(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2023-523021
(P2023-523021A)
(43)公表日　令和5年6月1日(2023.6.1)

(51)国際特許分類　FI
G01P 3/36 (2006.01)　G01P 3/36 C
G01L 3/12 (2006.01)　G01L 3/12

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全20頁）

(21)出願番号　特願2022-564556(P2022-564556)
(86)(22)出願日　令和3年4月20日(2021.4.20)
(85)翻訳文提出日　令和4年11月15日(2022.11.15)
(86)国際出願番号　PCT/US2021/028104
(87)国際公開番号　WO2021/216511
(87)国際公開日　令和3年10月28日(2021.10.28)
(31)優先権主張番号　63/014,236
(32)優先日　令和2年4月23日(2020.4.23)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　17/183,068
(32)優先日　令和3年2月23日(2021.2.23)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA
最終頁に続く

(71)出願人　522413504
シーエーエムエックス パワー リミティド ライアビリティ カンパニー
アメリカ合衆国，マサチューセッツ ０２４２１，レキシントン，ハートウェル アベニュ ３５
(74)代理人　100099759
弁理士　青木 篤
(74)代理人　100123582
弁理士　三橋 真二
(74)代理人　100092624
弁理士　鶴田 準一
(74)代理人　100114018
弁理士　南山 知広
(74)代理人　100153729
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　回転シャフトの回転位置を測定するための画像ベースのセンサ

(57)【要約】
非接触センサは、回転可能なシャフトの表面の一部の画像データを取得するように構成された画像センサと画像センサに通信可能に結合された電子制御ユニットと、を含む。電子制御ユニットは、画像センサから複数のフレームを有する画像データを受信して、画像データを電子制御ユニットのメモリ要素に記憶し、画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間の変化を判定し、変化と、画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置を決定し、回転シャフトの回転位置を記憶する。
【選択図】図１

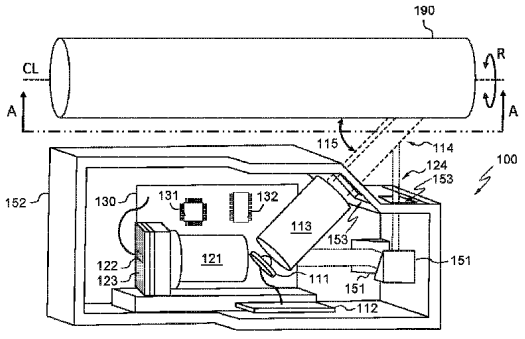


FIG. 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
回転シャフトの表面の一部の画像データをキャプチャするように構成されている画像センサと、
前記画像センサに通信可能に結合された電子制御ユニットであって、
複数の画像フレームを備える画像データを前記画像センサから受信して、前記画像データを前記電子制御ユニットのメモリ要素に記憶し、
前記画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化を判定し、
前記変化及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、前記画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの回転位置を判定し、
前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの前記回転位置を、前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する、よう構成されている電子制御ユニットと、を備える
非接触センサ。
【請求項２】
前記画像データの前記第２フレームは、前記画像データの前記第１フレームがキャプチャされる回転に続く前記回転シャフトの回転中にキャプチャされる、請求項１に記載の非接触センサ。
【請求項３】
前記回転シャフトの表面を斜めに照明するように構成された照明装置をさらに備え、前記画像センサは、前記回転シャフトの前記照明された表面の一部から画像データをキャプチャするよう構成されている、
請求項１に記載の非接触センサ。
【請求項４】
前記回転シャフトの表面に衝突する前記照明装置から放射された光の光路の入射角は、衝突点における前記回転シャフトの表面に接する平面に対して３５度から５５度の間である、請求項３に記載の非接触センサ。
【請求項５】
前記照明装置は、１．０mm^2より大きい発光面積を有するＬＥＤである、請求項３又は４に記載の非接触センサ。
【請求項６】
前記照明装置は、約６１０ｎｍと約６７０ｎｍとの間の中心波長を有する光を放射する、請求項３又は４に記載の非接触センサ。
【請求項７】
前記照明装置は、前記照明装置から前記回転シャフトの表面に放射される光の光路を形成する１つ以上の光学素子を介して、前記回転シャフトの表面を斜めに照明し、前記１つ以上の光学素子は、非球面屈折レンズ要素、両凸若しくは平凸球面屈折レンズ要素、又はミラー要素のうちの少なくとも１つを含む、請求項３又は請求項４に記載の非接触センサ。
【請求項８】
前記電子制御ユニットはさらに、
前記画像データの前記第１フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの回転位置と、前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの回転位置との間の前記回転シャフトが横断する回転距離、及び前記画像データの前記第１フレームの取得時間と前記画像データの前記第２フレームの取得時間との間の経過時間に基づいて前記回転シャフトの回転速度を計算し、
前記回転速度を前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する、よう構成されている、

請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項９】
前記経過時間は、前記第１フレームから前記第２フレームまでのフレーム数及び前記画像センサのフレームレートに基づいて判定される、請求項８に記載の非接触センサ。
【請求項１０】
前記画像センサは、モノクロＣＭＯＳ画像センサである、請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項１１】
前記画像センサは、赤色から近赤外スペクトル範囲での応答が増強されたモノクロＣＭＯＳ画像センサである、請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項１２】
前記画像センサの光路は、前記回転シャフトの表面上の衝突点において、前記回転シャフトの半径を名目上たどる、請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項１３】
前記画像センサの画素配列は、前記画像センサからの画像データの列が前記回転シャフトの回転方向と名目上一列に並ぶよう、整列されている、請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項１４】
前記画像センサの画素配列は、複数の画素を備え、前記電子制御ユニットによって受信される前記画像データは、前記画素配列の複数の前記画素の総数よりも少ない数により定められる、請求項１－４のいずれか１項に記載の非接触センサ。
【請求項１５】
複数の画像フレームを備える画像データを画像センサから受信して、前記画像データを電子制御ユニットのメモリ要素に記憶し、
前記画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化を判定し、
前記変化及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、前記画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置を判定し、
前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの前記回転位置を、前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する、
方法。
【請求項１６】
前記画像データの前記第１フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの回転位置と、前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの回転位置との間の前記回転シャフトが横断する回転距離、及び前記画像データの前記第１フレームの取得時間と前記画像データの前記第２フレームの取得時間との間の経過時間に基づいて前記回転シャフトの回転速度を計算し、
前記回転速度を前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する、
ことをさらに備える、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記経過時間は、前記第１フレームから前記第２フレームまでのフレーム数及び前記画像センサのフレームレートに基づいて判定される、請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記画像センサは、モノクロＣＭＯＳ画像センサである、請求項１５－１７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１９】
前記画像センサは、赤色から近赤外スペクトル範囲での応答が増強されたモノクロＣＭＯＳ画像センサである、請求項１５－１７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項２０】

前記画像センサの画素配列が、前記画像センサからの画像データの列が前記回転シャフトの回転方向と名目上一列に並ぶよう、整列されている、請求項１５－１７のいずれか１項に記載の方法。

【請求項２１】

演算装置に通信可能に結合された第１非接触センサ及び第２非接触センサであって、

前記第１非接触センサは、回転シャフトの表面の第１部分の画像データをキャプチャするように構成されている第１画像センサを備え、

前記第２非接触センサは、前記回転シャフトの表面の第２部分の画像データをキャプチャするように構成されている第２画像センサを備え、前記第１部分及び前記第２部分は、前記回転シャフトに沿って軸方向に分離され、

前記演算装置は、

第１画像データを前記第１画像センサから受信し、第２画像データを前記第２画像センサから受信し、前記第１画像データ及び前記第２画像データはそれぞれ複数の画像フレームを備え、

前記第１画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記第１画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第１変化を判定し、

前記第１変化及び前記第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた第１関係に基づいて、前記第１画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの第１回転位置を判定し、

前記第２画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記第２画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第２変化を判定し、

前記第２変化及び前記第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた第２関係に基づいて、前記第２画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの第２回転位置を判定し、

前記回転シャフトの前記第１回転位置と前記第２回転位置との間の角度差を計算し、これにより、前記回転シャフトの前記第１部分と前記第２部分との間の前記回転シャフトのねじりたわみを判定し、前記回転シャフトの前記ねじりたわみを前記演算装置のメモリ要素に記憶する、よう構成されている、

システム。

【請求項２２】

前記第１非接触センサは、前記回転シャフトの表面の前記第１部分を斜めに照明するように構成された照明装置をさらに備え、前記第１画像センサは、前記回転シャフトの前記照明された表面の一部から画像データをキャプチャするように構成され、

前記第２非接触センサは、前記回転シャフトの表面の前記第２部分を斜めに照明するように構成された照明装置をさらに備え、前記第２画像センサは、前記回転シャフトの前記照明された表面の一部から画像データをキャプチャするように構成されている、

請求項２１に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

（政府による支援宣言）

本発明の一部は、海軍省によって授与された契約番号Ｎ６８３３５－１６－Ｃ－０４９５の下で、政府の支援を受けて作成された。政府は、本発明に一定の権利を有する。

【０００２】

（関連出願への相互参照）

本出願は、２０２１年２月２３日に出願された「IMAGE-BASED SENSOR FOR MEASURING ROTATIONAL POSITION OF A ROTATING SHAFT」と題する米国特許出願第１７/１８３０６８号、及び２０２０年４月２３日に出願された「IMAGE-BASED

SENSOR FOR MEASURING ROTATIONAL POSITION OF A ROTATING SHAFT」と題する米国特許仮出願第６３/０１４２３６号の利益を主張し、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【０００３】

本明細書は、一般に、回転機械に関し、より詳細には、回転機械の回転位置を判定し、並びに／又は回転機械の速度及びトルクを測定するための非接触センサシステムに関する。

【背景技術】

【０００４】

回転シャフトの瞬間的な回転位置を正確に測定することは、基本的な検出機能である。シャフト回転位置データストリームを数値的に微分して、瞬間的なシャフト回転速度の測定値を得ることができる。トルクが掛かっている回転シャフト上の軸方向に離れた２点からの回転位置データストリームを使用して、瞬間的なねじりシャフトのたわみを計算することができる。トルクとシャフトのねじりたわみとの間の量的な関係が特徴付けられている場合、ねじりシャフトのたわみを使用して、シャフト上の瞬間的なトルクを計算することができる。

【０００５】

回転機械における瞬間的なシャフト回転位置、回転速度及びトルクの測定は、条件に基づく保守のための部品使用のトラッキング及び異常検出、事象診断、同期自動化、リアルタイム制御のためのフィードバック、並びにシステムダイナミクスの特徴付けを含むが、これらに限定されない用途を有する。

【０００６】

シャフトの回転位置、回転速度及び／又はトルクを測定するための、種々の確立された実験的検出技術がある。これらは、磁気及び光学エンコーダ、レゾルバ、ホール効果センサ、歪みゲージ、可変磁気抵抗センサ、渦電流センサ、磁歪センサ、並びに表面弾性波センサを含む。しかしながら、これらの技術はいずれも、回転体自体に部品を取り付ける必要があり、並びに／又は回転シャフトの材料及び／若しくは設計上の制約を必要とする。

【０００７】

既存の技術によって課される要件及び制限は、いくつかの用途には実用的ではない。このような用途の一例は、既存の航空機駆動シャフトであり、回転体に何らかの変更を加えると、コストの掛かるプロセス変更及び再認定試験を必要とする。したがって、瞬間的な回転位置を測定することができ、さらに、回転シャフトを形成する材料に関係なく、変更されていない回転シャフトの回転速度及びトルクを判定することができる非接触センサが必要とされている。

【発明の概要】

【０００８】

以下の要約は、本開示に特有の革新的な特徴のいくつかの理解を容易にするために提供され、完全な説明であることを意図するものではない。明細書、特許請求の範囲、図面及び要約を全体として捉えることによって、本開示の様々な態様を充分に理解することができる。

【０００９】

第１の態様において、非接触センサは、回転シャフトの表面の一部の画像データをキャプチャするように構成された画像センサと、回転シャフトの表面の一部の画像データをキャプチャするように構成されている画像センサと、前記画像センサに通信可能に結合された電子制御ユニットを含む。前記電子制御ユニットは、複数の画像フレームを備える画像データを前記画像センサから受信して、前記画像データを前記電子制御ユニットのメモリ要素に記憶し、前記画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化を判定し、前記変化及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、前記画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの回転

位置を判定し、前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの前記回転位置を、前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する、よう構成されている。

【００１０】

いくつかの態様では、方法は、複数の画像フレームを備える画像データを画像センサから受信して、前記画像データを電子制御ユニットのメモリ要素に記憶し、前記画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化を判定し、前記変化及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、前記画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置を判定し、前記画像データの前記第２フレームの前記キャプチャ時における前記回転シャフトの前記回転位置を、前記電子制御ユニットの前記メモリ要素に記憶する。

【００１１】

いくつかの態様では、システムは、演算装置に通信可能に結合された第１非接触センサ及び第２非接触センサを含む。前記第１非接触センサは、回転シャフトの表面の第１部分の画像データをキャプチャするように構成されている第１画像センサを含み、前記第２非接触センサは、前記回転シャフトの表面の第２部分の画像データをキャプチャするように構成されている第２画像センサを含み、前記第１部分及び前記第２部分は、前記回転シャフトに沿って軸方向に分離される。前記演算装置はさらに、第１画像データを前記第１画像センサから受信し、第２画像データを前記第２画像センサから受信し、前記第１画像データ及び前記第２画像データはそれぞれ複数の画像フレームを備え、前記第１画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記第１画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第１変化を判定し、前記第１変化及び前記第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた第１関係に基づいて、前記第１画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの第１回転位置を判定し、前記第２画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、前記第２画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第２変化を判定し、前記第２変化及び前記第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた第２関係に基づいて、前記第２画像データの前記第２フレームのキャプチャ時における前記回転シャフトの第２回転位置を判定し、前記回転シャフトの前記第１回転位置と前記第２回転位置との間の角度差を計算し、これにより、前記回転シャフトの前記第１部分と前記第２部分との間の前記回転シャフトのねじりたわみを判定し、前記回転シャフトの前記ねじりたわみを前記演算装置のメモリ要素に記憶する、よう構成されている。

【００１２】

本明細書に記載された態様によって提供されるこれらの及び追加の目的及び利点は、図面と共に以下の詳細な説明を考慮してより完全に理解されるであろう。

【００１３】

[0013]図面に記載された実施形態は、例示的かつ典型的なものであり、特許請求の範囲によって規定される主題を限定することを意図するものではない。例示的な実施形態の以下の詳細な説明は、同様の構造が同じ参照番号で示され、以下の図面と関連して読まれることで理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、回転シャフトの回転位置を測定するための非接触センサの例示的な概略図である。

【図２】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、共通の回転シャフトに沿って又は異なる回転シャフトに沿って回転位置を測定するための複数の非接触センサを実装する例示的なシステムを示す図である。

【図３】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、非接触センサによって

照明され、撮像される表面に沿った回転シャフトの例示的な平面図である。
【図４】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、異なる回転位置で回転シャフト上の表面特徴をキャプチャする第１画像フレーム及び第２画像フレームの例示図である。
【図５】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、画素配列内に配置された複数の画素を有する画像センサの例示図である。
【図６】本明細書に示され説明される１つ以上の実施形態による、回転シャフトの回転位置及び回転シャフト上のトルクを測定するために、２つの別個の軸方向に分離された部分で監視される回転シャフトの例示的な平面図を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
本明細書に記載の装置、システム、及び方法は、一般に、回転シャフトの回転位置を測定するための非接触センサに関し、任意に、回転シャフトの表面上の領域を照明する照明装置を含み、照明装置からの光は回転シャフトの表面に斜めに入射するようになっている。画像センサ及び関連する結像光学系は、画像センサの視野が回転シャフトの表面の一部を含むように、任意には照明された領域内にあるように、光路を形成するように配置される。電子制御ユニットは、電子制御ユニットが画像センサから複数の画像フレームを備える画像データを受信して記憶するように、画像センサに通信可能に結合されている。電子制御ユニットは、１つ以上の信号処理アルゴリズム及び／又は画像処理アルゴリズムを実行して、複数の画像フレームにわたって回転シャフトの表面上の表面特徴を追跡する。電子制御ユニットは、本明細書に記載されるように、画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化に基づいて、及び画像空間と対象空間との間で定量的に特徴づけられた関係に基づいて、回転シャフトの回転位置を計算し、かつメモリ要素内に出力及び／又は記憶する。回転シャフトの回転位置を判定するために使用される表面特徴は、自然に発生するか、偶発的に生成されるか、又は意図的に生成される。例えば、限定するものではないが、表面の特徴は、回転シャフトの製造及び／又は使用から生じる可能性のある、機械加工痕、塗装若しくは他の表面仕上げの欠陥、条痕、流線、変色等であってもよい。
【００１６】
次に、回転シャフトの回転位置を測定するための非接触センサについてより詳細に説明する。
【００１７】
ここで、同様の番号が同様の構造を示す図面を参照して、特に図１を参照すると、一実施形態による回転シャフト位置を判定するための例示的な非接触センサ100が示される。図示の非限定的な実施形態では、非接触センサ100は、照明装置駆動回路112によって駆動され、照明光学系113によって回転シャフト190の表面上に光路114に沿って集束された照明装置111を含み、光路114は、衝突点で表面に接する平面に対して斜めの入射角115で衝突する。非限定的な例として、入射角115は３５度と５５度との間であってもよい。いくつかの実施形態では、入射角は、０度より大きく９０度未満であってもよい。いくつかの実施形態では、入射角は、約５度、約１０度、約１５度、約２０度、約２５度、約３０度、約３５度、約４５度、約４５度、約６０度、約６５度、約７０度、約７５度、約８０度、約８５度、又は１度と８９度との間の任意の角度であってもよい。
【００１８】
照明装置111は、単色又は白色光ＬＥＤ又はＬＥＤアレイ、ダイオードレーザ、ファイバレーザ、及び白熱電球を含むが、これらに限定されない１つ以上の発光装置を備える。照明光学系113は、非球面屈折レンズ要素、両凸又は平凸球面屈折レンズ要素、他のレンズ、プリズム、ミラー、光ファイバ及びホログラフィック光学素子を含むが、これらに限定されない、照明装置111からの光を回転シャフト190の表面に向ける１つ以上の光学素子を備える。

【００１９】
非限定的な例として、照明装置111は、Ｌｕｍｉｎｕｓ ＳＳＴ－９０－Ｒなど、６１０ｎｍと６７０ｎｍとの間の中心波長を有する、大型（１．０ｍｍ^{2}を超える発光領域）の単色単一ダイＬＥＤであってもよい。さらなる非限定的な例として、照明光学系113は、非球面屈折レンズ要素、両凸若しくは平凸球面屈折レンズ要素、又はミラー要素のうちの少なくとも１つを備えてもよい。この非限定的な例では、照明光学系113は、回転シャフト190の表面上にＬＥＤダイの像をまとめて投影するものである。代替物（例えば、ファイバ光学系に基づくリングライト、ビームスプリッタに基づく同時昇順照明器、又はレーザベースの照明器）と比較して、この照明方式は、高スループットで、コスト効果が高く、堅牢で、目に安全であり、及び回転シャフト190の表面上の追跡可能な特徴（例えば、表面特徴）を強調するのに効果的である。

【００２０】
回転シャフト190から反射された光は、結像光学系121によって収集され、結像光学系121は、回転シャフト190の照明された表面の画像を、回路基板123に実装されているものとして例示的に示される画像センサ122上に焦点合わせする。結像光学系121は、レンズ、プリズム及びミラーを含むが、これらに限定されない１つ以上の光学素子を含んでもよい。画像センサ122は、ＣＭＯＳ画像センサ、ＣＣＤ画像センサ、及びフォトダイオード又はフォトダイオードアレイを含むが、これらに限定されない１つ以上のフォトニック要素を備える。

【００２１】
非限定的な例として、画像センサ122は、照明装置のスペクトル範囲内の応答が増強されたモノクロＣＭＯＳ画像センサであってもよい。例えば、ＣＭＯＳ画像センサは、グローバルシャッター、６１０ｎｍから６７０ｎｍ帯域で強化された量子効率、毎秒８０００万画素以上に対応する最大フレームレートを有するＯＮ Ｓｅｍｉ ＮＯＩＰ１ＦＮ０３００Ａであってもよい。さらなる非限定的な例として、結像光学系121は、オプトエンジニアリングＭＣ３－０３Ｘのような、市販のＣ－マウントマクロレンズを備えてもよい。さらに、画像センサ122の光路124は、回転シャフト190の回転方向と名目上一列に並ぶ画像センサの視野の画素列を用いて、名目上、衝突点において回転シャフト190の半径をたどってもよい。すなわち、ＣＭＯＳ画像センサは、例えば、行及び列において互いに空間的に隣接して配置された複数の画素を含む。「画素列」は、順次読み出される、空間的に隣接する画素を指す。画素列を回転シャフト190の回転方向に名目上整列させることにより、画像センサ122から電子制御ユニット130への画像の読み出しが増加し、より高いフレームレートを得ることができる。高速で回転する回転シャフト190の場合、ある程度のオーバーラップを連続するフレームが有すること、すなわち、いくつかの表面特徴が、連続するフレームの任意の対の両方に現れることを確実にするために、高いフレームレートが望ましい場合がある。

【００２２】
さらに、電子制御ユニット130は、画像センサ122から複数の画像フレームを備える画像データを受信して記憶するように、画像センサ122に動作可能に結合される。画像データは、画像センサ122の画素配列内の複数の画素の全部又は一部から生成されてもよい。例えば、いくつかの実施形態では、電子制御ユニット130が受信した画像データは、画素配列の複数の画素の総数よりも少ない数により定められる。画像センサの最大解像度と比較して、画素数を削減したフレームを電子制御ユニット130に送信することで、フレームレートを向上させ、画像処理の演算労力を低減することができる。

【００２３】
電子制御ユニット130は、信号処理アルゴリズムを使用して、複数の画像フレームにわたるシャフト表面特徴を追跡する。複数のフレームにわたる画像特徴を追跡するためのアルゴリズムは、コンピュータビジョン、画像レジストレーション、若しくは光学フロー検知のために使用されるものを含む、既知の又はまだ開発されていない画像処理アルゴリズムを含んでもよい。例えば、画像処理及び／又は特徴認識アルゴリズムには、スケール

不変特徴変換（ＳＩＦＴ）、相互相関技術、及びブロブ検出アルゴリズムが含まれるが、これらに限定されない。

【００２４】

電子制御ユニット130によって実行されるシャフト表面特徴追跡アルゴリズムは、回転シャフト190の共有又は共通部分を含むフレーム対の間の画像空間（例えば、画素に関して）の変化を出力する。非限定的な例として、画像空間における変化は、並進オフセットであってもよい。変化のさらなる例には、スケール及び回転、並びに放射基底関数のような非線形又は非剛体変換が含まれるが、これらに限定されるものではない。

【００２５】

次に、電子制御ユニット130は、画像空間と物体空間との間で定量的に特徴づけられた関係を使用して、画像空間内での関連する変化に基づいて、一対のフレーム間の回転シャフト190の位置の相対的な差を計算する。例えば、画像空間（例えば、画像センサによって生成された画像データ）及び物体空間との間で定量的に特徴づけられた関係は、画像センサ光路124における１つ以上の光学系と、画像センサ122の特性とによって定められてもよい。さらなる非限定的な例として、結像光学系121の既知の倍率と、画像センサ122の既知の画素ピッチ（すなわち、画素配列全体にわたって名目上均一である隣接画素間の距離）とを用いて、２つのフレームに共通する表面特徴における並進オフセットに基づき、２つの画像フレーム間の回転シャフト190の回転位置の相対的な差を計算してもよい。並進オフセットは、画像データの第１フレーム（例えば、図４の310A）に現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレーム（例えば、図４の310B）に現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化によって定められる。画像空間と物体空間との間の定量的に特徴づけられた関係にはまた、シャフトの曲率、光学収差、及び／又はキーストーン効果の補正が含まれ得るが、これらに限定されない。

【００２６】

一対のフレーム間の回転シャフト190の位置における計算された相対的な差は、追加の有用な情報を生成するために、電子制御ユニット130により複数のフレーム対にわたって融合されてもよい。非限定的な例として、回転シャフト190の絶対回転位置は、任意のフレームについてゼロの値を割り当ててもよく、次に、割り当てられたゼロフレームに対する絶対回転位置を追跡するために、前のフレームと比較して、各連続する画像フレームに関連する回転位置の相対的な変化を、前の絶対回転位置に追加してもよい。さらなる非限定的な例として、所与のフレーム内の回転シャフト190の絶対回転位置は、既知の絶対シャフト位置に関連付けられると共に、以前にキャプチャされて記憶されたフレームに対して、当該所与のフレームにおける全体的又は部分的な回転シャフトの位置に基づいて判定されてもよい。

【００２７】

一対のフレーム間の回転シャフト190の位置における計算された相対的な差は、追加の有用な情報を生成するために、電子制御ユニット130により画像データに関する時間情報と共に融合されてもよい。非限定的な例として、画像センサ122の既知のフレームレートを用いて、２つのフレーム間の相対的な回転位置と、同じ２つのフレーム間の時間変化とに基づいて、回転シャフト190の回転速度を計算してもよい。換言すれば、回転シャフト190が移動する回転距離と、回転シャフト190が回転距離を移動する経過時間とを算出することにより、シャフトの回転速度を判定するようにしてもよい。例えば、回転シャフト190の回転速度は、画像データの第１フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置及び画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置の間の回転シャフトが横切る回転距離と、画像データの第１フレームのキャプチャ時及び画像データの第２フレームのキャプチャ時の間の経過時間と、の関数であってもよい。

【００２８】

時間の変化は、第１フレーム（例えば、図４の310A）から次のフレーム（例えば図４の310B）へのフレーム数の通過の計算、及び画像センサ122の既知のフレームレートに

基づいて判定されてもよい。ただし、いくつかの実施形態では、電子制御ユニット130は、タイマ回路、又は瞬間回転位置と後続の回転位置との間の時間の変化を得るための画像フレーム間の時間経過を判定する他の方法、を利用することができる。

【００２９】

本明細書で上述したように、回転シャフト190の位置を判定するために使用される表面特徴は、自然に発生するか、偶発的に生成されるか、又は意図的に生成され得る。さらに、瞬時回転位置データは、システム200（図２）の演算装置210にリアルタイムで出力されてもよいし、又は、電子制御ユニット130のメモリ要素に記憶され、要求に応じて出力されてもよい。

【００３０】

電子制御ユニット130は、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、中央処理装置（ＣＰＵ）、グラフィックス処理装置（ＧＰＵ）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）、複合プログラマブルロジックデバイス（ＣＰＬＤ）、システムオンシップ（ＳｏＣ）、及び／又は特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）装置を含むが、これらに限定されない１つ以上の処理装置131を含む。

【００３１】

電子制御ユニット130は、１つ以上の処理装置131内のデジタル及び／又はアナログ論理として実装されていない電子制御ユニット130の機能を実行する、機械可読命令を有する非一時的コンピュータ可読メモリ132（例えば、メモリ要素）を、さらに備える。

【００３２】

引き続き図１を参照して、非接触センサ100をよりコンパクト又は他の望ましい形状因子にパッケージ化できるようにするため、画像センサ光路124及び／又は照明器光路114を誘導して、ミラー又はプリズムのような折りたたみ光学系151を組み込んでもよい。光路が筐体を通過する光学的に透明な窓又は複数の窓153を含む筐体152は、回転位置センサの機能部品を取り扱い、塵埃、水、及びその他使用環境の潜在的に困難な態様から保護するために、組み込まれてもよい。

【００３３】

図２を参照すると、１つ以上の非接触センサ100A、100B及び100Cを実装する例示的なシステム200が示されている。システム200は、車両、発電設備、又は監視する必要のある回転シャフトを利用する他の機械若しくは設備内で実施することができる。例えば、車両は、航空機、自動車、船舶等であってもよい。発電設備は、発電所の運転のため、位置、速度、ねじりたわみ及び／又はトルクを監視することが重要である回転シャフト、を実装する発電機又はタービンを有していてもよい。さらなる例として、製造、採掘、又は材料処理に携わる工場又はその他産業設備も同様に、回転機器上で回転シャフトを監視する必要があり得る。さらに別の例として、回転機械が製造され、試験され、及び／又は実験のために使用される工場及び実験室では、試験中の装置の一部又は全部を構成する回転シャフトを監視する必要があり得る。

【００３４】

図示されるように、システム200は、プロセッサ232及び非一時的コンピュータ可読メモリ234を備える処理装置230と、ディスプレイ240と、入力装置250と、データ記憶装置260と、受信機、送信機又はトランシーバ等のネットワークインタフェースハードウェア270と、を有する演算装置210を含む。システム200のこれら及び他の構成要素は、通信経路220を介して互いに通信可能に接続されてもよい。システム200は、本明細書に記載され説明される全て又は一部の構成要素を含んでもよいことを理解すべきである。非限定的な例として、一部のシステム200は、演算装置210が、ディスプレイ240、入力装置250及び／又はデータ記憶装置260等の構成要素を含まないために、監視制御兼データ取得（ＳＣＡＤＡ）システム又はエンジン制御モジュール（ＥＣＭ）等の、監視制御装置として動作し、及び／又は監視制御装置と通信するよう構成された演算装置210を単に含んでもよい。また、他の例では、複数の非接触センサ100A、100B、又は100Cの間で、１つ以上の電子制御ユニット130により処理、記憶、通信、及び制御が実

行されるように、演算装置210の動作は、１つ以上の非接触センサ100A、100B、又は100Cのうちの１つ以上の電子制御ユニット130に実装されてもよい。代替的に、演算装置210は、本明細書に記載の電子制御ユニット130の１つ以上の機能を実行するように実装されてもよい。

【００３５】

通信経路220は、例えば、導電性ワイヤ、導電性トレース、光導波路、又は同種のものの信号を伝送することができる任意の媒体から形成してもよい。通信経路220はまた、電磁放射及びそれらの対応する電磁波が横断する一帯を指してもよい。さらに、通信路220は、信号を伝送可能な媒体の組み合わせから形成されてもよい。一実施形態では、通信経路220は、導電性トレース、導電性ワイヤ、コネクタ、並びにメモリ、センサ、入力装置、出力装置、及び通信装置等の要素への電気的データ信号の伝送を可能にするために協働するバスの組み合わせを備える。したがって、通信経路220はバスを備えてもよい。加えて、「信号」という用語は、ＤＣ、ＡＣ、正弦波、三角波、方形波、振動等、媒介を通過することができるような波形（例えば、電気、光学、磁気、機械又は電磁）を意味することに留意されたい。本明細書で用いられるように、「通信可能に結合された」という用語は、例えば、導電性媒体を介した電気信号、空気を介した電磁信号、光導波路を介した光信号等のように、結合された要素が、相互に信号を交換することができることを意味する。

【００３６】

処理装置230は、任意の装置又はプロセッサ232と非一時的コンピュータ可読メモリ234とを備える要素の組み合わせであってよい。プロセッサ232は、非一時的コンピュータ可読メモリ234に記憶された機械可読命令セットを実行することのできる任意の装置であってもよい。したがって、プロセッサ232は、電気コントローラ、集積回路、マイクロチップ、コンピュータ、又は任意の他の演算装置であってもよい。プロセッサ232は、通信経路220によりシステム200の他の要素に通信可能に結合される。したがって、通信経路220は、任意の数のプロセッサ232を互いに通信可能に結合することができ、通信経路220に結合された要素が分散コンピューティング環境で動作することを可能にする。具体的には、各要素は、データを送信及び／又は受信することができるノードとして動作することができる。図２に示されているシステム200は単一のプロセッサ232を含む一方で、他の実施形態は、１つ以上のプロセッサ232を含むことができる。

【００３７】

非一時的コンピュータ可読メモリ234は、ＲＡＭ、ＲＯＭ、フラッシュメモリ、ハードドライブ、又はプロセッサ232が機械可読命令にアクセスされ実行できるように機械可読命令を記憶できる任意の非一時的メモリ装置を備えてもよい。機械可読命令セットは、例えば、プロセッサ232によって直接実行されてもよい機械語、又は機械可読命令にコンパイル若しくはアセンブルされ、非一時的コンピュータ可読メモリ234に記憶され得るアセンブリ言語、オブジェクト指向プログラミング（ＯＯＰ）、スクリプト言語、マイクロコード等のような、任意の世代の任意のプログラミング言語（例えば、１ＧＬ、２ＧＬ、３ＧＬ、４ＧＬ、又は５ＧＬ）で書かれた論理又はアルゴリズムを備えてもよい。代替として、機械可読命令セットは、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）構成若しくは特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）のいずれか、又はそれらの等価物を介して実装される論理のようなハードウェア記述言語（ＨＤＬ）に書き込まれてもよい。従って、本明細書で説明する機能は、事前にプログラムされたハードウェア要素として、又はハードウェア及びソフトウェアの要素の組み合わせとして、任意の従来のコンピュータプログラミング言語で実装してもよい。図２に示される実施形態は、単一の非一時的コンピュータ可読メモリ234を含む一方で、他の実施形態は、１つ以上のメモリモジュールを含んでもよい。

【００３８】

引き続き図２を参照して、システム200は、回転シャフト190の回転位置、回転速度、及び／又は回転トルクなどの視覚的出力を提供するためのディスプレイ240を含んで

もよい。ディスプレイ240は、通信経路220に結合される。したがって、通信経路220は、ディスプレイ240をシステム200の他のモジュールに通信可能に結合する。ディスプレイ240は、例えば、陰極線管、発光ダイオード、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ又はこのようなものの光出力を伝送することができる任意の媒体を含んでもよい。さらに、ディスプレイ240は、光学的情報を提供することに加えて、ディスプレイ240の表面又は隣接する表面上の触覚入力の存在及び位置を検出するタッチスクリーンであってもよい。したがって、各ディスプレイ240は、ディスプレイ240により提供される光出力に直接関する機械的入力を受け取ってもよい。さらに、ディスプレイ240は、１つ以上のプロセッサ232及び１つ以上の非一時的コンピュータ可読メモリ234のうちの少なくとも１つを含むことができることに留意されたい。

【００３９】

システム200はまた、キーボード、マウス、又はシステム200への入力を伝えることができる他のヒューマンインターフェースデバイス等の入力装置250を含んでもよい。さらに、データ記憶要素260は、電源オフ時にデータを維持することができるメモリ要素である。データ記憶要素260は、演算装置210からローカル及び／又はリモートに存在してもよく、演算装置210及び／又は他の要素によりアクセスするための１つ以上のデータの断片を記憶するように構成されてもよい。データ記憶要素260は、回転シャフト190の回転位置、回転速度、及び／又はトルク等の、較正、画像データ、及び／又は計算値を記憶することができる。

【００４０】

さらに図２を参照して、一部のシステムは、ネットワークインタフェースハードウェア270に依拠して、１つ以上の非接触センサ100A、100B、及び100Cと通信する。ネットワークインタフェースハードウェア270は、通信経路220に結合され、処理デバイス230に通信可能に結合されてもよい。ネットワークインタフェースハードウェア270は、ネットワーク280でデータを、又は１つ以上の非接触センサ100A、100B、及び100Cと直接データを、送信並びに／又は受信することができる任意のデバイスであってもよい。したがって、ネットワークインタフェースハードウェア270は、任意の有線通信又は無線通信を送信及び／又は受信するための通信トランシーバを含むことができる。例えば、ネットワークインタフェースハードウェア270は、アンテナ、モデム、ＬＡＮポート、Ｗｉ-Ｆｉカード、ワイマックスカード、移動通信ハードウェア、近距離無線通信ハードウェア、衛星通信ハードウェア、並びに／又は他のネットワーク及び／若しくは装置と通信するための任意の有線若しくは無線ハードウェアを含んでもよい。いくつかの実施形態では、ネットワークインタフェースハードウェア270は、ブルートゥース（登録商標）無線通信プロトコルに従って動作するように構成されたハードウェアを含む。別の実施形態では、ネットワークインタフェースハードウェア270は、ネットワーク280並びに／又は１つ以上の非接触センサ100A、100B、及び100Cとの間でブルートゥース（登録商標）通信を送受信するためのブルートゥース（登録商標）送受信モジュールを含んでもよい。さらに、いくつかの実施形態では、ネットワークインタフェースハードウェア270は、コントローラエリアネットワーク（ＣＡＮ）バスを実装するように構成されたハードウェアを含んでもよく、それによって、演算装置210、電子制御ユニット130及び／又は演算装置210の要素と、１つ以上の非接触センサ100A、100B、及び100Cとの間の通信を容易にする。

【００４１】

ここで図３から図６を参照して、非接触センサ100の構成及び動作に関するいくつかの例示的な実施形態について説明する。具体的には、図３は、非接触センサ100によって照明され、撮像される表面に沿った回転シャフト190の平面図を示す。図３に示す平面図Ａは、図１に示された線Ａ－Ａに沿った図に対応する。

【００４２】

本明細書で説明したように、照明装置111は、回転シャフト190の表面の一部300を斜めに照明してもよい。照明される一部300は、撮像部分301よりも大きくてもよい。

撮像部分301は、撮像光学系121と画像センサ122との組み合わせにより定められる。一部の実施形態では、撮像部分301は、画像センサ122の画素配列の画素列Ｌ（図５）及び画素列Ｃ（図５）の数に対応する。画素列Ｃの数は、画像センサ122によってキャプチャされた画像データを定める画素列Ｌの数よりも多くてもよい。また、回転シャフト190が回転すると（例えば、矢印Ｒで示すように）、画像センサ122は、一連の画像フレームをキャプチャする。画像フレームのシーケンスは、回転シャフト190の名目上の円周部分320に沿ってキャプチャされる。

【００４３】

図４を参照して、画像センサ122によって連続してキャプチャされた第１フレーム310A及び第２フレーム310Bの例示的な例が示されている。画像フレーム310A及び310Bを有する画像データは、図３に例示的に示された撮像部分301に対応する。本明細書に記載されているように、電子制御ユニット130は、信号処理アルゴリズムを使用して、画像センサ122から受信した画像データの複数の画像フレーム（例えば、第１フレーム310A及び第２フレーム310B）にわたって、シャフト表面特徴330、331、332、333、及び／又は334を追跡する。図示のように、単に説明のため、第１フレーム310Aは、表面特徴330、331及び332を有する画像である。第１フレーム310Aの後のある時点でキャプチャされた第２フレーム310Bは、表面特徴331、332、333及び334を有する画像である。非限定的な例として、第１フレーム310A及び第２フレーム310Bは、回転シャフト190の全回転よりも小さい間に連続してキャプチャされてもよい。ただし、場合によっては、第１フレーム310A及び第２フレーム310Bは、回転シャフト190の１回以上の全回転にわたってキャプチャされてもよい。

【００４４】

図示のように、表面特徴331及び332は、第１フレーム310A及び第２フレーム310Bの両方に共通である。電子制御ユニット130が画像データ（例えば、第１フレーム310A及び第２フレーム310B）を処理するとき、信号及び／又は画像処理アルゴリズムを使用して、画像空間における変化を判定することができる。本明細書に記載されるように、電子制御ユニット130はさらに、変化及び画像空間と対象空間との間で定量的に特徴づけられた関係に基づいて、回転位置、回転速度、及び／又はねじりたわみ値等の回転シャフト190の種々の動作特性を判定するように構成されている。

【００４５】

次に、図５は、複数の画素350を有する画像センサ122の例示的な図である。複数の画素350は、画素列Ｌ及び画素列Ｃのグリッドを備えてもよい配列内に配置される。本明細書に記載されるように、画像センサ122は、画素列が名目上、回転方向（例えば、矢印Ｒで示される）に整列される回転シャフト190の表面の画像データを生成するように構成されてもよい。さらに、場合によっては、画像フレーム310が画像センサ122の画素配列内の画素350の総数よりも少ない数を利用するように、画像センサ122を構成してもよい。画像センサ122は、より少ない画素が利用される場合に、及び／又は画素列が回転シャフト190の回転方向と名目上整列している場合に、より迅速に画像データを読み出すことができる。すなわち、場合によっては、接線方向次元（名目上、回転方向Ｒと一致する）における画素数が、軸方向次元（名目上、回転方向Ｒに垂直）における画素数を超えるようなアスペクト比を有する画像フレーム310を定めることが有利であり得る。さらに、多数の画像センサ122は、後続の列における画素の読み出しを開始する前に、画素列Ｌ内の各画素に対するデータの読み出しを完了するように構成され、さらに、画素の各列の読み出しが、いくつかの重要な固定オーバーヘッド時間と関連付けられるように構成されている。従って、このような画像センサでは、列Ｃの数が列Ｌの数を超えるように画像フレーム310を定めると、列Ｃ及び列Ｌの数が転置された他の同等の画像フレーム定義と比較して、より速いフレームレートが得られる。

【００４６】

ここで図６は、画像フィールド311及び313のそれぞれに画像データを生成するように構成された２つの非接触センサ100A及び100B（図２）を有するシステム200によっ

て分析される回転シャフト190の例示的な図である。２つの非接触センサ100A及び100Bは、回転シャフト190の軸方向に離れた部分を分析して、回転シャフト190のねじりたわみ値を判定するように配置されている。すなわち、システムは、回転シャフトの長さに沿った２つの位置で回転シャフトの回転位置を判定し、それぞれの回転位置を比較して、回転位置間に角度差があるかどうかを判定することができる。

【００４７】

例えば、第１画像センサを有する第１非接触センサは、第１部分320についての画像フィールド311内に、回転シャフト190の表面の少なくとも１つの画像フレームをキャプチャする。第２画像センサを有する第２非接触センサは、第１部分320から軸方向に分離された第２部分322にて、画像フィールド313内に回転シャフト190の表面の少なくとも１つの画像フレームをキャプチャする。第１部分320における回転シャフト190の第１回転位置Ｂは、画像データの第１フレーム（例えば、撮像フィールド311内）に現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレーム（例えば、撮像フィールド311内）に現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化、及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴づけられた関係に基づいて判定される。第２部分322における回転シャフト190の第２回転位置Ｃは、画像データの第１フレーム（例えば、画像フィールド313内）に現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレーム（例えば、画像フィールド313内）に現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化、及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴づけられた関係に基づいて判定される。第１回転位置Ｂと第２回転位置Ｃとの間の差は、演算装置210（図２）又は非接触センサ100の電子制御ユニット130（図１）によって算出される。差は、それぞれ、第１部分320及び第２部分322における回転シャフト190の第１回転位置Ｂと第２回転位置Ｃとの間の角度差０として判定されてもよい。すなわち、角度差０は、２つの非接触センサ間のシャフトの長さに沿ったねじりたわみに対応する。

【００４８】

角度差Ｑが存在すると判定された場合（例えば、ゼロでない角度差Ｑが算出された場合）、電子制御ユニット130は、さらに、算出された角度差Ｑに対応するトルク値を判定してもよい。例えば、回転シャフト190のトルクとねじりたわみとの間で定量的に特徴付けられた関係を使用することによって、回転シャフトに加えられるトルクの瞬時値（すなわち、ねじり荷重）を判定することができる。

【００４９】

本開示の実施形態は、回転シャフトの表面の一部の画像データをキャプチャするように構成された画像センサと、画像センサに通信可能に結合された電子制御ユニットとを有する非接触センサを含むことが理解されるべきである。電子制御ユニットは、画像センサから画像データを受信し、画像データを電子制御ユニットのメモリ要素に記憶するように構成されている。画像データは、複数の画像フレームを含む。電子制御ユニットは、画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での変化を判定し、当該変化及び画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた関係に基づいて、画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置を判定し、画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置を電子制御ユニットのメモリ要素に記憶するように構成されている。

【００５０】

非接触センサのいくつかの実施形態では、回転シャフトの回転速度を判定するために使用することができる。例えば、電子制御ユニットは、回転シャフトが、画像データの第１フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置と、第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの回転位置との間を回転シャフトが横切る回転距離、及び画像データの第１フレームのキャプチャ時間と画像データの第２フレームのキャプチャ時間との間の経過時間に基づいて、回転シャフトの回転速度を計算し、回転速度を電子制御ユニットのメモリ要素に記憶させるように構成されている。

【００５１】
さらに、複数の非接触センサを相互に及び／又は演算装置と通信可能に結合できることが理解される。非限定的な例として、非接触センサシステムは、演算装置に通信可能に結合された第１非接触センサ及び第２非接触センサを含む。第１非接触センサは、回転シャフトの表面の第１部分の画像データをキャプチャするように構成された第１画像センサを含み、第２非接触センサは、回転シャフトの表面の第２部分の画像データをキャプチャするように構成された第２画像センサを備え、第１部分及び第２部分は、回転シャフトに沿って軸方向に分離されている。演算装置は、第１画像センサからの第１画像データと、第２画像センサからの第２画像データとを受信するように構成される。第１及び第２画像データはそれぞれ、複数の画像フレームを含む。演算装置は、第１画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、第１画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第１変化を判定し、第１変化、及び第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴づけられた第１関係に基づいて、第１画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの第１回転位置を判定し、第２画像データの第１フレームに現れる１つ以上の表面特徴と、第２画像データの第２フレームに現れる同一の１つ以上の表面特徴との間の画像空間内での第２変化を判定し、第２変化、及び第１画像センサの画像空間と物体空間との間で定量的に特徴付けられた第２関係に基づいて、第２画像データの第２フレームのキャプチャ時における回転シャフトの第２回転位置を判定し、回転シャフトの第１回転位置と第２回転位置との間の角度差を計算することにより、回転シャフトの第１部分と第２部分との間の回転シャフトのねじりたわみを判定し、回転シャフトのねじりたわみを演算装置のメモリ要素に記憶する、ようにさらに構成される。

【００５２】
特に定義しない限り、本明細書で使用される全ての技術用語及び科学用語は、本発明が属する技術分野の当業者によって一般的に理解されるものと同じ意味を有する。本明細書の説明で使用される用語は、特定の実施形態のみを説明するためのものであり、限定することを意図するものではない。本明細書及び特許請求の範囲で使用されているように、単数形「一つ（ａ）」、「一つ（ａｎ）」及び「前記（ｔｈｅ）」は、文脈が明らかにそうでないことを示さない限り、複数形を含むことを意図している。

【００５３】
「実質的に」及び「約」という用語は、本明細書では、任意の定量的比較、値、測定又は他の表現に起因する可能性のある固有の不確実性の程度を表すために使用され得ることに留意されたい。これらの用語はまた、本明細書において、量的表現が、問題の対象物質の基本的な機能の変化を生じることなく、記載された基準から変化し得る程度を表すためにも利用される。

【００５４】
本明細書では特定の実施形態を例示し説明してきたが、特許請求の範囲に記載された主題の範囲から逸脱することなく、様々な他の変更及び修正がなされ得ることが理解されるべきである。さらに、特許請求の範囲に記載された主題の様々な態様が本明細書に記載されているが、そのような態様を組み合わせて利用する必要はない。したがって、特許請求の範囲は、特許請求された主題の範囲内にある全てのこのような変更及び修正を包含することが意図されている。

【図面】

【図１】

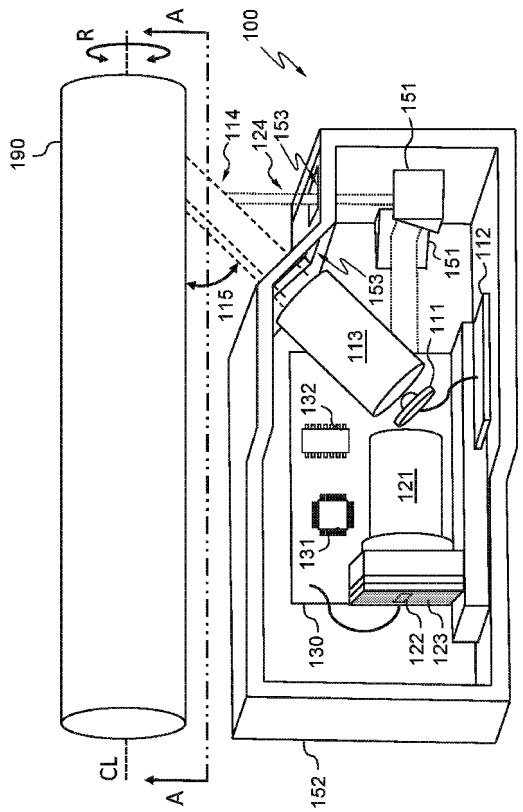


FIG. 1

【図２】

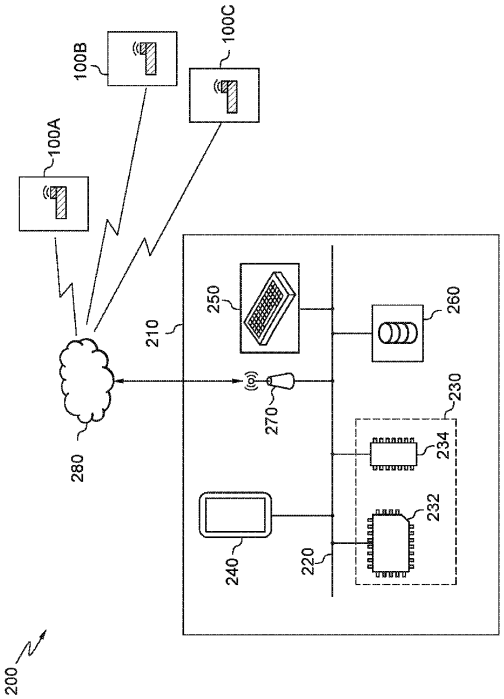


FIG. 2

【図３】

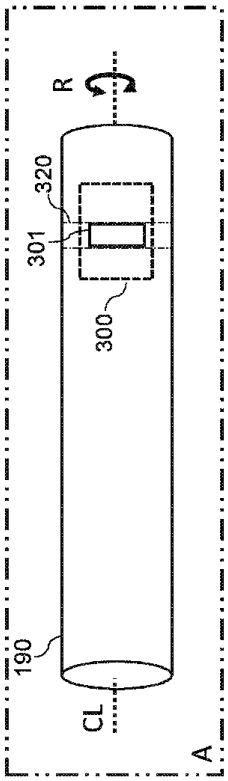


FIG. 3

【図４】

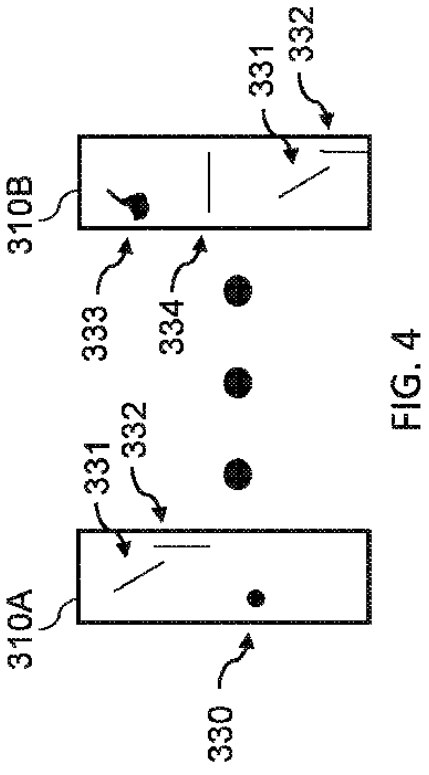


FIG. 4

【図５】

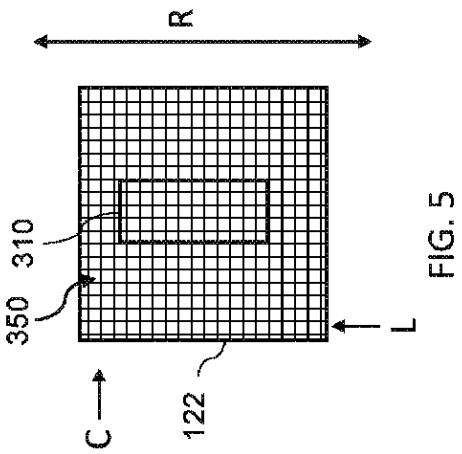


FIG. 5

【図６】

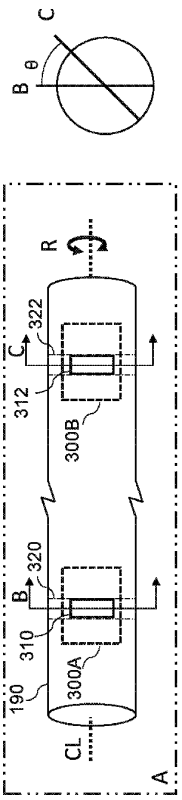


FIG. 6

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2021/028104

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01P 3/36(2006.01)i; **G01D 5/26**(2006.01)i; **G01L 3/02**(2006.01)i; **G06T 7/20**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01P 3/36(2006.01); B66B 27/00(2006.01); G01B 11/00(2006.01); G01B 11/26(2006.01); G01N 29/26(2006.01); G01P 3/38(2006.01); G06T 7/60(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models
Japanese utility models and applications for utility models

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: image sensor, shaft, torque, capture and non-contact

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2032156 B1 (ENVISIBLE, INC.) 15 October 2019 (2019-10-15) paragraphs [0025]-[0027]; claim 1; and figures 1-3	1,2,8,9,13-17,20
Y		3-7,10-12,18,19,21,22
Y	US 2018-0306832 A1 (OTIS ELEVATOR COMPANY) 25 October 2018 (2018-10-25) paragraphs [0020]-[0025] and figures 1-5	3-7,10-12,18,19,22
Y	US 2002-0002877 A1 (TORRE, ANTHONY J.) 10 January 2002 (2002-01-10) paragraphs [0026]-[0033] and figures 1-3	21,22
A	JP 2015-010912 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL) 19 January 2015 (2015-01-19) paragraphs [0030]-[0036] and figure 1	1-22
A	JP 2007-139756 A (RICOH CO., LTD.) 07 June 2007 (2007-06-07) paragraphs [0014]-[0027] and figures 1-9	1-22

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 August 2021	**17 August 2021**
Name and mailing address of the ISA/KR **Korean Intellectual Property Office** **189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon** **35208, Republic of Korea** Facsimile No. **+82-42-481-8578**	Authorized officer **PARK, Hye Lyun** Telephone No. **+82-42-481-3463**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/US2021/028104

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-2032156	B1	15 October 2019	WO	2021-025317	A1	11 February 2021
US	2018-0306832	A1	25 October 2018	CN	108726338	A	02 November 2018
				EP	3403987	A1	21 November 2018
US	2002-0002877	A1	10 January 2002	DE	60113067	T2	29 June 2006
				EP	1259692	A1	27 November 2002
				EP	1259692	B1	31 August 2005
				EP	1259788	A2	27 November 2002
				EP	1259788	B1	03 August 2011
				JP	2003-525370	A	26 August 2003
				US	2001-030520	A1	18 October 2001
				US	6573678	B2	03 June 2003
				US	6901815	B2	07 June 2005
				WO	2001-65044	A1	07 September 2001
				WO	2001-65225	A2	07 September 2001
				WO	2001-65225	A3	31 January 2002
JP	2015-010912	A	19 January 2015	JP	6064810	B2	25 January 2017
JP	2007-139756	A	07 June 2007	US	2007-0086679	A1	19 April 2007
				US	8027516	B2	27 September 2011

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2019)

フロントページの続き

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士　森本 有一

(72)発明者　マイケル ラトバーグ

アメリカ合衆国，マサチューセッツ ０２４２１，レキシントン，ハートウェル アベニュ ３５，シー／オー シーエーエムエックス パワー リミティド ライアビリティ カンパニー