

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7706901号
(P7706901)

(45)発行日 令和7年7月14日(2025.7.14)

(24)登録日 令和7年7月4日(2025.7.4)

(51)国際特許分類

E 02 F	9/24 (2006.01)	F I	E 02 F	9/24	B
E 02 F	9/26 (2006.01)		E 02 F	9/26	B
E 02 F	9/20 (2006.01)		E 02 F	9/20	Q

請求項の数 10 (全18頁)

(21)出願番号 特願2021-36156(P2021-36156)
(22)出願日 令和3年3月8日(2021.3.8)
(65)公開番号 特開2022-136513(P2022-136513)
A)
(43)公開日 令和4年9月21日(2022.9.21)
審査請求日 令和6年2月13日(2024.2.13)

(73)特許権者 000001236
株式会社小松製作所
東京都港区海岸一丁目2番20号
(74)代理人 110001634
弁理士法人志賀国際特許事務所
平山 智揮
東京都港区赤坂2丁目3番6号 株式会
社小松製作所内
野寄 敬博
東京都港区赤坂2丁目3番6号 株式会
社小松製作所内
(72)発明者 岩永 圭弘
東京都港区赤坂2丁目3番6号 株式会
社小松製作所内
審査官 彦田 克文

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 転倒評価システム、転倒評価方法及び作業機械

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

作業機を有する作業機械の転倒評価システムであって、
プロセッサを備え、
前記プロセッサは、
前記作業機械の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記辺を回転軸とする場合に
おける前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するエネルギー算出部と、
算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒
の可能性を評価する評価部と
を備える転倒評価システム。

【請求項2】

前記プロセッサは、前記作業機械の重心位置を算出する重心位置計算部をさらに備え、
前記エネルギー算出部は、前記作業機械の重心位置に基づいて前記作業機械が転倒するた
めに必要なエネルギー量を算出する

請求項1に記載の転倒評価システム。

【請求項3】

前記評価部は、接地点に係る凸包によって表される前記支持多角形の前記辺から前記凸
包の複数の頂点までの距離のうち最も長いものに基づいて、前記作業機械の転倒の可能性
を評価する

請求項1又は請求項2に記載の転倒評価システム。

【請求項 4】

前記支持多角形は長方形であって、

前記評価部は、前記辺それぞれの前記エネルギー量及び前記辺に直交する辺の長さに基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価する

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の転倒評価システム。

【請求項 5】

前記評価部は、接地点に係る凸包によって表される前記支持多角形の前記辺それぞれに対する前記エネルギー量を前記辺から前記凸包の複数の頂点までの距離のうち最も長いもので除算した正規化値と閾値とを比較することで、前記作業機械の転倒の可能性を評価する

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の転倒評価システム。

10

【請求項 6】

表示装置を備え、

前記プロセッサは、出力部をさらに備え、

前記出力部は、前記評価部による前記転倒の可能性の評価結果に基づいて前記作業機械の転倒リスクを示す標示を生成し、前記表示装置へ出力する

請求項 1 から請求項 5 の何れか 1 項に記載の転倒評価システム。

【請求項 7】

前記標示には、前記作業機械の外観を表すアイコンと、前記アイコンの周囲を囲うように設けられた複数のインジケータマークとが含まれ、

前記出力部は、前記複数のインジケータマークのうち、前記評価部によって前記作業機械の転倒の可能性が高いと判定された辺に対応する位置に設けられたものの態様を、他のインジケータマークの態様と異ならせる

20

請求項 6 に記載の転倒評価システム。

【請求項 8】

前記プロセッサは、

前記転倒の可能性の評価結果が、転倒の可能性が高いことを示す場合に、前記作業機械の動作を制限させる制限部

を備える請求項 1 から請求項 7 の何れか 1 項に記載の転倒評価システム。

【請求項 9】

作業機を有する作業機械の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記辺を回転軸とする場合における前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するステップと、

30

算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価するステップと

を備える転倒評価方法。

【請求項 10】

作業機械であって、

走行体と、

前記走行体に回動可能に支持される旋回体と

前記旋回体に取付けられた作業機と、

40

プロセッサと、

を備え、前記プロセッサは、

前記作業機械の重心位置を算出する重心位置計算部と、

前記走行体の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記作業機械の重心位置に基づいて前記辺を回転軸とする場合における前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するエネルギー算出部と、

算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価する評価部と

を備える作業機械。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】**【0001】**

本開示は、転倒評価システム、転倒評価方法及び作業機械に関する。

【背景技術】**【0002】**

特許文献1には、作業機械のZMP (Zero Moment Point) を算出し、転倒の可能性に関する情報をオペレータに通知する技術が開示されている。ZMPとは、ピッチ軸及びロール軸方向のモーメントがゼロになる点である。作業機械と接地点を凹にならないよう結んだ支持多角形の辺上あるいはその内側にZMPが存在する場合に、作業機械は安定して接地していることがわかる。

10

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【文献】国際公開第2011/148946号

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

特許文献1に記載される演算方法は、作業機械自身の慣性力によって機体の浮き上がりが生じた場合に、転倒可能性が高いと判断する可能性がある。そのため、ZMPに代えて、エネルギー安定余裕を用いて転倒可能性を評価する手法が用いられることがある。エネルギー安定余裕とは、ある姿勢状態において転倒するまでに必要なエネルギーをいう。

20

【0005】

ところで、作業機械は、作業状態によって支持多角形が変化する場合がある。例えば、油圧ショベルにおいては、下部走行体に対して上部旋回体が旋回するため、旋回に伴って支持多角形に対する重心の位置が変化する。

【0006】

本開示の目的は、旋回動作と転倒方向との関係に鑑みて作業機械の転倒の可能性を評価することができる転倒評価システム、転倒評価方法及び掘削機械を提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

本発明の第1の態様によれば、転倒評価システムは、作業機を有する作業機械の転倒評価システムであって、プロセッサを備え、前記プロセッサは、前記作業機械の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記辺を回転軸とする場合における前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するエネルギー算出部と、算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価する評価部とを備える。

30

【0008】

本発明の第2の態様によれば、転倒評価方法は、作業機を有する作業機械の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記辺を回転軸とする場合における前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するステップと、算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価するステップとを備える。

40

【0009】

本発明の第3の態様によれば、作業機械は、走行体と、前記走行体に回動可能に支持される旋回体と、前記旋回体に取付けられた作業機と、プロセッサと、を備え、前記プロセッサは、前記作業機械の重心位置を算出する重心位置計算部と、前記走行体の支持多角形の複数の辺それぞれについて、前記作業機械の重心位置に基づいて前記辺を回転軸とする場合における前記作業機械が転倒するために必要なエネルギー量を算出するエネルギー算出部と、算出された前記辺それぞれに対する前記エネルギー量に基づいて、前記作業機械の転倒の可能性を評価する評価部とを備える。

50

【発明の効果】**【0010】**

上記態様によれば、旋回動作と転倒方向との関係に鑑みて作業機械の転倒の可能性を評価することができる。

【図面の簡単な説明】**【0011】**

【図1】第1の実施形態に係る作業機械の構成を示す概略図である。

【図2】第1の実施形態に係る制御装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図3】エネルギー安定余裕を説明するための図である。

【図4】エネルギー安定余裕と、重心の位置との関係を示す図である。 10

【図5】第1の実施形態に係る転倒リスクの標示の例を示す図である。

【図6】第1の実施形態に係る制御装置の動作を示すフローチャートである。

【図7】第2の実施形態に係る制御装置の構成を示す概略ブロック図である。

【発明を実施するための形態】**【0012】****第1の実施形態****《作業機械100の構成》**

以下、図面を参照しながら実施形態について詳しく説明する。

図1は、第1の実施形態に係る作業機械の構成を示す概略図である。第1の実施形態に係る作業機械は、例えば油圧ショベルである。作業機械100は、走行体110、旋回体130、作業機150、運転室170、制御装置190を備える。 20

【0013】

走行体110は、作業機械100を走行可能に支持する。走行体110は、例えば左右1対の無限軌道である。1対の無限軌道は、進行方向に伸びる直線に対して平行に、かつ線対象に設けられる。したがって、第1の実施形態に係る走行体110の接地点に係る凸包によって表される支持多角形は長方形となる。凸包とは、特定の点をすべて包含する最小の凸多角形をいう。特定の点とは、例えば履帯と地面とが接する点である。以下、走行体110の接地点に係る凸包である長方形を支持長方形Rという。

【0014】

旋回体130は、走行体110に旋回中心回りに旋回可能に支持される。 30

作業機150は、旋回体130の前部に上下方向に駆動可能に支持される。作業機150は、油圧により駆動する。作業機150は、ブーム151、アーム152、およびバケット153を備える。ブーム151の基端部は、旋回体130に回動可能に取り付けられる。アーム152の基端部は、ブーム151の先端部に回動可能に取り付けられる。バケット153の基端部は、アーム152の先端部に回動可能に取り付けられる。ここで、旋回体130のうち作業機150が取り付けられる部分を前部という。また、旋回体130について、前部を基準に、反対側の部分を後部、左側の部分を左部、右側の部分を右部という。

【0015】

運転室170は、旋回体130の前部に設けられる。運転室170内には、オペレータが作業機械100を操作するための操作装置、および、オペレータに転倒リスクを報知するための警報装置が設けられる。第1の実施形態に係る警報装置は、スピーカ及び表示装置によって転倒リスクを報知する。 40

【0016】

制御装置190は、オペレータによる操作装置の操作に基づいて、走行体110、旋回体130、および作業機150を制御する。制御装置190は、例えば運転室170の内部に設けられる。

【0017】

作業機械100は、作業機械100の作業状態を検出するための複数のセンサを備える。具体的には、作業機械100は、傾斜検出器101、旋回角センサ102、ブーム角セ 50

ンサ 103、アーム角センサ 104、バケット角センサ 105、ペイロードメータ 106 を備える。

【0018】

傾斜検出器 101 は、旋回体 130 の加速度および角速度を計測し、計測結果に基づいて旋回体 130 の水平面に対する傾き（例えば、ロール角およびピッチ角）を検出する。傾斜検出器 101 は、例えば運転室 170 の下方に設置される。傾斜検出器 101 の例としては、IMU (Inertial Measurement Unit : 慣性計測装置) が挙げられる。

【0019】

旋回角センサ 102 は、旋回体 130 の旋回中心に設けられ、走行体 110 と旋回体 130 の旋回角度を検出する。旋回角センサ 102 の計測値は、走行体 110 と旋回体 130 の方向が一致しているときにゼロを示す。

10

【0020】

ブーム角センサ 103 は、旋回体 130 に対するブーム 151 の回転角であるブーム角を検出する。ブーム角センサ 103 は、ブーム 151 に取り付けられた IMU であってよい。この場合、ブーム角センサ 103 は、ブーム 151 の水平面に対する傾きと傾斜検出器 101 が計測した旋回体の傾きとに基づいて、ブーム角を検出する。ブーム角センサ 103 の計測値は、ブーム 151 の基端と先端とを通る直線の方向が旋回体 130 の前後方向と一致するときにゼロを示す。なお、他の実施形態係るブーム角センサ 103 は、ブームシリンダに取り付けられたストロークセンサであってもよい。また他の実施形態に係るブーム角センサ 103 は、旋回体 130 とブーム 151 とを接続するピンに設けられた角度センサであってもよい。

20

【0021】

アーム角センサ 104 は、ブーム 151 に対するアーム 152 の回転角であるアーム角を検出する。アーム角センサ 104 は、アーム 152 に取り付けられた IMU であってよい。この場合、アーム角センサ 104 は、アーム 152 の水平面に対する傾きとブーム角センサ 103 が計測したブーム角とに基づいて、アーム角を検出する。アーム角センサ 104 の計測値は、アーム 152 の基端と先端とを通る直線の方向がブーム 151 の基端と先端とを通る直線の方向と一致するときにゼロを示す。なお、他の実施形態に係るアーム角センサ 104 は、アームシリンダにストロークセンサを取付けて角度算出を行ってよい。アーム角センサ 104 は、ブーム 151 とアーム 152 とを接続するピンに設けられた回転センサであってもよい。

30

【0022】

バケット角センサ 105 は、アーム 152 に対するバケット 153 の回転角であるバケット角を検出する。バケット 153 を駆動させるためのバケットシリンダに設けられたストロークセンサであってよい。この場合、バケット角センサ 105 は、バケットシリンダのストローク量に基づいてバケット角を検出する。バケット角センサ 105 の計測値は、バケット 153 の基端と刃先とを通る直線の方向がアーム 152 の基端と先端とを通る直線の方向と一致するときにゼロを示す。なお、他の実施形態に係るバケット角センサ 105 は、アーム 152 とバケット 153 とを接続するピンに設けられた角度センサであってもよい。また、他の実施形態に係るバケット角センサ 105 は、バケット 153 に取付けられた IMU であってもよい。

40

【0023】

ペイロードメータ 106 は、バケット 153 に保持された積荷の重量を計測する。ペイロードメータ 106 は、例えばブーム 151 のシリンダのボトム圧を計測し、積荷の重量に換算する。また例えば、ペイロードメータ 106 は、ロードセルであってもよい。

【0024】

《制御装置 190 の構成》

図 2 は、第 1 の実施形態に係る制御装置 190 の構成を示す概略ブロック図である。

制御装置 190 は、プロセッサ 210、メインメモリ 230、ストレージ 250、インターフェース 270 を備えるコンピュータである。

50

【 0 0 2 5 】

ストレージ 250 は、一時的でない有形の記憶媒体である。ストレージ 250 の例としては、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、半導体メモリ等が挙げられる。ストレージ 250 は、制御装置 190 のバスに直接接続された内部メディアであってもよいし、インターフェース 270 または通信回線を介して制御装置 190 に接続される外部メディアであってもよい。ストレージ 250 は、作業機械 100 を制御するためのプログラムを記憶する。

【 0 0 2 6 】

プログラムは、制御装置 190 に発揮させる機能の一部を実現するためのものであってもよい。例えば、プログラムは、ストレージ 250 に既に記憶されている他のプログラムとの組み合わせ、または他の装置に実装された他のプログラムとの組み合わせによって機能を発揮させるものであってもよい。なお、他の実施形態においては、制御装置 190 は、上記構成に加えて、または上記構成に代えて P L D (Programmable Logic Device) などのカスタム L S I (Large Scale Integrated Circuit) を備えてよい。P L D の例としては、P A L (Programmable Array Logic)、G A L (Generic Array Logic)、C P L D (Complex Programmable Logic Device)、F P G A (Field Programmable Gate Array) が挙げられる。この場合、プロセッサによって実現される機能の一部または全部が当該集積回路によって実現されてよい。

10

【 0 0 2 7 】

ストレージ 250 には、走行体 110、旋回体 130、ブーム 151、アーム 152 及びバケット 153 の寸法及び重心位置を表すジオメトリデータ、並びに走行体 110、旋回体 130、ブーム 151、アーム 152 及びバケット 153 の重量が記録される。ジオメトリデータは、所定の座標系における物体の位置を表すデータである。第 1 の実施形態に係る座標系は、ワールド座標系とローカル座標系とが存在する。ワールド座標系は、鉛直方向に伸びる Z_w 軸と、 Z_w 軸に直交する X_w 軸及び Y_w 軸で表される直交座標系である。ローカル座標系は、ある物体の基準点を原点とする直交座標系である。

20

【 0 0 2 8 】

走行体 110 のジオメトリデータは、ローカル座標系である走行体座標系における走行体 110 の重心位置 ($x_{t b_c o m}$ 、 $y_{t b_c o m}$ 、 $z_{t b_c o m}$)、並びに無限軌道の長さ L 、幅 w 及び高さ h を示す。走行体座標系は、走行体 110 の旋回中心を基準として前後方向に伸びる $X_{t b}$ 軸、左右方向に伸びる $Y_{t b}$ 軸、上下方向に伸びる $Z_{t b}$ 軸から構成される座標系である。

30

【 0 0 2 9 】

旋回体 130 のジオメトリデータは、ローカル座標系である旋回体座標系における旋回体 130 のブーム 151 を支持するピンの位置 ($x_{b m}$ 、 $y_{b m}$ 、 $z_{b m}$)、走行体座標系の原点の位置 ($x_{t b}$ 、 $y_{t b}$ 、 $z_{t b}$) 及び旋回体 130 の重心位置 ($x_{s b_c o m}$ 、 $y_{s b_c o m}$ 、 $z_{s b_c o m}$) を示す。旋回体座標系は、旋回体 130 の旋回中心を基準として前後方向に伸びる $X_{s b}$ 軸、左右方向に伸びる $Y_{s b}$ 軸、上下方向に伸びる $Z_{s b}$ 軸から構成される座標系である。

30

【 0 0 3 0 】

ブーム 151 のジオメトリデータは、ローカル座標系であるブーム座標系におけるアーム 152 を支持するピンの位置 ($x_{a m}$ 、 $y_{a m}$ 、 $z_{a m}$) 及びブーム 151 の重心位置 ($x_{b m_c o m}$ 、 $y_{b m_c o m}$ 、 $z_{b m_c o m}$) を示す。ブーム座標系は、ブーム 151 と旋回体 130 とを接続するピンの位置を基準として、長手方向に伸びる $X_{b m}$ 軸、ピンが伸びる方向に伸びる $Y_{b m}$ 軸、 $X_{b m}$ 軸と $Y_{b m}$ 軸に直交する $Z_{b m}$ 軸から構成される座標系である。

40

【 0 0 3 1 】

アーム 152 のジオメトリデータは、ローカル座標系であるアーム座標系におけるバケット 153 を支持するピンの位置 ($x_{b k}$ 、 $y_{b k}$ 、 $z_{b k}$) 及びアーム 152 の重心位置 ($x_{a m_c o m}$ 、 $y_{a m_c o m}$ 、 $z_{a m_c o m}$) を示す。アーム座標系は、アーム 152

50

とブーム 151 を接続するピンの位置を基準として、長手方向に伸びる X_{am} 軸、ピンが伸びる方向に伸びる Y_{am} 軸、 X_{am} 軸と Y_{am} 軸に直交する Z_{am} 軸から構成される座標系である。

【0032】

バケット 153 のジオメトリデータは、ローカル座標系であるバケット座標系におけるバケット 153 の刃先位置 (x_{ed}、y_{ed}、z_{ed})、バケット 153 の重心位置 (x_{bk_com}、y_{bk_com}、z_{bk_com})、及び積荷の重心位置 (x_{p1_com}、y_{p1_com}、z_{p1_com}) を示す。バケット座標系は、バケット 153 とアーム 152 とを接続するピンの位置を基準として、刃先の方向に伸びる X_{bk} 軸、ピンが伸びる方向に伸びる Y_{bk} 軸、X_{bk} 軸と Y_{bk} 軸に直交する Z_{bk} 軸から構成される座標系である。

10

【0033】

《ソフトウェア構成》

プロセッサ 210 は、プログラムを実行することで、取得部 211、位置特定部 212、重心計算部 213、エネルギー計算部 214、正規化部 215、評価部 216、出力部 217 として機能する。

【0034】

取得部 211 は、傾斜検出器 101、旋回角センサ 102、ブーム角センサ 103、アーム角センサ 104、バケット角センサ 105 及びペイロードメータ 106 から、それぞれ計測値を取得する。

【0035】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得した各種計測値とストレージ 250 に記録されたジオメトリデータとに基づいて、作業機械 100 のパーツ別の重心位置を特定する。具体的には、位置特定部 212 は、以下の手順で、走行体 110、旋回体 130、ブーム 151、アーム 152、バケット 153 及び積荷のワールド座標系における重心位置を特定する。

20

【0036】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得したピッチ角 θ_p 及びロール角 θ_r の計測値に基づいて、下記式(1)により、旋回体座標系からワールド座標系へ変換するための旋回体 - ワールド変換行列 T^{sb}_w を生成する。旋回体 - ワールド変換行列 T^{sb}_w は、Y_s 軸回りにピッチ角 θ_p だけ回転させる回転行列と、X_{sb} 軸回りにロール角 θ_r だけ回転させる回転行列との積によって表される。

30

【0037】

【数1】

$$T_w^{sb} = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_r & -\sin \theta_r & 0 \\ 0 & \sin \theta_r & \cos \theta_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

40

【0038】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得した走行体 110 と旋回体 130 の旋回角度 θ_s の計測値と、旋回体 130 のジオメトリデータとに基づいて、下記式(2)により、走行体座標系から旋回体座標系へ変換するための走行体 - 旋回体変換行列 T^{tb}_{sb} を生成する。走行体 - 旋回体変換行列 T^{tb}_{sb} は、Z_{tb} 軸回りにピッチ角 θ_p だけ回転させ、かつ旋回体座標系の原点と走行体座標系の原点の偏差 (x_{tb}、y_{tb}、z_{tb}) だけ平行移動させる行列である。また、位置特定部 212 は、旋回体 - ワールド変換行列 T^{sb}_w と走行体 - 旋回体変換行列 T^{tb}_{sb} の積を求めてことで、走行体座標系からワールド座標系へ変換するための走行体 - ワールド変換行列 T^{tb}_w を生成する。

50

【 0 0 3 9 】

【数2】

$$T_{sb}^{tb} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & -\sin \theta_s & 0 & x_{tb} \\ \sin \theta_s & \cos \theta_s & 0 & y_{tb} \\ 0 & 0 & 1 & z_{tb} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (2)$$

10

【 0 0 4 0 】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得したブーム角 θ_{bm} の計測値と、旋回体 130 のジオメトリデータとに基づいて、下記式(3)により、ブーム座標系から旋回体座標系へ変換するためのブーム - 旋回体変換行列 T^{bm}_{sb} を生成する。ブーム - 旋回体変換行列 T^{bm}_{sb} は、Y_{bm}軸回りにブーム角 θ_{bm} だけ回転させ、かつ旋回体座標系の原点とブーム座標系の原点の偏差 (x_{bm} , y_{bm} , z_{bm}) だけ平行移動させる行列である。また、位置特定部 212 は、旋回体 - ワールド変換行列 T^{sb}_w とブーム - 旋回体変換行列 T^{bm}_{sb} の積を求ることで、ブーム座標系からワールド座標系へ変換するためのブーム - ワールド変換行列 T^{bm}_w を生成する。

【 0 0 4 1 】

20

【数3】

$$T_{sb}^{bm} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{bm} & 0 & \sin \theta_{bm} & x_{bm} \\ 0 & 1 & 0 & y_{bm} \\ -\sin \theta_{bm} & 0 & \cos \theta_{bm} & z_{bm} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (3)$$

30

【 0 0 4 2 】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得したアーム角 θ_{am} の計測値と、ブーム 151 のジオメトリデータとに基づいて、下記式(4)により、アーム座標系からブーム座標系へ変換するためのアーム - ブーム変換行列 T^{am}_{bm} を生成する。アーム - ブーム変換行列 T^{am}_{bm} は、Y_{am}軸回りにアーム角 θ_{am} だけ回転させ、かつブーム座標系の原点とアーム座標系の原点の偏差 (x_{am} , y_{am} , z_{am}) だけ平行移動させる行列である。また、位置特定部 212 は、ブーム - ワールド変換行列 T^{bm}_w とアーム - ブーム変換行列 T^{am}_{bm} の積を求ることで、アーム座標系からワールド座標系へ変換するためのアーム - ワールド変換行列 T^{am}_w を生成する。

【 0 0 4 3 】

40

【数4】

$$T_{bm}^{am} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{am} & 0 & \sin \theta_{am} & x_{am} \\ 0 & 1 & 0 & y_{am} \\ -\sin \theta_{am} & 0 & \cos \theta_{am} & z_{am} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (4)$$

【 0 0 4 4 】

位置特定部 212 は、取得部 211 が取得したバケット角 θ_{bk} の計測値と、アーム 1

50

5.2 のジオメトリデータに基づいて、下記式(5)により、バケット座標系からアーム座標系へ変換するためのバケット - アーム変換行列 T^{bk}_{am} を生成する。バケット - アーム変換行列 T^{bk}_{am} は、 y_{bk} 軸回りにバケット角 θ_{bk} だけ回転させ、かつアーム座標系の原点とバケット座標系の原点の偏差 (x_{bk} 、 y_{bk} 、 z_{bk}) だけ平行移動させる行列である。また、位置特定部 2.1.2 は、アーム - ワールド変換行列 T^{am}_w とバケット - アーム変換行列 T^{bk}_{am} の積を求ることで、バケット座標系からワールド座標系へ変換するためのバケット - ワールド変換行列 T^{bk}_w を生成する。

【0.0.4.5】

【数 5】

$$T^{bk}_{am} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{bk} & 0 & \sin \theta_{bk} & x_{bk} \\ 0 & 1 & 0 & y_{bk} \\ -\sin \theta_{bk} & 0 & \cos \theta_{bk} & z_{bk} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (5)$$

10

【0.0.4.6】

位置特定部 2.1.2 は、走行体 1.1.0 のジオメトリデータが示す走行体 1.1.0 の重心の相対位置 ($x_{t b_c o m}$ 、 $y_{t b_c o m}$ 、 $z_{t b_c o m}$) を、走行体 - ワールド変換行列 $T^{t b}_w$ を用いて絶対位置 $T^{t b_c o m}_w$ に変換する。位置特定部 2.1.2 は、旋回体 1.3.0 のジオメトリデータが示す旋回体 1.3.0 の重心の相対位置 ($x_{s b_c o m}$ 、 $y_{s b_c o m}$ 、 $z_{s b_c o m}$) を、旋回体 - ワールド変換行列 $T^{s b}_w$ を用いて絶対位置 $T^{s b_c o m}_w$ に変換する。位置特定部 2.1.2 は、ブーム 1.5.1 のジオメトリデータが示すブーム 1.5.1 の重心の相対位置 ($x_{b m_c o m}$ 、 $y_{b m_c o m}$ 、 $z_{b m_c o m}$) を、ブーム - ワールド変換行列 $T^{b m}_w$ を用いて絶対位置 $T^{b m_c o m}_w$ に変換する。位置特定部 2.1.2 は、アーム 1.5.2 のジオメトリデータが示すアーム 1.5.2 の重心の相対位置 ($x_{a m_c o m}$ 、 $y_{a m_c o m}$ 、 $z_{a m_c o m}$) を、アーム - ワールド変換行列 $T^{a m}_w$ を用いて絶対位置 $T^{a m_c o m}_w$ に変換する。位置特定部 2.1.2 は、バケット 1.5.3 のジオメトリデータが示すバケット 1.5.3 の重心の相対位置 ($x_{b k_c o m}$ 、 $y_{b k_c o m}$ 、 $z_{b k_c o m}$) を、バケット - ワールド変換行列 $T^{b k}_w$ を用いて絶対位置 $T^{b k_c o m}_w$ に変換する。位置特定部 2.1.2 は、バケット 1.5.3 のジオメトリデータが示す積荷の重心の相対位置 ($x_{p 1_c o m}$ 、 $y_{p 1_c o m}$ 、 $z_{p 1_c o m}$) を、バケット - ワールド変換行列 $T^{b k}_w$ を用いて絶対位置 $T^{p 1_c o m}_w$ に変換する。

20

【0.0.4.7】

重心計算部 2.1.3 は、位置特定部 2.1.2 が特定したパーツ別の重心位置とパーツ別の重さに基づいて、作業機械 1.0.0 全体の重心位置を算出する。具体的には、重心計算部 2.1.3 は、既知の走行体 1.1.0 の重量 $m_{t b}$ 、旋回体 1.3.0 の重量 $m_{s b}$ 、ブーム 1.5.1 の重量 $m_{b m}$ 、アーム 1.5.2 の重量 $m_{a m}$ 及びバケット 1.5.3 の重量 $m_{b k}$ と、ペイロードメータ 1.0.6 の計測値 $m_{p 1}$ に基づいて、以下の式(6)によりアフィン行列 $T^{c o m}_w'$ を求め、アフィン行列 $T^{c o m}_w'$ から作業機械 1.0.0 全体の重心位置 $T^{c o m}_w$ を算出する。

30

【0.0.4.8】

【数 6】

40

50

$$T_w^{com'} =$$

$$\frac{m_{tb}T_w^{tb_com} + m_{sb}T_w^{sb_com} + m_{bm}T_w^{bm_com} + m_{am}T_w^{am_com} + m_{bk}T_w^{bk_com} + m_{pl}T_w^{pl_com}}{m_{tb} + m_{sb} + m_{bm} + m_{am} + m_{bk} + m_{pl}}$$

• • • (6)

10

【 0 0 4 9 】

式 (6) の計算により、重心計算部 213 は、以下の式 (7) に示すような 4×4 のアフィン行列 $T^{com'}_w$ を得る。

【 0 0 5 0 】

【 数 7 】

$$T_w^{com'} = \begin{bmatrix} a & b & c & x_{com} \\ d & e & f & y_{com} \\ g & h & i & z_{com} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots(7)$$

20

【 0 0 5 1 】

重心計算部 213 は、得られたアフィン行列 $T^{com'}_w$ の並進成分を抽出することで、すなわちアフィン行列 $T^{com'}_w$ の回転成分を単位行列に置き換えることで、式 (8) に示すように作業機械 100 全体の重心位置 T^{com}_w を算出する。

【 0 0 5 2 】

【 数 8 】

$$T_w^{com} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{com} \\ 0 & 1 & 0 & y_{com} \\ 0 & 0 & 1 & z_{com} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots(8)$$

30

エネルギー計算部 214 は、重心計算部 213 が算出した重心位置に基づいて、作業機械 100 が転倒するために必要なエネルギー量であるエネルギー安定余裕を、回転軸ごとに算出する。エネルギー安定余裕は、式 (9) によって表される量である。図 3 は、エネルギー安定余裕を説明するための図である。

40

【 0 0 5 3 】

【 数 9 】

$$E = QMg$$

$$Q = z_w^{r_com} - z_w^{com}$$

• • • (9)

【 0 0 5 4 】

すなわち、エネルギー安定余裕は、作業機械 100 の重心の高さ z^{com}_w と作業機械 1

50

0 0 の重心が回転軸の直上に位置するときの重心の高さ $z^r - c^m_w$ との差 Q と、作業機械 1 0 0 の重量 M と、重力加速度 g を乗算することで得られる。

エネルギー計算部 2 1 4 は、走行体 1 1 0 の接地点を包含する支持長方形 R の各辺を回転軸 $a \times 1 - a \times 4$ として、エネルギー安定余裕を求める。

【 0 0 5 5 】

回転軸を X_{ax} 軸、鉛直方向に伸びる軸を Z_{ax} 軸、 X_{ax} 軸及び Z_{ax} 軸に直交する軸を Y_{ax} 軸とする回転軸座標系を考える場合に、回転軸座標系からワールド座標系へ変換するための回転軸・ワールド変換行列 $T^{ax1}_w \sim T^{ax4}_w$ は、走行体 1 1 0 の無限軌道の長さ L 、無限軌道の高さ h 及び無限軌道の幅 w を用いて、式(10)のように表される。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 0 】

$$\begin{aligned}
 T_w^{ax1} &= T_w^{tb} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{w}{2} \\ 0 & 0 & 1 & -h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 T_w^{ax2} &= T_w^{tb} \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{2} & -\sin \frac{\pi}{2} & 0 & \frac{L}{2} \\ \sin \frac{\pi}{2} & \cos \frac{\pi}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 T_w^{ax3} &= T_w^{tb} \begin{bmatrix} \cos \pi & -\sin \pi & 0 & 0 \\ \sin \pi & \cos \pi & 0 & \frac{w}{2} \\ 0 & 0 & 1 & -h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 T_w^{ax4} &= T_w^{tb} \begin{bmatrix} \cos \frac{3\pi}{2} & -\sin \frac{3\pi}{2} & 0 & -\frac{L}{2} \\ \sin \frac{3\pi}{2} & \cos \frac{3\pi}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -h \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad \cdots(10)$$

【 0 0 5 7 】

エネルギー計算部 2 1 4 は、式(10)で得られる回転軸・ワールド変換行列 T^{ax}_w に基づいて、地表の回転軸 $a \times$ 回りの傾斜角 gnd_{ax} を算出する。また、エネルギー計算部 2 1 4 は、回転軸・ワールド変換行列 T^{ax}_w の逆行列と、作業機械 1 0 0 全体の重心位置 T^{com}_w との積により、回転軸座標系における作業機械 1 0 0 の重心の相対位置 T^{com}_{ax} を算出する。エネルギー計算部 2 1 4 は、式(11)に示すように重心の相対位置 T^{com}_{ax} の Z_{ax} 軸並進成分 z^{com}_{ax} と Y_{ax} 軸並進成分 y^{com}_{ax} とに基づいて、回転軸から見た重心の仰角 c^{com}_{ax} を算出する。

【 0 0 5 8 】

【 数 1 1 】

10

20

30

40

50

$$\theta_{ax}^{com} = \text{atan} 2(y_{ax}^{com}, z_{ax}^{com}) \quad \dots(11)$$

なお、式(11)における $\text{atan} 2(x, y)$ は、直交座標系における位置 (x, y) の偏角を求める関数である。

【0059】

エネルギー計算部214は、式(12)に示すように、傾斜角 θ_{ax}^{gnd} と重心の仰角 θ_{com}^{ax} に基づいて、作業機械100全体の重心が回転軸の直上に位置するために必要な回転角 θ_{sup}^{ax} を算出する。

【0060】

【数12】

$$\theta_{ax}^{sup} = \frac{\pi}{2} - \theta_{ax}^{gnd} - \theta_{ax}^{com} \quad \dots(12)$$

【0061】

エネルギー計算部214は、式(13)に示すように、重心の相対位置 T_{com}^{ax} と回転角 θ_{sup}^{ax} と回転軸-ワールド変換行列 T_w^{ax} に基づいて、作業機械100を回転角 θ_{sup}^{ax} だけ回転させたときの作業機械100全体の重心の絶対位置 T_w^{r-com} を算出する。

【0062】

【数13】

$$T_w^{r-com} = T_w^{ax} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{ax}^{sup} & -\sin \theta_{ax}^{sup} & 0 \\ 0 & \sin \theta_{ax}^{sup} & \cos \theta_{ax}^{sup} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_{ax}^{com} \quad \dots(13)$$

10

20

30

【0063】

エネルギー計算部214は、回転後の重心の絶対位置 T_w^{r-com} の Z_w 軸並進成分 z_w^{r-com} と、回転前の重心の絶対位置 T_w^{com} の Z_w 軸並進成分 z_w^{com} の差 Q を、エネルギー安定余裕として算出する。なお、ここで得られるエネルギー安定余裕は、エネルギーを長さの単位に正規化したものと等しい。なお、式(7)に示すように、回転後の重心の絶対位置 T_w^{r-com} と、回転前の重心の絶対位置 T_w^{com} の Z_w 軸並進成分の差 Q に、作業機械100の重量と重力加速度を乗算すると、正規化されないエネルギー安定余裕が得られる。したがって、回転後の重心の絶対位置 T_w^{r-com} と、回転前の重心の絶対位置 T_w^{com} の Z_w 軸並進成分の差 Q を算出することは、エネルギー安定余裕を算出することと等価である。

【0064】

正規化部215は、エネルギー計算部214が算出したエネルギー安定余裕を、回転軸に係る辺に直交する他の辺の長さで除算することで、正規化余裕(正規化値)を求める。正規化余裕は無次元量であり、作業機械100が回転軸回りの回転に対し最も安定している状態との近似度を示す。例えば、正規化部215は、無限軌道の側端回り(回転軸 $a \times 2$ 又は $a \times 4$ 回り)に回転するときのエネルギー安定余裕を、無限軌道の幅 w で除算することで、正規化余裕を求める。また例えば、正規化部215は、一対の無限軌道の前端又は後端を結ぶ直線回り(回転軸 $a \times 1$ 又は $a \times 3$ 回り)に回転するときのエネルギー安定余裕を、無限軌道の長さ L で除算することで、正規化余裕を求める。

40

50

【0065】

図4は、エネルギー安定余裕と、重心の位置との関係を示す図である。図4に示すように、式(7)で演算されるエネルギー安定余裕は、重心の位置が低いほど高く、また回転軸と重心との距離が遠いほど高くなる。つまり、ある回転軸について作業機械100がとるエネルギー安定余裕は、重心が支持長方形R上かつ回転軸から最も遠い点に位置するときに最大となる。したがって、エネルギー計算部214が算出したエネルギー安定余裕を、回転軸に係る辺に直交する他の辺の長さで除算することで、エネルギー安定余裕を無次元化することができる。

【0066】

評価部216は、正規化部215が算出した正規化余裕に基いて作業機械100の転倒リスクを評価する。具体的には、評価部216は、各回転軸に対する正規化余裕の大きさが閾値を超えるか否かを判定する。閾値としては、注意閾値 t_{h_c} 、警告閾値 t_{h_w} が挙げられる。ただし、注意閾値 t_{h_c} は、警告閾値 t_{h_w} より大きい。また各閾値は0より大きく1より小さい。

10

【0067】

出力部217は、評価部216の評価結果に基づいて警報装置の表示装置に表示させる作業機械の転倒リスクを示す標示を生成する。図5は、第1の実施形態に係る転倒リスクの標示の例を示す図である。転倒リスクの標示には、走行体110のアイコンI1、旋回体130のアイコンI2、及び複数のインジケータマークI3が表示される。旋回体130のアイコンI2は、常に正面(前方)を上方向に向けて表示される。走行体110のアイコンI1は、旋回角度 θ_s に応じて傾斜して表示される。複数のインジケータマークI3は、旋回体130のアイコンI2を囲うように表示される。図5に示す例では、転倒リスクの標示には12個のインジケータマークI3が、アイコンI2を中心とする円上に、等間隔に並べられている。インジケータマークI3は、色を変化させることで、インジケータマークI3が表す方向の転倒リスクの高さを示す。例えば、インジケータマークI3は、転倒リスクが注意レベルである場合に黄色くなり、転倒リスクが警告レベルである場合に赤くなる。

20

【0068】

出力部217は、評価部216の評価結果を警報装置へ出力する。出力部217は、生成した作業機械の転倒リスクを示す標示を警報装置へ出力する。また出力部217は、少なくとも1つの回転軸についての正規化余裕が警告閾値を一定時間以上下回る場合に、警報装置に警報音の発報指示を出力する。

30

【0069】

《制御装置190の動作》

図6は、第1の実施形態に係る制御装置190の動作を示すフローチャートである。

制御装置190が起動し、プログラムを実行すると、一定時間ごとに以下の処理を実行する。

取得部211は、傾斜検出器101、旋回角センサ102、ブーム角センサ103、アーム角センサ104、バケット角センサ105及びペイロードメータ106から、それぞれ計測値を取得する(ステップS1)。位置特定部212は、ステップS1で取得した各種計測値とストレージ250に記録されたジオメトリデータとに基づいて、走行体110、旋回体130、ブーム151、アーム152、バケット153及び積荷の重心の絶対位置を特定する(ステップS2)。

40

【0070】

重心計算部213は、ステップS2で特定したパート別の重心の絶対位置とストレージ250に記録されたパート別の重さに基づいて、作業機械100全体の重心の絶対位置 T_{c0m_w} を算出する(ステップS3)。エネルギー計算部214は、ステップS3で算出した重心位置に基づいて、作業機械100が転倒するために必要なエネルギー量であるエネルギー安定余裕に相当する高さQを、作業機械100の支持長方形Rの辺ごとに算出する(ステップS4)。

50

【0071】

正規化部 215 は、ステップ S4 で算出した高さ Q を、回転軸に係る辺に直交する他の辺の長さで除算することで、無次元の正規化余裕を求める（ステップ S5）。評価部 216 は、ステップ S5 で算出した各辺の正規化余裕のそれぞれと、注意閾値 t_{h_c} 及び警告閾値 t_{h_w} とを比較する（ステップ S6）。

【0072】

出力部 217 は、ステップ S1 で取得した旋回角センサ 102 の計測値に基づいて、転倒リスクの標示の走行体 110 のアイコン I1 の角度を決定する（ステップ S7）。また出力部 216 は、ステップ S6 の比較結果に基づいて各インジケータマーク I3 の色を決定する（ステップ S8）。具体的には、回転軸となる辺に対向するインジケータマーク I3 およびその両隣のインジケータマーク I3 の色を、当該回転軸に係る正規化余裕の比較結果に応じた色に決定する。

10

【0073】

出力部 217 は、生成した転倒リスクの標示の表示指示を警報装置に出力する（ステップ S9）。また出力部 217 は、ステップ S6 の比較結果に基づいて、少なくとも 1 つの回転軸についての正規化余裕が警告閾値 t_{h_w} を一定時間以上下回ったか否かを判定する（ステップ S10）。出力部 217 は、少なくとも 1 つの回転軸についての正規化余裕が警告閾値 t_{h_w} を一定時間以上下回った場合（ステップ S10：YES）、警報装置に警報音の発報指示を出力する（ステップ S11）。

20

【0074】**《作用・効果》**

このように、第 1 の実施形態に係る制御装置 190 は、作業機械 100 の接地点に係る凸包によって表される支持長方形 R の各辺について、当該辺を回転軸とする場合における作業機械 100 のエネルギー安定余裕と、支持長方形 R の辺の長さに基づいて、作業機械 100 の転倒の可能性を評価する。これにより、制御装置 190 は、旋回動作に伴って転倒の可能性がある各転倒方向について、転倒の可能性を評価することができる。

【0075】

なお、他の実施形態に係る制御装置 190 は、作業機械 100 の接地点に係る凸包が長方形でない場合にも、回転軸から凸包の複数の頂点までの距離のうち最も長いものを用いることで、第 1 の実施形態と同様に転倒の可能性を評価することができる。

30

【0076】

また、第 1 の実施形態に係る制御装置 190 は、エネルギー安定余裕を支持長方形 R の辺の長さで除算することで、正規化余裕を算出する。これにより、制御装置 190 は、各辺の転倒の可能性を、同一の閾値（注意閾値、警告閾値）によって評価することができる。正規化余裕は、無次元量であるため、制御装置 190 は、作業機械 100 の個体差によらずに同一の閾値を用いて評価することができる。なお、他の実施形態に係る制御装置 190 は、支持長方形 R の辺の長さを乗算した閾値を用いることで、正規化されていないエネルギー安定余裕を評価してもよい。

【0077】**第 2 の実施形態**

40

図 7 は、第 2 の実施形態に係る制御装置 190 の構成を示す概略ブロック図である。

第 2 の実施形態に係る制御装置 190 は、第 1 の実施形態の出力部 217 に代えて、制限部 218 を備えるものである。また、第 2 の実施形態に係る評価部 216 は、転倒リスクの標示を生成しなくてよい。

【0078】

制限部 218 は、評価部 216 の評価結果に基づいて、走行体 110、旋回体 130 及び作業機 150 の動作を制限する。例えば、制限部 218 は、正規化余裕が一定時間以上警告閾値 t_{h_w} を下回った場合に、走行体 110、旋回体 130 及び作業機 150 を停止させる。これにより、制御装置 190 は、作業機械 100 の動作に伴う転倒の可能性を低減することができる。

50

【0079】

なお、他の実施形態に係る制限部 218 は、走行体 110、旋回体 130 及び作業機 150 の停止に代えて、動作速度を低下させることによって、動作を制限してもよい。また他の実施形態に係る制限部 218 は、走行体 110、旋回体 130 及び作業機 150 の何れか 1つ又は 2つの動作を制限するものであってもよい。この場合、制限されない可動部の操作によって作業機械 100 の転倒の可能性が低くなるように姿勢を変えることで正規化余裕が警告閾値 t_{hw} 以上となると、制限部 218 は動作の制限を解除する。

【0080】**他の実施形態**

以上、図面を参照して一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、様々な設計変更等をすることが可能である。すなわち、他の実施形態においては、上述の処理の順序が適宜変更されてもよい。また、一部の処理が並列に実行されてもよい。

10

【0081】

上述した実施形態に係る制御装置 190 は、単独のコンピュータによって構成されるものであってもよいし、制御装置 190 の構成を複数のコンピュータに分けて配置し、複数のコンピュータが互いに協働することで制御装置 190 として機能するものであってもよい。このとき、制御装置 190 を構成する一部のコンピュータが作業機械 100 の内部に搭載され、他のコンピュータが作業機械 100 の外部に設けられてもよい。

【0082】

上述した実施形態に係る作業機械 100 は、警報装置としてスピーカ及び表示装置を備えるが、他の実施形態においては、これに限らず、スピーカ及び表示装置のいずれか一方のみを有していてもよい。また警報装置は、スピーカ及び表示装置に限られない。例えば、他の実施形態に係る警報装置は、操作装置に設けられたアクチュエータであってよい。アクチュエータは、オペレータによる操作装置の操作に対して反力を付与することでオペレータに警告するものであってよい。またアクチュエータは、操作装置に振動を発生させることでオペレータに警告するものであってよい。

20

【0083】

上述した実施形態に係る作業機械 100 は、油圧ショベルであるが、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る作業機械 100 は、ホイルローダーなど、無限軌道ではなくタイヤを備えるものであってもよい。また他の実施形態に係る作業機械 100 は、走行機能を有しないものであってもよい。また、他の実施形態においては、支持多角形が長方形でなくてもよい。また、他の実施形態に係る作業機械 100 は、バケット 153 に代えて、グラップラ、ブレーカ、クラッシャなどの他のアタッチメントを備えるものであってもよい。

30

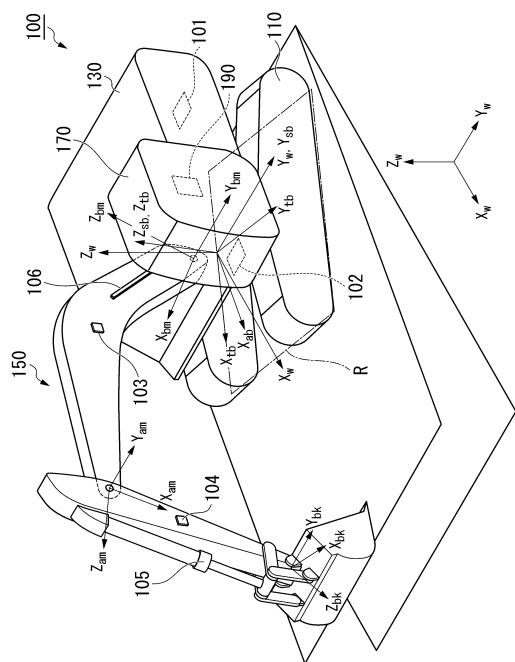
【符号の説明】**【0084】**

100...作業機械 101...傾斜検出器 102...旋回角センサ 103...ブーム角センサ 104...アーム角センサ 105...バケット角センサ 106...ペイロードメータ 110...走行体 130...旋回体 150...作業機 151...ブーム 152...アーム 153...バケット 170...運転室 190...制御装置 210...プロセッサ 211...取得部 212...位置特定部 213...重心計算部 214...エネルギー計算部 215...正規化部 216...評価部 217...出力部 218...旋回制限部 230...メインメモリ 250...ストレージ 270...インターフェース

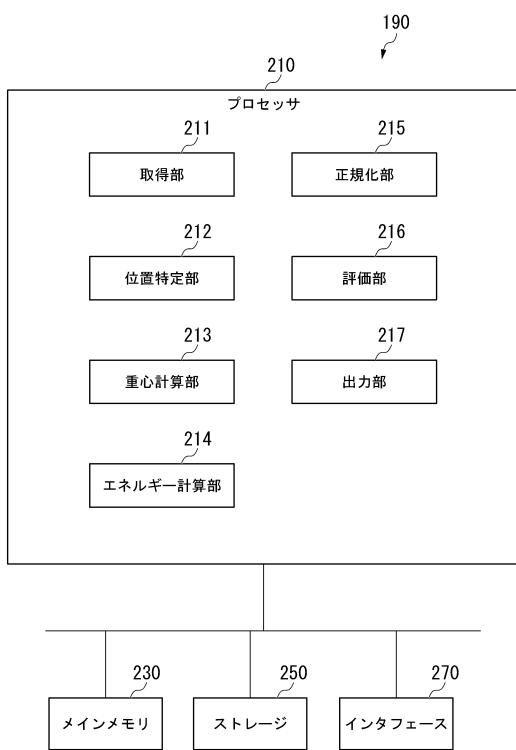
40

【図面】

【図 1】



【図 2】



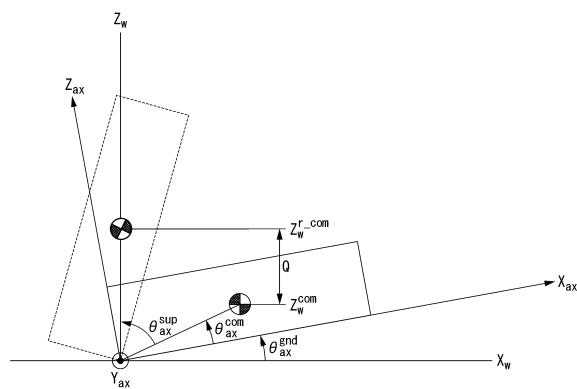
10

20

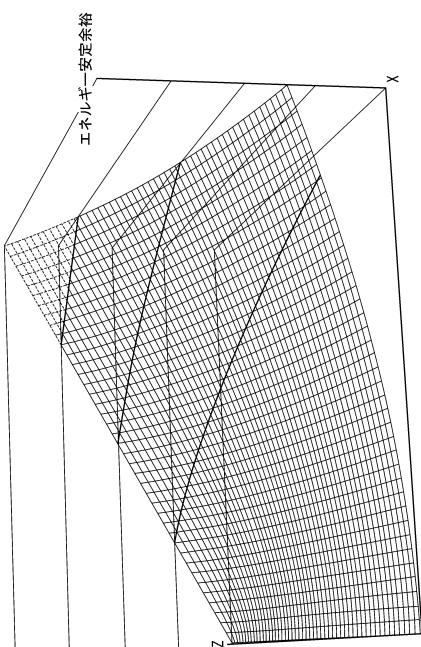
30

40

【図 3】

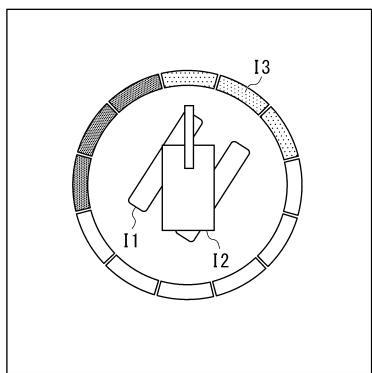


【図 4】

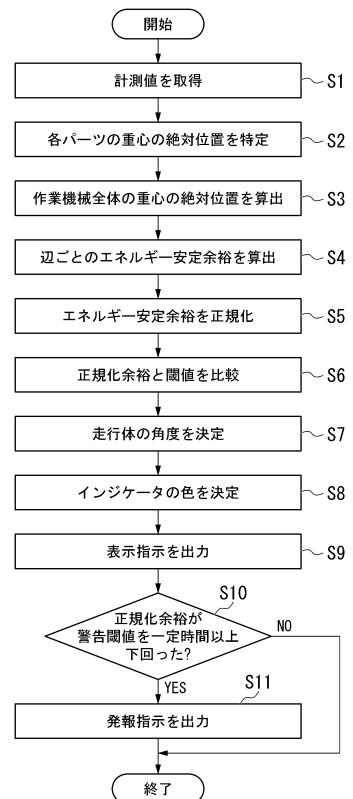


50

【図 5】



【図 6】



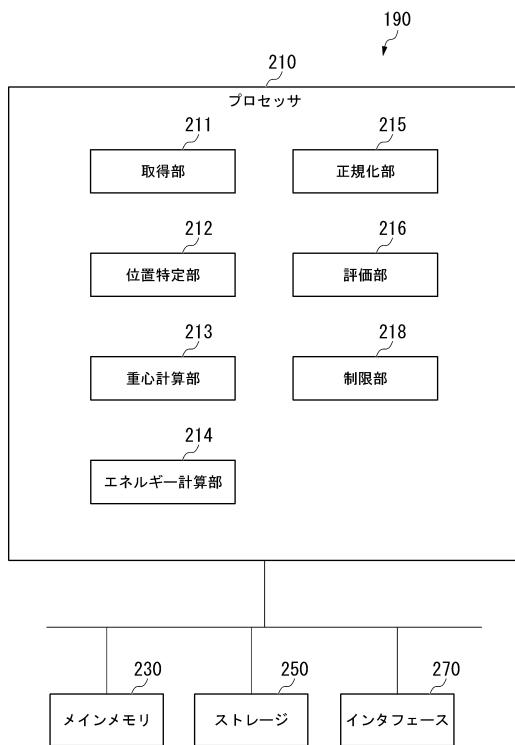
10

20

30

40

【図 7】



50

フロントページの続き

(56)参考文献
国際公開第2011/148946 (WO, A1)
国際公開第2011/049079 (WO, A1)
特開2019-002242 (JP, A)
特開平07-180192 (JP, A)
特開平05-319785 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

E 02 F 9 / 24
E 02 F 9 / 26
E 02 F 9 / 20