

明 細 書

発明の名称： 撮影調査システム、及び撮影調査方法

技術分野

[0001] 本発明は、撮影調査システム、及び撮影調査方法に関する。より詳細には、本発明は、管状空間内部、矩形状空間内部等の閉鎖性空間内部を初めとする調査空間内部で無人飛行体を用いて撮影調査を行うためのシステム、及び方法に関する。

背景技術

[0002] 下水道管路の耐用年数はおよそ50年とされており、今後、耐用年数を迎える施設が飛躍的に増加すると想定されている。効率的な維持管理のためには、下水道管路状態の把握が不可欠である。

[0003] 従来、下水道管路状態の調査方法は、調査員が管内に潜行して直接目視により調査する方法、地上とケーブル接続されたテレビカメラを管内に配置して撮影する方法、地上とケーブル接続されたテレビカメラを自走式車両に搭載して管内に配置し、走行しつつ撮影する方法等が用いられていた。しかしながら、調査員の直接目視による方法においては、下水道管路内に有毒ガスが発生して人体に影響を及ぼす危険性や急な降雨時の浸水による危険性等、さまざまな問題があり、またテレビカメラを管内に配置する方法においても、十分な調査速度が得られなかったり、下水道管路内の水位が上昇した時に車両の制御が困難になったりする等の問題がある。

[0004] また下水道管路に限らず、壁面や天井等、何らかの境界面との衝突が起こり得る環境で無人飛行機を飛行させるに際しては、当該境界面との衝突により無人航空機の制御可能性が損なわれたり、場合によっては機体に損傷が生じたりする恐れもある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2017-087917号公報

特許文献2：特開2017-226259号公報

特許文献3：特開2018-001967号公報

特許文献4：特開2014-239665号公報

特許文献5：特開2014-236728号公報

特許文献6：特開2013-000059号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] そこで本発明は、無人飛行体を用いて下水道管路内をはじめとする調査空間内での撮影調査を行うための装置構成、手法等を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するべく、本発明は、無人飛行体を置くことができる飛行開始台と、線状部材につながれており、調査カメラと、進行方向撮影カメラと、無人飛行体側通信部とを備え、調査空間内で飛行開始台に置かれた状態から飛行を開始し、進行方向撮影カメラにより調査空間内で進行方向を撮影し、進行方向の撮影で得られた進行方向撮影データを無人飛行体側通信部から送信しつつ、調査空間内を飛行する、無人飛行体と、表示部と、外部制御装置側通信部とを備え、外部制御装置側通信部により進行方向撮影データを受信し、進行方向撮影データより得られた動画又は静止画を表示部に表示しつつ、無人飛行体に対する制御命令の入力を受け付け、制御命令を示す信号を外部制御装置側通信部から送信する、外部制御装置と、線状部材に接続され、無人飛行体を引き寄せる引き寄せ装置とを備えた、撮影調査システムを提供する。

[0008] また本発明は、線状部材につながれており、調査カメラと、進行方向撮影カメラと、無人飛行体側通信部とを備えた無人飛行体を、飛行開始台に置いた状態で調査空間内に入れることと、無人飛行体が、調査空間内で飛行開始台に置かれた状態から飛行を開始し、進行方向撮影カメラにより調査空間内で進行方向を撮影し、進行方向の撮影で得られた進行方向撮影データを無人

飛行体側通信部から送信しつつ、調査空間内を飛行することと、表示部と、外部制御装置側通信部とを備えた外部制御装置が、外部制御装置側通信部により進行方向撮影データを受信し、進行方向撮影データより得られた動画又は静止画を表示部に表示しつつ、無人飛行体に対する制御命令の入力を受け付け、制御命令を示す信号を外部制御装置側通信部から送信することと、線状部材に接続された引き寄せ装置が、無人飛行体を引き寄せることとを含む、撮影調査方法を提供する。

- [0009] 引き寄せ装置は、線状部材を巻くことにより無人飛行体を引き寄せる自動巻き装置であってよい。
- [0010] 引き寄せ装置が無人飛行体を引き寄せることは、無人飛行体が進行方向への進行を停止し、且つ浮いている状態で行われるものであってよい。
- [0011] 上記方法は、引き寄せ装置により無人飛行体が引き寄せられている間に調査カメラが調査空間内で撮影を行うことを含んでよい。
- [0012] 上記方法は、調査カメラの撮影により得られた調査カメラ撮影データから、調査空間の境界面に対応する展開図又は展開画像データを生成し、画像として表示することを含んでよい。
- [0013] 飛行開始台にはアンテナが取り付けられていてよく、無人飛行体側通信部と外部制御装置側通信部との間の通信は、アンテナを用いて、無線LAN（Local Area Network）通信規格に従って行われるものであってよい。
- [0014] 進行方向撮影データより得られる動画又は静止画の解像度は、調査カメラによる撮影で得られる撮影データより得られる動画又は静止画の解像度よりも低くてよい。
- [0015] 飛行開始台は棒状体の先端部に取り付けられていてよく、棒状体を、無人飛行体が置かれた飛行開始台の側から調査空間内へと挿入することにより無人飛行体を調査空間内に入れることができる。
- [0016] 棒状体の先端部に取り付けられており無人飛行体が置かれた飛行開始台を台車上に置き、台車に設けられた開口部から棒状体を調査空間内へと挿入す

ることにより、無人飛行体を調査空間内に入れることができる。

発明の効果

[0017] 本発明により、無人飛行体を用いて撮影調査を行うための具体的な手順、装置等が提案され、これにより、下水道管路内等での安全な撮影調査が可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1A]本発明の一実施形態である無人航空機の斜視図。

[図1B]図1Aの無人航空機をzの正方向から見た図。

[図1C]図1Aの無人航空機をyの正方向から見た図。

[図1D]図1Aの無人航空機を進行方向の後方側から見た斜視図。

[図1E]図1Aの無人航空機をzの負方向側から見た斜視図。

[図1F]図1Aの無人航空機をzの負方向側、且つ図1Eとは異なる方向から見た斜視図。

[図2]先行衝突部材（車輪、ローラー等の回転部材）を保持する保持部材と、保持部材が取り付けられる保持部材取付部材を示す図。

[図3A]先行衝突部材を取り外した状態の保持部材を示す図。

[図3B]図3A中のAで示す矢印方向で見たときの保持部材、保持部材に取り付けられる先行衝突部材（車輪、ローラー等の回転部材）、及び先行衝突部材用軸部を示す図。

[図4]車輪、ローラー等の回転部材以外の先行衝突部材を取り付けた保持部材を示す図。

[図5A]保持部材が対応するロータの組よりも低い位置を中心に回転するよう機体に取り付けられた時の位置関係を示す図。

[図5B]図5Aに示す保持部材が機体に対して傾斜した時の位置関係を示す図。

[図5C]飛行中に図5Bに示す傾斜が起こった時に各ロータに作用する力と、それに起因して生じる機体の回転方向を示す図。

[図5D]図5Cに示すロータへの力の作用により機体が傾斜した時の位置関係

を示す図。

[図5E]図5A～図5Dを用いて説明した機体の傾斜の原理を示す概念図。

[図6A]保持部材が対応するロータの組よりも高い位置を中心に回転するよう機体に取り付けられた時の位置関係を示す図。

[図6B]図6Aに示す保持部材が機体に対して傾斜した時の位置関係を示す図。

[図6C]飛行中に図6Bに示す傾斜が起こった時に各ロータに作用する力と、それに起因して生じる機体の回転方向を示す図。

[図6D]図6Cに示すロータへの力の作用により機体が傾斜した時の位置関係を示す図。

[図6E]図6A～図6Dを用いて説明した機体の傾斜の原理を示す概念図。

[図7A]比較例におけるロータとモータ部材の位置関係を示す斜視図。

[図7B]図7Aのロータとモータ部材をxの正方向から見た図。

[図7C]図7A中のモータ部材を図7B中のA-A面で切断した断面、及び各々のモータ部材を示す図。

[図8]本実施形態におけるロータとモータ部材の位置関係を示す斜視図。

[図9]図1Aの無人航空機の機能構成を示すブロック図。

[図10]図1Aの無人航空機を飛行させることができる下水道管路施設の構造を示す図。

[図11]図1Oの下水道管路施設内の管状空間の内部を飛行する、図1Aの無人航空機を示す図。

[図12A]図11で示す飛行中に先行衝突部材が下水道管路の内壁に衝突する様子を示す図。

[図12B]図12Aに示す衝突に応じて保持部材が回転し、機体の上昇に応じて当該保持部材が保持する別の先行衝突部材も内壁に衝突する様子を示す図。

[図12C]図12Bに示す保持部材の傾斜後、機体が傾斜する様子を示す図。

[図13A]図11で示す飛行中に先行衝突部材が下水道管路の内壁に（図12Aで示す衝突位置とは異なる位置において）衝突する様子を示す図。

[図13B]図13Aに示す衝突に応じて保持部材が回転し、機体の上昇に応じて当該保持部材が保持する別の先行衝突部材も内壁に衝突する様子を示す図。

[図14]図1Aの無人航空機が x 軸周りに回転（ロール回転）して傾斜した様子を示す図。

[図15]前方カメラにより撮影される下水道管路内の画像の一例を示す図。

[図16A]本発明の一実施形態である無人飛行体の斜視図（座標軸は図1Aと同様に定義する）。

[図16B]図16Aの無人飛行体を z の正方向から見た図。

[図16C]図16Aの無人飛行体を y の正方向から見た図。

[図16D]図16Aの無人飛行体を進行方向の後方側から見た斜視図。

[図16E]図16Aの無人飛行体を z の負方向側から見た斜視図。

[図16F]図16Aの無人飛行体を z の負方向側、且つ図16Eとは異なる方向から見た斜視図。

[図16G]図16Dに示す態様の変形例として、ピアノ線等のワイヤーを用いて無人飛行体と線状部材とをつないだ例を示す図。

[図17]図16Aの無人飛行体の機能構成を示すブロック図。

[図18]撮影調査を行うための、無人飛行体を含む撮影調査システムの構成例を示す図。

[図19]撮影調査システムの一例における、無人飛行体と飛行開始台以外の装置等を示す図。

[図20]図19の構成例において、台車に設けられた窓が開けられ、無人飛行体を調査空間内に入れるための開口部が見える状態になったときの様子を示す図。

[図21]外部制御装置の一例であるラップトップPC（Personal Computer）の機能構成を示すブロック図。

[図22]釣り糸、紐等の線状部材を巻く自動巻き装置の動作を説明するための概念図。

[図23A]飛行開始台を横から（図18と同様の方向から）見た図。

[図23B]図23Aに示す飛行開始台の斜視図。

[図23C]図23Aに示す飛行開始台を棒状体に対してスイングさせたときの図

。

[図24A]飛行開始台の一例の設計図（図18中の上方から見た図に対応）。

[図24B]飛行開始台の一例の設計図（図18と同様の方向から見た図に対応）

。

[図24C]図24A，図24Bに示すアンテナの設計図。

[図24D]図24A，図24Bに示すアンテナの設計図（飛行開始台における棒状体との接続を示す）。

[図25]本発明による撮影調査の一例において、無人飛行体を載せた飛行開始台を地下空間内（図10等）に挿入している様子を示す図。

[図26]本発明による撮影調査の一例において、無人飛行体を載せた飛行開始台が地下で着地した様子を示す図。

[図27]本発明による撮影調査の一例において、無人飛行体が飛行開始台から離れて飛行を開始した直後を示す図。

[図28]図10の下水道管路施設内の管状空間の内部を飛行する、図16Aの無人飛行体を示す図。

[図29]無人飛行体が図28中のx方向への進行を停止し、浮いている状態で、自動巻き装置により線状部材を巻き取って無人飛行体を後方に引っ張っている様子を示す図。

[図30]無人飛行体が自動巻き装置により引っ張られて飛行開始台の上まで戻ってきた様子を示す図。

[図31]調査カメラの撮影により得られた静止画又は動画データを用いて外部制御装置の表示部に展開画像を描画した画面を示す図。

発明を実施するための形態

[0019]（第一実施形態）

以下、本発明の一実施形態である無人航空機、無人航空機の飛行制御機構、及びこれらを用いる方法を、図面を参照しつつ説明する。ただし本発明に

よる無人航空機、無人航空機の飛行制御機構、及びこれらを用いる方法が以下に説明する具体的態様に限定されるわけではなく、本発明の範囲内で適宜変更可能であることに留意する。例えば、本発明に係る無人航空機は自律飛行型の無人航空機である必要はなく、無人航空機の機能構成も、図9に示されるものに限らず同様の動作が可能であれば任意であり、例えば通信部の機能を主演算部に統合する等、複数の構成要素が実行すべき動作を単独の構成要素により実行してもよいし、あるいは主演算部の機能を複数の演算部に分散する等、図示される単独の構成要素の実行すべき動作を複数の構成要素により実行してもよい。無人航空機の自律制御プログラムは、ハードディスクドライブ等の記録デバイスに記録されて主演算部により読み出されて実行されるものであってもよいし（図示される自律制御プログラムが複数のプログラムモジュールに分解されてもよいし、その他の任意のプログラムが主演算部等により実行されてもよい。）、マイコン等を用いた組み込み型のシステムによって同様の動作が実行されてもよい。以下の実施形態で示される全ての構成要素を本発明に係る無人航空機、無人航空機の飛行制御機構が備える必要はなく（例えば、図1B中のロータ13～16の制御により無人航空機の推進を制御する場合、推力発生プロペラ25を備える必要はないし、自律制御を行わずに完全に外部からの制御で無人航空機を飛行させるならば自律制御プログラムや各種データベースを備える必要もない。）、また示される方法ステップの全てを本発明に係る方法が備える必要もない。無人航空機を浮揚させるための回転翼も、図1B等で示されるような4つのロータ13～16に限らず4以上の任意の回転翼であってよい。推力を発生させるためのプロペラも、図1D等に示す推力発生プロペラ25に限らず任意のプロペラであってよい。また本発明に係る無人航空機の飛行制御機構は、回転翼機、固定翼機等、任意の無人航空機を制御するために用いることができるのであり、本発明に係る無人航空機も回転翼機に限られない。無人航空機の機体サイズも任意である。以下の実施例においては無人航空機が閉鎖性空間内を撮影飛行する一例を示すが、閉鎖性空間に限らず任意の環境で、そして任意の

目的で本発明の無人航空機を飛行させることができるのであり、飛行制御機構も閉鎖性空間内に限らず任意の環境で使用可能である。なお、閉鎖性空間が完全に閉鎖されている必要はなく、少なくとも部分的に閉鎖された、無人航空機の飛行が少なくとも一部制約される空間であればよい。例えば、以下の実施形態に示すようにマンホールを介して外部と接続されている下水道管路内の管状空間も閉鎖性空間であるし、高速道路のトンネルも閉鎖性空間である。保持部材によって保持される先行衝突部材の数も2に限らず任意であるし、機体に取り付けられる飛行制御機構の数も任意である。なお、保持部材は、例えば金属、プラスチック等から形成することができるが、保持部材としての機能が発揮できるならば弾性体等、任意の材料から形成されたものであっても構わない。その他の部材や構成要素も、本発明の機能を発揮できるならば任意の材料からなるものであってよい。

[0020] 無人航空機の構成

図1 Aから図1 Fに、本発明の一実施形態である無人航空機の外観を示す。図1 Aは斜視図であり、図1 Bは図1 Aのzの正方向から見た図であり、図1 Cはyの正方向から見た図であり、図1 Dは進行方向の後方側から見た斜視図であり、図1 E、図1 Fは図1 Aのzの負方向側（ただし互いに異なる方向）から見た斜視図である。無人航空機1は、一例においては口径400 mm程度の閉鎖性空間内を飛行できるよう、全幅（図1 A中、y方向の幅）約250 mm、全長（図1 A中、x方向の幅）約550 mmのサイズで設計されており、本体部2（防水ケース3に収納されている。）と、本体部2からの制御信号により駆動する5つのモータ17～21（図9参照。）と、モータ17～20の各々の駆動により回転して無人航空機1を浮揚させる4つのロータ（回転翼）13～16と（ロータ13、16はzの正方向から見て時計回りに回転し、ロータ14、15はzの正方向から見て反時計回りに回転する等、隣り合うロータ同士は逆向きに回転する。）、モータ21の駆動により回転して無人航空機1の推力を発生させる推力発生プロペラ25と、調査カメラ22と、前方カメラ23と、超音波センサ24とを備えており

、各構成要素はフレーム 4 を用いて統合されている。

[0021] 無人航空機 1 は更に、先行衝突部材（車輪、ローラー等の回転部材） 5， 6 を離間して無人航空機 1 の機体上方（ z 軸の正方向）に保持し、機体内又は機体上の所定位置を中心に機体の側方側（ y の正方向側、または負方向側。ただし y 方向に完全に平行である必要はなく、 x 方向に対して交差する方向であればよい。）へと回転することにより機体に対して傾斜可能な保持部材 9 と、同様に先行衝突部材（車輪、ローラー等の回転部材） 7， 8 を保持して同様に機体に対して傾斜可能な保持部材 10 とを前後（図 1 A の x の正方向を前方とする。また図 1 A の y の正方向を左方向とし、 y の負方向を右方向とする。）に離間して備えている。保持部材 9 は、図 1 E に示すとおり保持部材取付部材 11 によって防水ケース 3 に取り付けられており（図 1 E）、保持部材 10 も同様に、保持部材取付部材 12 によって防水ケース 3 に取り付けられている（図 1 F）。なお、機体に対して取り付ける保持部材の数は任意であり、例えば保持部材 9、10 のうち一方を取り外しても構わないし、機体の重心 26 付近に保持部材を 1 つのみ取り付け用いてもよいし、あるいは保持部材を 3 以上取り付け用いても構わない。なお、本実施例においては図 1 A に示す無人航空機 1 の構成要素のうち、保持部 9，10 及びこれらにより保持される先行衝突部材 5～8、そして先行衝突部材 5～8 が車輪、ローラー等の回転部材である場合には先行衝突部材用軸部 5A～8A や先行衝突部材取付部材 9B-1，9B-2，10B-1，10B-2 を除いたものを「機体」と称する。

[0022] 図 2 に、先行衝突部材 5，6 を保持する保持部材 9 と、保持部材 9 が取り付けられる保持部材取付部材 11 を示す。先行衝突部材 7，8 を保持する保持部材 10 と、保持部材 10 が取り付けられる保持部材取付部材 12 の構成も同様であってよい。図 1 E，図 1 F に示すとおり、保持部材取付部材 11，12 は防水ケース 3 に対して固定されている。保持部材 9 には孔 9A が設けられており、この孔 9A に保持部材取付部材 11 の保持部材用軸部 11A を挿入することにより（図 1 E 参照。図 2 において保持部材用軸部 11A は

紙面に沿って伸びているが、これが紙面垂直方向へと伸びている状態で、当該軸部 11 A を孔 9 A に挿入する。)、機体に保持部材 9 が取り付けられる。保持部材 9 は、保持部材用軸部 11 A を回転軸(固定軸)として、孔 9 A の位置を中心に機体の側方側へと回転することにより機体に対して傾斜することができる。保持部材 9 が保持部材取付部材 11 から離脱することを防止するためには、保持部材 9 を取り付けした後、保持部材用軸部 11 A に対してさらに離脱防止用の部材(キャップ等)を嵌めるなどしてもよい。なお、ここにおける「回転」とは一方向側への回転に限らず双方向側(一例においては図 1 A の y 方向の正負方向側。)の回転であってよく、また 360 度の完全な回転でなくてもよい(以降の「回転」についても同様。)。図 1 E に示すとおり、保持部材 9 は保持部材取付部材 11 によって防水ケース 3 に取り付けられつつ、図 1 A に示すとおりフレーム 4 に設けられた孔から機体上方(z の正方向)へと露出しているが、孔の側方側の境界位置(回転停止位置 4 A, 4 B)において回転運動が阻止されるので、保持部材 9 の回転運動は所定の最大角度までの回転へと制限される。保持部材 10 についても、同様に保持部材取付部材 12 によって防水ケース 3 に取り付けられつつ、フレーム 4 に設けられた孔から機体上方(z の正方向)へと露出しており、孔の側方側の境界位置(回転停止位置 4 C, 4 D。図 1 D 参照)において回転運動が阻止されるので、保持部材 10 の回転運動も所定の最大角度までの回転へと制限される(保持部材 9, 10 の回転の最大角度はそれぞれ異なっていてよい。))。

[0023] 先行衝突部材 5, 6 を取り外した状態の保持部材 9 を図 3 A に示す。先行衝突部材 7, 8 を取り外した状態の保持部材 10 も同様であってよい。保持部材 9 には先行衝突部材取付部材 9 B-1, 9 B-2 が設けられている。図 3 A 中の A で示す矢印方向で見たときの保持部材 9、保持部材 9 に取り付けられる先行衝突部材 5、及び先行衝突部材用軸部 5 A を図 3 B に示す。ここにおいては車輪、ローラー等の回転部材である先行衝突部材 5 は先行衝突部材用軸部 5 A に固定されており、先行衝突部材用軸部 5 A を保持部材 9 の先

行衝突部材取付部材 9 B - 1 に設けられた孔 9 C - 1 に挿入する（図 2 に示すとおり貫通させてもよい。上述の孔 9 A への保持部材用軸部 1 1 A の挿入においても同様）ことにより（図 3 B において先行衝突部材用軸部 5 A は紙面に沿って伸びているが、これが紙面垂直方向へと伸びている状態で、当該軸部 5 A を孔 9 C - 1 に挿入する。）、保持部材 9 により保持される。なお、ここでいう「保持」とは保持部材 9 に対して先行衝突部材 5 が完全に固定されていることを要求するものではなく、先行衝突部材 5 が保持部材 9 から完全に離脱して自由に移動することを防止していればよい（他の保持部材や他の先行衝突部材においても同様。）。図 3 B の構成においては、先行衝突部材（回転部材）5 と先行衝突部材用軸部 5 A が一体となって、先行衝突部材用軸部 5 A を回転軸として、保持部材 9 に保持された状態で回転することができる。先行衝突部材 5 が保持部材 9 から離脱することを防止するためには、先行衝突部材 5 を上記のとおり保持部材 9 に取り付けた後、先行衝突部材用軸部 5 A に対してさらに離脱防止用の部材（キャップ等）を嵌めるなどしてもよい。保持部材 9 が先行衝突部材 6 を保持する態様や、保持部材 1 0 が先行衝突部材 7, 8 を保持する態様も同様であってよい。

[0024] なお、先行衝突部材 5 ~ 8 としては車輪、ローラー等の回転部材以外の部材を用いてもよい。一例として、保持部材に対して固定された先行衝突部材を用いる例を図 4 に示す。図 4 において、先行衝突部材 5, 6 は保持部材 9 に対して固定された部材として構成されており、低摩擦プラスチック材等によって形成されている。このような構成の先行衝突部材、保持部材を用いても、後述するような無人航空機の飛行制御は可能である。ただし、車輪、ローラー等の回転部材を用いる場合とは異なり、先行衝突部材が境界面上を滑りながら（例えばそりのように）進行することになるため、先行衝突部材は境界面との間の摩擦が小さい素材により形成することが好ましい。保持部材 1 0 が先行衝突部材 7, 8 を保持する態様においても同様であってよい。境界面と接触した状態で滑りながら進行することにより先行衝突部材 5 ~ 8 がすり減った場合は先行衝突部材 5 ~ 8 を新たなものへと交換するのが好まし

い。

[0025] 調査カメラ22は、無人航空機1による閉鎖性空間の内部の飛行中に静止画、又は動画を撮影するためのカメラであり、一例においてはGoPro session（タジマモーターコーポレーション）等の市販カメラを用いることができる。前方カメラ23は、無人航空機1による閉鎖性空間の内部の飛行中に進行方向の静止画、又は動画を撮影するためのカメラであり、撮影された静止画又は動画のデータは随時外部装置（ディスプレイを備えたコンピュータ等）に送信され、操縦者はこれを確認しながら無人航空機1を操縦することができる。超音波センサ24は前方の障害物等を検出するためのセンサであり、無人航空機1による閉鎖性空間の内部の飛行中に進行方向へ超音波を発信し、反射波を受信することで障害物等との距離を測定することができる。調査カメラ22と前方カメラ23は、赤外線カメラや紫外線カメラ等のカメラであってもよい。

[0026] 保持部材9、10における、上述の回転中心位置は、機体が傾斜していない状態で各々の保持部材に対応するロータの組の位置よりも下方（図1Aのzの負方向）にあることが好ましい。以下、図5A～図5Eを用いてその理由を説明する。なお、説明を簡略化する目的で、以降においては保持部材9（10）の回転中心位置とロータ13（15）、14（16）の回転中心位置が同一平面（図1Aのyz平面）にある（図1Aのx座標が等しい）としたモデルを用いて説明する（図6A～図6Eの比較例においても同様）が、そうでない場合でも基本的には同様の原理で動作を説明できる。

[0027] 機体が傾斜していない状態で保持部材に対応するロータの組よりも低い（図1Aのzの負方向側）位置を中心に回転可能に取り付けられた時の位置関係を図5Aに示す（図1Aのxの正方向から見ている。）。以下、保持部材9と、これに対応するロータ13、14の組とを用いて説明するが、保持部材10と、これに対応するロータ15、16の組においても同様の原理で動作を説明できる。以下では機体に対して傾斜していない状態での保持部材の中心線と、対応する組の2つのロータそれぞれの中心線と、の間のそれぞれ

の距離が等しい（図5 A中、1（エル））ものとし、また保持部材9（10）の分岐箇所から両側の先行衝突部材5（7）、6（8）までの距離も等しい（図5 A中、d）とするが、それぞれの距離が等しくない場合でも、基本的には同様の原理で動作を説明できる。

[0028] 図5 Bに示すとおり、何らかの理由により保持部材9が機体に対して側方側へと傾斜したとする。この状態でロータ13、14が回転を続けると、図5 Cに矢印で示すとおりロータ13、14に対して力 f が作用する（働く）。なお図5 Cにおいては、説明の便宜上図5 Bに示す構成全体を傾けて描いているが、保持部材9と機体との間の相対的な傾斜は図5 Bの構成から変わらない。また、簡略化のためロータ13、14に働く力はそれぞれ等しいとしたが、回転数の違い等によりロータ13、14に作用する力が異なる場合でも、基本的には同様の原理で動作を説明できる。

[0029] この時、ロータ14と保持部材9の中心線との「距離」（ロータ14の回転中心と保持部材9の中心線との間の、当該中心線に垂直な方向の距離）が b であるのに対し、ロータ13と保持部材9の中心線との「距離」（ロータ13の回転中心と保持部材9の中心線との間の、当該中心線に垂直な方向の距離）が a であり、 b よりも a が大きいため（図5 Aにおける保持部材9の回転中心である保持部材取付部材11上の位置から、ロータ13、14のそれぞれの回転中心までの距離、角度の大きさが等しいとした。そのような構成から外れた構成であっても、基本的には同様の原理で動作を説明できる。）、機体に対しては全体として図5 C中の R で示す矢印方向に回転させようとする力（トルク）が働く。この力は、機体に対する保持部材9の傾斜を打ち消す方向に働く力であり、図5 Dに示すとおり、保持部材9の傾斜と同様の方向に機体が傾斜することにより、保持部材9と機体との間の相対的な傾斜が少なくとも一部解消される。保持部材9とロータ13、14との位置関係を、保持部材9の取り付け位置（保持部材取付部材11の位置）も含めて概念的に描けば図5 Eのようになり、上述の相対的傾斜が少なくとも一部解消される原理が理解できる。保持部材10においても、対応するロータ15

、16の組の位置よりも低い（図1Aのzの負方向側）位置を中心に回転可能に取り付けることにより、保持部材10と機体との間の相対的傾斜を同様の原理で少なくとも一部解消することができる。

[0030] 次に比較例として、機体が傾斜していない状態で保持部材が対応するロータの組よりも高い（図1Aのzの正方向側）位置を中心に回転可能に取り付けられた時の位置関係を図6Aに示す（図1Aのxの正方向から見ている）。以下、保持部材9と、これに対応するロータ13、14の組とを用いて説明するが、保持部材10と、これに対応するロータ15、16の組においても同様の原理で動作を説明できる。以下では機体に対して傾斜していない状態での保持部材の中心線と、対応する組の2つのロータそれぞれの中心線と、の間のそれぞれの距離が等しい（図6A中、1（エル））ものとするが、それぞれの距離が等しくない場合でも、基本的には同様の原理で動作を説明できる。

[0031] 図6Bに示すとおり、何らかの理由により保持部材9が機体に対して側方側へと傾斜したとする。この状態でロータ13、14が回転を続けると、図6Cに矢印で示すとおりロータ13、14に対して力 f が作用する（働く）。なお図6Cにおいては、説明の便宜上図6Bに示す構成全体を傾けて描いているが、保持部材9と機体との間の相対的な傾斜は図6Bの構成から変わらない。また、簡略化のためロータ13、14に働く力はそれぞれ等しいとしたが、回転数の違い等によりロータ13、14に作用する力が異なる場合でも、基本的には同様の原理で動作を説明できる。

[0032] この時、ロータ14と保持部材9の中心線との「距離」（ロータ14の回転中心と保持部材9の中心線との間の、当該中心線に垂直な方向の距離）が c であるのに対し、ロータ13と保持部材9の中心線との「距離」（ロータ13の回転中心と保持部材9の中心線との間の、当該中心線に垂直な方向の距離）が d であり、 d よりも c が大きいため（図6Aにおける保持部材9の回転中心である保持部材取付部材11上の位置から、ロータ13、14のそれぞれの回転中心までの距離、角度の大きさが等しいとした。そのような構

成から外れた構成であっても、基本的には同様の原理で動作を説明できる。
）、機体に対しては全体として図6 C中のRで示す矢印方向に回転させようとする力（トルク）が働く。この力は、機体に対する保持部材9の傾斜を増大させる方向に働く力であり、図6 Dに示すとおり、保持部材9の傾斜と逆の方向に機体が傾斜することにより、保持部材9と機体との間の相対的な傾斜が増大する。保持部材9とロータ13, 14との位置関係を、保持部材9の取り付け位置（保持部材取付部材11の位置）も含めて概念的に描けば図6 Eのようになり、上述の相対的傾斜が増大する原理が理解できる。保持部材10においても、対応するロータ15, 16の組の位置よりも高い（図1 Aのzの正方向側）位置を中心に回転可能に機体に取り付けることにより、保持部材10と機体との間の相対的傾斜が同様の原理で増大する。相対的傾斜を解消するためには図5 Aに対応する構成を採ることが好ましいが、本発明は図6 Aに対応する構成を採っても実施可能であることに留意すべきである。

[0033] 図1 Cに示すとおり、モータ17, 19はそれぞれロータ13, 15の上に位置して（重力ポテンシャルの高い位置において）、ロータ13, 15をそれぞれ駆動するよう構成されている。モータ18, 20（図9参照。）も、同様にそれぞれロータ14, 16の上に位置してこれらロータをそれぞれ駆動するよう構成されている。このような構成を採る利点を、図7 A～図7 Cに示す、モータがロータの下に位置する比較例と比較しつつ説明する。ただし、本発明に係る無人航空機、無人航空機の飛行制御機構、及びこれらを用いる方法は当該比較例のようなロータとモータの位置関係を採っても実施可能であることに留意する。

[0034] 図7 Aは比較例におけるロータとモータ部材の位置関係を示す斜視図であり、図7 Bは図7 Aのロータとモータ部材を図7 A中のxの正方向から見た図であり、図7 Cは図7 A中のモータ部材を図7 B中のA-A面で切断した断面、及び各々のモータ部材を示す図である。ロータ13, 14, 15, 16はモータ部材27 Aの棒状突起部（図7 C参照。）に固定され（図7 B参

照。)、棒状突起部を回転軸として回転する。ロータ13, 14, 15, 16は、回転することにより図7A中の矢印方向(zの正方向)に力を受け、モータ部材27Aを同方向に引っ張る。図7Cに示すとおり、モータ部材27Aとモータ部材27Bとは互いに嵌め合わされており、両者が接着されているわけではない。したがって、モータ部材27Aがzの正方向に引っ張られた場合、モータ部材27Bから脱離する恐れがある。この脱離を防止するため、比較例の構成においては留め具としてモータ部材27Cが用いられる(図7B, 図7C参照。)。図7Cに示すとおり、モータ部材27Aに設けられた溝部27A-1に(モータ部材27Aとモータ部材27Bとを嵌め合せた後に)モータ部材27Cを嵌めることで、モータ部材27Aがモータ部材27Bから脱離することを防止できるが、モータのメンテナンスの際にはモータ部材27Cを外す必要がある。

[0035] 本実施形態におけるロータとモータ部材の位置関係を、図8の斜視図に示す。ロータ13, 14, 15, 16がモータ部材27A, 27Bの下に位置している点と、モータ部材27Cを用いていない点とが比較例と異なり、それ以外の構成は比較例と同様である。ロータ13, 14, 15, 16はモータ部材27Aの棒状突起部(図7C参照。)に固定され(図7B参照。)、棒状突起部を回転軸として回転する。ロータ13, 14, 15, 16は、回転することにより図8中の矢印方向(zの正方向)に力を受け、モータ部材27Aを同方向に押す。これによりモータ部材27Aはモータ部材27Bに押し付けられるため、モータ部材27Aがモータ部材27Bから脱離することを防止する必要はない。したがって図8の構成においてはモータ部材27Cが不要となり、モータのメンテナンスが容易となる。

[0036] 図9は、図1Aの無人航空機の機能構成を示すブロック図である。無人航空機1の本体部2は、プロセッサ、一時メモリ等から構成されて各種演算を行う主演算部28aと、主演算部28aによる演算で得られた制御指令値データをパルス信号(PWM: Pulse Width Modulation 信号)に変換する等の処理を担う、プロセッサ、一時メモリ等から構成さ

れる信号変換部28bと（主演算部28a、信号変換部28bを含む演算部を制御信号生成部29と称する。）、制御信号生成部29により生成されたパルス信号をモータ17～21への駆動電流へと変換するスピードコントローラ（ESC:Electric Speed Controller）30～34と、外部との各種データ信号の送受信を担う通信アンテナ35及び通信部（プロセッサ、一時メモリ等から構成される）36と、GPS（Global Positioning System）センサ、姿勢センサ、高度センサ、方位センサ等の各種センサを含むセンサ部37と、自律飛行プログラム38a、各種データベース38b等を記録するハードディスクドライブ等の記録デバイスから構成される記録装置39と、リチウムポリマーバッテリーやリチウムイオンバッテリー等のバッテリーデバイスや各要素への配電系を含む電源系40とを備えている。

[0037] その他に、無人航空機1は機能用途に応じて任意の機能部、情報等を備えていてよい。一例として、無人航空機1が飛行計画に従って自律飛行する場合には、飛行の開始位置、目的位置、開始位置から出発して目的位置に到達するまでに経由すべきチェックポイント位置（緯度、経度、高度）の集合である飛行計画経路や、速度制限、高度制限等、飛行中に従うべき何らかの規則である飛行計画を示すデータである飛行計画情報が記録装置39に記録され、主演算部28aが飛行計画情報を読み込んで自律制御プログラム38aを実行することにより、飛行計画に従って無人航空機1が飛行する。具体的には、センサ部37の各種センサから得られる情報により無人航空機1の現在位置、速度等を決定し、飛行計画で定められた飛行計画経路、速度制限、高度制限等の目標値と比較することにより主演算部28aでロータ13～16、推力発生プロペラ25に対する制御指令値を演算し、制御指令値を示すデータを信号変換部28bでパルス信号に変換して（制御信号の生成）スピードコントローラ30～34に送信し、スピードコントローラ30～34がそれぞれパルス信号を駆動電流へと変換してモータ17～21にそれぞれ出力し、モータ17～21の駆動を制御してロータ13～16、推力発生プロ

ペラ 25 の回転速度等を制御することにより無人航空機 1 の飛行が制御される。一例として、無人航空機 1 の高度を上げる制御指令に対してはロータ 13 ~ 16 の回転数が増加し（高度を下げる場合には減少）、無人航空機 1 を前進方向（図 1 A の x の正方向）に加速する制御指令に対しては推力発生プロペラ 25 の回転数が増加し（減速の場合には減少）、無人航空機 1 に図 1 A の x 軸周りのロール回転（x の正方向から見て反時計回り）による傾斜をさせる制御指令に対しては、ロータ 14, 16 の回転数を減らしてロータ 13, 15 の回転数を維持する等の制御が行われる。なお、無人航空機 1 の前進方向の加速（減速）は、ロータ 13, 14 の回転数を減らしてロータ 15, 16 の回転数を増やす（減速であれば逆の制御）等、ロータ 13 ~ 16 の回転数を制御することでも可能であり、推力発生プロペラ 25 を用いずに無人航空機 1 を飛行させることも可能である。なお、ロータ 13 ~ 16 の回転数を全て等しくして（4 つのロータ 13 ~ 16 全ての回転数を等しく増減させるのみの制御を行う）無人航空機 1 を浮揚、着陸（あるいは着水）させ、推力発生プロペラ 25 の回転数を制御することにより前進方向（図 1 A の x の正方向）の速度を制御する等、単純化された制御も可能である。無人航空機 1 が実際に飛行した飛行経路（各時刻における無人航空機 1 の機体位置等）や各種センサデータ等の飛行記録情報は、飛行中に随時各種データベース 38 b に記録される。

[0038] 自律飛行型無人航空機の一例としては、ミニサーベイヤー ACSL-PF 1（株式会社自律制御システム研究所）、Snap（Vantage Robotics 社）、AR. Drone 2.0（Parrot 社）、Bebop Drone（Parrot 社）等が市販されている。

[0039] なお、無人航空機 1 が外部からの制御で飛行する場合、無人航空機 1 は、操縦者のコントローラ装置等から受信される、制御指令値を示すデータを通信アンテナ 35 及び通信部 36 により受信し、このデータを信号変換部 28 b でパルス信号に変換して（制御信号の生成）、以下同様に、スピードコントローラ 30 ~ 34、モータ 17 ~ 21 を用いてロータ 13 ~ 16、推力発

生プロペラ 25 の回転速度を制御して飛行制御を行う。この場合であっても、センサ部 37 の各種センサ中、姿勢センサ（ジャイロセンサ、磁気センサ）から得られる無人航空機 1 の姿勢情報を示すデータを主演算部 28 a が読み込んで自律制御プログラム 38 a を実行することにより、姿勢センサからのデータと姿勢の目標値を比較する等して姿勢制御の指令値を演算して姿勢制御を行う等（この場合、外部コントローラ装置等から受信された制御指令値を示すデータと、姿勢制御の指令値を示すデータとから、主演算部 28 a が自律制御プログラム 38 a を実行することにより最終的な制御指令値を演算する。制御指令値を示すデータを信号変換部 28 b でパルス信号に変換することで、姿勢制御信号を含む制御信号が生成される。）、部分的な自律制御と外部からの制御とを組み合わせることもできる。以下に説明する撮影飛行において無人航空機 1 は基本的に外部コントローラ装置等からの制御信号により飛行し、姿勢のみが自律制御されるものとするが、完全自律制御飛行や完全外部制御飛行をする無人航空機 1 によっても同様の撮影飛行が可能である。

[0040] 無人航空機による閉鎖性空間内部での撮影飛行

以下、無人航空機 1 による閉鎖性空間内部での撮影飛行の一例として、下水道管路内の撮影飛行を図 10 から図 14 を用いて説明する。ただし、既に述べたとおり本発明の無人航空機、無人航空機の飛行制御機構、及びこれらを用いる方法の用途がそのような撮影飛行に限られるわけではなく、任意の環境で、そして任意の目的で、本発明の無人航空機、無人航空機の飛行制御機構、及びこれらを用いる方法を用いることができる。

[0041] 図 1 A の無人航空機を飛行させることができる下水道管路施設の構造を図 10 に示す。地表面 41 に設けられたマンホール 42 a は下水道管路 43 に通じており、下水道管路 43 を図 10 中の右方向に進むことで別のマンホール 42 b に到達する（図 10 中では下水道管路 43 が途中の 2 箇所で切断されて描かれているが、これは便宜上の表現であり実際には図示されるよりも長い連続した下水道管路 43 として形成されている。）。下水道管路 43 の

内壁 4 4 により閉鎖性空間の境界面が規定されており、また下水道管路 4 3 内には図 1 0 中の右方向、所定距離ごとに接続部 4 5 が存在する。

[0042] 無人航空機 1 により下水道管路 4 3 の撮影飛行を行うにあたり、まずは無人航空機 1 をマンホール 4 2 a に進入させて下水道管路 4 3 の深さまで降下させる。一例においては、マンホール 4 2 a, 4 2 b の深さと同程度の長さを有するボールの先端に保持台を設け、保持台に無人航空機 1 を載せてボールをマンホール 4 2 a に差し込むことにより無人航空機 1 を降下させる。自律飛行型の無人航空機 1 を用いる場合、あらかじめ飛行計画経路としてマンホール 4 2 a の位置や下水道管路 4 3 の深さ等を記録装置 3 9 に記録しておき、主演算部 2 8 a が飛行計画経路のデータを含む飛行計画情報を読み込んで自律制御プログラム 3 8 a を実行することにより無人航空機 1 を自律飛行させて下水道管路 4 3 の一端（図 1 0 中、下水道管路 4 3 における左側の端。以下、撮影飛行の開始位置 S。）に導いてもよいし、あるいは外部コントローラ装置から無人航空機 1 に制御信号を送信して操縦することにより無人航空機 1 を撮影飛行の開始位置 S に導いてもよい。

[0043] 無人航空機 1 は、撮影飛行の開始位置から図 1 0 中の右方向に向かって（当該方向を図 1 A 中の x の正方向、すなわち進行方向として）撮影飛行を開始する（図 1 1）。外部コントローラからの操縦者によるマニュアル制御の場合、無人航空機 1 は前進を指示する制御信号を受信して進行方向に飛行しつつ、調査カメラ 2 2 と前方カメラ 2 3 により下水道管路 4 3 内で静止画又は動画を撮影する。なお、下水道管路 4 3 内には通常は水 4 6 が存在し、その水位は随時変動しているが、ロータ 1 3 ~ 1 6 の回転に伴う水面効果により浮揚力を得ることも可能である（水 4 6 がいない場合でも、内壁 4 4 から同様の効果を得ることは可能。）。

[0044] 調査カメラ 2 2 により撮影された静止画又は動画のデータは調査カメラ 2 2 の内蔵メモリに記録され、前方カメラ 2 3 により撮影された静止画又は動画のデータは、前方カメラ 2 3 の内蔵メモリに記録された上で通信部 3 6 により通信アンテナ 3 5 から操縦者の外部コンピュータに随時送信される。操

縦者は、受信したデータを用いて外部コンピュータの備えるディスプレイに前方カメラ23の撮影した静止画又は動画を表示し、これを確認しながら外部コントローラによる無人航空機1の操縦を行う（外部コントローラと通信アンテナ35との間の通信品質が充分でない場合は、予め下水道管路43内に無線中継局を設置する等しておくことが好ましい。GPS信号の受信も、同様に無線中継局等を介して行うことができる。）。一例においては、表示された静止画又は動画に映っている接続部45を目印として、無人航空機1の進行した距離を把握しつつ操縦を行う。

[0045] 撮影飛行中、外部コントローラによるマニュアル制御の精度上の問題や、姿勢の自律制御の精度上の問題等、何らかの理由により無人航空機1が過度に上昇して下水道管路43の内壁44に衝突することがある。このときの様子を図12Aに示す。下水道管路43と内壁44との境界面47に、無人航空機1の保持部材9により保持される先行衝突部材6（車輪、ローラー等の回転部材とする。）が接触しており、先行衝突部材6に対しては図12A中にFで示す矢印方向の力が内壁44から働く。この力は、図12A中にRで示す矢印方向に保持部材9を（保持部材用軸部11Aを固定の回転軸として）回転させる力として作用する。

[0046] 保持部材9が上記のとおり回転し、機体が更に上昇すると、図12Bに示すとおり、保持部材9により保持される回転部材5, 6の両方が境界面47に接触する。保持部材10により保持される回転部材7, 8も同様の原理で境界面47に接触する（境界面の形状によっては、一部の回転部材が境界面47に接触しないこともある。）。ここで、機体が傾斜していない状態で保持部材9が対応するロータの組13, 14よりも低い（図1Aのzの負方向側）位置を中心に回転可能に取り付けられており、同じく機体が傾斜していない状態で保持部材10が対応するロータの組15, 16よりも低い（図1Aのzの負方向側）位置を中心に回転可能に取り付けられているとすると、図5A～図5Eを用いて説明したとおり、機体が保持部材9, 10の傾斜と同様の方向に傾斜する（図12C）。この状態で、例えば無人航空機1を図

12C中のx方向に飛行させれば（本明細書における「飛行」とは、このように無人航空機の構成要素が境界面に接触した状態で当該無人航空機が浮きつつ移動することを含む。）、回転部材5～8のうち境界面47に接触している回転部材が回転しつつ（図3B参照）、無人航空機1が境界面47に沿って飛行することとなる。ただし、図12Cに示すように機体を傾けることは必須ではなく、機体が傾かない状態でも無人航空機1が境界面47に沿って飛行することは可能であるし、或いは、図6A～図6Eを用いて説明したとおり機体が逆方向に傾いたとしても、無人航空機1は境界面47に沿って飛行することができる。先行衝突部材5～8が車輪、ローラー等の回転部材ではなく、例えば図4を用いて説明したとおり保持部材に対して固定された部材であれば、先行衝突部材5～8のうち境界面47に接触している部材が滑りながら、無人航空機1が境界面47に沿って飛行することとなる。

[0047] なお、図12A～図12Cの例においては、先行衝突部材が衝突する領域で境界面47が一方向に傾いていることを仮定して説明を行ったが、境界面47上の平らな領域や、双方向に対称に傾斜した領域等に先行衝突部材が衝突したとしても、基本的には同様の原理で無人航空機1を境界面47に沿って飛行させることができる。一例として、図13Aに示す境界面47上の領域に先行衝突部材5が接触した時には、先行衝突部材5に対して図13A中のFで示す矢印方向に内壁44から力が働き、図13A中のRで示す矢印方向に保持部材9が回転し、機体が更に上昇すると、図13Bに示すとおり、保持部材9により保持される先行衝突部材5、6の両方が境界面47に接触する。保持部材10により保持される先行衝突部材7、8も同様の原理で境界面47に接触する（境界面の形状によっては、一部の回転部材が境界面47に接触しないこともある。）。以降、同様の原理で無人航空機1は境界面47に沿って飛行することができる。先行衝突部材が車輪、ローラー等の回転部材であれば、境界面47に接触した回転部材を回転させながら無人航空機1は境界面47に沿って飛行し、図4を用いて説明した部材であれば、境界面47上で当該部材を滑らせつつ、無人航空機1は境界面47に沿って飛

行する。

[0048] なお、上述のとおり先行衝突部材が境界面47に衝突した場合に加えて、それ以外の場合においても、撮影飛行中、マニュアル制御や姿勢の自律制御の精度の問題等、何らかの理由により無人航空機1が傾斜することがある。一例として、無人航空機1が図1Aのx軸周りに回転（ロール回転）して傾斜した様子を図14に示す。先行衝突部材が境界面47に接触していない場合等に、機体の姿勢を水平へと回復させるためには、ロータ13, 15の回転数を増やすことにより機体の低い側（yの正方向側）を上昇させることが考えられるが、この場合には機体上昇して無人航空機1が内壁44上面に衝突する恐れがある。図12A～図13Bを用いて説明したとおり、無人航空機1を内壁44との境界面47に沿って飛行させるならば特段衝突を防止する必要はないが、境界面47への接触を避けつつ無人航空機1を飛行させたい場合には、ロータ14, 16の回転数を減らすことにより機体の高い側（yの負方向側）を下降させて姿勢を水平へと回復させることが好ましい。このような姿勢制御は、典型的には上述のとおり姿勢センサから得られる無人航空機1の姿勢情報を示すデータを主演算部28aが読み込んで自律制御プログラム38aを実行することにより行われるが、外部コントローラ装置から姿勢の制御指令値を示す制御信号（図14の傾斜とは逆方向のロール回転を指示する姿勢制御信号を含む制御信号）を送信し、当該制御信号を無人航空機1が受信し、主演算部28aで自律制御プログラム38aを実行することにより行ってもよい。y軸周り（ピッチ）、z軸周り（ヨー）の回転等、任意の回転による無人航空機1の傾斜に対しても、同様に一部のロータの回転数を減らすことにより姿勢を回復させることができる。

[0049] 無人航空機1が下水道管路43の他端（図10中、下水道管路43における右側の端。以下、撮影飛行の終了位置G。）に到達することで撮影飛行は終了する。先端に保持台を設けたポールをマンホール42bに差し込み、保持台に無人航空機1を載せて引き上げる等して無人航空機1を回収する。撮影飛行の開始位置Sへの導入と同様に自律飛行により無人航空機1を終了位

置Gから引き揚げてもよい。回収された無人航空機1から調査カメラ22を取り外し、そのメモリに記録された静止画、又は動画を見ることにより、下水道管路43や内壁44等の状態を確認することができる。

[0050] 図15に、前方カメラで撮影される下水道管路内の画像の一例を示す。前方カメラ23を搭載した無人航空機1の撮影飛行により同様の画像が得られると考えられる。操縦者は、図15に示すような前方カメラ23が撮影した一人称視点での静止画、又は動画を見ながら外部コントローラ装置により無人航空機1を操縦することができる。撮影飛行後、回収された無人航空機1から調査カメラ22を取り外して、メモリに記録された静止画、又は動画を見ることにより、内壁44のクラックや接続部45におけるパッキンのずれ等、下水道管路43の状態を確認することができる。

[0051] (第二実施形態)

次に、本発明の一実施形態である無人飛行体、撮影調査システム、及び撮影調査方法を、図面を参照しつつ説明する。ただし本発明による撮影調査システム、撮影調査方法が以下に説明する具体的態様に限定されるわけではなく、本発明の範囲内で適宜変更可能であることに留意する。例えば、本発明による撮影調査に用いる無人飛行体は、図16A等 to 示すタイプの無人飛行体である必要はなく、図1A等 to 示す無人飛行体(無人航空機)であっても、その他の任意の無人飛行体であってもよい。図16A等 to 示す無人飛行体は、先行衝突部材5~8、保持部材9、10等からなる飛行制御機構を備えていないこと以外は、図1A等 to 示す無人飛行体と同様の原理で動作する無人飛行体であってよく、機能構成も図9に示すものであってよいが、本発明に用いることができる無人飛行体はそのようなものに限られず任意であり、例えば図16A等 to 示す無人飛行体に、図1A等 to 示される飛行制御機構を備えてもよい。その他の構成も任意であり、例えば通信部の機能を主演算部に統合する等、複数の構成要素が実行すべき動作を単独の構成要素により実行してもよいし、あるいは主演算部の機能を複数の演算部に分散する等、図示される単独の構成要素の実行すべき動作を複数の構成要素により実行して

もよい。無人飛行体の自律制御プログラムは、ハードディスクドライブ等の記録デバイスに記録されて主演算部により読み出されて実行されるものであってもよいし（図示される自律制御プログラムが複数のプログラムモジュールに分解されてもよいし、その他の任意のプログラムが主演算部等により実行されてもよい。）、マイコン等を用いた組み込み型のシステムによって同様の動作が実行されてもよい。以下の実施形態で示される全ての構成要素を無人飛行体が備える必要はなく（例えば、図16B中のロータ13～16の制御により無人飛行体の推進を制御する場合、推力発生プロペラ25を備える必要はないし、自律制御を行わずに完全に外部からの制御で無人航空機を飛行させるならば自律制御プログラムや各種データベースを備える必要もない。）、また示される方法ステップの全てを本発明に係る方法が備える必要もない。無人飛行体を浮揚させるための回転翼も、図16B等で示されるような4つのロータ13～16に限らず4以上の任意の回転翼であってよい。推力を発生させるためのプロペラも、図16D等に出す推力発生プロペラ25に限らず任意のプロペラであってよい。本発明において用いることができる無人飛行体は回転翼機に限られない。無人飛行体の機体サイズも任意である。以下の実施例においては無人飛行体が下水道管路等の閉鎖性空間内を撮影飛行する一例を示すが、閉鎖性空間に限らず任意の調査空間で、そして任意の目的で本発明の撮影調査を行うことができる。なお、閉鎖性空間が完全に閉鎖されている必要はなく、少なくとも部分的に閉鎖された、無人飛行体の飛行が少なくとも一部制約される空間であればよい。例えば、以下の実施形態に示すようにマンホールを介して外部と接続されている下水道管路内の管状空間も閉鎖性空間であるし、高速道路のトンネルも閉鎖性空間である。撮影調査システムに含まれる、その他の部材や構成要素も、本発明の機能を発揮できるならば任意の材料からなるものであってよい。その他、第一実施形態の無人航空機に関連して説明した構成の任意性は、第二実施形態の撮影調査において用いられる無人飛行体においても全て同様に成立する。また図1A～図15において説明した要素等と同様であってよい要素等には、図1

6 A以降においても同様の参照符号、番号を付している。

[0052] 無人飛行体の構成

図16Aから図16Fに、本発明の撮影調査に用いることができる無人飛行体の外観を示す。図16Aは斜視図であり、図16Bは図16Aのzの正方向（座標系は図1Aと同様に定義する。）から見た図であり、図16Cはyの正方向から見た図であり、図16Dは進行方向の後方側から見た斜視図であり、図16E、図16Fは図16Aのzの負方向側（ただし互いに異なる方向）から見た斜視図である。無人飛行体1は、一例においては口径400mm程度の閉鎖性空間（調査空間）内を飛行できるよう、全幅（図16A中、y方向の幅）約250mm、全長（図16A中、x方向の幅）約570mmのサイズで設計されており、本体部2（防水ケース3に収納されている。）と、本体部2からの制御信号により駆動する5つのモータ17～21（図17参照。）と、モータ17～20の各々の駆動により回転して無人飛行体1を浮揚させる4つのロータ（回転翼）13～16と（ロータ13、16はzの正方向から見て時計回りに回転し、ロータ14、15はzの正方向から見て反時計回りに回転する等、隣り合うロータ同士は逆向きに回転する。）、モータ21の駆動により回転して無人飛行体1の推力を発生させる推力発生プロペラ25と、調査カメラ22と、前方カメラ23と、前方を照明する照明ライト48を備えており（さらに、不図示の超音波センサ24を任意の位置に備えてもよい。）、各構成要素はフレーム4を用いて統合されている。またフレーム後部4aには、図16Dに示すとおり線状部材49が結び付けられている（図16D以外の図では線状部材49を適宜省略する。）。

[0053] 調査カメラ22は、無人飛行体1による調査空間の内部の飛行中に静止画、又は動画を撮影するためのカメラであり、一例においてはGoPro session（タジマモーターコーポレーション）等の市販カメラを用いることができる。後述のとおり、撮影調査の一例において、調査カメラ22による撮影は、無人飛行体1が前方への飛行を停止し、引き寄せ装置50により線状部材49を巻き取って無人飛行体1を飛行開始台52の方へ引き寄せ

ている間に行われる（無人飛行体 1 を調査空間に入れる前に調査カメラ 2 2 による撮影を開始し、無人飛行体 1 を調査空間から回収するまで調査カメラ 2 2 による撮影を続けてもよいし、或いは遠隔操作により、任意のタイミングで撮影の開始、停止を制御してもよい。）。前方カメラ 2 3 は、無人飛行体 1 による調査空間の内部の飛行中に進行方向の静止画、又は動画を撮影するためのカメラであり、撮影された静止画又は動画のデータは随時外部制御装置 5 1（ディスプレイを備えたコンピュータ等）に送信され、操縦者はこれを確認しながら無人飛行体 1 を操縦することができる。超音波センサ 2 4 は前方の障害物等を検出するためのセンサであり、無人飛行体 1 による調査空間の内部の飛行中に進行方向へ超音波を発信し、反射波を受信することで障害物等との距離を測定することができる。調査カメラ 2 2 と前方カメラ 2 3 は、赤外線カメラや紫外線カメラ等のカメラであってもよい。撮影調査の一例においては、前方カメラ 2 3 の撮影により得られた静止画又は動画をリアルタイムで確認しつつ無人飛行体 1 を操縦し、調査カメラ 2 2 の撮影により得られた静止画又は動画は、無人飛行体 1 の調査空間からの回収後に調査カメラ 2 2 を取り外して調査カメラ 2 2 のメモリから撮影データを取得した上で確認されるため、前方カメラ 2 3 の撮影データより得られる動画又は静止画の解像度を、調査カメラ 2 2 の撮影データより得られる動画又は静止画の解像度よりも低くすることで、無人飛行体 1 の飛行中にリアルタイムで行われるデータ送受信の通信データ量を比較的低くしつつ、撮影飛行の終了後に解像度の高い（調査カメラ 2 2 による）撮影データを用いて動画又は静止画の検討等を行うことができる。

[0054] ここで、図 1 6 A 等に示されているとおり、調査カメラ 2 2 は、無人飛行体 1 の機体上の位置であって、4 つのロータ 1 3 ～ 1 6 のうち、進行方向側（ x の正方向側）に位置するロータ 1 3, 1 4 と、進行方向の逆側（ x の負方向側）に位置するロータ 1 5, 1 6 と、の間の位置に搭載されている。無人飛行体 1 が、下水道管路内等の少なくとも部分的に液体（水等）が存在する面の上の空間を飛行する際には、ロータ 1 3 ～ 1 6 の回転により液

体が飛び散るため、仮に調査カメラ 2 2 が機体の下部や機体前方に搭載されている場合には液体が調査カメラ 2 2 にかかることとなり、調査カメラ 2 2 の撮影により得られる動画、静止画にも液体（水しぶき、水滴等）が映り込む恐れがあるが、図 1 6 A 等を示すとおり調査カメラ 2 2 を配置すれば、飛び散った液体が機体よりも上方に達することが、ロータ 1 3 ～ 1 6 により少なくとも一部防止されるため（ロータ 1 3 ～ 1 6 に液体が付着することにより、及び、ロータ 1 3 ～ 1 6 の回転によって引き起こされる、機体下方側（z の負方向側）の気体の流れにより、液体が調査カメラ 2 2 の位置に達することが少なくとも一部防止される。）、下水道管路内の様子をより良好に写した動画、又は静止画を得ることが可能となる。前方カメラ 2 3 も、同様の位置（ただし調査カメラ 2 2 の位置とは異なる位置）に配置することが好ましい。

[0055] なお、無人飛行体 1 と線状部材 4 9 とのつなぎ方は、図 1 6 D に示す態様に限らず任意である。例えば、図 1 6 E、図 1 6 F に示すとおり、フレーム 4 に貫通孔 4 b と貫通孔 4 c を形成し、貫通孔 4 b、4 c にピアノ線等の 1 本のワイヤー 4 9 a を通して結い、当該ワイヤー 4 9 a に対して線状部材 4 9 を、スナップやカラビナ等を用いて結合することによっても、無人飛行体 1 と線状部材 4 9 とをつなぐことができる（図 1 6 G）。

[0056] 図 1 7 は、図 1 6 A の無人飛行体の機能構成を示すブロック図である。無人飛行体 1 の本体部 2 は、プロセッサ、一時メモリ等から構成されて各種演算を行う主演算部 2 8 a と、主演算部 2 8 a による演算で得られた制御指令値データをパルス信号（PWM: P u l s e W i d t h M o d u l a t i o n 信号）に変換する等の処理を担う、プロセッサ、一時メモリ等から構成される信号変換部 2 8 b と（主演算部 2 8 a、信号変換部 2 8 b を含む演算部を制御信号生成部 2 9 と称する。）、制御信号生成部 2 9 により生成されたパルス信号をモータ 1 7 ～ 2 1 への駆動電流へと変換するスピードコントローラ（ESC: E l e c t r i c S p e e d C o n t r o l l e r ）3 0 ～ 3 4 と、外部との各種データ信号の送受信を担う通信アンテナ 3 5

及び通信部（プロセッサ、一時メモリ等から構成される）36と、GPS（Global Positioning System）センサ、姿勢センサ、高度センサ、方位センサ等の各種センサを含むセンサ部37と、自律飛行プログラム38a、各種データベース38b等を記録するハードディスクドライブ等の記録デバイスから構成される記録装置39と、リチウムポリマーバッテリーやリチウムイオンバッテリー等のバッテリーデバイスや各要素への配電系を含む電源系40と、照明ライト48とを備えている。一例においては、無人飛行体1内にラップトップPC等のコンピュータを格納して主演算部28a、記録装置39、通信部36等の機能を実現してもよく、例えば外部制御装置51の通信部67（通信回路、通信アンテナ等）と無人飛行体に搭載されたラップトップPCの通信アンテナ35、通信部36（通信回路等）とが、無線LAN中継器56を介して5GHzの通信周波数で通信する。

[0057] その他に、無人飛行体1は機能用途に応じて任意の機能部、情報等を備えてよい。一例として、無人飛行体1が飛行計画に従って自律飛行する場合には、飛行の開始位置、目的位置、開始位置から出発して目的位置に到達するまでに経由すべきチェックポイント位置（緯度、経度、高度）の集合である飛行計画経路や、速度制限、高度制限等、飛行中に従うべき何らかの規則である飛行計画を示すデータである飛行計画情報が記録装置39に記録され、主演算部28aが飛行計画情報を読み込んで自律制御プログラム38aを実行することにより、飛行計画に従って無人飛行体1が飛行する。具体的には、センサ部37の各種センサから得られる情報により無人飛行体1の現在位置、速度等を決定し、飛行計画で定められた飛行計画経路、速度制限、高度制限等の目標値と比較することにより主演算部28aでロータ13～16、推力発生プロペラ25に対する制御指令値を演算し、制御指令値を示すデータを信号変換部28bでパルス信号に変換して（制御信号の生成）スピードコントローラ30～34に送信し、スピードコントローラ30～34がそれぞれパルス信号を駆動電流へと変換してモータ17～21にそれぞれ出力し、モータ17～21の駆動を制御してロータ13～16、推力発生プロ

ペラ 25 の回転速度等を制御することにより無人飛行体 1 の飛行が制御される。一例として、無人飛行体 1 の高度を上げる制御指令に対してはロータ 13 ~ 16 の回転数が増加し（高度を下げる場合には減少）、無人飛行体 1 を前進方向（図 16 A の x の正方向）に加速する制御指令に対しては推力発生プロペラ 25 の回転数が増加し（減速の場合には減少）、無人飛行体 1 に図 16 A の x 軸周りのロール回転（x の正方向から見て反時計回り）による傾斜をさせる制御指令に対しては、ロータ 14, 16 の回転数を減らしてロータ 13, 15 の回転数を維持する等の制御が行われる。なお、無人飛行体 1 の前進方向の加速（減速）は、ロータ 13, 14 の回転数を減らしてロータ 15, 16 の回転数を増やす（減速であれば逆の制御）等、ロータ 13 ~ 16 の回転数を制御することでも可能であり、推力発生プロペラ 25 を用いずに無人飛行体 1 を飛行させることも可能である。なお、ロータ 13 ~ 16 の回転数を全て等しくして（4 つのロータ 13 ~ 16 全ての回転数を等しく増減させるのみの制御を行う）無人飛行体 1 を浮揚、着陸（あるいは着水）させ、推力発生プロペラ 25 の回転数を制御することにより前進方向（図 16 A の x の正方向）の速度を制御する等、単純化された制御も可能である。無人飛行体 1 が実際に飛行した飛行経路（各時刻における無人飛行体 1 の機体位置等）や各種センサデータ等の飛行記録情報は、飛行中に随時各種データベース 38 b に記録される。

[0058] 自律飛行型無人飛行体の一例としては、ミニサーベイヤー ACSL-PF 1（株式会社自律制御システム研究所）、Snap（Vantage Robotics 社）、AR. Drone 2.0（Parrot 社）、Bebop Drone（Parrot 社）等が市販されている。

[0059] なお、無人飛行体 1 が外部からの制御で飛行する場合、無人飛行体 1 は、操縦者のコントローラ装置等から受信される、制御指令値を示すデータを通信アンテナ 35 及び通信部 36 により受信し、このデータを信号変換部 28 b でパルス信号に変換して（制御信号の生成）、以下同様に、スピードコントローラ 30 ~ 34、モータ 17 ~ 21 を用いてロータ 13 ~ 16、推力発

生プロペラ 25 の回転速度を制御して飛行制御を行う。この場合であっても、センサ部 37 の各種センサ中、姿勢センサ（ジャイロセンサ、磁気センサ）から得られる無人飛行体 1 の姿勢情報を示すデータを主演算部 28 a が読み込んで自律制御プログラム 38 a を実行することにより、姿勢センサからのデータと姿勢の目標値を比較する等して姿勢制御の指令値を演算して姿勢制御を行う等（この場合、外部コントローラ装置等から受信された制御指令値を示すデータと、姿勢制御の指令値を示すデータとから、主演算部 28 a が自律制御プログラム 38 a を実行することにより最終的な制御指令値を演算する。制御指令値を示すデータを信号変換部 28 b でパルス信号に変換することで、姿勢制御信号を含む制御信号が生成される。）、部分的な自律制御と外部からの制御とを組み合わせることもできる。以下に説明する撮影飛行において無人飛行体 1 は基本的に外部コントローラ装置等からの制御信号により飛行し、姿勢のみが自律制御されるものとするが、完全自律制御飛行や完全外部制御飛行をする無人飛行体 1 によっても同様の撮影飛行が可能である。

[0060] 無人飛行体を用いた撮影調査

以下、無人飛行体 1 を用いた調査空間内部での撮影調査の一例として、下水道管路内の撮影飛行を図 18 から図 30 を用いて説明する。

[0061] 下水道管路施設の構造は、例えば、第一実施形態においても説明した図 10 に示すとおりの構造である。地表面 41 に設けられたマンホール 42 a は下水道管路 43 に通じており、下水道管路 43 を図 10 中の右方向に進むことで別のマンホール 42 b に到達する（図 10 中では下水道管路 43 が途中の 2 箇所切断されて描かれているが、これは便宜上の表現であり実際には図示されるよりも長い連続した下水道管路 43 として形成されている。）。下水道管路 43 の内壁 44 や、マンホール 42 a, 42 b から地下へと続く縦穴の壁面等により調査空間の境界面が規定されており、また下水道管路 43 内には図 10 中の右方向、所定距離ごとに接続部 45 が存在する。

[0062] 撮影調査システム

図18は、撮影調査を行うための、無人飛行体を含む撮影調査システムの構成例を示す図である。撮影調査システムは、無人飛行体1と、無人飛行体1を置くことができる飛行開始台（発射台）52と、ラップトップPC等の外部制御装置51と、釣り用の電動リールと同様の原理で釣り糸等の線状部材49を自動的に巻き取る自動巻き装置等の引き寄せ装置50と、を備える。一例において、撮影調査は、（1）外部制御装置51を用いて無人飛行体1の飛行を制御する操縦者、（2）無人飛行体1を載せた飛行開始台52の調査空間への挿入作業と、調査空間内で目的地まで到達した、或いは管きよの破損や堆積物の存在等、何らかの理由により進むことができなくなった無人飛行体1を、引き寄せ装置50を用いて飛行開始台52へと引き寄せて、飛行開始台52と無人飛行体1とを地上へと回収する作業とを行う、発射台・巻取機操作者、及び（3）補助者、の3名の作業員により撮影調査システムを用いて行われる。

[0063] 図19は、撮影調査システムの一例における、無人飛行体と飛行開始台以外の装置等を示す図である。台車54には、引き寄せ装置50と、外部制御装置51と、無線LAN（Local Area Network）中継機（Wi-Fi中継機）56と、外部電源装置57a、57bが搭載されており、また窓55が設けられている。引き寄せ装置50と外部制御装置51は、それぞれ柱上部材を用いて搭載されており、引き寄せ装置50を取り付けている柱上部材に無線LAN中継機56が取り付けられている。外部制御装置51と無線LAN中継機56は、電源ケーブルを介して外部電源装置57aから電力の供給を受け、引き寄せ装置50は電源ケーブルを介して外部電源装置57bから電力の供給を受ける。また外部制御装置51と無線LAN中継機56とはLANケーブルで接続されて互いに通信可能である。窓55は、図20に示すとおり開くことが可能であり、窓55の位置がマンホール42aの真上となるよう、無人飛行体1が置かれた飛行開始台52が置かれた状態の台車54を移動した上で窓55を開き、挿入口（貫通孔）55aからマンホール42aを通して、無人飛行体1を載せた飛行開始台52を調査

空間（地下空間）に入れる。

[0064] 図21は、外部制御装置の一例であるラップトップPC（Personal Computer）の機能構成を示すブロック図である。外部制御装置51は、CPU（Central Processing Unit：中央処理装置）を備えた処理部64（処理部64が、外部制御装置51に含まれる各要素の動作を制御する）と、ハードディスクドライブ、SSD（Solid State Drive）等の記憶装置を備えた記憶部65と、液晶ディスプレイ装置等の表示装置を備えた表示部66と、通信回路等を備えLANケーブルを介して無線LAN中継器56と通信し、更に無線LAN中継器56経由で（さらに飛行開始台52に取り付けられたアンテナを経由してもよい）無人飛行体1の通信部36と（通信アンテナ35を介して）通信するか、或いは無線LAN中継器56を介さずに直接無人飛行体1と無線通信する通信部67と、操縦者からの入力を受けるための入力キー等を備えた入力部68と、を備える。記憶部65には、操縦者からの入力に応じて無人飛行体1への命令信号を生成するための操縦プログラムや、無人飛行体1から通信部67が受信した動画又は静止画の撮影データを表示部66に表示するための描画プログラムや、調査カメラ22のメモリから取得して記憶部65に記憶させた動画又は静止画の撮影データを画像処理して調査空間の内壁44等の展開図又は展開画像を生成するための画像処理プログラム等が記憶されており、処理部64がこれらプログラムを実行することにより、無人飛行体1の制御や画像処理等を行う。

[0065] 図22は、引き寄せ装置50の一例として、釣り糸、紐等の線状部材を巻く自動巻き装置の動作を説明するための概念図である。不図示のモータの駆動により、線状部材49の端部に接続された円筒類似部材（スプール）63が図22中の矢印方向に回転することで、線状部材49が円筒類似部材63に自動的に巻き取られる。線状部材49の、円筒類似部材63とは逆側の端部には無人飛行体1がつながれており、無人飛行体1が飛行して線状部材49を引っ張ることにより、円筒類似部材63は図22中の矢印方向とは逆方

向に回転し、線状部材 4 9 は円筒類似部材 6 3 からとかれていく（延びていく）が、モータの駆動により円筒類似部材 6 3 を図 2 2 中の矢印方向に回転させることで線状部材 4 9 を巻き取れば、そのように飛行した無人飛行体 1 を引き寄せて回収することができる。自動巻き装置としては、公知の又は新規なさまざまなリール装置等を使用することが可能であり、例えば特許文献 4 ～ 6 に記載の電動リール装置を用いることができる。

[0066] 図 2 3 A は、飛行開始台 5 2 を横から（図 1 8 と同様の方向から）見た図である。飛行開始台 5 2 は棒状体 5 3 の先端部に取り付けられており（図 2 3 A 中の矢印で示すとおり、開始台 5 2 は棒状体 5 3 に対してスイング可能に構成してもよいし、棒状体 5 3 に対して完全に固定されていてもよい。）また無人飛行体 1 を回収し易くするために傾斜部 6 1 が設けられている。棒状体 5 3 にはガイド部材 5 9 が取り付けられている。図 2 3 B に示すとおり、ガイド部材 5 9 には貫通孔 6 2 が設けられており、引き寄せ装置 5 0 の円筒類似部材 6 3 から延びる線状部材 4 9 を貫通孔 6 2 に通した上で、その一端が無人飛行体 1 の後端部につながる。また図 2 3 B に示されるとおり、傾斜部 6 1 には 2 つのスリット 6 1 a, 6 1 b が設けられている（下水中の固形物（例えばティッシュペーパーなどの汚物）や汚水の流れを阻害しない目的）。なお、図 2 3 A に示す飛行開始台 5 2、又は飛行開始台 5 2 に載せた無人飛行体 1 が、挿入口 5 5 a 又はマンホール 4 2 a よりも大きく、そのままでは調査空間内に挿入できない場合には、スイングアーム 5 3 a を設けて飛行開始台 5 2 が棒状体 5 3 に対してスイングアーム 5 3 a を軸にスイング（又は回転）可能となるよう構成してもよい。図 2 3 C に示すとおり飛行開始台 5 2 をスイングさせれば（図 2 3 A と同様の角度から見て棒状体 5 3 と飛行開始台 5 2 が一直線に沿うようスイングしてもよいし、調査空間に挿入可能な範囲で、図 2 3 C に示すとおり棒状体 5 3 と飛行開始台 5 2 とが或る程度の角度をなしていてもよい。）、挿入口 5 5 a やマンホール 4 2 a が比較的小さい場合であっても無人飛行体 1 を載せた飛行開始台 5 2 を調査空間に挿入できる。なお、スイングさせた場合に無人飛行体 1 が落下するこ

とを防ぐためには、図 2 3 B 等に示すとおり飛行開始台 5 2 にストッパー 5 2 a (図 2 4 B 中のストッパーフックに対応) を設け、また無人飛行体 1 の機体下部に、機体をストッパー 5 2 a に引っ掛けるための凹部 (又は穴等) を設けることが好ましい (図 1 6 E に示す防水ケース 3 にくぼみを形成する等)。なお、図 2 3 A ~ 図 2 3 C 等に示したスイングアーム、ストッパーフック等は、機能を説明するために概略的に描いたものにすぎず、棒状体 5 3 に対して飛行開始台 5 2 をスイングさせるための具体的構成、及び飛行開始台 5 2 から無人飛行体 1 が落下することを防ぐための具体的構成は、公知のあらゆる構成のうちどのようなものであってもよいし、新規なあらゆる構成のうちどのようなものであってもよい。或いは、飛行開始台 5 2 及び無人飛行体 1 を、予め挿入口 5 5 a とマンホール 4 2 a のどちらに比べても小さく (挿入口 5 5 a とマンホール 4 2 a の両方を通過できるよう) 構成しておけば、飛行開始台 5 2 をスイングさせることなく挿入できる (この場合、飛行開始台 5 2 をスイング可能に構成する必要はなく、スイングアームやストッパーも不要である。) 。

[0067] 図 2 4 A は飛行開始台の一例の設計図 (図 1 8 中の上方から見た図に対応) であり、図 2 4 B は、飛行開始台の当該一例の設計図 (図 1 8 と同様の方向から見た図に対応) である。飛行開始台 5 2 は、棒状体 5 3 に対してスイング可能であり、例えば棒状体 5 3 に沿うような向きにスイングさせることで、マンホールが小さい場合でも無人飛行体 1 を挿入可能である (図 2 4 A のストッパーベース、図 2 4 B のストッパーフックを用いて無人飛行体 1 を飛行開始台 5 2 に固定できる。) 。また図 2 4 A, 図 2 4 B に示すとおり、飛行開始台 5 2 を取り付け棒状体 5 3 に対してアンテナを搭載し、当該アンテナを用いて外部制御装置 5 1 と無人飛行体 1 との間の通信を行ってもよいし、棒状体 5 3 にアンテナを搭載せず、外部制御装置 5 1、無線 LAN 中継器 5 6、無人飛行体 (通信アンテナ 3 5, 通信部 3 6) により通信してもよいし、或いは無線 LAN 中継器 5 6 を用いずに、外部制御装置 5 1 の通信部 6 7 (必要に応じて通信アンテナ、通信回路等を含む。) と無人飛行体 1

(通信アンテナ 35, 通信部 36) とが直接通信してもよい。図 24C は、図 24A, 図 24B に示すアンテナの設計図であり、図 24D も、図 24A, 図 24B に示すアンテナの設計図 (飛行開始台における棒状体との接続を示す) である。図 24A ~ 図 24D において、単位のない長さの数値は mm の単位で表している。

[0068] 撮影調査方法

次に、撮影調査システムを用いて行う撮影調査方法を説明する。まず発射台・巻取機操作者は、棒状体 53 を持って、挿入口 55a、そしてマンホール 42a から調査空間内へと、当該棒状体 53 を飛行開始台 52 の側から挿入することにより、無人飛行体 1 を載せた飛行開始台 52 を調査空間 (地下空間) 内に入れる (図 25)。なお、既に述べたとおり、挿入口 55a とマンホール 42a の少なくとも一方よりも、無人飛行体 1 又は飛行開始台 52 の方が大きい場合は、飛行開始台 52 を棒状体 53 に沿うように、或いは挿入口 55a とマンホール 42a を通過できる範囲で図 23C に示すとおり棒状体 53 と飛行開始台 52 との間で或る程度の角度をなすようスイングさせて (飛行開始台 52 にストッパーフック (図 24B) を設ける等して、無人飛行体 1 を飛行開始台 52 に固定しておく。なお、後の飛行開始時においては、無人飛行体 1 を適切に操縦して離陸させることにより無人飛行体 1 をストッパーフックから解放することができるし、あるいは遠隔制御によりストッパーフックが動いて無人飛行体 1 から外れてから無人飛行体 1 が飛行を開始するよう構成する等、飛行を開始する際に無人飛行体 1 をストッパーフックから解放する方法は任意である。) から、飛行開始台 52 及び棒状体 53 を挿入し、挿入後にスイングしていた飛行開始台 52 を元に戻す (遠隔制御により電動で元に戻してもよいし、単純に飛行開始台 52 を下に押し付ける等して元に戻してもよい。)。或いは、飛行開始台 52 及び無人飛行体 1 を、予め挿入口 55a とマンホール 42a のどちらに比べても小さく (挿入口 55a とマンホール 42a の両方を通過できるよう) 構成しておけば、飛行開始台 52 をスイングさせることなく挿入できる (この場合、飛行開始台 5

2をスイング可能に構成する必要はないしストッパーも不要である。)。飛行開始台52が調査空間内で着地後(図26)、操縦者は、外部制御装置51(記憶部65に記憶された操縦プログラムが処理部64により実行中であるとする。)の入力部68から制御命令を入力することにより、無人飛行体1の飛行を開始させる(図27)。無人飛行体1の後端部には線状部材49がつながれており、無人飛行体1は線状部材49を引っ張りながら調査空間内を飛行する。これに伴い、引き寄せ装置50の円筒類似部材(スプール)63は図22中の矢印方向とは逆方向に回転し、線状部材49がとかれていく(延びていく)。

[0069] 外部制御装置51から送信される制御信号が示す制御命令に従い、無人飛行体1は、線状部材49を引っ張りながら下水道管路43内を図28のx方向に飛行する。またこのとき、無人飛行体1は前進を指示する制御信号を受信して進行方向に飛行しつつ、調査カメラ22と前方カメラ23により下水道管路43内で静止画又は動画を撮影する(進行方向への飛行中、調査カメラ22による撮影は行わなくてもよい。)。なお、下水道管路43内には通常は水46が存在し、その水位は随時変動しているが、ロータ13~16の回転に伴う水面効果により浮揚力を得ることも可能である(水46がない場合でも、内壁44から同様の効果を得ることは可能。))。

[0070] 飛行中、前方カメラ23により撮影された静止画又は動画のデータは、前方カメラ23の内蔵メモリに記録された上で通信部36により通信アンテナ35から操縦者の外部制御装置51に随時(好ましくはリアルタイムで)送信される。外部制御装置51は、前方カメラ23により撮影された静止画又は動画のデータを通信部67において受信し、受信したデータを用いて、外部制御装置51の備えるディスプレイ(表示部66)に前方カメラ23の撮影した静止画又は動画を表示する(処理部64が記憶部65に記憶された描画プログラムを実行することで表示部66の動作を制御し、処理部64の制御を受けた表示部66が静止画又は動画を表示する。)。操縦者は、表示部66に表示された静止画又は動画を確認しながら一人称視点(FPV:Fi

rst Person View)で外部制御装置51に制御命令を入力することで(外部制御装置51の入力部68が制御命令の入力を受け付ける。)、無人飛行体1の操縦を行う(操縦者の入力した制御命令を示す信号が、外部制御装置51の通信部67から無人飛行体1に送信され、無人飛行体1は通信アンテナ35、通信回路36により当該信号を受信し、当該信号の示す制御命令に従って飛行する。既に述べたとおり、外部制御装置51の通信部67と無人飛行体1の通信アンテナ35、通信回路36が直接通信してもよいし、無線LAN中継器56や棒状体53に取り付けたアンテナ等を用い、無線LAN通信規格に従って通信してもよい。)。一例においては、引き寄せ装置50から引き出された線状部材49の長さに基づき、無人飛行体1の進んだ距離を決定することができる。

[0071] 無人飛行体1が目的地点に達した場合、又は何らかの理由によりそれ以上進行できなくなった場合等、進行方向(図28中のx方向)への飛行を終えると、無人飛行体1は、操縦者が外部制御装置51に入力した制御命令を示す信号を外部制御装置51から受信して、当該信号が示す制御命令に従い、その場で停止飛行(ホバリング)を行う。一例においては、推力発生プロペラ25の回転を停止させ、ロータ13~16の回転速度を全て等しい回転速度に制御すること(ロータ13, 16はzの正方向から見て時計回りに回転し、ロータ14, 15はzの正方向から見て反時計回りに回転する等、隣り合うロータ同士は逆向きに回転する。)で、無人飛行体1は停止飛行を行う。無人飛行体1が停止飛行を行っている状態で、発射台・巻取機操作者が引き寄せ装置50を操作することにより、引き寄せ装置50は線状部材49を巻き取り、これにより無人飛行体1は飛行開始台52の方向へ引き寄せられる(図29)。

[0072] 無人飛行体1が飛行開始台52の方向に引き寄せられている間(後退している間、すなわち図29中の矢印方向に進んでいる間)、調査カメラ22は、下水道管路43内で静止画又は動画を撮影し続ける(無人飛行体1を調査空間に入れる前に調査カメラ22の撮影を開始し、地上に回収するまで調査

カメラ 2 2 による撮影を続けていてもよいし、遠隔制御により、無人飛行体 1 を引き寄せている間のみに調査カメラ 2 2 による撮影を行ってもよい。)。
無人飛行体 1 が前進している時に比べて、後退している時には、推力発生プロペラ 2 5 の回転を停止させており無人飛行体 1 の周りに飛び散る水しぶきの量が少ないため、後退中に調査カメラ 2 2 で前方の撮影を行うことにより、より水しぶきの影響が少ない動画又は静止画を得られる。調査カメラ 2 2 により撮影された静止画又は動画のデータは調査カメラ 2 2 の内蔵メモリに記録される。なお、このとき前方カメラ 2 3 も静止画又は動画の撮影を続けており、前方カメラ 2 3 により撮影された静止画又は動画のデータは、前方カメラ 2 3 の内蔵メモリに記録された上で通信部 3 6 により通信アンテナ 3 5 から操縦者の外部制御装置 5 1 に随時（好ましくはリアルタイムで）送信される。既に述べたとおり外部制御装置 5 1 は、前方カメラ 2 3 により撮影された静止画又は動画のデータを通信部 6 7 において受信し、受信したデータを用いて、外部制御装置 5 1 の備えるディスプレイ（表示部 6 6）に前方カメラ 2 3 の撮影した静止画又は動画を表示する。

[0073] 図 3 0 に示すとおり、無人飛行体 1 は飛行開始台 5 2 の方へと引き寄せられる。無人飛行体 1 が飛行開始台 5 2 の上まで戻ってくると（表示部 6 6 に表示される、前方カメラ 2 3 が撮影した動画又は静止画から、無人飛行体 1 が飛行開始台 5 2 の上まで戻ってきたと判断してもよいし、引き寄せ装置 5 0 から引き出された線状部材 4 9 の長さが所定の長さ以下となったことから、無人飛行体 1 が飛行開始台 5 2 の上まで戻ってきたと判断してもよい。）、発射台・巻取機操作者は、引き寄せ装置 5 0 を操作して、引き寄せ装置 5 0 による線状部材 4 9 の巻き取りを停止させる。そして操縦者が無人飛行体 1 の停止飛行の終了を指示する制御命令を外部制御装置 5 1 に入力すると、制御命令を示す信号が外部制御装置 5 1 から無人飛行体 1 に送信され、当該信号が示す制御命令に従い無人飛行体 1 が停止飛行を終了させて、飛行開始台 5 2 上に着地する。さらに発射台・巻取機操作者は、棒状体 5 3 を地上に引き上げることにより、発射台 5 2 及び無人飛行体 1 を地上に引き上げて回

収する（調査空間に挿入した時と同様に、必要に応じて飛行開始台 5 2 を棒状体 5 3 に対してスイングさせることにより、無人飛行体 1 を載せた飛行開始台 5 2 がマンホール 4 2 a と挿入口 5 5 a とを通過できるようにする。一例においては、無人飛行体 1 が地上に近づいてきた段階で手動により飛行開始台 5 2 をスイングさせてもよいし（このときに無人飛行体 1 の機体をストッパー 5 2 a に手動で引っ掛けてよい。）、遠隔制御により電動で飛行開始台 5 2 をスイングさせてもよい（同じく遠隔制御により電動でストッパー 5 2 a を動かして、無人飛行体 1 の機体をストッパー 5 2 a に引っ掛けてから飛行開始台 5 2 をスイングさせる等、具体的方法は任意である。）。或いは、飛行開始台 5 2 及び無人飛行体 1 を、予め挿入口 5 5 a とマンホール 4 2 a のどちらに比べても小さく（挿入口 5 5 a とマンホール 4 2 a の両方を通過できるよう）構成しておけば、飛行開始台 5 2 をスイングさせることなく回収できる（この場合、飛行開始台 5 2 をスイング可能に構成する必要はないしストッパーも不要である。）。回収された無人飛行体 1 から調査カメラ 2 2 を取り外し、そのメモリに記録された静止画、又は動画を見ることにより、下水道管路 4 3 や内壁 4 4 等の状態を確認することができる。また、外部制御装置 5 1 の記憶部 6 5 に、調査カメラ 2 2 が撮影した静止画、又は動画のデータを記憶させたうえで、記憶部 6 5 に記憶された画像処理プログラムを処理部 6 4 が実行することにより当該静止画、又は動画のデータを画像処理して、調査空間の内壁 4 4 等の展開図又は展開画像データを生成し、展開図又は展開画像として表示部 6 6 に表示することにより下水道管路施設内の状態をより適切に把握できる（図 3 1 参照。図 3 1 においては表示部 6 6 に展開画像 6 9 を表示しているが、展開画像 6 9 を適宜加工する等して、線図等の展開図として表示してもよい。）。

産業上の利用可能性

[0074] 本発明は、上水道管路内、下水道管路内、排水路内、高速道路のトンネル内、高速道路の排水管内、洞道内、ダクト内、パイプシャフト内、ガス管路内等、任意の調査空間における撮影調査に利用することができる。また任意

の空間において任意の目的で無人航空機（無人飛行体）を飛行させる際にも利用できる。

符号の説明

[0075]	1	無人航空機、無人飛行体
	2	本体部
	3	防水ケース
	4	フレーム
	4 a	フレーム後部
	4 b, 4 c	貫通孔
	4 A～4 D	回転停止位置
	5～8	先行衝突部材
	5 A～8 A	先行衝突部材用軸部
	9, 10	保持部材
	9 A, 10 A	孔
	9 B-1, 9 B-2, 10 B-1, 10 B-2	先行衝突部材取付部材
	9 C-1, 9 C-2, 10 C-1, 10 C-2	孔
	11, 12	保持部材取付部材
	11 A, 12 A	保持部材用軸部
	13～16	ロータ
	17～21	モータ
	22	調査カメラ
	23	前方カメラ
	24	超音波センサ
	25	推力発生プロペラ
	26	重心
	27 A	モータ部材

2 7 B	モータ部材
2 7 C	モータ部材
2 7 A - 1	溝
2 8 A	主演算部
2 8 b	信号変換部
2 9	制御信号生成部
3 0 ~ 3 4	スピードコントローラ
3 5	通信アンテナ
3 6	通信部
3 7	各種センサ
3 8 a	自律制御プログラム
3 8 b	各種データベース
3 9	記録装置
4 0	電源系
4 1	地表面
4 2 a, 4 2 b	マンホール
4 3	下水道管路、調査空間
4 4	内壁
4 5	接続部
4 6	水
4 7	境界面
4 8	照明ライト
4 9	線状部材
4 9 a	ワイヤー（ピアノ線等）
5 0	引き寄せ装置
5 1	外部制御装置
5 2	飛行開始台（発射台）
5 2 a	ストッパー

5 3	棒状体
5 3 a	スイングアーム
5 4	台車
5 5	窓
5 5 a	挿入口
5 6	無線LAN (Wi-Fi) 中継機
5 7 a, 5 7 b	外部電源装置
5 8	車輪 (4つ)
5 9	ガイド部材
6 0	車輪 (4つ)
6 1	傾斜部
6 1 a, 6 1 b	スリット
6 2	貫通孔
6 3	円筒類似部材 (スプール)
6 4	処理部
6 5	記憶部
6 6	表示部
6 7	通信部
6 8	入力部
6 9	展開画像

請求の範囲

[請求項1]

無人飛行体を置くことができる飛行開始台と、

線状部材につながれており、調査カメラと、進行方向撮影カメラと、無人飛行体側通信部とを備え、調査空間内で前記飛行開始台に置かれた状態から飛行を開始し、該進行方向撮影カメラにより該調査空間内で進行方向を撮影し、該進行方向の撮影で得られた進行方向撮影データを該無人飛行体側通信部から送信しつつ、該調査空間内を飛行する、前記無人飛行体と、

表示部と、外部制御装置側通信部とを備え、該外部制御装置側通信部により前記進行方向撮影データを受信し、前記進行方向撮影データより得られた動画又は静止画を該表示部に表示しつつ、前記無人飛行体に対する制御命令の入力を受け付け、該制御命令を示す信号を該外部制御装置側通信部から送信する、外部制御装置と、

前記線状部材に接続され、前記無人飛行体を引き寄せる引き寄せ装置と

を備えた、撮影調査システム。

[請求項2]

線状部材につながれており、調査カメラと、進行方向撮影カメラと、無人飛行体側通信部とを備えた無人飛行体を、飛行開始台に置いた状態で調査空間内に入れることと、

前記無人飛行体が、前記調査空間内で前記飛行開始台に置かれた状態から飛行を開始し、前記進行方向撮影カメラにより該調査空間内で進行方向を撮影し、該進行方向の撮影で得られた進行方向撮影データを前記無人飛行体側通信部から送信しつつ、該調査空間内を飛行することと、

表示部と、外部制御装置側通信部とを備えた外部制御装置が、該外部制御装置側通信部により前記進行方向撮影データを受信し、該進行方向撮影データより得られた動画又は静止画を該表示部に表示しつつ、前記無人飛行体に対する制御命令の入力を受け付け、該制御命令を

示す信号を該外部制御装置側通信部から送信することと、

前記線状部材に接続された引き寄せ装置が、前記無人飛行体を引き寄せることと

を含む、撮影調査方法。

[請求項3] 前記引き寄せ装置は、前記線状部材を巻くことにより前記無人飛行体を引き寄せる自動巻き装置である、請求項2に記載の方法。

[請求項4] 前記引き寄せ装置が前記無人飛行体を引き寄せることは、該無人飛行体が進行方向への進行を停止し、且つ浮いている状態で行われる、請求項2又は3に記載の方法。

[請求項5] 前記引き寄せ装置により前記無人飛行体が引き寄せられている間に前記調査カメラが前記調査空間内で撮影を行うことを含む、請求項2乃至4のいずれか一項に記載の方法。

[請求項6] 前記調査カメラの撮影により得られた調査カメラ撮影データから、前記調査空間の境界面に対応する展開図又は展開画像データを生成し、画像として表示することを含む、請求項2乃至5のいずれか一項に記載の方法。

[請求項7] 前記飛行開始台にはアンテナが取り付けられており、前記無人飛行体側通信部と前記外部制御装置側通信部との間の通信は、該アンテナを用いて、無線LAN (Local Area Network) 通信規格に従って行われる、請求項2乃至6のいずれか一項に記載の方法。

[請求項8] 前記進行方向撮影データより得られる動画又は静止画の解像度は、前記調査カメラによる撮影で得られる撮影データより得られる動画又は静止画の解像度よりも低い、請求項2乃至7のいずれか一項に記載の方法。

[請求項9] 前記飛行開始台は棒状体の先端部に取り付けられており、該棒状体を、前記無人飛行体が置かれた該飛行開始台の側から前記調査空間内へと挿入することにより該無人飛行体を該調査空間内に入れる、請求

項 2 乃至 8 のいずれか一項に記載の方法。

[請求項10] 前記棒状体の前記先端部に取り付けられており前記無人飛行体が置かれた前記飛行開始台を台車上に置き、該台車に設けられた開口部から該棒状体を該調査空間内へと挿入することにより、該無人飛行体を該調査空間内に入れる、請求項 9 に記載の方法。