

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年12月2日(02.12.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/241534 A1

(51) 国際特許分類:

B64C 39/02 (2006.01) *G01S 13/89* (2006.01)
B64D 47/00 (2006.01) *G01S 13/933* (2020.01)
B64D 47/08 (2006.01) *G01N 22/00* (2006.01)
G05D 1/10 (2006.01) *G01N 22/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/019701

(22) 国際出願日: 2021年5月25日(25.05.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

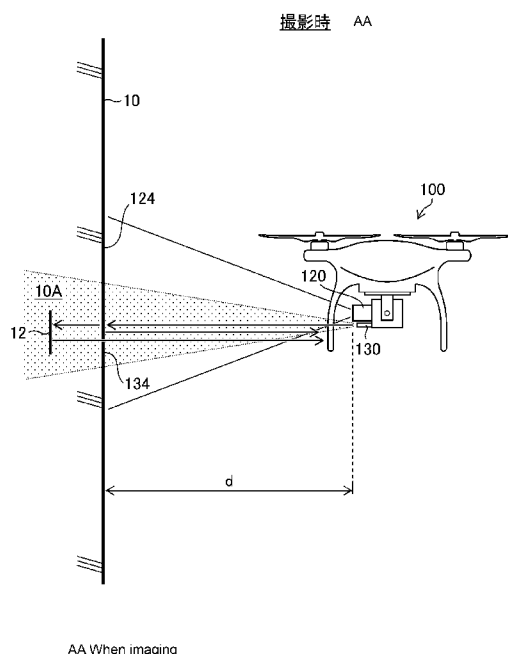
(30) 優先権データ:
特願 2020-094326 2020年5月29日(29.05.2020) JP

(71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目26番30号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 笠松 直史 (KASAMATSU, Tadashi); 〒2588577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 二瓶 靖和 (NIHEI, Yasukazu); 〒2588577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 中村 博明 (NAKAMURA, Hiroaki); 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目26番30号 富士フイルム株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 那緒子 (YOSHIDA, Naoko); 〒2588538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 與那覇 誠 (YONAHARA, Makoto);

(54) Title: AERIAL PHOTOGRAPHY SYSTEM AND METHOD

(54) 発明の名称: 飛行撮影システム及び方法



(57) Abstract: The present invention provides an aerial photography system and a method suitable for using an unmanned aerial vehicle equipped with a visible light camera and a millimeter-wave radar to image a structure with the visible light camera and the millimeter-wave radar onboard the unmanned aerial vehicle. A drone (100) constituting the aerial photography system is equipped with a visible light camera (120) and a millimeter-wave radar (130). When imaging a structure, a processor in the drone (100) controls the visible light camera (120) to acquire, by the visible light camera,

〒1068620 東京都港区西麻布 2 丁目 2 6 番 3 0
号 富士フイルム株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 松 浦 憲 三 (MATSUURA, Kenzo);
〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目 6
番 1 号 新宿住友ビル 2 3 階 新都心国
際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): 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.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

a visible light image of the surface layer of the structure, and controls the millimeter-wave radar (130) to transmit a millimeter wave toward the structure and receive a reflected wave of the millimeter wave from the structure. While the drone (100) is in flight, the altitude of the drone (100) is measured by an altimeter installed onboard the drone (100), and altitude information indicating the measured altitude is acquired and used when flying the drone (100).

(57) 要約: 可視カメラ及びミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用し、この無人飛行体に搭載した可視カメラ及びミリ波レーダにより構造物を撮影する場合に好適な飛行撮影システム及び方法を提供する。飛行撮影システムを構成するドローン(100)は、可視カメラ(120)、及びミリ波レーダ(130)を搭載する。ドローン(100)のプロセッサは、構造物を撮影する場合に、可視カメラ(120)により構造物の表層の可視画像を撮影させる可視カメラの制御と、ミリ波レーダ(130)から構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させるミリ波レーダの制御とを行う。ドローン(100)の飛行中は、ドローン(100)に搭載した高度計測器によりドローン(100)の高度を計測させ、計測させた高度を示す高度情報を取得し、ドローン(100)を飛行させる場合に使用する。

明 細 書

発明の名称： 飛行撮影システム及び方法

技術分野

[0001] 本発明は飛行撮影システム及び方法に係り、特に飛行しながら構造物を撮影する技術に関する。

背景技術

[0002] 従来、ドローンなどの飛行装置に搭載されたカメラで、上下方向に長尺な構造物（鉄塔、タワー、高層建造物等）を撮像する撮像システムが提案されている（特許文献１）。

[0003] 特許文献１に記載の撮像システムは、飛行装置が自律的に構造物の上下方向の一方から他方に移動しながら構造物をカメラで撮像する撮像ステップを実行する飛行制御部を備え、飛行装置の高さ位置が所定位置（周辺構造物の高さ位置に基づいて設定される下降下限位置）に達すると、下降を制限する飛行制御を行うようにしている。

[0004] 一方、特許文献２には、構造物表面に存在する凹凸構造の影響を極力回避し、構造物に生じた劣化箇所をより高い精度で透視する、ミリ波帯の電磁波イメージングシステムが記載されている。

[0005] 特許文献２に記載の電磁波イメージングシステムは、構造物表面の画像を撮像する画像撮像装置、ミリ波帯の電磁波を構造物に照射する電磁波発生装置、ミリ波帯の電磁波の反射波を検知する１次元検波器アレイ、及び移動距離を計測する距離センサ等を備え、１次元検波器アレイが検出した反射波の強度、及び距離センサが計測した移動距離に基づいて構造物の透視イメージを生成している。

[0006] 特に、コンクリート構造物の表面に凹凸を有する表層カバーが設けられている場合に、表層カバーの凹凸の程度に応じたミリ波帯の電磁波の周波数を特定し、特定した周波数のミリ波帯の電磁波を使用することで、表層カバーの凹凸にかかわらず、表層カバーにより覆われているコンクリート構造物の

透視イメージを生成することを特徴としている。尚、表層カバーの凹凸の程度は、画像撮像装置で撮影した構造物表面の画像を分析して求めている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2020-71863号公報

特許文献2：特開2007-183227号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献1に記載の撮影システムは、飛行装置に搭載したカメラで構造物を撮影するが、構造物の情報を取得するために、ミリ波レーダを使用する記載はない。

[0009] また、特許文献2に記載の電磁波イメージングシステムは、ミリ波帯の電磁波を使用して構造物の情報を取得する記載があるが、片手で操作可能な大きさのハンディ型装置であり、構造物の表面に沿って手で移動させられるものである。

[0010] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、可視カメラ及びミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用し、この無人飛行体に搭載した可視カメラ及びミリ波レーダにより構造物を撮影する場合に好適な飛行撮影システム及び方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上記目的を達成するために本発明の第1態様に係る飛行撮影システムは、可視画像を撮影する可視カメラと、第1のミリ波レーダと、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体と、可視カメラ、第1のミリ波レーダ及び無人飛行体を制御するプロセッサと、を備え、プロセッサは、構造物を撮影する場合に、可視カメラにより構造物の表層の可視画像を撮影させる可視カメラの制御と、第1のミリ波レーダから構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させる第1のミリ波レーダの制

御とを行い、無人飛行体の飛行中に、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測させ、計測させた高度を示す高度情報を取得する処理を行い、高度情報は、無人飛行体を飛行させる場合に使用される。

[0012] 本発明の第1態様によれば、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用することで、構造物を撮影する場合には、無人飛行体に搭載した可視カメラによる構造物の可視画像と第1のミリ波レーダによる構造物に対する情報を取得することができる。また、無人飛行体の飛行中には、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測し、無人飛行体の飛行制御に使用することができる。

[0013] 本発明の第2態様に係る飛行撮影システムにおいて、高度計測器は、レーザ距離計であることが好ましい。レーザ距離計は、ミリ波レーダと比較して計測精度が高いからである。

[0014] 本発明の第3態様に係る飛行撮影システムにおいて、レーザ距離計は、無人飛行体から構造物までの距離を更に計測することが好ましい。この計測した距離は、構造物に対して無人飛行体を所望の距離（撮影距離）に位置させる場合に使用することができる。

[0015] 本発明の第4態様に係る飛行撮影システムにおいて、基準面がレーザ距離計で検出困難な基準面であるか否かを検知する基準面検知部を備え、レーザ距離計は、基準面がレーザ距離計で検出困難な面の場合には、レーザ距離計で検出可能な新たに設定した基準面を基準面として無人飛行体の高度を計測することが好ましい。

[0016] 本発明の第5態様に係る飛行撮影システムにおいて、検出困難な基準面は、水面である。

[0017] 本発明の第6態様に係る飛行撮影システムにおいて、新たに設定した基準面は、無人飛行体の鉛直下方向以外の方向に存在する地面である。

[0018] 本発明の第7態様に係る飛行撮影システムにおいて、基準面検知部は、第2のミリ波レーダであることが好ましい。

- [0019] 本発明の第８態様に係る飛行撮影システムにおいて、第１のミリ波レーダは、第２のミリ波レーダとして兼用され、プロセッサは、構造物を撮影する場合に第１のミリ波レーダを構造物の方向に向け、無人飛行体の飛行中に第１のミリ波レーダを下方向に向けることが好ましい。
- [0020] 本発明の第９態様に係る飛行撮影システムにおいて、プロセッサは、構造物を撮影する場合に、第１のミリ波レーダが受信する構造物からのミリ波の反射波に基づいて、構造物の内部を示すミリ波画像を生成するミリ波画像生成処理を行うことが好ましい。
- [0021] 本発明の第１０態様に係る飛行撮影システムにおいて、可視カメラにより撮影される構造物の表層の可視画像の第１の撮影範囲と、生成されるミリ波画像の第２の撮影範囲との関係を記憶するメモリを備え、プロセッサは、メモリに記憶された第１の撮影範囲と第２の撮影範囲との関係に基づいて、可視画像にミリ波画像を合成する合成処理を行うことが好ましい。
- [0022] 本発明の第１１態様に係る飛行撮影システムにおいて、構造物は、コンクリート構造物であり、ミリ波画像は、コンクリート構造物の内部欠陥を示す画像である。
- [0023] 第１２態様に係る発明は、可視カメラ及び第１のミリ波レーダを搭載した無人飛行体による撮影及び飛行をプロセッサにより制御する飛行撮影方法であって、プロセッサの各処理は、構造物を撮影する場合に、可視カメラにより構造物の表層の可視画像を撮影させるステップと、第１のミリ波レーダから構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させるステップと、を含み、無人飛行体の飛行中に、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測させ、計測させた高度を示す高度情報を取得するステップを含み、高度情報は、無人飛行体を飛行させる場合に使用される。

発明の効果

- [0024] 本発明によれば、可視カメラ及び第１のミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用することで、構造物を撮影する場合には、無人飛行体に搭載した可

視カメラによる構造物の可視画像と第1のミリ波レーダによる構造物に対する情報を取得することができる。また、無人飛行体の飛行中には、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測し、無人飛行体の飛行制御に使用することができる。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]図1は、本発明に係る飛行撮影システムの概略構成を示す図である。
- [図2]図2は、本発明に係る飛行撮影システムの第1実施形態の概要を示す図であり、飛行時のドローンの状態を示す図である。
- [図3]図3は、本発明に係る飛行撮影システムの第1実施形態の概要を示す図であり、撮影時のドローンの状態を示す図である。
- [図4]図4は、可視画像とミリ波画像との関係を示す図である。
- [図5]図5は、複数の距離と各距離におけるミリ波画像の4点の座標との関係を示すテーブルである。
- [図6]図6は、ミリ波画像のある画素位置におけるミリ波の反射強度と距離との関係を模式的に示した図である。
- [図7]図7は、可視画像と内部欠陥を示すミリ波画像との関係を示す図である。
- [図8]図8は、本発明に係る飛行撮影システムの第2実施形態の概要を示す図である。
- [図9]図9は、本発明に係る飛行撮影システムの第3実施形態の概要を示す図であり、飛行時のドローンの状態を示す図である。
- [図10]図10は、本発明に係る飛行撮影システムの第3実施形態の概要を示す図であり、撮影時のドローンの状態を示す図である。
- [図11]図11は、本発明に係る飛行撮影システムのハードウェア構成の実施形態を示すブロック図である。
- [図12]図12は、本発明に係る飛行撮影システムに適用されるサーバの実施形態を示すブロック図である。
- [図13]図13は、図12に示したサーバの機能を示す機能ブロック図である。

。

[図14]図14は、本発明に係る飛行撮影方法の実施形態を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、添付図面に従って本発明に係る飛行撮影システム及び方法の好ましい実施形態について説明する。

[0027] [本発明の概要]

図1は、本発明に係る飛行撮影システムの概略構成を示す図である。

[0028] 図1に示す飛行撮影システム1は、無人飛行体であるドローン100、リモートコントローラ200、ユーザ端末300、及びサーバ400から構成されている。ユーザ端末300は、サーバ400との間で通信可能なPC（Personal Computer）（ノートPC、タブレットPC）、スマートフォン等が考えられる。

[0029] 図2は、飛行中のドローンの状態を示す図であり、図3は、ドローンに搭載した可視カメラ等により構造物を撮影する撮影時のドローンの状態を示す図である。図2及び図3に示すようにドローン100には、可視カメラ120及びミリ波レーダ（第1のミリ波レーダ）130が搭載されている。

[0030] この飛行撮影システム1は、ドローン100で各撮影ポイントに順次移動し、各撮影ポイントで構造物を可視カメラ120で撮影し、構造物の表層の可視画像を取得し、また、可視画像に対応するミリ波画像を取得するために、各撮影ポイントでミリ波レーダ130から構造物に向けてミリ波を送信し、構造物からのミリ波の反射波を受信するものである。

[0031] 構造物からのミリ波の反射波は、構造物の表面で反射するが、一部は構造物の表面から一定の距離（例えば、数cm）まで到達するため、ミリ波エリアから受信されるミリ波受信データは、構造物の表面から一定の距離までの3次元情報を含む。本例では、ミリ波受信データを取得することを、ミリ波レーダによるミリ波画像の撮影ともいう。

[0032] 図2及び図3に示す構造物10は、橋梁、トンネル等の社会インフラ構造

物、及び建造物である。

[0033] ドローン１００は、例えば、予め決定した飛行ルートに沿って自律飛行し、又はリモートコントローラ２００からの指示を受けて半自律飛行する。飛行ルートは、構造物の各撮影ポイントを最短経路で結ぶように設計することが好ましい。

[0034] 各撮影ポイントで撮影された可視画像及びミリ波画像は、全ての撮影ポイントでの撮影終了後にドローン１００からユーザ端末３００を介してサーバ４００に送信される。ドローン１００からユーザ端末３００への可視画像及びミリ波画像のデータの引き渡しは、可視画像及びミリ波画像が記録されたメモリカード１５０により行い、あるいはドローン１００とユーザ端末３００との間をＵＳＢ（Universal Serial Bus）ケーブル）で接続し、又は近距離無線で接続して行うことができる。

[0035] ＜第１実施形態＞

図２及び図３は、本発明に係る飛行撮影システムの第１実施形態の概要を示す図であり、図２は、飛行時のドローンの状態を示し、図３は、撮影時のドローンの状態を示している。

[0036] 〔飛行時〕

図２に示すミリ波レーダ１３０は、ミリ波レーダ１３０の全体、又は一部（例えば、送受信モジュール）がドローン１００に対して回転（チルト）できるように構成されている。

[0037] ドローン１００の飛行中は、ミリ波レーダ１３０を下方向に向ける。即ち、ミリ波レーダ１３０は、ミリ波レーダ１３０からのミリ波の送受信方向が、ドローン１００の下方向になるようにミリ波レーダ１３０の回転角度が制御される。

[0038] 尚、本例では、可視カメラ１２０とミリ波レーダ１３０とは一体化され、同時に回転角度が制御されるが、個別に回転角度が制御できるように構成してもよい。また、ドローン１００の「飛行時」又は「飛行中」とは、ドローン１００が空中を移動している場合の飛行、及びドローン１００が空中で静

止する静止飛行（ホバリング）を含むものとする。

[0039] ミリ波レーダ１３０は、例えば、ビーム切替方式、フェーズドアレー方式、デジタルビーム形成方式等の種々のものを適用することができる。

[0040] ビーム切替方式は、指向方向が少しずつ異なるビーム幅の狭い固定ビームを複数形成し、電氣的に時分割で固定ビームを切り換える方式である。

[0041] フェーズドアレー方式は、複数の素子アンテナを一定の間隔に配置してなるフェーズドアレーアンテナを使用し、複数の素子アンテナに接続された位相器で信号の位相を制御することによりビームを高周波数帯で形成して走査する方式である。

[0042] デジタルビーム形成方式は、フェーズドアレー方式と同様にフェーズドアレーアンテナを使用し、複数の素子アンテナで受信される信号を受信内で検波してベースバンド信号に変換し、これをデジタル信号に変換した後、信号処理演算によりビームを形成する方式である。この方式は、受信信号の波形情報を数値データとして記憶するため、演算により様々な特性、形状をもつビーム等を形成することができる。

[0043] ミリ波レーダ１３０は、ミリ波レーダ１３０からのミリ波の送受信方向が、ドローン１００の下方向になるように制御される場合、地面又は水面の基準面２０上のミリ波エリア（ミリ波が送受信されるエリア）１３４内で距離を計測することができる。ミリ波エリア１３４内で計測した距離のうちの最短距離は、ドローン１００の基準面２０から高さ（高度）である。

[0044] 本発明に係る飛行撮影システムの第１実施形では、ドローン１００の飛行中のミリ波レーダ１３０は高度計測器として機能し、ドローン１００の高度を計測する。計測した高度を示す高度情報は、ドローン１００を飛行（自律飛行、又は半自律飛行）させる場合の情報として使用する。

[0045] 尚、一般にドローンには、GPS (Global Positioning System) モジュールが搭載されており、GPS モジュールは、複数のGPS 衛星から送信されるGPS 信号を受信し、受信した複数のGPS 信号に基づく測位演算処理を実行し、GPS モジュールの緯度、経度、及び高度からなる位置情報を検出す

ることができる。

[0046] しかしながら、GPSモジュールは、トンネル内、橋梁の下のようにGPS信号を受信することができない場所では、位置情報（高度情報）を取得できないという欠点がある。

[0047] これに対し、ドローン100に搭載したミリ波レーダ130によれば、いかなる環境下でもドローン100の高度を計測することができ、計測した高度をドローン100の自律飛行等に使用することができる。

[0048] [撮影時]

可視カメラ120は、可視カメラ120の全体、又は一部（例えば、レンズ及びイメージセンサを含む撮像部）がドローン100に対して回転（チルト）できるように構成されている。

[0049] 図3に示すようにドローン100による撮影時は、ドローン100は、空中で静止するホバリングに遷移する。ホバリング中は、ドローン100に搭載されているジャイロセンサ及び加速度センサ等のセンサ出力に基づいて、ドローン100の位置及び姿勢が保持されるように制御される。尚、ドローン100の静止中、ドローン100の高度は、ミリ波レーダ130により計測された高度情報に基づいて所望の高度になる制御されている。

[0050] また、ドローン100の静止中は、可視カメラ120の撮影方向が構造物10の方向になるように、可視カメラ120の回転角度が制御される。同様に、ミリ波レーダ130からのミリ波の送受信方向が、構造物10の方向になるようにミリ波レーダ130の回転角度が制御される。

[0051] この場合、可視カメラ120及びミリ波レーダ130は、構造物10と正対するように回転制御することが好ましい。

[0052] その後、ドローン100は、ユーザ操作によりリモートコントローラ200から撮影指示を受信すると、又はドローン100が静止して撮影可能な状態になると自動的に、可視カメラ120により構造物10の表層の可視画像を撮影させ、また、ミリ波レーダ130から構造物10に向けてミリ波を送信させ、構造物10からのミリ波の反射波を受信させ、ミリ波受信データを

取得する。

[0053] <可視画像とミリ波画像との関係>

図4は、可視画像とミリ波画像との関係を示す図である。

[0054] 図4において、124は、可視画像に対応する第1の撮影範囲（可視画像エリア）124を示し、134は、ミリ波画像に対応する第2の撮影範囲（ミリ波エリア）を示す。

[0055] 図4に示すように可視画像エリア124を特定する x - y 座標系（可視カメラ120のイメージセンサの座標系）において、予めミリ波エリア134の4点A、B、C、Dの座標（ $A(x1(d), y1(d))$ 、 $B(x2(d), y2(d))$ 、 $C(x3(d), y3(d))$ 、 $D(x4(d), y4(d))$ ）を求めておく。例えば、予め工場で、ある距離 d でのミリ波画像の4点が、可視画像内のどの位置に対応するかを計測する。ミリ波が強く反射するアルミ金属板を、可視画像の撮影エリア内に配置し、アルミ金属板をずらしながら、ミリ波の反射強度を観察し、ミリ波の反射波が最初に検出できなくなるアルミ金属板の可視画像エリア124内の位置に基づいて、ミリ波エリア134を同定する。

[0056] そして、距離 d を変更して、複数の距離（ d_1 、 d_2 、 d_3 、 $\dots$ ）ごとに、ミリ波エリア134の4点A、B、C、Dの座標を求める。

[0057] 図5は、複数の距離と各距離におけるミリ波画像の4点の座標との関係を示すテーブルである。

[0058] 運用時は、ドローン100と構造物10との距離 d を計測し、ミリ波エリア134の4点A、B、C、Dが、可視画像内のどの画素位置かを、図5に示すテーブルを用いて推定する。計測した距離 d がテーブルに存在しない場合には、その前後の距離に対応する4点A、B、C、Dの画素位置を線形補間する。

[0059] さて、構造物10がコンクリート構造物であり、構造物10の内部に発生するひび割れ、あるいはコンクリートの浮きなどの内部欠陥12がある場合、ミリ波レーダ130は、内部欠陥12で反射する反射波も受信することができる。また、構造物10に外壁タイルが貼られている場合、ミリ波レーダ

130は、外壁タイルの浮き等の欠陥で反射する反射波を受信することができる。

[0060] 図6は、ミリ波画像のある画素位置におけるミリ波の反射強度と距離との関係を模式的に示した図である。

[0061] 図6において、P1は、構造物10の表面からの反射波を示し、P2は、構造物10の内部欠陥12からの反射波を示している。

[0062] 反射波P1とP2との距離は、内部欠陥12の深さに対応する。

[0063] 図7は、可視画像と内部欠陥を示すミリ波画像との関係を示す図である。

[0064] 図7(A)は、可視画像とミリ波画像とを重ね合わせた場合の正面図であり、図7(B)は、可視画像とミリ波画像の撮影対象の構造物10を上から見た透視図である。

[0065] 図7(B)において、ミリ波レーダ130から構造物10のある位置にミリ波Tが照射された場合、構造物10の表面からの反射波P1と、構造物10の内部検出エリア10Aに存在する内部欠陥12からの反射波P2として検出することができる。尚、反射波P1、P2の反射強度と距離は、図5に示した通りである。

[0066] したがって、内部欠陥12からの反射波P2に基づいてミリ波画像を生成すると、ミリ波画像は、内部欠陥12を示す画像となる。また、可視画像とミリ波画像との位置関係は、図6に示したテーブルに基づいて特定することができるため、可視画像にミリ波画像を合成することができる。

[0067] 尚、図7(A)上で、136は、ミリ波画像のある画素を表している。また、ミリ波画像は、赤色等の可視画像とは異なる色とし、深さや反射強度に応じた濃淡で表すことで、構造物10の表層の可視画像と区別できるようにすることが好ましい。

[0068] 図3に戻って、ミリ波レーダ130は、撮影時にドローン100と構造物10との距離dを計測することができる。

[0069] ミリ波レーダ130により計測される距離dは、図5に示したテーブルからミリ波エリア134の4点A、B、C、Dの座標を読み出す場合に使用す

ることができる。また、距離 d は、ドローン100から構造物10までの撮影距離を、所望の撮影距離に保持する場合のドローン100の撮影ポイントの位置制御に使用することができ、更に、可視カメラ120の撮影レンズの焦点合わせに使用することができる。

[0070] このようにして、ドローン100は、ある撮影ポイントにおける可視画像とミリ波画像の撮影を行うと、次の撮影ポイントまで飛行して可視画像とミリ波画像の撮影を行い、これを、構造物10の全ての撮影ポイントでの可視画像及びミリ波画像の撮影が終了するまで繰り返す。

[0071] <第2実施形態>

図8は、本発明に係る飛行撮影システムの第2実施形態の概要を示す図である。尚、図8において、図2等にした第1実施形態の飛行撮影システムと共通する部分には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

[0072] 図8に示す第2実施形態の飛行撮影システムは、ミリ波レーダ131が追加されている点で、図2等にした第1実施形態の飛行撮影システムと相違する。

[0073] 即ち、ミリ波レーダ（第1のミリ波レーダ）130は、構造物10に向けられ、構造物10のミリ波画像の撮影に使用され、ミリ波レーダ（第2のミリ波レーダ）131は、ドローン100の下方向に向けられ、ドローン100の高度を計測する高度計測器として機能する。

[0074] 尚、第2実施形態の飛行撮影システムの他の構成及び機能は、図2から図7に示した第1実施形態の飛行撮影システムと共通する。

[0075] <第3実施形態>

図9及び図10は、本発明に係る飛行撮影システムの第3実施形態の概要を示す図であり、図9は、飛行時のドローンの状態を示し、図10は、撮影時のドローンの状態を示している。尚、図9及び図10において、図2等にした第1実施形態の飛行撮影システムと共通する部分には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

[0076] 図9及び図10に示す第3実施形態の飛行撮影システムは、レーザ距離計

140が追加されている点で、図2等にした第1実施形態の飛行撮影システムと相違する。

[0077] 〔飛行時〕

図9に示すミリ波レーダ130は、ドローン100の飛行中は第1実施形態と同様にミリ波レーダ130を下方向に向け、ドローン100の高度を計測する。

[0078] ミリ波レーダ130は、レーザ距離計140と比較して距離の計測の精度が低い、ドローン100の飛行には支障がない程度に距離（高度）を計測することができ、特に基準面20が水面の場合でも高度を計測できる点で、レーザ距離計140と比較して有利である。

[0079] また、ミリ波レーダ130は、ドローン100の高度を計測する場合の基準となる基準面20が、レーザ距離計140で検出困難な基準面であるか否かを検知する基準面検知部として兼用される。ここで、レーザ距離計140で検出困難な面とは、水面である。

[0080] 図10を使用して後に説明するが、ドローン100の静止飛行時のドローン100の高度 h は、レーザ距離計140で計測する。レーザ距離計140は、ミリ波レーダ130と比較して精度よく距離（高度）を計測できるからである。

[0081] ミリ波レーダ130によりドローン100の鉛直下方向の基準面が、レーザ距離計140で検出困難な面（水面）であると検知された場合には、レーザ距離計140で検出可能な新たに設定した基準面（地面）を、ドローン100の高度計測の基準面とする。

[0082] ミリ波レーダ130は、ドローン100の移動飛行中にドローン100の高度を計測し、ドローン100が空中で静止すると、ミリ波エリア内で地面エリアと水面エリアとを判別する。

[0083] ドローン100が静止している場合、水面エリアからの反射波は、水面の波の影響を受けて強度が経時変化するのに対し、地面エリアからの反射波はその強度の経時変化はほとんどない。

[0084] したがって、ドローン100が空中で静止し、構造物10の撮影のためにミリ波レーダ130の方向を切り換える前に、ミリ波レーダ130から得られる反射波を解析することで、ミリ波エリア内における地面エリアと水面エリアとを判別することができる。

[0085] レーザ距離計140は、照射したレーザ光が測定対象で反射して受光するまでの時間を計測して、測定対象までの距離を測定するものであり、LiDAR (Light Detection and Ranging) を使用することが好ましい。LiDARは、自動運転システムにおいて使用されており、対象物までの距離の他に、対象物の空間内の位置、及び形状の測定が可能である。

[0086] レーザ距離計140は、ドローン100の移動飛行時には飛行ルート上の障害物を検出したり、ドローン100から構造物10までの距離 d を計測する。レーザ距離計140により計測される対象物の情報は、ドローン100を自律飛行又は半自律飛行させる場合に使用される。例えば、ドローン100と構造物10との距離 d を所望の距離に保持するようにドローン100の自律飛行に使用することができる。

[0087] [撮影時]

図10に示すようにドローン100による撮影時は、ドローン100は、空中で静止するホバリングに遷移する。

[0088] ドローン100が静止すると、前述したように、構造物10の撮影のためにミリ波レーダ130の方向を切り換える前に、ミリ波レーダ130から得られる反射波を解析し、ドローン100の下方向のミリ波エリア内における地面エリアと水面エリアとを判別する。

[0089] ドローン100の鉛直下方向のエリアが地面エリアと判別されると、その地面エリアに対応する地面を基準面20Aとし、レーザ距離計140により基準面20Aまでの距離を計測させる。そして、ドローン100は、レーザ距離計140による計測された距離のうちの最短距離を、ドローン100の高度 h ($h1$) として取得する。

[0090] ドローン100の鉛直下方向のエリアが水面エリアと判別されると、その

水面エリアに対応する基準面 20B の代わりに、レーザ距離計 140 で検出可能な新たな基準面 20A（鉛直下方向以外の地面エリアに対応する地面の基準面）を設定し、レーザ距離計 140 によりドローン 100 と新たな基準面 20A との距離 L を計測させる。

[0091] そして、計測した距離 L と、距離 L の計測時のレーザ光の鉛直下方向とのなす角度 θ とに基づいて、ドローン 100 の高度 h (h_2) を、次式、

[数 1]

$$h_2 = L \times \cos \theta$$

により算出する。

[0092] レーザ距離計 140 により計測されるドローン 100 の高度情報は、ドローン 100 の撮影ポイント（少なくとも高度）が設定されている場合、ドローン 100 の静止時の高度の制御に使用することができる。

[0093] その後、図 2 等にした第 1 実施形態と同様に、可視カメラ 120 の撮影方向が構造物 10 の方向になるように、可視カメラ 120 の回転角度が制御される。同様に、ミリ波レーダ 130 からのミリ波の送受信方向が、構造物 10 の方向になるようにミリ波レーダ 130 の回転角度が制御される。

[0094] ドローン 100 は、ユーザ操作によりリモートコントローラ 200 から撮影指示を受信すると、又はドローン 100 が静止して撮影可能な状態になると自動的に、可視カメラ 120 により構造物 10 の表層の可視画像を撮影させ、また、ミリ波レーダ 130 によりミリ波画像を撮影させる。

[0095] また、可視画像及びミリ波画像の撮影時には、レーザ距離計 140 によりドローン 100（可視カメラ 120、ミリ波レーダ 130）と構造物 10 との距離 d を計測させる。レーザ距離計 140 により計測される距離 d は、図 5 に示したテーブルからミリ波エリア 134 の 4 点 A、B、C、D の座標を読み出す場合に使用することができる。また、距離 d は、ドローン 100 から構造物 10 までの撮影距離を、所望の撮影距離に保持する場合のドローン 100 の撮影ポイントの位置制御に使用することができ、更に、可視カメラ 120 の撮影レンズの焦点合わせに使用することができる。

[0096] 〔飛行撮影システムのハードウェア構成〕

図 1 1 は、本発明に係る飛行撮影システムのハードウェア構成の実施形態を示すブロック図である。

[0097] 図 1 1 に示すドローン 1 0 0 は、図 9 及び図 1 0 に示した第 3 実施形態に対応するものであり、プロセッサ 1 0 2、ジャイロセンサ 1 0 4、GPS モジュール 1 0 6、加速度センサ 1 0 8、メモリ 1 1 0、通信インターフェース（通信 I / F） 1 1 2、入出力 I / F 1 1 4、複数のプロペラ 1 1 9、複数のプロペラ 1 1 9 をそれぞれ駆動する複数のモータ 1 1 8、及び複数のモータ 1 1 8 の動作を制御するプロペラ制御部 1 1 6 の他に、可視カメラ 1 2 0、ミリ波レーダ 1 3 0、及びレーザ距離計 1 4 0 等を備えている。

[0098] メモリ 1 1 0 は、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、フラッシュ ROM 等を含み、ROM あるいはフラッシュ ROM には、オペレーティングシステム、飛行撮影方法を実行するためのプログラム、飛行ルート等の飛行計画情報、図 5 に示したテーブル等が記憶されている。RAM は、ROM あるいはフラッシュ ROM から読み出したプログラムを一時記憶するとともに、プロセッサ 1 0 2 の作業エリアとして機能する。また、フラッシュ ROM は、可視カメラ 1 2 0 で撮影された可視画像、及びミリ波レーダ 1 3 0 により撮影されたミリ波画像を記憶する内部メモリと機能することができる。

[0099] プロセッサ 1 0 2 は、メモリ 1 1 0 から各種のプログラム等を読み出し、各部を統括制御する部分であり、ドローン 1 0 0 の飛行制御、可視カメラ 1 2 0 による可視画像の撮影制御、ミリ波レーダ 1 3 0 によるミリ波画像を撮影制御及び高度の計測、レーザ距離計 1 4 0 による高度の計測等を実施させる。

[0100] また、ジャイロセンサ 1 0 4、GPS モジュール 1 0 6、及び加速度センサ 1 0 8 の各出力信号は、プロセッサ 1 0 2 に入力される。プロセッサ 1 0 2 は、ジャイロセンサ 1 0 4 の出力信号に基づいて、ドローン 1 0 0 の姿勢、角速度、及び角加速度を知ることができる。また、プロセッサ 1 0 2 は、

GPSモジュール106のGPS信号に基づいて、ドローン100の位置（緯度、経度、高度）を知ることができる。更に、プロセッサ102は、加速度センサ108の出力信号に基づいて、ドローン100の加速度を知ることができる。

[0101] プロセッサ102は、ジャイロセンサ104、GPSモジュール106、及び加速度センサ108の各出力信号に基づいて、複数のモータ118をそれぞれプロペラ制御部116を介して制御することにより、予め飛行計画により設定された飛行ルートにしたがってドローン100の離陸、移動飛行、ホバリング、旋回及び着陸などの自律飛行、あるいは飛行中の一部をリモートコントローラ200からの指示を受け付けて飛行する半自律飛行の各種の動作を実行する。

[0102] 尚、ドローン100は、自律飛行、あるいは半自律飛行以外に、リモートコントローラ200からの飛行指示に基づいて任意に飛行できることは言うまでもない。また、ホバリング時には、ジャイロセンサ104や加速度センサ108の検出出力に基づいてドローン100の位置及び姿勢を保持するように自動制御することができる。更に、ジャイロセンサ104は、ドローン100の移動による角速度を検知し、角速度の積分演算により角度を検出することができ、加速度センサ108は、ドローン100の傾き（重力方向）の検出、平行移動、積分による速度等の検出が可能である。

[0103] プロセッサ102は、可視カメラ120により構造物の表層の可視画像を撮影させる処理、ミリ波レーダ130から構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させてミリ波画像を撮影させる処理、ドローン100の移動飛行中に、ミリ波レーダ130により基準面からの高度を計測させ、ドローン100の静止飛行時にレーザ距離計140により基準面からの高度を計測させる。これらの高度を示す高度情報は、ドローン100の飛行制御に使用される。

[0104] このドローン100は、ミリ波レーダ130、及びレーザ距離計140により計測される高度、構造物との距離等の情報を使用することで、GPS電

波の届かない環境での自律飛行、又は半自律飛行を行うことができる。

- [0105] ドローン１００は、ミリ波レーダ１３０又はレーザ距離計１４０により計測される基準面からの距離（高度）、及び構造物１０との距離を一定に保ちながら飛行することができる。尚、ドローン１００の飛行すべき高度、及び構造物１０との距離は、メモリ１１０から飛行ルート等の飛行計画情報として取得することができ、又はリモートコントローラ２００からユーザ指示により受け付けることができる。
- [0106] また、プロセッサ１０２によるドローン１００の飛行時、及び撮影時の具体的な制御については、図９及び図１０を使用して説明した第３実施形態と同様であるため、ここではその説明は省略する。
- [0107] リモートコントローラ２００は、ユーザ操作によりドローン１００を遠隔制御するために使用されるもので、通信Ｉ／Ｆ２１０、ＣＰＵ（Central Processing Unit）２２０、操作部２３０、メモリ２４０、及びモニタ２５０を備えている。
- [0108] ＣＰＵ２２０は、メモリ２４０に記憶されたファームウェアを実行することで、各部を統括制御する。ドローン１００のプロセッサ１０２とリモートコントローラ２００のＣＰＵ２２０とは、通信Ｉ／Ｆ１１２、２１０を介して必要な情報のやり取りを行うことができ、また、リモートコントローラ２００は、可視カメラ１２０により撮影されるライブビュー画像を通信Ｉ／Ｆ１１２、２１０を介して受信し、モニタ２５０に表示させることができる。
- [0109] ユーザは、モニタ２５０に表示されるライブビュー画像を見ながら操作部２３０を操作し、構造物１０の最初の撮影ポイントまでドローン１００の飛行を誘導することができる。また、最初の撮影ポイントまでの飛行ルートがＧＰＳ電波を受信できる環境の場合には、予め飛行ルートをドローン１００に設定しておくことで、ドローン１００は、ＧＰＳモジュール１０６で現在位置を捕捉しながら最初の撮影ポイントまで自律飛行することができる。この場合、ユーザは、リモートコントローラ２００から最初の撮影ポイントまでの自律飛行の指示をドローン１００に与える。

- [0110] ドローン１００が最初の撮影ポイントに到達すると、ユーザは、リモートコントローラ２００から本発明に係る飛行撮影方法を実行させる指示をドローン１００に与える。これにより、ドローン１００は、ミリ波レーダ１３０、及びレーザ距離計１４０により計測される高度、構造物１０との距離等の情報を取得し、ドローン１００を予め設定した高度、及び構造物１０との距離を維持しながら各撮影ポイントに移動する。そして、ドローン１００は、各撮影ポイントで静止して可視カメラ１２０により可視画像の撮影、及びミリ波レーダ１３０によるミリ波画像の撮影を行わせる。
- [0111] 各撮影ポイントでの可視カメラ１２０により可視画像の撮影、及びミリ波レーダ１３０によるミリ波画像の撮影は、各撮影ポイントでのドローン１００のホバリングが安定した時点で自動的に行うようにしてもよいし、ユーザ操作によるリモートコントローラ２００からの撮影指示を受け付けて行うようにしてもよい。
- [0112] ドローン１００は、ある撮影ポイントでの撮影が終了すると、次に撮影ポイントに移動する。各撮影ポイントの間の距離は、撮影される可視画像に対応する構造物１０上の撮影エリアに基づいて予め設定することができる。例えば、各撮影ポイントの間の距離は、ドローン１００を水平方向に移動させる場合には、撮影エリアの長辺の長さよりも短い距離とし、ドローン１００を鉛直方向に移動させる場合には、撮影エリアの短辺の長さよりも短い距離とすることが好ましい。これは、撮影された可視画像をパノラマ合成する場合、隣接する可視画像間で重複する画像エリアが必要だからである。
- [0113] 加速度センサ１０８の検出出力に基づいてドローン１００の移動距離を推定することができるため、ある撮影ポイントからのドローン１００の移動距離が、予め設定した距離に達する位置を次の撮影ポイントとしてドローン１００を停止させることができる。また、ある撮影ポイントから次の撮影ポイントまでの速度パターンが決まっている場合には、飛行時間を制御して次に撮影ポイントまでドローン１００を移動させることができる。
- [0114] ドローン１００により最後の撮影ポイントでの撮影が終了すると、ユーザ

は、モニタ 250 に表示されるライブビュー画像を見ながら操作部 230 を操作し、ドローン 100 を帰還させることができる。また、GPS 電波を受信できる環境の場合には、ユーザはリモートコントローラ 200 から帰還を指示することで、ドローン 100 を自動帰還させることができる。

[0115] 図 12 は、本発明に係る飛行撮影システムに適用されるサーバの実施形態を示すブロック図である。

[0116] 図 12 に示すサーバ 400 は、ユーザ端末 300 からアップロードされ、又はユーザ端末 300 から集信した可視画像及びミリ波画像を処理し、その処理結果をユーザ端末 300 に返信するもので、通信 I/F 410、CPU 420、メモリ 430、及びデータベース 440 を備えている。

[0117] CPU 220 は、メモリ 240 に記憶されたプログラムを実行することで、各部を統括制御するとともに、後述するように可視画像に基づいて構造物 10 の表層に現れる損傷を検出する処理、構造物の表層から所定の深さまでの 3 次元情報を含むミリ波受信データから構造物の内部のミリ波画像を生成する処理、及び可視画像とミリ波画像の合成処理等を行う。

[0118] データベース 440 は、ユーザ端末 300 から通信 I/F 410 を介して取得した可視画像及びミリ波受信データと、可視画像及びミリ波受信データに対する処理結果とを保存、管理する。

[0119] 図 13 は、図 12 に示したサーバの機能を示す機能ブロック図である。

[0120] 図 13 に示すサーバ 400 は、主として入力部 410A、損傷検出部 422、ミリ波画像生成処理部 424、合成処理部 426、及び出力部 410B を備えている。

[0121] 入力部 410A は、ユーザ端末 300 から可視画像 122 及びミリ波受信データ 132 を取得する。この入力部 410A は、ユーザ端末 300 から送信された可視画像 122 及びミリ波受信データ 132 を受信するサーバ 400 の通信 I/F 410 に相当する。

[0122] 損傷検出部 422 は、可視画像 122 に基づいて構造物 10 の表層に現れる損傷（例えば、ひび割れ、遊離石灰、鉄筋露出、コンクリート剥離等）を

検出する処理を行い、損傷エリア及び損傷種類を特定して、損傷画像を出力する。

[0123] 損傷検出部422は、画像処理アルゴリズムにより行うものでもよいし、人工知能（AI：artificial intelligence）により行うようにしてもよい。AIとしては、例えば、畳み込みニューラルネットワーク（CNN：Convolution Neural Network）による学習済みモデルを使用することができる。

[0124] ミリ波画像生成処理部424は、構造物からのミリ波の反射波を示すミリ波受信データ132に基づいて、構造物の内部を示すミリ波画像を生成する。図6に示したようにミリ波の反射波は、構造物の表面からの反射波、及び構造物の内部欠陥等からの反射波を含み、前者の反射波は、後者の反射波よりも反射強度が大きい。ミリ波画像生成処理部424は、構造物の表面からの反射波以外の反射波を示すミリ波受信データを抽出し、抽出したミリ波受信データに基づいてミリ波画像を生成することが好ましい。また、ミリ波画像は、赤色等の可視画像とは異なる色とし、深さや反射強度に応じた濃淡で表すことで、構造物10の表層の可視画像と区別できるようにすることが好ましい。

[0125] 合成処理部426は、可視画像と損傷検出部422部から出力される損傷画像と、ミリ波画像生成処理部424から出力されるミリ波画像とを合成する。尚、可視画像とミリ波画像との位置関係は、図6に示したテーブルに基づいて特定することができるため、可視画像にミリ波画像を合成することができる。

[0126] 本例では、可視画像と損傷画像とミリ波画像とを合成するが、これに限らず、可視画像とミリ波画像とを合成してもよいし、損傷画像とミリ波画像とを合成するようにしてもよい。また、サーバ400では、可視画像等のパノラマ合成も行うことができる。

[0127] 損傷検出部422、ミリ波画像生成処理部424、及び合成処理部426は、サーバ400のCPU420の各機能に相当する。

[0128] 合成処理部426により合成された合成画像は、出力部410Bを介して

ユーザ端末300に送信される。この入力部410Aは、サーバ400の通信I/F410に相当する。

[0129] これにより、ユーザは、構造物の表層の損傷の他に、内部欠陥を確認することができる。

[0130] 尚、本例のサーバ400の処理機能を、ユーザ端末300が持つように構成してもよい。

[0131] [飛行撮影方法]

図14は、本発明に係る飛行撮影方法の実施形態を示すフローチャートである。

[0132] 図14に示す各ステップの処理は、例えば、図11に示したドローン100のプロセッサ102等により行われる。

[0133] 図13において、ドローン100を構造物の撮影を行う最初の撮影ポイントに移動（飛行）させる（ステップS10）。このドローン100の飛行は、飛行計画にしたがったドローン100の自律飛行により行ってもよいし、ユーザ操作されるリモートコントローラ200からの指示によりおこなってもよい。

[0134] プロセッサ102は、ドローン100が最初の撮影ポイントに移動したか否かを判別する（ステップS12）。最初の撮影ポイントに移動したと判別すると（「Yes」の場合）、プロセッサ102は、ドローン100を撮影ポイントにて静止飛行させ、レーザ距離計140によりドローン100の基準面からの距離（高度）を計測させる（ステップS13）。

[0135] 続いて、プロセッサ102は、可視カメラ120により構造物の可視画像を撮影させ（ステップS14）、ミリ波レーダ130により構造物のミリ波画像を撮影させる（ステップS16）。ミリ波画像の撮影は、構造物にミリ波を送信させ、ミリ波エリアからの反射波を受信させ、ミリ波受信データを取得することで行う。

[0136] プロセッサ102は、撮影された可視画像とミリ波画像とを関連付けてメモリ110に記憶させる（ステップS18）。

[0137] プロセッサ102は、撮影ポイントでの構造物の撮影が終了すると、飛行計画にしたがってドローン100を次の撮影ポイントに移動させる（ステップS20）。

[0138] 次の撮影ポイントに移動したと判別すると（「Yes」の場合）、プロセッサ102は、ステップS13に遷移させ、ここで、撮影ポイントにて静止飛行させ、レーザ距離計140によりドローン100の高度を計測させる。

[0139] プロセッサ102は、全ての撮影ポイントでの撮影が終了するまで、ステップS13からステップS22までの処理を繰り返す。

[0140] [その他]

本発明に係る飛行撮影システムの無人飛行体のプロセッサ、サーバのCPUの各種プロセッサには、プログラムを実行して各種の処理部として機能する汎用的なプロセッサであるCPU（Central Processing Unit）、FPGA（Field Programmable Gate Array）などの製造後に回路構成を変更可能なプロセッサであるプログラマブルロジックデバイス（Programmable Logic Device；PLD）、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）などの特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである専用電気回路などが含まれる。飛行撮影システムを構成する1つの処理部は、上記各種プロセッサのうちの1つで構成されていてもよいし、同種又は異種の2つ以上のプロセッサで構成されてもよい。例えば、1つの処理部は、複数のFPGA、あるいは、CPUとFPGAの組み合わせによって構成されてもよい。また、複数の処理部を1つのプロセッサで構成してもよい。複数の処理部を1つのプロセッサで構成する例としては、第1に、クライアントやサーバなどのコンピュータに代表されるように、1つ以上のCPUとソフトウェアの組み合わせで1つのプロセッサを構成し、このプロセッサが複数の処理部として機能する形態がある。第2に、システムオンチップ（System On Chip；SoC）などに代表されるように、複数の処理部を含むシステム全体の機能を1つのIC（Integrated Circuit）チップで実現するプロセッサを使用する形態がある。このように、各種の処理部は、ハー

ドウェア的な構造として、上記各種プロセッサを1つ以上用いて構成される。更に、これらの各種のプロセッサのハードウェア的な構造は、より具体的には、半導体素子などの回路素子を組み合わせた電気回路 (circuitry) である。

[0141] また、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の精神を逸脱しない範囲で種々の変形が可能であることは言うまでもない。

符号の説明

[0142] 1 飛行撮影システム

10 構造物

12 内部欠陥

20、20A、20B 基準面

100 ドローン

102 プロセッサ

104 ジャイロセンサ

106 GPSモジュール

108 加速度センサ

110 メモリ

112 通信I/F

114 入出力I/F

116 プロペラ制御部

118 モータ

119 プロペラ

120 可視カメラ

122 可視画像

124 可視画像エリア

130、131 ミリ波レーダ

132 ミリ波受信データ

134 ミリ波エリア

140 レーザ距離計
150 メモリカード
200 リモートコントローラ
210 通信 I / F
220 CPU
230 操作部
240 メモリ
250 モニタ
300 ユーザ端末
400 サーバ
410 通信 I / F
410A 入力部
410B 出力部
420 CPU
422 損傷検出部
424 ミリ波画像生成処理部
426 合成処理部
430 メモリ
440 データベース
S10～S22 ステップ

請求の範囲

- [請求項1] 可視画像を撮影する可視カメラと、
第1のミリ波レーダと、
前記可視カメラ及び前記第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体と、
前記可視カメラ、前記第1のミリ波レーダ及び前記無人飛行体を制御するプロセッサと、を備え、
前記プロセッサは、
構造物を撮影する場合に、前記可視カメラにより前記構造物の表層の可視画像を撮影させる前記可視カメラの制御と、前記第1のミリ波レーダから前記構造物に向けてミリ波を送信させ、前記構造物からの前記ミリ波の反射波を受信させる前記第1のミリ波レーダの制御とを行い、
前記無人飛行体の飛行中に、前記無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの前記無人飛行体の高度を計測させ、前記計測させた高度を示す高度情報を取得する処理を行い、
前記高度情報は、前記無人飛行体を飛行させる場合に使用される、飛行撮影システム。
- [請求項2] 前記高度計測器は、レーザ距離計である、
請求項1に記載の飛行撮影システム。
- [請求項3] 前記レーザ距離計は、前記無人飛行体から前記構造物までの距離を更に計測する、
請求項2に記載の飛行撮影システム。
- [請求項4] 前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な基準面であるか否かを検知する基準面検知部を備え、
前記レーザ距離計は、前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面の場合には、前記レーザ距離計で検出可能な新たに設定した基準面を前記基準面として前記無人飛行体の高度を計測する、

請求項 2 又は 3 に記載の飛行撮影システム。

[請求項5] 前記検出困難な基準面は、水面である、

請求項 4 に記載の飛行撮影システム。

[請求項6] 前記新たに設定した基準面は、前記無人飛行体の鉛直下方向以外の方向に存在する地面である、

請求項 4 又は 5 に記載の飛行撮影システム。

[請求項7] 前記基準面検知部は、第 2 のミリ波レーダである、

請求項 4 から 6 のいずれか 1 項に記載の飛行撮影システム。

[請求項8] 前記第 1 のミリ波レーダは、前記第 2 のミリ波レーダとして兼用され、

前記プロセッサは、構造物を撮影する場合に前記第 1 のミリ波レーダを前記構造物の方向に向け、前記無人飛行体の飛行中に前記第 1 のミリ波レーダを下方向に向ける、

請求項 7 に記載の飛行撮影システム。

[請求項9] 前記プロセッサは、前記構造物を撮影する場合に、前記第 1 のミリ波レーダが受信する前記構造物からの前記ミリ波の反射波に基づいて、前記構造物の内部を示すミリ波画像を生成するミリ波画像生成処理を行う、

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の飛行撮影システム。

[請求項10] 前記可視カメラにより撮影される前記構造物の表層の可視画像の第 1 の撮影範囲と、前記生成される前記ミリ波画像の第 2 の撮影範囲との関係を記憶するメモリを備え、

前記プロセッサは、前記メモリに記憶された前記第 1 の撮影範囲と前記第 2 の撮影範囲との関係に基づいて、前記可視画像に前記ミリ波画像を合成する合成処理を行う、

請求項 9 に記載の飛行撮影システム。

[請求項11] 前記構造物は、コンクリート構造物であり、

前記ミリ波画像は、前記コンクリート構造物の内部欠陥を示す画像

である、

請求項 9 又は 10 に記載の飛行撮影システム。

[請求項12] 可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体による撮影及び飛行をプロセッサにより制御する飛行撮影方法であって、

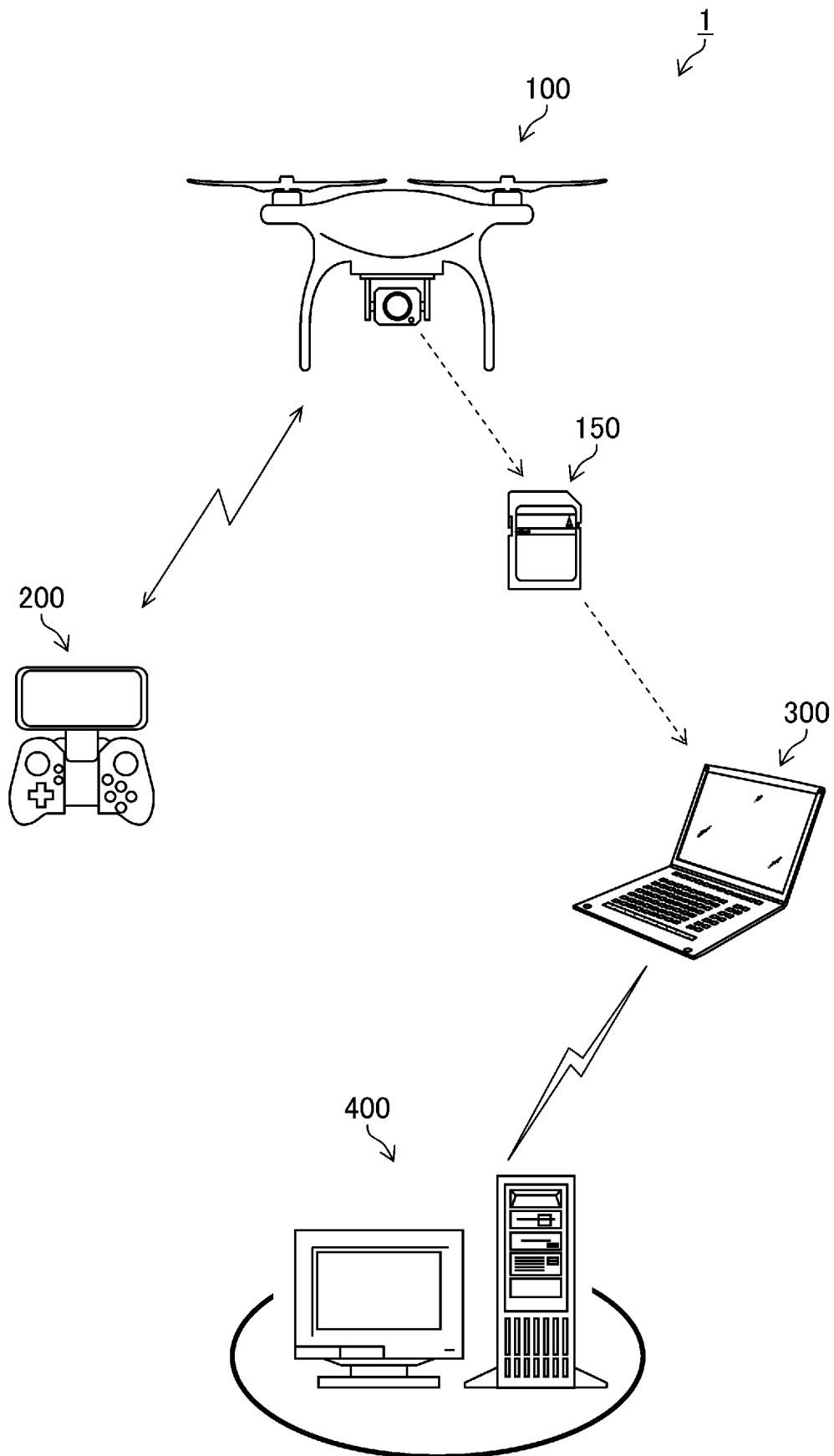
前記プロセッサの各処理は、

構造物を撮影する場合に、前記可視カメラにより前記構造物の表層の可視画像を撮影させるステップと、前記第1のミリ波レーダから前記構造物に向けてミリ波を送信させ、前記構造物からの前記ミリ波の反射波を受信させるステップと、を含み、

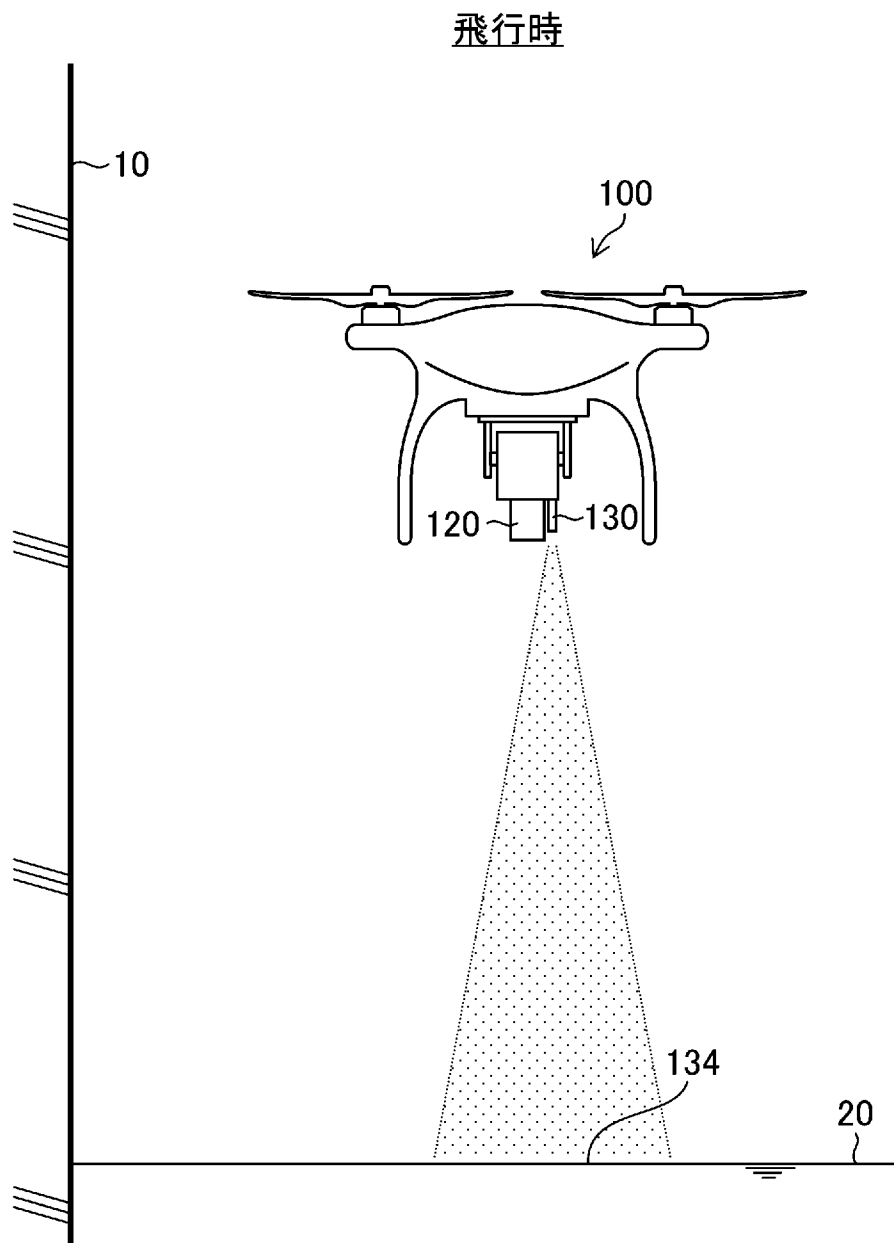
前記無人飛行体の飛行中に、前記無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの前記無人飛行体の高度を計測させ、前記計測させた高度を示す高度情報を取得するステップを含み、

前記高度情報は、前記無人飛行体を飛行させる場合に使用される、飛行撮影方法。

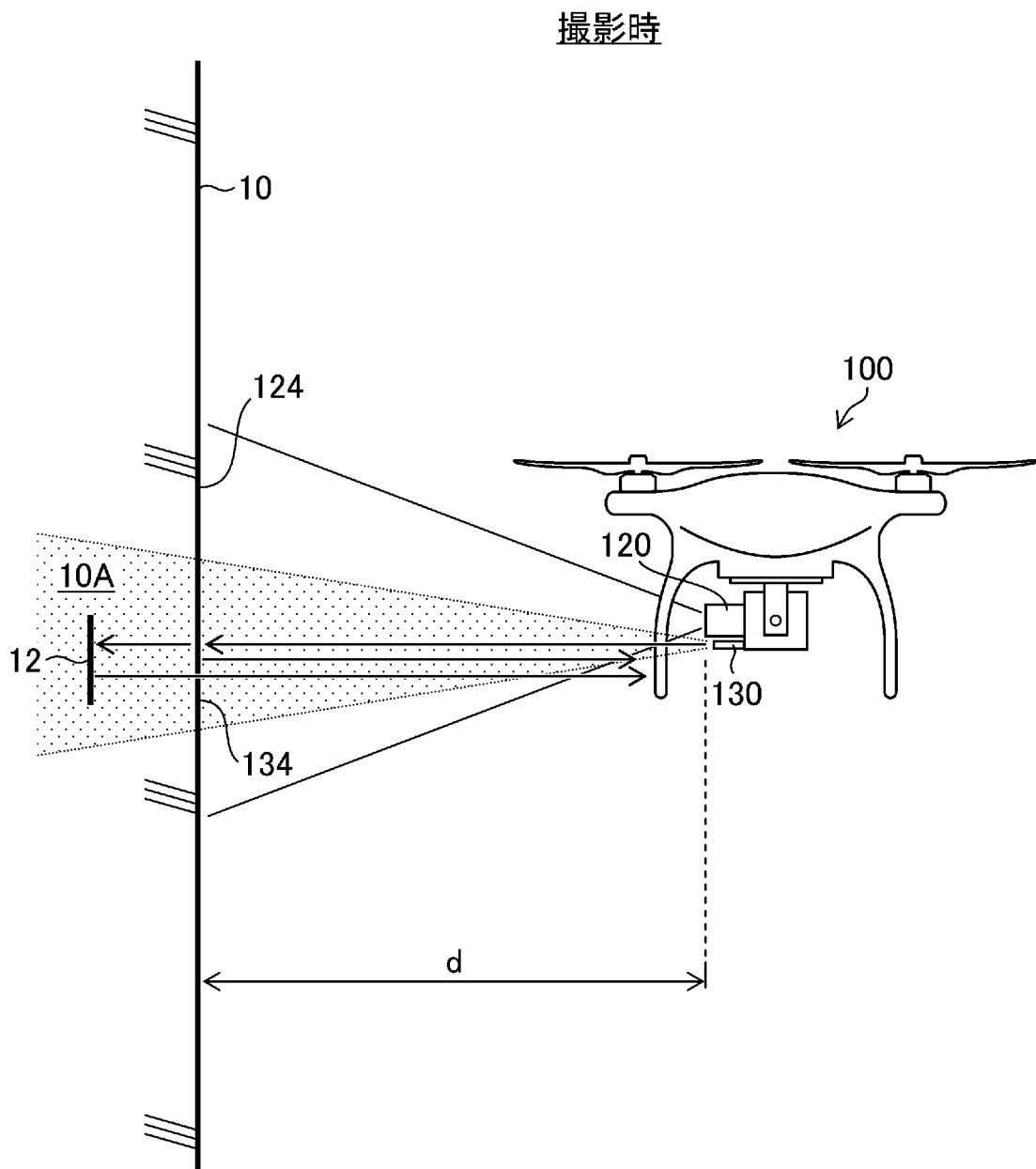
[図1]



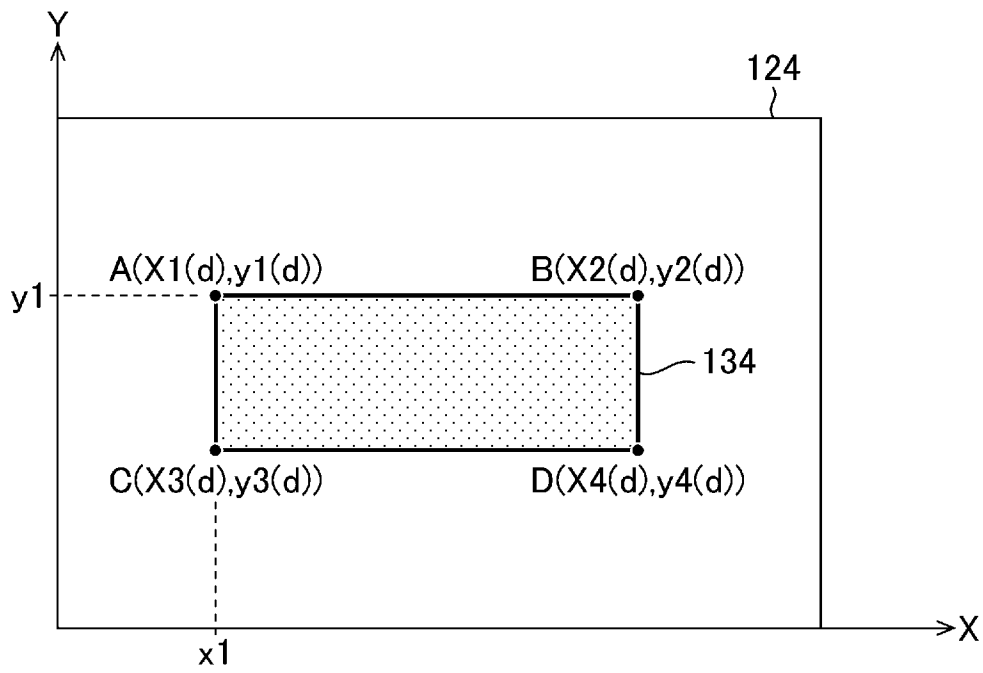
[図2]



[図3]



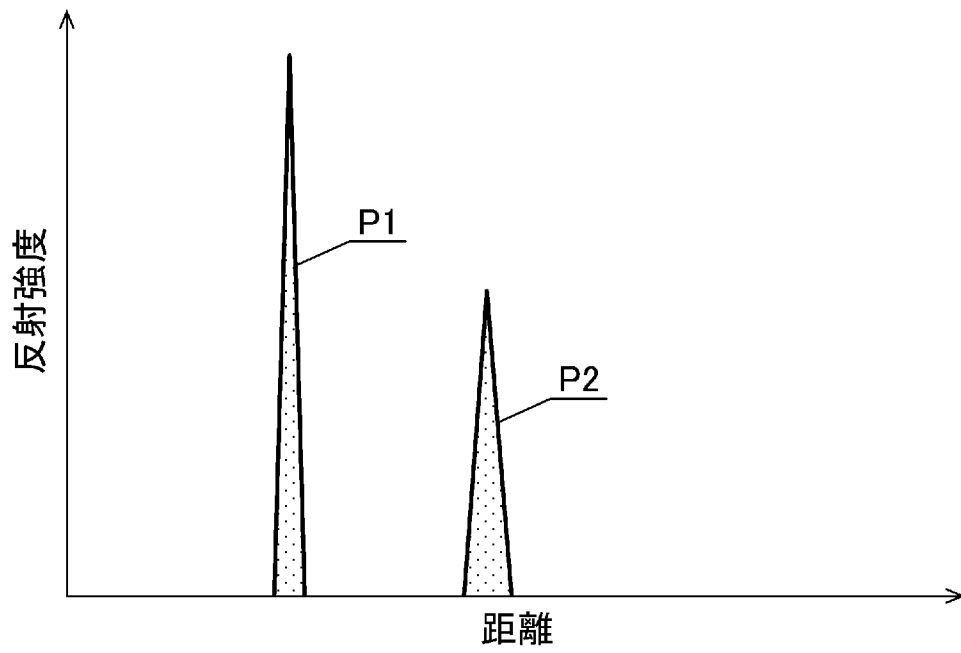
[図4]



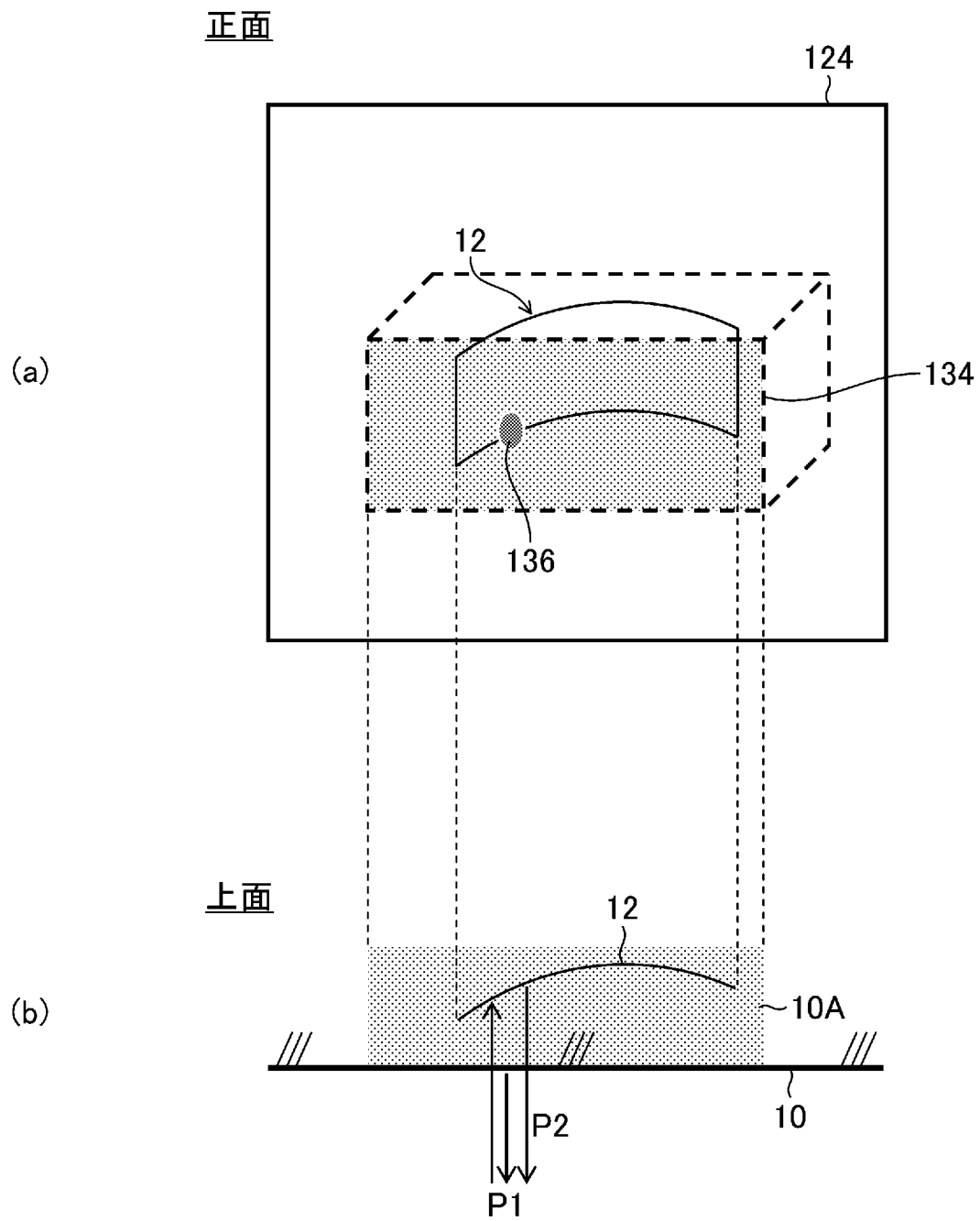
[図5]

距離	A	B	C	D
d1	$x1(d1), y1(d1)$	$x2(d1), y2(d1)$		
d2	⋮	⋮	⋮	⋮
d3				
d4				
⋮				

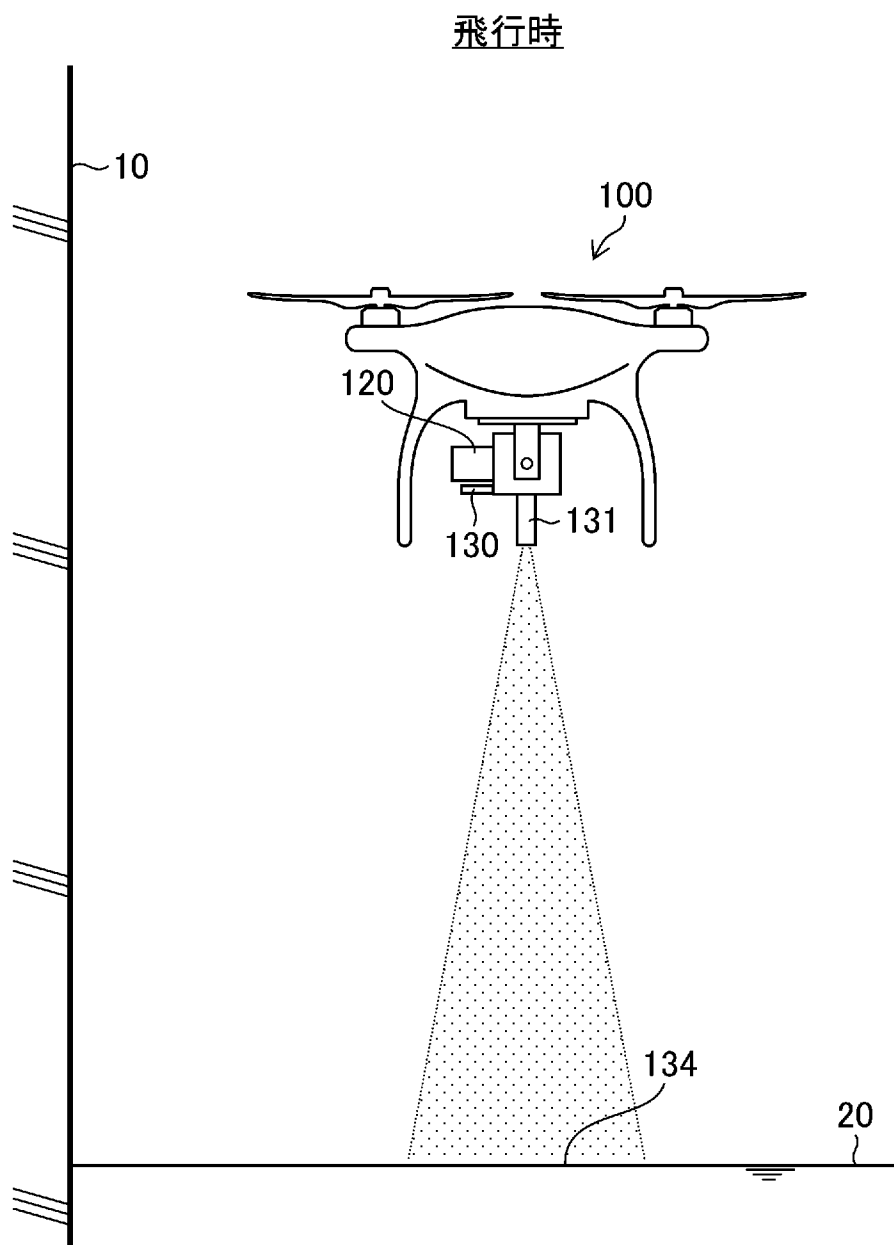
[図6]



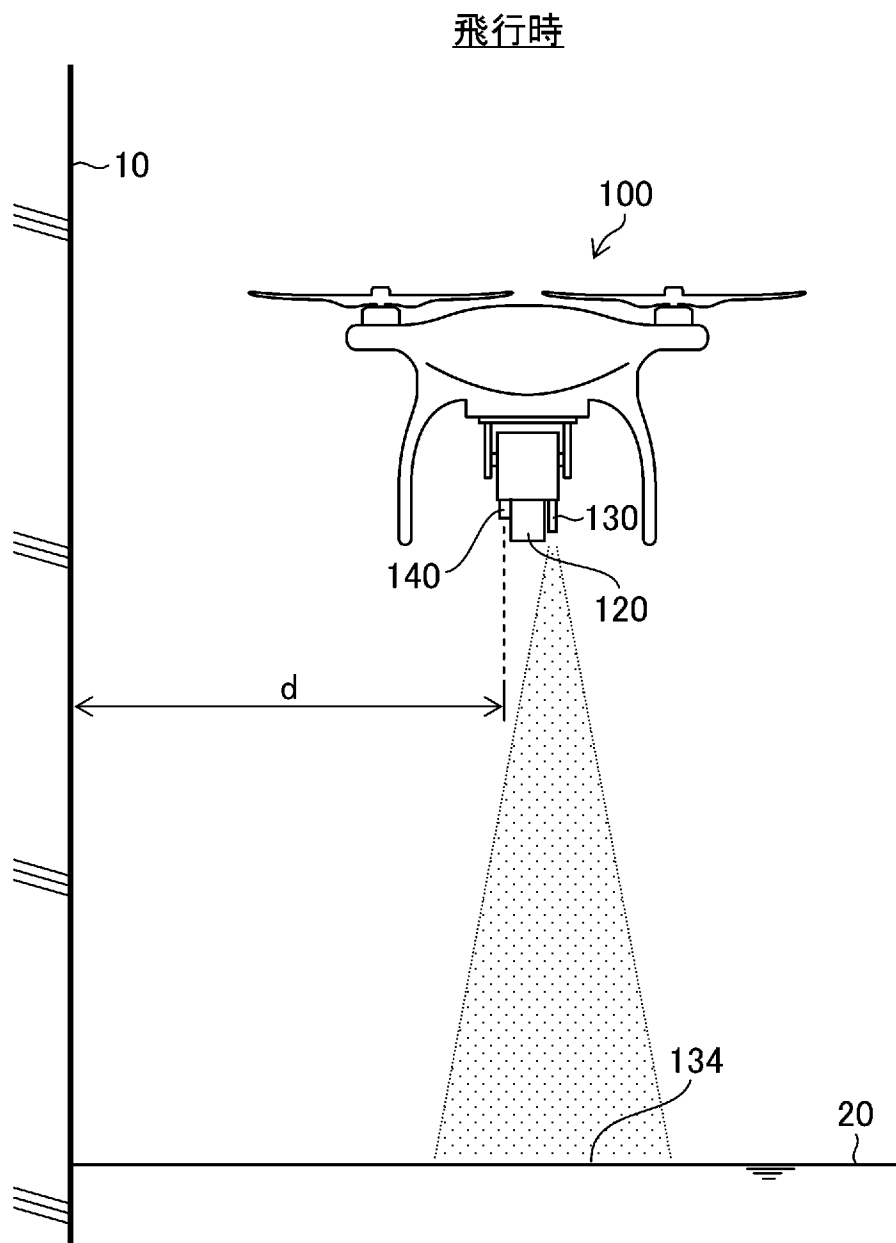
[図7]



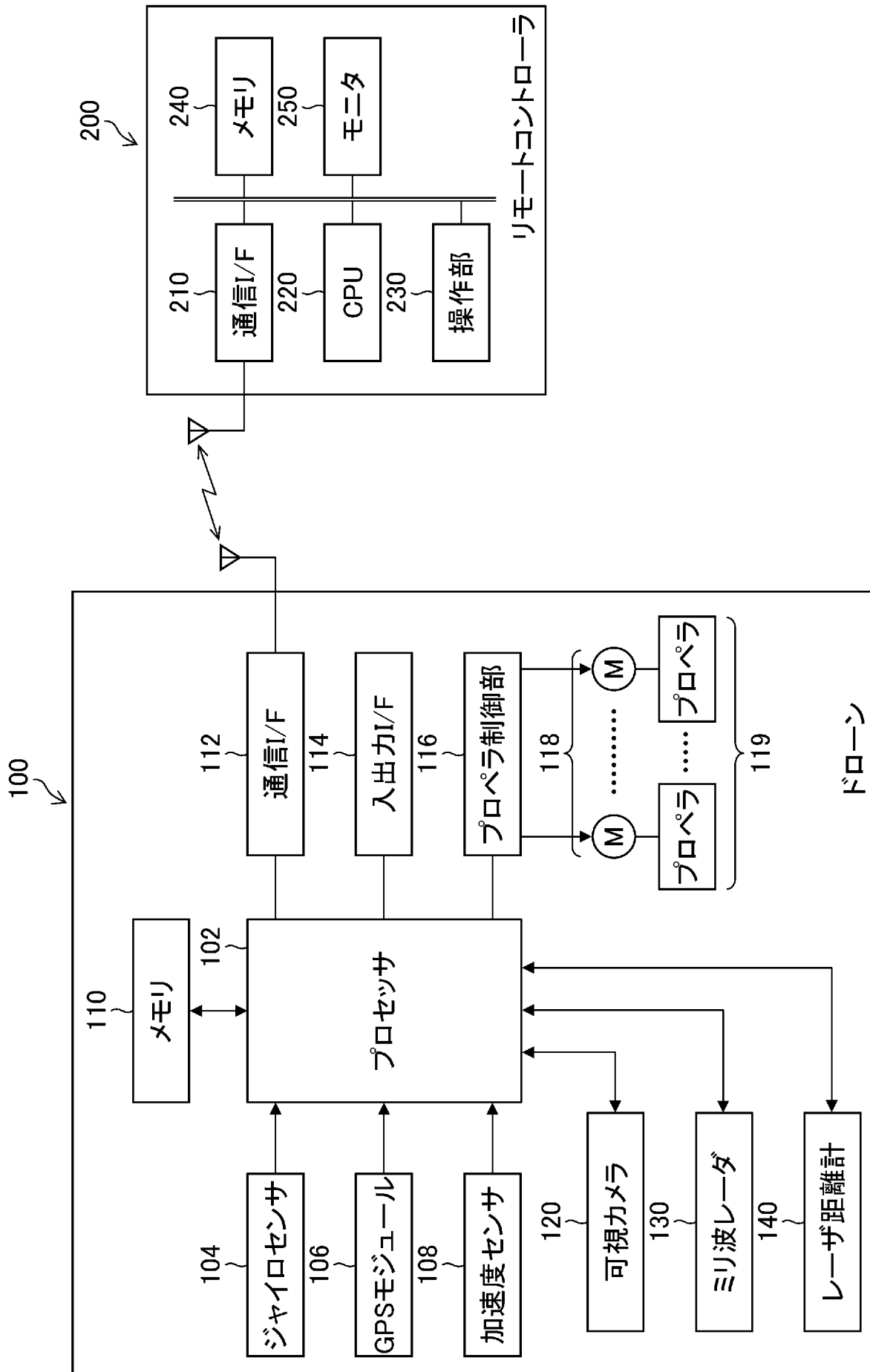
[図8]



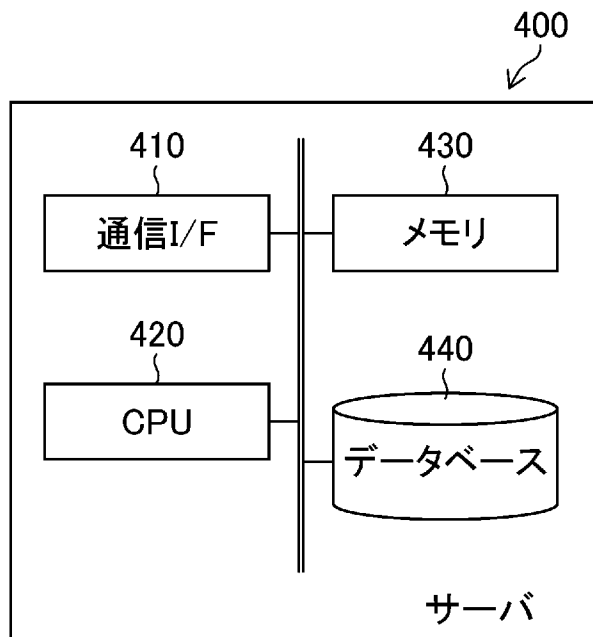
[図9]



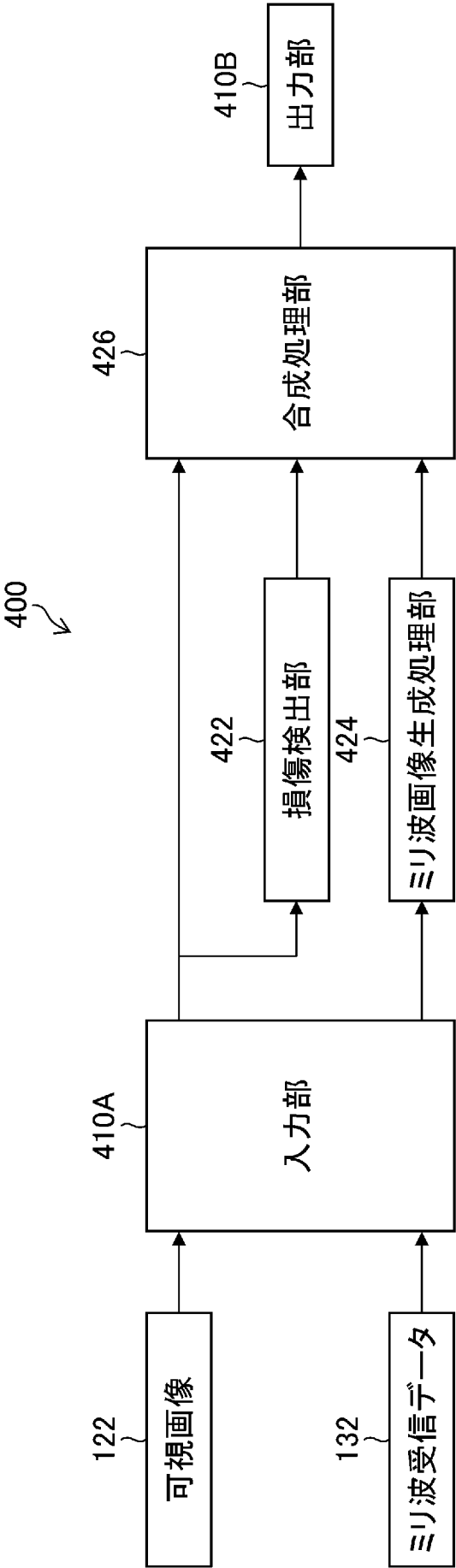
[図11]



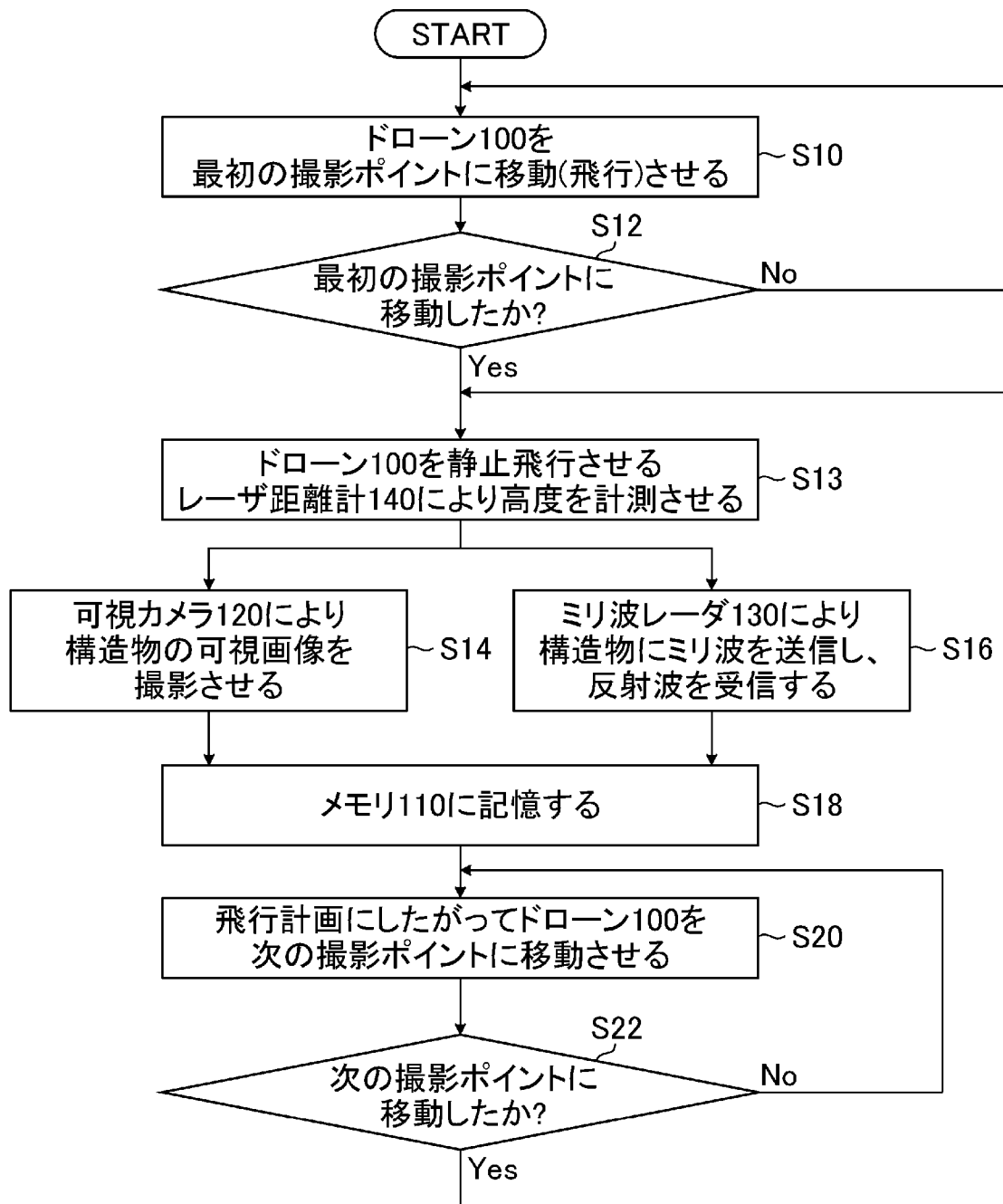
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/019701

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B64C39/02 (2006.01) i, B64D47/00 (2006.01) i, B64D47/08 (2006.01) i, G05D1/10 (2006.01) i, G01S13/89 (2006.01) i, G01S13/933 (2020.01) i, G01N22/00 (2006.01) i, G01N22/02 (2006.01) i

FI: G01N22/00S, G01S13/89, B64C39/02, B64D47/08, B64D47/00, G01S13/933, G05D1/10, G01N22/02A

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)

Int.Cl. G01N22/00-22/04, G01N21/84-21/958, G01S13/00-13/95, B64C27/00-27/82, G01M99/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2019-27908 A (TONTON INC.) 21 February 2019 (2019-02-21), paragraphs [0021], [0029], [0033], [0072], [0074], [0154], fig. 1, 2	1-3, 9-12
Y	JP 2007-121214 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 17 May 2007 (2007-05-17), paragraphs [0035], [0036]	1-3, 9-12
Y	JP 2019-130927 A (PRODRONE CO., LTD.) 08 August 2019 (2019-08-08), paragraphs [0057], [0062], claim 4	1-3, 9-12
Y	JP 2016-111414 A (KONICA MINOLTA, INC.) 20 June 2016 (2016-06-20), paragraphs [0011], [0012], [0017], fig. 1	3, 9-11



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

“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
05 August 2021

Date of mailing of the international search report
17 August 2021

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/019701

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-203123 A (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 04 September 2008 (2008-09-04), entire text, all drawings	4-8
A	JP 2020-504811 A (UNIV OF WASHINGTON) 13 February 2020 (2020-02-13), entire text, all drawings	1-12
A	US 2005/0110672 A1 (L-3 COMMUNICATIONS SECURITY AND DETECTION SYSTEMS, INC.) 26 May 2005 (2005-05-26), entire text, all drawings	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/019701

JP 2019-27908 A	21 February 2019	(Family: none)
JP 2007-121214 A	17 May 2007	(Family: none)
JP 2019-130927 A	08 August 2019	(Family: none)
JP 2016-111414 A	20 June 2016	(Family: none)
JP 2008-203123 A	04 September 2008	(Family: none)
JP 2020-504811 A	13 February 2020	WO 2018/147929 A2
US 2005/0110672 A1	26 May 2005	WO 2005/086620 A2

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B64C 39/02(2006.01)i; B64D 47/00(2006.01)i; B64D 47/08(2006.01)i; G05D 1/10(2006.01)i; G01S 13/89(2006.01)i; G01S 13/933(2020.01)i; G01N 22/00(2006.01)i; G01N 22/02(2006.01)i FI: G01N22/00 S; G01S13/89; B64C39/02; B64D47/08; B64D47/00; G01S13/933; G05D1/10; G01N22/02 A		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01N22/00-22/04; G01N21/84-21/958; G01S13/00-13/95; B64C27/00-27/82; G01M99/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2019-27908 A (株式会社T o n T o n) 21.02.2019 (2019-02-21) 段落 [0021], [0029], [0033], [0072], [0074], [0154]、図1-2	1-3, 9-12
Y	JP 2007-121214 A (日本電信電話株式会社) 17.05.2007 (2007-05-17) 段落 [0035] - [0036]	1-3, 9-12
Y	JP 2019-130927 A (株式会社プロドローン) 08.08.2019 (2019-08-08) 段落 [0057], [0062]、請求項4	1-3, 9-12
Y	JP 2016-111414 A (コニカミノルタ株式会社) 20.06.2016 (2016-06-20) 段落 [0011] - [0012], [0017]、図1	3, 9-11
A	JP 2008-203123 A (独立行政法人 宇宙航空研究開発機構) 04.09.2008 (2008-09-04) 全文、全図	4-8
A	JP 2020-504811 A (ユニバーシティ オブ ワシントン) 13.02.2020 (2020-02-13) 全文、全図	1-12
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 05.08.2021		国際調査報告の発送日 17.08.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 田中 洋介 2W 3009 電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2005/0110672 A1 (L-3 COMMUNICATIONS SECURITY AND DETECTION SYSTEMS, INC.) 26.05.2005 (2005 - 05 - 26) 全文、全図	1-12

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/019701

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2019-27908	A	21.02.2019	(ファミリーなし)			
JP	2007-121214	A	17.05.2007	(ファミリーなし)			
JP	2019-130927	A	08.08.2019	(ファミリーなし)			
JP	2016-111414	A	20.06.2016	(ファミリーなし)			
JP	2008-203123	A	04.09.2008	(ファミリーなし)			
JP	2020-504811	A	13.02.2020	WO	2018/147929	A2	
US	2005/0110672	A1	26.05.2005	WO	2005/086620	A2	