

明 細 書

発明の名称：搬送補助装置

技術分野

[0001] 本開示は、搬送補助装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば特許文献1には、駆動部にメカナムホイールを用いた補助推進システムが開示されている。この補助推進システムは、シャーシに連結される一対のメカナムホイール（M e c a n u m車輪）と、各メカナムホイールを駆動するモータと、各モータの回転速度の変化を感知する制御システムと、を備えている。

[0003] 前記特許文献1によると、シャーシが所定方向に移動する場合、それと同じ方向への力が操作者によって印加される。印加された力によって各メカナムホイールが回転すると、それに伴う回転速度の変化が制御システムに報告される。その報告に基づいて、制御システムがモータの電動回転を始動させる。この電動回転によって、シャーシの移動がアシストされる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2016-525977号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、前記特許文献1に記載の構成をカスタ付きベッドに適用した場合において、該ベッドをコーナリングさせるような状況を考える。この場合、ベッドは旋回しつつも前後に押されることになるから、該ベッドを前後方向にアシストすることが考えられる。

[0006] しかしながら、本願発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、コーナリングに際して前後方向にアシストするだけでは、コーナリング半径が過度に小さくなってしまい、ベッドの前端又は後端部と、十字路、T字路等の通路の角部

とが干渉し得ることに気付いた。そうした干渉は、コーナリングをアシストする上で不都合である。

[0007] ここに開示する技術は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストすることにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の第1の態様は、キャスト付きベッドの手押移動をアシストするための搬送補助装置に係る。この搬送補助装置は、前記ベッドの下部に取り付けられ、該ベッドの搬送面に接する第1及び第2メカナムホイールと、前記第1及び第2メカナムホイールのそれぞれに駆動連結された第1及び第2モータと、前記第1及び第2メカナムホイールの回転状態に対応した信号を検出する状態センサと、前記搬送面に垂直な回転軸まわりにおける前記ベッドの旋回を検出する旋回センサと、前記第1及び第2モータを制御するコントローラと、を備え、前記コントローラは、前記状態センサ及び前記旋回センサの検出信号に基づいて、前記ベッドが前進又は後退しているか否かの判定と、前記ベッドが旋回しているか否かの判定と、をそれぞれ実行し、前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記手押移動を前後方向にアシストするように、前記第1及び第2モータを介して前記第1及び第2メカナムホイールを駆動する一方、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合には、前記前後方向と、該前後方向に直交しかつ前記搬送面に沿って延びる横方向と、の双方に前記手押移動をアシストするように、前記第1及び第2モータを介して前記第1及び第2メカナムホイールを駆動する。

[0009] 前記第1の態様によると、コントローラは、前後方向に加えて、横方向についても手押移動をアシストする。ベッドのコーナリングに際しては、コーナリングの半径方向、すなわちベッドの横方向にも力が加わると考えられる。したがって、そうした横方向の力をアシストすることで、コーナリング時に、ベッドを横方向にスライドさせることができる。これにより、コーナリ

ング半径を大きくし、ベッドの前端又は後端部と、通路の角部との干渉を抑制することができる。これにより、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストすることが可能になる。

[0010] また、本開示の第2の態様によれば、前記状態センサは、前記第1及び第2メカナムホイールそれぞれの回転に際して前記第1及び第2モータに流れる誘導電流を検出する第1及び第2電流センサによって構成され、前記コントローラは、前記第1及び第2電流センサの検出信号に基づいて、前記前後方向における前記第1及び第2メカナムホイールの加速度を示す縦加速度と、前記横方向における前記第1及び第2メカナムホイールの加速度を示す横加速度と、をそれぞれ推定し、前記縦加速度及び前記横加速度の少なくとも一方に基づいて、前記手押移動に追従させるように前記第1及び第2モータの指令回転数を設定する第1制御を実行し、前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合、前記前後方向については、前記縦加速度に基づいて前記第1制御を実行する一方、前記横方向については、前記横加速度を、0を上回る所定比率で減少させるように調整の上、該調整後の横加速度に基づいて前記第1制御を実行する、としてもよい。

[0011] 前記第2の態様によると、誘導電流を検出することで、その誘導電流が生じる起因となったトルク（メカナムホイールを回転させようとするトルク）、ひいては、そのトルクに対応した加速度を推定することができる。各ホイールの加速度を推定することで、外力が作用した方向を推定することが可能になる。

[0012] そして、前後方向については手押移動に追従させるようなアシストを実行する一方、横方向については、同方向における加速度を減少させた上、その加速度に基づいた第1制御を行う。横方向における加速度を減少させることは、同方向に作用する外力を、実際に作用する外力よりも小さく見積もることに等しい。外力を小さく見積もることで、横方向については、手押移動に追従させるには及ばないようなアシストが実行される。その結果、横方向に

おける過度のスライド（搬送者が意図した以上のスライド）を抑制し、コーナリング半径を、適切な範囲内に収めることができる。これにより、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。

[0013] また、本開示の第3の態様によれば、前記所定比率は、前記ベッドの旋回中心を、前記第1及び第2メカナムホイールの中央位置から前記ベッドの前端側にシフトさせるように設定されている、としてもよい。

[0014] 前記第3の態様によると、ベッドの旋回中心を前端側にシフトさせることで、ベッドのコーナリングに際し、前端側よりも後端側を大きく旋回させるような動作を実現することができる。後端側を大きく旋回させることで、その後端側の部位と、通路の角部との干渉を抑制することができる。これにより、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。

[0015] また、本開示の第4の態様によれば、前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記縦加速度に基づいて前記第1制御を実行するとともに、前記指令回転数を増加させる第2制御を実行し、前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合には、前記前後方向については、前記縦加速度に基づいて前記第1制御及び前記第2制御を順番に実行し、前記横方向については、前記調整後の横加速度に基づいて前記第1制御を実行の上、前記第2制御を未実行とする、としてもよい。

[0016] 前記第4の態様によると、前後方向については第2制御を行うことで、単に手押移動に追従させるばかりでなく、指令回転数を増加させた分だけ搬送者の負荷を軽減することができる。これにより、前後方向におけるベッドの押し心地を向上し、適度な“アシスト感”を搬送者に与えることができる。一方、横方向については、第2制御を意図的に未実行とする。これにより、横方向における過度のスライド（搬送者が意図した以上のスライド）を抑制し、コーナリング半径を、適切な範囲内に収めることができる。これにより、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。

。

[0017] また、本開示の第5の態様によれば、前記第1及び第2メカナムホイールは、前記横方向に並ぶように配置され、前記第1及び第2メカナムホイールは、それぞれ、前記横方向に延びる回転軸まわりに回転するホイール本体と、前記ホイール本体の外周に沿って配置され、それぞれ前記前後方向及び前記横方向の双方に対して傾斜した傾斜軸まわりに回転する複数の樽型ローラと、を有し、前記第1メカナムホイールの傾斜軸は、前記第2メカナムホイールの傾斜軸に対し、前記前後方向を基準とした線対称となるように傾斜している、としてもよい。

[0018] 前記第5の態様のように構成することで、第1メカナムホイールと第2メカナムホイールとを反対方向に回転させたときに、ベッドを旋回動作させるような推力を発揮させることができる。このように構成することは、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストする上で有効である。

[0019] また、本開示の第6の態様によれば、前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記第1及び第2メカナムホイールを双方とも前転又は後転させるようにそれぞれの指令回転数を設定するとともに、当該設定に際し、前記第1メカナムホイールと前記第2メカナムホイールとで前記指令回転数の絶対値を等しくし、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合には、前記第1メカナムホイールと前記第2メカナムホイールとで異なる絶対値となるように、前記指令回転数を設定する、としてもよい。

[0020] 前記第6の態様によると、前後移動に際しては指令回転数の絶対値を等しくすることで、キャストの向きにかかわらず、より安定した前後移動を実現することができる。一方、コーナリングに際しては意図的に絶対値を異ならせることで、所望の軌道に沿ったコーナリングを実現することができる。

発明の効果

[0021] 以上説明したように、本開示によれば、キャスト付きベッドのコーナリングを適切にアシストすることができる。

図面の簡単な説明

- [0022] [図1]搬送補助装置及びキャスタ付きベッドの全体構成を例示する側面図である。
- [図2]搬送補助装置及びキャスタ付きベッドの全体構成を例示する底面図である。
- [図3]搬送補助装置の構成を例示する斜視図である。
- [図4]搬送補助装置の構成を例示する平面図である。
- [図5]搬送補助装置の構成を例示する側面図である。
- [図6]搬送補助装置の制御系の構成を例示するブロック図である。
- [図7]第1及び第2メカナムホイールの動作について説明するための図である。
- [図8]6軸センサの検出対象について説明するための図である。
- [図9]コントローラが行う主要な処理を例示するフローチャートである。
- [図10]移動方向の判定に関する処理を例示するフローチャートである。
- [図11]コンプライアンス制御の構成を模式化した制御ブロック図である。
- [図12]コンプライアンス制御の基本概念について説明するための概念図である。
- [図13]回転数に対する速度増加量の変化を例示する図である。
- [図14]速度増加制御によって得られる指令回転数を例示する図である。
- [図15]コンプライアンス制御及び速度増加制御を例示するフローチャートである。
- [図16]コーナリングに関する制御を例示するフローチャートである。
- [図17]コーナリング時のベッドの軌跡を例示する図である。
- [図18]安全制限制御を例示するフローチャートである。
- [図19]ベッドの軌跡の従来例を示す図17対応図である。

発明を実施するための形態

- [0023] 以下、本開示の実施形態を図面に基づいて説明する。
- [0024] 図1は搬送補助装置1及びキャスタ付きベッド10の全体構成を例示する

側面図であり、図2は搬送補助装置1及びキャスタ付きベッド10の全体構成を例示する底面図である。

[0025] また、図3は搬送補助装置1の構成を例示する斜視図であり、図4は搬送補助装置1の構成を例示する平面図であり、図5は搬送補助装置1の構成を例示する側面図である。

[0026] また、図6は、搬送補助装置1の制御系の構成を例示するブロック図であり、図7は第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの動作について説明するための図である。そして、図8は、6軸センサSW5の検出対象について説明するための図である。

[0027] 図1及び図2に示すように、本実施形態に係る搬送補助装置1は、キャスタ付きベッド（以下、単に「ベッド」という）10に取り付けられている。このベッド10は、前輪14F及び後輪14Bを含んだ複数のキャスタ14を備えており、例えば医療用ベッドとして用いられるようになっている。搬送補助装置1は、そうしたベッド10の手押移動をアシストするための装置である。

[0028] 以下、ベッド10の長手方向、つまりベッド10上で人が横たわる方向を「前後方向」又は「縦方向」とし、その前後方向に沿って足先に向かう方向を「前」とし、枕元に向かう方向を「後」とする。

[0029] 同様に、ベッド10の短手方向、つまり水平面上で前後方向に直交する方向を「左右方向」又は「横方向」とし、その左右方向に沿って図1の紙面奥行側に向かう方向を「右」とし、図1の紙面手前側に向かう方向を「左」とする（詳細は、図2を参照）。なお、ここでいう「左右方向」とは、後側から前側に向かって見たときの左右方向をいう。以下の記載における「横移動」とは、この左右方向に沿った移動をいう。また、左右方向（横方向）とは、前後方向に直交しかつ搬送面（ベッド10が走行する床面）Fに沿って延びる方向であると定義することもできる。

[0030] ベッド10は、搬送者100によって支持される。図例では、ベッド10は、その前後方向の一端側（例えば後端側）が支持されるようになっている。

。搬送補助装置 1 は、搬送者 100 によって支持されたベッド 10 の手押移動をアシストするように動作する。

[0031] 図 1 に示すように、ベッド 10 は、不図示のマットレスが載置されるベッド本体 11 と、ベッド本体 11 を下方から支持するフレーム 12 と、フレーム 12 に対してベッド本体 11 を昇降させる昇降部 13 と、ベッド 10 の下面に配置された複数（図例では 4 つ）のキャスタ 14 と、を備えている。医療用ベッドとして用いられる場合、ベッド 10 は、例えば 60 kg 以上 300 kg 以下となる。

[0032] ここで、ベッド本体 11 は、ベッド 10 の後端側に配置されるヘッドボード 11 h と、前後方向において前記後端側の反対に位置する前端側に配置されるフットボード 11 f と、ベッド 10 の左右両側に配置されるサイドレール 11 s と、を有している。

[0033] このうち、ヘッドボード 11 h は、ベッド 10 を手押し移動させるべく、搬送者 100 によって後側から支持される。ヘッドボード 11 h は、その搬送者 100 によって力が加えられる支持部として機能する。ハンドル、グリップ等の部材をヘッドボード 11 h に取り付けたり、ヘッドボード 11 h と一体化させたりすることで、それらの部材を支持部としてもよい。フットボード 11 f、サイドレール 11 s 等が支持されてもよい。

[0034] また、フレーム 12 は、図 2 に示すように矩形枠状に構成されており、前フレーム 12 F、右フレーム 12 R、左フレーム 12 L 及び後フレーム 12 B によって四辺が構成されている。

[0035] ここで、前フレーム 12 F は、ベッド 10 の前側に配置されており、左右方向に沿って延びている。右フレーム 12 R は、ベッド 10 の右側に配置されており、前後方向に沿って延びている。左フレーム 12 L は、ベッド 10 の左側に配置されており、前後方向に沿って延びている。後フレーム 12 B は、ベッド 10 の後側に配置されており、左右方向に沿って延びている。

[0036] また、図 1 及び図 2 に示すように、複数のキャスタ 14 を構成する前輪 14 F 及び後輪 14 B は、ベッド 10 の下面の 4 隅に配置されている。前輪 1

4 F 及び後輪 1 4 B は、左右方向に沿って 2 つずつ設けられている。複数のキャスト 1 4 は、搬送面 F に対してフレーム 1 2、昇降部 1 3 及びベッド本体 1 1 を支持している。

[0037] 各キャスト 1 4 は、いわゆるフリーキャストであって、ベッド 1 0 の下面に固定される取付部 1 4 a と、この取付部 1 4 a に対して旋回軸 O c まわりに旋回可能なフォーク部 1 4 b と、フォーク部 1 4 b によって回転可能に支持された車輪 1 4 c と、を有している。各フォーク部 1 4 b の旋回軸 O c は、上下方向（ベッド 1 0 の高さ方向）に沿って延びている。各車輪 1 4 c の回転軸は、水平面に沿って延びている。この回転軸は、取付部 1 4 a に対してフォーク部 1 4 b が旋回することで、左右方向に対して傾斜するようになっている。

[0038] そして、搬送補助装置 1 は、前述の右フレーム 1 2 R における前後方向の中途の部位と、左フレーム L における前後方向の中途の部位と、を架け渡すように配置されている。搬送補助装置 1 は、前後方向においては前輪 1 4 F と後輪 1 4 B との間に配置され、左右方向においてはベッド 1 0 の中央に配置されている。

[0039] 図 1 ～図 6 に示すように、搬送補助装置 1 は、収容ボックス 6 と、取付具 7 と、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L と、第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L と、コントローラ 4 と、状態センサとしての第 1 及び第 2 電流センサ SW 1, SW 2 と、第 1 及び第 2 回転センサ SW 3, SW 4 と、旋回センサとしての 6 軸センサ SW 5 と、を備えている（第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L、並びに各センサ SW 1 ～SW 5 は、図 6 にのみ図示）。以下、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L のうち、第 1 メカナムホイール 2 1 R が右側に位置するものとし、第 2 メカナムホイール 2 1 L が左側に位置するものとする。

[0040] これらの要素のうち、コントローラ 4 及び 6 軸センサ SW 5 は収容ボックス 6 に収容されており、取付具 7、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L、第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L、第 1 及び第 2 電流センサ SW

1, SW 2、並びに第1及び第2回転センサSW 3, SW 4は、収容ボックス6外に配置されている。

[0041] 収容ボックス6は、前述のようにコントローラ4を収容している。収容ボックス6は、左右方向において、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lの間に配置されている。

[0042] 収容ボックス6は、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lと共に取付具7に組み付けられており、この取付具7を介してベッド10の下部に取り付けられている。取付具7は、ベッド10の下部に対して着脱可能である。すなわち、本実施形態に係る搬送補助装置1は、ベッド10に対して後付可能であって、必要に応じて取り外し可能とされている。

[0043] 詳しくは、本実施形態に係る取付具7は、図2～図5に示すように、前側レール部材71f及び後側レール部材71bと、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lをそれぞれ回転可能に支持する第1及び第2アーム部材72R, 72Lと、を有している。

[0044] ここで、前側レール部材71fと後側レール部材71bは、前後方向に間隔を空けて配置されており、それぞれ、右フレーム12Rの前後方向中央部と、左フレーム12Lの前後方向中央部と、を架け渡している。前側レール部材71fと後側レール部材71bは、右フレーム12R及び左フレーム12Lに対して着脱可能である。第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lと収容ボックス6は、前後方向において、前側レール部材71fと後側レール部材71bの間に配置されるようになっている。

[0045] 一方、図3及び図4において右側に位置する第1アーム部材72Rは、後側レール部材71bによって揺動可能に支持されている。第1アーム部材72Rの前端部は、第1メカナムホイール21Rを回転可能に支持している。また、第1アーム部材72Rは、左右方向において、第1メカナムホイール21Rと収容ボックス6との間に配置されるようになっている。

[0046] また、第1アーム部材72Rの上端部には、第1引張バネ75Rの一端部が係止されている。この第1引張バネ75Rの他端部は、前側レール部材7

1 f に固定された第1ブラケット7 6 Rに係止されている。

[0047] そして、図3及び図4において左側に位置する第2アーム部材7 2 Lは、第1アーム部材7 2 Rと同様に、後側レール部材7 1 bによって揺動可能に支持されている。第2アーム部材7 2 Lの前端部は、第2メカナムホイール2 1 Lを回転可能に支持している。また、第2アーム部材7 2 Lは、左右方向において、第2メカナムホイール2 1 Lと収容ボックス6との間に配置されるようになっている。

[0048] また、第2アーム部材7 2 Lの上端部には、第2引張バネ7 5 Lの一端部に係止されている。この第2引張バネ7 5 Lの他端部は、前側レール部材7 1 f に固定された第2ブラケット7 6 Lに係止されている（図5も参照）。

[0049] 第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lは、図1～図2に示すように、ベッド1 0の下部（底部）に取り付けられている。第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lは、ベッド1 0の搬送面Fに接している。搬送面Fは、図1にのみ示す。また、第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lは、前輪1 4 Fの後側かつ後輪1 4 Bの前側に配置されている。本実施形態の場合、第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lは、図2に示すように、短手方向としての左右方向に並ぶように配置されている。

[0050] 詳しくは、図3～図5に示すように、第1メカナムホイール2 1 Rは、第1回転軸O y 1まわりに回転する第1ホイール本体2 1 1 Rと、第1ホイール本体2 1 1 Rの外周に沿って配置され、それぞれ第1回転軸O y 1に対して傾斜した第1傾斜軸O rまわりに回転する複数の第1樽型ローラ2 1 2 Rと、を有している。

[0051] 一方、第2メカナムホイール2 1 Lは、第2回転軸O y 2まわりに回転する第2ホイール本体2 1 1 Lと、第2ホイール本体2 1 1 Lの外周に沿って配置され、それぞれ第2回転軸O y 2に対して第1傾斜軸O rとは異なる方向に傾斜した第2傾斜軸O lまわりに回転する複数の第2樽型ローラ2 1 2 Lと、を有している。

[0052] ここで、第1及び第2回転軸O y 1, O y 2は、双方とも、左右方向に延

びている。そして、第1傾斜軸 O_r は、第2傾斜軸 O_l に対し、前後方向を基準（図4の対称軸 O_s を参照）とした線対称となるように傾斜している。言い換えると、第1傾斜軸 O_r と第2傾斜軸 O_l は、上下方向及び前後方向に延びる平面を鏡映面とすると、その鏡映面に関して鏡映対称となるように延びている。

[0053] さらに、図4のように上方から見た場合（平面視した場合）、第1及び第2傾斜軸 O_r 、 O_l は、それぞれ、前後方向に沿って後側から前側に向かうに従って、左右方向の内側から外側（左右方向の中央部から右側又は左側）に向かって延びている。

[0054] 詳しくは、第1傾斜軸 O_r は、前後方向に沿って後側から前側に向かうに従って、左右方向の中央部から右側に向かって延びている。一方、第2傾斜軸 O_l は、前後方向に沿って後側から前側に向かうに従って、左右方向の中央部から左側に向かって延びている。

[0055] さらに詳しくは、第1回転軸 O_{y1} に対する第1傾斜軸 O_r の傾斜角 θ_r は、平面視で 45° に設定されている。同様に、第2回転軸 O_{y2} に対する第2傾斜軸 O_l の傾斜角 θ_l は、同じく平面視で 45° に設定されている。なお、各樽型ローラ $212R$ 、 $212L$ の傾斜方向及び傾斜角度は、これらの例には限定されない。例えば、搬送補助装置1全体を、図2に例示した状態から、上下方向に延びる z 軸回りに所定角度回転させた状態に配置変更してもよい。

[0056] また、前述のように、第1及び第2メカナムホイール $21R$ 、 $21L$ は、図3等にした前側レール部材 $71f$ 及び後側レール部材 $71b$ を介して相互に連結されている。したがって、第1及び第2メカナムホイール $21R$ 、 $21L$ は、前後方向及び左右方向に一体的に移動したり、水平面に垂直な旋回軸まわりに一体的に旋回したりする。

[0057] 第1及び第2モータ $22R$ 、 $22L$ は、第1及び第2メカナムホイール $21R$ 、 $21L$ のそれぞれに駆動連結されている。具体的に、第1及び第2モータ $22R$ 、 $22L$ は、それぞれ、いわゆる3相のDCブラシレスモータと

して構成されている。第1及び第2モータ22R, 22Lは、双方ともコントローラ4と電氣的に接続されており、このコントローラ4によって制御されるようになっている。

[0058] 第1及び第2モータ22R, 22Lには、それぞれの回転に際し、トルク負荷に対応したモータ電流が供給される。モータ電流を通じて、第1及び第2モータ22R, 22Lの回転数と、正転及び逆転とを切り替えることができる。

[0059] そして、第1モータ22Rは、第1メカナムホイール21Rに対し、駆動力（トルク）を伝達できるように連結されている。第2モータ22Lは、第2メカナムホイール21Lに対し、駆動力（トルク）を伝達できるように連結されている。

[0060] 第1モータ22Rが回転することで、その駆動力が伝達されて第1メカナムホイール21Rが回転する。同様に、第2モータ22Lが回転することで、その駆動力が伝達されて第2メカナムホイール21Lが回転する。

[0061] 本実施形態では、第1モータ22Rを正転させることで第1メカナムホイール21Rが前転し、第1モータ22Rを逆転させることで第1メカナムホイール21Rが後転するように構成されている。同様に、本実施形態では、第2モータ22Lを正転させることで第2メカナムホイール21Lが前転し、第2モータ22Lを逆転させることで第2メカナムホイール21Lが後転するように構成されている。

[0062] なお、第1モータ22Rは第1メカナムホイール21Rに内蔵されており、第2モータ22Lは第2メカナムホイール21Lに内蔵されている。このように第1及び第2モータ22R, 22Lを内蔵させることで、搬送補助装置1全体の簡素化及びコンパクト化を図ることができる。

[0063] また、状態センサとしての第1及び第2電流センサSW1, SW2は、第1及び第2メカナムホイール22R, 22Lの回転状態に対応した信号を検出する。

[0064] 具体的に、第1電流センサSW1は、第1メカナムホイール21Rの回転

に際して第1モータ22Rに流れる誘導電流を検出する。つまり、外力を受けて第1メカナムホイール21Rが回転すると、第1モータ22Rにおいてロータとステータとが相対的に回転し、誘導電流が発生する。第1電流センサSW1によって検出される誘導電流は、q軸電流に相当する。

[0065] ここで、誘導電流の大きさは、外力を受けて第1メカナムホイール21Rが回転したときに、その第1メカナムホイール21Rに作用したトルクに比例する。このトルクの大きさは、ベッド10が受けた外力の大きさ、ひいては、外力に起因したベッド10の速度変化量と関連している。また、誘導電流の符号は、外力を受けて第1メカナムホイール21Rが回転したときの、第1メカナムホイール21Rの回転方向と関連している。誘導電流の符号は、第1モータ22Rの駆動時に流れることになるモータ電流に対し、逆符号となる。

[0066] 第2電流センサSW2は、第2メカナムホイール21Lの回転に際して第2モータ22Lに流れる誘導電流を検出する。つまり、外力を受けて第2メカナムホイール21Lが回転すると、第2モータ22Lにおいてロータとステータとが相対的に回転し、誘導電流が発生する。第2電流センサSW2によって検出される誘導電流は、q軸電流に相当する。

[0067] ここで、誘導電流の大きさは、外力を受けて第2メカナムホイール21Lが回転したときに、その第2メカナムホイール21Lに作用したトルクに比例する。このトルクの大きさは、ベッド10が受けた外力の大きさ、ひいては、外力に起因したベッド10の速度変化量と関連している。また、誘導電流の符号は、外力を受けて第2メカナムホイール21Lが回転したときの、第2メカナムホイール21Lの回転方向と関連している。誘導電流の符号は、第2モータ22Lの駆動時に流れることになるモータ電流に対し、逆符号となる。

[0068] 例えば、外力を受けて第1メカナムホイール21Rが前転すると同時に、第2メカナムホイール21Lが後転した場合、第1電流センサSW1は、第1モータ22Rを逆転させるときと同符号の誘導電流を検出することになる。

。第2電流センサSW2は、第2モータ22Lを正転させるときと同符号の誘導電流を検出することになる。

[0069] 以下に詳述するように、本実施形態に係るコントローラ4は、誘導電流に係るトルクをフィードバックする（より詳細には、トルクに対応した指令回転数で第1及び第2モータ22R、22Lを回転させる）ことで、順方向つまり外力の作用方向へのアシストを実行するように構成されている。

[0070] また、第1及び第2回転センサSW3、SW4は、それぞれ、第1及び第2モータ22R、22Lの回転数を検出する。具体的に、本実施形態に係る第1及び第2回転センサSW3、SW4は、それぞれエンコーダによって構成されている。エンコーダとしての第1回転センサSW3は、第1モータ22Rの回転数及び回転角度を検出し、同じくエンコーダとしての第2回転センサSW4は、第2モータ22Lの回転数及び回転角度を検出する。

[0071] また、図8に示すように、旋回センサとしての6軸センサSW5は、搬送面Fに垂直な回転軸（図8におけるz軸）まわりにおけるベッド10の旋回を検出する。詳しくは、この6軸センサSW5は、少なくとも、上下方向に沿ったz軸まわりの回転角（いわゆるヨー角 ϕ ）の角速度を検出可能に構成されている。

[0072] さらに詳しくは、本実施形態に係る6軸センサSW5は、ヨー角 ϕ の角速度に加え、前後方向に延びるx軸、左右方向に延びるy軸、及び上下方向に延びるz軸それぞれに沿った3方向の加速度と、x軸まわりの回転角（いわゆるロール角 ϕ ）の角速度と、y軸まわりの回転角（いわゆるピッチ角 θ ）の角速度と、を検出することができる。6軸センサSW5の検出信号は、コントローラ4に入力される。

[0073] コントローラ4は、各種センサSW1～SW5から入力された電気信号に基づいて、第1及び第2モータ22R、22Lを制御する。このコントローラ4は、CPU、メモリ及び入出力バスを有しており、例えば制御基板によって構成されている。

[0074] 具体的に、本実施形態に係るコントローラ4は、各種センサSW1～SW

5から入力された検出信号に基づいて、第1及び第2モータ22R, 22Lそれぞれの指令回転数を設定する。コントローラ4は、設定された指令回転数に対応したモータ電流を、第1及び第2モータ22R, 22Lに入力する。これにより、第1及び第2モータ22R, 22Lは、それぞれ、コントローラ4が設定した指令回転数で回転することになる。

[0075] その際、第1メカナムホイール21Rは、第1モータ22Rと同じ回転数で回転し、第2メカナムホイール21Lは、第2モータ22Lと同じ回転数で回転する。すなわち、第1及び第2モータ22R, 22Lそれぞれの指令回転数を設定することは、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lそれぞれの指令回転数を設定することに等しい。

[0076] また、各指令回転数の符号を変更することで、第1モータ22R及び第2モータ22Lの回転方向を個別に変更することができる。各モータ22R, 22Lの回転方向を変更することで、対応するメカナムホイール21R, 21Lを前転と後転とに切り替えることができる。

[0077] 本実施形態では、右側に位置する第1メカナムホイール21Rを前転させると、搬送補助装置1及びベッド10に対し、左斜め前方へと推力を付与することができる（図7の矢印A₁₁を参照）。一方、左側に位置する第2メカナムホイール21Lを前転させると、搬送補助装置1は、ベッド10に対して右斜め前方へと推力を付与することができる（図7の矢印A₁₂を参照）。

[0078] したがって、例えば図7の左上に示すように、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lを双方とも前転させると、第1メカナムホイール21Rを前転させることで付与される左方への推力と、第2メカナムホイール21Lを前転させることで付与される右方への推力とを相殺し、搬送補助装置1全体では前方へと推力を付与することができる。この推力によって、ベッド10の前方への移動をアシストすることができる。

[0079] 同様に、右側に位置する第1メカナムホイール21Rを後転させると、搬送補助装置1及びベッド10に対し、右斜め後方へと推力を付与することができる（図7の矢印A₂₁を参照）。一方、左側に位置する第2メカナムホイール21Lを後転させると、搬送補助装置1及びベッド10に対し、左斜め後方へと推力を付与することができる（図7の矢印A₂₂を参照）。

ール 2 1 L を後転させると、搬送補助装置 1 は、ベッド 1 0 に対して左斜め後方へと推力を付与することができる（図 7 の矢印 A_{22} を参照）。

[0080] したがって、例えば図 7 の右上に示すように、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L を双方とも後転させると、第 1 メカナムホイール 2 1 R を後転させることで付与される右方への推力と、第 2 メカナムホイール 2 1 L を後転させることで付与される左方への推力とを相殺し、搬送補助装置 1 全体では後方へと推力を付与することができる。この推力によって、ベッド 1 0 の後方への移動をアシストすることができる。

[0081] 一方、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L のうちの一方を前転させ、他方を後転させると、搬送補助装置 1 は、ベッド 1 0 に対して左右方向への推力を付与する。

[0082] 図 7 の左下に示す例では、第 1 メカナムホイール 2 1 R を後転させるとともに第 2 メカナムホイール 2 1 L を前転させることで、ベッド 1 0 には、右方向への推力が付与される。

[0083] また、第 1 及び第 2 メカナムホイール 2 1 R, 2 1 L のうちの一方のみを前転又は後転させると、搬送補助装置 1 は、ベッド 1 0 に対して斜め方向への推力を付与する。

[0084] 図 7 の右下に示す例では、第 2 メカナムホイール 2 1 L のみを前転させたことで、右斜め前方へとベッド 1 0 を推進させることができる。一方、第 1 のメカナムホイール 2 1 R のみを前転させると、左斜め前方へとベッド 1 0 の移動をアシストすることができる（図示省略）。

[0085] そして、搬送補助装置 1 は、各種センサ SW 1 ~ SW 5 の検出信号に基づいて第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L を作動させることで、前述のように付与される推力を通じて、搬送者 1 0 0 によるベッド 1 0 の搬送をアシストするように構成されている。

[0086] そうしたアシストを実現すべく、本実施形態に係るコントローラ 4 は、各種センサ SW 1 ~ SW 5 の検出信号に基づいて、外力が作用する方向（以下、単に「作用方向」ともいう）を判定し、その作用方向に沿って推力を発揮

するように第1及び第2モータ22R, 22Lを作動させる。

[0087] 例えば、ヘッドボード11hが後方から前方に押された結果、後側から前方に向かって外力が作用していると判定された場合、コントローラ4は、第1及び第2モータ22R, 22Lを双方とも正転させることで、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lを双方とも前転させる。これにより、図7の左上に例示したようにベッド10の前進をアシストすることが可能になる。

[0088] また、第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lは、対応するモータ22R, 22Lを駆動していない場合も前転および後転が許容される。これにより、ベッド10を手押移動する際のふらつきを抑制し、ベッド10の搬送を安定させることができる。

[0089] 以下、コントローラ4によるアシストに関し、図9等を用いて詳細に説明する。

[0090] ここで、図9は、コントローラ4が行う主要な処理を例示するフローチャートである。図10は、移動方向の判定に関する処理を例示するフローチャートである。図11は、コンプライアンス制御の構成を模式化した制御ブロック図である。図12は、コンプライアンス制御の基本概念について説明するための概念図である。図13は、回転数に対する速度増加量の変化を例示する図である。図14は、速度増加制御によって得られる指令回転数を例示する図である。図15は、コンプライアンス制御及び速度増加制御を例示するフローチャートである。

[0091] また、図16は、コーナリングに関する制御を例示するフローチャートである。図17は、コーナリング時のベッド10の軌跡を例示する図である。図18は、安全制限制御を例示するフローチャートである。

[0092] まず、図9のステップS1において、コントローラ4は、前述した5つのセンサSW1～SW5の検出信号を読み込む。

[0093] 続くステップS2において、コントローラ4は、第1及び第2電流センサSW1, SW2の検出信号に基づいて、第1及び第2メカナムホイール21

R, 2 1 Lそれぞれの加速度を個別に推定する。

[0094] 以下、第1メカナムホイール2 1 Rの加速度を「第1加速度」と呼称し、第2メカナムホイール2 1 Lの加速度を「第2加速度」と呼称する。第1及び第2加速度は、双方とも、並進速度の時間微分、つまり、いわゆる接線加速度である。

[0095] 第1及び第2電流センサSW1, SW2それぞれによって検出された誘導電流の大きさは、第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lの回転時に、それらのホイールに作用したトルク（特に、反力に起因したトルク）に比例する。コントローラ4は、そうした比例関係に基づいて、第1メカナムホイール2 1 Rに作用した第1トルクと、第2メカナムホイール2 1 Lに作用した第2トルクと、を個別に推定する。その際、誘導電流からトルクに変換するための比例係数は、コントローラ4に事前に記憶させたものを用いることができる。

[0096] 本実施形態に係るコントローラ4は、第1及び第2トルクに対応した反力に逆らうように第1及び第2モータ2 2 R、2 2 Lを駆動することで、ベッド10の移動をアシストする。

[0097] そうしたアシストを実現するために、コントローラ4は、下式（1）及び（2）に基づいて、第1トルクに対応した第1加速度と、第2トルクに対応した第2加速度とを推定する。

$$[0098] \quad a_r = (-1) \cdot T_r / (R \cdot m) \quad \cdots (1)$$

$$a_l = (-1) \cdot T_l / (R \cdot m) \quad \cdots (2)$$

上式（1）及び（2）において、 T_r [Nm] は第1トルクであり、 T_l [Nm] は第2トルクである。また、 a_r [m/s²] は、第1トルクに対応した第1加速度であり、 a_l [m/s²] は、第2トルクに対応した第2加速度である。

[0099] その他、R [m] は第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lそれぞれのタイヤ半径であり、m [kg] は第1及び第2メカナムホイール2 1 R, 2 1 Lそれぞれの質量である。本実施形態におけるタイヤ半径及び質量の

大きさは、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lとで同一である。

[0100] 続くステップS3において、コントローラ4は、第1及び第2電流センサSW1、SW2の検出信号に基づいて、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの並進加速度を推定する。

[0101] 詳細には、コントローラ4は、第1及び第2電流センサSW1、SW2の検出信号に基づいて推定した第1及び第2加速度 a_r 、 a_l を用いて、前後方向における第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの並進加速度を示す縦加速度と、横方向における第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの並進加速度を示す横加速度と、をそれぞれ推定する。

[0102] さらに詳しくは、図3～図5のように第1及び第2メカナムホイール21R、21Lを構成した場合、コントローラ4は、第1加速度 a_r と第2加速度 a_l とを加算することで縦加速度を推定し、第1加速度 a_r と第2加速度 a_l との差分を演算することで横加速度を推定する。これらの演算の詳細は、下式(3)及び(4)に示す通りである。

[0103]
$$a_x = (a_r + a_l) / 2 \quad \dots (3)$$

$$a_y = (a_r - a_l) / 2 \quad \dots (4)$$

上式(3)及び(4)において、 a_x [m/s²] が縦加速度であり、 a_y [m/s²] が横加速度である。式(3)の符号は、前方を正とし、後方を負とするように規定されている。前方と後方とで符号の正負を反転してもよい。同様に、式(4)の符号は、左方を正とし、右方を負とするように規定されている。左方と右方とで符号の正負を反転してもよい。

[0104] なお、式(3)及び(4)の如き関係式は、第1及び第2モータ22R、22Lそれぞれの回転数（つまり、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lそれぞれの回転数）についても成立する。

[0105] ここで、 r_r [rpm] を前後方向における第1モータ22Rの回転数（以下、「第1回転数」ともいう）とし、 r_l [rpm] を前後方向における第2モータ22Lの回転数（以下、「第2回転数」ともいう）とする。これらの

回転数のうち、第1回転数 r_r は第1回転センサSW3によって検出される回転数であり、第2回転数 r_l は第2回転センサSW4によって検出される回転数である。

[0106] そして、 r_x [rpm] を前後方向における第1及び第2モータ22R, 22L全体の回転数（以下、これを「縦回転数」ともいう）とし、 r_y [rpm] を左右方向における第1及び第2モータ22R, 22L全体の回転数（以下、これを「横回転数」ともいう）とする。本実施形態のように第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lを構成及び配置した場合、下式（5）及び（6）が成立する。

$$[0107] \quad r_x = (r_r + r_l) / 2 \quad \dots (5)$$

$$r_y = (r_r - r_l) / 2 \quad \dots (6)$$

上式（5）及び（6）は、下式（7）及び（8）のように変形可能である。下式（7）及び（8）に示すように、 r_x と r_y を設定することで、 r_r と r_l を一意に決定することができる。

$$[0108] \quad r_r = r_x + r_y \quad \dots (7)$$

$$r_l = r_x - r_y \quad \dots (8)$$

また、上式（7）及び（8）それぞれの両辺に、タイヤ半径R及び円周率等に依存した定数（ $=\pi R / 30$ ）を乗算することで、速度について同様の関係式を得ることもできる。つまり、 v_r [m/s] を前後方向における第1メカナムホイール21Rの速度とし、 v_l [m/s] を前後方向における第2メカナムホイール21Lの速度とする。そして、 v_x [m/s] を前後方向における第1及び第2メカナムホイール21R, 21L全体の速度（以下、これを「縦速度」ともいう）とし、 v_y [m/s] を左右方向における第1及び第2メカナムホイール21R, 21L全体の速度（以下、これを「横速度」ともいう）とする。そして、本実施形態のように第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lを構成及び配置した場合、下式（9）及び（10）が成立する。

[0109] なお、この場合の「速度」とは、角運動する物体の並進速度（接線速度）

を示す。

$$[0110] \quad v_x = (v_r + v_l) / 2 \quad \cdots (9)$$

$$v_y = (v_r - v_l) / 2 \quad \cdots (10)$$

上式(9)及び(10)は、下式(11)及び(12)のように変形可能である。下式(11)及び(12)に示すように、 v_x と v_y を設定することで、 v_r と v_l を一意に設定することができる。

$$[0111] \quad v_r = v_x + v_y \quad \cdots (11)$$

$$v_l = v_x - v_y \quad \cdots (12)$$

また、式同士の関係を利用することで、例えば、縦速度 v_x 及び／又は横速度 v_y の指令値を決定したときに、それら指令値の実現に要する縦回転数 r_r と横回転数 r_l を一意に決定したり、縦回転数 r_r 及び／又は横回転数 r_l に対応した第1回転数 r_r と第2回転数 r_l を決定したりすることができる。

[0112] 続いて、コントローラ4は、第1及び第2回転センサSW3、SW4の検出信号に基づいて、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの回転数が所定(第1閾値)以上になったことを条件に、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの駆動を許容する。

[0113] 具体的に、ステップS3から続くステップS4において、コントローラ4は、以下の関係式(13)及び(14)のいずれか一方が満足されているか否かを判定する。この判定を通じて、実際にベッド10が搬送されているか否か(実際にベッド10が移動しているか否か)を確認することができる。

$$[0114] \quad r_x \geq T1 \quad \cdots (13)$$

$$r_y \geq T1 \quad \cdots (14)$$

上式(13)及び(14)において、 $T1[1/s]$ は第1閾値である。第1閾値の大きさは、コントローラ4のメモリ等に事前に記憶されており、上式(13)と(14)とで等しくなるように設定されている。なお、上記説明に示すように、図9のステップS4における「 r_x/r_y 」とは、「 r_y による r_x の除算値」ではなく、「 r_x と r_y のいずれか一方」を意味している。

[0115] ここで、上式(13)及び(14)が双方とも満足されていない場合、コ

ントローラ4は、ベッド10が搬送されていないと判定し、第1及び第2モータ22R、22Lそれぞれの駆動を許容しない（ステップS4：NO）。この場合、制御プロセスはステップS5に進む。このステップS5において、コントローラ4は、第1及び第2モータ22R、22Lそれぞれの指令回転数をゼロにする。

- [0116] ステップS5に進んだ場合、それ以降のステップS7～S9において、第1及び第2モータ22R、22Lの指令回転数（より詳細には、後述のアシスト速度）はゼロのまま維持される（ステップS7～S9の詳細は後述）。この場合、コントローラ4は、第1及び第2モータ22R、22Lを駆動することなく、図9に示すフローを終了する。
- [0117] 一方、上式（13）及び（14）のうちの少なくとも一方が満足されている場合、コントローラ4は、外力によって実際にベッド10が搬送されていると判定し、第1及び第2モータ22R、22Lそれぞれの駆動を許容する（ステップS4：YES）。この場合、制御プロセスはステップS6に進む。このステップS6において、コントローラ4は、外力による手押移動をアシストすべく、第1及び第2モータ22R、22Lそれぞれの指令回転数（アシスト回転数）を設定する。このアシスト回転数は、前述の縦回転数 r_x 及び横回転数 r_y の指令値に相当する。
- [0118] 図10のステップS11～S15は、それぞれ、図9のステップS6で実行される処理を例示している。つまり、制御プロセスがステップS6に進むと、コントローラ4は、図10のステップS11を開始する。
- [0119] このステップS11において、コントローラ4は、図9のステップS3で推定した縦加速度 a_x 及び横加速度 a_y に基づいて、ベッド10の移動方向を判定する。詳しくは、本実施形態に係るコントローラ4は、縦加速度 a_x 及び横加速度 a_y に基づいて、ベッド10の移動方向が前後方向であるか（ベッド10が前進又は後退しているか）、或いは、左右方向であるかを判定する。
- [0120] さらに詳しくは、ステップS11において、コントローラ4は、以下の関係式（15）が満足されているか否かを判定する。

[0121] $|a_y| < T_2 \quad \dots (15)$

上式(15)において、 T_2 [m/s^2] は第2閾値である。第2閾値の大きさは、コントローラ4のメモリ等に事前に記憶されており、必要に応じて適宜読み出されるようになっている。

[0122] ここで、上式(15)が満足されていない場合、コントローラ4は、ベッド10の移動方向が左右方向であると判定し、制御プロセスをステップS12に進める(ステップS11:NO)。ステップS12に進んだ場合の処理の詳細は、後述する。

[0123] 一方、上式(15)が満足されている場合、コントローラ4は、ベッド10の移動方向が前後方向であると判定し、制御プロセスをステップS13に進める(ステップS11:YES)。

[0124] ステップS13において、コントローラ4は、6軸センサSW5の検出信号に基づいて、図8に示したz軸まわりにベッド10が旋回しているか否かを判定する。詳しくは、このステップS13において、コントローラ4は、以下の関係式(16)が満足されているか否かを判定する。

[0125] $|a_\phi| \geq T_3 \quad \dots (16)$

上式(16)において、 a_ϕ [$1/s^2$] はヨー角の角加速度であり、 T_3 [$1/s^2$] は第3閾値である。第3閾値の大きさは、コントローラ4のメモリ等に事前に記憶されており、必要に応じて適宜読み出されるようになっている。

[0126] ここで、上式(16)が満足されていない場合、コントローラ4は、ベッド10が非旋回中(旋回していない)と判定し、制御プロセスをステップS14に進める。

[0127] ステップS14に進んだ場合とは、ベッド10が前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定された場合に相当する。この場合、コントローラ4は、これ以降の各ステップを行うことで、第1及び第2電流センサSW1, SW2によって得られた縦加速度 a_x 及び横加速度 a_y に基づいて、第1制御としてのコンプライアンス制御と、第2制御としての速度増加制御とを双

方とも実行する。

[0128] 一方、上式(16)が満足されている場合、コントローラ4は、ベッド10が旋回中(旋回している)と判定し、制御プロセスをステップS15に進める。

[0129] ステップS15に進んだ場合とは、ベッド10が前進又は後退しながら旋回していると判定された場合(つまり、ベッド10がコーナリングしている場合)に相当する。この場合、コントローラ4は、コーナリングに最適化された制御であって、前後方向と左右方向との双方に手押移動をアシストする制御を実行する。

[0130] 以下、ステップS12及びステップS14で行われる処理と、ステップS15で行われる処理とについて順番に説明する。これらのステップに進んだ場合、コントローラ4は、前述のステップS11で判定された移動方向に基づいて、その移動方向に沿ったベッド10の移動をアシストするように、第1及び第2モータ22R、22Lを介して第1及び第2メカナムホイール21R、21Lを駆動することになる。その途中、本実施形態に係るコントローラ4は、第1制御としてのコンプライアンス制御を実行したり、第2制御としての速度増加制御を実行したりする。

[0131] コンプライアンス制御とは、コントローラ4が、前記ステップS3で推定した加速度(つまり、縦加速度 a_x 及び横加速度 a_y の少なくとも一方)に基づいて実行するものである。このコンプライアンス制御において、コントローラ4は、ベッド10の手押移動に追従させるように、前後方向又は左右方向における速度指令、つまり、縦速度 v_x 及び横速度 v_y の指令値を設定する。

[0132] 式(9)－(12)に関して説明したように、縦速度 v_x 及び横速度 v_y の指令値を設定することで、前記第1回転数 r_r 及び第2回転数 r_l の指令値が一意に定まる。

[0133] 以下、縦速度 v_x 及び横速度 v_y の指令値をそれぞれ縦速度指令 V_x 及び横速度指令 V_y と呼称する。また、各モータ22R、22Lにおける第1回転数 r

r_r 及び第2回転数 r_l の指令値を、それぞれ第1指令回転数 R_r 及び第2指令回転数 R_l と呼称する。

[0134] 本実施形態のようにコンプライアンス制御によって縦速度指令 V_x 及び横速度指令 V_y を設定することは、それぞれ、ベッド10の移動に追従させるように第1指令回転数 R_r 及び第2指令回転数 R_l を設定することに等しい。

[0135] 一方、速度増加制御とは、コントローラ4が、前記ステップS3で推定した加速度と、コンプライアンス制御で設定された指令回転数と、に基づいて実行するものである。この速度増加制御において、コントローラ4は、コンプライアンス制御で参照された加速度の絶対値が所定値（後述の第4閾値 T_4 ）以上の場合に、そのコンプライアンス制御で設定した縦速度指令 V_x 及び横速度指令 V_y （特に、各速度指令 V_x 、 V_y の絶対値）を増加させる。

[0136] 本実施形態のように速度増加制御によって縦速度指令 V_x 及び横速度指令 V_y を増加させることは、それぞれ、第1指令回転数 R_r 及び第2指令回転数 R_l （特に、各指令回転数 R_r 、 R_l の絶対値）を増加させることに等しい。

[0137] まず、制御プロセスがステップS12又はステップS14へ進んだ場合について説明する。ここで、図15のステップS31～S36は、それぞれ、図10のステップS12又はS14で実行される処理を例示している。つまり、制御プロセスがステップS12又はS14に進むと、コントローラ4は、図15のステップS31から順番に各ステップを実行する。

[0138] 例えば、ステップS12から図15のフローに進んだ場合、つまり、「移動方向＝左右方向」と判定された場合、コントローラ4は、横加速度 a_y に基づいてコンプライアンス制御を実行するとともに、そのコンプライアンス制御を通じて得られた横速度指令 V_y に基づいた速度増加制御を実行する。

[0139] 一方、ステップS14から図15のフローに進んだ場合、つまり、「移動方向＝前後方向」と判定された場合、コントローラ4は、縦加速度 a_x に基づいてコンプライアンス制御を実行するとともに、そのコンプライアンス制御を通じて得られた縦速度指令 V_x に基づいた速度増加制御を実行する。

[0140] 以下、ステップS14から図15のフローに進んだ場合について詳細に説

明する。図 15 のフローにおいて、ステップ S 3 1 がコンプライアンス制御に関係し、ステップ S 3 2 ～ステップ S 3 4 が速度増加制御に関係している。

- [0141] まず、ステップ S 3 1 において、コントローラ 4 は、図 1 1 に例示した制御ブロックに縦加速度 a_x を入力して縦速度 v_x の指令値を演算する。入力となる縦加速度 a_x は、第 1 及び第 2 電流センサ SW 1, SW 2 の検出信号に基づいて推定されたものであり、縦加速度 a_x の推定値（実測値）に相当する。
- [0142] この制御ブロックにおいて、 s はラプラス演算子であり、 M はベッド 10 及び搬送補助装置 1 の慣性を示している。また、 D は、搬送者 100 によるベッド 10 の支持位置（例えばヘッドボード 11 h）と、第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L との間の減衰係数であり、 K は、前記支持位置と、第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L との間のバネ乗数である。 M 、 D 及び K の値は、事前に設定されており、コントローラ 4 に記憶されている。
- [0143] ところで、仮に、搬送補助装置 1、ベッド 10 及び搬送者 100 を剛体とみなした場合、外力の付与によって第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L が回転したときに生じる縦速度 v_x は、前後方向におけるベッド 10 及び搬送者 100 の移動速度と同期して変化するとともに、その大きさも互いに一致することになる。この場合、縦加速度 a_x の実測値を時間積分することで、ベッド 10 の手押移動に追従するような縦速度指令 V_x が得られることになる。
- [0144] しかし、実際のところ、ベッド 10 の支持位置と第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L との間には、ベッド 10 のフレーム 12、搬送補助装置 1 の取付具 7 等が介在している。フレーム 12 の撓み等に起因して、実際の縦速度 v_x は、ベッド 10 及び搬送者 100 の移動速度から遅れて変化したり、その移動速度との間に値のずれが生じたりすることになる。
- [0145] こうした遅れ、ずれ等の影響をモデル化したものが、図 1 1 に例示した制御ブロックである。この制御ブロックは、力に対応した物理量（縦加速度 a_x

、横加速度 a_y) を入力とし、速度指令 (縦速度指令 V_x , 横速度指令 V_y) を出力とするコンプライアンス制御を意味している。

[0146] 図 1 1 においては、まず、縦加速度 a_x の実測値が、減算器 P 2 を通過した後に第 1 ブロック B 1 に入力される。この第 1 ブロックにおいて、縦加速度 a_x の実測値が時間積分される。第 1 ブロック B 1 の出力は、縦加速度 a_x の大きさに対応した、縦速度指令 V_x の修正分 (速度指令値の修正量) ΔV を示している。コントローラ 4 は、現在の縦速度指令 V_x にその修正分 ΔV を加算したり、その修正分 ΔV を積算したりすることで、縦速度指令 V_x を設定する。

[0147] また、ブロック B 1 からの出力は、第 2 ブロック B 2 において D/M が乗算された後、加算器 P 1 を介して減算器 P 2 に入力される。減算器 P 2 に入力された乗算値は、縦加速度 a_x の実測値から減算される。このフィードバックは、縦速度指令 V_x に比例した減衰 (特に、ベッド 10 の支持位置と第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L との間に生じる減衰) を取り入れるためのものである。

[0148] また、ブロック B 1 からの出力は、第 3 ブロック B 3 にも入力される。この第 3 ブロック B 3 において、前記修正分 ΔV がさらに時間積分される。第 3 ブロック B 3 の出力は、第 4 ブロック B 4 において K/M が乗算された後、前記加算器 P 1 を介して減算器 P 2 に入力される。減算器 P 2 に入力された乗算値は、第 2 ブロック B 2 を介した乗算値と同様に、縦加速度 a_x の実測値から減算される。このフィードバックは、変位量に比例した復元力 (特に、ベッド 10 の支持位置と第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L との間の撓みに起因した復元力) を取り入れるためのものである。

[0149] 縦加速度 a_x に 2 つのフィードバックを反映させることで、撓み、減衰等が考慮されたベッド 10 の加速度 (特に、搬送者 100 の支持位置での加速度) が推定されることになる。その加速度を第 1 ブロック B 1 で時間積分したものが、ベッド 10 の移動に追従するような速度となる。

[0150] また、加算器 P 1 から減算器 P 2 に至る途中で、フィードバックに伴う時

間のずれを埋め合わせるような信号処理（例えば、遅延演算子を用いた処理）を行ってもよい。

- [0151] 例えば、図12の上図に示すように、搬送補助装置1とベッド10及び搬送者100とが等速で移動している場合、第1及び第2電流センサSW1, SW2で推定される加速度はゼロとなる。この場合、図10の制御ブロックに入力される縦加速度 a_x はゼロとなり、その制御ブロックから出力される修正分 ΔV もゼロとなる。この場合、搬送補助装置1は加減速しない。
- [0152] 一方、図12の中央図に示すように、搬送補助装置1よりも搬送者100が速く移動している場合、第1及び第2電流センサSW1, SW2で推定される加速度は正となる。この場合、ベッド10には、これを押し込むような外力が付与されていることになる（矢印F1を参照）。この場合、図10の制御ブロックに入力される縦加速度 a_x は正となり、その制御ブロックから出力される修正分 ΔV も正となる。その際、前記第4ブロックB4に係る復元力は、修正分 ΔV を増加させる方向に作用する（矢印F3を参照）。これにより、搬送補助装置1は、ベッド10及び搬送者100と等速になるように、外力の付与から遅れて加速することになる。
- [0153] 一方、図12の下図に示すように、搬送補助装置1よりも搬送者100が遅れて移動している場合、第1及び第2電流センサSW1, SW2で推定される加速度は負となる。この場合、ベッド10には、これを引き込むような外力が付与されていることになる（矢印F2を参照）。この場合、図10の制御ブロックに入力される縦加速度 a_x は負となり、その制御ブロックから出力される修正分 ΔV も負となる。その際、前記第4ブロックB4に係る復元力は、修正分 ΔV を減少させる方向に作用する（矢印F4を参照）。これにより、搬送補助装置1は、ベッド10及び搬送者100と等速になるように、外力の付与から遅れて減速することになる。
- [0154] 続くステップS32～ステップS34において、コントローラ4は、前述の速度増加制御を実行する。コントローラ4は、この速度増加制御を実行する場合、第1及び第2回転センサSW3, SW4によって検出された回転数

が大きくなる程、速度指令値を大きく増加させる（図13を参照）。なお、図13の横軸は、横速度による縦速度の除算値を意味するのではない。図13に示すグラフは、前後方向（縦方向）の速度指令値の設定に際しては、縦速度 v_x が大きくなるほど速度指令値を大きく設定し、左右方向（横方向）の速度指令値の設定に際しては、横速度 v_y が大きくなるほど速度指令値を大きく設定することを意味している。

[0155] 具体的に、ステップS32において、コントローラ4は、縦速度 v_x が大きくなるほど大きくなるように、速度増加量 v_{off} を設定する。縦速度 v_x の代わりに、縦回転数 r_x が大きくなる程大きくなるように、速度増加量 v_{off} を設定してもよい。

[0156] また、ステップS12から図15のフローに進んだ場合は、縦速度 v_x の代わりに横速度 v_y が判定対象となる。前述のように、コントローラ4は、横速度 v_y が大きくなるほど大きくなるように、速度増加量 v_{off} を設定する。つまり、コントローラ4は、図10のステップS11で判定された移動方向に基づいて、速度増加量 v_{off} の設定を行うようになっている。

[0157] 続くステップS33において、コントローラ4は、以下の関係式（17）が満足されているか否かを判定する。ステップS33は、縦加速度 a_x の絶対値が所定値以上であるか否かを判定するものである。この判定を通じて、移動方向に沿ってベッド10が押されているか否かを検出することができる（押し力を検出）。

[0158] $|a_x| \geq T4 \quad \dots (17)$

上式（17）において、 $T4$ [m/s^2] は第4閾値（所定値）である。所定値としての第4閾値 $T4$ の大きさは、コントローラ4のメモリ等に事前に記憶されており、必要に応じて適宜読み出されるようになっている。

[0159] なお、ステップS12から図15のフローに進んだ場合は、縦加速度 a_x の代わりに横加速度 a_y が比較対象となる。つまり、コントローラ4は、図10のステップS11で判定された移動方向における加速度について、第4閾値 $T4$ 以上であるか否かの判定を行うようになっている。

- [0160] ここで、上式（１７）が満足されている場合（つまり、縦加速度 a_x の絶対値が所定値以上の場合）、コントローラ４は、ベッド１０が押されていると判定し、制御プロセスをステップＳ３４に進める（ステップＳ３３：ＹＥＳ）。
- [0161] ステップＳ３４において、コントローラ４は、ステップＳ３１で算出した速度指令（縦速度指令 V_x ）に速度増加量 v_{off} を加算する。コントローラ４は、そうして得られた加算値を、最終的な速度指令（アシスト速度）とする（ステップＳ３６）。前後方向におけるアシスト速度は、前述の縦速度指令 V_x である。左右方向におけるアシスト速度は、前述の横速度指令 V_y である。
- [0162] なお、速度増加量 v_{off} を算出して速度指令に加算する代わりに、第１及び第２回転センサＳＷ３，ＳＷ４によって検出された回転数が大きくなるほど大きくなるような増加倍率（ >1 ）を算出し、その増加倍率を速度指令に乗算することで速度増加制御を行ってもよい。
- [0163] 一方、上式（１７）が満足されていない場合（つまり、縦加速度 a_x の絶対値が所定値を下回った場合）、コントローラ４は、ベッド１０が押されていないと判定し、制御プロセスをステップＳ３５に進める（ステップＳ３３：ＮＯ）。
- [0164] ステップＳ３５において、コントローラ４は、第２制御後の速度指令を低下させる第３制御を実行する。
- [0165] 具体的に、ステップＳ３５において、コントローラ４は、速度増加量 v_{off} を、その時点の値から Δv_2 だけ減算した上で、制御プロセスをステップＳ３４に進める。なお、速度増加量 v_{off} の減算量 Δv_2 は、一定にしてもよい。減算量 Δv_2 を一定に設定した場合、ベッド１０が押されていない状態が繰り返されると、速度増加量 v_{off} は徐々に減少していくことになる。また、この減算に際し、速度増加量 v_{off} はゼロ未満にならないように構成されている。これにより、ベッド１０の移動に追従させる程度のアシスト速度は確保される。

- [0166] 例えば、 n 回目のループでステップS 3 3からステップS 3 4に進んだ場合、縦速度指令 V_x は、縦速度 v_x に応じた速度増加量 v_{off} の分だけ増加することになる。その後、 $n+1$ 回目のループでステップS 3 3からステップS 3 5に進んだ場合、速度増加量 v_{off} は、 n 回目のループ時の値から減算されることになる。その後、ステップS 3 3からステップS 3 5に進むような状況が繰り返されると、縦速度指令 V_x は、ステップS 3 1で算出された値に向かって低下することになる。
- [0167] 図1 4は、コンプライアンス制御を実行し、速度増加制御を未実行とした場合におけるアシスト回転数（破線）と、コンプライアンス制御及び速度増加制御を双方とも実行とした場合におけるアシスト回転数（実線）とを比較した図である。図1 4における丸印は、それぞれ、ベッド1 0が押されたと判定されたタイミング（ステップS 3 3の判定がYESとなったタイミング）を示している。
- [0168] コンプライアンス制御のみを実行した場合、アシスト回転数は、ベッド1 0の移動から遅れて立ち上がった後、その移動に追従するような値で推移する。
- [0169] 一方、コンプライアンス制御と速度増加制御を両方とも実行とした場合、ベッド1 0が押されたと判定される度に、アシスト回転数が急峻に立ち上がる（例えば、 $t=t_1$, t_2 , t_3 を参照）。一方、ベッド1 0が押されていないと判定された期間が続くと、立ち上がった後のアシスト回転数が、時間経過に伴って徐々に減少していくことになる（例えば、 $t_1 < t < t_2$, $t_2 < t < t_3$ を参照）。
- [0170] さらに詳細には、図1 4において、コンプライアンス制御で定まるアシスト回転数（アシスト速度）が上昇を開始してから、それが低下に転じるまでの期間（破線が上昇してから、低下に転じるまでの期間）は、図1 2のBに示すように、いわゆる「ベッド押し込み時」に相当する。この場合、ステップS 3 3の判定は適宜YESになり、その都度、速度増加量 v_{off} が非ゼロかつ正の値に設定されることになる。例えば、ベッド1 0が相対的に強く押さ

れたとき（ステップS 3 3の判定がY E Sになるほど強く押されたとき）には、前述のようにアシスト回転数が急峻に立ち上がる一方、ベッド1 0が相対的に弱く押されたとき（ステップS 3 3の判定がY E Sにならないほどの強さで押されたとき）には、アシスト回転数（アシスト速度）は、ベッド1 0に追従する程度の値に向かって徐々に減少していくことになる。

[0171] 一方、図1 4において、コンプライアンス制御で定まるアシスト回転数（アシスト速度）が低下を開始してから期間（破線が低下に転じてから、ゼロに至るまでの期間）は、図1 2のCに示すように、いわゆる「ベッド引き込み時」に相当する。この場合、ステップS 3 3の判定はY E Sにならないため、速度増加量 v_{ff} は、その下限値（ゼロ）のまま推移することになる。その結果、アシスト回転数（アシスト速度）は、コンプライアンス制御で定まる値に維持されつつ、ゼロに向かって減少していくことになる。

[0172] そして、ステップS 3 6に係る処理が完了すると、制御プロセスは、図1 0及び図1 5のフローを終了し、図9のステップS 7に進む。

[0173] なお、図1 5に関する説明は、ステップS 1 2から図1 5のフローに進んだ場合についても同様である。その場合、前述の説明において、「縦」なる語を「横」なる語に置き換えるとともに、「前後」なる語を「左右」なる語に置き換えればよい。各種数式においても同様である。その際、第4 閾値 T_4 等の所定値は、前後方向と左右方向で同一としてもよいし、異ならせてもよい。

[0174] 一方、ステップS 1 3からステップS 1 5に進んだ場合、コントローラ4は、ベッド1 0のコーナリングをアシストすべく、コーナリング用に縦横両方向におけるアシスト回転数を設定する。

[0175] ここで、図1 6のステップS 4 1～S 4 4は、それぞれ、図1 0のステップS 1 5で実行される処理を例示している。つまり、制御プロセスがステップS 1 5に進むと、コントローラ4は、図1 5のステップS 4 1から順番に各ステップを実行する。

[0176] まずステップS 4 1において、コントローラ4は、図9のステップS 3で

推定した横加速度 a_y を、0 を上回る所定比率で減少させるように調整する。具体的に、コントローラ 4 は、縦加速度 a_x については前記ステップ S 3 で推定した値を維持する一方、横加速度 a_y については下式 (18) のように変換する。

[0177]
$$a_y' = c_y * a_y \quad \dots (18)$$

上式 (18) において、所定比率を示す c_y は、ベッド 10 及び搬送補助装置 1 の寸法・重量・構成等に応じて事前に設定されており、コントローラ 4 に記憶されている。所定比率 c_y は、詳細には 1 未満 ($0 < c_y < 1$)、さらに詳細には 0.5 未満 ($0 < c_y < 0.5$) に設定される。

[0178] この所定比率 c_y は、ベッド 10 の回転中心 O_t を、第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L の中央位置 P_c からベッド 10 の前端側にシフトさせるように設定されている (図 17 を参照)。

[0179] なお、ここでいう中央位置 P_c は、図 4 に示すように、左右方向における第 1 及び第 2 メカナムホイール 21 R, 21 L の中央位置であって、前後方向においては、第 1 及び第 2 回転軸 O_{y1} , O_{y2} と交わる位置としてもよい。

[0180] 続くステップ S 4 2 において、コントローラ 4 は、前後方向について、ステップ S 3 で推定した縦加速度 a_x に基づいて、第 1 制御としてのコンプライアンス制御を実行する。

[0181] 特に、本実施形態に係るコントローラ 4 は、前後方向については、ステップ S 3 で推定した縦加速度 a_x に基づいて、コンプライアンス制御と、第 2 制御としての速度増加制御との双方を順番に実行する。前後方向におけるコンプライアンス制御及び速度増加制御の詳細は、図 15 を参照して説明した通りである。ステップ S 4 2 を実行することで、コントローラ 4 は、前述のように、前後方向における速度指令を設定する。

[0182] つまり、前後方向については、ベッド 10 の前後移動に追従するような速度指令 (ひいては、第 1 及び第 2 モータ 22 R, 22 L の指令回転数) を算出の上、ベッド 10 が押されたことに同期して速度指令 (指令回転数) を底

上げするような制御が実行されることになる。

[0183] 続くステップS 4 3において、コントローラ4は、左右方向（横方向）について、前記ステップS 4 1によって調整後の横加速度 a_y' に基づいて、第1制御としてのコンプライアンス制御を実行する。

[0184] 特に、本実施形態に係るコントローラ4は、横方向については、調整後の横加速度 a_y' に基づいてコンプライアンス制御を実行の上、第2制御としての速度増加制御を未実行とする。この場合、コントローラ4は、図15においてステップS 3 2～ステップS 3 5以外の処理を実行し、左右方向における速度指令を設定する。

[0185] つまり、左右方向については、ベッド10の横移動に若干追従するような速度指令（ひいては、第1及び第2モータ2 2 R, 2 2 Lの指令回転数）を算出する制御こそ実行するものの、ベッド10が押されたことに同期して速度指令（指令回転数）を底上げするような制御については意図的に未実行とされる。

[0186] 続くステップS 4 4において、コントローラ4は、ステップS 4 2で設定した速度指令を、前後方向におけるアシスト速度とし、ステップS 4 3で設定した指令回転数を、横方向におけるアシスト速度とする。

[0187] 図10のステップS 1 2、ステップS 1 4及びステップS 1 5に係るフローが完了すると、制御プロセスは、図9のステップS 7に進む。このステップS 7において、コントローラ4は、アシスト回転数として設定された縦速度指令 V_x 又は横速度指令 V_y を、それぞれ、上式（5）及び（6）と同様に定めた下式（19）及び（20）を通じて第1指令回転数 R_r と第2指令回転数 R_l とに変換する。

[0188]
$$R_r = 60 * (V_x + V_y) / (2\pi \cdot R) \quad \dots (19)$$

$$R_l = 60 * (V_x - V_y) / (2\pi \cdot R) \quad \dots (20)$$

上式（19）及び（20）における“R”は、前述のタイヤ半径である。本実施形態の場合、前後方向へのアシストに際しては $V_x \neq 0$ かつ $V_y = 0$ となり、左右方向へのアシストに際しては $V_x = 0$ かつ $V_y \neq 0$ となり、コーナ

リングのアシストに際しては $V_x \neq 0$ かつ $V_y \neq 0$ となる。

[0189] 例えば、コントローラ4は、ベッド10の移動方向が前後方向であると判定した場合（ステップS14を経由した場合）、図7の左上及び右上に例示したように、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lを双方とも前転又は後転させるように、第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l を設定するとともに、当該設定に際し、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lとで指令回転数の絶対値を等しくする（ $R_r = R_l$ ）。

[0190] 第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l の絶対値を等しくすることで、各キャスト14の向きに関わらず、前後方向に沿った移動を安定させることができる。

[0191] また、コントローラ4は、ベッド10の移動方向が左右方向であると判定した場合（ステップS12を経由した場合）には、図7の左下に例示したように、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lのうち的一方を前転させるとともに、他方を後転させるように第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l を設定するとともに、当該設定に際しても、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lとで指令回転数の絶対値を等しくする（ $R_r = -R_l$ ）。

[0192] また、コントローラ4は、ベッド10がコーナリング中であると判定した場合（ステップS12を経由した場合）には、図7の右下に例示したように、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lのうちの少なくとも一方を回転させるように第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l を設定する。その設定に際しては、図17に例示した位置に旋回中心 O_t が位置するように、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lとで異なる絶対値とする（ $|R_r| \neq |R_l|$ ）。

[0193] その後、ステップS7から続くステップS8において、コントローラ4は安全制御処理を実行する。この処理の詳細は、図18のステップS51及びステップS52に示す通りである。

[0194] まず、ステップS51において、コントローラ4は、図9のフローを通じ

て設定された各指令回転数 R_r 、 R_l の絶対値が、所定の第5閾値 T_5 以上か否かを判定する。ここで、第5閾値 T_5 の大きさは、コントローラ4のメモリ等に事前に記憶されており、必要に応じて適宜読み出されるようになっている。

[0195] ステップS51の判定がYESの場合、コントローラ4は、制御プロセスをステップS52に進める。このステップS52において、コントローラ4は、各指令回転数 R_r 、 R_l を第5閾値 T_5 に変更する。

[0196] 一方、ステップS51の判定がNOの場合、コントローラ4は、ステップS52をスキップしてリターンする。この場合、各指令回転数 R_r 、 R_l の大きさは、第5閾値 T_5 未満のまま維持される。

[0197] このように、本実施形態に係るコントローラ4は、第2制御としての速度増加制御後に、第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l が所定の閾値（第5閾値 T_5 ）未満の場合（ステップS51：NO）には、該第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l の値を維持し、第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l が第5閾値 T_5 以上の場合（ステップS51：YES）には、第1及び第2指令回転数 R_r 、 R_l を第5閾値 T_5 に変更するように構成されている。

[0198] そして、図9のステップS8から続くステップS9において、コントローラ4は、移動方向に沿ったベッド10の移動をアシストするように、第1及び第2モータ22R、22Lを介して第1及び第2メカナムホイール21R、21Lをそれぞれ駆動する。その際、前述のステップS5、ステップS6及びステップS7を通じて決定された指令回転数 R_r 、 R_l を実現するように、第1及び第2モータ22R、22Lがそれぞれ駆動される。

[0199] これにより、前後方向又は左右方向への手押移動に際しては、その移動方向に沿ったアシストが実行される一方、前後方向に移動しながらの旋回つまり、ベッド10のコーナリングに際しては、前後方向と左右方向との双方に手押移動がアシストされるように、第1及び第2モータ22R、22Lを介して第1及び第2メカナムホイール21R、21Lが駆動される。

[0200] これにより、前後方向のみにアシストしたときのような中央位置Pcまわ

りの旋回ではなく、横方向へとベッド10をスライドさせながらの旋回が実現される。例えば、図17のような右折時には、ベッド10を前方に押し込む外力に加えて、該ベッド10を左方（旋回方向の逆方向）にスライドさせるような外力が作用するから、その外力をフィードバックしてアシストすることで、ベッド10を左方にスライド（いわばドリフト）させるようなコーナリングが実現される。

[0201] これにより、図17に示したように、旋回中心Otをベッド10の前端側にシフトさせたコーナリングが実現されて、同図に示すような軌道でベッド10を旋回させることができるようになる。

[0202] 仮に、横方向へのアシストを行わなかった場合、図19の従来例に示すように、第1及び第2メカナムホイール21R、21Lの中央位置Pcを旋回中心Otとした軌道となる。そうした軌道は、コーナリング半径が小さいものとなり、通路の角等とベッド10とが干渉するおそれがあり不都合である。

[0203] また、図示は省略するが、左折時には、ベッド10を前方に押し込む外力に加えて、該ベッド10を右方（旋回方向の逆方向）にスライドさせるような外力が作用するから、その外力をフィードバックしてアシストすることで、ベッド10を右方にスライドさせるようなコーナリングが実現される。この場合も、図17に示したようなスムーズな軌道を実現することが可能になる。

[0204] 以上説明したように、本実施形態によれば、コントローラ4は、前後方向に加えて、横方向についても手押移動をアシストする（図16のステップS43及びステップS44を参照）。ベッド10のコーナリングに際しては、コーナリングの半径方向、すなわちベッドの横方向にも力が加わると考えられる。したがって、そうした横方向の力をアシストすることで、コーナリング時に、ベッド10を横方向にスライドさせることができる。これにより、コーナリング半径を大きくし、ベッド10の前端又は後端部と、通路の角部との干渉を抑制することができる。これにより、ベッド10のコーナリング

を適切にアシストすることが可能になる。

- [0205] また、図9のステップS2及びステップS3に例示したように、誘導電流を検出することで、その誘導電流が生じる起因となったトルク（第1及びメカナムホイール21R、21Lを回転させようとするトルク）、ひいては、そのトルクに対応した加速度を推定することができる。各メカナムホイール21R、21Lの加速度を推定することで、外力が作用した方向を推定することが可能になる。
- [0206] そして、前後方向については手押移動に追従させるようなアシストを実行する一方、横方向については、図16のステップS41に例示したように、同方向における加速度を減少させた上、その加速度に基づいたコンプライアンス制御を行う。横方向における加速度を減少させることは、同方向に作用する外力を、実際に作用する外力よりも小さく見積もることに等しい。外力を小さく見積もることで、横方向については、手押移動に追従させるには及ばないようなアシストが実行される。その結果、横方向における過度のスライド（搬送者100が意図した以上のスライド）を抑制し、コーナリング半径を、適切な範囲内に収めることができる。これにより、ベッド10のコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。
- [0207] また、図17を用いて説明したように、ベッド10の旋回中心Otを前端側にシフトさせることで、ベッド10のコーナリングに際し、前端側よりも後端側を大きく旋回させるような動作を実現することができる。後端側を大きく旋回させることで、その後端側の部位と、通路の角部との干渉を抑制することができる。これにより、ベッド10のコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。
- [0208] また、図16のステップS42に例示したように、前後方向については速度増加制御を行うことで、単に手押移動に追従させるばかりでなく、指令回転数を増加させた分だけ搬送者100の負荷を軽減することができる。これにより、前後方向におけるベッド10の押し心地を向上し、適度な“アシスト感”を搬送者100に与えることができる。一方、横方向については、図

16のステップS43に例示したように、速度増加制御を意図的に未実行とする。これにより、横方向における過度のスライド（搬送者100が意図した以上のスライド）を抑制し、コーナリング半径を、適切な範囲内に収めることができる。これにより、ベッド10のコーナリングを適切にアシストする上で有利になる。

[0209] また、図3～図5及び図7に例示したように第1及び第2メカナムホイール21R、21Lを構成及び配置したことで、第1メカナムホイール21Rと第2メカナムホイール21Lとを反対方向に回転させたときに、ベッド10を旋回動作させるような推力を発揮させることができる。このように構成することは、ベッド10のコーナリングを適切にアシストする上で有効である。

[0210] また、前後移動に際しては指令回転数の絶対値を等しくすることで、キャスト14の向きにかかわらず、より安定した前後移動を実現することができる。一方、コーナリングに際しては意図的に絶対値を異ならせることで、所望の軌道に沿ったコーナリングを実現することができる。

[0211] <他の実施形態>

前記実施形態では、ベッド10の前進又は後退を判定するための状態センサとして、第1及び第2電流センサSW1、SW2を用いるように構成されていたが、本開示は、そうした構成には限定されない。例えば、状態センサに、第1及び第2回転センサSW3、SW4を用いてもよいし、6軸センサSW5を用いてもよい。

[0212] また、前記実施形態では、速度増加制御によって速度指令（並進速度の指令値）が増加されるように構成されていたが、そうした構成は必須ではない。

[0213] 例えば、ステップS32～S34において、速度指令に係る処理の代わりに指令回転数を増加させるような処理を実行してもよい。その場合、ステップS31とステップS32との間に、速度指令を指令回転数に変換するような処理が設けられることになる。

符号の説明

[0214]	1	搬送補助装置
	4	コントローラ
	1 0	ベッド（キャスト付きベッド）
	1 4	キャスト
	1 4 F	前輪
	1 4 B	後輪
	2 1 R	第1メカナムホイール
	2 1 1 R	第1ホイール本体（ホイール本体）
	2 1 2 R	第1樽型ローラ（樽型ローラ）
	2 1 L	第2メカナムホイール
	2 1 1 L	第2ホイール本体（ホイール本体）
	2 1 2 L	第2樽型ローラ（樽型ローラ）
	2 2 R	第1モータ
	2 2 L	第2モータ
	c_y	所定比率
	F	搬送面
	O t	旋回中心
	P c	中央位置
	O y 1	第1回転軸（回転軸）
	O y 2	第2回転軸（回転軸）
	O r	第1傾斜軸（傾斜軸）
	O l	第2傾斜軸（傾斜軸）
	SW 1	第1電流センサ（状態センサ）
	SW 2	第2電流センサ（状態センサ）
	SW 5	6軸センサ（旋回センサ）

請求の範囲

- [請求項1] キャスタ付きベッドの手押移動をアシストするための搬送補助装置において、
- 前記ベッドの下部に取り付けられ、該ベッドの搬送面に接する第1及び第2メカナムホイールと、
- 前記第1及び第2メカナムホイールのそれぞれに駆動連結された第1及び第2モータと、
- 前記第1及び第2メカナムホイールの回転状態に対応した信号を検出する状態センサと、
- 前記搬送面に垂直な回転軸まわりにおける前記ベッドの旋回を検出する旋回センサと、
- 前記第1及び第2モータを制御するコントローラと、を備え、
- 前記コントローラは、前記状態センサ及び前記旋回センサの検出信号に基づいて、前記ベッドが前進又は後退しているか否かの判定と、前記ベッドが旋回しているか否かの判定と、をそれぞれ実行し、
- 前記コントローラは、
- 前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記手押移動を前後方向にアシストするように、前記第1及び第2モータを介して前記第1及び第2メカナムホイールを駆動する一方、
- 前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合には、前記前後方向と、該前後方向に直交しかつ前記搬送面に沿って延びる横方向と、の双方に前記手押移動をアシストするように、前記第1及び第2モータを介して前記第1及び第2メカナムホイールを駆動することを特徴とする搬送補助装置。
- [請求項2] 請求項1に記載された搬送補助装置において、
- 前記状態センサは、前記第1及び第2メカナムホイールそれぞれの

回転に際して前記第 1 及び第 2 モータに流れる誘導電流を検出する第 1 及び第 2 電流センサによって構成され、

前記コントローラは、

前記第 1 及び第 2 電流センサの検出信号に基づいて、前記前後方向における前記第 1 及び第 2 メカナムホイールの加速度を示す縦加速度と、前記横方向における前記第 1 及び第 2 メカナムホイールの加速度を示す横加速度と、をそれぞれ推定し、

前記縦加速度及び前記横加速度の少なくとも一方に基づいて、前記手押移動に追従させるように前記第 1 及び第 2 モータの指令回転数を設定する第 1 制御を実行し、

前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合、

前記前後方向については、前記縦加速度に基づいて前記第 1 制御を実行する一方、

前記横方向については、前記横加速度を、0 を上回る所定比率で減少させるように調整の上、該調整後の横加速度に基づいて前記第 1 制御を実行する

ことを特徴とする搬送補助装置。

[請求項 3] 請求項 2 に記載された搬送補助装置において、

前記所定比率は、前記ベッドの旋回中心を、前記第 1 及び第 2 メカナムホイールの中央位置から前記ベッドの前端側にシフトさせるように設定されている

ことを特徴とする搬送補助装置。

[請求項 4] 請求項 2 に記載された搬送補助装置において、

前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記縦加速度に基づいて前記第 1 制御を実行するとともに、前記指令回転数を増加させる第 2 制御を実行し、

前記コントローラは、前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合には、

前記前後方向については、前記縦加速度に基づいて前記第 1 制御及び前記第 2 制御を順番に実行し、

前記横方向については、前記調整後の横加速度に基づいて前記第 1 制御を実行の上、前記第 2 制御を未実行とすることを特徴とする搬送補助装置。

[請求項5]

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載された搬送補助装置において、

前記第 1 及び第 2 メカナムホイールは、前記横方向に並ぶように配置され、

前記第 1 及び第 2 メカナムホイールは、それぞれ、

前記横方向に延びる回転軸まわりに回転するホイール本体と、

前記ホイール本体の外周に沿って配置され、それぞれ前記前後方向及び前記横方向の双方に対して傾斜した傾斜軸まわりに回転する複数の樽型ローラと、を有し、

前記第 1 メカナムホイールの傾斜軸は、前記第 2 メカナムホイールの傾斜軸に対し、前記前後方向を基準とした線対称となるように傾斜している

ことを特徴とする搬送補助装置。

[請求項6]

請求項 5 に記載された搬送補助装置において、

前記コントローラは、

前記ベッドが前進又は後退中であってかつ非旋回中であると判定した場合には、前記第 1 及び第 2 メカナムホイールを双方とも前転又は後転させるようにそれぞれの指令回転数を設定するとともに、当該設定に際し、前記第 1 メカナムホイールと前記第 2 メカナムホイールとで前記指令回転数の絶対値を等しくし、

前記ベッドが前進又は後退しながら旋回していると判定した場合

には、前記第1メカナムホイールと前記第2メカナムホイールとで異なる絶対値となるように、前記指令回転数を設定することを特徴とする搬送補助装置。