

明 細 書

発明の名称： 結束装置及びシステム

技術分野

[0001] 本実施形態は、結束装置及びシステムに関する。

背景技術

[0002] 従来より、例えば、複数の鉄筋上を自律的に走行した上で、当該複数の鉄筋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鉄筋結束ロボットが提案されている。例えば、特許文献 1 には、撮像装置から撮像データを受信し、該撮像データに基づいて障害物の有無を検出し、結束が行われていない交差部をマーキングする自走式鉄筋結束機が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：日本国特開 2 0 2 0－1 9 7 0 7 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] このようなロボットは、走行部に設けられたモータの回転数を計測するエンコーダ等の情報に基づいて自己位置を推定する場合が多い。しかしながら、エンコーダ等の情報に基づいて推定された自己位置は、センサ等により外界を計測することにより得られる計測結果との間で少なからず差が生じ得るため、当該差に基づいた演算等により、推定した自己位置を適宜修正する必要があった。このような自己位置を修正する処理は計算量が多くなる場合があり、処理負担が大きく、動作遅延が生じる場合があった。

[0005] 本開示は、上記課題に鑑みてなされたものであり、推定した自己位置をセンサ等の計測結果に基づいて修正する処理を行うことなく、精度の高い走行が可能な結束装置及びシステム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

[0006] 本開示の一態様は、複数の鉄筋のうちの少なくとも2つの鉄筋の交差箇所を結束するように構成される鉄筋結束ユニットと、複数の鉄筋上を走行可能に構成される走行ユニットと、走行ユニットの走行を制御する走行制御ユニットと、を備える、結束装置であって、走行制御ユニットは、交差箇所の推定位置を含む複数の領域を含むマップに基づいて、走行ユニットの走行を制御する、結束装置を提供する。

発明の効果

[0007] 本開示により、推定した自己位置をセンサ等の計測結果に基づいて修正する処理を行うことなく、精度の高い走行が可能な結束装置及びシステムが提供される。

図面の簡単な説明

[0008] [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を下方向（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、本開示の実施形態における鉄筋結束ロボット100の走行の制御方法のフローチャートである。

[図18A]図18Aは、交差箇所マップ194の一例を示す概略図である。

[図18B]図18Bは、走行ルートの一例を示す概略図である。

[図18C]図18Cは、鉄筋結束ロボットが障害物を検出する様子を説明する為の図である。

[図18D]図18Dは、鉄筋結束ロボット100が交差箇所を検出する様子を説明する為の図である。

[図18E]図18Eは、鉄筋結束ロボット100がセンサユニット130により

検出された交差箇所 T 2 まで走行した状態を示す図である。

[図18F]図 1 8 F は、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の方向 D と、第 1 鉄筋 R 1 1 の方向との間の角度 θ を説明するための図である。

[図19]図 1 9 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 1 0 0 を模式的に示す図である。

[図20]図 2 0 は、本開示の実施形態における交差箇所 c 1 2 の推定方法のフローチャートである。

[図21]図 2 1 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。

[図22A]図 2 2 A は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を背面から見た図である。

[図22B]図 2 2 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

[図23A]図 2 3 A は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を背面から見た図である。

[図23B]図 2 3 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

[図24A]図 2 4 A は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を背面から見た図である。

[図24B]図 2 4 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

[図25A]図 2 5 A は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を背面から見た図である。

[図25B]図 2 5 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

[図26A]図 2 6 A は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を背面から見た図である。

[図26B]図 2 6 B は、横移動中の鉄筋結束ロボット 1 0 0 を斜め上方向から見た図である。

た図である。

[図27A]図27A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27B]図27B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28]図28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。

発明を実施するための形態

[0009] 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。

[0010] 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。

[0011] 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。

[0012] 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。

[0013] 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 R 1 0 と第 2 鉄筋 R 2 0 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。

[0014] また、第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 は、有限の長さを有しており、複数の第 1 鉄筋 R 1 0 または複数の第 2 鉄筋 R 2 0 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 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 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 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 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 R 1 0 e 及び R 2 0 e を有していてもよい。

[0015] 鉄筋結束ユニット 1 1 0 は、第 1 鉄筋 R 1 0 と第 2 鉄筋 R 2 0 との交差箇所 c 1 2 (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 1 1 0 による第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 の交差箇所 c 1 2 の結束動作については後に詳述する。

[0016] 図 1 及び図 2 に示すように、走行ユニット 1 2 1 は、4 つの走行ユニット 1 2 1 a、1 2 1 b、1 2 1 c、及び 1 2 1 d 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 1 2 1 は、鉄筋結束ロボット 1 0 0 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 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、及び第 4 走行ユニット 1 2 1 d は、それぞれ、第 1 ローラ部 1 2 2 a、第 2 ローラ部 1 2 2 b、第 3 ローラ部 1 2 2 c、及び第 4 ローラ部 1 2 2 d を有し、第 1 ローラ部 1 2 2 a、第 2 ローラ部 1 2 2 b、第 3 ローラ部 1 2 2 c、及び第 4 ローラ部 1 2 2 d が第 1 鉄筋 R 1 0 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 R 1 0 のいずれかの第 1 鉄筋 R 1 0 上を走行するように構成されている。

- [0017] 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。
- [0018] 本開示の実施形態においては、第１走行ユニット１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ d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１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ d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。
- [0019] 例えば、第１走行ユニット１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ d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１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ d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１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ d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。
- [0020] 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１２１ a、第２走行ユニット１２１ b、第３走行ユニット１２１ c、及び第４走行ユニット１２１ dは、曲線状の第１鉄筋Ｒ

10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いるようによい。

[0021] 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（「検出ユニット」の一例）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。

[0022] 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。

[0023] 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（「障害物検出ユニット」の一例）は、障害物を検出することが可能に構成されていてもよい。或いは、鉄筋結束ロボット100は、第1

センサ１３０ a、第２センサ１３０ b、第３センサ１３０ c、及び第４センサ１３０ dとは別に、障害物を検出することが可能なセンサ（「障害物検出ユニット」の一例）を備えてもよい。

[0024] 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。

[0025] 図３及び図４からわかるように、第１走行ユニット１２１ a及び第２走行ユニット１２１ bは、第１センサ１３０ a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１２１ c及び第４走行ユニット１２１ dは、第２センサ１３０ b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１３０ aは、第４の方向において第１走行ユニット１２１ a及び第２走行ユニット１２１ bの間に配置されてもよい。同様に、第２センサ１３０ bは、第４の方向において第３走行ユニット１２１ c及び第４走行ユニット１２１ dの間に配置されてもよい。

[0026] さらに、図３及び図４に示すように、第３センサ１３０ c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１２１ a及び第３走行ユニット１２１ cの間に配置されてもよく、同様に、第４センサ１３０ dは、第３の方向（Ｙ方向）において第２走行ユニット１２１ b及び第４走行ユニット１２１ dの間に配置されてもよい。

[0027] また、例えば図４に示すように、第１センサ１３０ aは、下面視において、第１走行ユニット１２１ aを構成する第１ローラ部１２２ aの回転軸１２８ aと、第２走行ユニット１２１ bを構成する第２ローラ部１２２ bの回転軸１２８ bとを通過する直線上、または回転軸１２８ aと回転軸１２８ b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１３０ bは、下面視において、第３走行ユニット１２１ cを構成する第３ローラ部１２２ cの回転軸１２８ cと、第４走行ユニット

1 2 1 dを構成する第4ローラ部1 2 2 dの回転軸1 2 8 dとを通過する直線上、または回転軸1 2 8 cと回転軸1 2 8 d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。

[0028] また、図3や図4等にも示されるように、第1センサ1 3 0 aは、本体ユニット1 4 0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1 3 0 bは、本体ユニット1 4 0のY軸方向の後方（-Y方向）に配置される。第3センサ1 3 0 c及び第4センサ1 3 0 dは、それぞれ、本体ユニット1 4 0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は、鉄筋結束ロボット1 0 0についての平面視において、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、及び第4走行ユニット1 2 1 d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1 2 1 a～第4走行ユニット1 2 1 d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1 3 0 a～第4センサ1 3 0 d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1 2 1 a～第4走行ユニット1 2 1 dの配置構成によっては、第1走行ユニット1 2 1 a～第4走行ユニット1 2 1 d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1 3 0 a～第4センサ1 3 0 d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。

[0029] 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は、上述の第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、及び第4走行ユニット1 2 1 d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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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、鉄筋結束ロボット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。

[0033] 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。

[0034] 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（走行）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、走行制御部170(本実施形態において、「走行制御ユニット」ともいう。)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188と、オドメトリ情報算出部190と、交差箇所マップ生成部184と、走行ルート生成部186と、を備えていてもよい。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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146**l**と、第2駆動ラック146**c**とを有する。第2横移動ローラ146**l**は、第3走行ユニット121**c**及び第4走行ユニット121**d**を本体ユニット140に連結する第2連結部147**b**に設けられている。第2駆動ラック146**c**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] 第2横移動ローラ146**l**は、例えば駆動歯車を構成する。第2駆動ラック146**c**は、例えば、第2横移動ローラ146**l**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146**l**は、第2横移動モータ146**m**により駆動される。第2横移動ローラ146**l**が第2横移動モータ146**m**により回転されると、第2横移動ローラ146**l**が第2駆動ラック146**c**の長手方向に沿うように第2駆動ラック146**c**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。

[0040] 第1横移動ローラ146**l****a**(図6)も同様に、例えば駆動歯車を構成し、第1駆動ラック146**c****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。

[0041] 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**m****a**及び第2横移動モータ146**m****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。

[0042] 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198tを備えていてもよい。テンプレートデータベース198t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R10e及び／または第2鉄筋R20の端部R20e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198t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198t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。

[0043] 記憶装置198は、例えば、交差箇所マップ194を備えていてもよい。交差箇所マップ194は、例えば、交差箇所の推定位置を含む結束作業領域を複数の領域に分割したマップである。各領域は、各推定位置を含んでもよい。換言すれば、各領域は、各推定位置に対応していてもよい。交差箇所マップ194は、例えば、交差箇所マップ生成部184により生成されたものであってもよい。交差箇所マップ194は、更に、走行ルートの情報を含んでもよい。走行ルートは、交差箇所マップ194に含まれる複数の領域の少

なくとも1つを経由するルートであってよい。走行ルートは、例えば、走行ルート生成部186により生成されたものであってもよい。

[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、障害物判定部164cと、姿勢判定部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 R 2 0 の端部 R 2 0 e を判定する。第 1 鉄筋端部判定部 1 6 4 b 1 及び第 2 鉄筋端部判定部 1 6 4 b 2 も、第 1 鉄筋判定部 1 6 4 a 1 及び第 2 鉄筋判定部 1 6 4 a 2 と同様に、テンプレートマッチングに基づき第 1 鉄筋 R 1 0 の端部 R 1 0 e 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 の端部 R 2 0 e の位置を判定してもよい。

[0047] ロボット高さ算出部 1 6 4 e は、例えば、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／または第 4 センサ 1 3 0 d の検出結果に基づき、鉄筋結束ロボット 1 0 0 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 1 3 0 a、第 2 センサ 1 3 0 b、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 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 が撮像される場合（例えば、第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 を含む範囲が撮像される場合）に、ロボット高さ算出部 1 6 4 e は、撮像された第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 の撮像画像内における第 1 鉄筋 R 1 0 及び／または第 2 鉄筋 R 2 0 の相対的な大きさに基づき、鉄筋結束ロボット 1 0 0 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 1 0 0 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 1 0 0 の鉄筋群 R からの高さは、例えば、走行ユニット 1 2 1 の角度に基づいて算出されてもよい。走行ユニット 1 2 1 a は、図 6 に示されるように、本体部 1 4 0 に接続される第 1 本体側リンク部 1 2 5 a と、第 1 ローラ部 1 2 2 a に接続される第 1 ローラ側リンク部 1 2 3 a とを有しており、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 1 2 5 a と第 1 ローラ側リンク部 1 2 3 a とが為す角度であるリンク角度をセンサユニット 1 3 0 の第 1 リンク角度検出センサ 1 3 4 a（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 1 2 1 a 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 1 2 1 b、第 3 走行ユニット 1 2 1 c、及び第 4 走行ユニット 1 2 1 d は、第 2 本体側リンク部 1 2

5 bと第2ローラ側リンク部1 2 3 b、第3本体側リンク部1 2 5 cと第3ローラ側リンク部1 2 3 c、及び第4本体側リンク部1 2 5 dと第4ローラ側リンク部1 2 3 d、を有し、第2本体側リンク部1 2 5 bと第2ローラ側リンク部1 2 3 b、第3本体側リンク部1 2 5 cと第3ローラ側リンク部1 2 3 c、及び第4本体側リンク部1 2 5 dと第4ローラ側リンク部1 2 3 d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1 3 4 b、第3リンク角度検出センサ1 3 4 c、及び第4リンク角度検出センサ1 3 4 dにより検出することにより、第2走行ユニット1 2 1 b、第3走行ユニット1 2 1 c、及び第4走行ユニット1 2 1 dの高さが算出されてもよい。

[0050] ロボット高さ算出部1 6 4 eは、こうして算出された第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、及び第4走行ユニット1 2 1 dの高さ（鉄筋群Rからの高さ）に基づき、鉄筋結束ロボット1 0 0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、及び第4走行ユニット1 2 1 d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1 0 0の高さを算出してもよい。また、例えば鉄筋結束ロボット1 0 0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、及び第4走行ユニット1 2 1 dの高さのうちのいずれか一つにより鉄筋結束ロボット1 0 0の高さとしてもよい。

[0051] センサユニット1 3 0は、図7に示すように、上述の第1センサ1 3 0 a～第4センサ1 3 0 dに加えて、傾斜度検出センサ1 3 2を備えていてもよい。傾斜度検出センサ1 3 2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1 0 0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1 6 2は、傾斜度検出センサ1 3 2の検出結果も取得してもよい。傾斜度検出センサ1 3 2の検出結果に基づき、例えば、判定部1 6 4の姿勢判定部1 6 4 dにより鉄筋結束ロボット1 0 0の姿勢

を判定し、姿勢判定部 164 d 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 121 a の第 1 高さ変更モータ 126 a、第 2 走行ユニット 121 b の第 2 高さ変更モータ 126 b、第 3 走行ユニット 121 c の第 3 高さ変更モータ 126 c、及び／または第 4 走行ユニット 121 d の高さ変更モータ 126 d）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 121 a ～第 4 走行ユニット 121 d のうち、第 1 走行ユニット 121 a 及び第 3 走行ユニット 121 c、または第 2 走行ユニット 121 b 及び第 4 走行ユニット 121 d 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 164 a1 及び第 2 鉄筋判定部 164 a2 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 121 a、第 2 走行ユニット 121 b、第 3 走行ユニット 121 c、及び／または第 4 走行ユニット 121 d 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 168 m 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１６８により実現される。また、鉄筋結束ユニット移動部１６８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１６８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] 走行制御部１７０は、走行ルートに沿った走行を制御する。走行制御部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 1 2 1 の駆動モータ（第 1 ローラ部 1 2 2 a を駆動する第 1 車輪駆動モータ 1 2 4 a、第 2 ローラ部 1 2 2 b を駆動する第 2 車輪駆動モータ 1 2 4 b、第 3 ローラ部 1 2 2 c を駆動する第 3 車輪駆動モータ 1 2 4 c、及び／または第 4 ローラ部 1 2 2 d を駆動する第 4 車輪駆動モータ 1 2 4 d）を駆動させてもよい。

[0057] 例えば、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 1 2 1 a 及び第 3 走行ユニット 1 2 1 c の駆動モータである第 1 車輪駆動モータ 1 2 4 a 及び第 3 車輪駆動モータ 1 2 4 c を、X 方向の他方に配置される第 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 の駆動モータである第 2 車輪駆動モータ 1 2 4 b 及び第 4 車輪駆動モータ 1 2 4 d 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 1 0 0 の位置を調整し、鉄筋結束ロボット 1 0 0 を第 1 鉄筋 R 1 0 に追従するように走行させてもよい。

[0058] あるいは、走行制御部 1 7 0 は、例えば、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／または第 4 車輪駆動モータ 1 2 4 d の回転数を調整することにより、鉄筋結束ロボット 1 0 0 を第 1 鉄筋 R 1 0 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 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 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 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 1 0 0 を第 1 鉄筋 R 1 0 に柔軟に追従させることが可能となる。

[0059] 走行制御部 1 7 0 は、走行中に、障害物判定部 1 6 4 c の判定結果に基づいて、障害物を検出したか否かを判定してもよい。障害物が検出されたと判定された場合、走行ルート生成部 1 8 6 によって走行ルートが生成（更新）

されてもよい。更新される走行ルートは、障害物が含まれる領域を含まなくてもよい。また、障害物が検出されなくなった場合、走行ルート生成部186によって、障害物が含まれる領域を含むように走行ルートが生成（更新）されてもよい。

[0060] 走行制御部170は、走行中に、交差箇所算出部166の算出結果に基づいて、交差箇所を検出したか否かを判定してもよい。走行制御部は、交差箇所が検出された場合、当該検出された交差箇所まで走行するように、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。走行制御部170は、検出した交差箇所が交差箇所マップのいずれの領域に含まれるかを判定してもよい。走行制御部170は、例えば、オドメトリ情報算出部190により算出されたオドメトリ情報に基づいて、鉄筋結束ロボット100の自己位置を算出した上で、当該自己位置に基づいて当該判定処理を行ってもよい。

[0061] 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R14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。

- [0062] 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。
- [0063] 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。
- [0064] 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。

[0065] 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164c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出し、異物の検出結果に基づき、異物迂回制御部188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。

[0066] オドメトリ情報算出部190は、各種のセンサから情報に基づいて、鉄筋結束ロボット100の位置及び姿勢をオドメトリ情報として算出する。例えば、オドメトリ情報算出部190は、走行ユニット120の各モータに設けられた不図示のエンコーダから出力されるモータの回転数等の情報を取得した上で、当該情報を積算するなどして鉄筋結束ロボット100の走行経路を算出し、これにより鉄筋結束ロボット100の位置を算出してもよい。また、鉄筋結束ロボット100の位置の算出においては、更に、センサユニット130の出力を活用してもよい。また、オドメトリ情報算出部190は、センサユニット130から出力される情報を取得した上で、当該情報に基づいて鉄筋結束ロボット100の姿勢を算出してもよい。これにより、交差箇所マップ上での走行経路や自己位置を推定することが可能となる。

[0067] 交差箇所マップ生成部184は、交差箇所マップ194を生成する。交差箇所マップ生成部184は、鉄筋に関する各種の情報に基づいて、交差箇所マップ194を生成してもよい。例えば、交差箇所マップ194は、複数の鉄筋の配置に関する配置情報に基づいて、交差箇所マップ194を生成して

もよい。配置情報は、例えば、各鉄筋間のピッチに関する情報であってもよい)を含んでもよい。ピッチに関する情報は、例えば、ピッチを示す情報の他、ピッチを算出するための情報(鉄筋の数、及び鉄筋の全体寸法)であってもよい。また、配置情報は、交差箇所の数に関する情報を含んでもよい。交差箇所の数に関する情報は、例えば、交差箇所の数を示す情報の他、交差箇所数を算出するための情報(例えば、第1鉄筋の数、及び第2鉄筋の数)であってもよい。

- [0068] 走行ルート生成部186は、走行ルートを生成する。走行ルート生成部186は、例えば、交差箇所マップ194に基づいて走行ルートを生成してもよい。具体的には、走行ルート生成部186は、例えば、交差箇所マップ194に含まれる各領域を経由する走行ルートを生成してもよい。生成された走行ルートの情報は、交差箇所マップ194に含められてもよい。
- [0069] 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。
- [0070] 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。

- [0071] 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。
- [0072] 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。
- [0073] 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GPU（Graphical Processing Unit）を備えていてもよく、GPU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。
- [0074] なお、鉄筋結束ロボット100は、交差箇所マップの生成の昨日、及び／又は走行ルートの生成の機能を有していなくてもよく、これら機能は、鉄筋結束ロボット100とは別の装置が有していてもよい。当該別の装置は、例えば、鉄筋を検出可能な検出ユニットと、移動ユニットと、制御部とを有して構成されてもよい。移動ユニットは、鉄筋上を走行するための走行ユニットとして構成されてもよいし、或いは、鉄筋上の上空を飛行可能な飛行ユニット（例えば、プロペラ等）として構成されてもよい。当該別の装置（「マップ生成装置」などと称され得る）は、鉄筋を検出しながら鉄筋上を移動（走行や飛行等）した上で、検出結果に基づいて交差箇所マップや走行ルートを生成し、これを鉄筋結束ロボット100に送信してもよい。鉄筋結束ロボット100は、受信した交差箇所マップや走行ルートに基づいて、鉄筋上を

走行してもよい。このように、鉄筋結束ロボット１００と、マップ生成装置とで、システムが構成されてもよい。

[0075] 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ローラ部１２２ｃが第１鉄筋Ｒ１２上にあり、第４走行ユニット１２１ｄの第４ローラ部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。

[0076] 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）。

[0077] 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R1及び／または少なくとも一つの第2鉄筋R2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。

[0078] 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R10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

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 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、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 R 10 及び／または少なくとも一つの第 2 鉄筋 R 20 の位置を算出するように構成されていてもよい。

[0079] 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 R 10 及び／または第 2 鉄筋 R 20 に対応すると判断してもよい。このとき、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、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 R 1 の少なくとも一部及び／または第 2 鉄筋 R 2 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 R 10 及び／または第 2 鉄筋 R 20 に対応すると判断してもよい。

[0080] 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。

[0081] 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。

- [0082] 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。
- [0083] 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。
- [0084] 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、
- [0085] 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100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。

[0086] 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10cm未満、あるいは30cm超についても基準値が設定されてもよい。

[0087] 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。

[0088] 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ESPROS 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。

[0089] 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。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 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。

[0093] 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。

[0094] 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。

[0095] 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。

[0096] 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。

[0097] 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c12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c12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。

[0098] 次に、本開示の実施形態における第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20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R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の判定を行う場合には、上述のように、第1センサ130a及び第2センサ130bが第1鉄筋R10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R10を検出可能に構成される第1センサ130a及び第2センサ130b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R10の部分画像を含むテンプレート画像T110（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130a及び第2センサ130b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1センサ130a及び／または第2センサ130b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R10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R10上の交差箇所c12を結束してもよい。

[0099] また、このとき、鉄筋結束ロボット100は、さらに、第3センサ130c及び第4センサ130dが、第1鉄筋R10に加え第2鉄筋R20も検出し交差箇所c12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100は、交差箇所c12を推定する交差箇所算出部166（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130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R20を検出可能に構成される第3センサ130c及び第4センサ130dを含み、少なくとも一つのテンプレート画像は、第2鉄筋R20の部分画像を含むテンプレート画像T120（第2テンプレート画像）を含み、鉄筋結束ロボット100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R20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R10と、算出された第2鉄筋R20との交点を交差箇所c12と推定し、鉄筋結束ユニット110は、推定された交差箇所c12を結束するように構成されていてもよい。

- [0100] また、鉄筋結束ロボット100は、第1鉄筋R10の端部R10eを検出した場合、第3センサ130c及び／または第4センサ130dに第1鉄筋R10を検出させ、第3センサ130c及び／または第4センサ130dに検出される第1鉄筋R10に基づき、鉄筋結束ロボット100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100は、走行ユニット121が進行する第1鉄筋R10から他の第1鉄筋R10に移動する場合に、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）により算出される第1鉄筋R10の位置情報に基づき、走行ユニット121の移動量を算出する移動量算出部174（移動量算出ユニット）を備え、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1センサ130a及び／または第2センサ130b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てもよい。

[0101] 図17を用いて、本開示の実施形態における鉄筋結束ロボット100の走行の制御方法について説明する。図17は本開示の実施形態における鉄筋結束ロボット100の走行の制御方法のフローチャートである。

[0102] まず、鉄筋に関する各種の情報を取得した上で、当該情報に基づいて交差箇所マップを生成する（S1702）。図18Aは、交差箇所マップ194の一例を示す概略図である。図18Aに示す例では、鉄筋結束ロボット100の結束作業領域における交差箇所の推定位置Cの一例として、交差箇所マップ194における9つの交差箇所C1～C9が示されている。各推定位置Cは、延伸方向がY方向（第1の方向）である第1鉄筋R1と、延伸方向がX方向（第2の方向）である第2鉄筋R2との交差箇所の推定位置である。具体的には、例えば、推定位置C1が、第1鉄筋R11と、第2鉄筋R21

との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 2が、第1鉄筋R 1 1と、第2鉄筋R 2 2との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 3が、第1鉄筋R 1 1と、第2鉄筋R 2 3との交差箇所の推定位置である。また、例えば、推定位置C 6が、第1鉄筋R 1 2と、第2鉄筋R 2 1との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 5が、第1鉄筋R 1 2と、第2鉄筋R 2 2との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 4が、第1鉄筋R 1 2と、第2鉄筋R 2 3との交差箇所の推定位置である。また、例えば、推定位置C 7が、第1鉄筋R 1 3と、第2鉄筋R 2 1との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 8が、第1鉄筋R 1 3と、第2鉄筋R 2 2との交差箇所の推定位置であり、推定位置C 9が、第1鉄筋R 1 3と、第2鉄筋R 2 3との交差箇所の推定位置である。

[0103] 交差箇所マップ194は、更に、各推定位置Cを含む複数の領域rを含む。図18Aに示す例では、一例として、交差箇所マップ194における、9つの推定位置C 1～C 9のそれぞれを含む9つの領域r 1～r 9が示されている。すなわち、交差箇所マップ194において、各領域rは各推定位置Cに対応している。図18Aに示す例では、領域rが所定の寸法を有する略円形として示されている。しかしながら、交差箇所マップ194において、領域rの形状は、略円形に限らず、矩形（略矩形を含む）、多角形（略多角形を含む）、その他の任意の形状であってもよい。また、領域rの寸法は、特に限定されず、任意に設定されてもよい。図18Aに示す例では、領域r同士は、互いに離間している。しかしながら、交差箇所マップ194において、領域r同士は、互いに隣接していてもよい。

[0104] 交差箇所マップ194は、鉄筋に関する各種の情報に基づいて生成可能である。例えば、交差箇所マップ194は、各鉄筋間のピッチに関する情報と、推定位置の数に関する情報とに基づいて生成されてもよい。各鉄筋間のピッチに関する情報と、推定位置の数に関する情報とは、それぞれ、ユーザにより入力された情報であってもよいし、記憶装置190に記憶されたものであってもよいし、通信を介して外部の情報処理装置から取得されたものであ

ってもよい。なお、ピッチに関する情報は、例えば、鉄筋の数と、鉄筋が配置される領域の全体寸法等に基づいて算出された値（例えば、全体寸法を鉄筋の数で割った値）であってもよい。また、推定位置の数に関する情報は、例えば、第1鉄筋の数と第2鉄筋の数とから算出された値（例えば、第1鉄筋の数と第2鉄筋の数との積）であってもよい。

[0105] 次に、交差箇所マップ194に基づいて、走行ルートを作成する（S1704）。図18Bは、走行ルートの一例を示す概略図である。走行ルートは、交差箇所マップ194に含まれる複数の領域の少なくとも1つを経由するルートであってよい。ここで、「領域を経由する」とは、例えば、走行ルートの少なくとも一部が当該領域に含まれればよく、必ずしも当該領域の中心を通ることや、当該領域に含まれる推定位置を通ることを要しない。走行ルートにおいて経由する対象となるのは、複数の領域 r の少なくとも1つであれば、全てであってもよいし、全てでなくてもよい。図18Bには、走行ルートの一例が、各領域 r 間を結ぶ矢印で示されている。すなわち、図18Bには、領域 $r1$ 、 $r2$ 、 $r3$ 、 $r4$ 、 $r5$ 、 $r6$ 、 $r7$ 、 $r8$ 、及び $r9$ を順次に経由する走行ルートが示されている。

[0106] 走行ルートの生成方法は、特に限定されないが、例えば、想定される各走行ルートについて移動コストを算出し、当該移動コストが所定程度小さい走行ルート（例えば、コストが最小の走行ルート）を採用する手法であってもよい。ここで、コストは、例えば、走行ルートを構成する経路毎に、当該経路の道のりと、当該経路に課される重み付けとの積を足し合わせたものであってもよい。走行ルートについての移動コストは、任意に算出してもよいが、例えば、鉄筋に追従する追従移動と、追従対象の鉄筋間を変更する横移動とで、移動コストに寄与する重み付けを変えてもよい。特に、横移動の要するエネルギーが比較的高い、或いは横移動の要する時間が比較的に長いなどの理由から、横移動の重みを追従移動の重みよりも大きくしてもよい。

[0107] また、2つの鉄筋が交差している状況においては、上側の鉄筋に追従するように移動する場合と、下側の鉄筋に追従するように移動する場合とが想定

される。このとき、下側の鉄筋に追従する場合、上側の鉄筋の上に乗り上げるように移動する必要が生じ得るため、上側の鉄筋に追従する移動の方が望ましい場合がある。そこで、移動コストの算出においては、上側の鉄筋に追従する移動の重みよりも、下側の鉄筋に追従する移動の重みの方を大きくしてもよい。

- [0108] 次に、走行ルートに沿った走行を開始する（S 1 7 0 6）。具体的には、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、例えば、ステップ S 1 7 0 2 で生成した走行ルートに基づいて、当該走行ルートに沿って走行するように走行ユニット 1 2 0 を制御する。オドメトリ情報算出部 1 9 0 は、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の走行中、センサユニット 1 3 0 から取得される情報に基づいて、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の位置及び姿勢をオドメトリ情報として算出する。これにより、交差箇所マップ上での走行経路や自己位置を推定することが可能となる。
- [0109] 鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、走行中に、センサユニット 1 3 0 を介した障害物の検出結果が更新されたか否かを判定する（S 1 7 0 8）。図 1 8 C は、障害物の検出結果が更新される場合の一例として、鉄筋結束ロボットが障害物を検出する態様を説明する為の図である。図 1 8 C には、走行する鉄筋結束ロボット 1 0 0 と、障害物 O 3 とが示されている。符号 1 3 0 R は、センサユニット 1 3 0 の検出範囲を示す。図 1 8 C では、検出範囲 1 3 0 R は円形として示されているが、これはあくまで一例であって、検出範囲の形状や寸法は特に限定されない。鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、例えば、センサユニット 1 3 0 を介して障害物 O 3 を検出する。
- [0110] 鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、検出された障害物 O 3 が、交差箇所マップ 1 9 4 に含まれるいずれの領域 r に含まれるか否かを判定してもよい。当該判定処理では、例えば、オドメトリ情報に含まれる鉄筋結束ロボット 1 0 0 の方向 D と、第 1 鉄筋 R 1 1 の方向との間の角度 θ （図 1 8 C 参照）を算出した上で、障害物がどの領域 r に含まれるかを判定してもよい。当該処理により、障害物が、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の方向 D に対していずれの方向に位置するかを把握することが可能となるため、障害物がいずれの領域 r に含ま

れるかも判定可能となる。図18Cに示す例では、障害物O3が、領域r3に含まれると判定されることとなる。

[0111] 障害物が検出されたと判定された場合、処理はステップS1704に戻り、鉄筋結束ロボット100は、走行ルートを生成（更新）する。このとき、鉄筋結束ロボット100は、障害物が含まれる領域rを含まないように走行ルートを生成（更新）してもよい。図18Cに示す例では、鉄筋結束ロボット100は、障害物O3が含まれる領域r3を含まないように、走行ルートを生成（更新）してもよい。

[0112] 鉄筋結束ロボット100は、障害物の検出結果が更新される場合の他の一例として、以前のステップS1704の処理において検出済みであった障害物が、再度のステップS1704の処理において検出されなくなった場合、当該障害物が含まれるものとして走行ルートに含められなかった領域rを含むように、走行ルートを生成（更新）してもよい。

[0113] 鉄筋結束ロボット100は、走行中に、センサユニット130を介して交差箇所を検出したか否かを判定する（S1710）。鉄筋結束ロボット100は、例えば、図20に示す処理を用いて後述する交差箇所の推定方法を用いることにより、交差箇所を検出する。図18Dは、鉄筋結束ロボット100が交差箇所を検出する態様を説明する為の図である。図18Dには、走行する鉄筋結束ロボット100と、交差箇所T2とが示されている。図18Dには、交差箇所T2が検出された例が示されている。

[0114] 次に、検出された交差箇所まで走行する（S1712）。例えば、図18Eに示すように、鉄筋結束ロボット100は、走行ユニット120を制御して、センサユニット130により検出された交差箇所T2まで走行する。鉄筋結束ロボット100は、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、交差箇所T2まで走行する。

[0115] 次に、交差箇所を結束する（S1714）。例えば、鉄筋結束ロボット100は、鉄筋結束ユニット110を制御して、交差箇所T2を結束する。

[0116] 次に、検出した交差箇所が交差箇所マップのいずれの領域に含まれるかを

判定する（S 1 7 1 6）。図 1 8 E に示す例では、鉄筋結束ロボット 1 0 0 は、検出された交差箇所 T 2 が、交差箇所マップ 1 9 4 に含まれるいずれの領域 r に含まれるか否かを判定する。当該判定処理では、例えば、オドメトリ情報に含まれる鉄筋結束ロボット 1 0 0 の方向 D と、第 1 鉄筋 R 1 1 の方向との間の角度 θ （図 1 8 F 参照）を算出した上で、交差箇所 T 2 がどの領域 r に含まれるかを判定してもよい。当該処理により、交差箇所 T 2 が、鉄筋結束ロボット 1 0 0 の方向 D に対していずれの方向に位置するかを把握することが可能となるため、交差箇所 T 2 がいずれの領域 r に含まれるかも判定可能となる。図 1 8 E に示す例では、交差箇所 T 2 が、領域 r_2 に含まれると判定される例が示されている。

[0117] 次に、判定された領域 r が走行ルートの終了位置か否かを判定する（S 1 7 1 8）。判定された領域 r が走行ルートの終了位置ではないと判定された場合、処理はステップ S 1 7 0 6 に戻る。判定された領域 r が走行ルートの終了位置であると判定された場合、処理は終了する。

[0118] 図 1 9 を参照して、第 1 鉄筋 R 1 0 及び第 2 鉄筋 R 2 0 の交差箇所の推定方法について説明する。図 1 9 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 1 0 0 を模式的に示す図である。図 1 9 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 1 0 0 は、上述のように、2 本の第 1 鉄筋 R 1 2 及び第 1 鉄筋 R 1 4 を走行し、第 1 センサ 1 3 0 a 及び第 2 センサ 1 3 0 b が第 1 鉄筋 R 1 3 を検出し、第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d が第 2 鉄筋 R 2 0 を検出するように構成されている。図 1 7 に示す例においては、第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d が例えば第 2 鉄筋 R 2 3 を検出する。このとき、第 1 センサ 1 3 0 a 及び第 2 センサ 1 3 0 b の検出結果に基づき、第 1 センサ 1 3 0 a と第 2 センサ 1 3 0 b との間に延伸する第 1 鉄筋 R 1 3 を推定し、また、第 3 センサ 1 3 0 c 及び第 4 センサ 1 3 0 d の検出結果に基づき、第 3 センサ 1 3 0 c と第 4 センサ 1 3 0 d との間に延伸する第 2 鉄筋 R 2 3 を推定する。推定された第 1 センサ 1 3 0 a と第 2 センサ 1 3 0 b

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。

[0119] 図20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20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。当該処理は、例えば、上述したステップS1710において実行される。

[0120] 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(S2002)。

[0121] 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(S2004)。

[0122] 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(S2006)。

[0123] 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(S2008)。

[0124] 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(S2010)。

[0125] 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(S2012)。

[0126] 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130

b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。

[0127] 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121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／または第4走行ユニット121d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の回転数を制御することにより、鉄筋結束ロボット100の位置を調整してもよい。

[0128] なお、図20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。

[0129] 次に、本開示の実施形態における鉄筋結束ロボット100の移動量の算出方法について説明する。図19を参照し、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R10のY方向の端部R10e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19に示すように、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R12及び第1鉄筋R14を走行し、第1鉄筋R12と第1鉄筋R14との間に存在する第1鉄筋R13が第2鉄筋R20（例えば、第2鉄筋R21、R22、R23、R24、及びR25）と交差する箇所の結束を行い、端部R12e、端部R13e、及び端部R14e付近に到達している。このとき、鉄筋結束ロボット100は、次に、結束作業を実行してきた第1鉄筋R13のX方向（+X方向）の隣の鉄筋である第1鉄筋R14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R13から第1鉄筋R14に向かう方向）への移動を行う。

[0130] 図21を参照して、この場合の鉄筋結束ロボット100の横移動の方法について説明する。図21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。

[0131] まず、第1センサ130aの検出結果を取得する（S2102）。

[0132] 次に、第1センサ130aの検出結果に対し、テンプレートマッチングを行う（S2104）。

[0133] 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（S2106）。

- [0134] 続いて、第2鉄筋R20の端部R20eが検出されたか判断する（S2108）。第2鉄筋R20の端部R20eとしては、例えば、図19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。
- [0135] 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。
- [0136] 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。

[0137] 次に、第4センサ130dの検出結果を取得する(S2110)。

[0138] 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(S2112)。

[0139] 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(S2114)。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19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。

[0140] 続いて、横移動量を算出する(S2116)。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R14が第4センサ130d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100の横移動量が算出されてもよい。

[0141] 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算出する場合に、鉄筋結束ロボット100のX方向の中心は、例えば、鉄筋結束ユニット110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110による結束位置を鉄筋結束ロボット100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100が結束作業を行う対象である第1鉄筋R13のX方向の位置が、鉄筋結束ロボット100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100のX方向の中心位置及び、第4センサ130dの鉄筋結束ロボット100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198に記憶されていてもよい。なお、センサユニット130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130d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130dが移動されたか算出し、第4センサ130dの移動量を考慮して、第4センサ130dの鉄筋結束ロボット100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130dから第4センサ130dが検出する第1鉄筋R14がどれだけ離れているかについては、例えば、第4センサ130dにより撮像される画像に基づき算出されてもよい。

[0142] 例えば、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100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方向の中心から遠ざかる方向に20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121であると算出し、横移動量を121とする制御を行ってもよい。例えば、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

24 cm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20 cm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4 cm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16 cmであると算出し、横移動量を16 cmとする制御を行ってもよい。

[0143] 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。

[0144] 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（S2118）。

- [0145] 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（S2120）、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。
- [0146] 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。
- [0147] 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。
- [0148] 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R20の位置の検出結果が用いられる、すなわち、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の位置の算出においては、第3センサ130c及び第4センサ130dによる第1鉄筋R10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130c及び第4センサ130dによって第1鉄筋R10は検出されなくてもよい。鉄筋結束ロボット100が鉄筋結束作業を進め、第1鉄筋R10の端部R10eに到達した場合に、例えば、鉄筋結束ロボット100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130c及び／または第4センサ130dにより第1鉄筋R10が検出できるように、例えば第3センサ130c及び／または第4センサ130dの向きを変更する等の方法により第3センサ130c及び／または第4センサ130dによる撮像範囲を変更してもよい。

[0149] 上記、図21を参照して、第1センサ130a及び第4センサ130d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100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130aにより第1鉄筋R10の端部R10eが検出された場合に、鉄筋結束ロボット100は、第4センサ130dの方向に横移動を行う場合に限らず、例えば、第1センサ130aにより第1鉄筋R10の端部R10eが検出された場合に、鉄筋結束ロボット100は、第3センサ130cの方向に横移動を行ってもよい。また、例えば、第2センサ130bにより第1鉄筋R10の端部R10eが検出された場合に、鉄筋結束ロボット100は、第3センサ130cの方向に横移動を行ってもよいし、あるいは、第2センサ130bにより第1鉄筋R10の端部R10eが検出された場合に、鉄筋結束ロボット100は、第4センサ130dの方向に横移動を行ってもよい。

[0150] 以下、鉄筋結束ロボット100の横移動の例について図22A～図27Bを参照して説明する。図22A～図27Bは、横移動中の鉄筋結束ロボット100の図であり、図22A、図23A、…、図27Aは鉄筋結束ロボット100の背面から見た図であり、図22B、図23B、…、図27Bは鉄筋結束ロボット100を斜め上方向から見た図である。

[0151] 図22A及び図22Bは、横移動を開始する前の鉄筋結束ロボット100を示す。図22A及び図22Bに示すように、鉄筋結束ロボット100は、

第1鉄筋R12及びR14上を走行する。

[0152] 次に、鉄筋結束ロボット100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130aによる検出結果に基づき第1鉄筋R10の端部R10e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23A、及び図23Bは、鉄筋結束ロボット100が横移動を開始したときの状態を示す。図23A、及び図23Bに示すように、鉄筋結束ロボット100は、走行ユニット121は移動させず、本体ユニット140を移動する方向(X方向)に移動する。図23A、及び図23Bに示すように、このとき、第1走行ユニット121a及び第2走行ユニット121bは、それぞれ、第1鉄筋R12及び第1鉄筋R14上に移動せずに存在する。このとき、支持バー150a及び150bは、いずれの鉄筋にも接していない。本体ユニット140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23A、及び図23Bにおいて不図示の横移動ユニット146の第1横移動モータ146ma及び第2横移動モータ146mbにより、第1連結部147a及び第2連結部147bに設けられた第1横移動ローラ146la及び第2横移動ローラ146lbを駆動し、本体ユニット140を、第1駆動ラック146ca及び第2駆動ラック146cb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。

[0153] 次に、鉄筋結束ロボット100は、走行ユニット121(走行ユニット121の下端)を第1鉄筋R10に対して相対的に上方向に移動させる。図24A及び図24Bに示すように、走行ユニット121の-Z方向の下端は、図24A及び図24B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125aと第1ローラ側リンク部123a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123

a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。

[0154] 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。

[0155] 図24A及び図24B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により鉄筋結束ロボット100全体が支持される。

[0156] 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25A及び図25B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。

[0157] 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。

[0158] 図26A及び図26Bに示すように、走行ユニット121の-Z方向の下端を、図26A及び図26BにおいてZ方向の下方（-Z方向）に下降させる。図26A及び図26B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121により支持される。

[0159] 次に、図27A及び図27Bに示されるように、本体ユニット140をX方向に移動する。図23A及び図23Bを参照して上述したのと同様に、図27A及び図27Bに示される本体ユニット140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27A及び図27Bにおいて不図示の横移動ユニット146の第1横移動モータ146ma及び第2横移動モータ146mbにより実行されてもよい。こうして、鉄筋結束ロボット100の横移動が完了する。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上の走行を開始し、第1鉄筋R14上の第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の結束作業を行う。

[0160] 以上、鉄筋結束ロボット100が第1鉄筋R12及びR14から第1鉄筋R13及び第1鉄筋R15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R10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るし、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R10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130の検出結果に基づき移動量を算出してもよい。

[0161] また、鉄筋結束ロボット100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130の検出結果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100の移動を円滑に進めることが可能である。

[0162] 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、延伸方向が第1の方向（Y方向）である複数の第1鉄筋R1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

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。

[0163] 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。

[0164] 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、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130a及び第2センサ130b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、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130c及び第4センサ130dと、を備える。上述してきたように、鉄筋結束ロボット100は、4つのセンサ130（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）を備えるので、例えば、上述のように、第1鉄筋R10及び第2鉄筋R20の交差箇所c12の検出を効率良く行うことができる。交差箇所c12の位置は、例えば、鉄筋結束ユニット110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110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110の近傍にセンサを設けなくても、交差箇所c12の位置を、4つのセンサ130の検出結果に基づき推定することができる。

[0165] 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た鉄筋結束ユニット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、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るセンサユニット130と、走行ユニット121が走行する第1鉄筋R10または第2鉄筋R20から他の第1鉄筋R10または他の第2鉄筋R20に移動する場合に、センサユニット130により検出される第1鉄筋R10または第2鉄筋R20の位置情報に基づき、走行ユニット121の移動量を算出する移動量算出部174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。

[0166] 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。

[0167] 図28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28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。

[0168] 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。

[0169] 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。

[0170] 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2023-131219）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

[0171] 本開示に係る結束装置及びシステムは、推定した自己位置をセンサ等の計測結果に基づいて修正する処理を行うことなく、位置精度の高い走行が可能である。

符号の説明

[0172] 100、200 鉄筋結束ロボット

- 1 1 0 鉄筋結束ユニット
- 1 2 0 移動ユニット
- 1 2 1 走行ユニット
- 1 2 1 a 第1走行ユニット
- 1 2 1 b 第2走行ユニット
- 1 2 1 c 第3走行ユニット
- 1 2 1 d 第4走行ユニット
- 1 3 0 センサユニット
- 1 3 0 a 第1センサ
- 1 3 0 b 第2センサ
- 1 3 0 c 第3センサ
- 1 3 0 d 第4センサ
- 1 4 0 本体ユニット
- 1 4 6 横移動ユニット
- 1 5 0 支持バー
- 1 6 0 制御ユニット
- 1 6 2 センサ検出結果取得部
- 1 6 4 判定部
- 1 6 6 交差箇所算出部
- 1 6 8 鉄筋結束ユニット制御部
- 1 7 0 走行制御部
- 1 7 2 停止制御部
- 1 7 4 移動量算出部
- 1 7 6 姿勢制御部
- 1 7 8 モータ制御部
- 1 8 4 交差箇所マップ生成部
- 1 8 6 走行ルート生成部
- 1 8 8 異物迂回制御部

1 9 0 オドメトリ情報算出部

c 1 2 交差箇所

c p 1 2 交差部

R 1 0 第1鉄筋

R 2 0 第2鉄筋

請求の範囲

- [請求項1] 複数の鉄筋のうちの少なくとも2つの鉄筋の交差箇所を結束するよう構成される鉄筋結束ユニットと、
前記複数の鉄筋上を走行可能に構成される走行ユニットと、
前記走行ユニットの走行を制御する走行制御ユニットと、
を備える、結束装置であって、
前記走行制御ユニットは、前記交差箇所の推定位置を含む複数の領域を含むマップに基づいて、前記走行ユニットの走行を制御する、結束装置。
- [請求項2] 所定の検出領域内にある前記交差箇所を検出する検出ユニット、を更に備え、
前記走行制御ユニットは、更に、前記検出ユニットによって検出された前記交差箇所の位置に基づいて、前記走行ユニットの走行を制御する、
請求項1に記載の結束装置。
- [請求項3] 前記走行制御ユニットは、更に、前記検出ユニットによって検出された前記交差箇所の位置が、前記マップに含まれる前記複数の領域のうちのいずれの領域に含まれるかの判定を実行し、該判定の結果に基づいて、前記走行ユニットの走行を制御する、請求項2に記載の結束装置。
- [請求項4] 前記走行制御ユニットは、前記複数の鉄筋の配置に関する配置情報に基づいて、前記マップを生成する、
請求項1に記載の結束装置。
- [請求項5] 前記配置情報は、前記複数の鉄筋のピッチに関する情報、及び／又は前記交差箇所の数に関する情報を含む、
請求項4に記載の結束装置。
- [請求項6] 前記走行制御ユニットは、前記マップに含まれる前記複数の領域の各々を経由するように、前記走行ユニットの走行を制御する、

- 請求項 1 に記載の結束装置。
- [請求項7] 前記走行制御ユニットは、
前記マップに含まれる前記複数の領域の各々を経由する走行ルート
を生成し、
前記走行ルートに基づいて前記走行ユニットの走行を制御する、
請求項 6 に記載の結束装置。
- [請求項8] 所定の検出領域内にある障害物を検出する障害物検出ユニット、を
更に備え、
前記走行制御ユニットは、前記障害物検出ユニットによる障害物の
検出の結果が更新された場合、生成した前記走行ルートを更新する、
請求項 7 に記載の結束装置。
- [請求項9] 前記障害物検出ユニットは、前記複数の鉄筋のうち少なくとも 1 つ
の鉄筋の方向と、前記結束装置の方向との間の角度を検出し、
前記走行制御ユニットは、前記障害物検出ユニットが障害物を検出
した場合、生成した前記走行ルートを前記角度に基づいて更新する、
請求項 8 に記載の結束装置。
- [請求項10] 前記走行制御ユニットは、
前記複数の領域のうち、前記障害物検出ユニットが検出した障害物
が含まれる領域を特定し、
特定された前記領域を含まないように前記走行ルートを更新する、
請求項 8 又は 9 に記載の結束装置。
- [請求項11] 前記走行制御ユニットは、特定された前記領域において検出された
前記障害物が前記障害物検出ユニットによって検出されなくなった場
合、特定された前記領域を含むように前記走行ルートを更新する、
請求項 10 に記載の結束装置。
- [請求項12] 請求項 1 に記載の結束装置と、
前記複数の鉄筋の配置に関する配置情報に基づいて、前記マップを
生成するマップ生成装置と、

を備えるシステム。

- [請求項13] 前記マップ生成装置は、前記複数の鉄筋を検出することにより、前記配置情報を生成する、
請求項12に記載のシステム。