

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6804820号  
(P6804820)

(45) 発行日 令和2年12月23日 (2020. 12. 23)

(24) 登録日 令和2年12月7日 (2020. 12. 7)

|                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| (51) Int. Cl.                   | F 1            |
| <b>H 0 2 K</b> 7/116 (2006. 01) | H 0 2 K 7/116  |
| <b>F 1 6 H</b> 1/32 (2006. 01)  | F 1 6 H 1/32 C |

請求項の数 7 外国語出願 (全 14 頁)

|                    |                              |           |                              |
|--------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| (21) 出願番号          | 特願2014-141573 (P2014-141573) | (73) 特許権者 | 500520743                    |
| (22) 出願日           | 平成26年7月9日 (2014. 7. 9)       |           | ザ・ボーイング・カンパニー                |
| (65) 公開番号          | 特開2015-39286 (P2015-39286A)  |           | The Boeing Company           |
| (43) 公開日           | 平成27年2月26日 (2015. 2. 26)     |           | アメリカ合衆国、60606-2016           |
| 審査請求日              | 平成29年5月25日 (2017. 5. 25)     |           | イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100 |
| 審判番号               | 不服2019-4845 (P2019-4845/J1)  | (74) 代理人  | 110002077                    |
| 審判請求日              | 平成31年4月11日 (2019. 4. 11)     |           | 園田・小林特許業務法人                  |
| (31) 優先権主張番号       | 13/941, 401                  | (72) 発明者  | アトムール, ロバート ジェー,             |
| (32) 優先日           | 平成25年7月12日 (2013. 7. 12)     |           | アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016,     |
| (33) 優先権主張国・地域又は機関 | 米国 (US)                      |           | シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100      |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクティブ-アクティブ冗長モータギアシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アクチュエータに用いられるフォールトトレラント電気モータであって、  
 固定子ケースに拘束されている6つのコイルエレメントと、  
 章動運動のために支点によって支持され、かつ6つのコアセグメントを有し、各々の前記コアセグメントが起動に際して吸引されるように前記6つのコイルエレメントのそれぞれの1つに関連する、ドライブプレートと、

受信した前記アクチュエータのための位置指令および受信したウォブル角度インプットに  
 応答して、起動のために、前記6つのコイルエレメントの各々に独立した電流制御を提  
 供し、前記6つのコイルエレメントが、前記6つのコイルエレメントを順次起動すること  
 により前記ドライブプレートを章動させるための純粋なトルク和を前記ドライブプレート  
 に発生させるように動作する、制御プロセッサと、

前記制御プロセッサに前記ウォブル角度インプットを提供する少なくとも2つの位置センサと

を備え、

前記ドライブプレートには、外側ペリサイクリックギアおよび内側ペリサイクリックギアが組み込まれ、

前記外側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合した反応ペリサイクリックギアを有する反応プレートと、

前記内側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合したドライブペリサイクリックギ

10

20

アを有する回転出力プレートと、

前記反応プレートに接続され、かつ構造体に取り付けるための固定接続部を有する、ケースと、

前記回転出力プレートに取り付けられ、かつ作動要素への接続に適合した、回転フランジと

をさらに備え、

前記受信したウォブル角度インプットのウォブル角度は、前記ドライブプレートの平面を前記反応プレートの方向から見た状態において、前記少なくとも2つの位置センサによる測定で前記ドライブプレートの中心から半径方向に基準となる線を定め、この基準となる線と前記反応プレートの中心から前記反応プレートが最もドライブプレート側に接近する位置までの半径方向の線とのなす角であり、

10

前記6つのコイルエレメントが、120度で離間された3つのコイルエレメントの第1セットおよび3つのコイルエレメントの第2セットを備え、前記第2セット内の各コイルエレメントは前記第1セット内の2つのコイルエレメントの間に介在し、

前記制御プロセッサが、

故障したコイルエレメントを特定することと、

前記故障したコイルエレメントを含む前記3つのコイルエレメントの第1セットへの制御電力を取り除くことと、および

前記コイルエレメントの第2セットに対して電流を1.7倍に増加させることと  
を実行するように構成される、フォールトトレラント電気モータ。

20

【請求項2】

各コイルエレメントが、

固定コアと、および

コイル内に電流を導入する際に前記固定コアを磁化するための前記固定コアと動作可能に関連するコイルと、

を備える、請求項1に記載のフォールトトレラント電気モータ。

【請求項3】

前記ケース内で前記ドライブプレートを回転自在に支持するように適合されたブッシングをさらに備える、請求項1に記載のフォールトトレラント電気モータ。

【請求項4】

30

前記少なくとも2つの位置センサが、6つの位置センサを備える、請求項1に記載のフォールトトレラント電気モータ。

【請求項5】

前記6つのコイルエレメントの各々に関連する永久磁石をさらに備える、請求項1に記載のフォールトトレラント電気モータ。

【請求項6】

アクチュエータのための位置指令を受信することと、

支点に備え付けられた章動ドライブプレートのウォブル角度を決定することと、および

前記章動ドライブプレート内の関連するコアセグメントを吸引するために、6つの固定コイルエレメントのうちの少なくとも3つに対して電流を順次制御し、それにより、前記章動ドライブプレートの章動を誘導し、前記受信した位置指令と一致するウォブル角度を達成することと

40

を含み、

前記章動ドライブプレートには、外側ペリサイクリックギアおよび内側ペリサイクリックギアが組み込まれ、

前記アクチュエータがさらに、

前記外側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合した反応ペリサイクリックギアを有する反応プレートと、

前記内側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合したドライブペリサイクリックギアを有する回転出力プレートと、

50

前記反応プレートに接続され、かつ構造体に取り付けるための固定接続部を有する、ケースと、

前記回転出力プレートに取り付けられ、かつ作動要素への接続に適合した、回転フランジとを備え、

前記ウォブル角度は、前記章動ドライブプレートの平面を前記反応プレートの方向から見た状態において、少なくとも2つの位置センサによる測定で前記章動ドライブプレートの中心から半径方向に基準となる線を定め、この基準となる線と前記反応プレートの中心から前記反応プレートが最も章動ドライブプレート側に接近する位置までの半径方向の線とのなす角であり、

10

前記6つの固定コイルエレメントが、120度で離間された3つのコイルエレメントの第1セットおよび3つのコイルエレメントの第2セットを備え、前記第2セット内の各コイルエレメントは前記第1セット内の2つのコイルエレメントの間に介在し、

故障したコイルエレメントを特定することと、

前記故障したコイルエレメントを含む前記3つのコイルエレメントの第1セットへの制御電力を取り除くことと、および

前記コイルエレメントの第2セットに対して電流を1.7倍に増加させることとをさらに含む、アクチュエータを制御する方法。

【請求項7】

前記電流を順次制御するステップが、各コイル内の電流調節を行ない、そのコイルと関連するコアセグメントに対して、計算されたウォブル角度変化を達成することを含み、前記電流調節は、任意の他のコイルエレメントに対する電流制御から独立している、請求項6に記載のアクチュエータを制御する方法。

20

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明の実施形態は概して、電気モータに関し、より具体的には、モータの動作を妨げることなく一または複数のコイルまたはコントローラの故障を許容する冗長動作のための複数のコイルを備えた3相バーチャルエリプティカルモータ(three phase virtual elliptical motor)に関する。

30

【0002】

大型民間航空機の主要な飛行制御翼面のための電気機械式アクチュエータは、冗長性を提供するために複雑な機械的連結を必要とする。これらの連結は、大変な作業であり、追加の故障モードおよび複雑で重大な組立公差の制約を導入する。典型的には、システムは、2つの独立したモータの速度加算を使用する。これは、各モータがブレーキを有すること、および1つのモータが負荷を駆動することを許容し、かつ故障条件下ではそのブレーキを適用して他のモータが動作することを許容する差動装置に接続されていることを必要とする。これは複数のギアの噛み合いおよび軸受支持体を含む複雑な機械システムである。この精密機械は、効率性がより低い可能性があり、それによりシステムのパフォーマンスが減少する。ブレーキは、さらに潜在的な故障箇所であり、システムの信頼性を減少させる。

40

【0003】

したがって、故障耐性モードで動作するためにモータの冗長性、速度加算、またはブレーキシステムを必要としない電気モータ制御アクチュエータを提供することが望ましい。

【発明の概要】

【0004】

本明細書の実施形態は、固定子ケース内に拘束されている少なくとも4つのコイル素子を有する、フォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ(fault tolerant virtual elliptical electric moto

50

r)を提供する。ドライブプレートは、章動運動のための支点によって支持され、かつ少なくとも4つのコアセグメントを有し、各々のコアセグメントは、起動時に吸引するための少なくとも4つのコイル素子のそれぞれの1つに関連する。制御プロセッサは、受信した位置指令および受信したウォブル角度インプットに応答して、起動のために、少なくとも4つのコイル素子の各々に独立した電流制御を提供し、それにより、少なくとも4つのコイル要素がドライブプレート上において純粋なトルク和の構成で動作するように誘導される。

【0005】

本実施形態は、ドライブプレートに取り付けられた回転フランジを提供することにより航空機表面用のアクチュエータに用いることが可能であり、該回転フランジは、空力表面に関連する作動要素への接続に適合する。

10

【0006】

開示される実施形態を用いるアクチュエータを制御する方法は、位置指令を受信することによって達成される。章動ドライブプレートのウォブル角度が決定され、かつ複数の少なくとも4つの固定コイル素子のうちの少なくとも3つに対する電流が順次制御され、それにより、ドライブプレートの章動が誘導され、受信した位置指令と一致するウォブル角度が達成される。

【0007】

さらに、本発明は、下記の条項による実施形態を含む。

【0008】

20

条項1 - 固定子ケースに拘束されている少なくとも5つのコイル素子と、章動運動のための支点によって支持され、かつ少なくとも5つのコアセグメントを有し、その各々が起動に際して吸引するための少なくとも5つのコイル素子のそれぞれの1つに関連する、ドライブプレートと、および

受信した位置指令および受信したウォブル角度インプットに応答して、起動のために、少なくとも5つのコイル素子の各々に独立した電流制御を提供し、前記少なくとも5つのコイル要素がドライブプレート上において純粋なトルク和の構成で動作する、制御プロセッサと

を備える、フォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【0009】

30

条項2 - 各コイル素子が、

固定コアと、および

コイル内に電流を導入する際にコアの磁化のための固定コアと動作可能に関連するコイルと、

を備える、条項1に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【0010】

条項3 - ドライブプレートには、外側ペリサイクリックギア (outer pericyclic gear) および内側ペリサイクリックギア (inner pericyclic gear) が組み込まれ、

外側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合した反応ペリサイクリックギアを有する反応プレートと、および

40

内側ペリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合したドライブペリサイクリックギアを有するドライブプレートと

をさらに備える、条項1に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【0011】

条項4 - 反応プレートに接続され、かつ構造体に取り付けるための固定接続部を有する、ケースと、および

ドライブプレートに取り付けられ、かつ作動要素への接続に適合した、回転フランジとをさらに備える、条項3に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モ

50

ータ。

【 0 0 1 2 】

条項 5 - ケース内でドライブプレートを回転自在に支持するように適合されたブッシングをさらに備える、条項 4 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 3 】

条項 6 - 制御プロセッサにウォブル角度インプットを提供する少なくとも 2 つの位置センサをさらに備える、条項 1 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 4 】

条項 7 - 少なくとも 2 つの位置センサが、6 つの位置センサを備える、条項 6 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 5 】

条項 8 - 少なくとも 5 つのコイル素子が、6 つのコイル素子を備え、少なくとも 5 つのコアセグメントが、6 つのコアセグメントを備える、条項 1 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 6 】

条項 9 - 少なくとも 5 つのコイル素子の各々に関連する永久磁石をさらに備える、条項 1 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 7 】

条項 10 - 前記制御プロセッサが、ウォブル角度に基づいてアクチュエータの現在位置を決定し、かつ受信した位置指令に基づいてドライブプレートを現在位置から所望位置まで回転させるのに必要なトルク指令を決定するためのプログラムされたソフトウェアモジュールを含む、条項 1 に記載のフォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 1 8 】

条項 11 - 空力表面と、および  
フォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータと  
を備える航空機の制御翼面システムであって、  
該フォールトトレラントバーチャルエリプティカル電気モータが、  
固定子ケースに拘束されている少なくとも 5 つのコイル素子と、  
章動運動のための支点によって支持され、かつ少なくとも 5 つのコアセグメントを有し、  
その各々が起動に際して吸引するための少なくとも 5 つのコイル素子のそれぞれの 1 つ  
に関連する、ドライブプレートと、

ドライブプレートに取り付けられ、かつ空力表面に関連する作動要素への接続に適合した、  
回転フランジと、および

受信した位置指令および受信したウォブル角度インプットに応答して、起動のために、  
少なくとも 5 つのコイル素子の各々に独立した電流制御を提供し、前記少なくとも 5 つの  
コイル要素がドライブプレート上において純粋なトルク和の構成で動作する、制御プロセ  
ッサとを有する、  
航空機の制御翼面システム。

【 0 0 1 9 】

条項 12 - ドライブプレートには、外側ベリサイクリックギアおよび内側ベリサイクリックギアが組み込まれ、

外側ベリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合した反応ベリサイクリックギアを有する  
反応プレートと、  
内側ベリサイクリックギアの嵌め込み係合に適合したドライブベリサイクリックギアを有  
するドライブプレートと、

ドライブプレート、コイル素子、および反応プレートを封入するケースであって、  
反応プレートに接続され、かつ構造体に取り付けるための固定接続部を有する、ケース

10

20

30

40

50

と

をさらに備える、条項 1 1 に記載の航空機の制御翼面システム。

【 0 0 2 0 】

条項 1 3 - ケース内でドライブプレートを回転自在に支持するように適合されたブッシングをさらに備える、条項 1 1 に記載の航空機の制御翼面システム。

【 0 0 2 1 】

条項 1 4 - 制御プロセッサにウォブル角度インプットを提供する少なくとも 2 つの位置センサをさらに備える、条項 1 1 に記載のフォールトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 2 2 】

条項 1 5 - 少なくとも 2 つの位置センサが、6 つの位置センサを備える、条項 1 4 に記載のフォールトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 2 3 】

条項 1 6 - 少なくとも 5 つのコイル素子が、6 つのコイル素子を備え、少なくとも 5 つのコアセグメントが、6 つのコアセグメントを備える、条項 1 1 に記載のフォールトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 2 4 】

条項 1 7 - 少なくとも 5 つのコイル素子の各々に関連する永久磁石をさらに備える、条項 1 1 に記載のフォールトレラントバーチャルエリプティカル電気モータ。

【 0 0 2 5 】

条項 1 8 - 位置指令を受信することと、  
支点に備え付けられた章動ドライブプレートのウォブル角度を決定することと、およびドライブプレート内の関連するコアセグメントを吸引するために、複数の少なくとも 5 つの固定コイル素子のうちの少なくとも 3 つに対して電流を順次制御し、それにより、ドライブプレートの章動を誘導し、受信した位置指令と一致するウォブル角度を達成することと  
を含む、アクチュエータを制御する方法。

【 0 0 2 6 】

条項 1 9 - 電流を順次制御するステップが、各コイル内の電流調節を行い、そのコイルと関連するセクターに対して、計算されたウォブル角度変化を達成することを含み、前記電流調節は、任意の他のコイル素子に対する電流制御から独立している、条項 1 8 に記載のアクチュエータを制御する方法。

【 0 0 2 7 】

条項 2 0 - 複数の少なくとも 5 つの固定コイル素子が、1 2 0 度で離間された 3 つのコイル素子の第 1 セットおよび 3 つのコイル素子の第 2 セットを備え、第 2 セット内の各コイルは第 1 セット内の 2 つのコイルに介在し、

故障したコイルを特定することと、

故障したコイルを含む 3 つのコイルの第 1 セットへの制御電力を取り除くことと、および

コイルの第 2 セットに対して電流を 1 . 7 倍に増加させることと  
をさらに含む、条項 1 8 に記載のアクチュエータを制御する方法。

【 0 0 2 8 】

既に説明した特徴、機能および利点は、本発明の様々な実施形態で独立に実現することが可能であり、またはさらなる別の実施形態で組み合わせることが可能であり、その詳細は以下の説明および図面を参照すると理解できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 9 】

【図 1】図 1 は、翼に組み込まれた本発明の実施形態による、例示的な空力表面アクチュエータ ( a e r o d y n a m i c   s u r f a c e   a c t u a t o r ) の等角投影破断図である。

10

20

30

40

50

【図 2】図 2 は、アクチュエータの実施形態の詳細図である。

【図 3】図 3 は、バーチャルエリプティカル電気モータの要素を示す第 1 のパースペクティブ内のアクチュエータの分解図である。

【図 4】図 4 は、第 2 のパースペクティブ内のアクチュエータの分解図である。

【図 5】図 5 は、例示的な実施形態のコイルシステムの等角図である。

【図 6 A】図 6 A は、ロータギア、ならびに出力プレートおよび反応プレートのドライブギアの係合の側面図である。

【図 6 B】図 6 B は、ロータギア、および明瞭に示すために反応プレートを除いた出力プレートの係合の側面図である。

【図 7】図 7 は、アクチュエータ制御要素のブロック図である。

【図 8】図 8 は、故障条件を含むアクチュエータの制御のための、本明細書に開示されるシステムの実施形態を用いる方法のフロー図である。

【0030】

本開示に示される各図は、提示される実施形態の態様の変形例を示し、違いのみが詳細に説明される。

【発明を実施するための形態】

【0031】

本明細書に開示されている実施形態は、独立して動作するが、すべて同じ出力プレート上で速度加算工程の代わりに純粋なトルク和で動作する、3つを超えるコイルセグメントを備えるバーチャルエリプティカル電気モータを用いたアクチュエータを提供する。任意のコイルが故障するか、あるいはコイル用コントローラがコイルの動作停止に失敗すると、トルクの合計は減少するが、残りのコイルに対する増大したトルク指令により、故障したコイルからのトルクの欠如が調整される。故障したコイルまたはそのコントローラは、コイルの純粋なトルク和工程のために、モータの動作に対して全く影響をもち、フォールトが起きた後にシステムをオンラインにもってくる遷移時間は必要とされない。

【0032】

図面を参照すると、図 1 は、航空機の制御翼面システムを提供する補助翼、スポイラ、またはフラップなどの空力表面 12 を有する航空機の翼 10 を示す。本実施形態によるアクチュエータ 14 は、作動力の反応のための翼構造要素 18 などの固定構造体に対する固定接続部 16 を有する。ドライブ接続部 20 は、空力表面 12 の作動要素に取り付けられる。

【0033】

アクチュエータ 14 は、図 2 に詳細に示される。固定接続部 16 は、アクチュエータ用のケース 22 から直接延在する。ドライブ接続部 20 は、回転フランジ 21 から延在する。示される実施形態については、固定接続部 16 およびドライブ接続部 20 は、作動ロッド内のモノボールベアリング内で受け入れられる円筒形端部要素として示される。代替的な実施形態では、続いてより詳細に説明される、回転フランジ 21 または回転出力プレートに直接接続されたロッド端部またはフランジなどの他の接続構成、およびアクチュエータケース 22 が用いられうる。

【0034】

図 3 および 4 の分解図に示されるように、アクチュエータには、複数の固定子コイル素子 26 (図 3 に示され、続いて図 5 に関連してより詳細に説明される) を支持する固定子ケース 24 を有するバーチャルエリプティカル電気モータが組み込まれる。示される実施形態では、6つの固定子コイル素子 26 が示されるが、代替的な実施形態では、4つよりも大きい任意の数が用いられうる。ドライブプレート 28 には、固定子コイル素子 26 のための一致するコアセグメント 30 (図 4 に示される) が組み込まれる。コアセグメント 30 は、ドライブプレート 28 をセクターに分割し、各セクターはコイル素子 26 に関連する。ドライブプレート 28 は、外周に近接する外側ペリサイクリックギアリング 32 および外側ギアリングから半径方向内方にある内側ペリサイクリックギアリング 34 をさらに有する。固定または反応ギアプレート 36 には、ドライブプレート 28 上の外側ペリサ

10

20

30

40

50

イクリックギアリング 3 2 と嵌め込み係合する反応ペリサイクリックギアリング 3 8 ( 図 4 に示される ) が組み込まれる。回転出力プレート 4 0 には、ドライブプレート 2 8 上の内側ペリサイクリックギアリング 3 4 と係合するための回転ドライブペリサイクリックギアリング 4 2 ( 図 4 に示される ) が組み込まれる。プッシング 4 4 は、回転出力プレート 4 0 を支持する。バーチャルエリプティカル電気モータは、固定子ケース 2 4 が受け入れられるベース 4 6 を有するアクチュエータケース 2 2 内で支持される。カバー 4 8 は、ボルト 4 7 でベース 4 6 に取り付けられ、プッシング 4 4 を支持する。反応リング 5 0 は、反応ギアプレート 3 6 をボルト 4 9 および 5 1 のそれぞれでカバー 4 8 に係合させる。回転フランジ 2 1 は、回転出力プレート 4 0 にボルト 4 1 で取り付けられる。

#### 【 0 0 3 5 】

固定子ケース 2 4 および固定子コイル素子 2 6 の詳細は、図 5 に示される。従来の電気モータとは違って、各々の固定子コイル素子 2 6 の駆動用コイル 5 2 は、固定コア 5 4 上に位置する。電流の導入によるコイル 5 2 の起動に際して、コア 5 4 は、ドライブプレート 2 8 上の対応しかつ一致するコアセグメント 3 0 を吸引する。ドライブプレート 2 8 は、ウォブルプレートとして、図 6 A および 6 B に示される支点 5 6 によって支持され、コイル 5 2 の順次的な起動とともに支点上で章動する。動作中、ドライブプレート 2 8 内の第 1 の一致するコアセグメント 3 0 ( 図 4 に示される ) は、矢印 5 7 で示されているように、関連する固定子コイル素子 2 6 ( 図 3 および 5 に示される ) へと電磁的に引き付けられ、ドライブプレート 2 8 の正反対の部分は、反応ギアプレート 3 6 および回転出力プレート 4 0 に対して押圧され、それとともに、外側ペリサイクリックギアリング 3 2 および内側ペリサイクリックギアリング 3 4 ( 図 3 に示される ) の関連する部分が反応ペリサイクリックギアリング 3 8 およびドライブペリサイクリックギアリング 4 2 ( 図 4 に示される ) によってそれぞれ係合する。コイル 5 2 を順次的に起動させることにより、ドライブプレート 2 8 が支点 5 6 上で章動する。ペリサイクリックギアの性質により、下降するギアが半径方向外方向に動く一方で、半径方向内方向の上昇するギアに相対運動がもたらされる。回転出力プレート 4 0 上の回転ペリサイクリックギア 4 2 に対してドライブプレート 2 8 の内側ペリサイクリックギア 3 4 を順次的に係合させてかつ駆動させることにより、ドライブプレート 2 8 が支点 5 6 の周りを章動するにつれて、回転出力プレート 4 0 が回転するように駆動される。アクチュエータケース 2 2 ( ベース 4 6 およびカバー 4 8 によって形成される ) に対する回転運動の反応は、反応リング 3 6 上の反応ペリサイクリックギア 3 8 に係合するドライブプレートの外側ペリサイクリックギア 3 2 によってもたらされる。外側および反応ペリサイクリックギア上に 1 8 0 個の歯、ならびに内側およびドライブペリサイクリックギア上に 1 7 9 個に歯がある例示的な実施形態では、1 8 0 対 1 のギア比が達成され、生成されたトルクに対する高い機械的利点とともに非常に正確な制御が可能になる。

#### 【 0 0 3 6 】

バーチャルエリプティカル電気モータの制御は、指令されたトルクに応答して、一または複数の位置センサを用い、かつコイル素子 2 6 を起動させる、ドライブプレート 2 8 のウォブル角度を測定することによって達成される。各コイル素子は、すべての他のコイルとは独立して指令を受ける。図 7 に示されるように、位置センサ 6 0 および電流センサ 6 2 は、各コイル素子に関連する ( 図面で示される実施形態では、6 つの位置センサおよび 6 つ電流センサ ) 。代替的な実施形態では、9 0 度または 1 2 0 度で離間される最低 2 つの位置センサ、例えばドイツのオルテンブルグにあるマイクロエプシロン社 ( MICRO - EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co. KG ) から入手可能な渦電流プローブが用いられる可能性があり、それによりウォブル角度の行列式を完全に計算することができる。制御プロセッサ 6 4 は、飛行制御コンピュータまたは類似する指令デバイスからアクチュエータ 1 4 のための位置指令 6 5、および位置センサ 6 0 および電流センサ 6 2 からのインプットを受信する。制御プロセッサ 6 4 には、ウォブル角度に基づいてアクチュエータの現在位置を決定 7 0 し、かつ受信した位置指令に基づいてドライブプレート 2 8 を現在位置から所望位置まで回転させるのに必要なトルク指令を決定

10

20

30

40

50

72 するためのプログラムされたソフトウェアモジュールが組み込まれる。計算された電流出力74が、起動のために、ケーブル66（図3および4に示される）を通して各コイル素子に順次的に印加され、所望の位置にドライブプレート28が章動する結果となる。取り付けケーブル68（図3および4に示される）を通して提供される位置センサからのフィードバックを通して、起動されたコイル素子内の電流は制御プロセッサ64によって制御され、それにより、そのコイル素子、および他のコイル素子を参照することなく位置センサによって決定された位置に対して所望の位置変化が達成される。したがって、その素子に対するコイル素子またはコントローラの故障は、所望の位置変化のために隣接するコイル素子に追加の電流が適用されるので、モータの動作を阻害しない。コイル素子は、純粋なトルク和で動作し、ドライブプレート28の章動をもたらす。

10

#### 【0037】

制御プロセッサの動作は、図8のフロー図に示される。バーチャルエリプティカル電気モータのアクチュエータを制御する方法は、章動ドライブプレートを引きおろし、かつ押さえつけることによって、ベースまたはゼロ回転子位置（zero rotor position）を決定することによって開始する（ステップ800）。ドライブプレートは、固定子が既知および通常の方法でドライブプレートに対して力を印加するために、既知のおよび有効な位置になければならない。少なくとも1つのコイルが、そのコイル（完全に停止している）に対して最大傾斜角になるまでドライブプレートを引くために、励磁される。位置センサによる位置測定は、次いでゼロ位置を確立する。次いで位置指令が受信される（ステップ802）。章動ドライブプレートのウォブル角度は、位置センサからのインプットに基づいて制御プロセッサにより決定され、それにより、固定子コイルの位置に対するドライブプレートのダウンポイントの相対位置が確立される（ステップ804）。電流のインプットは、次いで、複数の少なくとも5つの固定コイル素子のうちの少なくとも3つに対して電流を印加するために、制御プロセッサによって順次的に制御され、それにより、ドライブプレートの章動が誘導され、受信した位置指令と一致するウォブル角度が達成される（ステップ806）。コイルに対する電流の印加は、力ベクトルの印加として決定される。位置測定を使用して、すべての固定子コイルに対して電流の大きさの組み合わせが印加される。これらの電流によって生成された力は、磁気吸引を通して、回転子上のベクトルとして1つにまとめられ、所望のホールドダウンおよびトルクを生成する。これらのベクトルは、互いに独立しており、それらの固定子位置において力を印加することしかできない。回転子の完全な制御を提供するために、90度より大きい角度で間隔を空けて離間した3つのベクトルのみが必要とされる。これらの電流は、回転子とそのサイクルを通して動くにつれて変調される。電流は、動作可能であるならば、すべてのコイル素子に順次的に印加されうる。電流は各コイル内で調整され、そのコイルと関連するセクターに対して、計算されたウォブル角度変化が達成され、それは任意の他のコイル素子に対する電流制限から独立している（電流制御から独立した電流調節）（ステップ808）。5つ以上のコイルの任意の構成では、任意の単一コイルの故障および非隣接のコイルの任意の2重故障は、少なくとも3つの残りのコイルが、160度より小さい角度で互いに離間する結果となる。より多くの数のコイルに関しては、少なくとも3つのコイルが、3つのコイルのうちの任意の2つのコイルの間に160度より小さい角度で残りのコイルの間に残る限り、複数のコイル故障は調整されうる。

20

30

40

#### 【0038】

例示的な一実施形態では、6つのコイルおよび回転子コアセグメントは、それぞれ固定子の周りに120度で間隔を空けて離間した3つのコイル（3つのコイル素子）からなる2つの独立したセットを、第1セットの各コイルが第2セットの2つのコイルに介在する状態で提供する。位置測定を使用して、固定子コイルの各セットに対して電流の大きさの組み合わせが印加される。これらの電流によって生成された力は、磁力によって、回転子上のベクトルとして1つにまとめられ、所望のホールドダウンおよびトルクを生成する。これらの電流は、回転子とそのサイクルを通して動くにつれて変調される。すべての力が独立しているため、3相電流の2つのセットは、相対的な回転子位置によって修正されたト

50

ルク指令に比例する。ベクトル和の大きさは、何らかの誤差（例えば、位置、速度、加速度）にตอบสนองして、モータコントローラによって制御される。すべてのコイルおよび／またはコントローラがアクティブな場合、個別のコイルは、回転子の全サイクルまたはウォブルにわたって平均電流を有することになる。一または複数のコイルが動作しなくなると、動作しなくなったコイルを含む３つのコイルのセットは非励磁化され、所望の力を生成するのに必要なベクトル和は、同一のままでなければならないため、残りのコイル内の平均電流は単純に１．７倍されて損失を補てんする。それ以外の変更は必要とされない。

#### 【 0 0 3 9 】

コイル素子の故障をさらに調整するために、永久磁石 5 8 は、図 5 に示される各コイル素子 2 6 と関連することができ、それにより、ドライブプレート 2 8 のコアセグメント 3 0 のための追加のホールドダウン力が供給される。関連するコイル 5 2 が固定コア 5 4 の磁化のために励磁されておらず、それにより、ドライブプレート 2 8 を非アクティブなコイルの上に持ち上げるためにギア反応の任意の傾向を中和する場合でも、章動ドライブプレート 2 8 は各コアセグメントを関連する永久磁石に近接して順次的に配置し、磁石はドライブプレート 2 8 内のコアセグメント 3 0 のための吸引力を提供する。これは、ドライブプレートが、故障したコイルのセクターを通してウォブルする能力を高める。示された実施形態では、永久磁石 5 8 は、ドライブプレート 2 8 の章動の周囲との緊密な接触のために、固定子ケース 2 4 の外周に近接して位置付けされる。

#### 【 0 0 4 0 】

ドライブプレート内の関連するコアセグメントを吸引するために関連するコイルおよび固定コアとともに少なくとも５つのコイル素子を提供することにより、１つのコイル素子の故障は、バーチャルエリプティカル電気モータの動作に影響することはない。前述のように３つのコイルからなるセット２つで動作する６つのコイルシステム内で電流能力を７０％オーバーサイジングすることは、コイルのセットが、動作していないコイル素子と関連するセクターを通してドライブプレートの章動をオーバードライブさせるために十分な電流を受信することを可能にする。システム内に組み込まれた各追加コイル素子は、モータ内の追加の非隣接の故障コイルを許容する能力を提供することになる。本明細書に記載されている実施形態の例示的な６つのコイル素子構成は、６つのコイルすべてが独立して制御されて動作するとき、モータの動作に影響を与えることなく、３つの非隣接コイルまたは２つの隣接コイルの故障を調整する。

#### 【 0 0 4 1 】

ここで本発明の様々な実施形態を特許法で要求されるように詳しく説明してきたが、当業者は本明細書に開示された特定の実施形態への変形例および代替例を認識するだろう。上記変形例は、下記の請求項に定義された本発明の範囲および目的に含まれるものである。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 4 2 】

- 1 0 航空機の翼
- 1 2 空力表面
- 1 4 アクチュエータ
- 1 6 固定接続部
- 1 8 翼構造要素
- 2 0 ドライブ接続部
- 2 2 アクチュエータ用のケース
- 2 1 回転フランジ
- 2 2 アクチュエータケース
- 2 4 固定子ケース
- 2 6 固定子コイル素子
- 2 8 ドライブプレート
- 3 0 コアセグメント

10

20

30

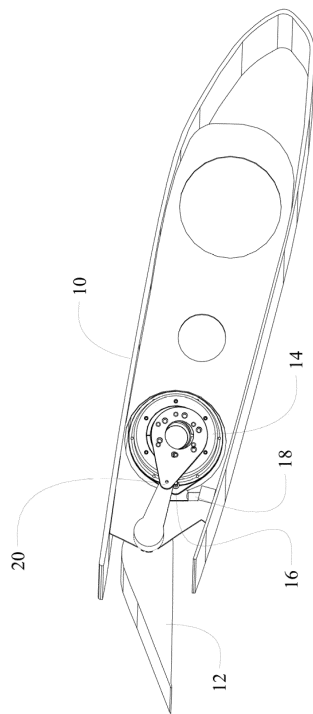
40

50

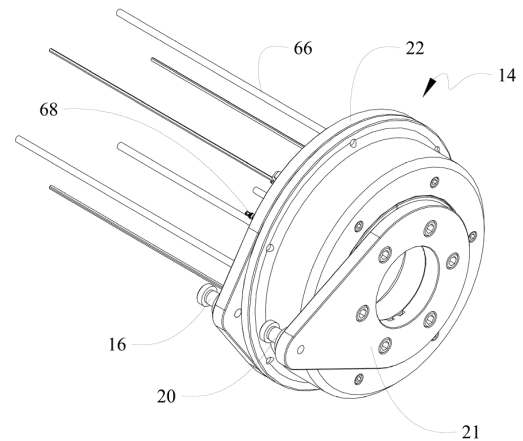
- 3 2 外側ペリサイクリックギアリング
- 3 4 内側ペリサイクリックギアリング
- 3 6 固定または反応ギアプレート、反応リング
- 3 8 反応ペリサイクリックギアリング
- 4 0 回転出力プレート
- 4 2 回転ドライブペリサイクリックギアリング
- 4 4 ブッシング
- 4 6 ベース
- 4 7 ボルト
- 4 8 カバー
- 5 0 反応リング
- 4 9、5 1 ボルト
- 5 2 駆動用コイル
- 5 4 固定コア
- 5 6 支点
- 5 8 永久磁石
- 5 7 矢印
- 6 6 ケーブル
- 6 8 取り付けケーブル

10

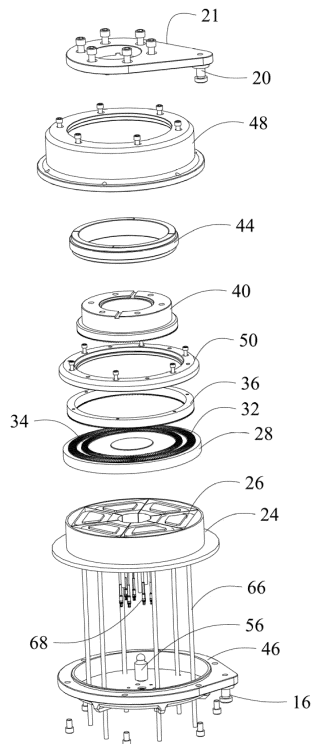
【図 1】



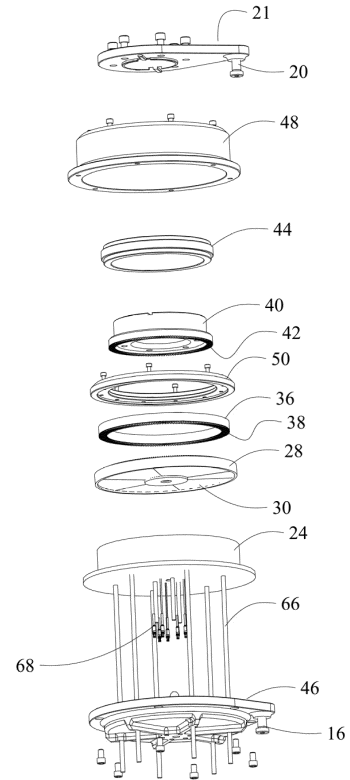
【図 2】



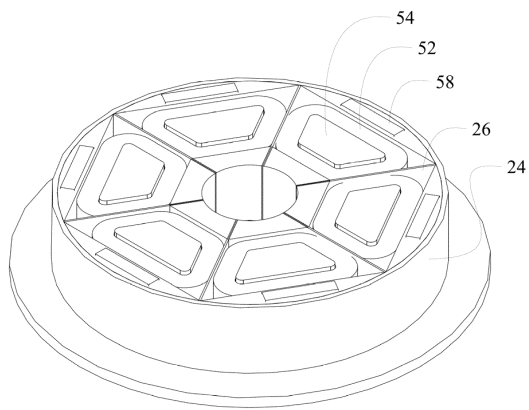
【図 3】



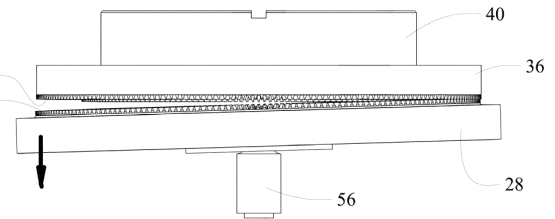
【図 4】



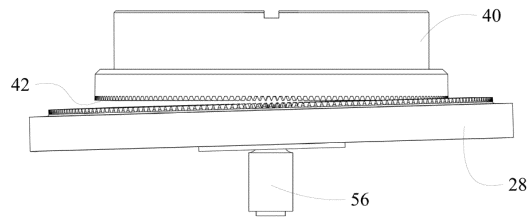
【図 5】



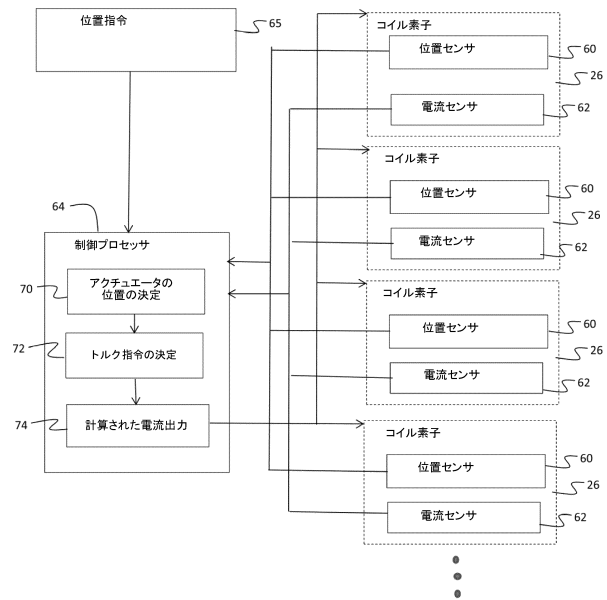
【図 6 A】



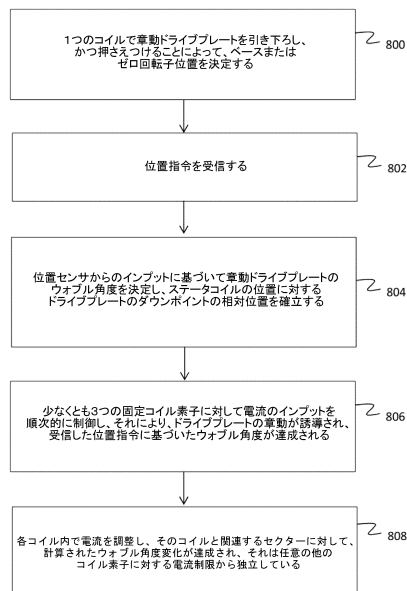
【図 6 B】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

合議体

審判長 堀川 一郎

審判官 長馬 望

審判官 柿崎 拓

(56)参考文献 特開昭 6 1 - 2 2 7 5 2 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02K 7/116

F16H 1/32