

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] 前記特許文献1に記載されているような構成を用いた場合、シャーシ等の対象物の移動をアシストする際に、その移動に追従させるようにモータの指令回転数を設定することが考えられる。

[0006] しかしながら、単に対象物の移動に追従させるだけでは、いわゆる“アシスト感”に欠けたものとなり、搬送者によるベッドの押し心地も重いものとなる。押し心地を軽くするためには、さらなる工夫が必要となる。

[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、対象物の移動のアシストに際し、対象物の押し心地を軽くすることにある。

課題を解決するための手段

- [0008] 本開示の第1の態様は、外力による対象物の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、前記対象物に取り付けられるホイールと、前記ホイールに駆動連結されたモータと、前記ホイールの回転に際して前記モータに流れる誘導電流を検出する電流センサと、前記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、前記電流センサの検出信号に基づいて、前記対象物の加速度を推定し、前記加速度に基づいて、前記対象物の移動に追従させるように前記モータの指令回転数を設定する第1制御を実行し、前記加速度の絶対値が所定値以上の場合には、前記第1制御で設定された前記指令回転数を増加させる第2制御を実行する。
- [0009] 前記第1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（ホイールを回転させようとするトルク）を推定することができる。このトルクを推定することで、対象物の加速度を推定することができる。この加速度は、操作者が付与した外力に応じて増加するから、加速度の絶対値が所定値以上であるか否かを判定することで、対象物が押されたか否かを判定することができる。
- [0010] そして、第1制御に加えて第2制御を行うことで、単に対象物に追従させるばかりでなく、第2制御を通じて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、対象物の押し心地を軽くし、適度な“アシスト感”を搬送者に与えることができる。
- [0011] さらに、加速度の絶対値が所定以上の場合、つまり対象物が押された場合に第2制御を実行することで、搬送者が対象物を押したタイミングと、対象物の押し心地が軽くなるタイミングとを同期させることができる。これにより、過不足のないアシスト感を搬送者に与えることができる。また、対象物が押されたことを条件に第2制御を実行するように構成することで、押されていないタイミングで第2制御が実行された結果、搬送補助装置が意図せず

して自走するような事態に陥るのを避けることができる。

[0012] また、本開示の第2の態様によれば、前記搬送補助装置は、前記モータの回転数を検出する回転センサを備え、前記コントローラは、前記指令回転数を増加させる場合、前記回転センサによって検出された回転数が大きくなる程、前記指令回転数を大きく増加させる、としてもよい。

[0013] 搬送者が対象物を強く押す程、回転数の検出値はより高くなると考えられる。前記第2の態様によると、搬送者が対象物を強く押す程、より強い推力で対象物の移動がアシストされることになる。これにより、外力の大きさに応じたアシストを実現することができ、対象物の押し心地を軽くする上で有利になる。

[0014] また、本開示の第3の態様によれば、前記コントローラは、前記加速度の絶対値が前記所定値を下まわった場合には、前記第2制御後の指令回転数を低下させる、としてもよい。

[0015] 前記第3の態様によると、搬送者が対象物を弱く押したり、対象物から手を離したりした場合には、より弱い推力で対象物の移動がアシストされることになる。これにより、外力の大きさに応じたアシストを実現することができ、過不足のないアシスト感を搬送者に与えるとともに、搬送補助装置の意図せぬ自走を抑制することができる。

[0016] また、本開示の第4の態様によれば、前記搬送補助装置は、前記モータの回転数を検出する回転センサを備え、前記コントローラは、前記回転センサの検出信号に基づいて、前記回転数が所定以上になったことを条件に、前記ホイールの駆動を許容する、としてもよい。

[0017] 前記第4の態様によると、回転数が所定未満のときには、ホイールの駆動が制限される。これにより、対象物が実際に搬送されているような状況に限り、第1制御及び第2制御を実行させることができるようになる。このことは、搬送補助装置の使い勝手の向上に資する。

[0018] また、本開示の第5の態様によれば、前記搬送補助装置は、前記ホイールの回転数を検出する回転センサと、前記対象物が移動する搬送面の傾斜角を

検出する傾斜センサと、を備え、前記コントローラは、前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記搬送面が坂道であるか否かを判定し、前記コントローラは、前記搬送面が坂道ではないと判定した場合には、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第1制御及び前記第2制御を双方とも実行する一方、前記搬送面が坂道であると判定した場合には、前記回転センサ及び前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記坂道に沿って前記対象物が上っているか否かを判定し、該対象物が上っていると判定したときには、前記電流センサによって得られた前記加速度を増加させた上で、該増加後の加速度に基づいて前記第1制御を実行し、前記第2制御を未実行とする、としてもよい。

[0019] 坂道の登坂時に第2制御を行うと、対象物を押し始めた瞬間こそアシスト感が向上するものの、それ以降の期間（登坂している最中）におけるアシスト感は向上しない。そこで、前記第5の態様によると、坂道を登坂していると判断される場合には、第1制御に際して参照される加速度を増加させた上で、その増加後の加速度に基づいた第1制御を実行する。加速度を増加させることは、対象物に作用する外力を、実際の外力よりも大きく見積もることに等しい。外力を大きく見積もることで、ベッドの移動に追従させる以上の推力を発揮するようなアシストが実現される。この処理は、登坂が継続する限り行われることになるから、坂道の登坂中に、良好なアシスト感を継続的に発揮させることができる。

[0020] また、本開示の第6の態様によれば、前記搬送補助装置は、前記ホイールの回転数を検出する回転センサと、前記対象物が搬送される搬送面の傾斜角を検出する傾斜センサと、を備え、前記コントローラは、前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記搬送面が坂道であるか否かを判定し、前記コントローラは、前記搬送面が坂道ではないと判定した場合には、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第1制御及び前記第2制御を双方とも実行する一方、前記搬送面が坂道であると判定した場合には、前記回転センサ及び前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記坂道に沿って前記

対象物が下っているか否かを判定し、該対象物が下っていると判定したときには、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第 1 制御を実行し、前記第 2 制御を未実行とする、としてもよい。

[0021] 坂道の降坂時に第 2 制御を行うと、対象物が必要以上に加速されてしまい、搬送者の手から対象物が離れてしまう可能性がある。そこで、前記第 6 の態様によると、坂道を降坂していると判断される場合には、加速度を増加させることなく第 1 制御のみを実行し第 2 制御は未実行とする。これにより、坂道の降坂時に適したアシスト感を発揮させることができる。

[0022] また、本開示の第 7 の態様によれば、前記コントローラは、前記第 1 制御に際し、前記指令回転数が所定の閾値未満の場合には、該指令回転数の値を維持し、前記指令回転数が前記閾値以上の場合には、該指令回転数を前記閾値に変更する、としてもよい。

[0023] 前記第 7 の態様によると、指令回転数の値を閾値以下に維持することができる。これにより、搬送補助装置の安全性を、従来よりもさらに高めることができる。

[0024] また、本開示の第 8 の態様によれば、前記対象物は、キャスタ付きベッドであり、前記ホイールは、前記キャスタ付きベッドの下部に取り付けられる、としてもよい。

[0025] 前記第 8 の態様によると、対象物はキャスタ付きベッドとなる。キャスタ付きベッドのような重量物の移動のアシストに際しても、搬送者による押し心地を軽くすることができる。

発明の効果

[0026] 以上説明したように、本開示によれば、対象物の移動のアシストに際し、搬送者による押し心地を軽くすることができる。

図面の簡単な説明

[0027] [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]坂道の登坂／降坂に関する処理を例示するフローチャートである。

[図17]安全制限制御を例示するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本開示の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 搬送補助装置1は、所定の対象物に取り付けられている。この搬送補助装置1は、外力（例えば、搬送者100が付与する外力）による対象物の移動をアシストするための装置である。

[0033] 図1及び図2に示すように、本実施形態に係る対象物は、キャスタ付きベッド（以下、単に「ベッド」という）10である。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、例えば医療ベッドとして用いられるようになっている。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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６０ｋｇ以上３００ｋｇ以下となる。

[0038] 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１１ｈ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１１ｆと、ベッド１０の左右両側に配置されるサイドレール１１ｓと、を有している。

[0039] このうち、ヘッドボード１１ｈ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１１ｈ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１１ｈに取り付けたり、ヘッドボード１１ｈ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１１ｆ、サイドレール１１ｓ等が支持されてもよい。

[0040] 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１２Ｆ、右フレーム１２Ｒ、左フレーム１２Ｌ及び後フレーム１２Ｂによって四辺が構成されている。

[0041] ここで、前フレーム１２Ｆ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１２Ｒ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１２Ｌ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１２Ｂ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。

[0042] 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１４Ｆ及び後輪１４Ｂは、ベッド１０の下面の４隅に配置されている。前輪１４Ｆ及び後輪１４Ｂは、左右方向に沿って２つずつ設けられている。複数のキャスタ１４は、搬送面Ｆに対してフレーム１２、昇降部１３及びベッド本体１１を支持している。

[0043] 各キャスタ１４は、いわゆるフリーキャスタであって、ベッド１０の下面に固定される取付部１４ａと、この取付部１４ａに対して回転軸Ｏｃ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 の回転軸 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。

[0044] 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。

[0045] 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、ホイールとしての第 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、電流センサとしての第 1 及び第 2 電流センサ SW 1, SW 2 と、回転センサとしての第 1 及び第 2 回転センサ SW 3, SW 4 と、傾斜センサとしての 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。

[0046] 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。

[0047] 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 2 1 R と第 2 メカナムホイール 2 1 L の間に配置されている。

- [0048] 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。
- [0049] 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。
- [0050] 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。
- [0051] 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。
- [0052] 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71fに固定された第1ブラケット76Rに係止されている。
- [0053] 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72Lは、第1アーム部材72Rと同様に、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2アーム部材72Lの前端部は、第2メカナムホイール21Lを回転可能に支持している。また、第2アーム部材72Lは、左右方

向において、第2メカナムホイール21L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。

[0054] また、第2アーム部材72Lの上端部には、第2引張バネ75Lの一端部が係止されている。この第2引張バネ75Lの他端部は、前側レール部材71fに固定された第2ブラケット76Lに係止されている（図5も参照）。

[0055] 第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lは、図1～図2に示すように、ベッド10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21R, 21Lは、ベッド10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21R, 21Lは、前輪14Fの後側かつ後輪14B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21R, 21L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。

[0056] 詳しくは、図3～図5に示すように、第1メカナムホイール21Rは、第1回転軸Oy1まわりに回転する第1ホイール本体211Rと、第1ホイール本体211Rの外周に沿って配置され、それぞれ第1回転軸Oy1に対して傾斜した第1傾斜軸Orまわりに回転する複数の第1樽型ローラ212Rと、を有している。

[0057] 一方、第2メカナムホイール21Lは、第2回転軸Oy2まわりに回転する第2ホイール本体211Lと、第2ホイール本体211Lの外周に沿って配置され、それぞれ第2回転軸Oy2に対して第1傾斜軸Orとは異なる方向に傾斜した第2傾斜軸Olまわりに回転する複数の第2樽型ローラ212Lと、を有している。

[0058] ここで、第1及び第2回転軸Oy1, Oy2は、双方とも、左右方向に延びている。そして、第1傾斜軸Orは、第2傾斜軸Olに対し、前後方向を基準（図4の対称軸Os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Orと第2傾斜軸Ol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。

- [0059] 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。
- [0060] 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。
- [0061] 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等に示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。
- [0062] 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。
- [0063] 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。
- [0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] また、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。

[0069] 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。

- [0070] 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。
- [0071] 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。
- [0072] 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。
- [0073] 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。
- [0074] 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。

- [0075] また、図8に示すように、傾斜センサとしての6軸センサSW5は、ベッド10が移動する搬送面Fの傾斜角を検出する。詳しくは、この6軸センサSW5は、少なくとも、左右方向に延びるy軸回りの回転角（いわゆるピッチ角 θ ）の角速度を検出可能に構成されている。
- [0076] さらに詳しくは、本実施形態に係る6軸センサSW5は、ピッチ角 θ 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、z軸まわりの回転角（いわゆるヨー角 ψ ）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。
- [0077] 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。
- [0078] 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～SW5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。
- [0079] 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。
- [0080] 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、2

1 L を前転と後転とに切り替えることができる。

- [0081] 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）。
- [0082] 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。
- [0083] 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は、ベッド10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A₂₂を参照）。
- [0084] 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21R、21Lを双方とも後転させると、第1メカナムホイール21R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21L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10の後方への移動をアシストすることができる。
- [0085] 一方、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、他方を後転させると、搬送補助装置1は、ベッド10に対して左右方向への推力を付与する。
- [0086] 図7の左下に示す例では、第1メカナムホイール21Rを後転させるとともに第2メカナムホイール21Lを前転させることで、ベッド10には、右

方向への推力が付与される。

[0087] また、第1及び第2メカナムホイール21R, 21L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10に対して斜め方向への推力を付与する。

[0088] 図7の右下に示す例では、第2メカナムホイール21Lのみを前転させたことで、右斜め前方へとベッド10を推進させることができる。一方、第1メカナムホイール21Rのみを前転させると、左斜め前方へとベッド10の移動をアシストすることができる（図示省略）。

[0089] そして、搬送補助装置1は、各種センサSW1～SW5の検出信号に基づいて第1及び第2モータ22R, 22L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100によるベッド10の搬送をアシストするように構成されている。

[0090] 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SW1～SW5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。

[0091] 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。

[0092] 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。

[0093] 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。

- [0094] 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。
- [0095] また、図16は、坂道の登坂／降坂に関する処理を例示するフローチャートである。図17は、安全制限制御を例示するフローチャートである。
- [0096] 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。
- [0097] 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21R、21Lそれぞれの加速度を個別に推定する。
- [0098] 以下、第1メカナムホイール21Rの加速度を「第1加速度」と呼称し、第2メカナムホイール21L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。
- [0099] 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21R、21L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21Rに作用した第1トルクと、第2メカナムホイール21L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。
- [0100] 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22R、22Lを駆動することで、ベッド10の移動をアシストする。

[0101] 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。

$$[0102] \quad a_r = (-1) \cdot T_r / (R \cdot m) \quad \cdots (1)$$

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

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。

[0103] その他、 R [m] は第1及び第2メカナムホイール21R、21L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21R、21L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。

[0104] 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。

[0105] 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。

[0106] 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。

$$[0107] \quad a_x = (a_r + a_l) / 2 \quad \dots (3)$$

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

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。

[0108] なお、式 (3) 及び (4) の如き関係式は、第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L 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 2 1 R, 2 1 L それぞれの回転数) についても成立する。

[0109] ここで、 r_r [rpm] を前後方向における第 1 モータ 2 2 R 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 2 2 L 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 SW 3 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 SW 4 によって検出される回転数である。

[0110] そして、 r_x [rpm] を前後方向における第 1 及び第 2 モータ 2 2 R, 2 2 L 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 2 2 R, 2 2 L 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 2 1 R, 2 1 L を構成及び配置した場合、下式 (5) 及び (6) が成立する。

$$[0111] \quad r_x = (r_r + r_l) / 2 \quad \dots (5)$$

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

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。

$$[0112] \quad r_r = r_x + r_y \quad \cdots (7)$$

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

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。

[0113] 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。

$$[0114] \quad v_x = (v_r + v_l) / 2 \quad \cdots (9)$$

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

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。

$$[0115] \quad v_r = v_x + v_y \quad \cdots (11)$$

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

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。

[0116] 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。

[0117] 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。

$$[0118] \quad r_x \geq T1 \quad \dots (13)$$

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

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。

[0119] 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。

[0120] 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。

[0121] 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S 6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2 2 R, 2 2 L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。

[0122] 図10のステップS 11～S 16は、それぞれ、図9のステップS 6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 6に進むと、コントローラ4は、図10のステップS 11を開始する。

[0123] このステップS 11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。

[0124] さらに詳しくは、ステップS 11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。

[0125] $|a_y| < T2 \quad \dots (15)$

上式（15）において、 $T2 [m/s^2]$ 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。

[0126] 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S 12に進める（ステップS 11：NO）。ステップS 12に進んだ場合の処理の詳細は、後述する。

[0127] 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S 13に進める（ステップS 11：YES）。

[0128] 続くステップS 13及びステップS 14において、コントローラ4は、傾斜センサとしての6軸センサSW5の検出信号に基づいて、搬送面Fが坂道であるか否かを判定する。

- [0129] 具体的に、ステップS 1 3において、コントローラ4は、6軸センサSW 5の検出信号に基づいて、搬送面Fの傾斜角（路面勾配） θ_s を演算する。この演算は、例えば図8に示したy軸まわりの角加速度に基づいて行うことができる。
- [0130] 続いて、ステップS 1 4において、コントローラ4は、以下の関係式（1 6）が満足されているか否かを判定する。
- [0131] $|\theta_s| \geq T_3 \quad \dots (16)$
- 式（1 6）において、 T_3 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。
- [0132] ここで、上式（1 6）が満足されていない場合、コントローラ4は、搬送面Fが平坦な非坂道であると判定し、制御プロセスをステップS 1 5に進める。
- [0133] ステップS 1 5に進んだ場合とは、ベッド1 0が前進又は後退中であってかつ非登坂又は非降坂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、ベッド1 0の手押移動を前後方向にアシストすべく、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SW 1, SW 2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。
- [0134] 一方、上式（1 6）が満足されている場合、コントローラ4は、搬送面Fが坂道であると判定し、制御プロセスをステップS 1 6に進める。
- [0135] ステップS 1 6に進んだ場合とは、ベッド1 0が前進又は後退中であってかつ登坂又は降坂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、ベッド1 0の手押移動を前後方向にアシストするための制御であって、特に、坂道の登坂又は降坂に最適化された制御を実行する。
- [0136] 以下、ステップS 1 2及びステップS 1 5で行われる処理と、ステップS 1 6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。

[0137] 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、対象物としてのベッド10の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。

[0138] 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。

[0139] 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 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。

[0140] 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。

[0141] 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。

- [0142] 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。
- [0143] まず、制御プロセスがステップS12又はステップS15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～S37は、それぞれ、図10のステップS12又はS15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S15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。
- [0144] 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。
- [0145] 一方、ステップS15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。すなわち、図15のステップS31における「 a_x/a_y 」とは、「 a_y による a_x の除算値」ではなく、「 a_x と a_y のいずれか一方」を意味している。
- [0146] 以下、ステップS15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S31がコンプライアンス制御に関係し、ステップS32～ステップS34が速度増加制御に関係している。
- [0147] まず、ステップS31において、コントローラ4は、図11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SW1、SW2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。
- [0148] 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11h）と、第1及び第2メカナムホイール21R、21L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21R、21L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。

[0149] 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21R、21L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。

[0150] 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21R、21L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。

[0151] こうした遅れ、ずれ等の影響をモデル化したものが、図11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。

[0152] 図11においては、まず、縦加速度 a_x の実測値が、減算器P2を通過した後、第1ブロックB1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B1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。

- [0153] 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。
- [0154] 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。
- [0155] 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。
- [0156] 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。
- [0157] 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 SW 1, SW 2 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。
- [0158] 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 SW 1, SW 2 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。

[0159] 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。

[0160] 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。

[0161] 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。

[0162] また、ステップS 1 2 から図 1 5 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_{ff} を設定する。つまり、コントローラ 4 は、図 1 0 のステップS 1 1 で判定された移動方向に基づいて、速度増加量 v_{ff} の設定を行うようになっている。

[0163] 続くステップS 3 3 において、コントローラ 4 は、以下の関係式 (1 7) が満足されているか否かを判定する。ステップS 3 3 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 1 0 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）。

[0164] $|a_x| \geq T4 \quad \dots (17)$

上式 (1 7) 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。

[0165] なお、ステップS 1 2 から図 1 5 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 1 0 のステップS 1 1 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。

[0166] ここで、上式 (1 7) 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 1 0 が押されていると判定し、制御プロセスをステップS 3 4 に進める（ステップS 3 3 : YES）。

[0167] ステップS 3 4 において、コントローラ 4 は、ステップS 3 1 で算出した速度指令（縦速度指令 V_x ）に速度増加量 v_{ff} 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S 3 6）。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。

。

- [0168] 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。
- [0169] 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)。
- [0170] 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。
- [0171] 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。
- [0172] 例えば、 n 回目のループでステップS33からステップS34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S33からステップS35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S33からステップS35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S31で算出された値に向かって低下することになる。
- [0173] 図14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14における丸印は、それぞれ、ベッド10が押されたと判定されたタイミング（ステップS33の判定がYESとなったタイミング）を示している。

[0174] 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10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。

[0175] 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10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10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）。

[0176] さらに詳細には、図14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12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S33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10が相対的に強く押されたとき（ステップS33の判定がYES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10が相対的に弱く押されたとき（ステップS33の判定がYES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10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。

[0177] 一方、図14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の期間（破線が低下に転じてから、ゼロに至るまでの期間）は、図12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S33の判定はYESにならない

ため、速度増加量 v_{of} 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。

[0178] 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。

[0179] 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。

[0180] 続いて、図 1 0 においてステップ S 1 6 に進んだ場合について説明する。
この場合、図 1 6 のステップ S 4 1 ～ステップ S 4 4 が順番に行われるようになっている。

[0181] まずステップ S 4 1 において、コントローラ 4 は、第 1 及び第 2 回転センサ SW 3, SW 4 並びに 6 軸センサ SW 5 の検出信号に基づいて、坂道に沿ってベッド 1 0 が上っているか否か、つまりベッド 1 0 が登坂中か否かを判定する。

[0182] ステップ S 4 1 の判定は、前方に向かって路面勾配 θ_s が増加していてかつ移動方向が前方（縦回転数 r_x 若しくは縦速度 $v_x > 0$ ）であるとき、又は、前方に向かって路面勾配 θ_s が減少していてかつ移動方向が後方（縦回転数 r_x 若しくは縦速度 $v_x < 0$ ）であるときに YES となる。

[0183] 一方、ステップ S 4 1 の判定は、前方に向かって路面勾配 θ_s が増加していてかつ移動方向が後方であるとき、又は、前方に向かって路面勾配 θ_s が減少していてかつ移動方向が前方であるときに NO となる。

[0184] なお、ステップ S 4 1 の判定において参照される路面勾配 θ_s は、前記ステップ S 1 3 で演算した値を用いることができる。

[0185] そして、コントローラ 4 は、坂道に沿ってベッド 1 0 が上っていると判定

したとき（ステップS 4 1 : Y E S）、第 1 及び第 2 電流センサ S W 1, S W 2 によって得られた縦加速度 a_x を増加させた上で、該増加後の縦加速度 a_x' に基づいて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する。

- [0186] 具体的に、ステップS 4 1 の判定がY E S のときに続くステップS 4 2 において、コントローラ 4 は、第 1 及び第 2 電流センサ S W 1, S W 2 によって得られた縦加速度 a_x を増加させる。その際の増加量 Δa_x は、例えば、路面勾配 θ_s が大きくなる程、大きくなるように設定してもよい。
- [0187] そして、ステップS 4 2 から続くステップS 4 3 において、コントローラ 4 は、増加後の縦加速度 a_x' に基づいて、前後方向におけるコンプライアンス制御を実行する。ステップS 4 3 の詳細は、増加後の縦加速度 a_x' を用いるか否かという点を除き、前後方向に関するステップS 3 1 の内容と同じである。
- [0188] 一方、コントローラ 4 は、坂道に沿ってベッド 1 0 が下っていると判定したとき（ステップS 4 1 : N O）、第 1 及び第 2 電流センサ S W 1, S W 2 によって得られた縦加速度 a_x を増加させることなく、その縦加速度 a_x に基づいて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する。
- [0189] 具体的に、ステップS 4 1 の判定がN O のときに続くステップS 4 5 において、コントローラ 4 は、第 1 及び第 2 電流センサ S W 1, S W 2 によって得られた縦加速度 a_x に対する増加量をゼロに設定し、縦加速度 a_x の値を維持する。
- [0190] そして、ステップS 4 5 から続くステップS 4 3 において、コントローラ 4 は、非増加後の縦加速度 a_x' ($= a_x$) に基づいて、前後方向におけるコンプライアンス制御を実行する。ステップS 4 3 の詳細は、前述のステップS 3 1 の内容と同じである。
- [0191] その後、ステップS 4 3 から続くステップS 4 4 において、コントローラ 4 は、前述のステップS 3 6 と同様に、前後方向における最終的なアシスト速度を決定する。

- [0192] なお、坂道の登坂時には、図16のステップS41及びステップS42に示すように、登坂状態が続く限り、縦加速度 a_x が増加し続けることになる。一方、図14を用いて説明したように、速度増加制御におけるアシスト回転数の立ち上がりは、縦加速度 a_x が所定値以上となったタイミング、つまり、ベッド10に外力が作用したタイミングと略同期する。
- [0193] ゆえに、登坂に係る処理を言い換えると、本実施形態に係るコントローラ4は、平地走行状態か登坂状態かを判定し、その判定結果に基づいて、平地走行時には外力が作用したタイミングと同期するように断続的にモータ（第1及び第2モータ22R、22L）の指令回転数を上昇させ、登坂時には、登坂状態が続く限り、指令回転数の上昇を維持するようになっている。
- [0194] 図10のステップS12、ステップS15及びステップS16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S7に進む。このステップS7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（18）及び（19）を通じて第1指令回転数 R_r と第2指令回転数 R_l に変換する。
- [0195]
$$R_r = 60 * (V_x + V_y) / (2\pi \cdot R) \quad \dots (18)$$
$$R_l = 60 * (V_x - V_y) / (2\pi \cdot R) \quad \dots (19)$$
上式（18）及び（19）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 $V_y \neq 0$ となる。
- [0196] 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S15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（ $R_r = R_l$ ）。
- [0197] 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

タ 1 4 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。

[0198] また、コントローラ 4 は、ベッド 1 0 の移動方向が左右方向であると判定した場合（ステップ S 1 2 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 2 1 R, 2 1 L 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 2 1 R と第 2 メカナムホイール 2 1 L とで指令回転数の絶対値を等しくする ($R_r = -R_l$)。

[0199] 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 1 4 の向きに関わらず、左右方向に沿った移動を安定させることができる。

[0200] その後、ステップ S 7 から続くステップ S 8 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 1 7 のステップ S 5 1 及びステップ S 5 2 に示す通りである。

[0201] まず、ステップ S 5 1 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。

[0202] ステップ S 5 1 の判定が Y E S の場合、コントローラ 4 は、制御プロセスをステップ S 5 2 に進める。このステップ S 5 2 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。

[0203] 一方、ステップ S 5 1 の判定が N O の場合、コントローラ 4 は、ステップ S 5 2 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。

[0204] 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。

[0205] 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。これにより移動方向に沿ったアシストが実現される。

[0206] 以上説明したように、本実施形態によれば、第1及び第2電流センサSW1、SW2によって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(ホイールを回転させようとするトルク)を推定することができる。これにより、図9のステップS3に例示したように、ベッド10の加速度 a_x 、 a_y を推定することができる。各加速度 a_x 、 a_y は、搬送者100が付与した外力に応じて増加する。したがって、図15のステップS33に示したように、各加速度 a_x 、 a_y が所定値以上であるか否かを判定することで、ベッド10が押されたか否かを判定することができる。

[0207] また、図15に示したように、第1制御としてのコンプライアンス制御に加えて、第2制御としての速度増加制御を行うことで、単にベッド10に追従させるばかりでなく、速度増加制御を通じて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、ベッド10の押し心地を軽くし、適度な“アシスト感”を搬送者100に与えることができる。

[0208] さらに、図15のステップS33に示したように、加速度 a_x 、 a_y が第4閾値以上の場合、つまりベッド10が押された場合に速度増加制御を実行することで、搬送者100がベッド10を押したタイミングと、ベッド10の

押し心地が軽くなるタイミングとを同期させることができる。これにより、過不足のないアシスト感を搬送者100に与えることができる。また、ベッド10が押されたことを条件に速度増加制御を実行するように構成することで、押されていないタイミングで速度増加制御が実行された結果、搬送補助装置1が意図せずして自走するような事態に陥るのを避けることができる。

[0209] また、搬送者100がベッド10を強く押す程、第1及び第2回転センサSW3, SW4の検出値はより高くなると考えられる。本実施形態では、図13及び図15のステップS32～ステップS34に示したように、回転数の検出値が高くなる程、より強い推力でベッド10の移動がアシストされるようになっている。これにより、外力の大きさに応じたアシストを実現することができ、ベッド10の押し心地を軽くする上で有利になる。

[0210] また、図15のステップS35の処理を実装したことで、搬送者100がベッド10を弱く押したり、ベッド10から手を離したりした場合には、より弱い推力でベッド10の移動がアシストされることになる。これにより、外力の大きさに応じたアシストを実現することができ、過不足のないアシスト感を搬送者に与えると同時に、搬送補助装置1の意図せぬ自走を抑制することができる。

[0211] また、図9のステップS4及びステップS5に示したように、回転数が第1閾値T1未満のときには、ホイールとしての第1及び第2メカナムホイール21R, 21Lの駆動が制限される。これにより、ベッド10が実際に搬送されているような状況に限り、コンプライアンス制御及び速度増加制御を実行させることができるようになる。このことは、搬送補助装置1の使い勝手の向上に資する。

[0212] また、坂道の登坂時に速度増加制御を行うと、ベッド1を押し始めた瞬間こそアシスト感が向上するものの、それ以降の期間（登坂している最中）におけるアシスト感は向上しない。そこで、図16のステップS41～ステップS44に示したように、坂道を登坂していると判断される場合には、コンプライアンス制御に際して参照される縦加速度 a_x を増加させた上で、増加後

の縦加速度 a_x' に基づいたコンプライアンス制御が実行される。縦加速度 a_x を増加させることは、ベッド 10 に作用する外力を、実際の外力よりも大きく見積もることに等しい。外力を大きく見積もることで、ベッド 10 の移動に追従させる以上の推力を発揮するようなアシストが実現される。この処理は登坂が継続する限り行われることになるから、坂道の登坂中に、良好なアシスト感を継続的に発揮させることができる。

[0213] また、坂道の降坂時に速度増加制御を行うと、ベッド 10 が必要以上に加速されてしまい、搬送者 100 の手からベッド 10 が離れてしまう可能性がある。そこで、図 16 のステップ S41～ステップ S45 に示したように、縦加速度 a_x を増加させることなくコンプライアンス制御のみを実行し、速度増加制御は未実行とする。これにより、坂道の降坂時に適したアシスト感を発揮させることができる。

[0214] また、図 17 に示した安全制限制御を実装したことで、指令回転数の値を第 5 閾値 T_5 以下に維持することができる。これにより、搬送補助装置 1 の安全性を、従来よりもさらに高めることができる。

[0215] また、本実施形態に係る搬送補助装置 1 は、図 1 及び図 2 に例示したキャスタ付きベッド 10 のような重量物の移動のアシストに際しても、搬送者 100 による押し心地を軽くすることができる。

[0216] <他の実施形態>

前記実施形態では、ホイールに第 1 及び第 2 メカナムホイール 21R, 21L を用いた構成が開示されていたが、そうした構成は必須ではない。本開示は、メカナムホイール以外のホイール、例えばオムニホイールに適用することもできる。ホイールの個数についても、2 つには限定されない。例えば、本実施形態と同様にメカナムホイールを用いた場合は、その個数を 4 つにしてもよいし、オムニホイールを用いた場合は、その個数を 3 つ又は 4 つにしてもよい。また、ホイールの個数に応じて、モータの個数を変更してもよい。

[0217] 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。

[0218] 例えば、ステップS 3 2～S 3 4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S 3 1とステップS 3 2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

- [0219] 1 搬送補助装置
- 4 コントローラ
- 1 0 ベッド (対象物, キャスタ付きベッド)
- 1 4 キャスタ
- 1 4 F 前輪
- 1 4 B 後輪
- 2 1 R 第1メカナムホイール (ホイール)
- 2 1 1 R 第1ホイール本体
- 2 1 2 R 第1樽型ローラ
- 2 1 L 第2メカナムホイール (ホイール)
- 2 1 1 L 第2ホイール本体
- 2 1 2 L 第2樽型ローラ
- 2 2 R 第1モータ (モータ)
- 2 2 L 第2モータ (モータ)
- SW 1 第1電流センサ (電流センサ)
- SW 2 第2電流センサ (電流センサ)
- SW 3 第1回転センサ (回転センサ)
- SW 4 第2回転センサ (回転センサ)
- SW 5 6軸センサ (傾斜センサ)

請求の範囲

- [請求項1] 外力による対象物の移動をアシストするための搬送補助装置において、
- 前記対象物に取り付けられるホイールと、
- 前記ホイールに駆動連結されたモータと、
- 前記ホイールの回転に際して前記モータに流れる誘導電流を検出する電流センサと、
- 前記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、
- 前記電流センサの検出信号に基づいて、前記対象物の加速度を推定し、
- 前記加速度に基づいて、前記対象物の移動に追従させるように前記モータの指令回転数を設定する第1制御を実行し、
- 前記加速度の絶対値が所定値以上の場合には、前記第1制御で設定された前記指令回転数を増加させる第2制御を実行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、
- 前記ホイールの回転数を検出する回転センサを備え、
- 前記コントローラは、前記指令回転数を増加させる場合、前記回転センサによって検出された回転数が大きくなる程、前記指令回転数を大きく増加させる
- ことを特徴とする搬送補助装置。
- [請求項3] 請求項1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、前記加速度の絶対値が前記所定値を下まわった場合には、前記第2制御後の指令回転数を低下させる
- ことを特徴とする搬送補助装置。
- [請求項4] 請求項1に記載された搬送補助装置において、
- 前記モータの回転数を検出する回転センサを備え、

前記コントローラは、前記回転センサの検出信号に基づいて、前記回転数が所定以上になったことを条件に、前記ホイールの駆動を許容する

ことを特徴とする搬送補助装置。

[請求項5]

請求項1に記載された搬送補助装置において、

前記モータの回転数を検出する回転センサと、

前記対象物が移動する搬送面の傾斜角を検出する傾斜センサと、を備え、

前記コントローラは、前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記搬送面が坂道であるか否かを判定し、

前記コントローラは、

前記搬送面が坂道ではないと判定した場合には、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第1制御及び前記第2制御を双方とも実行する一方、

前記搬送面が坂道であると判定した場合には、前記回転センサ及び前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記坂道に沿って前記対象物が上っているか否かを判定し、該対象物が上っていると判定したときには、前記電流センサによって得られた前記加速度を増加させた上で、該増加後の加速度に基づいて前記第1制御を実行し、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6]

請求項1に記載された搬送補助装置において、

前記ホイールの回転数を検出する回転センサと、

前記対象物が搬送される搬送面の傾斜角を検出する傾斜センサと、を備え、

前記コントローラは、前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記搬送面が坂道であるか否かを判定し、

前記コントローラは、

前記搬送面が坂道ではないと判定した場合には、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第1制御及び前記第2制御を双方とも実行する一方、

前記搬送面が坂道であると判定した場合には、前記回転センサ及び前記傾斜センサの検出信号に基づいて、前記坂道に沿って前記対象物が下っているか否かを判定し、該対象物が下っていると判定したときには、前記電流センサによって得られた前記加速度に基づいて前記第1制御を実行し、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7]

請求項1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、前記第2制御後に、

前記指令回転数が所定の閾値未満の場合には、該指令回転数の値を維持し、

前記指令回転数が前記閾値以上の場合には、該指令回転数を前記閾値に変更する

ことを特徴とする搬送補助装置。

[請求項8]

請求項1から7のいずれか1項に記載された搬送補助装置において、

前記対象物は、キャスタ付きベッドであり、

前記ホイールは、前記キャスタ付きベッドの下部に取り付けられることを特徴とする搬送補助装置。