

明 細 書

発明の名称：電動アクチュエーター、電動モビリティ

技術分野

[0001] 本発明は、電動アクチュエーター並びに電動アクチュエーターを備えた電動モビリティに関する。

背景技術

[0002] モーターなどの電動アクチュエーターを駆動源とする産業機械や電動ビークルなど広く用いられている。社会の省エネルギー化を実現するためには駆動源の省電力が強く求められている。関連する技術として、例えば、特許文献1がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2017-139839号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載の電気自動車は、慣性走行時や制動時にモータージェネレーターによる回生発電が行われるのみであり、改善の余地がある。

[0005] 本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、省電力性が改善された電動アクチュエーターを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様によれば、所望の周波数で正転と逆転を繰り返す電動機と、前記電動機の出力する正逆回転運動を一方向回転運動に変換する運動変換器と、を具備する電動アクチュエーターが提供される。

発明の効果

[0007] 本発明の一実施形態によれば、省電力性が改善された電動アクチュエーターを提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本発明の第1実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。
- [図2]本発明の第1実施形態に係る電動アクチュエーターの概略構造を示した平面図である。
- [図3]本発明の第1実施形態の連接棒の側面図である。
- [図4]本発明の第1実施形態のクランクシャフトの側面図である。
- [図5]本発明の第1実施形態に係る電動アクチュエーターの給電システム（電気駆動システム）の概略構成を示したブロック図である。
- [図6]第1実施形態の電気駆動システムの回路構成を示す図である。
- [図7]（a）は本発明の第1実施形態のモーターの1サイクルの駆動波形であり、（b）は、モーターの1サイクルのうちの前半におけるモーターの回転数〔rpm〕を表したグラフであり、（c）は、モーターの1サイクルのうちの後半におけるモーターの回転数を表したグラフであり、（d）は、モーターの1サイクルのうちの前半におけるモーターのトルク〔Nm〕を表したグラフであり、（e）は、モーターの1サイクルのうちの後半におけるモーターのトルクを表したグラフである。
- [図8]本発明の第1実施形態と従来のモーターの動作を対比する図である。
- [図9]本発明の第2実施形態に係る電動アクチュエーターの制御上の工夫について説明する図である。
- [図10]本発明の第3実施形態に係る電動アクチュエーターの制御上の工夫について説明する図である。
- [図11]本発明の第4実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。
- [図12]第4実施形態に係る電動アクチュエーターの側面図である。
- [図13]第4実施形態に係る電動アクチュエーターの平面図である。
- [図14]第4実施形態に係る電動アクチュエーターの正面図である。
- [図15]第4実施形態に係る電動アクチュエーターのクランクシャフトの構成図である。
- [図16]第4実施形態に係る電動アクチュエーターの給電システム（電気駆動

システム)の概略構成を示したブロック図である。

[図17]本発明の第5実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。

[図18]本発明の第5実施形態に係る電動アクチュエーターの平面図である。

[図19]本発明の第6実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。

[図20]本発明の第7実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。

[図21]第7実施形態の歯車装置の機構を示した図である。

[図22]本発明の第8実施形態に係る電動アクチュエーターの斜視図である。

[図23]第8実施形態に係る電動アクチュエーターの給電システム(電気駆動システム)の概略構成を示したブロック図である。

[図24]本発明の第9実施形態に係る電気自動車の動力系の概略構成を示した図である。

[図25]本発明の第10実施形態に係る鉄道車両の駆動機構の概略構成を示した図である。

[図26]第10実施形態に係る鉄道車両の給電システム(電気駆動システム)の概略構成を示したブロック図である。

[図27]本発明の第11実施形態に係るタイヤ試験装置の外観図である。

[図28]第11実施形態に係るタイヤ試験装置の外観図である。

[図29]第11実施形態のトルク発生装置の内部構造を示した図である。

[図30]第11実施形態の給電システムの概略構成を示すブロック図である。

[図31]本発明の第12実施形態に係るユニフォーミティ及び動釣合複合試験装置の基本構成を示す側面図である。

[図32]第12実施形態においてスピンドルを回転駆動する方法を模式的に示したものである。

[図33]本発明の第13実施形態に係るバランス測定装置の測定部の正面図である。

[図34]第13実施形態に係るバランス測定装置の測定部の側面図である。

[図35]本発明の第14実施形態に係る衝突模擬試験装置の斜視図である。

[図36]第14実施形態に係る衝突模擬試験装置の試験部及びベルト機構の構

造を示す斜視図である。

[図37]電動アクチュエーターの給電システムの概略構成の変形例を示したブロック図である。

[図38]電動アクチュエーターの給電システムの概略構成の別の変形例を示したブロック図である。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明者は、電動機を高い繰り返し周波数で反転駆動させることによって回生電力の利用効率を高められることを発見した。高い繰り返し周波数は、例えば10Hz以上であるか、あくまで例であり、10Hz以上には限らない。

[0010] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明において、同一の又は対応する事項には、同一の又は対応する符号を付して、重複する説明を省略する。また、各図において、符号が共通する事項が複数表示される場合は、必ずしもそれらの複数の表示の全てに符号を付さず、それらの複数の表示の一部について符号の付与を適宜省略する。

[0011] <第1実施形態>

図1及び図2は、それぞれ本発明の第1実施形態に係る電動アクチュエーター100の斜視図及び平面図である。なお、図2において、後述するピストン50の一部を断面図で示している。

[0012] 図1に示すように、電動アクチュエーター100は、駆動ユニット100d及びクランクシャフト70を備える。なお、電動アクチュエーター100には、さらに、図5及び図6において後述するサーボアンプ95（駆動装置）と制御装置96が含まれてもよい。

[0013] 本明細書において、電動アクチュエーターという用語は、モーターとモーターによって駆動される機構のみを意味してもよく、モーターと機構の集合（機構部と記す。）にモーターを駆動する駆動装置を加えたものを意味してもよく、さらに、駆動装置を制御する制御装置までを含めたものを意味してもよい。また、電動アクチュエーターに駆動装置や制御装置が含まれる場合

、駆動装置や制御装置は、機構部と同一の筐体内に設けられてもよく、機構部とは別体の装置として構成されケーブル等で機構部と接続されてもよい。

[0014] 駆動ユニット100dは、モーター10（電動機）、軸受30、ボールねじ40（送りねじ機構）、直動部50（以下「ピストン50」という。）及び接続棒60を備える。

[0015] モーター10は、例えば、超低慣性高出力型のACサーボモーターである。このような超低慣性かつ高出力のモーター10を使用することにより、例えば100Hz以上の高い周波数での往復反転駆動が可能になっている。

[0016] ボールねじ40のねじ軸41は、フレーム（不図示）に固定される軸受30により回転可能に支持される。ねじ軸41は、軸継手20によってモーター10の軸11と連結される。

[0017] ピストン50は、軸線A×1方向に延びる中空部50aが形成された筒状の部材である。なお、軸線A×1は、駆動ユニット100dの中心線であり、モーター10及びボールねじ40の回転軸と共通する直線である。ボールねじ40のナット42は、例えばピストン50の中空部50aの一端部（図2における左端部）に収容され、ピストン50に固定される。

[0018] ピストン50の他端部（図2における右端部）には、ピストン50の軸線と垂直に（言い換えれば、クランクシャフト70と平行に）ピン52が取り付けられる。

[0019] 図3は、接続棒60の側面図である。接続棒60は、小径のピン穴62aが形成された小端部62と、大径のピン穴64aが形成された大端部64と、小端部62と大端部64をつなぐロッド部66を有する。ピン穴62a及び64aは、互いに平行に形成されている。

[0020] 小端部62のピン穴62aには、例えばブッシュ（不図示）を介して、ピン52が挿入される。また、ピン52の両端部は、ピストン50の他端部に形成された一对のピン穴50b（図2）に差し込まれ、ピストン50に固定される。これにより、接続棒60は、小端部62において、ピン52を介して、ピストン50の他端部に、ピン52を旋回中心軸として一定の角度範囲

で旋回可能に連結される。なお、連接棒60は、ピン52（第1のピン）に加えて、後述するクランクピン72（第2のピン）にも回転可能に連結される。

[0021] 図4は、クランクシャフト70の側面図である。クランクシャフト70は、一对の同軸に（すなわち、回転軸又は中心線が一致するように）配置されたクランクジャーナル71と、クランクジャーナル71の軸線（すなわち、クランクシャフト70の回転軸である軸線A×2）に対して偏心して配置されたクランクピン72と、クランクジャーナル71とクランクピン72とを連結する一对のクランクアーム73と、軸線A×2に対して各クランクアーム73の反対側に設けられた一对のバランスウェイト74と、クランクジャーナル71の一つと同軸に結合した出力軸75を有する。バランスウェイト74は、軸線A×2に対して偏心したクランクピン72及びクランクアーム73によって生じる不釣り合いを打ち消すように形成されている。

[0022] クランクシャフト70は、一对のクランクジャーナル71において、フレーム（不図示）に固定される不図示の一对の軸受（例えば転がり軸受）によって回転可能に支持される回転体である。

[0023] クランクピン72は、クランクシャフト70の回転軸に対して偏心した偏心ピンであり、連接棒60の大端部64のピン穴64aに、例えばブッシュ（不図示）を介して挿入される。これにより、クランクシャフト70は、連接棒60と回転可能に連結される。

[0024] なお、連接棒60のピン穴62a及び64aと嵌合するブッシュには例えば無給油ブッシュが使用される。また、ブッシュに替えて、例えば転がり軸受等の別の種類の軸受を使用してもよい。

[0025] モーター10は、軸11が所定の角度範囲で繰り返し往復回転するように駆動される。つまり、モーター10は、所定の周波数で正転と逆転を繰り返す。モーター10の回転（より具体的には、往復回転運動、つまり、正逆回転運動）は、ボールねじ40によって直線運動に変換されて、ピストン50に伝達される。その結果、ピストン50は、ボールねじ40のナット42と

共に、所定のストロークで軸線A×1上を往復直線運動する。すなわち、ボールねじ40は、モーター10の往復回転運動（正逆回転運動）を往復直線運動に変換する第1の運動変換器として機能する。ピストン50の軸線A×1方向の往復直線運動は、連接棒60によってクランクシャフト70の偏心したクランクピン72に伝達され、クランクシャフト70の回転運動に変換される。すなわち、連接棒60とクランクシャフト70（並びに、連接棒60を旋回可能に支持するピン52及びクランクシャフト70を回転可能に支持する不図示の軸受）により、往復運動（往復直線運動）を一方向の回転運動（以下「一方向回転運動」という。）に変換する第2の運動変換器としてのクランク機構（より具体的には、スライダクランク機構）が構成される。

[0026] 図5は、モーター10に駆動電力を供給する給電システム90S（電気駆動システム90）の概略構成を示したブロック図である。図6は、電気駆動システム90の回路構成を示す図である。なお、給電システム90Sは、モーター10と共に電気駆動システム90を構成する。

[0027] 一次電源91は、商用電源又は電源装置であり、例えば三相交流の電力を供給する。一次電源91から供給される電力（以下「系統電力」という。）は、回路遮断器92、電磁開閉器93及びリアクトル94を介して、サーボアンプ95（駆動装置）に供給される。サーボアンプ95は、一次電源91から供給される交流をモーター10の駆動電力に変換するインバーター装置であり、一次電源91から供給される電力をモーター10に供給する。サーボアンプ95の出力端子にはモーター10が接続され、サーボアンプ95からモーター10に駆動電力が供給される。サーボアンプ95は、制御装置96と通信可能に接続され、制御装置96の制御に従って動作する。

[0028] サーボアンプ95は、電源回生コンバーター95a、インバーター95b及びキャパシター95cを備える。電源回生コンバーター95aは、電源回生に適したコンバーターであり、例えばPWM（Pulse Width Modulation）制御により電源側電流を正弦波化するPWMコンバーターである。なお、電源回生コンバーター95aは、120°通電方式により電力変換を行うもの

でもよい。また、インバーター 95 b は、例えば PWM 制御により出力する電力を制御する PWM インバーターである。また、本実施形態の電源回生コンバーター 95 a は、力行動作（すなわち、サーボアンプ 95 から供給される電力によってモーター 10 を駆動する動作モード）時に一次電源 91 から供給される交流を整流する機能と、回生動作時に一次電源 91 に帰還させる系統電力と同等の品質の交流を生成する機能を兼ね備えるが、力行動作専用のコンバーターと電源回生専用のコンバーターを個別に設けてもよい。

[0029] 電源回生コンバーター 95 a は、スイッチング素子 SW1 ～ SW14 と、キャパシター（もしくはコンデンサ）C と、トランス Tr とを備える。インバーター 95 b は、スイッチング素子 SW15 ～ SW20 を備える。なお、スイッチング素子 SW1 ～ SW20 は、例えば、IGBT（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）とする。

[0030] 一次電源 91（例えば単相三線式商用電源または三相三線式商用電源）から供給される電力がモーター 10 に供給される場合、制御装置 96 によりスイッチング素子 SW1 ～ SW6 が一次電源 91 から供給される交流電力の周波数に応じて繰り返しオン、オフされることで一次電源 91 から供給される交流電力が整流される。

[0031] また、一次電源 91 から供給される電力がモーター 10 に供給される場合、スイッチング素子 SW1 ～ SW6 により整流された電力がキャパシター C により平滑される。

[0032] また、一次電源 91 から供給される電力がモーター 10 に供給される場合、制御装置 96 によりスイッチング素子 SW7、SW10 とスイッチング素子 SW8、SW9 とが交互に繰り返しオン、オフされることでキャパシター C により平滑された電力がトランス Tr の一次コイル L1 から二次コイル L2 に伝わる。

[0033] また、一次電源 91 から供給される電力がモーター 10 に供給される場合、制御装置 96 によりスイッチング素子 SW11、SW14 とスイッチング素子 SW12、SW13 とが交互に繰り返しオン、オフされることで一次コ

イルL 1 から二次コイルL 2 に伝わった電力が整流される。

[0034] また、一次電源 9 1 から供給される電力がモーター 1 0 に供給される場合、スイッチング素子 SW 1 1 ～ SW 1 4 により整流された電力はキャパシター 9 5 c により平滑される。

[0035] また、一次電源 9 1 から供給される電力がモーター 1 0 に供給される場合、制御装置 9 6 によりスイッチング素子 SW 1 5 ～ SW 2 0 がそれぞれ繰り返しオン、オフされることで、キャパシター 9 5 c により平滑された電力が、1 2 0 度ずつ位相が異なる交流電力に変換されモーター 1 0 に供給される。

[0036] また、モーター 1 0 から回生される電力がサーボアンプ 9 5 に供給される場合、スイッチング素子 SW 1 5 ～ SW 2 0 に並列接続されている各ダイオードによりモーター 1 0 の 3 相からそれぞれ供給される交流電力が整流される。

[0037] また、モーター 1 0 から回生される電力がサーボアンプ 9 5 に供給される場合、スイッチング素子 SW 1 5 ～ SW 2 0 に並列接続されている各ダイオードにより整流された電力はキャパシター 9 5 c により平滑される。

[0038] また、モーター 1 0 から回生される電力がサーボアンプ 9 5 に供給される場合、制御装置 9 6 によりスイッチング素子 SW 1 1、SW 1 4 とスイッチング素子 SW 1 2、SW 1 3 とが交互に繰り返しオン、オフされることでキャパシター 9 5 c により平滑された電力がトランス Tr の二次コイル L 2 から一次コイル L 1 に伝わる。

[0039] また、モーター 1 0 から回生される電力がサーボアンプ 9 5 に供給される場合、スイッチング素子 SW 7 から SW 1 0 に並列接続されている各ダイオードにより二次コイル L 2 から一次コイル L 1 に伝わった電力が整流される。

[0040] また、モーター 1 0 から回生される電力がサーボアンプ 9 5 に供給される場合、スイッチング素子 SW 7 ～ SW 1 0 に並列接続されている各ダイオードにより整流された電力がキャパシター C により平滑される。

- [0041] また、モーター１０から回生される電力がサーボアンプ９５に供給される場合、制御装置９６によりスイッチング素子ＳＷ１～ＳＷ６がそれぞれ繰り返しオン、オフされることで、キャパシターＣにより平滑された電力が交流電力に変換され一次電源９１に供給される。
- [0042] モーター１０を駆動するとき（力行動作時）は、リアクトル９４から出力された交流電力は、電源回生コンバーター９５ａにより直流に変換され、キャパシター９５ｃにより平滑化された後、インバーター９５ｂにより交流（例えばパルス列）の駆動電力に変換される。インバーター９５ｂから出力される駆動電力は、モーター１０に入力され、モーター１０を回転駆動する。
- [0043] モーター１０が回生電力を発生するとき（回生動作時）は、モーター１０から出力される回生電力は、インバーター９５ｂによって直流に変換され、直流母線９５ｄを介して、電源回生コンバーター９５ａに入力される。なお、正負一對の導線から１系統の直流母線９５ｄが構成される。電源回生コンバーター９５ａは、直流母線９５ｄから供給される直流電力を正弦波交流に変換し、リアクトル９４、電磁開閉器９３及び回路遮断器９２を介して、一次電源に出力する。
- [0044] 図７（ａ）は、モーター１０の１サイクルの駆動波形を表したグラフである。図７（ｂ）は、モーター１０の１サイクルのうちの前半におけるモーター１０の回転数〔rpm〕の変化を簡略化して示したグラフであり、図７（ｃ）は、モーター１０の１サイクルのうちの後半におけるモーター１０の回転数の変化を簡略化して示したグラフである。図７（ｄ）は、モーター１０の１サイクルのうちの前半におけるモーター１０のトルク〔Nm〕の変化を簡略化して示したグラフであり、図７（ｅ）は、モーター１０の１サイクルのうちの後半におけるモーター１０のトルクの変化を簡略化して示したグラフである。図７（ａ）において、横軸は時間 t を表し、縦軸は軸１１の角度位置 θ を表す。図７（ｂ）及び図７（ｃ）において、横軸は時間 t を表し、縦軸はモーター１０の回転数を表す。図７（ｄ）及び図７（ｅ）において、横軸は時間 t を表し、縦軸はモーター１０のトルクを表す。図７（ａ）～図

7 (e) のそれぞれの時間幅は互いに一致する。

[0045] モーター 10 は、時刻 t_0 から時刻 t_6 までの時間 t が繰り返し経過する間、軸 11 の角度位置 θ が $-\theta_a \sim \theta_a$ の範囲で正弦波の駆動波形に従って繰り返し変動するように駆動される。なお、モーター 10 の駆動波形は正弦波に限定されるものではない。モーター 10 の駆動波形が正弦波の駆動波形の場合、モーターの回転速度（回転数）の波形は実際には余弦波形となる。ただし、図 7 (b) 及び図 7 (c) では、説明の便宜上、モーターの回転速度の波形を、変化が大きい範囲については一定の速度変化に、変化が小さい範囲は速度変化なし（一定の回転数）に、簡略化して示している。

[0046] 図 7 (a) に示す区間 A、より詳細には、例えば、時刻 t_0 から時刻 t_1 までの第 1 期間において、軸 11 は正の回転方向において加速される。つまり、第 1 期間において、正転時のモーター 10 の回転数が上昇し、このときに発生するトルクを正のトルク（加速トルク）とする。また、このとき、サーボアンプ 95 からモーター 10 に電力が供給される（力行動作）。例えば、第 1 期間において、キャパシター 95 c やキャパシター C に蓄積された電力がモーター 10 に供給されるとともに、不足分の電力が一次電源 91 からモーター 10 に供給される。

[0047] 図 7 (a) に示す区間 B、より詳細には、例えば、時刻 t_2 から時刻 t_3 までの第 2 期間において、軸 11 は正の回転方向において減速される。つまり、第 2 期間において、正転時のモーター 10 の回転数が減少し、負のトルク（減速トルク）が発生する。このとき、モーター 10 からサーボアンプ 95 に回生電力が供給される（回生）。例えば、第 2 期間において、モーター 10 から回生される電力がキャパシター 95 c やキャパシター C に蓄積される。

[0048] 図 7 (a) に示す区間 C、より詳細には、例えば、時刻 t_3 から時刻 t_4 までの第 3 期間において、軸 11 は負の回転方向において加速される。つまり、第 3 時間において、逆転時のモーター 10 の回転数が上昇し、このときに発生するトルクを正のトルク（加速トルク）とする。また、このとき、サ

ーボアンプ 95 からモーター 10 に電力が供給される（力行動作）。例えば、第 3 期間において、キャパシター 95 c やキャパシター C に蓄積された電力がモーター 10 に供給されるとともに、不足分の電力が一次電源 91 からモーター 10 に供給される。

[0049] 図 7 (a) に示す区間 D、より詳細には、例えば、時刻 t_5 から時刻 t_6 までの第 4 期間において、軸 11 は負の回転方向において減速される。つまり、第 4 期間において、逆転時のモーター 10 の回転数が減少し、負のトルク（減速トルク）が発生する。このとき、モーター 10 からサーボアンプ 95 に回生電力が供給される（回生動作）。例えば、第 4 期間において、モーター 10 から回生される電力がキャパシター 95 c やキャパシター C に蓄積される。

[0050] このように、力行動作と回生が繰り返されることで、回生時にキャパシター 95 c やキャパシター C に蓄積された電力を次の力行動作時にモーター 10 の駆動に使用することができるため、次の力行動作時に一次電源 91 からモーター 10 に供給される電力を低減することができる。これにより、電気駆動システム 90 の省電力化を図ることができる。また、加速（力行動作）と減速（回生動作）とを向きを交互に換えながら繰り返すことにより、モーター 10 の軸 11 が往復回転する。このような往復回転が、例えば最大で 500 Hz の繰り返し周波数で繰り返される。

[0051] このように、本実施形態では、モーター 10 に加速と減速を繰り返す動作を行わせるために、モーター 10 への電力の供給と、モーター 10 による回生電力の発生が交互に繰り返される。モーター 10 との電力の授受に伴う直流母線 95 d の短時間（例えばモーター 10 の 1 サイクル程度）の電圧変動は、主にキャパシター 95 c によって調整（言い換えれば、平準化）される。そのため、区間 A、C においてモーター 10 に供給される電力量の大半が区間 B、D において回生電力として回収されて再利用されるため、一次電源 91 から供給される電力をほとんど消費することなくモーター 10 を駆動させることが可能となっている。

[0052] [表1]

No.	周波数 F	トルク T_0	消費電力値 W_A	出力電力値 W_B	省エネルギー率 $R=100(1-W_A/W_B)$
1	10 Hz	23.5 %	0.354 kW	7.808 kW	95.5 %
2	25 Hz	70.0 %	1.093 kW	26.959 kW	95.9 %
3	50 Hz	76.0 %	0.971 kW	15.777 kW	93.8 %
4	75 Hz	76.0 %	0.870 kW	10.539 kW	91.7 %
5	100 Hz	64.0 %	0.843 kW	5.641 kW	85.1 %
6	125 Hz	77.0 %	0.991 kW	6.449 kW	84.6 %
7	150 Hz	62.7 %	0.781 kW	3.598 kW	78.3 %
8	175 Hz	74.0 %	1.037 kW	4.267 kW	75.7 %
9	200 Hz	83.0 %	1.338 kW	4.672 kW	71.4 %

[0053] 表1に、本実施形態の電動アクチュエーター100の駆動条件及び消費電力の測定結果を示す。

[0054] 「周波数F」は、図7に示す1サイクルの駆動を1秒間あたりに繰り返す回数である。消費電力の測定は、周波数Fを最大200Hzまで25Hz間隔で変化させて行った。但し、最小周波数は、0Hzではなく、安定した動作が可能な10Hzとした。

[0055] 「トルク T_0 」は、モーター10の軸11の相対トルク（定格トルクに対する割合を百分率で表記したもの。）の最大値（振幅）である。

「消費電力値 W_A 」は、回路遮断器92（図5）の上流において電力測定器PMにより測定した、電気駆動システム90全体としての消費電力の平均値である。

「出力電力値 W_B 」は、サーボアンプ95からモーター10に出力された電力の平均値である。

「省エネルギー率R」は、回生電力の再利用によって削減された消費電力の割合であり、 $R = 100 \times (1 - W_A / W_B)$ によって計算される。

[0056] 本実施形態の電動アクチュエーター100を使用することにより、200Hz以下の周波数Fにおいて70%を超える省エネルギー率が達成される。特に、75Hz以下の低周波数域においては、90%を超える省エネルギー率が達成される。

- [0057] 本実施形態の電動アクチュエーター１００による消費電力の削減効果は、モーター１０の往復回転の繰り返し周波数を１Ｈｚとした場合でも得られるが、繰り返し周波数を３Ｈｚ以上（より好ましくは５Ｈｚ以上）とした場合に、回生電力が電動アクチュエーター１００自身によって効率的に再利用されるため、良好な省エネルギー率が得られる。
- [0058] 図８（ａ）は従来の典型的なモーターの駆動波形を概略的に表したグラフであり、図８（ｂ）は本実施形態におけるモーター１０の駆動波形を概略的に表したグラフである。
- [0059] 図８（ａ）に示されるように、従来の典型的なモーターの駆動においては、区間 T_1 において所定の回転数まで加速された後、一定の回転数で連続的に駆動され（区間 T_2 ）、終了時に減速されて停止する（区間 T_3 ）。このような駆動においては、回生電力は区間 T_3 においてのみ発生する。従って、回生電力の利用による消費電力の低減効果は僅かなものとなる。
- [0060] 一方、本実施形態においては、図８（ｂ）に示されるように、駆動の開始から終了までの全区間に亘って、モーター１０の加速（力行動作）と減速（回生動作）が高い周波数で繰り返される。減速時に発生した回生電力は、直ちに次の力行動作で消費される。すなわち、駆動の開始から終了まで、回生電力の発生と消費が定常的に繰り返される。その結果、本実施形態においては、回生電力の利用による消費電力の低減効果が極めて大きなものとなっている。
- [0061] 以上のように、本実施形態に係る電動アクチュエーター１００によれば、モーター１０の出力する正逆回転運動を一方向回転運動に変換する運動変換器を備えることで、モーター１０を正逆回転させて積極的に回生エネルギーを生じさせながら、一方向回転運動を出力することができる。従って、自動車や電車などのモビリティに利用される一方向回転運動をモーター１０の軸から直接的に得た場合よりも小さな消費電力で得ることができる。
- [0062] <第２実施形態>
- 図９は、本実施形態に係る電動アクチュエーターの制御上の工夫について

説明する図である。図9（a）は、第1の実施形態に係る電動アクチュエーター100における制御例を示し、図9（b）は、本実施形態に係る電動アクチュエーターにおける制御例を示している。

[0063] 図9（a）及び図9（b）の縦軸は、往復直線運動を行うピストン50の位置を示している。位置100と位置-100は、それぞれ電動アクチュエーターのスライダクランク機構が下死点と上死点にあるときのピストン50の位置を示している。

[0064] 図9（a）及び図9（b）の横軸は、一方向回転運動を行うクランクシャフト70の位相を示している。位相90と位相270は、それぞれ電動アクチュエーターのスライダクランク機構が下死点と上死点にあるときのクランクシャフト70の位相を示している。

[0065] なお、本実施形態に係る電動アクチュエーターの構成は、制御装置96が後述するモーター10の制御（位相シフト制御）を実行可能に構成された点を除き、第1実施形態の電動アクチュエーター100の構成と同一である。従って、本実施形態に係る電動アクチュエーターでも、モーター10の往復回転運動がボールねじ40によって往復直線運動に変換されて、その往復直線運動がさらにスライダクランク機構により一方向回転運動に変換され、出力される。図9（a）及び図9（b）の正弦波波形は、これらの電動アクチュエーターにおけるピストン50の位置とクランクシャフト70の位相の関係を示している。

[0066] 第1の実施形態に係る電動アクチュエーター100では、制御装置96は、図9（a）に示すように、ピストン50が下死点に達したタイミングt1でモーター10の回転方向を正転から逆転へ切り替え、ピストン50が上死点に達したタイミングt2でモーター10の回転方向を逆転から正転へ切り替えるように、サーボアンプ95を制御する。これにより、ピストン50の移動によってクランクシャフト70に回転力が生じない死点（上死点、下死点）において慣性によりクランクシャフト70の回転方向を維持しながら、往復直線運動を回転運動に変換することができる。つまり、往復直線運動を

一方向回転運動に変換することができる。

[0067] ところで、モーター１０の正転と逆転を切り替えるときには、モーター１０では大きなトルクが発生する。このため、ピストン５０からクランクシャフト７０へ伝達される力が接線方向（回転方向）には加わらず径方向にのみ伝達される上死点と下死点で回転方向を切り替えると、モーター１０で生じた大きなトルクに起因してクランクシャフト７０の径方向に大きな力が発生してしまう。その結果、クランクシャフト７０に振動が発生してしまい、クランクシャフト７０のスムーズな回転が阻害されることがある。

[0068] 本実施形態に係る電動アクチュエーターでは、このような事情を勘案して、制御装置９６は、ピストン５０が下死点に達するタイミング t_1 と上死点に達するタイミング t_3 を避けて、モーター１０の回転を正転と逆転の間で切り替えるように、サーボアンプ９５を制御する。例えば、制御装置９６は、図９（ｂ）に示すように、ピストン５０が下死点に達したタイミング t_1 よりわずかに遅いタイミング t_3 で回転方向を正転から逆転へ切り替え、ピストン５０が上死点に達したタイミング t_2 よりわずかに遅いタイミング t_4 で回転方向を逆転から正転へ切り替えるように、サーボアンプ９５を制御してもよい。なお、この時間差（ $t_3 - t_1$ 、 $t_4 - t_2$ ）は、例えば、クランクシャフト７０の位相の０．５度程度に相当し、その間に生じる変位は、概ねクランク機構の遊び（遊間）の範囲内である。なお、上記時間差（ $t_3 - t_1$ 、 $t_4 - t_2$ ）は、クランクシャフト７０の位相の１．５度以下とすることができ、１度以下とすることが望ましい。さらに、０．５度以下とすることがより望ましい。

[0069] このように、上死点と下死点からずれた位置で回転方向を切り替えるようにモーター１０を制御することで、クランクシャフト７０の径方向に加わる力を抑制しながら、上死点と下死点において回転力を加えることが可能となる。従って、本実施形態に係る電動アクチュエーターによれば、第１実施形態に係る電動アクチュエーター１００よりも、振動を抑制しながらスムーズな一方向回転を出力することができる。

[0070] なお、具体的な制御方法としては、制御の全区間においてクランクシャフト 70 の位相に対してモーター 10 の制御の位相に一定の位相差を与える方法や、死点（上死点、下死点）の近傍（例えば、死点を中心とする $\pm 10^\circ$ の範囲）において位相差を徐々に増加及び減少（解消）させる方法がある。

[0071] なお、図 9（b）では、上死点と下死点を通過後に回転方向を切り替える例を示したが、制御装置 96 は、上死点と下死点を通過前に回転方向を切り替えるように、サーボアンプ 95 を制御してもよい。

[0072] <第 3 実施形態>

図 10 は、本実施形態に係る電動アクチュエーターの制御上の工夫について説明する図である。図 10（a）は、本実施形態に係る電動アクチュエーターにおけるピストン 50 の位置とクランクシャフト 70 の位相の関係を示した図であり、図 10（b）は、本実施形態に係る電動アクチュエーターにおけるトルク制限とクランクシャフト 70 の位相の関係を示した図である。

[0073] なお、本実施形態に係る電動アクチュエーターの構成は、制御装置 96 が後述するモーター 10 の制御（負荷抑制制御）を実行可能に構成された点を除き、第 1 実施形態の電動アクチュエーター 100 の構成と同一である。

[0074] 第 2 実施形態において上述したように、上死点と下死点でモーター 10 の回転方向を切り替えると、クランクシャフト 70 の径方向に大きな力が加わり、クランクシャフト 70 に振動が発生しやすい。そこで、本実施形態では、制御装置 96 は、少なくとも死点（上死点、下死点）に達するタイミングにおいてモーター 10 のトルクが制限されるように、サーボアンプ 95 を制御する。制御装置 96 は、例えば、図 10 に示すように、回転方向が切り替わる上死点と下死点の付近（ $\theta_1 \sim \theta_2$ 、 $\theta_3 \sim \theta_4$ ）においてモーター 10 のトルクに制限を加えて、制限されたトルクの範囲内でモーター 10 を制御してもよい。これにより、クランクシャフト 70 の径方向に過度な力が加わることを防止することができるため、クランクシャフト 70 のスムーズな回転を阻害する振動の発生を抑制することができる。従って、本実施形態に係る電動アクチュエーターによれば、第 1 実施形態に係る電動アクチュエーター

１００よりも、振動を抑制しながらスムーズな一方方向回転を出力することができる。

[0075] <第４実施形態>

上述した第１実施形態の電動アクチュエーター１００は、単一の駆動ユニット１００ｄを備えたものであるが、電動アクチュエーターに複数の駆動ユニットを設けても良い。次に説明する本発明の第４実施形態に係る電動アクチュエーター２００は、４つの駆動ユニット２００ｄを備えたものである。なお、電動アクチュエーター２００には、図１６において後述するサーボアンプ２９５（駆動装置）と制御装置２９６が含まれてもよい。

[0076] 図１１は、本発明の第４実施形態に係る電動アクチュエーター２００の斜視図である。図１２から図１４は、それぞれ電動アクチュエーター２００の側面図、平面図、正面図である。図１５は、電動アクチュエーター２００のクランクシャフト２７０の構成図である。

[0077] 本発明の第４実施形態に係る電動アクチュエーター２００は、４気筒エンジンの構造を模した４気筒型のアクチュエーターであり、クランクシャフト２７０と、クランクシャフト２７０と連結した４つの駆動ユニット２００ｄを備える。つまり、電動アクチュエーター２００は、４つの電動機と、４つの第１の運動変換器と、４つの第２の運動変換器を備えていて、後述するように、４つの第２の運動変換器が一方方向回転運動の出力軸を共有した構成である。なお、電動アクチュエーター２００には、さらに、図１６において後述するサーボアンプ２９５（駆動装置）と制御装置２９６が含まれる。

[0078] 各駆動ユニット２００ｄは、第１実施形態の駆動ユニット１００ｄと類似の構造を有し、図１１に示すように、モーター１０と軸継手２０と軸受３０とボールねじ４０とピストン２５０と連接棒２６０を含む。

[0079] 図１２に示すように、モーター１０は、軸継手２０を収容するフレーム２２０に固定され、フレーム２２０は、ベース２１０上に固定される。モーター１０の出力軸は、図１３に示すように、フレーム２２０に設けられた軸受３０に支持されたボールねじ４０の軸と、軸継手２０によって接続される。

- [0080] ボールねじ40のナットには、ピストン250が固定される。ピストン250は、図12に示すように、フレーム230上面にボールねじ40の軸と平行に配設されたレール241に沿って移動可能なキャリッジ242上に置かれる。このようにピストン250をキャリッジ242上に配置することで、ピストン250の直線運動がレール241とキャリッジ242によってガイドされる。これにより、ピストン250が往復直線運動を行う際にボールねじ40に対して垂直方向に過度な曲げ応力が加わることを防止する。
- [0081] ピストン250の端部251は、図12及び図13に示すように、連接棒260の一端（クレビス部）にピン252（第1のピン）によって回転可能に連結される。これにより、連接棒260は、ピストン250の往復直線運動に伴ってピン252を旋回中心軸として一定の角度範囲で旋回可能となっている。また、連接棒260の他端は、図13及び図14に示すように、クランクシャフト270にクランクピン273によって回転可能に連結される。
- [0082] クランクシャフト270は、回転体であり、4気筒エンジン用のクランクシャフトを模した構造を有する。クランクシャフト270は、図15に示すように複数の部品からなり、これらがボルトで互いに固定されることで構成される。このような構成であれば、4気筒型に限らず、任意の数の駆動ユニットdに対応したクランクシャフトを容易に構成可能である。
- [0083] クランクシャフト270は、具体的には、図14及び図15に示すように、ベース210から立設した軸受部（軸受部281、軸受部282）に設けられた軸受に支持されるクランクジャーナル（クランクジャーナル271、クランクジャーナル272）と、連接棒260に回転可能に連結されるクランクピン273と、クランクピン273をクランクジャーナルの軸に対して偏心した位置にジョイントするクランクアーム274を備える。クランクピン273は、クランクシャフト270の回転軸に対して偏心した偏心ピンである。
- [0084] クランクジャーナル271、272とクランクピン273の各々は、クラ

ンクアーム 274 とボルトで固定され、さらに、クランクジャーナル 271、272 とクランクピン 273 はクランクアーム 274 を介して接続される。

[0085] なお、クランクシャフト 270 には、出力軸を有するクランクジャーナル 271 と、クランクアーム 274 に挟まれたクランクジャーナル 272 の、2 種類のクランクジャーナルが含まれる。クランクアーム 274 に挟まれたクランクジャーナル 272 は、軸受に挿通可能とするために、2 つの部品（クランクジャーナル 272 a とクランクジャーナル 272 b）で構成されていて、一方の部品（クランクジャーナル 272 a）を軸受に挿通後に他方の部品（クランクジャーナル 272 b）とボルトで 1 つに固定する。

[0086] 以上のように構成された電動アクチュエーター 200 では、モーター 10 の往復回転運動がボールねじ 40 によってピストン 250 の往復直線運動に変換される。さらに、連接棒 260 とクランクシャフト 270 がスライダクランク機構を構成することで、ピストン 250 の往復直線運動がクランクシャフト 270 の一方向回転運動に変換される。即ち、電動アクチュエーター 200 は、第 1 実施形態の電動アクチュエーター 200 と同様に、モーター 10 の往復回転運動を一方向回転運動に変換して出力するように構成されている。

[0087] 電動アクチュエーター 200 は、クランクシャフト 270 の 4 つのクランクピン 273 に、4 つの駆動ユニット 200 d の連接棒 260 がそれぞれ回転可能に嵌合する点が、電動アクチュエーター 100 とは異なっている。電動アクチュエーター 200 では、クランクシャフト 270 に連結した 4 つの駆動ユニット 200 d によってクランクシャフト 270 が回転駆動される。言い換えれば、4 つの駆動ユニット 200 d は、各々のクランク機構によって出力される一方向回転運動の出力軸であるクランクシャフト 270 を共有することで、4 つの駆動ユニット 200 d が発生する動力が、クランクシャフト 270 において結合される。この点も、電動アクチュエーター 200 は、電動アクチュエーター 100 と異なっている。

- [0088] なお、クランクシャフト270に含まれる4つのクランクピン273の偏心方向は特に限定しないが、互いに異ならせてもよい。例えば、4つのクランクピン273の偏心方向を 180° ずつ交互に異ならせてもよい。また、4つのクランクピン273が死点にくるタイミングが一致しないように、例えば、4つのクランクピン273の偏心方向を 90° ずつ異ならせてもよい。これにより、クランクシャフト270に回転力が働かない時間をなくしてスムーズな回転を実現してもよい。
- [0089] 図16は、本発明の第4実施形態に係る電動アクチュエーター200の給電システム290S（電気駆動システム290）の概略構成を示したブロック図である。なお、給電システム290Sは、4つの駆動ユニット200d（具体的にはモーター10）と共に電気駆動システム290を構成する。
- [0090] 第4実施形態の電気駆動システム290及び給電システム290Sは、一次電源のコンセント（不図示）に差し込まれるプラグ291を備える点、及び、サーボアンプの構成において、第1実施形態と異なる。第4実施形態のサーボアンプ295は、バッテリー295eと、4つの駆動ユニット200dのそれぞれに対応する4つのインバーター95bを備えている。第4実施形態の電動アクチュエーター200は、バッテリー295eを備えたことにより、一次電源から切り離された状態でもバッテリー295eに蓄積された電力により作動可能となっている。バッテリー295eは、電源回生コンバーター95a及び4つのインバーター95bと並列に一对の導線からなる直流母線95dに接続される。各インバーター95bには、対応する駆動ユニット200dのモーター10がそれぞれ接続される。
- [0091] 4つのインバーター95bは、互いに並列に、共通する1系統の直流母線95dに接続される。すなわち、電源回生コンバーター95a、バッテリー295e及びキャパシター95cによって生成される直流電力が4つのインバーター95bに分配される。また、4つのインバーター95bから出力される回生電力が直流母線95dにおいて結合される。直流母線95dに戻された回生電力の一部は、再び4つのインバーター95bに分配される。また

、余剰の回生電力は、キャパシター 95 c 及びバッテリー 295 e に蓄電され、或いは、電源回生コンバーター 95 a を介して一次電源に戻される。

[0092] なお、4つのクランクピン 273 の偏心方向を 90° ずつ変えた場合（すなわち、4つのクランクピン 273 の偏心方向が 12時、3時、6時及び9時の方向である場合）、クランクシャフト 270 の 12時及び6時の方向に偏心したクランクピン 273 に連結する2つの駆動ユニット 200 d のモーター 10 と、3時及び9時の方向に偏心したクランクピン 273 に連結する残りの2つの駆動ユニット 200 d のモーター 10 は、電力を消費／回生するタイミングが相反するため、一方の2つの駆動ユニット 200 d のモーター 10 から出力される回生電力の大半が、他方の2つの駆動ユニット 200 d のモーター 10 によって効率的に消費される。従って、より低い消費電力で電動アクチュエーター 200 を駆動することが可能になる。

[0093] <第5実施形態>

図 17 は、本発明の第5実施形態に係る電動アクチュエーター 201 の斜視図である。図 18 は、電動アクチュエーター 201 の平面図である。

[0094] 本発明の第5実施形態に係る電動アクチュエーター 201 は、図 17 に示すように、クランクシャフト 270 a と、クランクシャフト 270 a と連結した2つの駆動ユニット 200 d を備える。駆動ユニット 200 d は、第4実施形態で上述したとおりであり、詳細な説明を省略する。つまり、電動アクチュエーター 201 は、2つの電動機と、2つの第1の運動変換器と、2つの第2の運動変換器を備えていて、2つの第2の運動変換器が一方向回転運動の出力軸を共有した構成である。なお、電動アクチュエーター 201 には、電動アクチュエーター 200 と同様に、サーボアンプ 295（駆動装置）と制御装置 296 が含まれてもよい。

[0095] クランクシャフト 270 a は、2気筒エンジン用のクランクシャフトを模した構造を有する。クランクシャフト 270 a は、第5実施形態のクランクシャフト 270 と同様に複数の部品で構成され、複数の部品がボルトで互いに固定されることで構成される。

[0096] クランクシャフト270aは、具体的には、図18に示すように、ベース210から立設した軸受部（軸受部281、軸受部282）に設けられた軸受に支持されるクランクジャーナル（クランクジャーナル271、クランクジャーナル272）と、接続棒260に回転可能に連結されるクランクピン273と、クランクピン273をクランクジャーナルの軸に対して偏心した位置にジョイントするクランクアーム274を備える。なお、クランクシャフト270aでは、気筒数（駆動ユニット数）の減少に伴って部品点数がクランクシャフト270よりも少ない点異なる。例えば、気筒間に設けられるクランクジャーナル272は1つだけであり、気筒毎に設けられるクランクピン273も2つだけである。

[0097] 上記の第1実施形態から第5実施形態では、往復運動（往復直線運動）を一方方向回転運動に変換する第2の運動変換器として、接続棒とクランクシャフトから構成されるクランク機構（スライダクランク機構）が採用されているが、本発明はこの構成に限定されない。以下、クランクシャフトを使用しない実施形態について説明する。

[0098] <第6実施形態>

図19は、本発明の第6実施形態に係る電動アクチュエーター300の外観図である。本実施形態の電動アクチュエーター300は、ベース304と、ベース304上に設置された駆動ユニット300d及びスピンドル部370を備える。なお、電動アクチュエーター300には、上述した実施形態に係る電動アクチュエーターと同様に、図示しないサーボアンプと制御装置が含まれてもよい。

[0099] 駆動ユニット300dは、モーター10と、モーター10の回転運動を直線運動に変換するボールねじ40と、ボールねじ40のねじ軸41を回転可能に支持する軸受30と、軸線方向（すなわち、軸線Ax1の延長方向）に移動可能な箱形の直動部350（以下「ピストン350」という。）と、ピストン350を軸線方向に可動に支持するガイドウェイ形循環式リニア軸受354（以下「リニアガイド354」という。）と、ピストン350とスピ

ンドル部３７０の後述するスピンドル３７２とを連結する連接棒３６０と、ベース３０４上に取り付けられたフレーム３０５及びフレーム３０６を備える。モーター１０及び軸受３０はフレーム３０５に取り付けられる。なお、本実施形態の駆動ユニット３００ｄの軸線Ａ×１は、モーター１０の軸１１及びボールねじ４０のねじ軸４１の中心線と共通の直線である。

[0100] リニアガイド３５４は、レール３５４ａと、レール３５４ａ上を走行可能なキャリッジ３５４ｂを備える。レール３５４ａはフレーム３０６の上面に取り付けられ、キャリッジ３５４ｂはピストン３５０の下面に取り付けられる。これにより、ピストン３５０は、ベース３０４に対して軸線方向のみに移動可能に支持される。

[0101] モーター１０の軸１１（不図示）は、軸継手２０によって、ボールねじ４０のねじ軸４１に接続される。ボールねじ４０のナット４２（不図示）は、ピストン３５０の中空部に収容されて、ピストン３５０に固定される。モーター１０の軸１１が往復回転するに伴い、ピストン３５０が軸線方向に往復移動する。ピストン３５０の軸線方向における一端には、クレビス３５１が設けられている。

[0102] スピンドル部３７０は、回転体であるスピンドル３７２と、スピンドル３７２を回転可能に支持する軸受部３７４を備える。スピンドル３７２の一端面には、ピン３７２ｐが偏心して取り付けられている。即ち、ピン３７２ｐは、スピンドル３７２の回転軸に対して偏心した偏心ピンである。

[0103] 本実施形態の連接棒３６０の両端部には、ボールジョイント３６２が設けられている。一方のボールジョイント３６２は、ピン５２を介して、ピン５２を中心に回転可能にクレビス３５１と連結される。また、他方のボールジョイント３６２は、ピン３７２ｐを介して、ピン３７２ｐを中心に回転可能にスピンドル３７２と連結される。なお、ボールジョイント３６２に替えて自動調心ころ軸受や自動調心玉軸受等の転がり軸受を使用してもよい。

[0104] モーター１０は、軸１１が所定の角度範囲で繰り返し往復回転するように駆動される。モーター１０の回転は、ボールねじ４０によって直線運動に変

換されて、ピストン 350 に伝達される。その結果、ピストン 350 は所定のストロークで軸線 A x 1 上を往復直線運動する。すなわち、ボールねじ 40 は、モーター 10 から出力される往復回転運動を往復直線運動に変換する第 1 の運動変換器として機能する。ピストン 350 の軸線 A x 1 方向の往復直線運動は、連接棒 360 によってピン 372 p に伝達され、スピンドル 372 の一方向回転運動に変換される。すなわち、連接棒 360 とスピンドル 372 により、往復運動（往復直線運動）を一方向回転運動に変換する第 2 の運動変換器としてのリンク機構が構成される。

[0105] <第 7 実施形態>

図 20 は、本発明の第 7 実施形態に係る電動アクチュエーター 400 の外観図である。本実施形態の電動アクチュエーター 400 は、横に並べて配置された 2 つの駆動ユニット 400 d と、2 つの駆動ユニット 400 d に接続された歯車装置 470 を備える。電動アクチュエーター 400 には、上述した実施形態に係る電動アクチュエーターと同様に、図示しないサーボアンプと制御装置が含まれてもよい。なお、本実施形態の駆動ユニット 400 d は、2 つの駆動ユニット 400 d のフレーム 405 が一体化されている点で第 6 実施形態の駆動ユニット 300 d と構成が異なるが、その他の構成は駆動ユニット 300 d と共通する。

[0106] 図 21 は、歯車装置 470 の機構を示した図である。なお、図 21 には、駆動ユニット 300 d の連接棒 360 も図示されている。

[0107] 歯車装置 470 は、ケース 471（図 20）と、ケース 471 に取り付けられた二対の軸受 473、476 と、一対の軸受 473 によって回転可能に支持された第 1 軸 472（入力軸）と、第 1 軸 472 に取り付けられた駆動歯車 474 と、一対の軸受 476 によって回転可能に支持された第 2 軸 475（出力軸）と、第 2 軸 475 に取り付けられた従動歯車 477 を備える。駆動歯車 474 は従動歯車 477 と噛み合い、第 1 軸 472 の回転運動は駆動歯車 474 及び従動歯車 477 を介して第 2 軸 475 に伝達される。

[0108] 第 1 軸 472 の両端部には、それぞれ円盤部 472 a が設けられている。

各円盤部472aには、ピン472pが偏心して取り付けられている。なお、本実施形態においては、2つの円盤部472aのピン472pの偏心方向が90度ずれている。

[0109] 一方の駆動ユニット400dの接続棒360は第1軸472の一方の円盤部472aのピン472pに連結され、他方の駆動ユニット400dの接続棒360は第1軸472の他方の円盤部472aのピン472pに連結される。従って、一对の駆動ユニット400dから出力される動力が、歯車装置470（より具体的には、第1軸472）において合成されて、第2軸475から出力される。

[0110] 本実施形態においては、2つの駆動ユニット400dの接続棒360とそれぞれ結合する2つの円盤部472aのピン472pの偏心方向が90度ずれている。そのため、2つの駆動ユニット400dのモーター10は、電力を消費／回生するタイミングが互いに相反するため、一方の駆動ユニット400dのモーター10から出力される回生電力の大半が、他方の駆動ユニット400dのモーター10によって効率的に消費される。従って、より低い消費電力で電動アクチュエーター400を駆動することが可能になっている。

[0111] 上述した第1－第7実施形態においては、往復回転運動を第1の運動変換器により往復直線運動に一旦変換した後、更に第2の運動変換器により一方向回転運動に変換する構成が採用されている。しかし、本発明はこの構成に限定されるものではなく、次に説明する本発明の第8実施形態のように、往復回転運動を一方向回転運動に直接変換する構成も本発明の範囲に含まれる。

[0112] <第8実施形態>

図22は、本発明の第8実施形態に係る電動アクチュエーター500の外観図である。本実施形態の電動アクチュエーター500は、ベース504と、ベース504上に設置された駆動ユニット500d及びスピンドル部570を備える。なお、電動アクチュエーター500には、図23に示すサーボ

アンプ 95 と制御装置 96 が含まれてもよい。駆動ユニット 500 d は、モーター 10 と、モーター 10 の軸 11 に結合した駆動ディスク 550（第 1 の円盤部）と、接続棒 560 を備える。駆動ディスク 550 には、ピン 552（第 1 のピン）が偏心して取り付けられている。

[0113] スピンドル部 570 は、スピンドル 572 と、スピンドル 572 を回転可能に支持する軸受部 574 を備える。スピンドル 572 は、円柱状の軸部 572 b と、軸部 572 b の一端部に結合した従動ディスク 572 a（第 2 の円盤部）と、従動ディスク 572 a に偏心して取り付けられたピン 572 p（第 2 のピン）を備える。

[0114] 接続棒 560 の両端部には、ボールジョイント 562 が設けられている。一方のボールジョイント 562 は、ピン 552 を介して、ピン 552 を中心に回転可能に駆動ディスク 550 と連結される。また、他方のボールジョイント 562 は、ピン 572 p を介して、ピン 572 p を中心に回転可能に従動ディスク 572 a（スピンドル 572）と連結される。すなわち、接続棒 560 は、駆動ディスク 550（ピン 552）及び従動ディスク 572 a（ピン 572 p）とそれぞれジョイント（対偶）により結合されている。なお、ボールジョイント 562 に替えて自動調心ころ軸受や自動調心玉軸受等の転がり軸受を使用してもよい。

[0115] モーター 10 は、軸 11（及び駆動ディスク 550）が所定の角度範囲で繰り返し往復回転するように駆動される。これにより、接続棒 560 が所定のストロークで長さ方向に繰り返し押し引きされ、その結果、従動ディスク 572 a（スピンドル 572）が一方向に連続して回転する。すなわち、駆動ディスク 550、接続棒 560 及び従動ディスク 572 a から構成されるリンク機構により、モーター 10 の往復回転運動がスピンドル 572 の一方向回転運動に変換される。なお、このリンク機構は、2つのクランク機構（具体的には、駆動ディスク 550 と接続棒 560 から構成される第 1 の運動変換器としての第 1 のクランク機構と、接続棒 560 と従動ディスク 572 a から構成される第 2 の運動変換器としての第 2 のクランク機構）を結合し

たものと解釈することもできる。

- [0116] また、本実施形態のス핀ドル部570（より具体的には、軸受部574）は、発電機80（図23）を内蔵している。
- [0117] 図23は、本発明の第8実施形態に係る電動アクチュエーター500の給電システム590S（電気駆動システム590）の概略構成を示したブロック図である。なお、給電システム590Sは、モーター10と共に電気駆動システム590を構成する。
- [0118] 第8実施形態の電気駆動システム590及び給電システム590Sは、発電機80と、発電機80が発生した電力を系統電力（例えば三相交流）に変換して一次電源側に供給するインバーター装置97を備えた点において、第1実施形態の電気駆動システム90及び給電システム90Sと異なる。なお、インバーター装置97は、制御装置96と通信可能に接続され、制御装置96の制御に従って動作する。
- [0119] インバーター装置97は、コンバーター97a、インバーター97b及びキャパシター97cを備える。コンバーター97aは、例えばダイオードブリッジ回路を含む全波整流方式の整流器を備える。コンバーター97aの入力側にPWMコンバーターを設け、コンバーター97aの入力電流を正弦波化してもよい。インバーター97bは、例えばPWM制御により出力する電力を制御するPWMインバーターである。
- [0120] 発電機80が発生した電力は、コンバーター97aによって直流に変換され、キャパシター97cによって平滑化された後、インバーター97bに入力される。なお、正負一对の導線から1系統の直流母線97dが構成される。インバーター97bは、直流母線97dから供給される直流電力を系統電力と同等の品質の正弦波交流に変換し、一次電源91側に出力する。
- [0121] 本実施形態の構成によれば、回生動作時だけでなく力行動作時にも発電機80により発電が行われて一次電源91側に電力が供給されるため、電力エネルギーをより効率的に利用することができる。
- [0122] 本実施形態では、発電機80は、ス핀ドル部570の軸受部574に内

蔵されているが、駆動ユニット 500 d に設けてもよい。例えば、モーター 10 と駆動ディスク 550 の間に発電機 80 を設けてもよい。また、モーター 10 の軸 11 やスピンドル 572 の軸部 572 b を延長して発電機 80 の入力軸と連結し、動力の一部を発電機 80 に供給する構成としてもよい。また、ベルトやチェーン等の巻掛け伝動又は歯車機構等により、駆動ユニット 500 d 又はスピンドル部 570 の回転軸から動力の一部を分岐して発電機 80 に伝達する構成としてもよい。

[0123] 本実施形態の発電機 80 は交流発電機であるが、直流発電機を使用してもよい。この場合、発電機が発生する電力の整流が不要となるため、インバーター装置 97 のコンバーター 97 a は不要となり、例えば、直流発電機の出力端子は、コンバーター 97 a を介さずに、直流母線 97 d に接続される。

[0124] インバーター装置 97 にバッテリーを設けて、バッテリーをキャパシター 97 c と並列に直流母線 97 d に接続する構成としてもよい。

[0125] また、発電機 80 とモーター 10 との間にクラッチを設けて、発電機 80 による動力吸収を行うタイミングをクラッチの断続によって制御する構成としてもよい。

[0126] また、インバーター装置 97 の直流母線 97 d、キャパシター 97 c 及びインバーター 97 b を、サーボアンプ 95 の直流母線 95 d、キャパシター 95 c 及び電源回生コンバーター 95 a とそれぞれ共通化してもよい。

[0127] 次に、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターの応用例について説明する。

[0128] <第 9 実施形態>

図 24 は、本発明の第 4 実施形態に係る電動アクチュエーター 200 を原動機として搭載した電気自動車 1 の動力系の概略構成を示した図である。電気自動車 1 は、動力伝達装置 2 と左右のドライブシャフト 3 a 及び 3 b を備える。動力伝達装置 2 は、不図示の変速装置、最終減速装置及び差動装置を備える。電動アクチュエーター 200 のクランクシャフト 270 は動力伝達装置 2 の入力軸に接続される。ドライブシャフト 3 a 及び 3 b は、動力伝達

装置 2 の左右の出力軸にそれぞれ接続される。各ドライブシャフト 3 a、3 b の先端には、それぞれ車輪 W が取り付けられる。電動アクチュエーター 200 から出力される動力は、動力伝達装置 2 の変速装置、最終減速装置及び差動装置を介してドライブシャフト 3 a、3 b に伝達され、ドライブシャフト 3 a、3 b の先端に取り付けられた車輪 W を回転駆動する。

[0129] 本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、回転運動を出力する各種原動機（例えば、エンジン、電動機、油圧モーター、空気モーター、蒸気タービン等）に置き換えて使用することができる。

[0130] 図 24 に示す応用例は、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターを 4 輪の電気自動車に応用した例であるが、2 輪車や 3 輪車あるいは 6 輪以上の車輪を有するトラック、バス、トラクター等の各種自動車に本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターを使用することができる。また、電気自動車に限らず、ハイブリッド自動車にも本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターを使用することができる。

[0131] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、自動車に限らず、鉄道車両の原動機としても使用することができる。

[0132] <第 10 実施形態>

次に説明する第 10 実施形態は、本発明を鉄道システムに適用した例である。

図 25 は、本発明の第 10 実施形態に係る鉄道車両 600 の駆動機構の概略構成を示した図である。鉄道車両 600 は、複数（図 25 に示される例では 3 つ）の台車 601 を備える。台車 601 は、駆動装置として、本発明の第 4 実施形態に係る電動アクチュエーター 200 を備えた動台車である。

[0133] 台車 601 は、2 つの電動アクチュエーター 200 と、各 2 対の車軸 603（車軸 603 a、603 b）、軸受 602、軸箱（不図示）、軸箱支持装置（不図示）及び車輪 604 を備える。電動アクチュエーター 200 のクラックシャフト 270 の両端には、車軸 603 a 及び 603 b の一端が接続される。車軸 603 a 及び 603 b の他端には車輪 604 が取り付けられる。

- [0134] 各軸受602は各軸箱に取り付けられ、各軸箱は各軸箱支持装置を介して台車枠605に取り付けられる。軸受602及び軸箱は、軸箱支持装置により台車枠605（フレーム）に対して緩衝支持される。各車軸603a及び603bは、各軸受602によって回転可能に支持される。
- [0135] 図26は、本発明の第10実施形態に係る鉄道車両600の給電システム690S（電気駆動システム690）の概略構成を示したブロック図である。なお、給電システム690Sは、鉄道車両600に搭載された複数の電動アクチュエーター200（具体的には、複数のモーター10）と共に電気駆動システム690を構成する。
- [0136] 鉄道車両600は、トロリー線（接触電線）である架線691bと接触するパンタグラフ692cを集電装置として備えた、架線集電方式により集電を行う動力車である。架線691bには、変電所691aから系統電力（例えば三相交流）が供給される。
- [0137] 電気駆動システム690（給電システム690S）のうち、鉄道車両600に搭載される移動体駆動システム690M（移動体給電システム690MS）は、対応する台車601ごとにユニット化された1つ以上の移動体駆動ユニット690MU（移動体給電システム690MSU）から構成される。なお、移動体駆動ユニット690MU（移動体給電システム690MSU）は、台車601単位ではなく、鉄道車両600単位、あるいは、複数の鉄道車両600を連結した列車単位で構成してもよい。
- [0138] 本発明の第10実施形態に係る電気駆動システム690によれば、本発明の第2実施形態に係る電気駆動システム290と同じ作用効果が得られる。すなわち、回生電力が効率的にモーター10の駆動に利用されるため、低い消費電力で鉄道車両600（電動アクチュエーター200）を駆動することが可能になっている。
- [0139] 本実施形態では、パンタグラフ692cを集電装置として使用する架線集電方式が採用されているが、他の種類の集電装置（例えば、ビューゲル、トロリーポール等）や他の種類の集電方式（例えば、給電用レール〔第三軌条

〕に集電靴を接触させて集電する第三軌条方式等）を使用してもよい。

[0140] 本実施形態の鉄道車両600は、走行装置として台車601を使用する台車形式の車両であり、台車601に移動体駆動ユニット690MUが実装されているが、本発明はこの構成に限定されない。例えば、車体に走行装置及び移動体駆動ユニット690MUを直接設けた構成としてもよい。

[0141] 本実施形態では、各台車601の移動体駆動ユニット690MU（具体的には、サーボアンプ695）がバッテリー295eを備えているが、複数の台車601の移動体駆動ユニット690MUでバッテリー295eを共有する構成としてもよい。この場合、例えば、複数の台車601のうち一つ（又は一部）のサーボアンプ695にのみバッテリー295eを設けて、前記複数の台車601の直流母線95dを連結する構成としてもよい。また、バッテリー295eをサーボアンプ695の外部（例えば、車体上）に配置し、前記複数の台車601の直流母線95dと接続する構成としてもよい。

[0142] 本実施形態では、電動アクチュエーター200のクランクシャフト270の両端に分割車軸603a、603bを直結する構成が採用されているが、本発明はこの構成に限定されない。例えば、電動アクチュエーター200と分割されていない車軸603とをギア装置等の動力伝達装置を介して接続する構成としてもよい。

[0143] 本実施形態では、軸箱及び軸箱支持装置を使用する軸箱支持方式が採用されているが、本発明はこの構成に限定されない。

[0144] <第11実施形態>

次に、本発明をタイヤ試験装置に適用した例について説明する。以下に説明する本発明の第11実施形態に係るタイヤ試験装置は、タイヤの摩耗試験、耐久試験、走行安定性試験等を行うことが可能な試験装置である。

[0145] 図27及び図28は、それぞれ異なる方向から見た、本発明の第11実施形態に係るタイヤ試験装置2000の斜視図である。本実施形態のタイヤ試験装置2000は、外周面に模擬路面が形成された回転ドラム2010と、タイヤTを模擬路面に所定の姿勢で接地させた状態で回転可能に保持するア

ライメント調整機構 2160 と、タイヤ T に与えるトルクを発生するトルク発生装置 130（スリップ率制御装置）と、回転ドラム 2010 及びトルク発生装置 130 のケーシングを回転駆動するインバータモーター 2080 を備えている。

[0146] 回転ドラム 2010 は一对の軸受 2011a によって回転自在に支持されている。インバータモーター 2080 の出力軸にはプーリー 2012a が取り付けられ、回転ドラム 2010 の一方の軸にはプーリー 2012b が取り付けられている。プーリー 2012a とプーリー 2012b とは駆動ベルト 2015（例えば歯付ベルト）により連結されている。回転ドラム 2010 の他方の軸は、中継軸 2013 を介して、プーリー 2012c が取り付けられている。なお、中継軸 2013 は、プーリーが取り付けられる一端部付近において軸受 2011b により回転自在に支持されている。プーリー 2012c は、駆動ベルト 2016 によってプーリー 2012d に連結されている。プーリー 2012d は、プーリー 2012e に同軸に固定されており、プーリー 2012e と共に軸受 2011c（図 28）によって回転自在に支持されている。また、プーリー 2012e は、駆動ベルト 2017 によってトルク発生装置 130 の後述するケーシング 131 の軸部 131a に連結されている。

[0147] 図 29 は、トルク発生装置 130 の内部構造を示した図である。トルク発生装置 130 は、ケーシング 131 と、ケーシング 131 内に固定されたサーボモーター 10 及び減速機 133 を備えている。なお、本実施形態では、第 1 実施形態と同一構成のサーボモーター 10 が使用される。ケーシング 131 の軸方向両端部に筒状の軸部 131a、131b が形成されている。ケーシング 131 は、軸部 131a、131b において、軸受部 2020、2030 により回転可能に支持されている。また、一端側（図 29 における右端側）の軸部 131a の外周には、プーリー 2012f が取り付けられている。

[0148] 減速機 133 は入力軸 133a と出力軸 133b を有しており、入力軸 1

33aに入力された回転運動を減速して出力軸133bに出力する。減速機133の入力軸133aは、カップリング134によってサーボモーター10の駆動軸150aと連結されている。また、減速機133の出力軸133bには、連結軸135が接続される。なお、減速機133は任意選択的にトルク発生装置130に設けられる。トルク発生装置130に減速機133を設けずに、サーボモーター10の駆動軸150aに連結軸135を直接接続してもよい。

[0149] 連結軸135は、ケーシング131の筒状の軸部131aの中空部に通され、軸部131aの内周に設けられた一对の軸受136により回転可能に支持される。連結軸135の先端部は、軸部131aの先端部から突出している。軸部131aから突出した連結軸135は、等速ジョイント2014（図27）を介して、アライメント調整機構2160のスピンドルに接続される。アライメント調整機構2160のスピンドルには、タイヤTが装着されたホイールが取り付けられる。

[0150] これにより、インバータモーター2080を駆動すると、回転ドラム2010が回転すると共に、回転ドラム2010を介してインバータモーター2080に連結されたトルク発生装置130のケーシング131が回転するようになっている。また、トルク発生装置130が作動しないときに、回転ドラム2010とタイヤTが、接触部における周速が同一となるよう、逆方向に回転するようになっている。また、トルク発生装置130を作動させることで、タイヤTに動的又は静的な駆動力及び制動力を与えることができる。

[0151] 本実施形態においては、インバータモーター2080から出力された動力は、回転ドラム2010、中継軸2013、トルク発生装置130、等速ジョイント2014、アライメント調整機構2160のスピンドル及びタイヤTを介して、再び回転ドラム2010に伝達される。すなわち、回転ドラム2010、中継軸2013、トルク発生装置130、等速ジョイント2014、アライメント調整機構2160のスピンドル及びタイヤTからなる動力伝達路は、動力循環系を構成している。そのため、インバータモーター20

80の動力が効率的に利用され、少ない消費電力で動作できるようになっている。

[0152] 本実施形態のアライメント調整機構2160は、供試体であるタイヤTをホイールに装着した状態で回転可能に支持して、タイヤTのトレッド部を回転ドラム2010の模擬路面に押し当てると共に、模擬路面に対するタイヤTの向きやタイヤ荷重（接地圧）を設定された状態に調整する機構である。アライメント調整機構2160は、タイヤTの回転軸の位置を回転ドラム2010の半径方向に移動してタイヤ荷重を調整するタイヤ荷重調整部2161と、タイヤTの回転軸を模擬路面の垂線の周りに傾けて模擬路面に対するタイヤTのスリップ角を調整するスリップ角調整部2162と、タイヤTの回転軸を回転ドラム2010の回転軸に対して傾斜させてキャンバー角を調整するキャンバー角調整部2163と、タイヤTを回転軸方向に移動させるトラバース装置2164を備えている。タイヤ荷重調整部2161、スリップ角調整部2162、キャンバー角調整部2163及びトラバース装置2164は、それぞれサーボモーターM1、M2、M3及びM4を備えている。サーボモーターM1、M2、M3及びM4は、例えばACサーボモーターである。

[0153] 図30は、サーボモーター10及びインバータモーター2080に電力を供給する本発明の第2実施形態に係る給電システム2800S（電気駆動システム2800）の概略構成を示すブロック図である。

[0154] 本実施形態の給電システム2800Sは、電磁開閉器2830の後段から分岐したインバータモーター2080へ電力を供給する給電系統2860（リアクトル2870、ドライバ2880）、アライメント調整機構2160のサーボモーターM1、M2、M3、M4へ電力をそれぞれ供給する給電系統2891（リアクトルR1、サーボアンプA1）、2892（リアクトルR2、サーボアンプA2）、2893（リアクトルR3、サーボアンプA3）、2894（リアクトルR4、サーボアンプA4）を有する点で第1実施形態の給電システム90Sと異なっている。なお、ドライバ2880は、イ

ンバータモーター２０８０の駆動電力を発生する装置であり、図示しないインバータ回路を備えている。また、ドライバ２８８０及びサーボアンプＡ１～Ａ４は、それぞれ制御ユニットＣ２と通信可能に接続され、制御ユニットＣ２の制御に従って動作する。なお、サーボアンプＡ１、Ａ２、Ａ３、Ａ４は、サーボアンプ２８５０と同一の構成を有している。

[0155] 本実施形態のタイヤ試験装置２０００を使用した試験においては、インバータモーター２０８０が出力する回転数とトルク発生装置１３０（具体的には、サーボモーター１０）が発生するトルクを合成した回転運動がタイヤＴに与えられる。タイヤ試験装置２０００を使用した試験の一例においては、インバータモーター２０８０が一定の回転数を出力し、サーボモーター１０が変動トルク（例えばランダムな振動トルク）を出力するように制御される。具体的には、サーボモーター１０は、所定の振動波形データに基づいて、振幅及び周期を変えながら往復回転駆動される。すなわち、制御ユニットＣ２によりモーター１０が正転と逆転を繰り返すように制御される。これにより、サーボモーター１０の加速と減速が繰り返されるため、サーボアンプ２８５０からサーボモーター１０への駆動電力の供給と、サーボモーター１０からサーボアンプ２８５０への回生電力の供給が繰り返される。

[0156] サーボモーター１０が発生する回生電力の大部分は、一時的にキャパシタ２８５３に蓄積された後、サーボモーター１０の駆動に使用される。回生電力の余剰分は、電源回生コンバータ２８５１及びリアクトル２８４０を介して、給電系統２８６０、２８９１、２８９２、２８９３、２８９４に供給され、インバータモーター２０８０及びサーボモーターＭ１、Ｍ２、Ｍ３、Ｍ４の駆動に使用される。そのため、サーボモーター１０が発生する回生電力のほとんどがサーボモーター１０、Ｍ１～Ｍ４及びインバータモーター２０８０の駆動に再利用され、サーボモーター１０の駆動のために使用される一次電源２８１０の電力消費量が僅かに抑えられる。また、インバータモーター２０８０及びサーボモーターＭ１、Ｍ２、Ｍ３、Ｍ４が発生する回生電力も、他のモーター（すなわち、サーボモーター１０、Ｍ１、Ｍ２、Ｍ３

、M4及びインバータモーター2080)の駆動に再利用され、一次電源2810の電力消費量が更に抑えられる。

[0157] 以上説明した構成のタイヤ試験装置2000にタイヤTをセットして、回転駆動用のインバータモーター2080を駆動することによって、タイヤT及び回転ドラム2010が同じ周速で回転する。その状態で、トルク発生装置130のサーボモーター10を駆動して、タイヤTに駆動力や制動力を与えることによって、実際の走行状態をシミュレートしたタイヤの摩耗試験、耐久試験、走行安定性試験等を行うことが可能となる。

[0158] なお、本実施形態では、タイヤT及び回転ドラム2010が同じ周速で回転させるためにインバータモーター2080を用いたが、図30のドライバ2880とインバータモーター2080の代わりに、サーボモーター10と駆動ユニット100dを含む第1の実施形態に係る電動アクチュエーター100を用いてもよい。即ち、サーボモーター10の出力軸には直接プーリー2012aを取り付けるのではなく、サーボモーター10の往復回転を一方回転に変換する駆動ユニット100dをサーボモーター10とプーリー2012aの間に設ければよい。これにより、タイヤTと回転ドラム2010を同じ周速で回転させる動作にも回生エネルギーを利用することが可能となる。

<第12実施形態>

[0159] 以下に説明する本発明の第12実施形態に係る複合試験装置は、タイヤのユニフォーミティ試験と動釣合試験を行うことが可能な試験装置である。図31は、本発明の実施形態のユニフォーミティ及び動釣合複合試験装置3000(以下、複合試験装置3000とする)の基本構成を示す側面図である。図32は、複合試験装置3000のスピンドル3120を回転駆動する方法を模式的に示したものである。

[0160] 複合試験装置3000は、図31に示すように、タイヤTを下部リム3010と上部リム3020とで上下に挟みこんで保持するよう構成されている。より詳細には、複合試験装置3000は、上端部に上部リム3020が固

定されたロックシャフト3300を、スピンドル3120に挿入して固定することにより、下部リム3010と上部リム3020との間でタイヤTを挟み込んで保持する。

- [0161] ユニフォーミティ試験では、スピンドル3120の側方に設けられた回転ドラム3030を用いる。回転ドラム3030は、タイヤTに対して近接／離間する方向に延びるレール3031の上をスライド可能な可動ハウジング3032に搭載され、図示しないモーターにより駆動されるラックピニオン機構3035（ピニオン3036・ラック3038）によってタイヤTに対して近接／離間方向に移動する。また、回転ドラム3030は図示しない電動アクチュエーター（以降、電動アクチュエーター100aと記す。）によって任意の回転数で回転可能である。なお、電動アクチュエーター100aの構成は、第1実施形態において上述した電動アクチュエーター100と同じである。
- [0162] ユニフォーミティ試験を実施する際には、ラックピニオン機構3035によってこの回転ドラム3030をタイヤTに当接させ、さらに回転ドラム3030をタイヤTに数百kgf以上の力で押し付ける。次いで、この状態で回転ドラム3030を回転させ（従って回転ドラム3030に当接しているタイヤTも回転ドラム3030に伴って回転する）、そのときの負荷の変動から回転しているタイヤに発生する力のばらつきをスピンドルハウジング3110の側面に設置された3軸圧電素子によって計測する。
- [0163] 本実施形態では、この回転ドラム3030を電動アクチュエーター100aを用いて回転させる。これにより、回生エネルギーを利用しながら回転ドラム3030を回転させて、ユニフォーミティ試験を行うことができる。
- [0164] 一方、動釣合試験は回転ドラム3030をタイヤTから離間させた状態でスピンドル3120ごとタイヤTを回転させ、そのときにタイヤTの不釣合いから生じる加振力からタイヤの偏心状態を測定する試験である。
- [0165] スピンドル3120の下端には、動釣合試験時にスピンドル3120を回転駆動するためのプーリー3140が取り付けられている。また、スピンドル

ル 3 1 2 0 が固定されたベース 3 0 5 0 には図示しないラックピニオン機構によってスピンドル 3 1 2 0 に向かって水平に進退可能な電動アクチュエーター 1 0 0 b が設置されていて、この電動アクチュエーター 1 0 0 b によってスピンドル 3 1 2 0 を回転させる。なお、電動アクチュエーター 1 0 0 b の構成は、第 1 実施形態において上述した電動アクチュエーター 1 0 0 と同じである。これにより、回生エネルギーを利用しながらスピンドル 3 1 2 0 を回転させて、動釣合試験を行うことができる。

[0166] 電動アクチュエーター 1 0 0 b の出力回転軸には駆動プーリー 3 1 4 4 がスピンドル 3 1 2 0 のプーリー 3 1 4 0 と同じ高さに取り付けられている。また、図 3 2 に示すように、駆動プーリー 3 1 4 4 およびスピンドル 3 1 2 0 のプーリー 3 1 4 0 と同じ高さに対の従動プーリー 3 1 4 3 が回転可能に設置されている。なお、従動プーリー 3 1 4 3 は上記の図示しないラックピニオン機構によって電動アクチュエーター 1 0 0 b (駆動プーリー 3 1 4 4) と共に進退する。ここで無端ベルト 3 1 4 2 が駆動プーリー 3 1 4 4 および従動プーリー 3 1 4 3 に掛け渡されており、電動アクチュエーター 1 0 0 b により無端ベルト 3 1 4 2 を所定速度で進行させることができる。

[0167] ラックアンドピニオン機構により無端ベルト 3 1 4 2 がプーリー 3 1 4 0 に当接した状態 (図 3 2 の実線の状態) で電動アクチュエーター 1 0 0 b を駆動させることで、プーリー 3 1 4 0 が回転して、下部リム 3 0 1 0 と上部リム 3 0 2 0 の間でタイヤ T を保持したままスピンドル 3 1 2 0 が回転する。このときにスピンドルハウジング 3 1 1 0 の側面に設置された 3 軸圧電素子によって加振力を計測する。

[0168] 本実施形態では、電動アクチュエーター 1 0 0 b を用いることで回生エネルギーを利用しながらスピンドル 3 1 2 0 を回転させて、動釣合試験を行うことができる。

[0169] 即ち、複合試験装置 3 0 0 0 には、第 1 実施形態の電動アクチュエーター 1 0 0 と同じ 2 つの電動アクチュエーター 1 0 0 a、1 0 0 b が設けられていて、電動アクチュエーター 1 0 0 a が回転ドラム 3 0 3 0 を回転させるた

めに、電動アクチュエーター１００ｂがスピンドル３１２０を回転させるために、用いられる。これにより、ユニフォーミティ試験と動釣合試験のどちらにおいても回生エネルギーを利用しながら、試験を実施することができる。

[0170] <第１３実施形態>

以下に説明する本発明の第１３実施形態に係るバランス測定装置４０００は、回転体のバランスを測定可能な試験装置である。図３３及び図３４は、それぞれ本発明の実施形態に係るバランス測定装置４０００の正面図と側面図である。なお、以降の記載においては図３３中の上下方向をＹ軸方向、上下方向と回転体の回転軸方向の双方に垂直な方向をＸ軸方向と定義する。本実施形態の回転体４１００は、例えば、クランク軸であり、バランス測定装置４０００は、例えば、クランク軸のバランスを測定する装置である。

[0171] バランス測定装置４０００の装置フレームは、ベース４０１３と、ベース４０１３から鉛直上方に延びる複数のばね４０１４と、それらばね４０１４に支えられたテーブル４０１５とから成っている。テーブル４０１５の下面には駆動シャフト用軸受４０１２ａおよび４０１２ｂが取り付けられている。駆動シャフト４００５はこの駆動シャフト用軸受４０１２ａおよび４０１２ｂに回転可能に支持される。また、図３４に示されるように、ベース４０１３のＸ軸方向両端からは鉛直上方にほぼ剛体と見なすことのできる第１の側壁４０１３ａおよび第２の側壁４０１３ｂが延出している。

[0172] ベース４０１３には第１実施形態に係る電動アクチュエーター１００が取り付けられている。電動アクチュエーター１００の駆動軸にはプーリー４００３が取り付けられている。一方、駆動シャフト４００５の一端には第１のプーリー４００６が取り付けられており、この第１のプーリー４００６と電動アクチュエーター１００の駆動軸に取り付けられたプーリー４００３とは第１の無端ベルト４００４が渡されており、電動アクチュエーター１００を駆動することにより駆動シャフト４００５を第１の無端ベルト４００４を介して回転駆動することができる。

- [0173] また、テーブル4015の上面から鉛直上方に互いに平行な第1のテーブル側壁4017aおよび第2のテーブル側壁4017bが固定されている。第1のテーブル側壁4017aおよび第2のテーブル側壁4017bはばね4014のばね定数と比べてきわめて高い剛性を有する剛体である。第1のテーブル側壁4017aには従動シャフト用軸受4016aおよび4016cが、また、第2のテーブル側壁4017bには従動シャフト用軸受4016bおよび4016dがそれぞれ固定されている。なお、図33には従動シャフト用軸受4016aおよび4016bのみ記載されており、従動シャフト用軸受4016cおよび4016dはそれぞれ従動シャフト用軸受4016aおよび4016bの図33の奥側に配置されている。従動シャフト用軸受4016a、4016b、4016c、4016dはそれぞれ従動シャフト4010a、4010b、4010c、4010d（図33には4010a、4010bのみ記載）を回転可能に支持する。
- [0174] 従動シャフト4010a、4010b、4010c、4010dの一端にはそれぞれプーリー4009a、4009b、4009c、4009dが取り付けられている。また、駆動シャフト4005の一端のプーリー4006に隣接した箇所および駆動シャフト4005の他端には第2のプーリー4007aおよび4007bが取り付けられている。第2のプーリー4007aと従動シャフト4010aに取り付けられたプーリー4009aおよび従動シャフト4010cに取り付けられたプーリー4009c、第2のプーリー4007bと従動シャフト4010bに取り付けられたプーリー4009bおよび従動シャフト4010dに取り付けられたプーリー4009dにはそれぞれ第2の無端ベルト4008aおよび4008bが渡されている。従って、駆動シャフト4005が回転すると、その動力が第2の無端ベルト4008aを介して従動シャフト4010a及び4010cに伝達され、この結果、従動シャフト4010a及び4010cが回転する。また、駆動シャフト4005からの動力は、第2の無端ベルト4008bを介して従動シャフト4010bおよび4010dにも伝達され、この結果、従動シャフト40

10b及び4010dも回転する。

[0175] 従動シャフト4010a、4010b、4010c、4010dの他端にはそれぞれローラ4011a、4011b、4011c、4011dが取り付けられている。ローラ4011a、4011cの上には回転体4100の回転軸の一端4110aが、またローラ4011b、4011dの上には回転体4100の回転軸の他端4110bがそれぞれ載置される。回転体4100はこのローラ4011a、4011b、4011c、4011dの回転に従動して回転する。即ち、電動アクチュエータ100を駆動することによって回生エネルギーを利用しながら回転体4100を回転させることができる。

[0176] 回転体4100の他端4110bには、キー溝4102が形成されている。また、バランス測定装置4000には、さらに、キー溝4102を検出するためのセンサSが配置されている。

[0177] また、図33および図34に示されるように、ベース4013の第1の側壁4013aとテーブル4015との間には振動ピックアップVDLおよびVDRが取り付けられている。動的なつり合いを有するクランク軸である回転体4100は、回転すると振動する。本実施形態のバランス測定装置では、回転体4100（クランク軸）の振動が、ローラ4011a、4011b、4011c、4011d、第1及び第2のテーブル側壁4017a、4017b等を介しテーブル4015に伝達される。振動ピックアップVDL及びVDRは、回転している回転体4100（クランク軸）からテーブル4015に伝達された振動を検出する。換言すれば、振動ピックアップVDLおよびVDRは、回転する回転体4100（クランク軸）がローラ4011a、4011b、4011c、4011dに加える負荷の変動を検出する。

[0178] 振動ピックアップVDLおよびVDRはそれぞれ回転体4100の回転軸に垂直な2成分（X軸方向およびY軸方向）の加速度を計測可能な加速度センサである。振動ピックアップVDLは第1のテーブル側壁4017aと同じXY平面上に、また振動ピックアップVDRは第2のテーブル側壁401

7 bと同じXY平面上に取り付けられている。

[0179] また、ベース4013の第2の側壁4013bとテーブル4015との間には圧電アクチュエーターVLおよびVRが取り付けられている。圧電アクチュエーターVLは第1のテーブル側壁4017aと同じXY平面上に、また圧電アクチュエーターVRは第2のテーブル側壁4017bと同じXY平面上に取り付けられている。圧電アクチュエーターは印加される電圧の大きさに応じて伸縮して接触する物体に変位を与えることが可能な部材であり、従って、圧電アクチュエーターVLおよびVRに入力する信号を制御することにより、テーブル4015を自在に加振することができる。

[0180] <第14実施形態>

図35は、本発明の第14実施形態に係る衝突模擬試験装置5000の斜視図である。衝突模擬試験装置5000は、自動車等（鉄道車両、航空機、船舶を含む。）の衝突時に自動車等や乗員、自動車等の装備品等に加わる衝撃を再現する装置である。なお、本実施形態の衝突模擬試験装置5000は、製品や部品に対して強い衝撃波を与えて、衝撃に対する耐久性や信頼性を評価する衝撃試験装置として使用することもできる。

[0181] 衝突模擬試験装置5000は、自動車の車両のフレームに見立てたテーブル5240を備えている。テーブル5240には、例えば乗員のダミーを載せたシートや電気自動車用の高電圧バッテリー等の供試体に取り付けられる。設定された加速度（例えば、衝突時に車両のフレームに加わる衝撃に相当する加速度）でテーブル5240が駆動されると、テーブル5240に取り付けられた供試体に実際の衝突時と同様の衝撃が加わる。このときに供試体を受けた損傷（あるいは、供試体に装着された加速度センサ等の計測結果から予測される損傷）によって、乗員の安全が評価される。

[0182] 本実施形態の衝突模擬試験装置5000は、テーブル5240を水平方向の1方向のみに駆動可能に構成されている。図35に座標軸で示すように、テーブル5240の可動方向をX軸方向、X軸方向と垂直な水平方向をY軸方向、鉛直方向をZ軸方向と定義する。また、模擬する車両の進行方向を基

準に、X軸正方向を前方、X軸負方向を後方、Y軸負方向を右方、Y軸正方向を左方と呼ぶ。また、テーブル5240が駆動されるX軸方向を「駆動方向」と呼ぶ。なお、衝突模擬試験においては、車両の進行方向とは逆向き（すなわち後方）に大きな加速度がテーブル5240に加えられる。

[0183] 衝突模擬試験装置5000は、テーブル5240を備えた試験部5200と、テーブル5240を駆動する前方駆動部5300及び後方駆動部5400と、各駆動部5300、5400が発生する回転運動をX軸方向の並進運動に変換してテーブル5240に伝達する4つのベルト機構5100（ベルト機構5100a、5100b、5100c、5100d）と、制御システム（不図示）を備えている。

[0184] 試験部5200は、衝突模擬試験装置5000のX軸方向における中央部に配置され、前方駆動部5300及び後方駆動部5400は、試験部5200の前方及び後方にそれぞれ隣接して配置されている。

[0185] 図36は、試験部5200及びベルト機構5100の構造を示す斜視図である。なお、説明の便宜のため、図36においては、試験部5200の構成要素であるテーブル5240及びベースブロック5210（後述）の図示が省略されている。

[0186] 試験部5200は、テーブル5240の他に、ベースブロック5210（図35）と、ベースブロック5210上に取り付けられたフレーム5220と、フレーム5220上に取り付けられた一対のリニアガイドウェイ5230（以下、「リニアガイド5230」と略記する。）を備えている。一対のリニアガイド5230によって、テーブル5240がX軸方向（駆動方向）のみに移動可能に支持されている。

[0187] 図36に示すように、フレーム5220は、Y軸方向に延びる複数の連結バー5220Cによって連結された左右一対のハーフフレーム（右フレーム5220R、左フレーム5220L）を有している。右フレーム5220Rと左フレーム5220Lは同一構造（厳密には鏡像関係）を有するため、左フレーム5220Lのみについて詳細を説明する。

- [0188] 左フレーム5220Lは、それぞれX軸方向に延びる取付部5221及びレール支持部5222と、取付部5221とレール支持部5222とを連結する3つのZ軸方向に延びる連結部5223（5223a、5223b、5223c）を有している。図35に示すように、取付部5221は、その長さがベースブロック5210のX軸方向における長さに略等しく、ベースブロック5210によって全長が支持されている。また、連結部5223aによって、取付部5221とレール支持部5222の後端部同士が連結されている。
- [0189] レール支持部5222は、取付部5221よりも（すなわち、ベースブロック5210よりも）長く、その先端部が、ベースブロック5210よりも前方に突出して、前方駆動部5300の上方に配置されている。
- [0190] リニアガイド5230は、X軸方向に延びるレール5231と、転動体を介してレール5231上を走行する二つのキャリッジ5232を備えている。一対のリニアガイド5230のレール5231は、右フレーム5220R及び左フレーム5220Lのレール支持部5222の上面にそれぞれ固定されている。レール5231の長さは、レール支持部5222の長さと同略等しく、レール支持部5222によってレール5231の全長が支持されている。キャリッジ5232の上面には複数の取付穴（螺子穴）が設けられていて、テーブル5240には、キャリッジ5232の取付穴に対応する複数の貫通孔が設けられている。キャリッジ5232は、テーブル5240の各貫通孔に通されたボルト（不図示）をキャリッジ5232の各取付穴に嵌めることによってテーブル5240に締め付けられている。なお、テーブル5240と4つのキャリッジ5232により台車（スレッド）が構成される。
- [0191] また、テーブル5240には、シート等の供試体（不図示）を取り付けるための螺子穴等の取付構造が形成されていて、テーブル5240に供試体を直接取り付けることができるようになっている。これにより、供試体を取り付けるための取付板等の部材が不要となるため、衝撃が加えられる可動部分の重量を軽くことができ、高い周波数成分まで忠実度の高い衝撃を供試体

に与えることが可能になっている。

- [0192] 図36に示すように、各ベルト機構5100は、歯付ベルト5120と、歯付ベルト5120が巻掛けられた一对の歯付プーリー（第1プーリー5140、第2プーリー5160）と、歯付ベルト5120をテーブル5240に固定するための一对のベルトクランプ5180を備えている。
- [0193] 右フレーム5220Rと左フレーム5220Lの間には、4つの歯付ベルト5120が平行に配置されている。歯付ベルト5120は、それぞれ長さ方向の2箇所において、ベルトクランプ5180によってテーブル5240に固定されている。
- [0194] 図35に示すように、前方駆動部5300は、ベースブロック5310と、ベースブロック5310上に設置された4つの電動アクチュエーター5320（5320a、5320b、5320c、5320d）を備えている。また、後方駆動部5400は、ベースブロック5410と、ベースブロック5410上に設置された4つの電動アクチュエーター5420（5420a、5420b、5420c、5420d）を備えている。計8つの電動アクチュエーターは、それぞれ、第1の実施形態に係る電動アクチュエーター100と同一構成を有し、設置する位置や向き、構成要素の長さや配置間隔にわずかな相違があるものの、基本的な構成は共通している。また、前方駆動部5300と後方駆動部5400の基本的な構成も共通している。
- [0195] 図示しない制御部は、入力された加速度波形に基づいて、各電動アクチュエーター5320a～d、5420a～dのサーボモーターの駆動を同期制御することにより、上記加速度波形に従ってテーブル5240に加速度を与えることができる。なお、本実施形態では、制御部は8つのサーボモーターの全てを同位相でそれぞれ往復回転駆動させる。これにより、回生エネルギーを利用しながら各電動アクチュエーターから一方向回転運動を出力してテーブル5240に加速度を与えることができる。
- [0196] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、回転運動を出力する各種原動機（例えば、エンジン、電動機、油圧モーター、空気モーター

、蒸気タービン等）に置き換えて使用することができる。

[0197] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、電動式の２輪車、３輪車若しくは４輪車又は６輪以上の車輪を有するトラック、バス、トラクター等の各種の電気自動車に限らず、鉄道車両の原動機としても使用することができる。即ち、任意のビークルの原動機として使用可能である。また、飛行機（例えば、プロペラ機）やヘリコプター等の航空機あるいは船舶の原動機としても使用することができる。即ち、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、任意のモビリティの原動機として使用可能である。

[0198] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、建設機械、農業機械、木工機械、工作機械、鍛圧機械、射出成形機、ロボット、運搬機械（例えば、クレーン、昇降機、コンベア等）等の各種産業機械の原動機としても使用することができる。

[0199] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、各種家電機器（洗濯機、冷蔵庫、エアコンディショナー、コンプレッサー等）の原動機としても使用することができる。

[0200] また、本発明の実施形態に係る電動アクチュエーターは、油圧ポンプやコンプレッサーを駆動する原動機としても使用することができる。

[0201] 以上が本発明の例示的な実施形態の説明である。本発明の実施形態は、上記に説明したものに限定されず、本発明の技術的思想の範囲において様々な変形が可能である。例えば明細書中に例示的に明示される実施形態等又は自明な実施形態等を適宜組み合わせた内容も本発明の実施形態に含まれる。

[0202] 上述した駆動ユニット１００dは、ボールねじ４０のねじ軸４１がモーター１０の軸１１と直接連結しているが、駆動ユニットに減速機を設け、減速機を介してモーター１０とボールねじ４０を連結する構成としてもよい。

[0203] 第１実施形態の電気駆動システム９０（給電システム９０S）（図５）に、第４実施形態と同様にプラグ２９１及びバッテリー２９５eを設けた構成としてもよい。

[0204] また、第４実施形態の電気駆動システム２９０（給電システム２９０S）

(図16)からプラグ291及びバッテリー295eを除去して、回路遮断器92を一次電源91に直結する構成としてもよい。

[0205] また、第4実施形態の電気駆動システム290(給電システム290S)(図16)から回路遮断器92、電磁開閉器93及び／又はリアクトル94を除去して、これらをプラグ291の前段(一次電源側)に設けてもよい。

[0206] また、第1実施形態の電気駆動システム90(給電システム90S)(図5)において、一次電源91として交流発電機を使用してもよい。

[0207] 第4実施形態の電気駆動システム290(給電システム290S)(図16)又は第11実施形態の電気駆動システム690(給電システム690S)(図26)において、バッテリー295eを取り除き、静電容量の大きなキャパシター95cを使用して、キャパシター95cがバッテリー295eの蓄電機能も担う構成としてもよい。

[0208] 第4実施形態の電気駆動システム290(給電システム290S)(図16)においては、1つのサーボアンプ295に複数のインバーター95bを設け、各インバーター95bにそれぞれモーター10を接続する構成(すなわち、電源回生コンバーター95a、キャパシター95c及び直流母線95dを複数のモーター10で共有する構成)が採用されているが、本発明はこの構成に限定されない。例えば、モーター10毎に第1実施形態のサーボアンプ95(図5)を設ける構成としてもよい。この場合、例えば、リアクトル94の後段で配線を分岐し、各分岐配線にサーボアンプ95が接続される。あるいは、サーボアンプ95毎にリアクトル94を設け、電磁開閉器93の後段で配線を分岐して、各分岐配線にリアクトル94及びサーボアンプ95を接続する構成としてもよい。

[0209] 上述した本発明の第1実施形態に係る電動アクチュエーター100は単一の駆動ユニット100dを備え、本発明の第4実施形態に係る電動アクチュエーター200は4つの駆動ユニット200dを備え、本発明の第5実施形態に係る電動アクチュエーター201は2つの駆動ユニット200dを備えるが、本発明はこれらの構成に限定されるものではなく、電動アクチュエー

ターには任意の数の駆動ユニットを設けることができる。

- [0210] 上述した電動アクチュエーター１００、２００及び２０１は単一のクランクシャフト（クランクシャフト７０、クランクシャフト２７０、クランクシャフト２７０a）を備えるが、複数のクランクシャフトに分割してもよい。例えば、電動アクチュエーターが４つの駆動ユニットを備える場合、クランクシャフトを２つに分割して、各クランクシャフトに２つずつ駆動ユニット１００dを連結させた構成としてもよい。この場合、各クランクシャフト７０の動力が合成されるよう、分割した複数のクランクシャフト７０は例えば歯車機構やベルト機構等の巻き掛け伝動機構により相互に連結される。クランクシャフト７０を分割することにより、複数の駆動ユニットの配置の自由度が増えるため、小型化が可能になる。
- [0211] 第１１実施形態に係るタイヤ試験装置２０００、第１２実施形態に係る複合試験装置３０００、第１３実施形態に係るバランス測定装置４０００、第１４実施形態に係る衝突模擬試験装置５０００では、電動アクチュエーター１００が用いられる例を示したが、これらの装置に用いられる電動アクチュエーターは第１実施形態に係る電動アクチュエーター１００に限らない。例えば、電動アクチュエーター２００や電動アクチュエーター２０１など２気筒型以上の電動アクチュエーターが用いられてもよい。
- [0212] 上記の各実施形態において、モーター１０はＡＣサーボモーターであるが、ＤＣサーボモーターやステッピングモーター等、駆動量（回転角）の制御が可能な別の種類の電動機をモーター１０として使用してもよい。
- [0213] 上記の第４実施形態、第１０実施形態において、給電システムに発電機を備える構成を例示したが、発電機は、第４実施形態、第１０実施形態に限らず、他の実施形態の給電システムに設けられてもよい。
- [0214] 上記の各実施形態においては、サーボアンプ９５から余剰の回生電力を一次電源９１側へ戻すことが可能な電源回生コンバーター９５aが使用されているが、余剰電力を一次電源９１側へ戻す電源回生機能を有しないコンバーターを使用してもよい。電源回生機能を有しないコンバーターを使用する場

合は、回生電力を吸収する回生抵抗をサーボアンプ 95 に設けずに、余剰電力を貯留する装置（例えば大容量キャパシターや大容量バッテリー等）をサーボアンプ 95 に設けることが望ましい。

[0215] 図 37 及び図 38 は、各実施形態に係る電動アクチュエーターに電力を供給する給電システムの変形例を示した図である。上記の各実施形態では、一次電源から供給される電力を変換して電動機を駆動するシステムを例示したが、電源からシステムへ供給される電力は交流電力に限らない。図 37、図 38 に示すようにバッテリー 791 から供給される直流電力を、コンバーターを介してインバーターへ供給することでモーター 10 を駆動してもよい。この場合、回生電力は、一次電源へ出力される代わりに、バッテリー 791 に蓄電される。

[0216] なお、図 37 に示す給電システム 790S（電気駆動システム 790）は、コンバーターとして双方向 DCDC コンバーター 795a を備える。まず、バッテリー 791 に充電器 792 が接続され、一次電源のコンセント（不図示）に差し込まれるプラグ 291 から充電器 792 を介して供給される電力によりバッテリー 791 が充電される。次に、サーボアンプ 795 にバッテリー 791 が接続され、バッテリー 791 からの電力を双方向 DCDC コンバーター 795a を介してインバーター 95b へ供給してモーター 10 を駆動するとともに、インバーター 95b からの回生電力を双方向 DCDC コンバーター 795a を介してバッテリー 791 に出力する。

[0217] また、図 38 に示す給電システム 890S（電気駆動システム 890）は、電源回生コンバーター 95a の上流に双方向 DCAC コンバーター 895a を備える。まず、バッテリー 791 に充電器 792 が接続され、一次電源のコンセント（不図示）に差し込まれるプラグ 291a から充電器 792 を介して供給される電力によりバッテリー 791 が充電される。次に、サーボアンプ 895 にバッテリー 791 が接続され、バッテリー 791 からの電力を双方向 DCAC コンバーター 895a と電源回生コンバーター 95a を介してインバーター 95b へ供給してモーター 10 を駆動するとともに、イン

バーター 95 b からの回生電力を電源回生コンバーター 95 a と双方向 DC AC コンバーター 895 a を介してバッテリー 791 に出力する。また、電源回生コンバーター 95 a 及び双方向 DC AC コンバーター 895 a は、プラグ 291 b に接続されている。一次電源のコンセント（不図示）に差し込まれるプラグ 291 b からの電力は、電源回生コンバーター 95 a を介してインバーター 95 b へ供給され、この電力によりモーター 10 を駆動することもできる。また、プラグ 291 b から供給される電力は、双方向 DC AC コンバーター 895 a を介してバッテリー 791 へ供給され、この電力によりバッテリー 791 を充電することもできる。

[0218] 上記の各実施形態では、モーター 10 からインバーター 95 b 及び電源回生コンバーター 95 a を介して一次電源に電力を回生させていたが、モーター 10 からインバーター 95 b 及び電源回生コンバーター 95 a を介さずに一次電源に電力を回生させてもよい。

[0219] 本明細書には、下記の発明も記載されている。

[付記 1]

電動機と、
前記電動機に駆動電力を供給する駆動装置と、
前記電動機が繰り返し往復回転運動を出力するように前記駆動装置を制御可能な制御装置と、
前記往復回転運動を一方向回転運動に変換する運動変換器と、
を備え、
前記駆動装置が、
電源から供給される交流電力を直流電力に変換するコンバーターと、
前記直流電力から駆動電力を生成するインバーターと、を備えた、
電動アクチュエーター。

[付記 2]

前記運動変換器が、
前記電動機の軸に接続された第 1 の円盤部と、

前記第 1 円盤部に偏心して取り付けられた第 1 のピンと、
前記運動変換器の出力軸に接続された第 2 の円盤部と、
前記第 2 円盤部に偏心して取り付けられた第 2 のピンと、
前記第 1 円盤部と前記第 2 円盤部とを連結する連接棒と、
を備え、
前記連接棒の一端部が前記第 1 のピンと回転可能に結合し、
前記連接棒の他端部が前記第 2 のピンと回転可能に結合した、
付記 1 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 3]

前記運動変換器が、
前記往復回転運動を往復直線運動に変換する第 1 の運動変換器と、
前記往復直線運動を前記一方向回転運動に変換する第 2 の運動変換器と
、
を含む、
付記 1 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 4]

電動機と、
前記電動機の回転運動を直線運動に変換する第 1 の運動変換器と、
前記直線運動を回転運動に変換する第 2 の運動変換器と、
前記電動機に駆動電力を供給する駆動装置と、
前記駆動装置を制御する制御装置と、
を備え、
前記駆動装置が、
電源から供給される交流電力を直流電力に変換するコンバーターと、
前記直流電力から駆動電力を生成するインバーターと、を備え、
前記制御装置が、繰り返し往復駆動するように前記電動機を制御する、
電動アクチュエーター。

[付記 5]

前記第 1 の運動変換器がボールねじであり、
前記送りねじのナットに固定され、ナットと共に直線運動する、第 1 のピンを備えた直動部と、
偏心したクランクピンを備えたクランクシャフトと、
前記第 1 のピン及び前記クランクピンに回転可能に連結された連接棒と、
を備えた、
付記 4 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 6]

前記駆動装置が、
前記コンバーターと前記インバーターとを接続する一対の導線からなる直流母線と、
前記一対の導線を連結するキャパシターと、を備えた、
付記 1 から付記 5 のいずれか一項に記載の電動アクチュエーター。

[付記 7]

複数の前記電動機を備え、
前記駆動装置が、
前記コンバーターに接続された一対の導体からなる 1 系統の直流母線と、
、
前記 1 系統の直流母線に接続された複数の前記インバーターと、
前記一対の導線を連結するキャパシターと、を備えた、
を備えた、
付記 1 から付記 5 のいずれか一項に記載の電動アクチュエーター。

[付記 8]

前記コンバーターが PWM コンバーターである。
付記 1 から付記 7 のいずれか一項に記載の電動アクチュエーター。

[付記 9]

前記制御装置が、3 Hz 以上の周波数で繰り返し往復駆動するように前記電動機を制御する、

付記 1 から付記 8 のいずれか一項に記載の電動アクチュエーター。

[付記 1 0]

前記電動機が発生する動力によって電力を発生する発電機を備えた、
付記 1 から付記 9 のいずれか一項に記載の電動アクチュエーター。

[付記 1 1]

前記発電機が発生する電力を系統電力と同等の品質の交流に変換して電源
側に供給するインバーター装置を備えた、
付記 1 0 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 1 2]

車輪と、
前記車輪を駆動する回転運動を出力する、付記 1 から付記 1 1 のいずれか
一項に記載の電動アクチュエーターと、
を備えた、
電気自動車。

[付記 1 3]

車輪と、
前記車輪を駆動する回転運動を出力する、付記 1 から付記 1 1 のいずれか
一項に記載の電動アクチュエーターと、
を備えた、
鉄道車両。

[付記 1 4]

台車を備え、該台車が、
前記車輪と、
前記電動アクチュエーターと、を備えた、
付記 1 3 に記載の鉄道車両。

[付記 2 1]

所望の周波数で正転と逆転を繰り返す電動機と、
前記電動機の出力する正逆回転運動を一方向回転運動に変換する運動変換

器と、を備える

電動アクチュエーター。

[付記 2 2]

電源から供給される電力を前記電動機に供給する駆動装置を、さらに備え

、

前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を前記電源へ回生させる電源回生コンバーターを含む

付記 2 1 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 2 3]

前記電源回生コンバーターは、前記電動機の正転時及び逆転時のそれぞれの減速過程において前記電動機から回生される電力を前記電源に出力する

付記 2 2 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 2 4]

前記電源は、交流電源で構成され、

前記電源回生コンバーターは、双方向 A C D C コンバーターで構成される

付記 2 2 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 2 5]

前記電源は、直流電源で構成され、

前記電源回生コンバーターは、双方向 D C D C コンバーターで構成される

付記 2 2 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 2 6]

前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を蓄えるキャパシターを、さらに備える

付記 2 2 乃至付記 2 5 のいずれかに記載の電動アクチュエーター。

[付記 2 7]

電源から供給される電力を前記電動機に供給する駆動装置を、さらに備え

、

前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を蓄えるキャパシターを含む

付記 21 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 28]

前記電動機は、正転と逆転を 3 Hz 以上の所要周波数で繰り返す

付記 22 乃至付記 27 の何れかに記載の電動アクチュエーター。

[付記 29]

前記運動変換器が、

前記正逆回転運動を往復直線運動に変換する第 1 の運動変換器と、

前記往復直線運動を前記一方向回転運動に変換する第 2 の運動変換器と

、を含む

付記 22 乃至付記 28 の何れかに記載の電動アクチュエーター。

[付記 30]

前記電動機を含む、複数の電動機と、

前記第 1 の運動変換器を含む、前記複数の電動機の各々の出力する正逆回転運動を往復直線運動に変換する複数の第 1 の運動変換器と、

前記第 2 の運動変換器を含む、前記複数の第 1 の運動変換器の各々によって変換された往復直線運動を前記一方向回転運動に変換する複数の第 2 の運動変換器と、をさらに備え、

前記複数の第 2 の運動変換器は、前記一方向回転運動の出力軸を共有する

付記 29 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 31]

前記運動変換器が、

ボールねじと、

前記ボールねじのナットに固定され、ナットと共に直線運動する直動部と、

回転軸周りに回転自在な回転体と、

前記回転体のうちの前記回転軸に対して偏心した部分と前記直動部のそれぞれに回転可能に連結された接続棒と、
を含む、

付記 29 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 32]

前記回転体は、クランクシャフトであり、
前記接続棒は、前記クランクシャフトのクランクピンに回転可能に連結される

付記 31 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 33]

前記回転体は、スピンドルであり、
前記接続棒は、前記スピンドルの回転軸に対して偏心した位置に形成された突出部に回転可能に接続される

付記 31 に記載の電動アクチュエーター。

[付記 34]

前記駆動装置を制御する制御装置をさらに備え、
前記制御装置は、前記直動部が前記直動部の移動によって前記回転体に回転力が生じない死点に達するタイミングを避けて、前記電動機の回転を正転と逆転の間で切り替えるように、前記駆動装置を制御する

付記 31 乃至付記 33 の何れかに記載の電動アクチュエーター。

[付記 35]

前記駆動装置を制御する制御装置をさらに備え、
前記制御装置は、少なくとも前記直動部が前記直動部の移動によって前記回転体に回転力が生じない死点に達するタイミングにおいて前記電動機のトルクが制限されるように、前記駆動装置を制御する

付記 31 乃至付記 33 の何れかに記載の電動アクチュエーター。

[付記 36]

前記運動変換器が、

前記電動機の軸に接続された、第１の回転軸周りに回転自在な第１の円盤部と、

前記運動変換器の出力軸に接続された、第２の回転軸周りに回転自在な第２の円盤部と、

前記第１の円盤部のうちの前記第１の回転軸に対して偏心した部分と前記第２の円盤部のうちの前記第２の回転軸に対して偏心した部分のそれぞれに回転可能に連結される連接棒と、を含む

付記３１乃至付記３８の何れかに記載の電動アクチュエーター。

[付記３７]

付記３１乃至付記３６の何れかに記載の電動アクチュエーターを備える電動モビリティ。

符号の説明

- [0220] １ 電気自動車
- １０ モーター
- ４０ ボールねじ
- ５０、２５０、３５０ ピストン（直動部）
- ６０、１３５、２６０、３６０、５６０ 連接棒
- ７０、２７０、２７０ａ クランクシャフト
- ８０ 発電機
- ９５、２９５、６９５、７９５、８９５、９９５、２８５０ サーボアンプ
- ９５ａ、２８５１ 電源回生コンバーター
- ９５ｂ、９７ｂ、２８５２ インバーター
- ９５ｃ、９７ｃ、２８５３ キャパシター
- ９６、２９６、Ｃ２ 制御装置（制御ユニット）
- １００、２００、２０１、３００、４００、５００、５３２０、５３２０ａ、５４２０ 電動アクチュエーター

100d、200d、300d、400d、500d 駆動ユニット
600 鉄道車両

請求の範囲

- [請求項1] 所望の周波数で正転と逆転を繰り返す電動機と、
 前記電動機の出力する正逆回転運動を一方向回転運動に変換する運動変換器と、を備える
 電動アクチュエーター。
- [請求項2] 電源から供給される電力を前記電動機に供給する駆動装置を、さらに備え、
 前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を前記電源へ回生させる電源回生コンバーターを含む
 請求項1に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項3] 前記電源回生コンバーターは、前記電動機の正転時及び逆転時のそれぞれの減速過程において前記電動機から回生される電力を前記電源に出力する
 請求項2に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項4] 前記電源は、交流電源で構成され、
 前記電源回生コンバーターは、双方向ACDCコンバーターで構成される
 請求項2に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項5] 前記電源は、直流電源で構成され、
 前記電源回生コンバーターは、双方向DCDCコンバーターで構成される
 請求項2に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項6] 前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を蓄えるキャパシターを、さらに備える
 請求項2乃至請求項5のいずれか1項に記載の電動アクチュエーター。

- [請求項7] 電源から供給される電力を前記電動機に供給する駆動装置を、さらに備え、
前記駆動装置は、前記電動機が正転と逆転を繰り返した際に、前記電動機から回生される電力のうち前記電動機の加速で消費されなかった電力を蓄えるキャパシターを含む
請求項1に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項8] 前記電動機は、正転と逆転を3 Hz以上の所要周波数で繰り返す
請求項2乃至請求項7の何れか1項に記載の電動アクチュエーター。
。
- [請求項9] 前記運動変換器が、
前記正逆回転運動を往復直線運動に変換する第1の運動変換器と、
、
前記往復直線運動を前記一方向回転運動に変換する第2の運動変換器と、を含む
請求項2乃至請求項8の何れか1項に記載の電動アクチュエーター。
。
- [請求項10] 前記電動機を含む、複数の電動機と、
前記第1の運動変換器を含む、前記複数の電動機の各々の出力する正逆回転運動を往復直線運動に変換する複数の第1の運動変換器と、
前記第2の運動変換器を含む、前記複数の第1の運動変換器の各々によって変換された往復直線運動を前記一方向回転運動に変換する複数の第2の運動変換器と、をさらに備え、
前記複数の第2の運動変換器は、前記一方向回転運動の出力軸を共有する
請求項9に記載の電動アクチュエーター。
- [請求項11] 前記運動変換器が、
ボールねじと、
前記ボールねじのナットに固定され、ナットと共に直線運動する

直動部と、

回転軸周りに回転自在な回転体と、

前記回転体のうちの前記回転軸に対して偏心した部分と前記直動部のそれぞれに回転可能に連結された連接棒と、

を含む、

請求項 9 に記載の電動アクチュエーター。

[請求項12]

前記回転体は、クランクシャフトであり、

前記連接棒は、前記クランクシャフトのクランクピンに回転可能に連結される

請求項 11 に記載の電動アクチュエーター。

[請求項13]

前記回転体は、スピンドルであり、

前記連接棒は、前記スピンドルの回転軸に対して偏心した位置に形成された突出部に回転可能に接続される

請求項 11 に記載の電動アクチュエーター。

[請求項14]

前記駆動装置を制御する制御装置をさらに備え、

前記制御装置は、前記直動部が前記直動部の移動によって前記回転体に回転力が生じない死点に達するタイミングを避けて、前記電動機の回転を正転と逆転の間で切り替えるように、前記駆動装置を制御する

請求項 11 乃至請求項 13 の何れか 1 項に記載の電動アクチュエーター。

[請求項15]

前記駆動装置を制御する制御装置をさらに備え、

前記制御装置は、少なくとも前記直動部が前記直動部の移動によって前記回転体に回転力が生じない死点に達するタイミングにおいて前記電動機のトルクが制限されるように、前記駆動装置を制御する

請求項 11 乃至請求項 13 の何れか 1 項に記載の電動アクチュエーター。

[請求項16]

前記運動変換器が、

前記電動機の軸に接続された、第 1 の回転軸周りに回転自在な第 1 の円盤部と、

前記運動変換器の出力軸に接続された、第 2 の回転軸周りに回転自在な第 2 の円盤部と、

前記第 1 の円盤部のうちの前記第 1 の回転軸に対して偏心した部分と前記第 2 の円盤部のうちの前記第 2 の回転軸に対して偏心した部分のそれぞれに回転可能に連結される連接棒と、を含む

請求項 1 乃至請求項 8 の何れか 1 項に記載の電動アクチュエーター。

[請求項 17] 請求項 1 乃至請求項 16 の何れか 1 項に記載の電動アクチュエーターを備える電動モビリティ。