。このとき、例えば、第1センサ130aにより撮像された交差部cp12の情報に基づき、算出される交差箇所c12の位置の調整を行ってもよい。すなわち、鉄筋結束ロボット100は、第1センサ130a及び第2センサ130bが第1鉄筋R10を検出しながら第1の方向（Y方向）に進行するように構成され、鉄筋結束ロボット100が進行中に、第1センサ130aが、第1鉄筋R10が第2鉄筋R20と交差する交差部cp12を検出した場合、交差部cp12と、推定された交差箇所c12とが一致するか否かを判定し、交差部cp12と、推定された交差箇所c12とが一致しないとき、推定された交差箇所c12の位置の調整を実行するように構成されていてもよい。検出した交差部cp12の位置と、推定された交差箇所c12の位置とが一致しない場合には、例えば、鉄筋結束ロボット100を第1鉄筋R10に追

従させる方法について上述したのと同様に、走行ユニット 1 2 1 の第 1 走行ユニット 1 2 1 a、第 2 走行ユニット 1 2 1 b、第 3 走行ユニット 1 2 1 c、及び／または第 4 走行ユニット 1 2 1 d を、それぞれ、加速または減速する、あるいは、第 1 車輪駆動モータ 1 2 4 a、第 2 車輪駆動モータ 1 2 4 b、第 3 車輪駆動モータ 1 2 4 c、及び第 4 車輪駆動モータ 1 2 4 d の回転数を制御することにより、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の位置を調整してもよい。

[0105] なお、図 1 8 を参照して上述した交差箇所の推定方法は例示であり、上述の例に限られない。例えば、各センサによる検出結果の取得は、上記の順で実行されなくてもよく、また、検出結果に基づく鉄筋の位置の推定も上記の順で実行されなくてもよい。

[0106] 次に、本開示の実施形態における鉄筋結束ロボット 1 0 0 の移動量の算出方法について説明する。図 1 7 を参照し、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が第 1 鉄筋 R 1 0 の Y 方向の端部 R 1 0 e 付近に到達し、横移動（X 方向への移動）を行う場合を例に説明する。図 1 7 に示すように、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が第 1 鉄筋 R 1 2 及び第 1 鉄筋 R 1 4 を走行し、第 1 鉄筋 R 1 2 と第 1 鉄筋 R 1 4 との間に存在する第 1 鉄筋 R 1 3 が第 2 鉄筋 R 2 0（例えば、第 2 鉄筋 R 2 1、R 2 2、R 2 3、R 2 4、及び R 2 5）と交差する箇所の結束を行い、端部 R 1 2 e、端部 R 1 3 e、及び端部 R 1 4 e 付近に到達している。このとき、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、次に、結束作業を実行してきた第 1 鉄筋 R 1 3 の X 方向（+X 方向）の隣の鉄筋である第 1 鉄筋 R 1 4 の結束作業を実行することとなり、そのため、X 方向（+X 方向、第 1 鉄筋 R 1 3 から第 1 鉄筋 R 1 4 に向かう方向）への移動を行う。

[0107] 図 1 9 を参照して、この場合の鉄筋結束ロボット 1 0 0 の横移動の方法について説明する。図 1 9 は、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の横移動に関するフローチャートである。

[0108] まず、第 1 センサ 1 3 0 a の検出結果を取得する（S 1 9 0 2）。

[0109] 次に、第 1 センサ 1 3 0 a の検出結果に対し、テンプレートマッチングを行う（S 1 9 0 4）。

- [0110] 次に、テンプレートマッチングの結果により、第1センサ130aにより検出される第1鉄筋R13の端部R13eが検出されたか判断する（S1906）。
- [0111] 続いて、第2鉄筋R20の端部R20eが検出されたか判断する（S1908）。第2鉄筋R20の端部R20eとしては、例えば、図17に示すように、第2鉄筋R21、R22、R23、R24、及びR25の端部R21e、R22e、R23e、R24e、及びR25eのうちのいずれかが検出されたか判断してもよい。
- [0112] 例えば、第3センサ130c及び／または第4センサ130dの検出結果に基づき、第2鉄筋R20の端部R20eが検出されたか判断してもよい。本開示の実施形態においては、鉄筋結束ロボット100は、Z方向上方から見て、X軸左側の第1鉄筋R10からX軸右側の第1鉄筋R10に向かって第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所の結束作業を行っていく。従って、Z方向上方から見て、X方向の右側に設けられた第4センサ130dの検出結果に基づき、第2鉄筋R20のX方向右側の端部R20eが検出されたかを判断してもよい。例えば、第4センサ130dにより、第2鉄筋R20のX方向右側の端部R20eが検出された場合には、最後の第1鉄筋R10の結束作業が完了した可能性があるので、作業対象である鉄筋群Rの結束作業を終了してもよい。
- [0113] 端部R20eの検出については、これに限られず、例えば、他のセンサによる検出結果に基づいて判断されてもよく、X方向右側の第1鉄筋R10からX方向左側の第1鉄筋R10に向かって結束作業を行う場合には、第3センサ130cにより第2鉄筋R20のX方向左側の端部R20eを検出してもよい。また、端部R20eの検出以外の条件に基づき結束作業を終了させるように構成することも可能である。例えば、端部R20e以外の箇所において別の鉄筋の結束作業を開始するように条件を設定し鉄筋結束ロボット100を移動させるように構成することも可能であり、あるいは、異物検出等の要因の発生により結束位置を変更し結束作業を実行する対象となる鉄筋を

替え鉄筋結束ロボット100を移動させるように構成することも可能である。また、第1センサ130a及び／または第2センサ130bによっても、例えば配置箇所、傾き、画角等を調整することにより第2鉄筋R20を検出することも可能であるので、第2鉄筋R20の端部R20eの検出を第1センサ130a及び／または第2センサ130bの検出結果を利用して実行してもよい。

[0114] 次に、第4センサ130dの検出結果を取得する(S1910)。

[0115] 続いて、第4センサ130dの検出結果に基づきテンプレートマッチングを行う(S1912)。

[0116] 次に、第4センサ130dにより検出された第1鉄筋R10の位置に基づき、鉄筋結束ロボット100の移動先の第1鉄筋R10を推定する(S1914)。本開示の実施形態においては、第4センサ130dは、複数の第1鉄筋R10を検出する。例えば、図17に示す例においては、第4センサ130dは、鉄筋結束ロボット100のX方向右側に存在する第1鉄筋R14を検出してもよい。また、第1鉄筋R13に沿った第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束作業を実行してきたので、次に、第1鉄筋R14に沿った交差箇所の結束作業を実行する場合、鉄筋結束ロボット100は、例えば第1鉄筋R13及び第1鉄筋R15上を走行するように横移動を行う。例えば、第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cが第1鉄筋R13上を走行し、第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dが第1鉄筋R15上を走行するように、鉄筋結束ロボット100をX方向に移動させる横移動を実行してもよい。

[0117] 続いて、横移動量を算出する(S1918)。鉄筋結束ロボット100の横移動量は、以下の方法により算出されてもよい。例えば、上述のように、鉄筋結束ロボット100が、Z方向上側から見てX方向右側(+X方向)に移動する場合、すなわち、第4センサ130dが配置される方向に移動する場合、第4センサ130dが鉄筋結束ロボット100のX方向の中心からX方向にどれだけ離れているか、及び、第4センサ130dが検出する第1鉄

筋 R 1 4 が第 4 センサ 1 3 0 d からどれだけ離れているか、の 2 つの情報に基づき、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の横移動量が算出されてもよい。

[0118] 第 4 センサ 1 3 0 d が鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心から X 方向にどれだけ離れているか算出する場合に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心は、例えば、鉄筋結束ユニット 1 1 0 が配置されている位置であってもよい。あるいは、鉄筋結束ユニット 1 1 0 による結束位置を鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心と見做してもよい。このとき、例えば、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が結束作業を行う対象である第 1 鉄筋 R 1 3 の X 方向の位置が、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心位置と判断してもよい。なお、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心位置及び、第 4 センサ 1 3 0 d の鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心位置からの距離（X 方向の距離）は予め算出され、記憶装置 1 9 8 に記憶されていてもよい。なお、センサユニット 1 3 0 の位置を変更可能とする構成において、例えば、第 4 センサ 1 3 0 d の位置を、建設現場等に応じて変更する場合、どの方向にどれだけ第 4 センサ 1 3 0 d が移動されたか算出し、第 4 センサ 1 3 0 d の移動量を考慮して、第 4 センサ 1 3 0 d の鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心からの X 方向における距離が算出されてもよい。また、第 4 センサ 1 3 0 d から第 4 センサ 1 3 0 d が検出する第 1 鉄筋 R 1 4 がどれだけ離れているかについては、例えば、第 4 センサ 1 3 0 d により撮像される画像に基づき算出されてもよい。

[0119] 例えば、第 4 センサ 1 3 0 d が鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心（例えば、第 1 鉄筋 R 1 3 の位置）から X 方向に 1 0 0 離れた位置に取り付けられ、第 1 鉄筋 R 1 4 が第 4 センサ 1 3 0 d から鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心から遠ざかる方向に 2 0 離れた位置にある場合、第 1 鉄筋 R 1 0 の間隔（第 1 鉄筋 R 1 3 及び第 1 鉄筋 R 1 4 の間隔）は 1 2 1 であると算出し、横移動量を 1 2 1 とする制御を行ってもよい。例えば、第 4 センサ 1 3 0 d が鉄筋結束ロボット 1 0 0 の X 方向の中心（例えば、第 1 鉄筋 R 1 3 の位置）から X 方向に 2 0 c m 離れた位置に取り付けられ、第 1 鉄筋 R 1 4

が第4センサ130dから鉄筋結束ロボット100のX方向の中心から遠ざかる方向に4cm離れた位置にある場合、第1鉄筋R10の間隔（第1鉄筋R13及び第1鉄筋R14の間隔）は24cmであると算出し、横移動量を24cmとする制御を行ってもよい。また、第4センサ130dが鉄筋結束ロボット100のX方向の中心（例えば、第1鉄筋R13の位置）からX方向に20cm離れた位置に取り付けられ、第1鉄筋R14が第4センサ130dから鉄筋結束ロボット100のX方向の中心に向けて4cm近づいた位置にある場合、第1鉄筋R10の間隔（第1鉄筋R13及び第1鉄筋R14の間隔）は16cmであると算出し、横移動量を16cmとする制御を行ってもよい。

[0120] 鉄筋結束ロボット100の横移動量は、例えば、上述するように、鉄筋結束ロボット100を、次に第1鉄筋R14上の交差箇所の結束を行うように横移動させる場合、鉄筋結束ロボット100は、全体として隣り合う第1鉄筋R10の間隔に相当する横移動を行うように、横移動量を算出されてもよい。上述の例においては、第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cは、第1鉄筋R12から第1鉄筋R13、第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dは、第1鉄筋R14から第1鉄筋R15に、それぞれ移動する。本開示の実施形態においては、第1鉄筋R10はほぼ等間隔に、互いにほぼ平行となるように配置されているので、第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dのX方向への移動量は等しい。従って、横移動量は、例えば、第4センサ130dにより検出される第1鉄筋R14及び第1鉄筋R15間のX方向の間隔であってもよい。あるいは、第1鉄筋R10同士の間隔はほぼ等しいので、他のセンサによる検出結果に基づき算出される隣り合う第1鉄筋R10同士の間隔に基づき横移動量が算出されてもよい。また、複数（例えば3本以上）の第1鉄筋R10のX方向の距離を算出し、算出された複数の第1鉄筋R10同士のX方向の距離の平均値を求め、第1鉄筋R10同士の間隔の平均値を横移動量としてもよい。平均値の算出により、例えば第1鉄筋R10同士の間隔に誤差があった場合に

も算出される横移動量への誤差の影響を小さくすることができる。

- [0121] 次に、算出された横移動量に基づき鉄筋結束ロボット100の横移動を実行する(S1918)。
- [0122] 横移動が完了した鉄筋結束ロボット100は、例えば移動後に第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dが位置する第1鉄筋R13及び第1鉄筋R15に沿って走行し(S1920)、第1鉄筋R14上の交差箇所c12の結束作業を開始してもよい。
- [0123] 上述の第1鉄筋R10の端部R10eの検出は、例えば、端部R10eの画像に対応するテンプレートを用意し、端部R10eのテンプレートとのマッチング度に基づき、判断してもよい。例えば、端部R10e以外の部分について、図16を参照して例示したように一方向に延伸したテンプレート画像を用意する場合に、端部R10eについては、端部R10e以外の部分に比べ、鉄筋に対応する部分のY方向の長さが短いテンプレート画像を用意してもよい。
- [0124] あるいは、マッチング度がある値の範囲である場合に端部R10eに到達しつつあると判定してもよい。例えば、第1鉄筋R10の端部R10e以外の部分においては、マッチング度が100%に比較的近く、75%以上の場合に第1鉄筋R10の端部R10e以外の部分の存在を判定し、マッチング度が比較的低い、例えば50%以上75%以下の場合に、第1鉄筋R10のうち端部R10eに近い部分を走行していると判定してもよい。端部R10e以外の部分についても端部R10eの近傍についても、ここでのマッチング度は例示であり、他の値が設定されてもよいし、鉄筋の配置状況やその他の環境等に応じて基準とする値が変更可能に構成されてもよい。
- [0125] このように、鉄筋結束ロボット100が横移動をする場合、特に第3センサ130c及び／または第4センサ130dによる第1鉄筋R10の検出結果が用いられる。第3センサ130c及び第4センサ130dについては、上述のように、例えば第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の位置の算出にあたり、第3センサ130c及び第4センサ130dの第2

鉄筋 R 2 0 の位置の検出結果が用いられる、すなわち、第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 の交差箇所 c 1 2 の位置の算出においては、第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d による第 1 鉄筋 R 1 0 の位置の検出結果は用いられなくてもよいので、この場合は第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d によって第 1 鉄筋 R 1 0 は検出されなくてもよい。鉄筋結束ロボット 1 0 0 が鉄筋結束作業を進め、第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e に到達した場合に、例えば、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が横移動を行い、そのため、移動量を算出できるように、第 3 センサ 1 3 0 c 及び／または第 4 センサ 1 3 0 d により第 1 鉄筋 R 1 0 が検出できるように、例えば第 3 センサ 1 3 0 c 及び／または第 4 センサ 1 3 0 d の向きを変更する等の方法により第 3 センサ 1 3 0 c 及び／または第 4 センサ 1 3 0 d による撮像範囲を変更してもよい。

[0126] 上記、図 1 9 を参照して、第 1 センサ 1 3 0 a 及び第 4 センサ 1 3 0 d の検出結果を用いる場合を例に説明したが、検出結果を参照するセンサはこれらに限られず、例えば、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の進行する方向に応じてどのセンサを用いるか替えることも可能である。上述のように、第 1 センサ 1 3 0 a により第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e が検出された場合に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、第 4 センサ 1 3 0 d の方向に横移動を行う場合に限らず、例えば、第 1 センサ 1 3 0 a により第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e が検出された場合に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、第 3 センサ 1 3 0 c の方向に横移動を行ってもよい。また、例えば、第 2 センサ 1 3 0 b により第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e が検出された場合に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、第 3 センサ 1 3 0 c の方向に横移動を行ってもよいし、あるいは、第 2 センサ 1 3 0 b により第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e が検出された場合に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、第 4 センサ 1 3 0 d の方向に横移動を行ってもよい。

[0127] 以下、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の横移動の例について図 2 0 A ～図 2 5 B を参照して説明する。図 2 0 A ～図 2 5 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を鉄筋結束ロボット 1 0 0 の図であり、図 2 0 A、図 2 1 A、…、図 2 5 A は鉄筋結束ロボット 1 0 0 の背面から見た図であり、図 2 0 B、図 2

1 B、…、図 2 5 B は鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

[0128] 図 2 0 A 及び図 2 0 B は、横移動を開始する前の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を示す。図 2 0 A 及び図 2 0 B に示すように、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、第 1 鉄筋 R 1 2 及び R 1 4 上を走行する。

[0129] 次に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、横移動を開始する。本開示の実施形態においては、上述したように、例えば第 1 センサ 1 3 0 a による検出結果に基づき第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e 近傍に到達した、あるいは到達しつつあると判断された場合に、横移動を開始すると判断する。図 2 1 A 及び図 2 1 B は、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が横移動を開始したときの状態を示す。図 2 1 A 及び図 2 1 B に示すように、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、走行ユニット 1 2 1 は移動させず、本体ユニット 1 4 0 を移動する方向（X 方向）に移動する。図 2 1 A 及び図 2 1 B に示すように、このとき、第 1 走行ユニット 1 2 1 a 及び第 2 走行ユニット 1 2 1 b は、それぞれ、第 1 鉄筋 R 1 2 及び第 1 鉄筋 R 1 4 上に移動せずに存在する。このとき、支持バー 1 5 0 a 及び 1 5 0 b は、いずれの鉄筋にも接していない。本体ユニット 1 4 0 の横移動（ここでは例えば水平方向への移動（X 方向への移動））は、例えば、図 2 1 A 及び図 2 1 B において不図示の横移動ユニット 1 4 6 の第 1 横移動モータ 1 4 6 m a 及び第 2 横移動モータ 1 4 6 m b により、第 1 連結部 1 4 7 a 及び第 2 連結部 1 4 7 b に設けられた第 1 横移動ローラ 1 4 6 l a 及び第 2 横移動ローラ 1 4 6 l b を駆動し、本体ユニット 1 4 0 を、第 1 駆動ラック 1 4 6 c a 及び第 2 駆動ラック 1 4 6 c b を介して X 方向に移動することにより実行されてもよい。

[0130] 次に、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、走行ユニット 1 2 1（走行ユニット 1 2 1 の下端）を第 1 鉄筋 R 1 0 に対して相対的に上方向に移動させる。図 2 2 A 及び図 2 2 B に示すように、走行ユニット 1 2 1 の-Z 方向の下端は、図 2 2 A 及び図 2 2 B において Z 方向上方（+Z 方向）に上昇される。このとき、例えば、第 1 本体側リンク部 1 2 5 a と第 1 ローラ側リンク部 1 2 3

aとが相対的に互いに近づく（すなわち、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが閉じる）方向に移動する。すなわち、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとがなす角が小さくなるように、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが移動する。第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dについても同様に、それぞれ、第2本体側リンク部125bと第2ローラ側リンク部123b、第3本体側リンク部125cと第1ローラ側リンク部123c、第4本体側リンク部125dと第4ローラ側リンク部123d、が閉じる方向に移動する。

[0131] 本体側リンク部125とローラ側リンク部123が閉じ、走行ユニット121の下端が上昇すると、支持バー150a及び150bが相対的に下降する。走行ユニット121が第1鉄筋R10から離れると、支持バー150a及び150bが第1鉄筋R10に接する。例えば、走行ユニット121は、Z方向の長さが、モータ等（例えば、図7に示す第1車輪高さ変更モータ126a、第2車輪高さ変更モータ126b、第3車輪高さ変更モータ126c、及び第4車輪高さ変更モータ126d）により、ローラ（第1ローラ部122a、第2ローラ部122b、第3ローラ部122c、及び第4ローラ部122d）を支持する構成に相当する本体側リンク部125とローラ側リンク部123（第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123a、第2本体側リンク部125bと第2ローラ側リンク部123b、第3本体側リンク部125cと第3ローラ側リンク部123c、第4本体側リンク部125dと第4ローラ側リンク部123d）を閉じることにより変更可能に構成されていてもよい。本体側リンク部125とローラ側リンク部123を閉じることによりローラ部122を上昇させ、ローラ部122が第1鉄筋R10から離間するように構成されてもよい。

[0132] 図22A及び図22Bに示すように、支持バー150a及び150bは、例えば、第1鉄筋R11～R14に接する。こうして、支持バー150a及び150bにより鉄筋結束口ボット100全体が支持される。

- [0133] 次に、鉄筋結束ロボット100の走行ユニット121がX方向に移動する。図23A及び図23Bに示すように、第1鉄筋R12と、第1鉄筋R14とにそれぞれ接していた第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cと、第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dとは、第1鉄筋R13と、第1鉄筋R15との上方に移動される。このとき、第1走行ユニット121a～第4走行ユニット121dのいずれもが第1鉄筋R10に接しておらず、支持バー150a及び150bが第1鉄筋R10（第1鉄筋R12～R15）に接し、鉄筋結束ロボット100を支持している。
- [0134] 続いて、走行ユニット121の本体側リンク部125とローラ側リンク部123とを開く。これにより、走行ユニット121の-Z方向の下端を第1鉄筋R10に対して相対的に下降させる。このとき、例えば、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが相対的に互いに遠ざかる（すなわち、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが開く）方向に移動する。すなわち、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとがなす角が大きくなるように、第1本体側リンク部125aと第1ローラ側リンク部123aとが移動する。第2走行ユニット121b、第3走行ユニット121c、及び第4走行ユニット121dについても同様に、それぞれ、第2本体側リンク部125bと第2ローラ側リンク部123b、第3本体側リンク部125cと第1ローラ側リンク部123c、第4本体側リンク部125dと第4ローラ側リンク部123d、が開く方向に移動する。
- [0135] 図24A及び図24Bに示すように、走行ユニット121の-Z方向の下端を、図24A及び図24BにおいてZ方向の下方（-Z方向）に下降させる。図24A及び図24Bに示されるように、第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cは第1鉄筋R13に接し、第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dは第1鉄筋R15に接する。従って、支持バー150a及び150bは、第1鉄筋R10に対して相対的に上昇する。そのため、鉄筋結束ロボット100は、この状態において走行ユニット

1 2 1 により支持される。

[0136] 次に、図 2 5 A 及び図 2 5 B に示されるように、本体ユニット 1 4 0 を X 方向に移動する。図 2 1 A 及び図 2 1 B を参照して上述したのと同様に、図 2 5 A 及び図 2 5 B に示される本体ユニット 1 4 0 の横移動（ここでは例えば水平方向への移動（X 方向への移動））は、例えば、図 2 5 A 及び図 2 5 B において不図示の横移動ユニット 1 4 6 の第 1 横移動モータ 1 4 6 m a 及び第 2 横移動モータ 1 4 6 m b により実行されてもよい。こうして、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の横移動が完了する。鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、例えば第 1 鉄筋 R 1 3 及び第 1 鉄筋 R 1 5 上の走行を開始し、第 1 鉄筋 R 1 4 上の第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 の交差箇所 c 1 2 の結束作業を行う。

[0137] 以上、鉄筋結束ロボット 1 0 0 が第 1 鉄筋 R 1 2 及び R 1 4 から第 1 鉄筋 R 1 3 及び第 1 鉄筋 R 1 5 に移動する場合を例に説明したが、例えば、複数の第 1 鉄筋 R 1 0 を隔てた先に移動することも可能である。この場合も、上記同様の方法により移動することができし、あるいは、上記の移動方法を繰り返すことによりさらに長い距離の移動も可能である。また、複数の第 1 鉄筋 R 1 0 を隔てた先に移動する場合にも同様の方法により、センサユニット 1 3 0 の検出結果に基づき移動量を算出してもよい。

[0138] また、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、上記で説明した方法に限られず、他の方法により横移動を行ってもよく、その場合においても、本開示の実施形態における移動量の算出方法に従って、センサユニット 1 3 0 の検出結果に基づき鉄筋結束ロボット 1 0 0 の移動量を算出することが可能であり、本開示の実施形態における移動量の算出方法を用いることにより、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の移動を円滑に進めることが可能である。

[0139] 上述してきたように、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、延伸方向が第 1 の方向（Y 方向）である複数の第 1 鉄筋 R 1 と、延伸方向が第 1 の方向（Y 方向）に交差する第 2 の方向（X 方向）であり第 1 鉄筋 R 1 と交差するように配置される複数の第 2 鉄筋 R 2 と、を含む鉄筋群 R 上を走行可能に構成される走行ユニット 1 2 1 と、少なくとも一つの第 1 鉄筋 R

10及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R20を検出可能に構成されるセンサユニット130と、センサユニット130の検出結果により生成される二次元画像を構成する複数の画素の画素値に基づき、センサユニット130により検出される少なくとも一つの第1鉄筋R10及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R20の位置を算出するように構成される第1鉄筋判定部164a1及び／または第2鉄筋判定部164a2（本実施形態において、「鉄筋位置算出ユニット」ともいう。）を備える。本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、センサユニット130の検出結果により生成される二次元画像に基づき第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置を算出することにより、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の位置の算出プロセスを効率化することができる。従って、鉄筋結束ロボット100の鉄筋血相作業における鉄筋検出プロセスを効率化することができる。例えば、センサユニットの検出結果として、3次元データを用いて鉄筋の位置を算出する場合に比べ、二次元画像に基づいた計算を行うことにより、計算負荷を軽減することができる。

[0140] 鉄筋結束ロボット100を構成する種々のユニットの技術レベルの向上により、鉄筋結束作業の高速化や効率化が可能となってきた。鉄筋結束作業の高速化を実現するためには、鉄筋の検出や鉄筋の結束が行われる鉄筋同士の交差箇所の検出プロセスの高速化が望まれると考えられる。本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100により、鉄筋の検出プロセスの効率を向上することができるので、鉄筋結束作業の高速化に寄与できる。

[0141] また、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、例えば、延伸方向が第1の方向（Y方向）である複数の第1鉄筋R10と、延伸方向が第1の方向（Y方向）に交差する第2の方向（X方向）であり第1鉄筋R10と交差するように配置される複数の第2鉄筋R20と、を含む鉄筋群の第1鉄筋R10と第2鉄筋R20との交差箇所c12を結束するように構成される鉄筋結束ユニット110と、第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20上を走行可能に構成される走行ユニット121と、少なくとも一つの第1鉄

筋 R 1 0 及び／または少なくとも一つの第 2 鉄筋 R 2 0 を検出可能に構成され、互いに第 3 の方向（Y 方向）に沿って離間して配置される第 1 センサ 1 3 0 a 及び第 2 センサ 1 3 0 b と、少なくとも一つの第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または少なくとも一つの第 2 鉄筋 R 2 0 を検出可能に構成され、互いに第 3 の方向（Y 方向）に交差する第 4 の方向（X 方向）に沿って離間して配置される第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d と、を備える。上述してきたように、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、4 つのセンサ 1 3 0（第 1 センサ 1 3 0 a、第 2 センサ 1 3 0 b、第 3 センサ 1 3 0 c、及び第 4 センサ 1 3 0 d）を備えるので、例えば、上述のように、第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 の交差箇所 c 1 2 の検出を効率良く行うことができる。交差箇所 c 1 2 の位置は、例えば、鉄筋結束ユニット 1 1 0 の近傍にセンサを設けることにより確認することも可能であるが、鉄筋結束ユニット 1 1 0 が上下に移動するように構成されるので、近傍にセンサを設けにくいことがある。本開示の実施形態においては、鉄筋結束ユニット 1 1 0 の近傍にセンサを設けなくても、交差箇所 c 1 2 の位置を、4 つのセンサ 1 3 0 の検出結果に基づき推定することができる。

[0142] また、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、例えば、延伸方向が第 1 の方向（Y 方向）である複数の第 1 鉄筋 R 1 0 と、延伸方向が第 1 の方向（Y 方向）に交差する第 2 の方向（X 方向）である複数の第 2 鉄筋 R 2 0 と、を含む鉄筋群の第 1 鉄筋 R 1 0 と第 2 鉄筋 R 2 0 との交差箇所 c 1 2 を結束するように構成された鉄筋結束ユニット 1 1 0 と、第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 上を走行可能に構成される走行ユニット 1 2 1 と、第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 を検出可能に構成されるセンサユニット 1 3 0 と、走行ユニット 1 2 1 が走行する第 1 鉄筋 R 1 0 または第 2 鉄筋 R 2 0 から他の第 1 鉄筋 R 1 0 または他の第 2 鉄筋 R 2 0 に移動する場合に、センサユニット 1 3 0 により検出される第 1 鉄筋 R 1 0 または第 2 鉄筋 R 2 0 の位置情報に基づき、走行ユニット 1 2 1 の移動量を算出する移動量算出部 1 7 4 と、を備える。上述してきたように、本開示の実施

形態に係る鉄筋結束ロボット100は、例えば、センサユニット130の検出結果に基づき鉄筋結束ロボット100の移動先の鉄筋の位置を判断し、鉄筋結束ロボット100の走行ユニット121が走行する鉄筋の位置と、移動先の鉄筋の位置とに基づき、鉄筋結束ロボット100の移動量を算出することができる。例えば、鉄筋結束ロボット100が、鉄筋結束作業を行っていた鉄筋の端部に達した場合に、次に鉄筋結束作業を行う鉄筋に移動する場合に、センサユニット130による検出結果に基づき移動量を算出することができる。

[0143] 上述してきた本開示の実施形態においては、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20が、互いに直交するように配置された鉄筋群において鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の鉄筋結束作業を行う場合を例に説明したが、本開示の実施形態に係る鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20が非直交の関係にある場合にも用いられてもよい。

[0144] 図26は、本開示の他の実施形態に係る鉄筋結束ロボット200のZ方向下方（-Z方向）から見た模式的な図である。図26に示すように、本実施形態においては、第1鉄筋R10に対して、第2鉄筋R20が30°程度の角度で配置されている。本実施形態に係る鉄筋結束ロボット200は、鉄筋結束ロボット100と、第3センサ130c及び第4センサ130dの位置が異なる。鉄筋結束ロボット200の第3センサ130c及び第4センサ130dは、X方向に対して30°の傾きとなる直線上に存在するように配置されている。鉄筋結束ロボット200においては、第3センサ130c及び第4センサ130dを、第2鉄筋R20に合わせ、X方向から傾く方向に配置することにより、鉄筋結束ロボット100と同様の方法により第2鉄筋R20の検出が可能である。

[0145] このように、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の配置構成に応じて、第1センサ130a～第4センサ130dの配置を変更してもよい。第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4

センサ１３０ｄの配置の変更は、例えば、結束作業の対象となる鉄筋群Ｒが配置された建設現場に応じて鉄筋結束作業を開始する前に手動または自動により調整してもよい。あるいは、鉄筋結束ロボット１００が走行を開始した後であっても、センサユニット１３０の検出結果に基づき第１鉄筋Ｒ１０及び第２鉄筋Ｒ２０の関係を判定し、判定結果に基づき第１センサ１３０ａ、第２センサ１３０ｂ、第３センサ１３０ｃ、及び／または第４センサ１３０ｄの配置を動的に変更してもよい。このとき、例えば、第１センサ１３０ａ～第４センサ１３０ｄを駆動可能なモータ等が設けられ、第１センサ１３０ａ～第４センサ１３０ｄの位置をモータの駆動により変更するように構成されていてもよい。

[0146] 以下、図２７乃至図３１Ｂを参照して、本開示の実施形態に係る結束装置１００のセンサユニット１３０（本実施形態において、「検出ユニット」ともいう。）の構成について説明する。

[0147] 本実施形態に係る結束装置１００においては、センサユニット１３０（検出ユニット１３０）は、移動ユニット１２０の前進方向を検出するように構成されている。また、本実施形態に係る結束装置１００は、鉄筋Ｒ１０及び／またはＲ２０上の障害物を検知する。

[0148] すなわち、本実施形態に係る結束装置１００は、鉄筋結束ユニット１１０と、移動ユニット１２０、と、検出ユニット１３０とを備える。移動ユニット１２０は、互いに交差して配置された複数の鉄筋Ｒ１０及びＲ２０上を移動可能に構成される。鉄筋結束ユニット１１０は、複数の鉄筋Ｒ１０及びＲ２０を結束可能に構成される。検出ユニット１３０は、移動ユニット１２０又は鉄筋結束ユニット１１０の近傍に位置する鉄筋Ｒ１０及び／またはＲ２０を含む第１鉄筋エリア（例えば後述の図２７においてＡｒ１ａで示される領域またはＡｒ１ａ'で示される領域）、及び、第１鉄筋エリアより移動ユニット１２０による移動方向前方に位置する鉄筋Ｒ１０及び／またはＲ２０を含む第２鉄筋エリア（例えば後述の図２７においてＡｒ２ａで示される領域）の双方を含む領域を検出範囲とするセンサ（第１センサ１３０ａ、第２

センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130d)を有する。また、検出ユニット130は、鉄筋R10及び／またはR20上の障害物を検出するように構成される。

[0149] 本実施形態においては、第1鉄筋エリアは、移動ユニット120又は鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋を含むエリアである。第1鉄筋エリアは、後述するように、例えば、図27においてA r 1 aで示される領域であってもよい。このときの第1鉄筋エリアA r 1 aは、例えば、図27において（すなわち、+X方向から見て）、第1センサ130aの半画角 $\alpha a / 2$ に相当する、検出領域が二分された領域のうちの、第2走行ユニット121bに近いほうの領域である。このとき第1鉄筋エリアA r 1 aは、移動ユニット120（第1走行ユニット121b）の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。

[0150] また、本実施形態においては、第1鉄筋エリアは、鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含んでもよい。例えば、図27において、鉄筋結束ユニット110のY方向における中心付近から、第1センサ130aの半画角 $\alpha a / 2$ に相当する領域を含むA r 1 a'で示される領域であってもよい。このときの第1鉄筋エリアA r 1 a'は、図27に示されるように、Y方向に延びる鉄筋である第1鉄筋R10に沿って、第2鉄筋R20と、第1面130as1に直交する直線（後述する直線L a）との間の領域である。

[0151] また、第2鉄筋エリアは、後述するように、例えば、図27においてA r 2 aで示される領域であってもよい。このときの第2鉄筋エリアA r 2 aは、第1センサ130aの検出領域が同様に二分された領域のうちの、第2走行ユニット121bから離れているほうの領域である。

[0152] 以上の構成により、本実施形態に係る結束装置100は、検出ユニット130の検出範囲が、移動ユニット120又は鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋を含むエリア（第1鉄筋エリア）、及び、第1鉄筋エリアより移動ユニット120による移動方向前方に位置する鉄筋を含むエリア（第

2鉄筋エリア)を含むので、検出ユニット130により、移動ユニット120が走行する鉄筋(例えば第1鉄筋R10)を検出し、また、第1鉄筋エリア及び/または第2鉄筋エリアの障害物を検出する。従って、例えば、鉄筋検出のセンサに加え、障害物検出のセンサを設ける結束装置に比べ、コストの増大を抑制することができる。また、センサ等の部品点数も削減することができる。あるいは、またはそれに加えて、消費電力を削減することもできる可能性がある。その他、装置全体の軽量化も可能とできることもある。このように、本実施形態においては、追加でセンサを設けることなく、例えば、走行する第1鉄筋R10及び/または第2鉄筋R20の検出、第1鉄筋R10の端部R10e及び/または第2鉄筋R20の端部R20eの検出、及び/または第1鉄筋R10の位置及び第2鉄筋R20の位置の検出結果に基づく第1鉄筋R10と第2鉄筋R20との交差箇所c12の推定に加え、第1鉄筋R10、第2鉄筋R20、または第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20により規定される鉄筋面上の障害物検知することができる。

[0153] また、本実施形態に係る結束装置100は、本体部140を備え、移動ユニット120は、本体部140を、複数の鉄筋(第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20)上において走行可能に構成される走行ユニット121を含み、検出ユニット130は、本体部140の移動方向前方の端部に配置され、検出ユニット130の検出範囲に含まれる第2鉄筋エリアは、本体部140の移動方向の斜め下方である。なお、本実施形態に係る結束装置100は、この構成に限られず、例えば、後述のロボットアーム式の結束装置にも適用されてもよい。

[0154] まず、本実施形態に係る結束装置100として、自走式の鉄筋結束ロボットを例に、センサユニット130の構成を説明する。図27は、本実施形態のセンサユニット130を説明するための、自走式の鉄筋結束ロボット100(結束装置)を+X方向から見た図であり、図28は、自走式の鉄筋結束ロボット100(結束装置)を-Y方向から見た図である。

[0155] 図27を参照して、第1センサ130a及び第2センサ130bの検出範

図を説明する。図27には、第1センサ130aを配置する角度 θ_a を示す。図27に示されるように、第1センサ130aは、撮像部130acが設けられる第1面130as1と、第1面130as1と反対側の面である第2面130as2とを有する。第1面130as1は、第1センサ130aの-Z方向の主面であり、第2面130as2は、第1センサ130aの+Z方向の主面である。第1センサ130aの配置角度 θ_a は、第1センサ130aが配置される、上下方向（Z方向）に対する角度である。すなわち、配置角度 θ_a は、Z軸に対する、第1面130as1に直交する直線（図27に示す直線L a）の角度に相当する。

[0156] 第1センサ130aは、例えばカメラであり、図27には、第1センサ130aの画角 α_a も併せて示す。図27においては、画角 α_a に替えて、第1センサ130aの半画角 $\alpha_a/2$ を示す。図27においては、第1センサ130aの撮像範囲を、図27において第1面130as1に直交する直線（直線L a）で二分して示しており、二分された撮像範囲（図27において、領域Ar1a及び領域Ar2a）の角度が、それぞれ半画角 $\alpha_a/2$ に相当する。

[0157] 本実施形態においては、第1センサ130aは、例えば θ_a が 45° となるように配置される。また、第1センサ130aの半画角 $\alpha_a/2$ は 29° である。従って、図27において模式的に示されるように、本実施形態では、結束装置100の進行方向が+Y方向であり、第1センサ130aの検出範囲である撮像範囲は、前向き斜め下方（-Z方向且つ+Y方向の斜め下方）である。さらに具体的には、第1センサ130aの検出範囲は、第1センサ130aの下方（-Z方向）に存在する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む領域と、さらに移動ユニット120である第1走行ユニット121a及び第2走行ユニット121bの進行方向（移動方向）の前方にある鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20、または第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の一部）を含む領域とを含むように構成されている。

- [0158] 具体的には、第1センサ130aの検出範囲は、図27において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 $\theta a - \alpha a / 2 = 16^\circ$ 傾斜した直線（図27において、 $-Z$ 方向且つ $+Y$ 方向に傾斜した直線L a 1）から、 $\theta a + \alpha a / 2 = 61^\circ$ 傾斜した直線（図27に示す直線L a 2）の範囲である。また、第1センサ130aの検出範囲には、図27において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 16° 傾斜した直線L a 1から、 61° 傾斜した直線L a 2の範囲に存在する鉄筋（第1鉄筋R 1 0及び／または第2鉄筋R 2 0、または第1鉄筋R 1 0及び／または第2鉄筋R 2 0の一部）が含まれる。
- [0159] 図27には、同様に、第2センサ130bを配置する角度 θb 及び第2センサ130bの検出範囲（撮像範囲）も併せて示す。まず、第2センサ130bは、撮像部130bcが設けられる面である第1面130bs1と、第1面130bs1の反対側の面である第2面130bs2とを有する。第2センサ130bの配置角度 θb は、第2センサ130bが配置される、上下方向（Z方向）に対する角度であり、配置角度 θb は、Z軸に対する、第1面130bs1に直交する直線L bの角度に相当する。
- [0160] 第2センサ130bも、例えばカメラであり、画角 αb については、図27に示されるように、第2センサ130bの撮像範囲を、図27において第1面130bs1に直交する直線L bで二分して示しており、二分された撮像範囲（図27において、領域A r 1 b及び領域A r 2 b）の角度が、それぞれ半画角 $\alpha b / 2$ に相当する。
- [0161] 本実施形態においては、第2センサ130bは、例えば θb が 45° となるように配置され、第1センサ130aの半画角 $\alpha b / 2$ は 29° である。従って、図27において模式的に示されるように、本実施形態では、結束装置100の進行方向が $+Y$ 方向であり、第2センサ130bの検出範囲である撮像範囲は、後ろ向きの斜め下方（ $-Z$ 方向且つ $-Y$ 方向の斜め下方）であり、具体的には、第2センサ130bの検出範囲は、第2センサ130bの下方（ $-Z$ 方向）に存在する鉄筋を含む領域と、さらに移動ユニット1

20である第1走行ユニット121bの進行方向（移動方向）の後方にある鉄筋を含む領域とを含むように構成されている。

[0162] さらに具体的には、第2センサ130bの検出範囲は、図27において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 $\theta b - \alpha b / 2 = 16^\circ$ 傾斜した直線（-Z方向且つ-Y方向に傾斜した直線Lb1）から、 $\theta b + \alpha b / 2 = 61^\circ$ 傾斜した直線（直線Lb2）の範囲である。また、第2センサ130bの検出範囲には、図27において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 16° 傾斜した直線Lb1から、 61° 傾斜した直線Lb2の範囲に存在する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20、または第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の一部）が含まれる。

[0163] 次に、図28を参照して、第3センサ130c及び第4センサ130dの検出範囲を説明する。図28には、第3センサ130cを配置する角度 θc 及び第4センサ130dを配置する角度 θd を示す。

[0164] 図28に示されるように、第3センサ130cは、撮像部130ccが設けられる第1面130cs1と、第1面130cs1と反対側の面である第2面130cs2とを有する。第3センサ130cの配置角度 θc は、第3センサ130cが配置される、Z方向に対する角度であり、配置角度 θc は、Z軸に対する、第1面130cs1に直交する直線Lcの角度に相当する。第4センサ130dについても同様に、第4センサ130dは、撮像部130dcが設けられる第1面130ds1と、第1面130ds1と反対側の面である第2面130ds2とを有し、第4センサ130dの配置角度 θd は、Z軸に対する、第1面130ds1に直交する直線Ldの角度に相当する。また、図28には、第3センサ130c及び第4センサ130dの撮像範囲の半画角 $\alpha c / 2$ 及び $\alpha d / 2$ も併せて示す。

[0165] 本実施形態においては、第3センサ130cは、例えば θc が 30° となるように配置される。また、第3センサ130cの半画角 $\alpha c / 2$ は 43.5° である。また、第4センサ130dは、例えば θd が 30° となるように配置され、第4センサ130dの半画角 $\alpha d / 2$ は 43.5° である。図

28においても、第3センサ130cの画角 α_c 及び第4センサ130dの画角 α_d を二分するように示す、二分された撮像範囲が、領域Ar1cと領域Ar2c、及び、領域Ar1dと領域Ar2dとして示される。

[0166] 本実施形態では、結束装置100の進行方向が+Y方向であり、図28において模式的に示されるように、第3センサ130cの検出範囲である撮像範囲は、進行方向で見て右向きの斜め下方（-Z方向且つ+X方向の斜め下方）であり、第4センサ130dの検出範囲である撮像範囲は、進行方向で見て左向きの斜め下方（-Z方向且つ-X方向の斜め下方）である。

[0167] また、第3センサ130cの検出範囲は、第3センサ130cの下方向（-Z方向）に存在する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む領域と、さらに移動ユニット120である第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121dの進行方向（移動方向）に直交する方向（右方向（+X方向））にある鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20、または第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の一部）を含む領域とを含むように構成されている。

[0168] さらに、第4センサ130dの検出範囲は、第4センサ130dの下方向（-Z方向）に存在する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む領域と、さらに移動ユニット120である第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121cの進行方向（移動方向）に直交する方向（左方向（-X方向））にある鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20、または第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の一部）を含む領域とを含むように構成されている。

[0169] また、具体的に、第3センサ130cの検出範囲は、図28において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 $\theta_c - \alpha_c / 2 = -13.5^\circ$ 傾斜した直線（すなわち、-Z方向且つ+X方向に 13.5° 傾斜した直線Lc1）から、 $\theta_c + \alpha_c / 2 = 73.5^\circ$ 傾斜した直線（-Z方向且つ-X方向に 73.5° 傾斜した直線Lc2）の範囲である。また、第3センサ130cの検出範囲には、図28において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して

、 13.5° 傾斜した直線 $Lc1$ から、 73.5° 傾斜した直線 $Lc2$ の範囲に存在する鉄筋（第1鉄筋 $R10$ 及び／または第2鉄筋 $R20$ 、または第1鉄筋 $R10$ 及び／または第2鉄筋 $R20$ の一部）が含まれる。

[0170] 第4センサ130dについても同様に、第4センサ130dの検出範囲は、図28において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 $\theta d - \alpha d / 2 = -13.5^\circ$ 傾斜した直線（すなわち、 $-Z$ 方向且つ $-X$ 方向に 13.5° 傾斜した直線 $Ld1$ ）から、 $\theta d + \alpha d / 2 = 73.5^\circ$ 傾斜した直線（ $-Z$ 方向且つ $+X$ 方向に 73.5° 傾斜した直線 $Ld2$ ）の範囲である。また、第4センサ130dの検出範囲には、図28において、おおよそ、Z方向に延びる軸に対して、 13.5° 傾斜した直線 $Ld1$ から、 73.5° 傾斜した直線 $Ld2$ の範囲に存在する鉄筋（第1鉄筋 $R10$ 及び／または第2鉄筋 $R20$ 、または第1鉄筋 $R10$ 及び／または第2鉄筋 $R20$ の一部）が含まれる。

[0171] 本実施形態の結束装置100においては、検出ユニット130のセンサ（第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130d）は、移動ユニット120又は鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋 $R10$ 及び／または第2鉄筋 $R20$ ）を含む第1鉄筋エリア、及び、第1鉄筋エリアより移動ユニット120による移動方向前方に位置する鉄筋 $R10$ 及び／または $R20$ を含む第2鉄筋エリアの双方を含む領域を検出範囲とする。

[0172] 本実施形態においては、移動ユニット120または鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋は、例えば、移動ユニット120または鉄筋結束ユニット110の下方（ $-Z$ 方向）に存在する鉄筋（第1鉄筋 $R10$ 及びまたは第2鉄筋 $R20$ ）であってもよい。また、移動ユニット120または鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋は、例えば、移動ユニット120または鉄筋結束ユニット110の下方（ $-Z$ 方向）に存在する鉄筋（第1鉄筋 $R10$ 及びまたは第2鉄筋 $R20$ ）と、それらの鉄筋の周辺に存在する鉄筋を含んでもよい。

- [0173] このように、本実施形態において、近傍は、本実施形態に係る結束装置 100 に対向する位置に配置され、結束装置 100 により結束される対象である鉄筋（複数の互いに交差する鉄筋）のある一部（複数の鉄筋のうちの 1 本または複数本、また、複数の鉄筋のうちの 1 本または複数本それぞれの一部分）を特定する際の表現として用いられてもよい。上述のように、結束装置 100 が対向する、複数の第 1 鉄筋 R10 及び第 2 鉄筋 R20 を含む鉄筋群のうち、例えば移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 に対向する位置にある 1 本または複数本の鉄筋や、これらの鉄筋のうち移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 に対向する位置にある一部分が、移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 の近傍に位置する鉄筋であってもよい。
- [0174] また、ここで例示した、移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 に対向する位置にある 1 本または複数本の鉄筋や、これらの鉄筋のうち移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 に対向する位置にある一部分に加えて、これらの鉄筋の周辺にある 1 本または複数の鉄筋や、周辺にある鉄筋の一部分も含めて、移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 の近傍に位置する鉄筋であってもよい。例えば、ここで例示した、移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 に対向する位置にある（-Z 方向にある）1 本または複数本の鉄筋の X 方向及び／または Y 方向に隣り合う 1 本または複数本（例えば 2 本または 3 本）の鉄筋も含めて、移動ユニット 120 または鉄筋結束ユニット 110 の近傍に位置する鉄筋であってもよい。
- [0175] 本実施形態の結束装置 100 においては、第 1 鉄筋エリアは、例えば、移動ユニット 120 である走行ユニット 121 の近傍に位置する第 1 鉄筋 R10 及び／または第 2 鉄筋 R20 を含む領域であってもよく、例えば、図 27 において、第 2 走行ユニット 121b の下方（-Z 方向）に位置する第 1 鉄筋 R10 及び／または第 2 鉄筋 R20 を含む領域であってもよい。このとき、センサユニット 130 は、例えば、走行ユニット 121 が走行する鉄筋（

例えば第1鉄筋R10)を検出し、走行ユニット121の走行が制御ユニット160により制御されてもよい。あるいは、センサユニット130(例えば第1センサ130a)の検出結果及び他のセンサ(第2センサ130b、第3センサ130c、及び/または第4センサ130d)の検出結果に基づき、鉄筋結束ユニット110が結束動作を実行する対象である第1鉄筋R10と第2鉄筋R20との交差箇所c12が、制御ユニット160の交差箇所算出部166により算出されてもよい。

[0176] また、第1鉄筋エリアは、例えば、鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する第1鉄筋R10及び/または第2鉄筋R20を含む領域であってもよく、例えば、図27において、鉄筋結束ユニット110の下方(−Z方向)に位置する第1鉄筋R10及び/または第2鉄筋R20を含む領域であってもよい。このとき、例えば、検出ユニット130の検出結果に基づき、鉄筋結束ユニット110の結束動作の実行対象となる交差箇所c12が特定され、特定された交差箇所c12に対する結束動作が実行されてもよい。

[0177] あるいは、第1鉄筋エリアは、移動ユニット120の近傍に位置する鉄筋R10及び/またはR20と、鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋R10及び/またはR20とを含んでいてもよい。このとき、例えば、検出ユニット130による検出結果に基づき、走行ユニット121の走行する鉄筋Rが検出されてもよく、また、鉄筋結束ユニット110が結束動作を実行する交差箇所c12が特定されてもよい。

[0178] また、本実施形態の結束装置100においては、第2鉄筋エリアは、第1鉄筋エリアより移動ユニット120による移動方向前方に位置する鉄筋R10及び/またはR20を含み、例えば、図27において、第2走行ユニット121bの+Y方向の領域であってもよい。第2鉄筋エリアは、例えば、第2走行ユニット121bの+Y方向の端部(第2ローラ側リンク部123a(図2)の+Y方向の端部)より+Y方向に存在する第1鉄筋R10及び/または第2鉄筋R20を含む領域であってもよい。

[0179] 本実施形態においては、第2鉄筋エリアは、結束装置100の進行方向の

前方にあるので、第2鉄筋エリアを検出範囲として含むことにより、例えば第2鉄筋エリアに存在する障害物を検出することができる。従って、進行方向の前方の障害物を検出することができるので、進行する前に予め障害物を検出することができ、例えば、障害物を迂回することができる。すなわち、本実施形態の検出ユニット130の検出結果により、制御ユニット160の障害物判定部164dにより障害物や異物の位置を判定し、異物の位置の判定結果に基づき、異物迂回制御部179によって、第1車輪駆動モータ124a、第2車輪駆動モータ124b、第3車輪駆動モータ124c、及び／または第4車輪駆動モータ124dが駆動され、異物を迂回するように構成されていてもよい。

[0180] なお、上述のように、例えば、図27を参照して、第1センサ130aの半画角 $\alpha a/2$ に相当する、検出領域が二分された領域のうちの、第2走行ユニット121bに近いほうの領域（図27において、Ar1aで示される領域）を第1鉄筋エリアとしてもよい。あるいは、検出領域が二分された領域のうちの、第2走行ユニット121bから離れているほうの領域（図27において、Ar2aで示される領域）を第2鉄筋エリアとしてもよい。このときの第1鉄筋エリアAr1aは、上述のように、例えば、図27において、第1センサ130aの半画角 $\alpha a/2$ に相当する、検出領域が二分された領域のうちの、第2走行ユニット121bに近いほうの領域であり、このとき第1鉄筋エリアAr1aは、移動ユニット120（第1走行ユニット121b）の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。

[0181] あるいは、本実施形態においては、第1鉄筋エリアは、上述のように、鉄筋結束ユニット110の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含んでもよく、例えば、図27において、鉄筋結束ユニット110のY方向における中心付近から、第1センサ130aの半画角 $\alpha a/2$ に相当する領域を含むAr1a'で示される領域であってもよい。このときの第1鉄筋エリアAr1a'は、第1鉄筋R10に沿って、第2鉄筋

R 2 0 と、第 1 面 1 3 0 a s 1 に直交する直線（後述する直線 L a）との間の領域である。

[0182] また、第 2 鉄筋エリアは、上述のように、例えば、図 2 7 において A r 2 a で示される領域であってもよく、このときの第 2 鉄筋エリア A r 2 a は、第 1 センサ 1 3 0 a の検出領域が半画角 $\alpha a / 2$ で二分された領域のうち、第 2 走行ユニット 1 2 1 b から離れているほうの領域 A r 2 a で示される領域である。

[0183] 第 1 鉄筋エリア及び第 2 鉄筋エリアとして、A r 1 a（または A r 1 a'）及び A r 2 a は例示であり、これらに限られず、他の領域で規定されてもよい。例えば、第 1 鉄筋エリアは、走行ユニット 1 2 1 が走行する第 1 鉄筋 R 1 0 と、走行する第 1 鉄筋 R 1 0 の間に存在する第 1 鉄筋 R 1 0 とを含む領域であってもよい。第 1 鉄筋エリアは、第 1 走行ユニット 1 2 1 a と第 3 走行ユニット 1 2 1 c が走行する第 1 鉄筋 R 1 2 と、第 2 走行ユニット 1 2 1 b と第 4 走行ユニット 1 2 1 d が走行する第 1 鉄筋 R 1 4 と、第 1 鉄筋 R 1 2 と第 1 鉄筋 R 1 4 との間に存在する第 1 鉄筋 R 1 3 とを含む領域であってもよい（第 1 鉄筋 R 1 2、R 1 3、及び R 1 4 は、例えば図 5 参照）。

[0184] また、第 1 鉄筋エリアは、走行ユニット 1 2 1 が走行する第 1 鉄筋 R 1 0 と、これらの第 1 鉄筋 R 1 0 の - X 方向及び / または + X 方向に存在する所定数の第 1 鉄筋 R 1 0 を含む領域として規定されてもよい。例えば、第 1 鉄筋エリアは、第 1 鉄筋 R 1 2、R 1 3、及び R 1 4 と、R 1 2 及び R 1 4 のそれぞれ - X 方向及び + X 方向に存在する 1 本の第 1 鉄筋 R 1 1 及び R 1 5 を含む領域であってもよい。このとき、第 1 鉄筋エリアは、Y 方向には、例えば、第 1 走行ユニット 1 2 1 a 及び第 3 走行ユニット 1 2 1 c の下方から、第 2 走行ユニット 1 2 1 b 及び第 4 走行ユニット 1 2 1 d の下方までの領域となるように規定されてもよい。

[0185] あるいは、第 1 鉄筋エリアは、第 1 走行ユニット 1 2 1 a 及び第 3 走行ユニット 1 2 1 c の下方から 1 または複数本、+ Y 方向に存在する第 2 鉄筋 R 2 0 から、第 2 走行ユニット 1 2 1 b 及び第 4 走行ユニット 1 2 1 d の下方

から1または複数本、+Y方向に存在する第2鉄筋R20までの領域となるように規定されてもよい。他方、第2鉄筋エリアは、第1鉄筋エリアの外方となるように規定されてもよい。例えば、第1鉄筋エリアの+Y方向に隣接し、第1検出ユニット130による検出範囲の+Y方向の端部（図27に示す第1鉄筋R10と直線La2との交点）までの領域として規定されてもよい。

[0186] また、上述のように、第1鉄筋エリアは、第1鉄筋エリアに含まれる第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20の検出結果が走行ユニット121の走行の制御に用いられる領域、あるいは、交差箇所c12の位置の算出に用いられる領域とし、他方、第2鉄筋エリアは、第1鉄筋エリアに加え第2鉄筋エリアに含まれる第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20上に存在し得る障害物や異物を、検出ユニット130の検出結果に基づき判定するのに用いられる領域としてもよい。なお、障害物の検知は比較的早いほうが、例えば予め迂回するように制御するという観点で好ましいので、第1鉄筋エリアより進行方向の前方である第2鉄筋エリアに障害物が存在する間に障害物を検知するように構成されていてもよい。なお、障害物が作業員、作業用ロボット、動物等、動きのある物体である場合には第2鉄筋エリアで検出されることなく結束装置100が進行し、第1鉄筋エリアで障害物が検出されることもあり得る。従って、この場合にも、第1鉄筋エリアでも障害物を検出できる構成であってもよい。

[0187] なお、第1鉄筋エリア（図27においてAr1aで示される領域またはAr1a'で示される領域）は、X方向には、例えば少なくとも結束装置100のX方向の大きさに相当する大きさを有していてもよい。このとき、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、例えば、走行ユニット121aの-X方向の端部から走行ユニット121bの+X方向の端部までの長さに相当する大きさを有していてもよい。あるいは、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、走行ユニット121cの-X方向の端部から走行ユニット121dの+X方向の端部までの長さに

相当する大きさであってもよい。

[0188] 本実施形態においては、例えば前述の図3に示されるように、走行ユニット121aの-X方向の端部から走行ユニット121bの+X方向の端部までの長さ、走行ユニット121cの-X方向の端部から走行ユニット121dの+X方向の端部までの長さとはほぼ同じである。走行ユニット121aの-X方向の端部から走行ユニット121bの+X方向の端部までの長さ、走行ユニット121cの-X方向の端部から走行ユニット121dの+X方向の端部までの長さとは異なる場合には、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、走行ユニット121aの-X方向の端部から走行ユニット121bの+X方向の端部までの長さ、走行ユニット121cの-X方向の端部から走行ユニット121dの+X方向の端部までの長さとのいずれか長いほうに相当する大きさであってもよい。第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさが、結束装置100の-X方向に配置される走行ユニット（第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121c）と+X方向に配置される走行ユニット（第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121d）とを含む大きさとし、このときの検出ユニット130の検出結果を用いて、走行ユニット121a、121b、121c、及び121dの第1鉄筋R10上の走行の制御を行ってもよい。

[0189] なお、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、結束装置100の-X方向に配置される走行ユニット121と+X方向に配置される走行ユニット121との一部を含む大きさであってもよい。あるいは、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、結束装置100の-X方向に配置される走行ユニット121と+X方向に配置される走行ユニット121のうち的一方を含む大きさであってもよい。

[0190] また、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'のX方向の大きさは、結束装置100の-X方向に配置される走行ユニット121（第1走行ユニット121a及び第3走行ユニット121c）と+X方向に配置される走行ユニット（第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121d）とを含

み、また、 $-X$ 方向に配置される走行ユニット121のさらに $-X$ 方向に位置する第1鉄筋R10を含んでもよく、 $+X$ 方向に配置される走行ユニット121のさらに $+X$ 方向に位置する第1鉄筋R10を含んでもよい。また、第1鉄筋エリアAr1aまたはAr1a'は、例えば、図5等を示す、 $-X$ 方向に配置される走行ユニット（第3走行ユニット121c）が走行する第1鉄筋R12、 $+X$ 方向に配置される走行ユニット（第2走行ユニット121b及び第4走行ユニット121d）が走行する第1鉄筋R14、及び第1鉄筋R12と第1鉄筋R14との間に存在する第1鉄筋R13を含み、さらに、第1鉄筋R12の $-X$ 方向に位置する第1鉄筋R11、及び／または第1鉄筋R14の $+X$ 方向に位置する第1鉄筋R15を含む領域であってもよい。

[0191] 本実施形態においては、例えば、結束装置100が $-Y$ 方向に移動する場合、検出ユニット130の検出範囲として、第2センサ130bの検出範囲を規定してもよい。例えば、第1センサ130aと同様に、第2センサ130bの画角（視野角） αb を二分し、第2センサ130bの検出範囲が二分された領域のうち、図27において、第2センサ130bに近いほうのエリアAr1bを第1鉄筋エリアとし、第2センサ130bに対してエリアAr1bより進行方向前方（より $-Y$ 方向）のエリアAr2bを第2鉄筋エリアとしてもよい。あるいは、第1鉄筋エリアは、図27において、鉄筋結束ユニット110のY方向で見た中心付近と、直線Lbとの間の領域Ar1b'とされ、鉄筋結束ユニット110の近傍が含まれる領域であってもよい。

[0192] 同様に、結束装置100が $-X$ 方向に移動する場合、検出ユニット130の検出範囲として、第3センサ130cの検出範囲を規定してもよく、例えば、第1センサ130a及び第2センサ130b（図27）と同様に、第3センサ130cの画角（視野角） αc を二分し、第3センサ130cの検出範囲が二分された領域のうち、図28において、第3センサ130cに近いほうのエリアAr1cを第1鉄筋エリアとし、第2センサ130bに対してエリアAr1cより進行方向前方（より $-Y$ 方向）のエリアAr2cを第2

鉄筋エリアとしてもよい。さらに、結束装置100が+X方向に移動する場合、検出ユニット130の検出範囲として、第4センサ130dの検出範囲を規定してもよく、例えば、第3センサ130cと同様に、第4センサ130dの画角（視野角） αd を二分し、第4センサ130dの検出範囲が二分された領域のうち、図28において、第4センサ130dに近いほうのエリアAr1dを第1鉄筋エリアとし、第2センサ130bに対してエリアAr1dより進行方向前方（より-Y方向）のエリアAr2dを第2鉄筋エリアとしてもよい。

[0193] あるいは、+Y方向または-Y方向に移動する場合と同様に、-X方向に移動する場合または-X方向に移動する場合においても、第1鉄筋エリアは、図28に示される領域Ar1c'またはAr1d'とし、鉄筋結束ユニット110の近傍（鉄筋結束ユニット110のX方向で見た中心付近）が含まれる領域であってもよい。

[0194] 結束装置100が-X方向及び/または+X方向に移動する場合に限らず、第3センサ130c及び/または第4センサ130dが結束装置100の-X方向及び/または+X方向に存在する障害物を検知することができるように構成されていてもよい。この構成により、移動方向である+Y方向に限らず結束装置100の周囲に存在する障害物を検知することができる。周囲の障害物を検知することにより、例えば障害物が可動である場合、障害物が存在しなくなった（例えば作業者が移動した）ことを検知することができる。障害物が存在する場合、障害物の近傍にある第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束ができないので、障害物の近傍にある交差箇所c12を迂回し、結束動作を実行しないように制御されるが、障害物が存在しなくなったことを検知できる構成であれば、障害物の移動後の交差箇所c12については結束動作を実行するように、結束装置100の移動経路（走行ルート）に含めることができる。

[0195] また、本実施形態に係る結束装置100は、検出ユニット130の検出結果に基づき、移動ユニット120の移動制御を行ってもよい。例えば、上述

のように、移動ユニット１２０が走行ユニット１２１を含む場合には、検出ユニット１３０の検出結果に基づき、制御部１６０により、走行ユニット１２１の走行の制御が行われてもよい。

[0196] また、本実施形態に係る結束装置１００においては、検出ユニット１３０のセンサ（第センサ１３０a）は、撮像センサを含み、撮像センサは、撮像センサの視野角の中心が移動方向前方となるように配置されてもよい。すなわち、図２７に示されるように、第１センサ１３０aの撮像部１３０ac（撮像センサ）の視野角の中心を通る直線（図２７において直線Laで示される）は、移動方向の前方（＋Y方向）であってもよい。

[0197] 本実施形態に係る結束装置１００は、また、移動ユニット１２０と、鉄筋結束ユニット１１０と、検出ユニット１３０と制御ユニット１６０とを備え、検出ユニット１３０の検出結果に基づき走行制御するように構成されていてもよい。移動ユニット１２０は、互いに交差して配置された複数の鉄筋（第１鉄筋R１０及び第２鉄筋R２０）上を移動可能に構成される。鉄筋結束ユニット１１０は、複数の鉄筋（第１鉄筋R１０及び第２鉄筋R２０）を結束可能に構成される。検出ユニット１３０は、鉄筋結束ユニット１１０の近傍に位置する鉄筋（第１鉄筋R１０及び／または第２鉄筋R２０）を含む第１鉄筋エリアを含む領域を検出範囲とするセンサ（第１センサ１３０a、第２センサ１３０b、第３センサ１３０c、及び／または第４センサ１３０d）を有し、センサユニット１３０は、鉄筋（第１鉄筋R１０及び／または第２鉄筋R２０）上の障害物を検出可能に構成される。制御部１６０は、本体部１４０に設けられ、検出ユニット１３０の検出結果に基づき、移動ユニット１２０の移動制御を行う。

[0198] 本実施形態に係る結束装置１００は、この構成により、例えば鉄筋上に障害物が存在する場合にも、検出ユニット１３０の検出結果に基づき、障害物を迂回して移動するように制御することができる。

[0199] 本実施形態に係る結束装置１００は、検出ユニット１３０は、移動ユニット１２０の走行ユニット１２１の前進する方向を検出するように構成されて

いてもよい。すなわち、本実施形態に係る結束装置100は、本体部140を備え、移動ユニット120は、本体部140を、複数の鉄筋（第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20）上において走行可能に構成される走行ユニット121を含み、センサ（第1センサ130a、第2センサ130b、第3センサ130c、及び／または第4センサ130d）の検出範囲が、移動ユニット120の移動方向前方（+Y方向）に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20）を含む第2鉄筋エリアを含んでいてもよく、このとき、検出ユニット130は、第1鉄筋エリアまたは第2鉄筋エリアの障害物を検出するように構成されていてもよい。

[0200] また、本実施形態に係る結束装置100においては、検出ユニット130は、本体部140の移動方向前方（+Y方向）の端部に配置されており、検出ユニット130の検出範囲に含まれる第2鉄筋エリアは、本体部140の移動方向の斜め下方（+Y方向）に位置する鉄筋を含む領域であってもよい。本実施形態に係る結束装置100は、この構成により、走行する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を検出すると共に、移動方向前方に存在する障害物（第1鉄筋エリア及び／または第2鉄筋エリアに存在する障害物）を予め検知し、障害物を迂回することができる。

[0201] なお、本実施形態において、本体部140の移動方向の斜め下方は、図30Aにおいて+Y方向且つ-Z方向の斜め下方であってもよい。すなわち、本実施形態においては、結束装置100は、鉄筋面（XY方向の平面）に平行な方向である+Y方向に移動し、結束装置100に対して-Z方向に存在する第1鉄筋R10と第2鉄筋R20とを結束するので、検出ユニット330は、結束装置100の移動方向であるY方向且つ結束動作を実行する鉄筋Rが配置される-Z方向である斜め下方を検出範囲とする。例えば、水平面から傾斜して配置されている鉄筋Rに対し、結束装置100が結束動作を実行する場合においては、同様に、検出ユニット130は、結束装置100の進行方向（鉄筋Rが配置されている方向）の斜め下方を検出するように構成される。

[0202] このように、検出ユニット１３０による検出範囲は、結束動作を実行する鉄筋Ｒの配置や、鉄筋Ｒに対し結束装置１００が進行する方向、結束装置１００に対する鉄筋Ｒの位置等に応じて適宜変更されるが、検出ユニット１３０は、結束装置１００の移動方向であり、且つ、鉄筋Ｒが配置される方向である斜め下方を検出範囲となるように構成される。これにより、検出ユニット１３０による検出結果に基づき、結束装置１００の移動制御や障害物を迂回する制御等を好適に行うことができる。

[0203] さらに、本実施形態に係る結束装置１００においては、制御部１６０が、検出ユニット１３０の検出結果に基づき、移動ユニット１２０の移動ルートを生成してもよい。図２９にこのときの結束装置１００の機能ブロック構成を示す。なお、図２９において、図７を参照して上述した構成と重複する構成については、適宜説明を省略する。

[0204] 図２９に示されるように、このとき、制御部１６０は、鉄筋追従制御部１７０と、停止制御部１７２と、移動量算出部１７４と、姿勢制御部１７６と、異物迂回制御部１７９とに替えて、移動ルート生成部１６３を有する点において、図７を参照して説明した結束装置１００と異なる。移動ルート生成部１６３は、例えば、検出ユニット１３０の検出結果に基づき、結束装置１００が、走行ユニット１２１により鉄筋（例えば第１鉄筋Ｒ１０）を追従するように走行させる、走行ユニット１２１を例えば第１鉄筋Ｒ１０の端部Ｒ１０e及び／または第２鉄筋Ｒ２０の端部Ｒ２０eの近傍で停止させる、及び／または、障害物等の異物が存在する場合には異物を迂回させる、といった結束装置１００の移動ルートを生成する。例えば、移動ルート生成部１６３により生成された移動ルートに基づき、モータ制御部１７８により移動ユニット１２０が駆動され、結束装置１００の移動が行われてもよい。

[0205] （変形例）

本実施形態に係る結束装置１００として、自走式の鉄筋結束装置１００を例に本実施形態を説明してきたが、本実施形態に係る結束装置１００はこれに限られない。例えば、本実施形態は、ロボットアーム式の鉄筋結束装置３

00にも適用することができる。

[0206] 図30A及び図30Bを参照して、本実施形態に係る結束装置300を説明する。図30Aは、本実施形態に係る結束装置300を-X方向から見た図である。図30Bは、結束装置300を斜め前方(+Y方向且つ+X方向の斜め前方)から見た図である。

[0207] 図30A及び図30Bに示す結束装置300は、ロボットアーム式の移動ユニット320を備え、鉄筋結束ユニット310がロボットアーム式の移動ユニット320により移動されるように構成されている点で、結束装置100と異なる。すなわち、本実施形態に係る結束装置300は、結束装置100と同様に、鉄筋結束ユニット310と、移動ユニット320と、検出ユニット330とを備えるが、結束装置300の移動ユニット320はロボットアーム部322(第1ロボットアーム部322a及び第2ロボットアーム部322b)を含む。

[0208] 図30Aに示されるように、結束装置300は、例えば、基体部340をさらに備えてもよい。結束装置300は、例えばH形鋼等の鋼製の鋼部材10に対し、基体部340を介して配置されていてもよい。基体部340は、ロボットアーム支持部342を備え、ロボットアーム部322の一端(第1ロボットアーム部322aの端部)がロボットアーム支持部342に対し回転可能に支持されている。従って、ロボットアーム部322の一端(第1ロボットアーム部322aの端部)が基体部340に接続され、鉄筋結束ユニット310がロボットアーム部322の他端(第2ロボットアーム部322bの端部)に接続されることにより、鉄筋結束ユニット310が基体部340に対し移動可能に構成される。ロボットアーム部322は、互いに相対的に回転可能に接続された第1ロボットアーム部322aと第2ロボットアーム部322bとを有する。鉄筋結束ユニット310は、第2ロボットアーム部322bの端部に設けられている。センサユニット330は、第2ロボットアーム部322bの端部(第1ロボットアーム部322aと第2ロボットアーム部322bとの接続部と反対側の端部)に設けられている。センサユ

ニット330は、第2ロボットアーム部322bの端部と鉄筋結束ユニット310との間に配置されている。

[0209] センサユニット330は、第1センサ330aと、第2センサ330bとを含む。第1センサ330aは、図30Aに示される状態において、第2ロボットアーム部322bの端部の+Z方向に設けられ、第2センサ330bは、図30Aに示される状態において、第2ロボットアーム部322bの端部の-Z方向に設けられている。図30Aに示されるように、第1センサ330a及び第2センサ330bは、それぞれ、+Y方向から見て長円形の撮像部330ac及び撮像部330bcを含む。

[0210] 図30Bを参照して、図30Bに示される状態において、Z方向に沿って配置される第1鉄筋R10と、Y方向に沿って配置される第2鉄筋R20とにより形成される鉄筋群は、Z方向に略直立している。ロボットアーム式の移動体320を備える結束装置300により、図30Bに示されるような、例えばZ方向に沿うように直立された鉄筋群についても、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束動作を実行することができる。このとき、結束装置100と同様に、鉄筋結束ユニット310を移動ユニット320により移動させることにより、複数の交差箇所c12について順に結束動作を実行してもよい。

[0211] 図30Aを参照して、結束装置300のセンサユニット330の第1センサ330a及び第2センサ330bの視野角（画角）や検出範囲について説明する。

[0212] 図30Aに示されるように、第1センサ330aは、撮像部330acに直交する直線L3aと、Z方向に延びる軸とがなす角度が $\theta 3a$ となるように配置されており、第2センサ330bは、撮像部330bcに直交する直線L3bと、Z方向に延びる軸とがなす角度が $\theta 3b$ となるように配置されている。従って、図30Aに示される状態において、第1センサ330aは、画角 $\alpha 3a$ により規定される検出範囲が、斜め方向（-Z方向且つ+X方向の斜め方向）となるように配置されている。また、第2センサ330bは

、画角 $\alpha 3b$ により規定される検出範囲が、斜め方向（ $-Z$ 方向且つ $-X$ 方向の斜め方向）となるように配置されている。

[0213] すなわち、図30Aに示されるように、結束装置300においては、センサ（第1センサ330a及び第2センサ330b）は、撮像センサ（撮像部330ac及び撮像部330bc）を含み、撮像センサ（撮像部330ac及び撮像部330bc）は、撮像センサの視野角の中心（図30Aにおいて直線L3a及びL3bで示される撮像部330ac及び撮像部330bcの画角 $\alpha 3a$ 及び画角 $\alpha 3b$ の中心に相当）が移動方向前方となるように配置されてもよい。すなわち、例えば結束装置300が $+Z$ 方向に移動する場合には、第1センサ330aは、直線L3aが $+Z$ 方向となるように配置されてもよい。また、例えば結束装置300が $-Z$ 方向に移動する場合には、第2センサ330bは、直線L3bが $+Z$ 方向となるように配置されてもよい。

[0214] その他、結束装置300が例えば $+Y$ 方向や $-Y$ 方向、あるいは Y 方向や Z 方向以外のこれらの方向に交差する斜め方向に移動される場合には、別途センサが設けられてもよいし、または鉄筋結束ユニット310や移動ユニット320を鉄筋面に対して、結束装置300の移動方向に適するように回転させ、検出ユニット330のセンサ（第1センサ330a及び／または第2センサ330b）により、結束装置300の移動方向の前方を検出可能としてもよい。

[0215] この構成により、例えば、結束装置300が第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20により規定される鉄筋面に対して対向するように（具体的には、鉄筋結束ユニット310の振り部314が鉄筋面に対して対向するように）図30A乃至図30Dに示されるように配置され、鉄筋結束ユニット310が鉄筋面に沿って移動される場合に、検出ユニット330の検出範囲の第1鉄筋エリアは移動ユニット320または鉄筋結束ユニット310の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。また、このとき、検出ユニット330の検出範囲の第2鉄筋エリアは、結束装置300

が鉄筋結束ユニット310を+Z方向に移動させてZ方向に沿って配置される第1鉄筋R10上の交差箇所c12に対し順次結束動作を実行する場合、結束装置300の移動方向である+Z方向において第1鉄筋エリアより前方に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。従って、鉄筋結束ユニット310を移動させる方向の前方における鉄筋を検知し鉄筋結束ユニット310の移動経路を生成することができ、また、移動方向前方の障害物を検知し、障害物を迂回して移動し、結束動作を実行することもできる。

[0216] 結束装置300においては、第1鉄筋エリアは、図30Aにおいて移動ユニット320又は鉄筋結束ユニット310の近傍に位置する鉄筋を含むエリアであり、例えば、Ar31aで示される領域であってもよい。このときの第1鉄筋エリアAr31aは、例えば、図30Aにおいて（すなわち、-X方向から見て）、第1センサ330aの半画角 $\alpha 3 a / 2$ に相当する、検出領域が二分された領域（図30Aにおいて、直線L3a1と直線L3aとの間の領域、及び直線L3aと直線L3a2との間の領域）のうちの、鉄筋結束ユニット310に近いほうの領域である。

[0217] なお、図30Aにおいて、直線L3aは、第1センサ330aの撮像部330acに直交する直線であり、直線L3a1及び直線L3a2は、第1センサ330aの視野の外縁に相当する直線である。また、本実施形態においては、第1鉄筋エリアは、鉄筋結束ユニット310の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含んでもよく、例えば、図30Aにおいて、鉄筋結束ユニット310のZ方向における中心付近から、第1センサ330aの半画角 $\alpha 3 a / 2$ に相当する領域を含むAr31a'で示される領域（直線L3aと鉄筋結束ユニット310の+Y方向に位置する鉄筋との間の領域）であってもよい。このときの第1鉄筋エリアAr31a'は、図30Aに示されるように、Z方向に延びる鉄筋である第1鉄筋R10に沿って、第2鉄筋R20と、直線L3aとの間の領域である。

[0218] また、第2鉄筋エリアは、例えば、図30AにおいてAr32aで示され

る領域であってもよい。このときの第2鉄筋エリア A_{r32a} は、第1センサ330aの検出領域が同様に二分された領域のうち、鉄筋結束ユニット310から離れているほうの領域である。

[0219] 鉄筋結束ユニット310を-Z方向に移動させる場合には、第1鉄筋エリアは、図30Aにおいて直線 L_{3b1} と直線 L_{3b} との間の領域である A_{r31b} で示される領域、あるいは直線 L_{3b} と鉄筋結束ユニット310の+Y方向に位置する鉄筋との間の領域である $A_{r31b'}$ で示される領域であってもよい。また、第2鉄筋エリアは、図30Aにおいて、直線 L_{3b} と直線 L_{3b2} との間の領域である A_{r32b} で示される領域であってもよい。

[0220] なお、第1センサ330aの配置角度 θ_{3a} 及び第2センサ330bの配置角度 θ_{3b} は、例えば 30° であってもよい。また、第1センサ330aの画角 α_{3a} 及び第2センサ330bの画角 α_{3b} は、例えば 43.5° であってもよい。

[0221] 図30A及び図30Bを参照して検出ユニット330が移動ユニット320に設けられる場合について説明したが、検出ユニット330が設けられる位置はこれに限られない。図31A及び図31Bを参照して、検出ユニット430が鉄筋結束ユニット410に配置される結束装置400を説明する。図30A及び図30Bと同様に、図31Aは、本実施形態に係る結束装置400を-X方向から見た図であり、図31Bは、結束装置400を斜め前方(+Y方向且つ+X方向の斜め前方)から見た図である。

[0222] 図31Aに示されるように、結束装置400においては、検出ユニット430の第1センサ430a及び第2センサ430bは、鉄筋結束ユニット410に設けられている。第1センサ430aは、図31Aに示される状態において、鉄筋結束ユニット410の+Z方向に設けられ、第2センサ430bは、図31Aに示される状態において、鉄筋結束ユニット410の端部の-Z方向に設けられている。図31A及び図31Bに示されるように、第1センサ430a及び第2センサ430bは、それぞれ、+Y方向から見て長円形の撮像部430ac及び撮像部430bcを含む。

[0223] 図31A及び図31Bに示されるように、結束装置400は、基体部440を介して、例えばH形鋼等の鋼製の鋼部材10に対し、配置されていてもよい。ロボットアーム支持部442を有する基体部440、第1ロボットアーム部422a及び第2ロボットアーム部422bを有するロボットアーム部422等を含み、これらの構成については図30A乃至図30Dを参照して説明した結束装置300と同様であり、説明を省略する。

[0224] 従って、例えば、結束装置400が第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20により規定される鉄筋面に対して対向するように（具体的には、鉄筋結束ユニット410の振り部414が鉄筋面に対して対向するように）図31A及び図31Bに示されるように配置され、鉄筋結束ユニット410が鉄筋面に沿って移動される場合に、検出ユニット430の検出範囲の第1鉄筋エリアは移動ユニット420または鉄筋結束ユニット410の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。また、このとき、検出ユニット430の検出範囲の第2鉄筋エリアは、結束装置400が鉄筋結束ユニット410を＋Z方向に移動させてZ方向に沿って配置される第1鉄筋R10上の交差箇所c12に対し順次結束動作を実行する場合、結束装置400の移動方向である＋Z方向の前方に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含む。従って、鉄筋結束ユニット410を移動させる方向の前方における鉄筋を検知し鉄筋結束ユニット410の移動経路を生成することができ、また、移動方向前方の障害物を検知し、障害物を迂回して移動し、結束動作を実行することもできる。

[0225] 結束装置400においては、第1鉄筋エリアは、図31Aにおいて移動ユニット420又は鉄筋結束ユニット410の近傍に位置する鉄筋を含むエリアであり、例えば、Ar41aで示される領域であってもよい。このときの第1鉄筋エリアAr41aは、例えば、図31Aにおいて（すなわち、－X方向から見て）、第1センサ430aの半画角 $\alpha 4 a / 2$ に相当する、検出領域が二分された領域（図31Aにおいて、直線L4a1と直線L4aとの間の領域、及び直線L4aと直線L4a2との間の領域）のうちの、鉄筋結

束ユニット410に近いほうの領域である。なお、図31Aにおいて、直線L4aは、第1センサ430aの撮像部430acに直交する直線であり、直線L4a1及び直線L4a2は、第1センサ430aの視野の外縁に相当する直線である。

[0226] また、本実施形態においては、第1鉄筋エリアは、鉄筋結束ユニット410の近傍に位置する鉄筋（第1鉄筋R10及び／または第2鉄筋R20）を含んでもよく、例えば、図31Aにおいて、鉄筋結束ユニット410のZ方向における中心付近から、第1センサ430aの半画角 $\alpha 4a/2$ に相当する領域を含む $A r 41a'$ で示される領域（直線L4aと鉄筋結束ユニット410の+Y方向に位置する鉄筋との間の領域）であってもよい。このときの第1鉄筋エリア $A r 41a'$ は、図31Aに示されるように、Z方向に延びる鉄筋である第1鉄筋R10に沿って、第2鉄筋R20と、直線L4aとの間の領域である。

[0227] また、第2鉄筋エリアは、例えば、図31Aにおいて $A r 42a$ で示される領域であってもよい。このときの第2鉄筋エリア $A r 42a$ は、第1センサ430aの検出領域が同様に二分された領域のうち、鉄筋結束ユニット410から離れているほうの領域である。

[0228] 鉄筋結束ユニット410を-Z方向に移動させる場合には、第1鉄筋エリアは、図31Aにおいて直線L4b1と直線L4bとの間の領域である $A r 41b$ で示される領域、あるいは直線L4bと鉄筋結束ユニット410の+Y方向に位置する鉄筋との間の領域である $A r 41b'$ で示される領域であってもよい。また、第2鉄筋エリアは、図31Aにおいて、直線L4bと直線L4b2との間の領域である $A r 42b$ で示される領域であってもよい。

[0229] 図30A及び図30B、及び図31A及び図31Bを参照して説明してきたように、検出ユニット330がロボットアーム部322に配置されている場合（図30A及び図30Bに示される結束装置300）には、検出ユニット330の検出範囲に含まれる第2鉄筋エリアは、ロボットアーム部322が鉄筋面に向かって移動する方向の斜め下方に位置する鉄筋（第1鉄筋R1

0及び／または第2鉄筋R20)を含む領域であり、検出ユニット430が、鉄筋結束ユニット410に配置されている場合(図31A及び図31Bに示される結束装置400)には、検出範囲に含まれる第2鉄筋エリアは、鉄筋結束ユニット410が鉄筋面に向かって移動する方向の斜め下方に位置する鉄筋を含む領域であってもよい。

[0230] 結束装置300(図30A及び図30B)及び結束装置400(図31A及び図31B)のいずれにおいても、例えば、鋼部材10に対し固定されていてもよいが、結束装置300及び結束装置400は、鋼部材10に対して移動可能(例えば、鋼部材10が延伸する方向に沿って移動可能に設けられ、図示しない他の鉄筋群の結束動作を行ってもよい。また、図30A及び図30Bや図31A及び図31Bに示されるような、Z方向に沿って直立された鉄筋群に限らず、例えば、結束装置100により結束動作が行われる水平面に平行に配置された鉄筋群に対しても、結束装置300や結束装置400を用いて、ロボットアーム(ロボットアーム部322やロボットアーム部422)により鉄筋結束ユニット310や鉄筋結束ユニット410を移動させ、交差箇所c12を結束することも可能である。

[0231] 例えば、水平方向(XY平面に平行な方向)に配置された鉄筋面を形成するX方向に延びる第1鉄筋R10及びY方向に延びる第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束動作を実行するのに結束装置300や結束装置400を用いることができ、例えば、XY方向に平行に配置される鉄筋面が結束装置300や結束装置400の-Z方向及び+Z方向に存在する場合に、これらの鉄筋面の間(Z方向の間)にある鋼部材10に結束装置300や結束装置400を配置し、-Z方向及び+Z方向にある鉄筋群の結束動作を実行することもできる。例えば、結束装置300や結束装置400の+Z方向に存在する鉄筋群に対しても、ロボットアーム式の移動ユニット320や移動ユニット420により鉄筋結束ユニット310や鉄筋結束ユニット410を移動させる構成とすることにより、比較的容易に結束作業を行うことができる。このとき、検出ユニット330や検出ユニット430による検出結果に基づき

移動ユニット３２０及び移動ユニット４２０による鉄筋結束ユニット３１０及び鉄筋結束ユニット４１０の移動制御（制御ユニット３６０（後述の図３２）及び制御ユニット４６０（後述の図３３）による移動制御）を行うことにより、鉄筋面に障害物が存在する場合であっても、予め迂回して鉄筋の結束動作を実行することができる。

[0232] また、本実施形態に係る結束装置３００及び結束装置４００においては、制御部３６０及び制御部４６０が、検出ユニット３３０及び検出ユニット４３０の検出結果に基づき、移動ユニット３２０及び移動ユニット４２０の移動ルートを生成してもよい。図３２にこのときの結束装置３００の機能ブロック構成を示す。また、図３３にこのときの結束装置４００の機能ブロック構成を示す。なお、図３２及び図３３において、図７及び図２９を参照して上述した構成と重複する構成については、適宜説明を省略する。

[0233] 図３２に示されるように、結束装置３００の制御ユニット３６０は、センサ検出結果取得部３６２と、判定部３６４と、移動ルート生成部３６３と、移動ユニット制御部３６８と、を備える。重複を避けるため詳細な説明は省略するが、判定部３６４は、第１鉄筋判定部３６４ａ１と、第２鉄筋判定部３６４ａ２と、第１鉄筋端部判定部３６４ｂ１と、第２鉄筋端部判定部３６４ｂ２と、姿勢判定部３６４ｃと、障害物判定部３６４ｄとを備えていてもよい。結束装置３００においては、センサ検出結果取得部３６２により取得されるセンサユニット３３０による検出結果に基づき、第１鉄筋Ｒ１０及び第２鉄筋Ｒ２０の判定、第１鉄筋Ｒ１０の端部Ｒ１０ｅ及び第２鉄筋Ｒ２０の端部Ｒ２０ｅの判定、結束装置３００の姿勢の判定、及び／または障害物の判定等が行われてもよい。また、判定部３６４は、さらに、交差箇所判定部３６４ｐを有していてもよい。交差箇所判定部３６４ｐは、例えば、センサユニット３３０の撮像画像に基づき、第１鉄筋Ｒ１０と第２鉄筋Ｒ２０とが交差する箇所である交差箇所ｃ１２の位置を判定してもよい。

[0234] 移動ルート生成部３６３は、例えば、センサ検出結果取得部３６２により取得される検出ユニット３３０の検出結果に基づき、移動ユニット３２０に

より鉄筋結束ユニット 310 を移動させるルートである移動ルートを生成してもよい。なお、結束装置 300 はロボットアーム式であり、移動ユニット 320 は第 1 ロボットアーム部 322 a 及び第 2 ロボットアーム部 322 b を含み、移動ルート生成部 363 により生成される移動ルートは、第 1 ロボットアーム部 322 a 及び／または第 2 ロボットアーム部 322 b が移動するルートであってもよい。移動ルート生成部 363 により生成される移動ルートは、例えば、移動ユニット 320 により鉄筋（例えば第 1 鉄筋 R10）を追従するように鉄筋結束ユニット 310 を移動させる、鉄筋結束ユニット 310 を例えば第 1 鉄筋 R10 の端部 R10 e 及び／または第 2 鉄筋 R20 の端部 R20 e の近傍で停止させる、及び／または、障害物等の異物を迂回させる、といった鉄筋結束ユニット 310 の移動ルートを含んでいてもよい。例えば、移動ルート生成部 363 により生成された移動ルートに基づき、移動ユニット制御部 368 により第 1 ロボットアーム部 322 a 及び／または第 2 ロボットアーム部 322 b が駆動され、鉄筋結束ユニット 310 の移動が行われてもよい。

[0235] なお、図 32 においては、記憶装置 398 も併せて示す。記憶装置 398 は、例えば、制御ユニット 360 において実行される 1 つまたは複数のコンピュータ・プログラムや、結束装置 300 の制御に用いられるデータ等を被一時的（non-transitory）に格納する記憶媒体（例えば半導体記憶素子）その他のメディアを備えてもよい。

[0236] また、図 32 に示される結束装置 300 の制御ユニット 360 と同様に、図 33 に示されるように、結束装置 400 の制御ユニット 460 は、センサ検出結果取得部 462 と、判定部 464 と、移動ルート生成部 463 と、移動ユニット制御部 468 と、を備える。判定部 464 は、第 1 鉄筋判定部 464 a 1 と、第 2 鉄筋判定部 464 a 2 と、第 1 鉄筋端部判定部 464 b 1 と、第 2 鉄筋端部判定部 464 b 2 と、姿勢判定部 464 c と、障害物判定部 464 d と、交差箇所判定部 464 p を有していてもよい。

[0237] 結束装置 400 においても、結束装置 300 と同様に、移動ルート生成部

4 6 3 により鉄筋結束ユニット 4 1 0 の移動ルートが生成されてもよく、例えば、移動ルート生成部 4 6 3 により生成された移動ルートに基づき、移動ユニット制御部 4 6 8 により第 1 ロボットアーム部 4 2 2 a 及び／または第 2 ロボットアーム部 4 2 2 b が駆動され、鉄筋結束ユニット 4 1 0 の移動が行われてもよい。

[0238] なお、図 3 3 においても記憶装置 4 9 8 が併せて示されており、記憶装置 4 9 8 は、例えば、制御ユニット 4 6 0 において実行される 1 つまたは複数のコンピュータ・プログラムや、結束装置 4 0 0 の制御に用いられるデータ等を被一時的 (non-transitory) に格納する記憶媒体 (例えば半導体記憶素子) その他のメディアを備えてもよい。

[0239] 以上、具体例を参照しつつ本実施形態について説明した。しかし、本開示はこれらの具体例に限定されるものではない。これら具体例に、当業者が適宜設計変更を加えたものも、本開示の特徴を備えている限り、本開示の範囲に包含される。前述した各具体例が備える各要素およびその配置、条件、形状などは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。前述した各具体例が備える各要素は、技術的な矛盾が生じない限り、適宜組み合わせを変えることができる。

[0240] 本出願は、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007172)、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007174)、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007176)、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007177)、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007182)、2023 年 1 月 20 日出願の日本特許出願 (特願 2023-007187)、および、2023 年 8 月 10 日出願の日本特許出願 (特願 2023-131058) に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

産業上の利用可能性

[0241] 本開示に係る結束装置は、センサの構成が簡易である。

符号の説明

- [0242] 100、200、300、400 鉄筋結束ロボット（結束装置）
110、310、410 鉄筋結束ユニット
120、320、420 移動ユニット
130、330、430 センサユニット（検出ユニット）
140 本体部（本体ユニット）
160、360、460 制御部（制御ユニット）
322、422 ロボットアーム部
340、440 基体部
R10 第1鉄筋
R20 第2鉄筋

請求の範囲

- [請求項1] 互いに交差して配置された複数の鉄筋上を移動可能に構成された移動ユニットと、
複数の鉄筋を結束可能に構成された鉄筋結束ユニットと、
前記移動ユニット又は前記鉄筋結束ユニットの近傍に位置する前記鉄筋を含む第1鉄筋エリア、及び、前記第1鉄筋エリアより前記移動ユニットによる移動方向前方に位置する前記鉄筋を含む第2鉄筋エリアの双方を含む領域を検出範囲とするセンサを有する検出ユニットと、
を備え、
前記検出ユニットは、前記鉄筋上の障害物を検出するように構成される、結束装置。
- [請求項2] 本体部を備え、
前記移動ユニットは、前記本体部を、前記複数の鉄筋上において走行可能に構成される走行ユニットを含み、
前記検出ユニットは、前記本体部の前記移動方向前方の端部に配置されており、
前記検出範囲に含まれる前記第2鉄筋エリアは、前記本体部の前記移動方向の斜め下方である、
請求項1に記載の結束装置。
- [請求項3] 基体部を備え、
前記移動ユニットは、ロボットアーム部を含み、
前記ロボットアーム部の一端が前記基体部に接続され、前記鉄筋結束ユニットが前記ロボットアーム部の他端に接続されることにより、
前記鉄筋結束ユニットが前記基体部に対し移動可能に構成され、
前記検出範囲に含まれる前記第2鉄筋エリアは、前記鉄筋結束ユニットが、前記複数の鉄筋により形成される面である鉄筋面上において、
移動する方向の前方である、
請求項1に記載の結束装置。

- [請求項4] 前記検出ユニットの検出結果に基づき、前記移動ユニットの移動制御を行う、
請求項1に記載の結束装置。
- [請求項5] 前記センサは、撮像センサを含み、
前記撮像センサは、前記撮像センサの視野角の中心が前記移動方向前方となるように配置されている、
請求項1に記載の結束装置。
- [請求項6] 互いに交差して配置された複数の鉄筋上を移動可能に構成された移動ユニットと、
複数の鉄筋を結束可能に構成された鉄筋結束ユニットと、
前記移動ユニット又は前記鉄筋結束ユニットの近傍に位置する前記鉄筋を含む第1鉄筋エリアを含む領域を検出範囲とするセンサを有し、
前記センサは、前記鉄筋上の障害物を検出可能に構成される、検出ユニットと、
前記検出ユニットの検出結果に基づき、前記移動ユニットの移動制御を行う制御部と、を備える、
結束装置。
- [請求項7] 本体部を備え、
前記移動ユニットは、前記本体部を、前記複数の鉄筋上において走行可能に構成される走行ユニットを含み、
前記センサの前記検出範囲は、前記第1鉄筋エリアより前記移動ユニットによる移動方向前方に位置する前記鉄筋を含む第2鉄筋エリアを含み、
前記検出ユニットは、前記第1鉄筋エリアまたは前記第2鉄筋エリアの障害物を検出する、
請求項6に記載の結束装置。
- [請求項8] 基体部を備え、
前記移動ユニットは、ロボットアーム部を含み、

前記ロボットアーム部の一端が前記基体部に接続され、前記鉄筋結束ユニットが前記ロボットアーム部の他端に接続されることにより、前記鉄筋結束ユニットが前記基体部に対し移動可能に構成され、

前記センサの前記検出範囲は、前記鉄筋結束ユニットが、前記複数の鉄筋により形成される面である鉄筋面上を移動する方向において、前記第1鉄筋エリアより前方に位置する前記鉄筋を含む第2鉄筋エリアを含み、

前記検出ユニットは、前記第1鉄筋エリアまたは前記第2鉄筋エリアの障害物を検出する、

請求項6に記載の結束装置。

[請求項9] 前記検出ユニットは、前記本体部の前記移動方向前方の端部に配置されており、

前記第2鉄筋エリアは、前記本体部の前記移動方向の斜め下方に位置する前記鉄筋を含む領域である、

請求項7に記載の結束装置。

[請求項10] 前記検出ユニットは、前記ロボットアーム部に配置されており、前記検出範囲に含まれる前記第2鉄筋エリアは、前記ロボットアーム部の前記鉄筋面に向かって移動する方向の斜め下方に位置する前記鉄筋を含む領域である、

請求項8に記載の結束装置。

[請求項11] 前記検出ユニットは、前記鉄筋結束ユニットに配置されており、前記検出範囲に含まれる前記第2鉄筋エリアは、前記鉄筋結束ユニットの前記鉄筋面に向かって移動する方向の斜め下方に位置する前記鉄筋を含む領域である、

請求項8に記載の結束装置。

[請求項12] 前記制御部は、前記検出ユニットの検出結果に基づき、前記移動ユニットの移動ルートを生成する、

請求項6に記載の結束装置。

- [請求項13] 前記検出ユニットは、撮像センサを含み、
前記撮像センサは、前記撮像センサの視野角の中心が前記移動ユニットによる移動方向下方となるように配置されている、
請求項6に記載の結束装置。