

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6989332号
(P6989332)

(45) 発行日 令和4年1月5日(2022.1.5)

(24) 登録日 令和3年12月6日(2021.12.6)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 M 99/00 (2011.01) GO 1 M 99/00 Z
B 6 4 C 39/02 (2006.01) B 6 4 C 39/02

請求項の数 10 外国語出願 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-189794 (P2017-189794) (22) 出願日 平成29年9月29日 (2017. 9. 29) (65) 公開番号 特開2018-105846 (P2018-105846A) (43) 公開日 平成30年7月5日 (2018. 7. 5) 審査請求日 令和2年9月29日 (2020. 9. 29) (31) 優先権主張番号 15/338, 491 (32) 優先日 平成28年10月31日 (2016. 10. 31) (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 500520743 ザ・ボーイング・カンパニー The Boeing Company アメリカ合衆国、60606-2016 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100 (74) 代理人 110002077 園田・小林特許業務法人 (72) 発明者 ジョージソン、ゲイリー アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ 100</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無人航空輸送体を使用する非破壊試験のための方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非破壊検査（「NDI」）システムであって、
 本体構造を備える無人航空輸送体（「UAV」）を備え、前記本体構造が1以上の支持構造体を備え、前記1以上の支持構造体の各々が離脱可能末端構造を備え、各支持構造体は、該支持構造体の前記離脱可能末端構造に離脱可能に連結された1以上のNDIデバイスを支持するように構成され、

前記システムが、更に、前記1以上のNDIデバイスに統合された1以上のNDIセンサを備え、

前記1以上のNDIデバイスは、検査されるべき構造物に前記1以上のNDIデバイスを固定するように動作可能な取り付け機構を備える、NDIシステム。

10

【請求項 2】

前記UAVが、前記離脱可能末端構造から前記1以上のNDIデバイスを離脱するために、前記1以上の支持構造体に制御信号を提供するように動作可能な、解放コントローラを備える、請求項1に記載のNDIシステム。

【請求項 3】

前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つが、1以上のNDI感知モダリティを感知するように動作可能であり、前記1以上のNDI感知モダリティが、接触ベースのNDI感知モダリティを含む、請求項1又は2に記載のNDIシステム。

【請求項 4】

20

前記 1 以上の N D I センサのうちの少なくとも 1 つに対する電力、前記 1 以上の N D I センサのうちの少なくとも 1 つに対する制御信号、及び安全機構と回収機構、のうちの 1 以上を提供するように動作可能なテザーを備える、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の N D I システム。

【請求項 5】

前記取り付け機構が、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、把持器ベース、又は接着剤ベースである、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の N D I システム。

【請求項 6】

前記構造物の座標系を使用して、前記構造物に対する前記 1 以上の N D I センサのうちの少なくとも 1 つの位置、配向、又は前記位置と前記配向の両方を判定するように動作可能なロケーション追跡システムを更に備え、前記 1 以上の N D I デバイスはデータ収集の間に、検査されるべき構造物に対して移動可能である、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の N D I システム。

10

【請求項 7】

前記 U A V が、追跡システムから取得された位置及び配向データを使用して更新され又は遠隔制御システムを使用して制御される、所定の飛行経路を使用して移動するように動作可能である、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の N D I システム。

【請求項 8】

プロセッサによって実行されたときに、前記プロセッサに構造物の非破壊検査（「N D I」）のための方法を実行させる指示命令を記憶した非一過性コンピュータ可読記憶媒体であって、前記方法が、

20

無人航空輸送体（「U A V」）を前記構造物のターゲットロケーションに差し向けること、

前記 U A V の 1 以上の N D I デバイスを、該 1 以上の N D I デバイスの取り付け機構を用いて前記ターゲットロケーションに物理的に固定すること、

前記 1 以上の N D I デバイスの 1 以上の N D I センサを使用して前記ターゲットロケーションの N D I を実行すること、及び

前記 U A V を前記ターゲットロケーションから物理的に離脱することを含む、非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

【請求項 9】

30

前記方法が、前記 N D I を実行する前に、前記 U A V のローターを起動解除するための制御信号を提供することを更に含む、請求項 8 に記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

【請求項 10】

前記方法が、前記 1 以上の N D I センサを前記構造物に対して移動させることを更に含む、請求項 8 または 9 に記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、広くは、検査活動を実行するためのシステム及び方法に関し、特に、無人移動輸送体による構造物又は物体の遠隔検査を可能にするためのシステム及び方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

構造物の非破壊検査（「N D I」）は、構造物を傷付けること又は構造物の重大な解体を必要とすることなしに、構造物を徹底的に検査することを含む。N D I は、構造物の外装及び/又は内装の徹底的な検査が必要とされる多くの用途に対して有利である。例えば、N D I は、構造物に対する任意の種類の内外的又は外的損傷について航空機構造物を検査するために、航空機産業において一般的に使用されている。構造物の中で定期的に非破壊検査が行われているのは、複合材料構造物である。そのようにして、複合材料構造物の性

50

能に悪影響を与え得る、亀裂、割れ目、又は多孔性などの、任意の欠陥を特定するために複合材料構造物を検査することは、しばしば、望ましい。検査において重大な課題を提示する構造物の他の例には、少し挙げるだけでも、橋、ダム、堤防、発電所、電力供給ライン又は送電線網、水処理施設、石油精製所、化学処理プラント、高層ビル、電車に関連したインフラ、及びモノレール支持構造物が含まれる。

【 0 0 0 3 】

N D I を実行するために、様々な種類のセンサが使用され得る。1以上のセンサが、検査されるべき構造物を覆って移動し、そこから内部の欠陥が特定され得るところの構造物に関するデータを受信し得る。センサによって取得されるデータは、通常、処理要素によって処理され、処理されたデータは、ディスプレイを介してユーザに提示され得る。

10

【 0 0 0 4 】

構造物や様々な種類の物体を人間が直接検査すると、時間がかかり、高価であり、困難であり、しばしば、実行する個人にとって危険であり得る。定期的な目視検査を必要とする構造物又は物体の定期的な画像を提供するための静止カメラ（すなわち、位置が固定されたカメラ）の使用は、限定された効果を満たすのみである。静止カメラは、その環境の限られた可視性を有する。したがって、何百メートル以上も延在する電力供給ラインなどの大きな領域を検査することは、多くのそのようなカメラを使用することなしには困難又は不可能である。更に、一旦、カメラが適所に取り付けられると、修理や保守のために容易にアクセスすることができない場合がある。カメラの取り付けは、カメラの動作の信頼性及び/又は費用を悪化させ得る要因に晒されることを必要とし得る。

20

【 0 0 0 5 】

橋の構造的な部分の定期的な画像を得るために、橋の頂の近くに取り付けられた静止カメラは、修理や保守が必要になったときに、個人によってアクセスすることが困難及び/又は高価でもあり得る。橋やダムなどの高い頂に取り付けられたカメラに個人がアクセスすることを必要とする活動は、そのような作業を担当する1以上の作業者のための安全に対する著しいリスクも必然的に伴う。

【 0 0 0 6 】

インフラは、時々、環境的、化学的、又は生物学的要因のために、人間の作業者の健康を著しく損ね得る検査を必要とし得る。そのような状況は、有害な化学物質が存在し得る領域内で、施設内で動作する設備又は機械の一部分の定期的な検査を行う必要がある、製造施設の内側において見られ得る。海底油田の掘削のプラットフォームの構造部分の検査は、環境的な要因が、人間によるプラットフォームの様々な部分の検査を危険に満ちたものにし得る、別の一例である。更に別の構造物、例えば、山々に配置された大きなアンテナ又は望遠鏡は、人間による検査が個人の安全性に対する重大なリスクを与える状況を提示し得る。

30

【 0 0 0 7 】

ある検査の用途では、人間が操縦するヘリコプターが、様々なインフラを検査するために使用されてきた。しかし、人間が操縦するヘリコプターは、資源費用（ヘリコプターの燃料及び保守）と操作費用（パイロットの給与）に関して、操縦することが高価になり得る。更に、検査が、パイロットとヘリコプターの利用可能な数によって制限され、暴風雨又は砂塵嵐の間などの幾つかの場合に危険であり得る。更に、人間が操縦するヘリコプター又は他の種類の輸送体の使用は、時々、アクセスすることが困難な幾つかのロケーションにおいて又は荒れ模様の天気の間において、単純に考えて不可能である。

40

【 0 0 0 8 】

遠隔で制御される（R C）ヘリコプターは、費用が安い、熟練したオペレータを必要とし、したがって、多数のヘリコプターで大きな領域を検査することは、多数の高価な熟練したオペレータを必要とする。更に、精密な目視検査と検査動作が実行され得る期間とが、熟練したオペレータ及び装備の利用可能な数のために制限され得る。

【 0 0 0 9 】

これらの方法は、更なる不都合を被る。現在、人間が操縦するR Cヘリコプターは、視

50

覚でインフラを検査することを可能にするのみである。したがって、検査は、表面の損傷の検出に限られる。更に、GPSが装備された人間が操縦するヘリコプターとRCヘリコプターは、目視検査のために十分なロケーションの大まかな推定を提供し得るが、GPS追跡は、他のNDI検査方法における使用のためには精度が十分でない。

【0010】

したがって、前述の不都合及び不適切に対処するために、産業界においてこれまで対象とされなかったものが必要となる。

【発明の概要】

【0011】

本教示の実施例によれば、非破壊検査(「NDI」)システムが提供される。本システムは、本体構造を備える無人航空輸送体(「UAV」)を備える。本体構造は、1以上の支持構造体を備える。1以上の支持構造体のうちの少なくとも1つは、離脱可能末端構造を備え得る。そして、本システムは、更に、それぞれの離脱可能末端構造に統合された1以上のNDIセンサを備える。

10

【0012】

実施例によれば、UAVは、離脱可能末端構造から1以上のNDIセンサを離脱するために、1以上の支持構造体に制御信号を提供するように動作可能な解放コントローラを備え得る。

【0013】

実施例によれば、1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つは、1以上のNDI感知モダリティ(modality)を感知するように動作可能である。

20

【0014】

実施例によれば、NDIシステムは、1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つに電力を供給するように動作可能なテザー(tether)を更に備え得る。

【0015】

実施例によれば、1以上のNDIセンサは、検査されるべき構造物に1以上のNDIセンサを固定するように動作可能な取り付け機構を備え得る。

【0016】

実施例によれば、NDIシステムは、構造物に対する1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つの位置、配向、又は位置と配向の両方を判定するように動作可能なロケーション追跡システムを更に備え得る。

30

【0017】

実施例によれば、取り付け機構は、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、把持器(gripper)ベース、又は接着剤ベースである。

【0018】

実施例によれば、UAVは、追跡システムから取得された位置及び配向データを使用して更新され又は遠隔制御システムを使用して制御される、所定の飛行経路を使用して移動するように動作可能であり得る。

【0019】

実施例によれば、1以上のNDI感知モダリティは、接触ベースのNDI感知モダリティを含み得る。

40

【0020】

実施例によれば、1以上のNDIセンサは、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的インピーダンスセンサ、光センサ、x線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ(computed tomography sensor)、表面粗さセンサ、IRサーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサ、のうちの少なくとも1つを備え得る。

【0021】

実施例によれば、1以上の支持構造体のうちの少なくとも1つは、マニピュレータアームを備える。マニピュレータアームは、把持器を備え得る。把持器は、検査されている構造物に対して1以上のNDIセンサを操作するように動作可能である。

50

【 0 0 2 2 】

実施例によれば、1以上のNDIセンサは、データ収集中に構造物に対して移動され得る。

【 0 0 2 3 】

実施例によれば、1以上の支持構造体のうちの1つは、1以上の保守ツールを有するように構成され得る。1以上の保守ツールは、研磨機、ドリル、ブラシ、塗料噴霧器、マーカー、インクスタンプ、レーザー、又はターゲットアプリケーションを備える。

【 0 0 2 4 】

本教示の実施例によれば、非破壊検査(「NDI」)システムが提供される。該システムは、構造物の1以上の特性を測定するように動作可能な1以上のNDIセンサ、構造物に対してハウジングを固定又は離脱するように動作可能な取り付け機構、及び1以上のNDIセンサからの測定データを送信するように動作可能なトランシーバを備えた、構成要素を収容するように構成されたハウジングを備え、ハウジングは、無人航空輸送体(「UAV」)によって構造物のターゲットロケーションへ送られるようにサイズ決定されている。

10

【 0 0 2 5 】

実施例によれば、1以上のNDIセンサは、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的インピーダンスセンサ、光センサ、x線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ、表面粗さセンサ、IRサーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサ、のうちの1以上を備え得る。

20

【 0 0 2 6 】

実施例によれば、取り付け機構は、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、及び把持器ベースのうちの1つであり得る。

【 0 0 2 7 】

実施例によれば、NDIシステムは、1以上のNDIセンサに電力を供給するように動作可能な電源を更に備え得る。

【 0 0 2 8 】

実施例によれば、NDIシステムは、ハウジングの外部にある電源から1以上のNDIセンサに電力を供給し、NDIセンサへ/から信号データを送受信し、安全及び回収機構として働くように動作可能なテザーを更に備え得る。

30

【 0 0 2 9 】

実施例によれば、NDIシステムは、ハウジングの少なくとも一部分に対する衝撃保護を提供するように動作可能な、衝撃保護構造体を更に備え得る。衝撃保護構造体は、空気注入可能な構造体又は浮遊構造体を備え得る。

【 0 0 3 0 】

実施例によれば、NDIシステムは、構造物の表面に沿ってハウジングを移動させるように動作可能な運動機構を更に備え得る。

【 0 0 3 1 】

本教示の実施例によれば、指示命令を記憶した非一過性コンピュータ可読記憶媒体であって、その指示命令が、プロセッサによって実行されたときに、プロセッサに構造物の非破壊検査(「NDI」)のための方法を実行させる、コンピュータ可読記憶媒体が提供される。該方法は、無人航空輸送体(「UAV」)を構造物のターゲットロケーションに差し向けること、UAV又はエンドエフェクタをターゲットロケーションに物理的に固定すること、1以上のNDIセンサを使用してターゲットロケーションのNDIを実行すること、及びUAV又はエンドエフェクタをターゲットロケーションから物理的に離脱することを含む。

40

【 0 0 3 2 】

実施例によれば、該方法は、実行するステップの前に、UAVのローターの動作を制御するための制御信号を提供することを更に含み得る。

【 0 0 3 3 】

50

実施例によれば、物理的に固定することは、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、又は把持器ベースであり得る。

【0034】

実施例によれば、該方法は、1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つを(1以上の)ターゲットロケーションへ展開することを更に含み得る。

【0035】

実施例によれば、該方法は、ロケーション特定システムを使用して、ターゲットロケーションに対する、位置、配向、又は位置と配向の両方を追跡することを更に含み得る。

【0036】

先述の一般的な記載と後述の詳細な記載の両方は、例示及び説明のためだけのものであり、特許請求される開示を限定しようとするものではないことは、理解されるべきである。

10

【0037】

本明細書に組み込まれ、且つ、本明細書の一部を構成する添付図面は、本開示を例示しており、説明部分と共に、本開示の原理を説明する役割を果たしている。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】本開示の実施例による、システムの第1の実施態様を示す。

【図2】本開示の実施例による、システムの第2の実施態様を示す。

【図3】本開示の実施例による、システムの第3の実施態様を示す。

20

【図4】本開示の実施形態による、UAVによって展開され得るNDIデバイスを示すブロック図である。

【図5】図1～図3のシステムによって実行され得る動作のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0039】

次に、その実施例が添付図面で示されているところの本開示の例示的な実施態様を、詳細に参照することになる。可能なときは何時でも、同じ又は類似する部分を指すために、図面全体を通して同じ参照番号が使用される。後述の説明では、本開示の一部を形成する添付図面を参照する。これらの添付図面は、本開示が実施され得る、特定の例示的な実施態様を説明するために示されている。これらの実施態様は、当業者が本開示を実施することができるよう十分に詳細に記載されており、他の実施態様が利用可能であること、本開示の精神及び範囲から逸脱せずに変更を加え得ることが理解されるであろう。したがって、以下の説明は単なる例示にすぎない。

30

【0040】

全体的に言って、本開示の実施例は、視覚カメラ又はIRカメラを用いた単なる目視検査を超えた、橋、船舶などの構造物の遠隔NDIのための、ドローンとしても知られる、無人航空輸送体(UAV)の使用を可能にする方法及びシステムを説明する。UAVは、一端においてUAVに取り付けられ又は統合された1以上の支持構造体を含み、他端において1以上のNDIデバイスを支持する。1以上の支持構造体は、固定された長さを有し、又は、後退した状態で第1の長さを有し、延伸した状態でより長い長さを有する、伸縮部材であり得る。UAVは、定期的な遠隔検査のためのロケーションタグ付けなどの、保守活動も可能にし得る。接着タグ、塗料なども、今後の参照のために取り付けられて残され、又は3D視覚化を可能にする。輸送体のための非搭載型の追跡システム及びセンサによるロケーション特定は、ナビゲーションのためにUAVの正確なロケーションを提供し、検査ロケーションの正確なロケーションを提供し、構造物の3Dモデルとの相関を提供する。様々なシステムと方法が使用されて、非限定的に、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、又は把持器ベースを含んだやり方で、検査されるべき構造物の表面上に、UAV及び/又はNDIデバイスを保持し得る。ある実施例では、これらの取り付け機構のうちの2つ以上が組み合わされて使用され得る。磁気ベースのアプローチでは、電気永久(「EP」)磁石が、電気パルスを用いて有効になり、電力を使用せずに励磁

40

50

されたままであり得る。真空ベースのアプローチでは、本出願に共に含まれる、「Holonomic motion vehicle for travel on non-level surfaces」という名称の米国特許番号第 8,738,226号を背景技術の実施例として説明した場合、それぞれの負圧区域においてそれぞれの負圧力を生成するように構成された、1以上の電気ダクトファンをUAVが含み得る。静電ベースのアプローチでは、基板材料（例えば、検査されている構造物の表面）と支持構造体又はNDIデバイスの電子接着表面との間で、静電力が使用される。このアプローチでは、電子接着パッドが、ポリマーの表面上に堆積した導電性電極から成る。交互に正電荷と負電荷が、隣接する電極に誘導されたとき、電場が基板上に反対の電荷をセットアップし、したがって、電極と基板上に誘導された電荷との間で静電接着をもたらす。接着剤ベースのアプローチでは、粘着性のある接着剤又は除去可能な接着剤のパッドを、タブを引っ張ることによって表面から取り外すことができる。更に、スイッチオン及びオフできる接着剤が使用され得る。それは、構造体に接着剤の変化を起こさせることによって、接着剤が、自由自在に粘着性を有したり又は粘着性を有さなかったりし得ることを意味する。把持器ベースのアプローチでは、駆動されたときに開閉して、検査されている構造物の一部分の上に物理的にホールドする、1以上の把持部分を有する端部分を、1以上の支持構造体が含み得る。

【0041】

1つの例示的な動作では、マニピュレータアームなどの、1以上の支持構造体によって支持された1以上のNDIデバイスを装備したUAVが、検査されている構造物のターゲット領域へ飛ばされる。UAVのオペレータは、マニピュレータアームを延伸させることなどによって、NDIデバイスをターゲット領域上に配置するように、UAVに指示命令する。NDIデバイスは、強磁性の構造物に対しては、磁気ベースのデバイス、例えば、EP磁石、及び/又は、非強磁性の構造物に対しては、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、把持器ベースのデバイスなどの、固定機構を有し得る。EP磁石は、電気パルスを用いて有効になり、その後、電力を使用することなしに励磁されたままであり得る。EP磁石が励磁されたときに、UAVは、EP磁石がターゲット領域に接触したときにターゲット領域上に物理的に固定されることができ、EP磁石は、UAVの重量を支持する。ターゲット領域に物理的に固定された後で、UAVのローターは、その後、UAVが今や安定した静止位置にあるところで、スイッチを切られる（回転を止める）ことができる。NDIデバイスは、その後、検査測定値を取得するために起動され得る。UAVの3D位置は、局所的測位システム（「LPS」）などの、非搭載型の追跡システムによって測定され得る。LPSは、検査されている構造物の座標系に関してUAVのロケーションを判定することができる。一旦、NDI検査が完了すると、UAVのローターの動作が開始され、固定機構が起動解除され、UAVは飛び去り、又は次の検査ロケーションへ飛び、プロセスが繰り返される。カメラ又は（スマートフォンのような）カメラ装備デバイスが、システムの態様のガイダンス又は動作を補助するためにUAVに取り付けられ得る。

【0042】

別の例示的な動作では、自己完結型のNDIデバイスが、UAVから降下され得る。この実施例では、1以上の自己完結型のNDIデバイスを装備したUAVが、検査されるべき構造物の第1のターゲット領域へ飛ばされ、オペレータが、UAVにNDIデバイスのうちの1つを第1のターゲット領域に取り付けるよう指示命令し、その後、飛び去る（又は第2のターゲット領域へ飛ばされ、降下のプロセスが繰り返される）。自己完結型のNDIデバイスは、固定機構、すなわち、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、又は把持器ベースの固定機構を含み、それらは、NDIデバイスがターゲット領域に取り付けられることを可能にする。磁気的な（EP磁石の）実施例では、NDIデバイスが、単一の電気パルスを用いて取り付けられ、その後、電力を使用することなしに励磁されたままであることを可能にする。NDIデバイスは、無線であり、1以上のNDIセンサを含み、他の制御可能な要素を含み得る。UAVによってターゲット領域に配置された後で、NDIデバイスの3Dロケーションが、非搭載型の追跡システム、すなわち、LPSによって測定され得る。LPSは、検査されている構造物の座標系に関してNDIデ

10

20

30

40

50

バイスのロケーションを判定することができる。一旦、NDI検査が完了すると、電力供給されていないEP磁石などの固定機構が起動解除され、NDIデバイスは、ターゲット領域から離れ落ちて、オペレータによって回収され得る。この実施例では、2つ以上の自己完結型のNDIデバイスが、UAVの単一の飛行によって配置され得る。ある状況では、NDIデバイスが、UAVによって、検査されている構造物上に直接的に配置され得る。他の状況では、UAVが、発射体のような自己完結型のNDIを発射して、構造物上のロケーションに到達するように、それらのNDIをしっかりと取り付けることを可能にする。作業を実行することにおいて有用であり、又は、ターゲット物体から離脱されたときに、デバイスに対する損傷を妨げ得る、他の特徴を、自己完結型のNDIデバイスは含み得る。例えば、NDIデバイスは、小さいホイール又はトラックを含み、それが表面を超えて移動することを可能にし得る（それをミニクローラーに変える）。NDIデバイスは、無線コマンドによって空気を注入され得る空気注入可能な構成要素も含み、それは、NDIが落下する間に損傷を受けることから保護し（又はその下に配置され得る他の人々を保護し）、又は、NDIが水に入ったときに浮かぶことを可能にする。

【0043】

図1を参照すると、本開示の実施例による、構造物を検査するためのシステム100が示されている。システム100は、定期的な検査を必要とする構造物110の周りで移動するために使用され得る、無人移動輸送体105を含む。この実施例では、無人移動輸送体が、無人航空輸送体として示され、より具体的には、（本明細書で、以後、単に「UAV」105と称される）無人回転翼航空機として示されている。しかし、無人陸上輸送体及び（水面と水中の両方の）無人船舶などの無人輸送体の他の形態が、本システム100と共に使用されるために適合され得ることは、理解されるだろう。更に、ターゲット構造物110が、I型ビームとして示されているが、システム100は、等しく、非限定的に、電力供給ライン、発電施設、送電線網、ダム、堤防、スタジアム、大きな建物、大きなアンテナ及び望遠鏡、タンク、コンテナ、水処理施設、石油精製所、化学処理プラント、高層ビル、電車に関連したインフラ、並びにモノレール支持構造物を含む、広範囲の他の構造物を検査することにおいて使用されるために適合される。システム100は、特に、製造設備及び倉庫などの、大きな建物の内側で使用されるのにも適している。人間が操縦する輸送体又はRC輸送体によって検査されるには困難で、費用が高く、又は危険すぎる可能性がある事実上全ての構造物が、潜在的に、システム100を使用して検査され得る。

【0044】

UAV105は、その上に1以上の支持構造物120が配置されるところの、本体構造115を含む。1以上の支持構造物120が、一端において本体構造115に取り付けられ、第2の端においてNDIデバイス125と統合される。ある実施例では、1以上の支持構造物120のうちの少なくとも1つは、マニピュレータアームを備える。マニピュレータアームは、把持器を備える。把持器は、検査されている構造物110に対して1以上のNDIデバイス125を操作するように動作可能である。ある実施例では、1以上の支持構造物120及び/又はマニピュレータアームのうちの少なくとも1つが、1以上の保守ツールを有するように構成され得る。1以上の保守ツールは、研磨機、ドリル、ブラシ、塗料噴霧器、マーカー、レーザー、レーザーマーキングシステム、インクスタンプ、又はターゲットアプリケーションを備える。

【0045】

1以上のNDIデバイス125は、非限定的に、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的インピーダンスセンサ、光センサ、x線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ、表面粗さセンサ、IRサーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサ、を含む1以上のセンサを含み得る。

【0046】

1以上のNDIデバイス125は、非限定的に、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、又は把持器ベースのものを含んで、検査されるべき構造物110の表面

10

20

30

40

50

上に、1以上のNDIデバイス125及び/又はUAV105を物理的に保持する、固定機構を含むことができる。磁気ベースのアプローチでは、EP磁石が、電気パルスを用いて有効になり、電力を使用せずに励磁されたままであり得る。接着剤が乾燥する間、接着剤ベースのアプローチと組み合わせられ得る、真空ベースのアプローチでは、米国特許番号第8,738,226号で説明される、1以上のモータ駆動式羽車ユニットを含み得る搭載型の真空生成システムを、UAVが含み得る。モータが回転する速度が、生成される真空の量を決定し、モータが回転する速度は、モータ制御ユニットによって制御される。モータ制御ユニットは、オペレータによって又は制御ワークステーションのステーションから自動制御システムによって、指示命令される。真空取り付けシステムは、システムが、大き過ぎる負圧を失うことなしに、小さい物体を覆って滑らかに動くことを可能にする、ダクティング及び自動平滑化スカート(又はパック)も含み得る。静電ベースのアプローチでは、基板材料(例えば、検査されている構造物の表面)と支持構造体又はNDIセンサの電子接着表面との間で、静電力が使用される。このアプローチでは、電子接着パッドが、ポリマーの表面上に堆積した導電性電極から成る。交互に正電荷と負電荷が、隣接する電極に誘導されたとき、電場が基板上に反対の電荷をセットアップし、したがって、電極と基板上の誘導された電荷との間で静電接着をもたらす。接着剤ベースのアプローチでは、粘着性のある接着剤又は除去可能な接着剤のパッドを、タブを引っ張ることによって表面から取り外すことができる。更に、スイッチオン及びオフできる接着剤が使用される。それは、構造体に接着剤の変化を起こさせることによって、接着剤が、自由自在に粘着性を有したり又は粘着性を有さなかつたりし得ることを意味する。把持器ベースのアプローチでは、駆動されたときに開閉して、検査されている構造物の一部分の上に物理的にホールドする、1以上の把持部分を有する端部分を、1以上の支持構造体が含み得る。

【0047】

磁気ベースのアプローチに関して、1以上のNDIデバイス125は、本出願と同じ権利者によって共に所有される、「Adaptive Magnetic Coupling System」という名称の米国特許番号第9,156,321号などを背景技術の実施例として説明した場合、連結磁石の間の引力を能動的に制御する固定機構を含み得る。この実施例では、1以上のNDIデバイス125が、1以上のNDIデバイス125を構造物110に連結するために使用される磁石の間の引力の大きさを能動的に調整することによって、構造物110の変動する厚さに自動的に適合するように動作可能であり得る。

【0048】

ある実施例では、1以上のNDIデバイス125が、一旦、UAV105によって展開されると、移動を促進するために表面と係合し得る、トラック、ホイール、関節アームなどの、1以上の運動機構を使用して、構造物110の表面に沿って又は表面の周りを移動するように動作可能であり得る。運動は、制御されたやり方で固定機構のスイッチを選択的にオン及びオフすることなどによって、少なくとも固定機構を使用して達成され得る。例えば、磁気ベースのアプローチを使用して、1以上のNDIデバイス125は、構造物110の変動する厚さを有する外面を覆って移動することができる。この場合、センサデータが制御システムによって使用されて、1以上のNDIデバイス125と構造物110との間の適切な引力を判定し、磁気連結システムが変動する厚さを有する外面に自動的に適合することを可能にする。ある実施例では、本出願に共に含まれる、「Holonomic Motion Vehicle for Travel on Non-Level Surfaces」という名称の米国特許番号第8,738,226号を背景技術の実施例とした教示は、1以上のNDIデバイス125の移動を容易にするために使用され得る。この実施例では、1以上のNDIデバイス125が、4つ(又は4の倍数)のメカナムホイールを有するフレームを有し得る。この場合、各ホイールは、それぞれ独立して制御されるモータによって駆動され、更に、複数(例えば、2つ)の独立して制御される負圧デバイスを有する。メカナムホイールは、ホロノミック運動を可能にし、一方、負圧デバイスは、平面ではない表面上での運動の十分に精密な制御を容易にする。

【0049】

10

20

30

40

50

ある実施例では、UAV105が、プログラムされた飛行計画に従ってUAV105をナビゲートすることを可能にする、搭載型のシステムを含み得る。該システムは、検査されている構造物110のための検査データが取得されることを可能にする。ある実施例では、UAV105が、無線UAVコントローラ130を使用して、オペレータによって飛行経路135に沿って飛ばされ得る。UAV105は、本出願に共に含まれる、「Closed-Loop Feedback Control Using Motion Capture System」という名称の米国特許番号第7,643,893号を背景技術の実施例とした教示を使用して制御され得る。UAV105は、モーションキャプチャシステムを使用して、閉ループフィードバック制御システムを使用して制御され得る。システムは、UAV105が制御空間内で動作する際に、UAV105の1以上の運動特性を測定するように構成されたモーションキャプチャシステムを含み得る。プロセッサが、モーションキャプチャシステムから測定された運動特性を受信し、測定された運動特性に基づいて制御信号を決定する。位置制御システムが、所望の運動状態を維持し又は取得するために、制御信号を受信し、UAV105の少なくとも1つの運動特性を連続的に調整する。UAV105は、受動的逆反射マーカ（passive retro-reflective marker）を装備し得る。モーションキャプチャシステム、プロセッサ、及び位置制御システムは、完全な閉ループフィードバック制御システムを備える。

10

【0050】

検査データは、1以上のセンサからのデータを含み得る。検査データは、画像、ビデオ、又は音響データも含み得る。UAV105によって遵守される予めプログラムされた飛行計画は、UAV105が、構造物110の一部分の周りの飛行経路を辿ることを可能にする。ある実施例では、2つ以上のUAV105が、使用され、輸送体の「群れ」として見られ得るものを形成することができる。その群れは、単一のUAVより少ない時間で、構造物110の様々な領域の検査を可能にする。さもなければ、その検査は、困難であり、高価であり、及び/又は検査するために輸送体を操縦する人間にとって危険であり得る。

20

【0051】

システム100は、UAV105から無線通信を受信するための遠隔検査ステーション140を更に含み得る。遠隔検査ステーション140は、検査の技術者又はオペレータによる視認のためのアンテナ及びコンピュータ制御システムを含み得る。遠隔検査ステーション140は、コマンドを送信し、又は、燃料の残り、バッテリーパワーの残りなどの、UAV105の様々な性能パラメータをモニタするために使用され得る。遠隔検査ステーション140は、UAV105の飛行経路135を変更するためのコマンドを生成するためにも使用され得る。

30

【0052】

遠隔検査ステーション140は、LPS145を含み得る。ある実施例では、LPS145が、それらの両方が本出願と同じ権利者によって所有される、「Local Positioning System and Method」という名称の米国特許出願番号第8,044,991、及び、「Method involving a Pointing Instrument and a Target Object」という名称の米国特許番号第7,859,655号を背景技術の実施例とした教示を使用し得る。

40

【0053】

米国特許番号第7,859,655号で説明されている一実施例では、LPS145が、ビデオカメラ、レーザー測距器、電動測定パンチルト軸、及びコンピュータ、すなわち、LPS145と通信する遠隔検査ステーション140を含み得る。LPS145は、照準点軸を有し機器の座標系を有する、レーザー測距器150などの、ポインティング機器を使用して、ターゲット物体の座標系を有する、構造物110などの、ターゲット物体の表面上の注目点の位置を判定するための方法を使用することができ、パンチルト角に加えて、ターゲットポイントの各々に対して、レーザー測距器150によって測定された距離を使用する。方法は、機器の照準点軸が、順番に、ターゲット物体の表面上の3つの較正点の各々と位置合わせされるときに、機器の座標系内の照準点軸の配向を測定することを含み得る。ターゲット物体の座標系内の3つの較正点は、既知である。方法は、機器から

50

3つの較正点の各々までの照準点軸に実質的に沿った距離を測定することも含む。方法は、少なくとも、3つの較正点に対応する機器の座標系内で測定された配向及び距離、並びにターゲット物体の座標系内の3つの較正点の既知の位置、を使用して、機器の座標系内で規定される位置をターゲット物体の座標系内で規定される位置へ変換する、(時々、カメラ姿勢行列と称される)較正行列を計算することも含む。方法は、機器の照準点軸が注目点と位置合わせされるときに、機器の座標系内の照準点軸の配向を測定することも含む。方法は、少なくとも、注目点に対応する機器の座標系内の照準点軸の測定された配向、較正行列、及び機器から注目点までの照準点軸に実質的に沿った距離とターゲット物体の座標系内のターゲット物体の表面のモデルのうちの少なくとも1つ、を使用して、ターゲット物体の座標系内の注目点の位置を計算することも含む。方法は、計算された位置を記憶することも含む。

10

【0054】

米国特許番号第7,859,655号において説明されている別の一実施例では、LPS145が、ターゲット物体の座標系を有する、構造物110などの、ターゲット物体の表面上の注目点に位置合わせされる機器の照準点軸のための機器の座標系を有する、レーザー測距器150などの、ポインティング機器の照準点軸の配向を判定するための方法を使用し得る。ここで、ターゲット物体の座標系内の注目点の位置は、既知である。方法は、ターゲット物体の座標系内で規定された位置を、機器の座標系内で規定された位置へ変換する、逆較正行列を計算することも含む。方法は、少なくとも、逆較正行列、ターゲット物体の座標系内の注目点の位置、及び機器の逆運動学を使用して、機器の座標系内の機器の照準点軸の配向を計算することも含む。方法は、機器の照準点軸を計算された配向に方向付けることも含む。

20

【0055】

米国特許番号第7,859,655号において説明されている更に別の一実施例では、LPS145が、ターゲット物体の座標系を有する、構造物110などの、ターゲット物体の表面上の画像をトレースするためのレーザー光線のための機器の座標系を有する、レーザー測距器150などの、レーザーのレーザー光線の方法を制御するための方法を使用し得る。ここで、ターゲット物体の座標系内のターゲット物体の表面上の画像のためのポイントの位置は、既知である。方法は、ターゲット物体の座標系内で規定された位置を、機器の座標系内で規定された位置へ変換する、逆較正行列を計算することも含む。方法は、少なくとも、逆較正行列、ターゲット物体の座標系内のターゲット物体の表面上の画像のためのポイントの位置、及び機器の逆運動学を使用して、機器の座標系内のレーザーのレーザー光線の方法を計算することも含む。方法は、ターゲット物体の表面上の経路をトレースするために、計算された方向へレーザー光線を方向付けることも含む。

30

【0056】

米国特許番号第8,044,991号で説明されている更なる一実施例では、LPS145が、ビデオカメラ、レーザーポインター、電動測定パンチルト軸、及びコンピュータ、すなわち、ビデオカメラによって照準を調整され且つターゲット物体の座標系を有するLPSと通信する、遠隔検査ステーション140を含み得る。コンピュータが、ターゲット物体に対するビデオカメラの相対的な位置及び配向を規定し、ターゲット物体の座標系内のビデオカメラの位置及び配向を判定し、ターゲット物体の座標系内の注目点の位置を判定するように適合されている。システムは、以前に記録されたターゲット物体上の注目点へ、カメラを向けるためにも使用され得る。局所的測位システムは、ビデオカメラを含み得る。ビデオカメラは、(遠隔で制御される)自動ズーム機能を有し、更に、ビデオカメラの光画像フィールドのディスプレイ内のポイントの精密なロケーション特定を容易にするために、統合照準線生成器を更に含み得る。ビデオカメラの固定された座標系に対するカメラの配向を表す方向ベクトルが、方位角と仰角、更に、カメラが注目点に向けられたときの光学視野内の照準線マーカーの中心の位置から判定される。この方向ベクトルは、カメラのレンズから延在しターゲット物体上のロケーションと交差する、線と考えられ得る。三次元のロケーション特定ソフトウェアが、コンピュータにロードされ得る。3D

40

50

ロケーション特定ソフトウェアは、ターゲット物体に対するビデオカメラのロケーション（位置と配向）を規定するために、ターゲット物体上の距離における多数の較正点を使用し得る。ある用途では、3Dロケーション特定ソフトウェアが、ターゲット物体に対するビデオカメラの相対的な位置と配向を規定するために、ビデオカメラに関連するパンチルトデータと組み合わせて、ターゲット物体上の複数の較正点を使用し得る。較正点は、3DCADモデル又は他の測定技術から判定される、ターゲット物体のローカル座標系内の既知の位置の視認可能な特徴であり得る。較正点は、ターゲット物体に対するカメラの位置及び配向を求めるために、パンチルト機構からの方位角と仰角を用いて座標系内で使用され得る。一旦、ターゲット物体に対するビデオカメラの位置と配向が判定されると、コンピュータは、ビデオカメラの光画像フィールドを、ターゲット物体上の未知の位置の所望のロケーションへ回転させズームするように操作され得る。方向ベクトルのこの位置において、（方位角軸と仰角軸に沿ったビデオカメラの角度を含み得る）ビデオカメラの配向が記録され得る。パンチルトユニットからの方位角と仰角、及び、較正プロセスにおいて判定されたカメラの相対的な位置と配向、を使用することによって、注目点のロケーションが、ターゲット物体の座標系に関して判定され得る。（以前のデータ取得セッション、CADモデル、又は他の測定から）注目点の位置がターゲット物体の座標系内で既知であり得る、逆プロセスも実行され得る。この状況では、LPS145が、任意のロケーションに配置され得る。そのロケーションは、（元々のデータが記録されたロケーションとは異なるロケーションであり得る）較正点が視認可能な作業領域である。そして、カメラ姿勢較正ステップが、実行され得る。注目点からカメラへの方向ベクトルは、ターゲット物体の座標系内で計算され得る。カメラ姿勢変換の逆行列が、方向ベクトルをカメラの座標系の中へ変換するために使用され得る。その後、方位角と仰角が、計算され、パンチルトユニットによって使用されて、カメラをターゲット物体上の注目点に向け得る。ある用途では、（例えば、3つなどの）少なくとも1つのレーザーポインターが、カメラに取り付けられ、方向ベクトルと位置合わせされ得る。少なくとも1つのレーザーポインターが、ビデオシステムの目標又は方向に関して、ターゲット物体上の可視指示を提供し得る。レーザーポインターによって提供される、この照準特徴は、UAV105のターゲット物体及び/又は本体構造115上の位置較正点と注目点の迅速な選択を容易にする助けとなり得る。何故ならば、レーザーポインターから放射される（図示せぬ）レーザー光線とターゲット物体との交差部分は、裸眼で視認可能だからである。ターゲット物体上のロケーションを示すことによって（以前の修理ロケーション又は他の注目点であり得る）ターゲット物体の座標系内のポイントを思い出すときにも、レーザーポインターの使用は有用であり得る。

【0057】

ある実施例では、UAV105が、無線UAVコントローラ130を使用する及び/若しくは無線UAVコントローラ130に統合され得るコンピュータ制御要素を使用する直接的な手動制御、並びに/又はLPS145、並びに/又は遠隔検査ステーション140によって制御され得る。

【0058】

図2を参照すると、本開示の実施例による、構造物を検査するためのシステム200が示されている。システム200は、図1のシステム100と類似する。それらの差異は、1以上の支持構造体220の配置、取り付けデバイス、NDIデバイス225のロケーション、及び釣り合い重り230の追加である。この実施例では、1以上の支持構造体220のうちの少なくとも1つが、UAV205の本体構造215の長手方向軸において配置されている。1以上のNDIデバイス225は、支持構造体220の一端において統合され得る。そして、バッテリーであり又はバッテリーを含み得る、釣り合い重り230は、他端において配置され得る。

【0059】

図3を参照すると、本開示の実施例による、構造物を検査するためのシステム300が示されている。システム300は、1以上のNDIデバイス325を支持するように動作

10

20

30

40

50

可能な1以上の支持構造体320を有して配置されたUAV305を含む。1以上のNDIデバイス325は、支持構造体320の一端において統合され得る。システム300は、図1のシステム100と類似する。それらの差異は、1以上のNDIデバイス325が、1以上の支持構造体320から取り外し可能であり、本明細書で説明される固定機構のうち1以上を使用して、構造物110のターゲットロケーション上に物理的に固定され得ることである。一旦、1以上のNDIデバイス325が、ターゲットロケーション上に固定されると、その後、UAV305は、構造物110の別のターゲットロケーションに差し向けられ、そこで、別のNDIデバイス325が、構造物110上に展開され、又はオペレータへ戻るように指示され得る。ある実施例では、一旦、NDIデバイス325が、それらのデータ収集を完了すると、UAV305は、1以上のNDIデバイス325を回収するように指示され得る。または、オペレータの制御を介してか又はさもなければ構造物110と係合解除するようにプログラムされての何れかで、1以上のNDIデバイス325が取り外され、構造物110から落下し得る。

10

【0060】

図1から図3の実施例では、UAV105及び/又はNDIデバイス125、225、335が、構造物110とドッキングするか又は物理的に固定されたときに、NDIデバイス125、225、335に対して構造物に対する位置的安定性を提供する。そのことは、NDIデバイスが損傷のより高度な空間的解像度を取得し、(IRサーモグラフィのような)時間依存感知が実行されることを可能にする。UAV105、205、305の接触を用いて、及び/又は構造物110との接触を行う図2で示された部材235を使用して、位置的安定性が実現され得る。

20

【0061】

図4を参照すると、本開示の実施例による、UAV105によって展開され得るNDIデバイス405が示されている。NDIデバイス125、225、325であり得る、NDIデバイス405は、1以上の接触ベースの、非接触ベースの、又はそれらの両方の感知モダリティを検出するように操作され得る、1以上のNDIセンサを含む。NDIデバイス405は、UAV105、205、305によって運ばれるようにサイズ決定され得る。例えば、1以上のNDIセンサ410は、非限定的に、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的インピーダンスセンサ、光センサ、x線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ、表面粗さセンサ、IRサーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサを含み得る。NDIデバイス405は、任意選択的に、全てが通信バス440を介して接続された、電源415、固定/固定解除機構420、トランシーバ425、コントローラ430、及び運動機構435を含み得る。例えば、電源415は、NDIデバイス405のサブシステムのうちの1以上に電力を供給し得る。ある実施例では、更なる電力又は全電力が、UAV105、205、305に接続されたテザーによって供給され得る。任意選択的なテザーは、1以上のNDIセンサ410へ及びからコマンド又はデータを送受信するために、更に、システムのための安全及び回収機構を提供するためにも、使用され得る。固定/固定解除機構420は、本明細書で開示される1以上の固定機構を含み、NDIデバイス405が、構造物110から取り外され、浮遊機構を介して衝撃から保護されることを可能にする、取り外し機構も含み得る。トランシーバ425は、1以上のNDIセンサ410から、無線UAVコントローラ130及び/又は遠隔検査ステーション140へ、ロケーション及び/又は測定データを提供するように構成され得る。コントローラ430は、NDIデバイス405のサブシステムのうちの1以上を制御し、並びに/又は、トランシーバ425を介して無線UAVコントローラ130及び/若しくは遠隔検査ステーション140と通信するための、指示命令をプログラムされ得る。運動機構435は、本明細書で開示された構造物110の表面に沿って又は表面の周りで、NDIデバイス405を移動させるように動作可能であり得る。

30

40

【0062】

図5を参照すると、システム100、200、300の例示的な一実施態様の動作を説明する方法500が示されている。方法500は、指示命令を記憶した非一過性コンピュ

50

ータ可読記憶媒体であって、その指示命令が、プロセッサによって実行されたときに、プロセッサに構造物のNDIのための方法500を実行させる、コンピュータ可読記憶媒体内で具現化される。動作505では、1以上のNDIデバイス405を有するUAV105、205、305が、構造物110のターゲットロケーションに差し向けられる。例えば、UAV105、205、305は、プログラムされた飛行計画に従ってUAV105、205、305をナビゲートすること、及び、検査されている構造物110のための検査データが取得されること、を可能にする搭載型のシステムを含み得る。更に/又は、UAVは、無線UAVコントローラ130を使用して、オペレータによって飛行経路135に沿って飛ばされ得る。510では、UAV105、205、305は、構造物のターゲットロケーションに物理的に固定され、及び/又は、少なくとも1つの支持構造体120、220、235、320、若しくはマニピュレータアームなどの、エンドエフェクタが、構造物のターゲットロケーションに物理的に固定される。ある実施例では、UAV105、205、305が、NDI試験の間に、構造物110に物理的に固定されたままである。この実施例では、NDI試験を実行する前に、UAVのローターを停止させるための制御信号が、無線UAVコントローラ130によって又はコントローラ430によって提供され得る。別の一実施例では、UAV105、205、305が、NDIデバイス405のうちの1以上を、構造物110に物理的に取り付け、展開後に飛び去ることができる。515では、NDIデバイス405が、1以上のNDIセンサ410を使用して、ターゲットロケーションの1以上のNDI試験を実行する。520では、UAV105、205、305、又はエンドエフェクタが、ターゲットロケーションから物理的に離脱される。

10

20

【0063】

更に、本開示は下記の条項による実施形態を含む。

条項1

非破壊検査(「NDI」)システムであって、

本体構造を備える無人航空輸送体(「UAV」)を備え、前記本体構造が1以上の支持構造体を備え、前記1以上の支持構造体の各々が離脱可能末端構造を備え、

前記システムが、更に、それぞれの離脱可能末端構造に統合された1以上のNDIセンサを備える、NDIシステム。

条項2

非破壊検査(「NDI」)システムであって、

無人航空輸送体(「UAV」)と1以上のNDIデバイスとを備え、前記UAVが本体構造を備え、前記本体構造が前記1以上のNDIデバイスを支持するように構成された1以上の支持構造体を備え、前記1以上のNDIデバイスが前記1以上の指示構造体から離脱可能であり、

30

前記NDIシステムが、更に、前記1以上のNDIデバイスに統合された1以上のNDIセンサを備え、前記1以上のNDIデバイスは、検査されるべき構造物に前記1以上のNDIセンサを固定するように動作可能な取り付け機構を備える、NDIシステム。

条項3

前記UAVが、前記離脱可能末端構造から前記1以上のNDIセンサを離脱するために、前記1以上の支持構造体に制御信号を提供するように動作可能な、解放コントローラを備える、条項1または2に記載のNDIシステム。

40

条項4

前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つが、1以上のNDI感知モダリティを感知するように動作可能である、条項1~3のいずれか一項に記載のNDIシステム。

条項5

前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つに対する電力、前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つに対する制御信号、及び安全機構と回収機構、のうちの1以上を提供するように動作可能なテザーを備える、条項1~4のいずれか一項に記載のNDIシステム。

50

条項 6

前記 1 以上の N D I センサが、検査されるべき構造物に前記 1 以上の N D I センサを固定するように動作可能な取り付け機構を備える、条項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 7

前記構造物の座標系を使用して、前記構造物に対する前記 1 以上の N D I センサのうちの少なくとも 1 つの位置、配向、又は前記位置と前記配向の両方を判定するように動作可能なロケーション追跡システムを更に備える、条項 6に記載の N D I システム。

条項 8

前記取り付け機構が、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、把持器ベース、又は接着剤ベースである、条項 5 または 6に記載の N D I システム。

10

条項 9

前記 U A V が、追跡システムから取得された位置及び配向データを使用して更新され又は遠隔制御システムを使用して制御される、所定の飛行経路を使用して移動するように動作可能である、条項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 1 0

前記 1 以上の N D I 感知モダリティが、接触ベースの N D I 感知モダリティを含む、条項 3 ~ 9 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 1 1

前記 1 以上の N D I センサが、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的インピーダンスセンサ、光センサ、x 線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ、表面粗さセンサ、I R サーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサ、うちの少なくとも 1 つを備える、条項 1 ~ 1 0 のいずれか一項に記載の N D I システム。

20

条項 1 2

前記 1 以上の支持構造体のうちの少なくとも 1 つが、マニピュレータアームを備える、条項 1 ~ 1 1 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 1 3

前記マニピュレータアームが、把持器を備え、前記把持器が、検査されている構造物に対して前記 1 以上の N D I センサを操作するように動作可能である、条項 1 2に記載の N D I システム。

30

条項 1 4

前記 1 以上の N D I センサが、データ収集の間に、前記検査されるべき構造物に対して移動される、条項 5 ~ 1 3 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 1 5

前記 1 以上の支持構造体のうちの 1 つが、1 以上の保守ツールを有するように構成され、前記 1 以上の保守ツールが、研磨機、ドリル、ブラシ、塗料噴霧器、マーカー、インクスタンプ、レーザー、又はターゲットアプリケーションを備える、条項 1 ~ 1 4 のいずれか一項に記載の N D I システム。

条項 1 6

非破壊検査（「N D I」）システムであって、
構成要素を収容するように構成されたハウジングを備え、前記ハウジングが、
構造物の 1 以上の特性を測定するように動作可能な 1 以上の N D I センサ、
前記構造物に対して前記ハウジングを固定又は離脱するように動作可能な取り付け機構、及び
前記 1 以上の N D I センサからの測定データを送信するように動作可能なトランシーバを備え、

40

前記ハウジングが、無人航空輸送体（「U A V」）によって前記構造物のターゲットロケーションへ送られるようにサイズ決定されている、N D I システム。

条項 1 7

前記 1 以上の N D I センサが、渦電流センサ、超音波センサ、音響センサ、機械的イン

50

ピーダンスセンサ、光センサ、x線後方錯乱センサ、計算されるトモグラフィのセンサ、表面粗さセンサ、IRサーモグラフィ、マイクロ波センサ、及びテラヘルツセンサ、のうちの1以上を備える、条項16に記載のNDIシステム。

条項18

前記取り付け機構が、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、及び把持器ベースのうちの1つである、条項16または17に記載のNDIシステム。

条項19

前記1以上のNDIセンサに電力を供給するように動作可能な電源を更に備える、条項16～18のいずれか一項に記載のNDIシステム。

条項20

前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つに対する電力、前記1以上のNDIセンサのうちの少なくとも1つに対する制御信号、及び安全機構と回収機構、のうちの1以上を提供するように動作可能なテザーを更に備える、条項16～19のいずれか一項に記載のNDIシステム。

条項21

前記ハウジングの少なくとも一部分に対する衝撃保護を提供するように動作可能な、衝撃保護構造体を更に備える、条項16～20のいずれか一項に記載のNDIシステム。

条項22

前記衝撃保護構造体が、空気注入可能な構造体又は浮遊構造体を備える、条項20に記載のNDIシステム。

条項23

前記構造物の表面に沿って前記ハウジングを移動させるように動作可能な運動機構を更に備える、条項16～22のいずれか一項に記載のNDIシステム。

条項24

プロセッサによって実行されたときに、前記プロセッサに構造物の非破壊検査(「NDI」)のための方法を実行させる指示命令を記憶した非一過性コンピュータ可読記憶媒体であって、前記方法が、

無人航空輸送体(「UAV」)を前記構造物のターゲットロケーションに差し向けること、

前記UAV又はエンドエフェクタを前記ターゲットロケーションに物理的に固定すること、

1以上のNDIセンサを使用して前記ターゲットロケーションのNDIを実行すること、及び

前記UAV又は前記エンドエフェクタを前記ターゲットロケーションから物理的に離脱すること、を含む、非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

条項25

コンピュータシステムのプロセッサによって実行されたときに、前記コンピュータシステムに構造物の非破壊検査(「NDI」)のための方法を実行させるコンピュータプログラム指示命令を備えたコンピュータプログラムであって、前記方法が、

無人航空輸送体(「UAV」)を前記構造物のターゲットロケーションに差し向けること、

前記UAVの1以上のNDIデバイスを前記ターゲットロケーションに物理的に固定すること、及び

前記1以上のNDIデバイスに統合された1以上のNDIセンサを使用して前記ターゲットロケーションのNDIを実行すること、を含む、

前記方法が更に、前記1以上のNDIデバイスを前記構造物の前記ターゲットロケーションに物理的に固定すると、前記UAVの1以上の支持構造体から前記1以上のNDIデバイスを取り外すことを含む、コンピュータプログラム。

条項26

前記方法が、前記実行するステップの前に、前記UAVのローターを起動解除するため

10

20

30

40

50

の制御信号を提供することを更に含む、条項 2 4 または 2 5に記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

条項 2 7

前記物理的に固定することが、磁気ベース、真空ベース、静電ベース、接着剤ベース、又は把持器ベースである、条項 2 4 ~ 2 6 のいずれか一項に記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

条項 2 8

前記方法が、前記 1 以上の N D I センサのうちの少なくとも 1 つを、前記ターゲットロケーションへ展開することを更に含む、条項 2 4 ~ 2 7 のいずれかに記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

10

条項 2 9

前記方法が、ロケーション特定システムを使用して、前記ターゲットロケーションに対する、位置、配向、又は前記位置と前記配向の両方を追跡することを更に含む、条項 2 4 ~ 2 8 のいずれかに記載の非一過性コンピュータ可読記憶媒体。

【 0 0 6 4 】

単純化と例示目的のために、本教示の原理が、主としてその例示的な実施態様を参照することによって説明された。しかし、同じ原理が、全ての種類の情報とシステムに等しく適用可能であり、それらに実装可能であること、及び、任意のそのような変形例は、本教示の真の精神及び範囲から逸脱しないことが、当業者によって直ちに理解されるだろう。更に、前述の詳細な説明において、添付の図面が参照されたが、それらは、特定の例示的な実施態様を示している。本教示の精神及び範囲から逸脱することなしに、例示的な実施態様に対する電氣的、機械的、論理的、及び構造的な変更がなされ得るだろう。したがって、前述の詳細説明は限定的な意味に解釈すべきではなく、本開示の範囲は付随する特許請求の範囲及びそれらの等価物によって規定される。

20

【 0 0 6 5 】

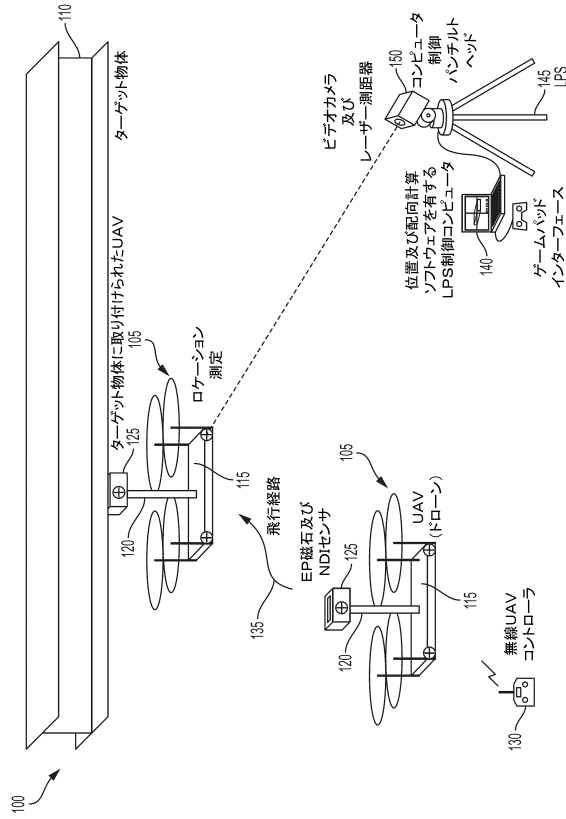
本明細書で使用されている用語及び記述は、説明のみを目的としたもので、限定を意図していない。例えば、方法は上から下へのやり方で説明されたが、方法のステップは、示されたものとは異なる順序で又は同時に実行され得る。加えて、用語「含んでいる」「含む」「有している」「有する」「伴う」またはそれらの変形が、明細書と特許請求の範囲のどちらかで使用されている限り、こうした用語は、用語「含む / 備える (comprising)」と同様の意味で包括的であることが意図されている。本明細書で使用される際に、例えば、A 及び B などの項目の列挙に関する「の 1 以上」という用語は、A だけ、B だけ、又は A と B を意味する。当業者は、これらの及び他の変形が可能であることを理解するだろう。

30

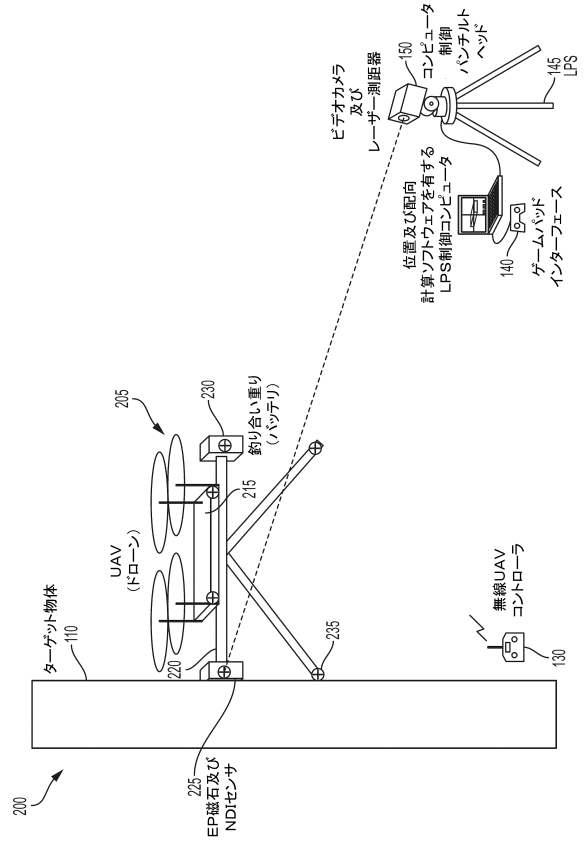
【 0 0 6 6 】

本教示と一貫する他の実施態様は、本明細書の開示の仕様及び実践を検討することにより、当業者に明らかとなるだろう。本明細書及び実施例は、単なる例示的なものと見なすことが意図されており、本開示の真の範囲と精神は、以下の特許請求の範囲によって示される。

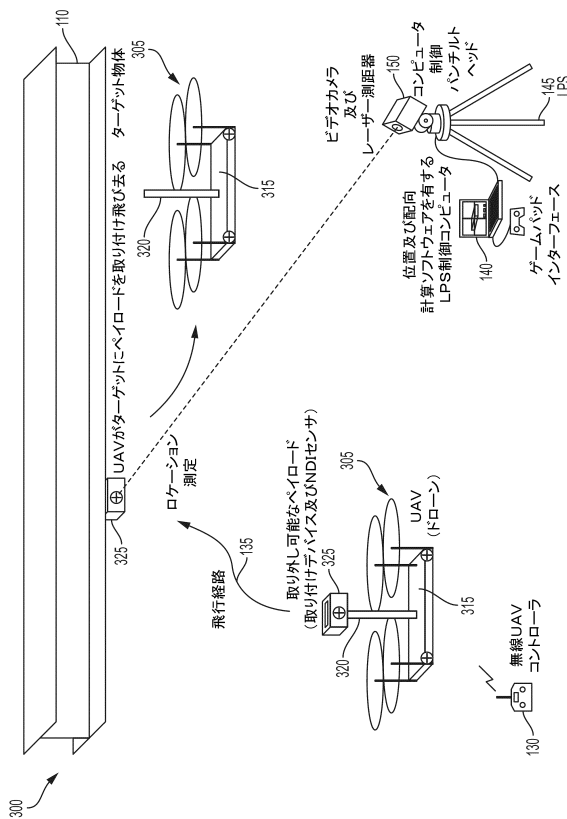
【図1】



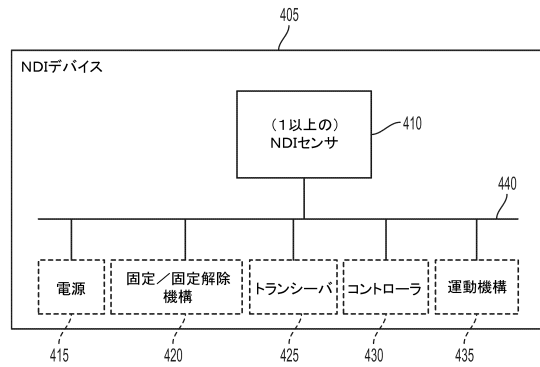
【図2】



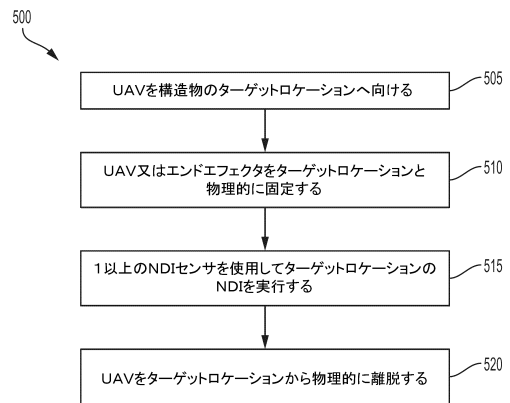
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 レア, スコット
アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100

(72)発明者 トロイ, ジェームズ ジェイ.
アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
100

審査官 森口 正治

(56)参考文献 特開2015-101168(JP,A)
米国特許第09280038(US,B1)
特表2017-504983(JP,A)
特開2016-107843(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01M 13/00-99/00
B64C 39/02