(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7134382号
(P7134382)

(45)発行日　令和4年9月9日(2022.9.9)

(24)登録日　令和4年9月1日(2022.9.1)

(51)国際特許分類
Ｇ０１Ｃ　15/00　(2006.01)

ＦＩ
Ｇ０１Ｃ　15/00　１０４Ｚ

請求項の数　1　（全35頁）

(21)出願番号　特願2022-536022(P2022-536022)
(86)(22)出願日　令和2年7月14日(2020.7.14)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/027399
(87)国際公開番号　WO2022/013948
(87)国際公開日　令和4年1月20日(2022.1.20)
審査請求日　令和4年6月17日(2022.6.17)
早期審査対象出願

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　110003166弁理士法人山王内外特許事務所
(72)発明者　遠藤 貴雄
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
(72)発明者　安藤 俊行
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
(72)発明者　高根澤 隆
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
三菱電機株式会社内
(72)発明者　福田 多伸
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　軌道算出システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
照明光源から放射されたのち、飛翔体によって反射された光を集光する第１の集光装置と、
前記第１の集光装置の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、前記飛翔体に対する光の前記第１の時刻及び前記第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、前記第１の集光装置から前記飛翔体を見た第１の角度として、前記第１の時刻及び前記第２の時刻におけるそれぞれの第１の角度を算出する第１の角度算出部と、
前記照明光源から放射されたのち、前記飛翔体によって反射された光を集光する第２の集光装置と、
前記第２の集光装置の前記第１の時刻及び前記第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、前記飛翔体に対する光の前記第１の時刻及び前記第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、前記第２の集光装置から前記飛翔体を見た第２の角度として、前記第１の時刻及び前記第２の時刻におけるそれぞれの第２の角度を算出する第２の角度算出部と、
前記第１の角度算出部により算出された第１の角度と、前記第２の角度算出部により算出された第２の角度と、前記第１の時刻及び前記第２の時刻における、前記第１の集光装置の位置及び前記第２の集光装置の位置とから、前記飛翔体の軌道を算出する軌道算出部と、を備え、
前記第１の集光装置、前記第１の角度算出部及び前記軌道算出部が、第１の光測角局に搭載され、

前記第２の集光装置及び前記第２の角度算出部が、第２の光測角局に搭載され、
前記第１の光測角局は、位置が固定されている固定局であり、
前記第２の光測角局は、位置が変化する可搬局であり、
前記第２の光測角局が、前記飛翔体の軌道と高度が異なる軌道に配置されている、
軌道算出システム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、飛翔体の軌道を算出する軌道算出装置、軌道算出方法及び軌道算出システムに関するものである。

【背景技術】
【０００２】
飛翔体の軌道を算出する軌道算出システムの中には、電磁波を飛翔体に向けて送信する一方、飛翔体によって反射された電磁波を受信する送受信アンテナと、送受信アンテナにより送受信された電磁波に基づいて、飛翔体の軌道を算出する信号処理部とを備える軌道算出システム（以下「従来の軌道算出システム」という）がある。
従来の軌道算出システムでは、送受信アンテナと飛翔体との間を電磁波が往復するため、電磁波の伝搬距離は、送受信アンテナと飛翔体との間の距離の２倍である。
【０００３】
ところで、飛翔体である宇宙機から送信された電磁波を受信する複数の受信装置を備え、複数の受信装置により受信された複数の電磁波の位相差の時間変化率に用いて、宇宙機の軌道を算出する軌道演算装置がある（例えば、特許文献１を参照）。当該軌道演算装置では、飛翔体が電磁波を送信するようにしているため、当該軌道演算装置における電磁波の伝搬距離は、従来の軌道算出システムにおける電磁波の伝搬距離の半分である。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】特開２００７－２５６００４号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
従来の軌道算出システムでは、送受信アンテナにより送受信される電磁波のパワーが、電磁波の伝搬距離の２乗に反比例して弱くなる。このため、従来の軌道算出システムでは、送受信アンテナと飛翔体との間の距離によっては、飛翔体の軌道を算出できないことがあるという課題があった。
特許文献１に開示されている軌道演算装置における電磁波の伝搬距離は、従来の軌道算出システムにおける電磁波の伝搬距離よりも短い。このため、従来の軌道算出システムでは軌道を算出できない遠方の飛翔体についても、特許文献１に開示されている軌道演算装置では、軌道を算出できることがある。しかし、当該軌道演算装置では、飛翔体が、電磁波を送信する送信機を備えていなければ、電磁波を送信できないため、送信機を備えていない飛翔体については、軌道を算出することができない。したがって、当該軌道演算装置を従来の軌道算出システムに適用すると、送信機を備えていない飛翔体の軌道を算出できなくなる。つまり、送信機を備えていない飛翔体についても軌道を算出する必要がある軌道算出システムには、当該軌道演算装置を適用することができない。
【０００６】
本開示は、上記のような課題を解決するためになされたもので、従来の軌道算出システムでは軌道を算出できない遠方の飛翔体の軌道を算出できることがある軌道算出装置、軌道算出方法及び軌道算出システムを得ることを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００７】

本開示技術に係る軌道算出システムは、照明光源から放射されたのち、飛翔体によって反射された光を集光する第１の集光装置と、第１の集光装置の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体に対する光の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、第１の集光装置から飛翔体を見た第１の角度として、第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの第１の角度を算出する第１の角度算出部と、照明光源から放射されたのち、飛翔体によって反射された光を集光する第２の集光装置と、第２の集光装置の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体に対する光の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、第２の集光装置から飛翔体を見た第２の角度として、第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの第２の角度を算出する第２の角度算出部と、第１の角度算出部により算出された第１の角度と、第２の角度算出部により算出された第２の角度と、第１の時刻及び第２の時刻における、第１の集光装置の位置及び第２の集光装置の位置とから、飛翔体の軌道を算出する軌道算出部と、を備え、第１の集光装置、第１の角度算出部及び軌道算出部が、第１の光測角局に搭載され、第２の集光装置及び第２の角度算出部が、第２の光測角局に搭載され、第１の光測角局は、位置が固定されている固定局であり、第２の光測角局は、位置が変化する可搬局であり、第２の光測角局が、飛翔体の軌道と高度が異なる軌道に配置されている。

【発明の効果】

【０００８】

本開示によれば、従来の軌道算出システムでは軌道を算出できない遠方の飛翔体の軌道を算出できることがある。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】実施の形態１に係る軌道算出システムにおける照明光源１、飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。

【図２】実施の形態１に係る軌道算出システムを示す構成図である。

【図３】実施の形態１に係る軌道算出装置１３のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

【図４】軌道算出装置１３が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

【図５】実施の形態１に係る軌道算出システムを示す具体的な構成図である。

【図６】図２に示す軌道算出装置１３の処理手順である軌道算出方法を示すフローチャートである。

【図７】第１の光測角局３の角度計算部５３による距離の算出精度を示す説明図である。

【図８】３つの観測時刻t_0，t_1，t_2におけるそれぞれの角度の算出精度及びそれぞれの距離の算出精度を示す説明図である。

【図９】地上に設置されている測角局が電波を放射し、測角局が飛翔体２によって反射された電波を受信することによって、測角局から飛翔体２までの距離を算出する場合の測定精度を示す説明図である。

【図１０】２つの観測時刻t_1，t_2におけるそれぞれの角度の算出精度及びそれぞれの距離の算出精度を示す説明図である。

【図１１】実施の形態１に係る軌道算出システムにおける角度の算出精度及び距離の算出精度を示す説明図である。

【図１２】実施の形態１に係る軌道算出システムにおける軌道の算出精度を示す説明図である。

【図１３】実施の形態２に係る軌道算出システムにおける照明光源１、飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。

【図１４】実施の形態２に係る軌道算出システムにおける角度の算出精度及び距離の算出精度を示す説明図である。

【図１５】実施の形態３に係る軌道算出システムにおける飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。

【図１６】実施の形態３に係る軌道算出システムを示す具体的な構成図である。
【図１７】実施の形態４に係る軌道算出システムにおける飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。
【発明を実施するための形態】
【００１０】
以下、本開示をより詳細に説明するために、本開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。
【００１１】
実施の形態１．
図１は、実施の形態１に係る軌道算出システムにおける照明光源１、飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。
照明光源１は、光を放射する太陽等の恒星である。ただし、照明光源１は、光を放射する光源であればよく、恒星に限るものではない。
飛翔体２は、地球を周回する移動体であり、照明光源１から放射された光を反射させる。
【００１２】
第１の光測角局３は、地球の地上に固定されている固定局である。図１に示す軌道算出システムでは、第１の光測角局３が、固定局である。しかし、これは一例に過ぎず、第１の光測角局３が、位置が変化する可搬局であってもよい。
第１の光測角局３は、少なくとも、図２に示す第１の集光装置１１、第１の角度算出部２１及び軌道算出部２３を搭載している。第１の光測角局３が搭載している具体的な構成要素は、図５に示している。
第２の光測角局４は、固定局、又は、可搬局である。
第２の光測角局４は、少なくとも、図２に示す第２の集光装置１２及び第２の角度算出部２２を搭載している。第２の光測角局４が搭載している具体的な構成要素は、図５に示している。
基準信号源５は、第１の光測角局３と第２の光測角局４とが時刻の同期に用いる基準信号を第１の光測角局３及び第２の光測角局４のそれぞれに送信する。
【００１３】
図２は、実施の形態１に係る軌道算出システムを示す構成図である。
図２に示す軌道算出システムは、第１の集光装置１１、第２の集光装置１２及び軌道算出装置１３を備えている。
図３は、実施の形態１に係る軌道算出装置１３のハードウェアを示すハードウェア構成図である。
第１の集光装置１１は、例えば、光の屈折を利用する屈折型の望遠鏡及び光の反射を利用する反射型の望遠鏡のうち、１つ以上の望遠鏡によって実現される。
第１の集光装置１１は、照明光源１から放射されたのち、飛翔体２によって反射された光を集光する。
第２の集光装置１２は、例えば、屈折型の望遠鏡及び反射型の望遠鏡のうち、１つ以上の望遠鏡によって実現される。
第２の集光装置１２は、照明光源１から放射されたのち、飛翔体２によって反射された光を集光する。
【００１４】
軌道算出装置１３は、第１の角度算出部２１、第２の角度算出部２２及び軌道算出部２３を備えている。
第１の角度算出部２１は、例えば、図３に示す第１の角度算出回路３１によって実現される。
第１の角度算出部２１は、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1及び前記第２の時刻t_2におけるそれぞれの反射位置とから、第１の集光装置１１から飛翔体２を見た角度である第１の角度を算出する。第１の角度は、第１の集光装置１１から飛翔体２を見たアジ

マス角Az_Aと、第１の集光装置１１から飛翔体２を見たエレベーション角Elv_Aとを含んでいる。なお、第１の時刻t_1におけるアジマス角は、Az_{A1}、第２の時刻t_2におけるアジマス角は、Az_{A2}、第１の時刻t_1におけるエレベーション角は、Elv_{A1}、第２の時刻t_2におけるエレベーション角は、Elv_{A2}である。

第１の角度算出部２１は、算出した第１の角度として、アジマス角Az_{A1}、Az_{A2}及びエレベーション角Elv_{A1}、Elv_{A2}のそれぞれを軌道算出部２３に出力する。

【００１５】

第２の角度算出部２２は、例えば、図３に示す第２の角度算出回路３２によって実現される。

第２の角度算出部２２は、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1及び前記第２の時刻t_2におけるそれぞれの反射位置とから、第２の集光装置１２から飛翔体２を見た角度である第２の角度を算出する。第２の角度は、第２の集光装置１２から飛翔体２を見たアジマス角Az_Bと、第２の集光装置１２から飛翔体２を見たエレベーション角Elv_Bとを含んでいる。なお、第１の時刻t_1におけるアジマス角は、Az_{B1}、第２の時刻t_2におけるアジマス角は、Az_{B2}、第１の時刻t_1におけるエレベーション角は、Elv_{B1}、第２の時刻t_2におけるエレベーション角は、Elv_{B2}である。

第２の角度算出部２２は、算出した第２の角度として、アジマス角Az_{B1}、Az_{B2}及びエレベーション角Elv_{B1}、Elv_{B2}のそれぞれを軌道算出部２３に出力する。

【００１６】

軌道算出部２３は、例えば、図３に示す軌道算出回路３３によって実現される。

軌道算出部２３は、第１の角度算出部２１により算出された、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第２の角度算出部２２により算出された、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度とを取得する。

軌道算出部２３は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とから、飛翔体２の軌道を算出する。

【００１７】

図２では、軌道算出装置１３の構成要素である第１の角度算出部２１、第２の角度算出部２２及び軌道算出部２３のそれぞれが、図３に示すような専用のハードウェアによって実現されるものを想定している。即ち、軌道算出装置１３が、第１の角度算出回路３１、第２の角度算出回路３２及び軌道算出回路３３によって実現されるものを想定している。

第１の角度算出回路３１、第２の角度算出回路３２及び軌道算出回路３３のそれぞれは、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ＡＳＩＣ（Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ Ｓｐｅｃｉｆｉｃ Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｃｉｒｃｕｉｔ）、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ－Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ）、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

【００１８】

軌道算出装置１３の構成要素は、専用のハードウェアによって実現されるものに限るものではなく、軌道算出装置１３が、ソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現されるものであってもよい。

ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、あるいは、ＤＳＰ（Ｄｉｇｉｔａｌ Ｓｉｇｎａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）が該当する。

【００１９】

図４は、軌道算出装置１３が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される

場合のコンピュータのハードウェア構成図である。
軌道算出装置１３が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合、第１の角度算出部２１、第２の角度算出部２２及び軌道算出部２３におけるそれぞれの処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムがメモリ４１に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ４２がメモリ４１に格納されているプログラムを実行する。
また、図３では、軌道算出装置１３の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアによって実現される例を示し、図４では、軌道算出装置１３がソフトウェア又はファームウェア等によって実現される例を示している。しかし、これは一例に過ぎず、軌道算出装置１３における一部の構成要素が専用のハードウェアによって実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェア等によって実現されるものであってもよい。

【００２０】
図５は、実施の形態１に係る軌道算出システムを示す具体的な構成図である。
図５に示す軌道算出システムでは、第１の光測角局３が、第１の集光装置１１、遮光装置５１、位置検出部５２、角度計算部５３、時刻校正部５４、カウンター５５、制御装置５６、指向装置５７、通信部５８、記録装置５９及び軌道計算部６０を備えている。
図５に示す軌道算出システムでは、第２の光測角局４が、第２の集光装置１２、遮光装置７１、位置検出部７２、角度計算部７３、時刻校正部７４、カウンター７５、制御装置７６、指向装置７７及び通信部７８を備えている。

【００２１】
遮光装置５１は、例えば、機械的なシャッター、又は、電子的なシャッターによって実現される。
遮光装置５１は、第１の集光装置１１と位置検出部５２との間の光路に配置されている。
遮光装置５１は、制御装置５６によって制御される露光時間に合わせて、シャッターの開閉が制御される。遮光装置５１は、シャッターの開閉が制御されることによって、第１の集光装置１１により集光された光の遮断と光の透過とを交互に行う。

【００２２】
図５に示す第１の角度算出部２１は、図２に示す第１の角度算出部２１と同じ角度算出部である。
図５に示す第１の角度算出部２１は、位置検出部５２及び角度計算部５３を備えている。
位置検出部５２は、例えば、ＣＣＤ（Ｃｈａｒｇｅ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｄｅｖｉｃｅ）イメージセンサ、又は、ＣＭＯＳ（Ｃｏｍｐｌｅｍｅｎｔａｒｙ Ｍｅｔａｌ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）イメージセンサによって実現される。
位置検出部５２は、第１の時刻$ｔ_1$及び第２の時刻$ｔ_2$のときに、制御装置５６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置５１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。
即ち、位置検出部５２は、第１の時刻$ｔ_1$のときに遮光装置５１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像し、第２の時刻$ｔ_2$のときに遮光装置５１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。
位置検出部５２は、第１の時刻$ｔ_1$における光強度画像及び第２の時刻$ｔ_2$における光強度画像のそれぞれを角度計算部５３に出力する。
図５に示す軌道算出システムでは、位置検出部５２が、第１の角度算出部２１の内部に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、位置検出部５２が、第１の角度算出部２１の外部に設けられていてもよい。

【００２３】
図５に示す軌道算出システムでは、位置検出部５２が、ＣＣＤイメージセンサ、又は、ＣＭＯＳイメージセンサによって実現されている。しかし、これは一例に過ぎず、位置検出部５２が、単に光の有無を検出するセンサであって、飛翔体２が視野内に入ると、光を検出するセンサによって実現されているものであってもよい。ただし、単に光の有無を検出するセンサの視野は、ＣＣＤイメージセンサの視野よりも狭い。このため、位置検出部

５２が、単に光の有無を検出するセンサによって実現される場合、ＣＣＤイメージセンサによって実現される場合よりも、第１の集光装置１１の指向方向が、きめ細かく制御される必要がある。

なお、位置検出部５２が、ＣＣＤイメージセンサ、又は、ＣＭＯＳイメージセンサによって実現されている場合、第１の集光装置１１の指向方向が、光強度画像の中心位置からずれていても、飛翔体２が光強度画像内に入っていれば、飛翔体２を検出することができる。このため、位置検出部５２が、ＣＣＤイメージセンサ、又は、ＣＭＯＳイメージセンサによって実現されている場合、単に光の有無を検出するセンサによって実現される場合よりも、第１の集光装置１１の指向方向の制御が容易になる。また、位置検出部５２が、ＣＣＤイメージセンサ、又は、ＣＭＯＳイメージセンサによって実現されている場合、飛翔体２の移動方向が、視野の上下方向であるのか、視野の左右方向であるのか等を把握することができる。また、恒星又は他の飛翔体からの漏れ込み光の有無等も把握することができる。

【００２４】

角度計算部５３は、制御装置５６から、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を取得し、位置検出部５２から、第１の時刻t_1における光強度画像を取得する。

角度計算部５３は、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1の反射位置として、第１の時刻t_1における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部５３は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向と、第１の時刻t_1の反射位置とから、第１の時刻t_1における第１の角度を算出する。

また、角度計算部５３は、制御装置５６から、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を取得し、位置検出部５２から、第２の時刻t_2における光強度画像を取得する。

角度計算部５３は、飛翔体２に対する光の第２の時刻t_2の反射位置として、第２の時刻t_2における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部５３は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向と、第２の時刻t_2の反射位置とから、第２の時刻t_2における第１の角度を算出する。

【００２５】

時刻校正部５４は、例えば、ＧＰＳ（Ｇｌｏｂａｌ Ｐｏｓｉｔｉｏｎｉｎｇ Ｓｙｓｔｅｍ）受信機、受信アンテナ及び時計を備えている。

時刻校正部５４の受信アンテナは、基準信号源５から送信された基準信号を受信する。

時刻校正部５４のＧＰＳ受信機は、受信アンテナが基準信号を受信すると、ＧＰＳ衛星から送信されたＧＰＳ信号を繰り返し受信する。

時刻校正部５４は、ＧＰＳ受信機によって受信されたＧＰＳ信号から、第１の集光装置１１の位置及び現在の時刻を取得する。ＧＰＳ信号に含まれている位置情報は、時刻校正部５４を搭載している第１の光測角局３の位置を示している。第１の集光装置１１は、第１の光測角局３に搭載されているものであるため、時刻校正部５４は、第１の光測角局３の位置を、第１の集光装置１１の位置として取得している。

時刻校正部５４は、取得した現在の時刻を用いて、内部時計の時刻を校正し、校正後の時刻をカウンター５５に出力する。

図５に示す軌道算出システムでは、時刻校正部５４が、内部時計の時刻を校正し、校正後の時刻をカウンター５５に出力している。しかし、これは一例に過ぎず、時刻校正部５４が、校正後の時刻として、ＧＰＳ信号から取得した現在の時刻をカウンター５５に出力するようにしてもよい。

図５に示す軌道算出システムでは、時刻校正部５４が、ＧＰＳ受信機によって受信された電波から現在の時刻を取得している。しかし、これは一例に過ぎず、時刻校正部５４が、電波時計等に代表される標準電波から現在の時刻を取得するようにしてもよいし、ＮＴＰ（Ｎｅｔｗｏｒｋ Ｔｉｍｅ Ｐｒｏｔｏｃｏｌ）に代表されるネットワーク機器の時刻同期のためのプロトコルを利用して、現在の時刻を取得するようにしてもよい。

例えば、太陽は、日周運動によって、一秒間で１５秒角（＝１５／３６００度）ほど動

くため、位置の決定に秒角の精度が必要な場合、時刻校正部５４は、内部時計の時刻をサブ秒の精度で校正する。
時刻校正部５４は、第１の集光装置１１の位置を制御装置５６に出力する。
また、時刻校正部５４は、制御装置５６から、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置とを取得し、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置とを記録装置５９に出力する。
【００２６】
カウンター５５は、時刻校正部５４による校正後の時刻を取得し、ある代表的な時刻からの経過時間を計測する。ある代表的な時刻としては、例えば、飛翔体２の軌道の算出開始時刻である。
カウンター５５は、計測した経過時間を制御装置５６に出力する。
【００２７】
制御装置５６は、例えば、ＣＰＵを実装している半導体集積回路、あるいは、ＦＰＧＡのようなプログラム基板によって実現される。
制御装置５６は、カウンター５５から出力された経過時間に従って、飛翔体２の観測時刻として、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のそれぞれを把握する。
また、制御装置５６は、軌道データベース８０から、通信部５８を介して、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、過去の軌道情報から、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とを把握する。
【００２８】
制御装置５６は、時刻校正部５４から出力された第１の集光装置１１の位置のうち、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置とを特定する。
制御装置５６は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置とから、第１の集光装置１１に対する飛翔体２の第１の時刻t_1における相対位置を算出する。
また、制御装置５６は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とから、第１の集光装置１１に対する飛翔体２の第２の時刻t_2における相対位置を算出する。
【００２９】
制御装置５６は、第１の時刻t_1における相対位置から、第１の時刻t_1のときに第１の集光装置１１が飛翔体２を見る方向、即ち、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を把握する。
また、制御装置５６は、第２の時刻t_2における相対位置から、第２の時刻t_2のときに第１の集光装置１１が飛翔体２を見る方向、即ち、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を把握する。
【００３０】
制御装置５６は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７及び角度計算部５３のそれぞれに出力し、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７及び角度計算部５３のそれぞれに出力する。
制御装置５６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように、遮光装置５１を制御する。
制御装置５６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、撮像指令を位置検出部５２に出力する。
【００３１】
指向装置５７は、一軸以上の回転軸を有する回転ステージ及びモータによって実現される。一軸以上の回転軸を有する回転ステージとしては、経緯台、又は、赤道儀等が考えられる。
指向装置５７の回転ステージには、第１の集光装置１１が実装されている。

指向装置５７は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向が、制御装置５６が出力された第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
指向装置５７は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向が、制御装置５６が出力された第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
【００３２】
通信部５８は、軌道データベース８０から、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、軌道情報を制御装置５６に出力する。
通信部５８は、第２の光測角局４の通信部７８から送信された、第１の時刻t_1における第２の角度及び第２の時刻t_2における第２の角度のそれぞれを受信する。
通信部５８は、第２の光測角局４の通信部７８から送信された、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を受信する。
通信部５８は、第１の時刻t_1における第２の角度及び第２の時刻t_2における第２の角度のそれぞれを記録装置５９に記録させ、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を記録装置５９に記録させる。
【００３３】
図５に示す軌道算出部２３は、図２に示す軌道算出部２３と同じ軌道算出部である。
図５に示す軌道算出部２３は、記録装置５９及び軌道計算部６０を備えている。
記録装置５９は、ＲＡＭ（Ｒａｎｄｏｍ　Ａｃｃｅｓｓ　Ｍｅｍｏｒｙ）、又は、ハードディスク等の記録媒体によって実現される。
記録装置５９は、第１の時刻t_1における第１の角度及び第２の時刻t_2における第１の角度のそれぞれを記録し、第１の時刻t_1における第２の角度及び第２の時刻t_2における第２の角度のそれぞれを記録する。
記録装置５９は、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とを記録する。
【００３４】
軌道計算部６０は、記録装置５９から、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度とを取得する。
また、軌道計算部６０は、記録装置５９から、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とを取得する。
軌道計算部６０は、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とから、第１の時刻t_1のときの、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２との距離である装置間距離と、第２の時刻t_2のときの装置間距離とを算出する。
軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの装置間距離と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とから、第１の集光装置１１から飛翔体２までの第１の距離を算出する。即ち、軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の距離を算出する。
軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの装置間距離と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置とから、第２の集光装置１２から飛翔体２までの第２の距離を算出する。即ち、軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の距離を算出する。

軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の距離と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の距離とから、飛翔体２の位置及び速度のそれぞれを算出する。即ち、軌道計算部６０は、飛翔体２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を算出する。あるいは、軌道計算部６０は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の距離と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の距離とから、飛翔体２の第１の時刻t_1の位置と速度とを算出する。なお、速度は、時刻t_1から時刻t_2の時間における飛翔体２の位置の差分として求められる。

軌道計算部６０は、飛翔体２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置、あるいは、飛翔体２の第１の時刻t_1の位置と、速度とから、飛翔体２の軌道を算出する。

図５に示す軌道算出システムでは、記録装置５９が、軌道算出部２３の内部に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、記録装置５９が、軌道算出部２３の外部に設けられていてもよい。

【００３５】

遮光装置７１は、例えば、機械的なシャッター、又は、電子的なシャッターによって実現される。

遮光装置７１は、第２の集光装置１２と位置検出部７２との間の光路に配置されている。

遮光装置７１は、制御装置７６によって制御される露光時間に合わせて、シャッターの開閉が制御される。遮光装置７１は、シャッターの開閉が制御されることによって、第２の集光装置１２により集光された光の遮断と光の透過とを交互に行う。

【００３６】

図５に示す第２の角度算出部２２は、図２に示す第２の角度算出部２２と同じ角度算出部である。

図５に示す第２の角度算出部２２は、位置検出部７２及び角度計算部７３を備えている。

位置検出部７２は、例えば、ＣＣＤイメージセンサ、又は、ＣＭＯＳイメージセンサによって実現される。

位置検出部７２は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、制御装置７６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置７１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。

即ち、位置検出部７２は、第１の時刻t_1のときに遮光装置７１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像し、第２の時刻t_2のときに遮光装置７１を透過してきた光を検出することによって、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。

位置検出部７２は、第１の時刻t_1における光強度画像及び第２の時刻t_2における光強度画像のそれぞれを角度計算部７３に出力する。

【００３７】

角度計算部７３は、制御装置７６から、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向を取得し、位置検出部７２から、第１の時刻t_1における光強度画像を取得する。

角度計算部７３は、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1の反射位置として、第１の時刻t_1における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部７３は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向と、第１の時刻t_1の反射位置とから、第１の時刻t_1における第２の角度を算出する。

また、角度計算部７３は、制御装置７６から、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向を取得し、位置検出部７２から、第２の時刻t_2における光強度画像を取得する。

角度計算部７３は、飛翔体２に対する光の第２の時刻t_2の反射位置として、第２の時

刻t_2における光強度画像内での光の位置を検出する。
角度計算部７３は、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向と、第２の時刻t_2の反射位置とから、第２の時刻t_2における第２の角度を算出する。
角度計算部７３は、第１の時刻t_1における第２の角度及び第２の時刻t_2における第２の角度のそれぞれを通信部７８に出力する。
図５に示す軌道算出システムでは、位置検出部７２が、第２の角度算出部２２の内部に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、位置検出部７２が、第２の角度算出部２２の外部に設けられていてもよい。
【００３８】
時刻校正部７４は、例えば、ＧＰＳ受信機、受信アンテナ及び時計を備えている。
時刻校正部７４の受信アンテナは、基準信号源５から送信された基準信号を受信する。
時刻校正部７４のＧＰＳ受信機は、受信アンテナが基準信号を受信すると、ＧＰＳ衛星から送信されたＧＰＳ信号を繰り返し受信する。
時刻校正部７４は、ＧＰＳ受信機によって受信されたＧＰＳ信号から、第２の集光装置１２の位置及び現在の時刻を取得する。ＧＰＳ信号に含まれている位置情報は、時刻校正部７４を搭載している第２の光測角局４の位置を示している。第２の集光装置１２は、第２の光測角局４に搭載されているものであるため、時刻校正部７４は、第２の光測角局４の位置を、第２の集光装置１２の位置として取得している。
時刻校正部７４は、取得した現在の時刻を用いて、内部時計の時刻を校正する。
図５に示す軌道算出システムでは、時刻校正部７４が、内部時計の時刻を校正し、校正後の時刻をカウンター７５に出力している。しかし、これは一例に過ぎず、時刻校正部７４が、校正後の時刻として、ＧＰＳ信号から取得した現在の時刻をカウンター７５に出力するようにしてもよい。
図５に示す軌道算出システムでは、時刻校正部７４が、ＧＰＳ受信機によって受信された電波から現在の時刻を取得している。しかし、これは一例に過ぎず、時刻校正部７４が、電波時計等に代表される標準電波から現在の時刻を取得するようにしてもよいし、ＮＴＰに代表されるネットワーク機器の時刻同期のためのプロトコルを利用して、現在の時刻を取得するようにしてもよい。
例えば、太陽は、日周運動によって、一秒間で１５秒角ほど動くため、位置の決定に秒角の精度が必要な場合、時刻校正部７４は、内部時計の時刻をサブ秒の精度で校正する。
時刻校正部７４は、第２の集光装置１２の位置を制御装置７６に出力する。
また、時刻校正部７４は、制御装置７６から、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを取得し、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを通信部７８に出力する。
【００３９】
カウンター７５は、時刻校正部７４による校正後の時刻を取得し、ある代表的な時刻からの経過時間を計測する。
カウンター７５は、計測した経過時間を制御装置７６に出力する。
【００４０】
制御装置７６は、例えば、ＣＰＵを実装している半導体集積回路、あるいは、ＦＰＧＡのようなプログラム基板によって実現される。
制御装置７６は、カウンター７５から出力された経過時間に従って、飛翔体２の観測時刻として、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のそれぞれを把握する。
また、制御装置７６は、軌道データベース８０から、通信部７８を介して、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、過去の軌道情報から、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とを把握する。
【００４１】
制御装置７６は、時刻校正部７４から出力された第２の集光装置１２の位置のうち、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光

装置１２の位置とを特定する。
制御装置７６は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置とから、第２の集光装置１２に対する飛翔体２の第１の時刻t_1における相対位置を算出する。
また、制御装置７６は、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とから、第２の集光装置１２に対する飛翔体２の第２の時刻t_2における相対位置を算出する。
【００４２】
制御装置７６は、第１の時刻t_1における相対位置から、第１の時刻t_1のときに第２の集光装置１２が飛翔体２を見る方向、即ち、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向を把握する。
また、制御装置７６は、第２の時刻t_2における相対位置から、第２の時刻t_2のときに第２の集光装置１２が飛翔体２を見る方向、即ち、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向を把握する。
【００４３】
制御装置７６は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７及び角度計算部７３のそれぞれに出力し、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７及び角度計算部７３のそれぞれに出力する。
制御装置７６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように、遮光装置７１を制御する。
制御装置７６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、撮像指令を位置検出部７２に出力する。
【００４４】
指向装置７７は、一軸以上の回転軸を有する回転ステージ及びモータによって実現される。
指向装置７７の回転ステージには、第２の集光装置１２が実装されている。
指向装置７７は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向が、制御装置７６が出力された第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
指向装置７７は、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向が、制御装置７６が出力された第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
【００４５】
通信部７８は、軌道データベース８０から、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、軌道情報を制御装置７６に出力する。
通信部７８は、角度計算部７３から出力された、第１の時刻t_1における第２の角度及び第２の時刻t_2における第２の角度のそれぞれを通信部５８に送信する。
通信部７８は、時刻校正部７４から出力された、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を通信部５８に送信する。
【００４６】
軌道データベース８０は、例えば、ＲＡＭ、又は、ハードディスク等の記録媒体によって実現される。
軌道データベース８０は、飛翔体２における過去の軌道情報を記憶している。
図５に示す軌道算出システムでは、軌道データベース８０が、軌道算出システムの外部に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、軌道データベース８０が、軌道算出システムの内部に設けられていてもよい。
また、軌道データベース８０が、図示せぬネットワークと接続されており、軌道データベース８０が、当該ネットワークを介して、軌道算出システムと接続されていてもよい。
【００４７】
次に、図５に示す軌道算出システムの動作について説明する。

図６は、図２に示す軌道算出装置１３の処理手順である軌道算出方法を示すフローチャートである。
まず、基準信号源５は、第１の光測角局３と第２の光測角局４とが時刻の同期に用いる基準信号を第１の光測角局３及び第２の光測角局４のそれぞれに送信する。
第１の光測角局３における時刻校正部５４の受信アンテナは、基準信号源５から送信された基準信号を受信する。
時刻校正部５４のＧＰＳ受信機は、受信アンテナが基準信号を受信すると、ＧＰＳ衛星から送信されたＧＰＳ信号を繰り返し受信する。
時刻校正部５４は、ＧＰＳ受信機によって受信されたＧＰＳ信号から、第１の集光装置１１の位置及び現在の時刻を取得する。
時刻校正部５４は、取得した現在の時刻を用いて、内部時計の時刻を校正する。
時刻校正部５４は、第１の集光装置１１の位置を制御装置５６に出力する。
【００４８】
時刻校正部７４のＧＰＳ受信機は、受信アンテナが基準信号を受信すると、ＧＰＳ衛星から送信されたＧＰＳ信号を繰り返し受信する。
時刻校正部７４は、ＧＰＳ受信機によって受信されたＧＰＳ信号から、第２の集光装置１２の位置及び現在の時刻を取得する。
時刻校正部７４は、取得した現在の時刻を用いて、内部時計の時刻を校正する。
時刻校正部７４は、第２の集光装置１２の位置を制御装置７６に出力する。
第１の光測角局３の時刻校正部５４が内部時計の時刻を校正し、第２の光測角局４の時刻校正部７４が内部時計の時刻を校正することによって、第１の光測角局３と第２の光測角局４とにおける時刻の同期が図られる。
時刻同期の精度は、遮光装置５１，７１におけるシャッターの開閉時間の精度で制限される。シャッターの開閉時間は、ミリ秒程度であるため、マイクロ秒程度の精度で時刻同期が行われればよい。なお、時刻校正部５４，７４の内部時計が用いる時刻としては、例えば、協定世界時（ｃｏｏｒｄｉｎａｔｅｄ　ｕｎｉｖｅｒｓａｌ　ｔｉｍｅ）である。
【００４９】
第１の光測角局３のカウンター５５は、時刻校正部５４による校正後の時刻を取得し、ある代表的な時刻からの経過時間ｔを計測する。ある代表的な時刻としては、例えば、飛翔体２の軌道の算出開始時刻である。
カウンター５５は、計測した経過時間ｔを制御装置５６に出力する。
第２の光測角局４のカウンター７５は、時刻校正部７４による校正後の時刻を取得し、ある代表的な時刻からの経過時間ｔを計測する。
カウンター７５は、計測した経過時間ｔを制御装置７６に出力する。
第１の光測角局３の通信部５８は、軌道データベース８０から、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、軌道情報を制御装置５６に出力する。
第２の光測角局４の通信部７８は、軌道データベース８０から、飛翔体２における過去の軌道情報を取得し、軌道情報を制御装置７６に出力する。
【００５０】
第１の光測角局３の制御装置５６は、カウンター５５から出力された経過時間ｔを取得する。
制御装置５６は、経過時間ｔに従って、飛翔体２の観測時刻として、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のそれぞれを把握する。
また、制御装置５６は、通信部５８から出力された軌道情報を取得し、軌道情報から、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とを把握する。
【００５１】
制御装置５６は、時刻校正部５４から出力された第１の集光装置１１の位置のうち、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置とを特定する。

制御装置５６は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第１の時刻t_1における飛翔体２のおおよその位置とから、第１の集光装置１１に対する飛翔体２の第１の時刻t_1における相対位置を算出する。第１の集光装置１１に対する飛翔体２の相対位置の算出処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

また、制御装置５６は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における飛翔体２のおおよその位置とから、第１の集光装置１１に対する飛翔体２の第２の時刻t_2における相対位置を算出する。

【００５２】

制御装置５６は、第１の時刻t_1における相対位置から、第１の時刻t_1のときに第１の集光装置１１が飛翔体２を見る方向、即ち、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を把握する。

また、制御装置５６は、第２の時刻t_2における相対位置から、第２の時刻t_2のときに第１の集光装置１１が飛翔体２を見る方向、即ち、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を把握する。

【００５３】

制御装置５６は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７及び角度計算部５３のそれぞれに出力し、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７及び角度計算部５３のそれぞれに出力する。

制御装置５６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように、遮光装置５１を制御する。

制御装置５６は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、撮像指令を位置検出部５２に出力する。

制御装置５６は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置とを時刻校正部５４に出力する。

【００５４】

第１の光測角局３の指向装置５７は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向が、制御装置５６が出力された第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

指向装置５７は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向が、制御装置５６が出力された第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

第１の集光装置１１は、物体面を像面に射影する機能を有し、基準となる光軸を備えているので、指向装置５７は、第１の集光装置１１の光軸を制御装置５６から出力された指向方向に合わせることによって、第１の集光装置１１の指向方向を制御する。

なお、指向装置５７による第１の集光装置１１の指向方向の制御は、ある程度の時間を要するため、制御装置５６は、観測時刻が第１の時刻t_1になる前に、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７に出力する。また、制御装置５６は、観測時刻が第２の時刻t_2になる前に、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７に出力する。

【００５５】

図５に示す軌道算出システムでは、制御装置５６が、飛翔体２が第１の集光装置１１の視野の範囲内に入るように、第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７に指示している。第１の集光装置１１の視野と、位置検出部５２の視野とが異なる場合には、制御装置５６は、第１の集光装置１１の視野及び位置検出部５２の視野のうち、狭い方の視野の範囲内に飛翔体２が入るように、第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７に指示する。

なお、飛翔体２が静止衛星であり、第１の光測角局３が固定局であれば、第１の光測角局３と飛翔体２との相対位置が変化しない。相対位置が変化しない場合、制御装置５６は、飛翔体２が第１の集光装置１１の視野の範囲内に入るように、第１の集光装置１１の指向方向を指向装置５７に一度指示すれば、以後、第１の集光装置１１の指向方向を固定にしてもよい。厳密には、軌道傾斜角の違い等があるため、僅かに相対位置が変化するが、

観測時間が、数秒程度であれば、第１の集光装置１１の指向方向を固定にしても問題ない。
【００５６】
第１の光測角局３の第１の集光装置１１は、照明光源１から放射されたのち、飛翔体２によって反射された光を集光する。
第１の光測角局３の遮光装置５１は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、制御装置５６によって、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように制御される。
第１の時刻t_1のときに、所定の露光時間だけ、遮光装置５１のシャッターが開くことによって、第１の集光装置１１により集光された光が遮光装置５１を透過し、当該光が位置検出部５２に到達する。
また、第２の時刻t_2のときに、所定の露光時間だけ、遮光装置５１のシャッターが開くことによって、第１の集光装置１１により集光された光が遮光装置５１を透過し、当該光が位置検出部５２に到達する。
【００５７】
第１の光測角局３の位置検出部５２は、第１の時刻t_1のときに、制御装置５６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置５１を透過してきた光の検出処理を開始し、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。
位置検出部５２は、撮像した光強度画像を、第１の時刻t_1における光強度画像として、角度計算部５３に出力する。
また、位置検出部５２は、第２の時刻t_2のときに、制御装置５６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置５１を透過してきた光の検出処理を開始し、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。
位置検出部５２は、撮像した光強度画像を、第２の時刻t_2における光強度画像として、角度計算部５３に出力する。
【００５８】
第１の光測角局３の角度計算部５３は、制御装置５６から、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向を取得し、位置検出部５２から、第１の時刻t_1における光強度画像を取得する。
角度計算部５３は、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1の反射位置として、第１の時刻t_1における光強度画像内での光の位置を検出する。
角度計算部５３は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の指向方向と、第１の時刻t_1の反射位置とから、第１の時刻t_1における第１の角度を算出する（図６のステップＳＴ１）。
角度計算部５３は、第１の時刻t_1における光強度画像に含まれている暗転流ノイズの除去処理、光強度画像に含まれている背景光ノイズの除去処理、あるいは、光強度画像に含まれている周辺光量の減衰処理等を実施し、これらの処理後の光強度画像から、第１の角度を算出するようにしてもよい。
以下、角度計算部５３による第１の角度の算出処理を具体的に説明する。
【００５９】
角度計算部５３は、第１の集光装置１１の指向方向が位置検出部５２の視野中心であると仮定して、光強度画像の視野角を求める。光強度画像に含まれている１つの画素の大きさと第１の集光装置１１の焦点距離から、１画素当りの視野角が求められる。１つの画素の大きさ及び第１の集光装置１１の焦点距離のそれぞれは、角度計算部５３において、既値である。
光強度画像の視野角は、光強度画像の中心の画素から光強度画像の視野中心の画素に至るまでの画素数を、１画素当りの視野角に乗算することによって求まる。
角度計算部５３は、光強度画像の視野中心及び光強度画像の視野角から、位置検出部５２の指向方向と飛翔体２の見かけの大きさとを求めることができる。位置検出部５２の指向方向と飛翔体２の見かけの大きさとが求まれば、角度計算部５３は、光強度画像上の座標と、宇宙空間における照明光源１の位置を示す天球座標との位置関係を求めることができる。

天球座標の座標系は、天の赤道を基準とする赤道座標系、観測者から見た地平線を基準とする地平座標系、又は、銀河面を基準とする銀河座標系等のいずれであってもよい。光強度画像上の位置は、天球座標の位置、赤経、赤緯、あるいは、アジマス角及びエレベーション角等の角度によって表すことができる。

【００６０】

角度計算部５３は、光強度画像に含まれている複数の画素の中で、画素値が閾値以上の画素が集まっている画素群である点像が、飛翔体２を表しているものと判断し、点像の重心位置を算出する。閾値は、０より大きく、画素値の最大値よりも小さい値であり、例えば、角度計算部５３の内部メモリに格納されている。

第１の集光装置１１の大きさが有限である場合、点像は、回折限界以上の広がりを有している。実際には、大気の揺らぎによる広がり、又は、シーイングの影響を受けるため、飛翔体２が小さい場合に写る点像は、更に広がる。

角度計算部５３は、広がりがある点像の位置を、飛翔体２に対する光の反射位置として求めるため、点像の重心位置を算出している。

光強度画像上の位置は、上述したように、アジマス角及びエレベーション角等の角度によって表すことができるため、角度計算部５３は、算出した点像の重心位置を角度で表すことによって、第１の角度を求める。

第１の角度は、第１の集光装置１１から飛翔体２を見た角度であり、第１の集光装置１１から飛翔体２を見たアジマス角$Ａｚ_{Ａ}$と、第１の集光装置１１から飛翔体２を見たエレベーション角$Ｅｌｖ_{Ａ}$とを含んでいる。

角度計算部５３は、第１の時刻$ｔ_{1}$における第１の角度として、第１の時刻$ｔ_{1}$におけるアジマス角$Ａｚ_{Ａ1}$と、第１の時刻$ｔ_{1}$におけるエレベーション角$Ｅｌｖ_{Ａ1}$とを記録装置５９に記録させる。

【００６１】

角度計算部５３は、制御装置５６から、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の集光装置１１の指向方向を取得し、位置検出部５２から、第２の時刻$ｔ_{2}$における光強度画像を取得する。

角度計算部５３は、飛翔体２に対する光の第２の時刻$ｔ_{2}$の反射位置として、第２の時刻$ｔ_{2}$における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部５３は、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の集光装置１１の指向方向と、第２の時刻$ｔ_{2}$の反射位置とから、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の角度を算出する（図６のステップＳＴ２）。

角度計算部５３は、第２の時刻$ｔ_{2}$における光強度画像に含まれている暗転流ノイズの除去処理、光強度画像に含まれている背景光ノイズの除去処理、あるいは、光強度画像に含まれている周辺光量の減衰処理等を実施し、これらの処理後の光強度画像から、第１の角度を算出するようにしてもよい。

第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の角度の算出処理は、第１の時刻$ｔ_{1}$における第１の角度の算出処理と同様であるため詳細な説明を省略する。

角度計算部５３は、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の角度として、第２の時刻$ｔ_{2}$におけるアジマス角$Ａｚ_{Ａ2}$と、第２の時刻$ｔ_{2}$におけるエレベーション角$Ｅｌｖ_{Ａ2}$とを記録装置５９に記録させる。

【００６２】

時刻校正部５４は、制御装置５６から出力された、第１の時刻$ｔ_{1}$における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の集光装置１１の位置とを取得する。

時刻校正部５４は、第１の時刻$ｔ_{1}$における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の集光装置１１の位置とを記録装置５９に記録させる。

ここでは、時刻校正部５４が、第１の時刻$ｔ_{1}$における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻$ｔ_{2}$における第１の集光装置１１の位置とを記録装置５９に記録させている。第１の光測角局３が、固定局であれば、第１の集光装置１１の位置が変化しないため、いずれかの時刻の第１の集光装置１１の位置を記録装置５９に記録させればよい。

【００６３】

第２の光測角局４の制御装置７６は、カウンター７５から出力された経過時間ｔを取得する。

制御装置７６は、経過時間ｔに従って、飛翔体２の観測時刻として、第１の時刻$ｔ_1$及び第２の時刻$ｔ_2$のそれぞれを把握する。

また、制御装置７６は、通信部７８から出力された軌道情報を取得し、軌道情報から、第１の時刻$ｔ_1$における飛翔体２のおおよその位置と、第２の時刻$ｔ_2$における飛翔体２のおおよその位置とを把握する。

【００６４】

制御装置７６は、時刻校正部７４から出力された第２の集光装置１２の位置のうち、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の位置とを特定する。

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の位置と、第１の時刻$ｔ_1$における飛翔体２のおおよその位置とから、第２の集光装置１２に対する飛翔体２の第１の時刻$ｔ_1$における相対位置を算出する。

また、制御装置７６は、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻$ｔ_2$における飛翔体２のおおよその位置とから、第２の集光装置１２に対する飛翔体２の第２の時刻$ｔ_2$における相対位置を算出する。

【００６５】

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$における相対位置から、第１の時刻$ｔ_1$のときに第２の集光装置１２が飛翔体２を見る方向、即ち、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の指向方向を把握する。

また、制御装置７６は、第２の時刻$ｔ_2$における相対位置から、第２の時刻$ｔ_2$のときに第２の集光装置１２が飛翔体２を見る方向、即ち、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の指向方向を把握する。

【００６６】

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７及び角度計算部７３のそれぞれに出力し、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７及び角度計算部７３のそれぞれに出力する。

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$及び第２の時刻$ｔ_2$のときに、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように、遮光装置７１を制御する。

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$及び第２の時刻$ｔ_2$のときに、撮像指令を位置検出部７２に出力する。

制御装置７６は、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の位置とを時刻校正部７４に出力する。

【００６７】

第２の光測角局４の指向装置７７は、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の指向方向が、制御装置７６が出力された第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

指向装置７７は、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の指向方向が、制御装置７６が出力された第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

第２の集光装置１２は、物体面を像面に射影する機能を有し、基準となる光軸を備えているので、指向装置７７は、第２の集光装置１２の光軸を制御装置７６から出力された指向方向に合わせることによって、第２の集光装置１２の指向方向を制御する。

なお、指向装置７７による第２の集光装置１２の指向方向の制御は、ある程度の時間を要するため、制御装置７６は、観測時刻が第１の時刻$ｔ_1$になる前に、第１の時刻$ｔ_1$における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７に出力する。また、制御装置７６は、観測時刻が第２の時刻$ｔ_2$になる前に、第２の時刻$ｔ_2$における第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７に出力する。

【００６８】

図５に示す軌道算出システムでは、制御装置７６が、飛翔体２が第２の集光装置１２の視野の範囲内に入るように、第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７に指示している。第２の集光装置１２の視野と、位置検出部７２の視野とが異なる場合には、制御装置７６は、第２の集光装置１２の視野及び位置検出部７２の視野のうち、狭い方の視野の範囲内に飛翔体２が入るように、第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７に指示する。

なお、飛翔体２が静止衛星であり、第２の光測角局４が固定局であれば、第２の光測角局４と飛翔体２との相対位置が変化しない。相対位置が変化しない場合、制御装置７６は、飛翔体２が第２の集光装置１２の視野の範囲内に入るように、第２の集光装置１２の指向方向を指向装置７７に一度指示すれば、以後、第２の集光装置１２の指向方向を固定にしてもよい。厳密には、軌道傾斜角の違い等があるため、僅かに相対位置が変化するが、観測時間が、数秒程度であれば、第２の集光装置１２の指向方向を固定にしても問題ない。

【００６９】

第２の光測角局４の第２の集光装置１２は、照明光源１から放射されたのち、飛翔体２によって反射された光を集光する。

第２の光測角局４の遮光装置７１は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、制御装置７６によって、所定の露光時間だけ、シャッターを開くように制御される。

第１の時刻t_1のときに、所定の露光時間だけ、遮光装置７１のシャッターが開くことによって、第２の集光装置１２により集光された光が遮光装置７１を透過し、当該光が位置検出部７２に到達する。

また、第２の時刻t_2のときに、所定の露光時間だけ、遮光装置７１のシャッターが開くことによって、第２の集光装置１２により集光された光が遮光装置７１を透過し、当該光が位置検出部７２に到達する。

【００７０】

第２の光測角局４の位置検出部７２は、第１の時刻t_1のときに、制御装置７６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置７１を透過してきた光の検出処理を開始し、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。

位置検出部７２は、撮像した光強度画像を、第１の時刻t_1における光強度画像として、角度計算部７３に出力する。

また、位置検出部７２は、第２の時刻t_2のときに、制御装置７６から出力された撮像指令を取得すると、遮光装置７１を透過してきた光の検出処理を開始し、飛翔体２が映っている光強度画像を撮像する。

位置検出部７２は、撮像した光強度画像を、第２の時刻t_2における光強度画像として、角度計算部７３に出力する。

【００７１】

第２の光測角局４の角度計算部７３は、制御装置７６から、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向を取得し、位置検出部７２から、第１の時刻t_1における光強度画像を取得する。

角度計算部７３は、飛翔体２に対する光の第１の時刻t_1の反射位置として、第１の時刻t_1における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部７３は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の指向方向と、第１の時刻t_1の反射位置とから、第１の時刻t_1における第２の角度を算出する（図６のステップＳＴ３）。

角度計算部７３は、第１の時刻t_1における光強度画像に含まれている暗転流ノイズの除去処理、光強度画像に含まれている背景光ノイズの除去処理、あるいは、光強度画像に含まれている周辺光量の減衰処理等を実施し、これらの処理後の光強度画像から、第２の角度を算出するようにしてもよい。

角度計算部７３による第２の角度の算出処理は、角度計算部５３による第１の角度の算出処理と同様であるため詳細な説明を省略する。

角度計算部７３は、第１の時刻t_1における第２の角度として、第１の時刻t_1におけるアジマス角Az_{B1}と、第１の時刻t_1におけるエレベーション角Elv_{B1}とを通信部

７８に出力する。

【００７２】

角度計算部７３は、制御装置７６から、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向を取得し、位置検出部７２から、第２の時刻t_2における光強度画像を取得する。

角度計算部７３は、飛翔体２に対する光の第２の時刻t_2の反射位置として、第２の時刻t_2における光強度画像内での光の位置を検出する。

角度計算部７３は、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の指向方向と、第２の時刻t_2の反射位置ととから、第２の時刻t_2における第２の角度を算出する（図６のステップＳＴ４）。

角度計算部７３は、第２の時刻t_2における光強度画像に含まれている暗転流ノイズの除去処理、光強度画像に含まれている背景光ノイズの除去処理、あるいは、光強度画像に含まれている周辺光量の減衰処理等を実施し、これらの処理後の光強度画像から、第２の角度を算出するようにしてもよい。

角度計算部７３は、第２の時刻t_2における第２の角度として、第２の時刻t_2におけるアジマス角Az_{B2}と、第２の時刻t_2におけるエレベーション角Elv_{B2}とを通信部７８に出力する。

【００７３】

時刻校正部７４は、制御装置７６から出力された、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを取得する。

時刻校正部７４は、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを通信部７８に出力する。

【００７４】

通信部７８は、第１の時刻t_1における第２の角度、第２の時刻t_2における第２の角度、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置及び第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置のそれぞれを通信部５８に送信する。

通信部５８は、通信部７８から、第１の時刻t_1における第２の角度、第２の時刻t_2における第２の角度、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置及び第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置のそれぞれを受信する。

通信部５８は、第１の時刻t_1における第２の角度、第２の時刻t_2における第２の角度、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置及び第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置のそれぞれを記録装置５９に記録させる。

ここでは、通信部５８が、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを記録装置５９に記録させている。第２の光測角局４が固定局であれば、第２の集光装置１２の位置が変化しないため、いずれかの時刻の第２の集光装置１２の位置を記録装置５９に記録させればよい。

【００７５】

軌道計算部６０は、記録装置５９から、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度とを取得する。

軌道計算部６０は、記録装置５９から、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置と、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置とを取得する。

【００７６】

軌道計算部６０は、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置（x_{A1}、y_{A1}、z_{A1}）と、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置（x_{B1}、y_{B1}、z_{B1}）とから、図１２に示すように、第１の時刻t_1における、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２との装置間距離L_{AB1}を算出する。

図１２は、実施の形態１に係る軌道算出システムにおける軌道の算出精度を示す説明図である。

第１の時刻t_1において、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２と飛翔体２とは、三角形におけるそれぞれの頂点に配置されている。したがって、装置間距離L_{AB1}と、第１の角度（Az_{A1}、Elv_{A1}）と、第２の角度（Az_{B1}、Elv_{B1}）と、第１の集光装置１１の位置（x_{A1}、y_{A1}、z_{A1}）又は第２の集光装置１２の位置（x_{B1}、y_{B1}、z_{B1}）とが分かれば、三角形の余弦定理を用いることで、第１の集光装置１１及び第２の集光装置１２のそれぞれから飛翔体２までの距離を幾何学的に算出することができる。

軌道計算部６０は、装置間距離L_{AB1}と、第１の角度（Az_{A1}、Elv_{A1}）と、第２の角度（Az_{B1}、Elv_{B1}）と、第１の集光装置１１の位置（x_{A1}、y_{A1}、z_{A1}）とから、余弦定理を用いて、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離として、第１の時刻t_1における第１の距離$Renge_{A1}$を算出する。

また、軌道計算部６０は、装置間距離L_{AB1}と、第１の角度（Az_{A1}、Elv_{A1}）と、第２の角度（Az_{B1}、Elv_{B1}）と、第２の集光装置１２の位置（x_{B1}、y_{B1}、z_{B1}）とから、余弦定理を用いて、第２の集光装置１２から飛翔体２までの距離として、第１の時刻t_1における第２の距離$Renge_{B1}$を算出する。

【００７７】

軌道計算部６０は、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置（x_{A2}、y_{A2}、z_{A2}）と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置（x_{B2}、y_{B2}、z_{B2}）とから、第２の時刻t_2における、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２との装置間距離L_{AB2}を算出する。

第１の光測角局３及び第２の光測角局４のそれぞれが固定局である場合、第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}は、第１の時刻t_1における装置間距離L_{AB1}と同じであるため、第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}の算出を省略することができる。

軌道計算部６０は、装置間距離L_{AB2}と、第１の角度（Az_{A2}、Elv_{A2}）と、第２の角度（Az_{B2}、Elv_{B2}）と、第１の集光装置１１の位置（x_{A2}、y_{A2}、z_{A2}）とから、余弦定理を用いて、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離として、第２の時刻t_2における第１の距離$Renge_{A2}$を算出する。

また、軌道計算部６０は、装置間距離L_{AB2}と、第１の角度（Az_{A2}、Elv_{A2}）と、第２の角度（Az_{B2}、Elv_{B2}）と、第２の集光装置１２の位置（x_{B2}、y_{B2}、z_{B2}）とから、余弦定理を用いて、第２の集光装置１２から飛翔体２までの距離として、第２の時刻t_2における第２の距離$Renge_{B2}$を算出する。

【００７８】

軌道計算部６０は、第１の時刻t_1における第１の角度（Az_{A1}、Elv_{A1}）と、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置（x_{A1}、y_{A1}、z_{A1}）と、第１の時刻t_1における第１の距離$Renge_{A1}$とから、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1'、y_1'、z_1'）を算出する。

また、軌道算出部２３は、第１の時刻t_1における第２の角度（Az_{B1}、Elv_{B1}）と、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置（x_{B1}、y_{B1}、z_{B1}）と、第１の時刻t_1における第２の距離$Renge_{B1}$とから、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1''、y_1''、z_1''）を算出する。

軌道計算部６０は、位置（x_1'、y_1'、z_1'）と位置（x_1''、y_1''、z_1''）とが異なっていれば、例えば、以下の式（１）に示すように、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）として、位置（x_1'、y_1'、z_1'）と位置（x_1''、y_1''、z_1''）との平均値を算出する。

$$x_1=(x_1'+x_1'')/2$$
$$y_1=(y_1'+y_1'')/2$$
$$z_1=(z_1'+z_1'')/2 \qquad (1)$$

軌道計算部６０は、位置（x_1'、y_1'、z_1'）と位置（x_1''、y_1''、z_1''）とが同じであれば、位置（x_1'、y_1'、z_1'）、又は、位置（x_1''、y_1''、z_1''）を、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）とする。

【００７９】
軌道計算部６０は、第２の時刻t_2における第１の角度（Az_{A2}、Elv_{A2}）と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置（x_{A2}、y_{A2}、z_{A2}）と、第２の時刻t_2における第１の距離$Renge_{A2}$とから、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2'、y_2'、z_2'）を算出する。
また、軌道算出部２３は、第２の時刻t_2における第２の角度（Az_{B2}、Elv_{B2}）と、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置（x_{B2}、y_{B2}、z_{B2}）と、第２の時刻t_2における第２の距離$Renge_{B2}$とから、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2''、y_2''、z_2''）を算出する。
軌道計算部６０は、位置（x_2'、y_2'、z_2'）と位置（x_2''、y_2''、z_2''）とが異なっていれば、例えば、以下の式（２）に示すように、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）として、位置（x_2'、y_2'、z_2'）と位置（x_2''、y_2''、z_2''）との平均値を算出する。

$$x_2=(x_2'+x_2'')/2$$
$$y_2=(y_2'+y_2'')/2$$
$$z_2=(z_2'+z_2'')/2 \qquad (2)$$

軌道計算部６０は、位置（x_2'、y_2'、z_2'）と位置（x_2''、y_2''、z_2''）とが同じであれば、位置（x_2'、y_2'、z_2'）、又は、位置（x_2''、y_2''、z_2''）を、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）とする。
【００８０】
軌道計算部６０は、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）とを算出する。あるいは、軌道計算部６０は、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置及び速度のそれぞれを算出する。
したがって、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）、あるいは、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と速度（vx_1、vy_1、vz_1）とが分かれば、飛翔体２の軌道を算出することができる。なお、軌道とは、飛翔体の位置の時間変化と、軌跡とを表すものであり、飛翔体２が、主に地球の重力に従って運動していると仮定すると、その運動はケプラー運動となるため、軌跡は二次曲線で近似できる。二次曲線は、離心率、長半径、軌道傾斜角等に代表される軌道六要素で定められ、軌道六要素のパラメータが、飛翔体のある時刻t_1、t_2における位置（x_1、y_1、z_1）、（x_2、y_2、z_2）から定まり、軌道が求められる。ただし、地球近傍の移動体は、軌道が時々刻々と変わり、軌道六要素では軌跡を表すのに不十分なため、位置（x_1、y_1、z_1）と速度（vx_1、vy_1、vz_1）とを逐次求めることが、軌道を求めることとみなしてもよい。
軌道計算部６０は、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と、第２の時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）、あるいは、第１の時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と速度（vx_1、vy_1、vz_1）とから、飛翔体２の軌道を算出する（図６のステップＳＴ５）。
【００８１】
以下、図５に示す軌道算出システムでは、第１の光測角局３と第２の光測角局４とにおける時刻の同期が図られている理由について説明する。
第１の光測角局３の角度計算部５３は、第１の集光装置１１の指向方向と光強度画像とから、第１の角度を算出することができるが、第１の集光装置１１の指向方向と光強度画像との情報のみでは、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離を高精度に算出することができない。
第２の光測角局４の角度計算部７３は、第２の集光装置１２の指向方向と光強度画像とから、第２の角度を算出することができるが、第２の集光装置１２の指向方向と光強度画像との情報のみでは、第２の集光装置１２から飛翔体２までの距離を高精度に算出することができない。
図７は、第１の光測角局３の角度計算部５３による距離の算出精度を示す説明図である。

図７において、網掛け楕円領域は、距離の算出精度及び角度の算出精度のそれぞれを示している。網掛け楕円領域は、レンジ方向に長い楕円形状であるため、距離の算出精度が悪いことを表している。

【００８２】

図７に示すように、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離を高精度に算出できない場合でも、図８に示すように、３つの観測時刻t_0，t_1，t_2において、角度計算部５３が、第１の角度をそれぞれ算出すれば、飛翔体２の軌道を算出することができる。

図８は、３つの観測時刻t_0，t_1，t_2におけるそれぞれの角度の算出精度及びそれぞれの距離の算出精度を示す説明図である。

第１の光測角局３に対して、飛翔体２が相対的に移動しているので、角度計算部５３は、観測時刻t_0における第１の角度（Az_{A0}、Elv_{A0}）、観測時刻t_1における第１の角度（Az_{A1}、Elv_{A1}）及び観測時刻t_2における第１の角度（Az_{A2}、Elv_{A2}）のそれぞれを算出することができる。

飛翔体２は、主に地球の重力に従って運動していると仮定すると、飛翔体２の軌道は、ケプラー運動によって二次曲線になるため、飛翔体２の３回の観測があれば、飛翔体２までの距離が分からなくても、観測時刻t_0、t_1、t_2のそれぞれの第１の角度と、飛翔体２が各点を移動する時間から、飛翔体２までの距離を推定できるので、飛翔体２の軌道が一意に定まる。実際には、地球の重力異常、又は、放射圧等の影響を受けるため、誤差を含む可能性があるが、原理的には、飛翔体２の３回の観測があれば、飛翔体２の軌道を求めることができる。

【００８３】

図９は、地上に設置されている測角局が電波を放射し、測角局が飛翔体２によって反射された電波を受信することによって、測角局から飛翔体２までの距離を算出する場合の測定精度を示す説明図である。

測角局が電波を放射し、測角局が飛翔体２によって反射された電波を受信することによって、測角局から飛翔体２までの距離を算出する場合、電波の放射時刻と電波の受信時刻との時刻差、あるいは、放射した電波の位相と受信した電波の位相との位相差から、距離が算出される。このため、測角局は、距離の他に、測角局に対する飛翔体２の角度（Ａｚ、Ｅｌｖ）を算出することが可能である。

図９において、網掛け楕円領域は、距離の算出精度及び角度の算出精度のそれぞれを示している。

図９に示す網掛け楕円領域は、図７に示す網掛け楕円領域よりも、レンジ方向の長さが短いため、図９に示す測角局における距離の算出精度は、図７における距離の算出精度よりも高くなっている。しかし、電波の波長（ｃｍ）は、例えば、可視光の波長（ミクロン）よりも長いため、図９に示す測角局における角度の算出精度は、図７における角度の算出精度よりも劣化している。

【００８４】

距離と角度の双方が求まる場合、図１０に示すように、２つの観測時刻t_1，t_2において、距離と角度の双方が算出すれば、飛翔体２の軌道を算出することができる。

図１０は、２つの観測時刻t_1，t_2におけるそれぞれの角度の算出精度及びそれぞれの距離の算出精度を示す説明図である。

２つの観測時刻t_1，t_2におけるそれぞれの距離と角度とから、観測時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）と、観測時刻t_2における飛翔体２の位置（x_2、y_2、z_2）とが求まる。

あるいは、観測時刻t_1における飛翔体２の位置（x_1、y_1、z_1）から観測時刻t_1における飛翔体２の速度（vx_1、vy_1、vz_1）が求まる。したがって、２つの観測時刻t_1，t_2において、距離と角度の双方を算出できれば、飛翔体２の軌道を算出することができる。

【００８５】

図１１は、実施の形態１に係る軌道算出システムにおける角度の算出精度及び距離の算

出精度を示す説明図である。
実施の形態１に係る軌道算出システムでは、互いの設置位置が異なる２つの光測角局である、第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２に対する角度を算出している。
このため、第１の光測角局３における第１の集光装置１１と、第２の光測角局４における第２の集光装置１２と、飛翔体２とが、三角形におけるそれぞれの頂点に配置されているものとして、三角形の余弦定理を適用することができる。三角形の余弦定理を用いることで、第１の集光装置１１及び第２の集光装置１２のそれぞれから飛翔体２までの距離を幾何学的に算出することができる。
第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２に対する角度を算出するものでなければ、三角形の余弦定理を適用することができないため、図７の網掛け楕円領域が示すように、距離の算出精度が悪くなる。
図１１において、飛翔体２を含む菱形の領域は、距離の算出精度及び角度の算出精度のそれぞれを示している。菱形の領域は、図７に示す網掛け楕円領域よりも、レンジ方向の長さが短い。このため、図５に示す軌道算出システムにおける距離の算出精度が、図７に示すものよりも向上していることが分かる。
以上より、第１の光測角局３と第２の光測角局４とにおける時刻の同期が図られている理由は、距離の算出精度を高めるためである。また、観測時刻が２つであっても、飛翔体２の軌道を算出できるようにするためである。
【００８６】
以上の実施の形態１では、照明光源１から放射されたのち、飛翔体２によって反射された光を集光する第１の集光装置１１の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体２に対する光の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、第１の集光装置１１から飛翔体２を見た第１の角度として、第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの第１の角度を算出する第１の角度算出部２１と、飛翔体２によって反射された光を集光する第２の集光装置１２の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの指向方向と、飛翔体２に対する光の第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの反射位置とから、第２の集光装置１２から飛翔体２を見た第２の角度として、第１の時刻及び第２の時刻におけるそれぞれの第２の角度を算出する第２の角度算出部２２と、第１の角度算出部２１により算出された第１の角度と、第２の角度算出部２２により算出された第２の角度と、第１の時刻及び第２の時刻における、第１の集光装置１１の位置及び第２の集光装置１２の位置とから、飛翔体２の軌道を算出する軌道算出部２３とを備えるように、軌道算出装置１３を構成した。したがって、従来の軌道算出システムでは軌道を算出できない遠方の飛翔体２の軌道を算出できることがある。
【００８７】
図５に示す軌道算出システムは、２つの光測角局として、第１の光測角局３及び第２の光測角局４を備えている。しかし、天候によっては、例えば、第１の光測角局３が、飛翔体２によって反射された光を集光できても、第２の光測角局４が、飛翔体２によって反射された光を集光できない状況を生じることがある。このような状況では、図５に示す軌道算出システムが、飛翔体２の軌道を算出することができない。このような状況でも、飛翔体２の軌道を算出できるようにするため、第１の光測角局３及び第２の光測角局４とは別に第３の光測角局を備えるようにしてもよい。第３の光測角局の構成は、第２の光測角局４の構成と同様であり、第３の光測角局の設置位置は、第１の光測角局３及び第２の光測角局４におけるそれぞれの設置位置と異なる。
【００８８】
実施の形態２．
実施の形態２では、第１の光測角局３が固定局であり、第２の光測角局４が可搬局である軌道算出システムについて説明する。
【００８９】
図１３は、実施の形態２に係る軌道算出システムにおける照明光源１、飛翔体２、第１

の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。
図１３に示す軌道算出システムでは、第１の光測角局３が固定局であり、第２の光測角局４が可搬局である。
図１４は、実施の形態２に係る軌道算出システムにおける角度の算出精度及び距離の算出精度を示す説明図である。
【００９０】
図１３に示す軌道算出システムでも、第１の光測角局３の位置と第２の光測角局４の位置とが異なっていれば、図５に示す軌道算出システムと同様の原理で、飛翔体２の軌道を算出することができる。
ただし、照明光源１である太陽の位置、又は、可搬局である第２の光測角局４の位置が変化することによって、第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２からの光を受信できない観測条件になることがある。例えば、第２の光測角局４が、第１の光測角局３から見て、地球の裏側に位置しているような場合、第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２からの光を受信できない。
第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２からの光を受信できる観測条件であれば、図１３に示す軌道算出システムでも、図５に示す軌道算出システムと同様に、飛翔体２の軌道を算出することができる。
【００９１】
図１３に示す軌道算出システムでも、図５に示す軌道算出システムと同様に、第２の光測角局４の通信部７８が、第２の角度と第２の集光装置１２の位置とを、第１の光測角局３の通信部５８に送信している。
しかし、第２の光測角局４は、例えば軌道上を移動しているため、第１の光測角局３と第２の光測角局４との位置関係によっては、通信部７８が、第２の角度と第２の集光装置１２の位置とを、第１の光測角局３の通信部５８に直接送信できない場合がある。
このような場合、第２の光測角局４の通信部７８が、第２の角度と第２の集光装置１２の位置とを、図１３及び図１４に示す地上局６に送信し、地上局６が、第２の角度と第２の集光装置１２の位置とを第１の光測角局３の通信部５８に転送するようにしてもよい。
地上局６は、第２の光測角局４を運用している地上局であり、例えば、第２の光測角局４の姿勢及び位置等を制御するものである。
【００９２】
実施の形態３．
実施の形態３では、第１の光測角局３が測距装置９１を備え、第２の光測角局４が再帰反射部８１を備えている軌道算出システムについて説明する。
【００９３】
図１５は、実施の形態３に係る軌道算出システムにおける飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。
第２の光測角局４は、再帰反射部８１を備えている。
再帰反射部８１は、光を入射方向に射出する機能を有する光学部材によって実現される。当該光学部材としては、ビーズが敷き詰められているもののほか、コーナーキューブリフレクタ等が考えられる。
再帰反射部８１は、第１の光測角局３の測距装置９１から放射された光を再帰反射させる。
【００９４】
図１６は、実施の形態３に係る軌道算出システムを示す具体的な構成図である。図１６において、図５と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。
測距装置９１は、第１の光測角局３に搭載されている。
測距装置９１は、集光装置９２、光送信部９３、光受信部９４、距離計算部９５及び指向装置９６を備えている。
測距装置９１は、光を再帰反射部８１に向けて放射したのち、再帰反射部８１によって反射された光を受信し、放射した光と受信した光とから、第１の光測角局３と第２の光測

角局４との距離を算出する。

【００９５】

集光装置９２は、例えば、屈折型の望遠鏡及び反射型の望遠鏡のうち、１つ以上の望遠鏡によって実現される。

集光装置９２は、光送信部９３から出力されたレーザ光を再帰反射部８１に向けて放射し、再帰反射部８１によって反射されたレーザ光を集光する。

光送信部９３は、例えば、レーザ光源、光アンプ及び光変調器によって実現される。

光送信部９３は、レーザ光を集光装置９２に出力することによって、集光装置９２からレーザ光を再帰反射部８１に向けて放射させる。

光受信部９４は、例えば、半導体光受信器によって実現される。半導体光受信器としては、フォトダイオード、又は、四分割フォトダイオード等が考えられる。

光受信部９４は、集光装置９２により集光されたレーザ光を受信する。

【００９６】

距離計算部９５は、光送信部９３からの電波の放射時刻と光受信部９４による電波の受信時刻との時刻差、あるいは、光送信部９３から出力された電波の位相と光受信部９４により受信された電波の位相との位相差から、第１の光測角局３と第２の光測角局４との距離である装置間距離を算出する。

即ち、距離計算部９５は、第１の時刻t_1における装置間距離L_{AB1}と第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}とを算出し、装置間距離L_{AB1}と装置間距離L_{AB2}とを軌道算出部２３の軌道計算部６１に出力する。

【００９７】

指向装置９６は、一軸以上の回転軸を有する回転ステージ及びモータによって実現される。一軸以上の回転軸を有する回転ステージとしては、経緯台、又は、赤道儀等が考えられる。

指向装置９６の回転ステージには、集光装置９２が実装されている。

指向装置９６は、第１の時刻t_1のときの集光装置９２の指向方向が、制御装置５６が出力された第１の時刻t_1のときの集光装置９２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

指向装置９６は、第２の時刻t_2のときの集光装置９２の指向方向が、制御装置５６が出力された第２の時刻t_2のときの集光装置９２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。

【００９８】

軌道算出部２３は、記録装置５９及び軌道計算部６１を備えている。

軌道計算部６１は、距離計算部９５から、集光装置９２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの指向方向と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの装置間距離L_{AB1}，L_{AB2}とを取得する。

軌道計算部６１は、記録装置５９から、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2における位置を取得する。

軌道計算部６１は、集光装置９２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの指向方向と、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの装置間距離L_{AB1}，L_{AB2}とを用いて、第２の集光装置１２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を算出する。

【００９９】

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、記録装置５９から、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度とを取得する。

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、それぞれの第１の角度と、それぞれの第２の角度と、第１の集光装置１１及び第２の集光装置１２におけるそれぞれの位置とから、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離として、第１の時刻t_1及び第

２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第１の距離を算出する。
軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、それぞれの第１の角度と、それぞれの第２の角度と、それぞれの位置とから、第２の集光装置１２から飛翔体２までの距離として、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第２の距離を算出する。
軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第２の角度と、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第１の距離と、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの第２の距離とから、飛翔体２の位置及び速度のそれぞれを算出する。即ち、軌道計算部６１は、飛翔体２の第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの位置、あるいは、第１の時刻ｔ$_1$の飛翔体２の位置と速度とを算出する。
軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、飛翔体２の第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$におけるそれぞれの位置、あるいは、飛翔体２の第１の時刻ｔ$_1$の位置と速度とから、飛翔体２の軌道を算出する。

【０１００】

次に、図１６に示す軌道算出システムの動作について説明する。
図５に示す軌道算出システムでは、軌道計算部６０が、第１の集光装置１１及び第２の集光装置１２におけるそれぞれの位置から、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２との装置間距離Ｌ$_{AB1}$，Ｌ$_{AB2}$を算出している。
図１６に示す軌道算出システムでは、測距装置９１が、第１の集光装置１１と第２の集光装置１２との装置間距離Ｌ$_{AB1}$，Ｌ$_{AB2}$として、第１の光測角局３と第２の光測角局４との距離を算出している点で、図５に示す軌道算出システムと相違している。
測距装置９１による距離の算出精度は、図５に示す軌道算出システムによる距離の算出精度よりも高い。図５に示す軌道算出システムによる距離の算出精度は、図１１に示す菱形の領域におけるレンジ方向の長さである。
ただし、レーザ光の強度は、レーザ光の伝搬距離の２乗に反比例して弱くなるため、第１の光測角局３と第２の光測角局４との距離が長い場合には、測距装置９１が、装置間距離Ｌ$_{AB1}$，Ｌ$_{AB2}$を算出できない場合がある。図１６に示す軌道算出システムでは、第２の光測角局４が、再帰反射部８１を備えているため、第２の光測角局４の反射による、レーザ光の強度の減衰が抑えられている。よって、図１６に示す軌道算出システムでは、第２の光測角局４が再帰反射部８１を備えていないものよりは、算出が可能な距離が延びている。

【０１０１】

制御装置５６は、第１の時刻ｔ$_1$における集光装置９２の指向方向を指向装置９６に出力し、第２の時刻ｔ$_2$における集光装置９２の指向方向を指向装置９６に出力する。
制御装置５６は、第１の時刻ｔ$_1$及び第２の時刻ｔ$_2$のときに、レーザ光の放射指令を光送信部９３及び距離計算部９５のそれぞれに出力する。
例えば、制御装置５６の内部メモリには、第２の光測角局４の軌道情報が記録されている。制御装置５６は、軌道情報に基づいて、第１の時刻ｔ$_1$における集光装置９２の指向方向を特定し、第２の時刻ｔ$_2$における集光装置９２の指向方向を特定する。

【０１０２】

指向装置９６は、第１の時刻ｔ$_1$のときの集光装置９２の指向方向が、制御装置５６が出力された第１の時刻ｔ$_1$のときの集光装置９２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
指向装置９６は、第２の時刻ｔ$_2$のときの集光装置９２の指向方向が、制御装置５６が出力された第２の時刻ｔ$_2$のときの集光装置９２の指向方向と一致するように、モータを駆動することによって、回転ステージを回転させる。
なお、指向装置９６による集光装置９２の指向方向の制御は、ある程度の時間を要するため、制御装置５６は、観測時刻が第１の時刻ｔ$_1$になる前に、第１の時刻ｔ$_1$における

集光装置９２の指向方向を指向装置９６に出力する。また、制御装置５６は、観測時刻が第２の時刻t_2になる前に、第２の時刻t_2における集光装置９２の指向方向を指向装置９６に出力する。

【０１０３】

光送信部９３は、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2のときに、制御装置５６から、レーザ光の放射指令を受けると、レーザ光を集光装置９２に出力することによって、集光装置９２からレーザ光を再帰反射部８１に向けて放射させる。

集光装置９２は、光送信部９３から出力されたレーザ光を再帰反射部８１に向けて放射する。

第１の時刻t_1のときに、集光装置９２から放射されたレーザ光は、第２の光測角局４に取り付けられている再帰反射部８１によって反射される。

再帰反射部８１によって反射されたレーザ光は、集光装置９２によって集光される。

光受信部９４は、集光装置９２により集光されたレーザ光を受信し、レーザ光の受信信号を距離計算部９５に出力する。

【０１０４】

距離計算部９５は、光送信部９３からの電波の放射時刻と光受信部９４による電波の受信時刻との時刻差、あるいは、光送信部９３から出力された電波の位相と光受信部９４により受信された電波の位相との位相差から、第１の光測角局３と第２の光測角局４との距離を算出する。

即ち、距離計算部９５は、制御装置５６から放射指令が出力された時刻である第１の時刻t_1から、光受信部９４よりレーザ光の受信信号を受けるまでの時間に基づいて、第１の時刻t_1における装置間距離L_{AB1}を算出する。

また、距離計算部９５は、制御装置５６から放射指令が出力された時刻である第２の時刻t_2から、光受信部９４よりレーザ光の受信信号を受けるまでの時間に基づいて、第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}を算出する。

距離計算部９５は、第１の時刻t_1における集光装置９２の指向方向、第２の時刻t_2における集光装置９２の指向方向、第１の時刻t_1における装置間距離L_{AB1}及び第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}のそれぞれを軌道算出部２３の軌道計算部６１に出力する。

【０１０５】

軌道計算部６１は、距離計算部９５から、集光装置９２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの指向方向と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの装置間距離L_{AB1}，L_{AB2}とを取得する。

軌道計算部６１は、記録装置５９から、第１の集光装置１１の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置を取得する。

軌道計算部６１は、第１の時刻t_1における集光装置９２の指向方向と、第１の時刻t_1における第１の集光装置１１の位置と、第１の時刻t_1における装置間距離L_{AB1}とを用いて、第１の時刻t_1における第２の集光装置１２の位置を算出する。

軌道計算部６１は、第２の時刻t_2における集光装置９２の指向方向と、第２の時刻t_2における第１の集光装置１１の位置と、第２の時刻t_2における装置間距離L_{AB2}とを用いて、第２の時刻t_2における第２の集光装置１２の位置を算出する。

【０１０６】

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度とを取得する。

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、それぞれの第１の角度と、それぞれの第２の角度と、第１の集光装置１１におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２におけるそれぞれの位置とから、第１の集光装置１１から飛翔体２までの距離として、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の距離を算出する。

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、それぞれの第１の角度と、そ

れぞれの第２の角度と、第１の集光装置１１におけるそれぞれの位置と、第２の集光装置１２におけるそれぞれの位置とから、第２の集光装置１２から飛翔体２までの距離として、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の距離を算出する。

【０１０７】

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の角度と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第１の距離と、第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの第２の距離とから、飛翔体２の位置及び速度のそれぞれを算出する。即ち、軌道計算部６１は、飛翔体２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置、あるいは、第１の時刻t_1の飛翔体２の位置と速度とを算出する。

軌道計算部６１は、図５に示す軌道計算部６０と同様に、飛翔体２の第１の時刻t_1及び第２の時刻t_2におけるそれぞれの位置、あるいは、飛翔体２の第１の時刻t_1の位置と速度とから、飛翔体２の軌道を算出する。

【０１０８】

以上の実施の形態３では、第２の光測角局４が、光を再帰反射させる再帰反射部８１を備え、第１の光測角局３が、光を再帰反射部８１に向けて放射したのち、再帰反射部８１によって反射された光を受信し、放射した光と受信した光とから、第１の光測角局３と第２の光測角局４との距離を算出する測距装置９１を備えており、軌道算出部２３が、測距装置９１により算出された距離を用いて、第２の集光装置１２の位置を算出するように、図１６に示す軌道算出システムを構成した。したがって、図１６に示す軌道算出システムは、図５に示す軌道算出システムと同様に、従来の軌道算出システムでは軌道を算出できない遠方の飛翔体２の軌道を算出できることがある。また、図１６に示す軌道算出システムは、図５に示す軌道算出システムよりも、飛翔体２の軌道の算出精度が向上する。

【０１０９】

実施の形態４．

実施の形態４では、第２の光測角局４が、飛翔体２の軌道と高度が異なる軌道に配置されている軌道算出システムについて説明する。

【０１１０】

図１７は、実施の形態４に係る軌道算出システムにおける飛翔体２、第１の光測角局３及び第２の光測角局４の位置関係の一例を示す説明図である。

図１７において、１０１は、第２の光測角局４の軌道を示しており、h_1は、軌道１０１の高度を示している。

１０２は、飛翔体２の軌道を示しており、h_2は、軌道１０２の高度を示している。

１０３は、第２の光測角局４の軌道を示しており、h_3は、軌道１０３の高度を示している。

第２の光測角局４は、飛翔体２の軌道１０２よりも高度が低い軌道１０１に配置されることがあり、また、飛翔体２の軌道１０２よりも高度が高い軌道１０３に配置されることがある。

また、第２の光測角局４の軌道が、軌道１０１から軌道１０３に切り替わる一方、軌道１０３から軌道１０１に切り替わることがある。

【０１１１】

地球を周回する軌道は、地球の重力と高度とにより決まる。当該軌道を移動する第２の光測角局４の速度v_i（ｉ＝１，３）は、以下の式（３）のように表される。v_1は、高度h_1の軌道１０１を移動する第２の光測角局４の速度、v_3は、高度h_3の軌道１０３を移動する第２の光測角局４の速度である。v_2は、飛翔体２の速度である。

$$v_i = \sqrt{\frac{GM}{r_E + h_i}} \qquad (3)$$

式（３）において、r_Eは、地球の半径、Ｇは、万有引力定数、Ｍは、地球の質量である。

【０１１２】

第２の光測角局４の速度v_i（ｉ＝１，３）は、式（３）から明らかなように、高度h_iが高いほど、遅くなる。

したがって、第２の光測角局４が飛翔体２の軌道１０２よりも高度が高い軌道１０１に配置される場合、時間の経過に伴って、第２の光測角局４が飛翔体２に追い越されることがある。一方、第２の光測角局４が飛翔体２の軌道１０２よりも高度が低い軌道１０１に配置される場合、時間の経過に伴って、第２の光測角局４が飛翔体２を追い越すことがある。

第１の光測角局３と第２の光測角局４と飛翔体２との幾何学的な配置の時間的な変化は、第２の光測角局４が配置される軌道の高度によって異なる。

【０１１３】

実施の形態４に係る軌道算出システムは、例えば、飛翔体２の軌道１０２よりも高度が低い軌道１０１に配置されている第２の光測角局４と、飛翔体２の軌道１０２よりも高度が高い軌道１０１に配置されている第２の光測角局４との双方を備えていてもよい。

軌道算出システムが、２つの第２の光測角局４を備えていれば、軌道１０１に配置されている第２の光測角局４に係る幾何学的な配置と、軌道１０３に配置されている第２の光測角局４に係る幾何学的な配置とのうち、いずれかの幾何学的な配置に基づいて、飛翔体２の軌道１０２を算出することができる。一方の幾何学的な配置では、第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２からの光を受信できない観測条件でにあっても、他方の幾何学的な配置では、第１の光測角局３及び第２の光測角局４が、同時刻に同じ飛翔体２からの光を受信できる観測条件の可能性がある。よって、実施の形態４に係る軌道算出システムでは、飛翔体２の軌道を算出できない時間を短縮することができる。

【０１１４】

なお、本開示は、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【産業上の利用可能性】

【０１１５】

本開示は、飛翔体の軌道を算出する軌道算出装置、軌道算出方法及び軌道算出システムに適している。

【符号の説明】

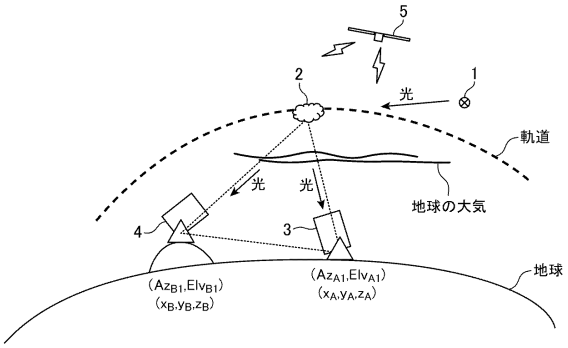
【０１１６】

１　照明光源、２　飛翔体、３　第１の光測角局、４　第２の光測角局、５　基準信号源、６　地上局、１１　第１の集光装置、１２　第２の集光装置、１３　軌道算出装置、２１　第１の角度算出部、２２　第２の角度算出部、２３　軌道算出部、３１　第１の角度算出回路、３２　第２の角度算出回路、３３　軌道算出回路、４１　メモリ、４２　プロセッサ、５１　遮光装置、５２　位置検出部、５３　角度計算部、５４　時刻校正部、５５　カウンター、５６　制御装置、５７　指向装置、５８　通信部、５９　記録装置、６０　軌道計算部、６１　軌道計算部、７１　遮光装置、７２　位置検出部、７３　角度計算部、７４　時刻校正部、７５　カウンター、７６　制御装置、７７　指向装置、７８

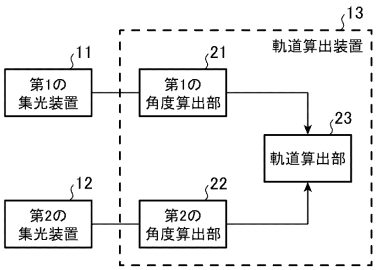
通信部、８０　軌道データベース、８１　再帰反射部、９１　測距装置、９２　集光装置、９３　光送信部、９４　光受信部、９５　距離計算部、９６　指向装置、１０１，１０２，１０３　軌道。

【図面】

【図１】


5
2
1
光
軌道
光
光
地球の大気
4
3
地球
(Az_{B1},Elv_{B1})
(x_B,y_B,z_B)
(Az_{A1},Elv_{A1})
(x_A,y_A,z_A)

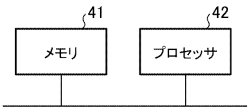
【図２】


13
軌道算出装置
11
第1の
集光装置
21
第1の
角度算出部
23
軌道算出部
12
第2の
集光装置
22
第2の
角度算出部

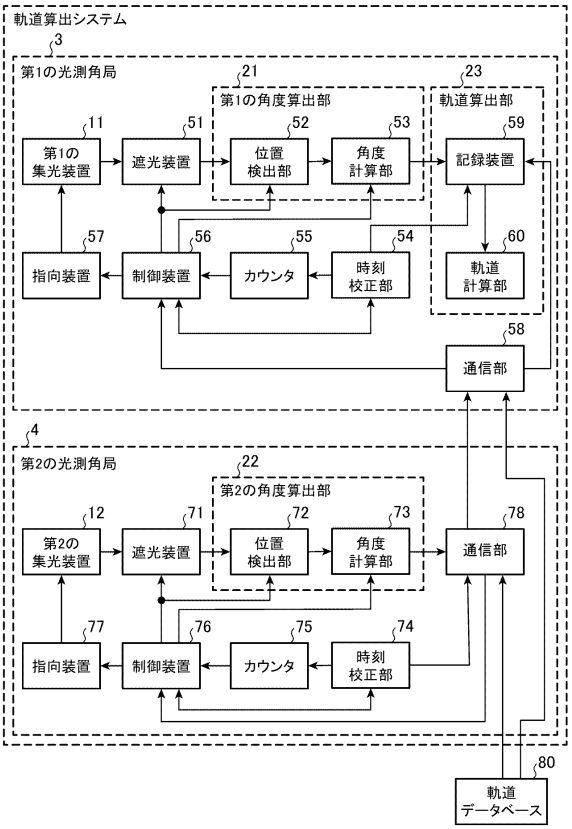
【図３】


31
第1の角度
算出回路
32
第2の角度
算出回路
33
軌道
算出回路

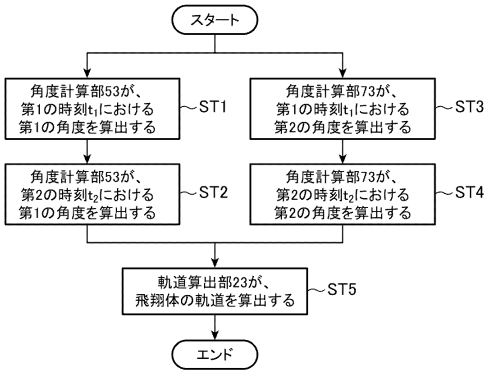
【図４】


41
メモリ
42
プロセッサ

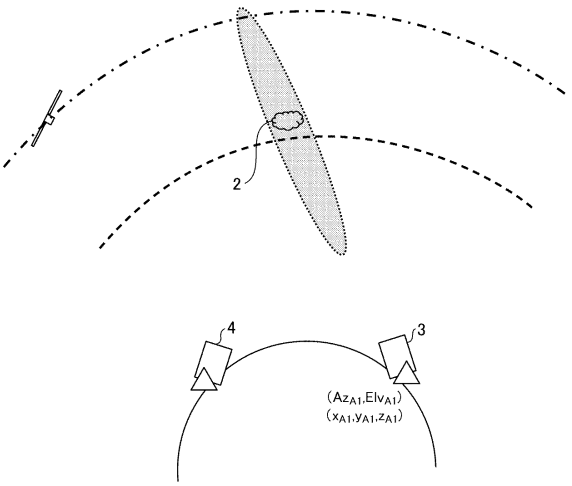
【図５】


軌道算出システム
3
第1の光測角局
21
第1の角度算出部
23
軌道算出部
11
第1の
集光装置
51
遮光装置
52
位置
検出部
53
角度
計算部
59
記録装置
57
指向装置
56
制御装置
55
カウンタ
54
時刻
校正部
60
軌道
計算部
58
通信部
4
第2の光測角局
22
第2の角度算出部
12
第2の
集光装置
71
遮光装置
72
位置
検出部
73
角度
計算部
78
通信部
77
指向装置
76
制御装置
75
カウンタ
74
時刻
校正部
80
軌道
データベース

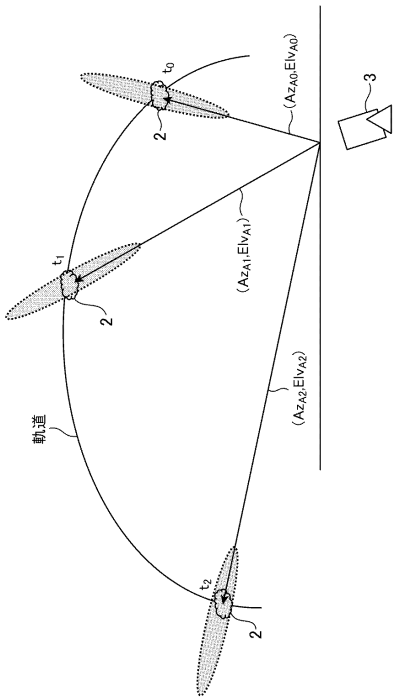
【図６】


スタート
角度計算部53が、
第1の時刻t_1における
第1の角度を算出する
ST1
角度計算部73が、
第1の時刻t_1における
第2の角度を算出する
ST3
角度計算部53が、
第2の時刻t_2における
第1の角度を算出する
ST2
角度計算部73が、
第2の時刻t_2における
第2の角度を算出する
ST4
軌道算出部23が、
飛翔体の軌道を算出する
ST5
エンド

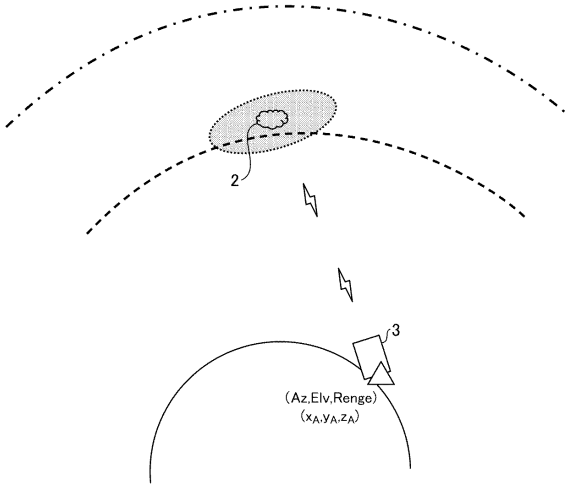
【図７】


2
4
3
(Az_{A1},Elv_{A1})
(x_{A1},y_{A1},z_{A1})

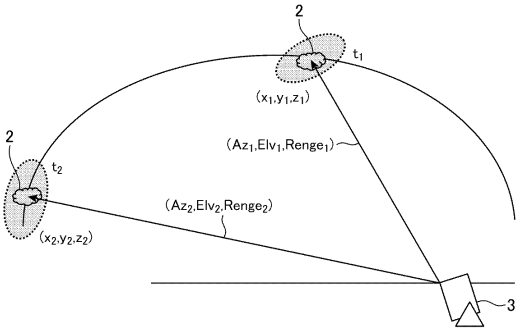
【図８】


t_0
(Az_{A0},Elv_{A0})
3
2
t_1
(Az_{A1},Elv_{A1})
2
軌道
(Az_{A2},Elv_{A2})
t_2
2

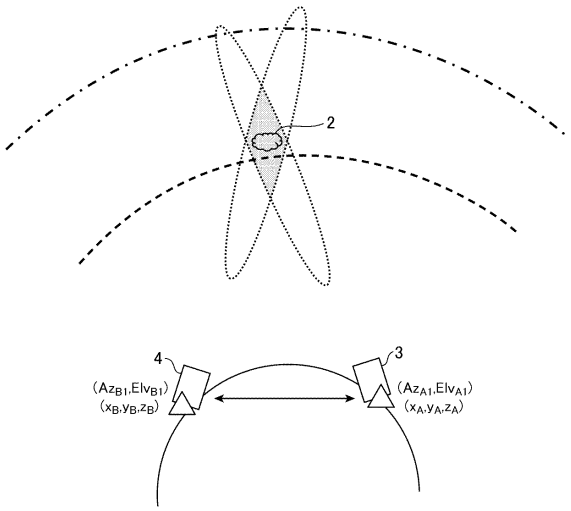
【図９】



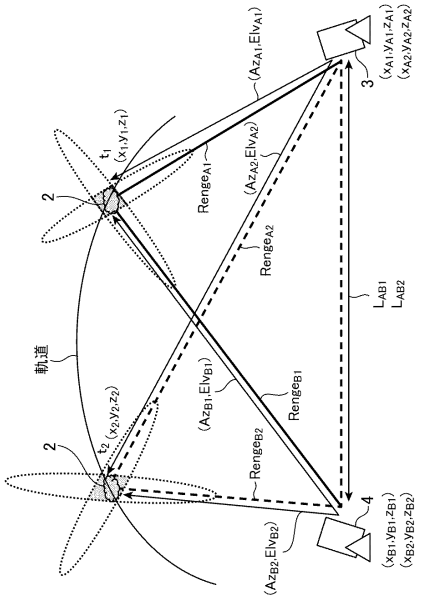
【図１０】



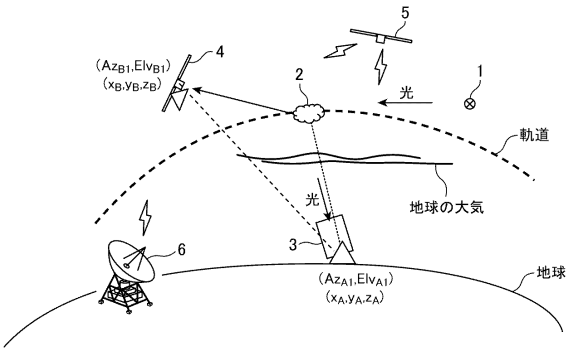
【図１１】



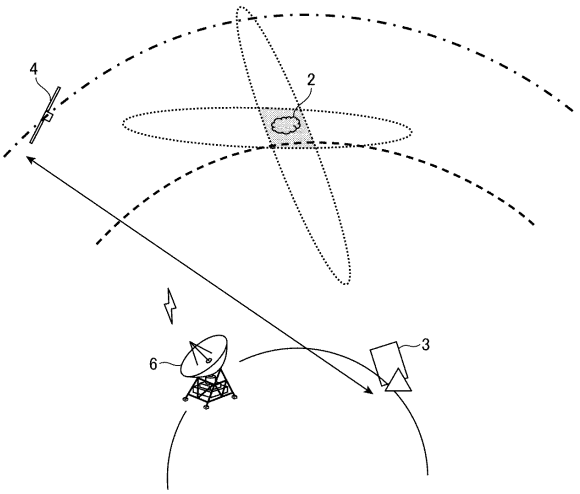
【図１２】



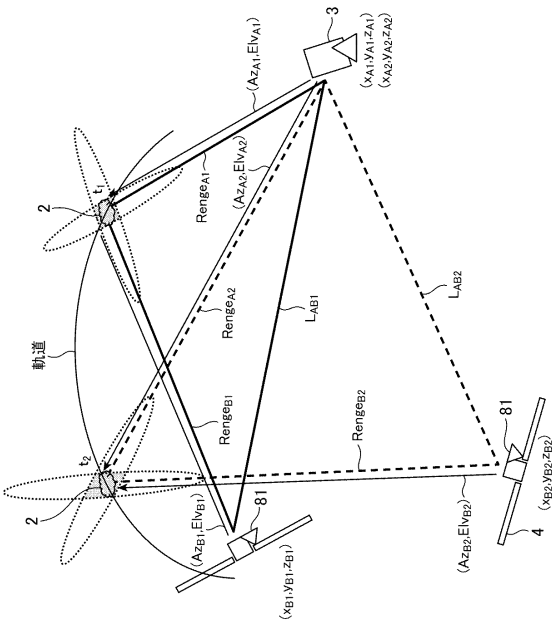
【図１３】



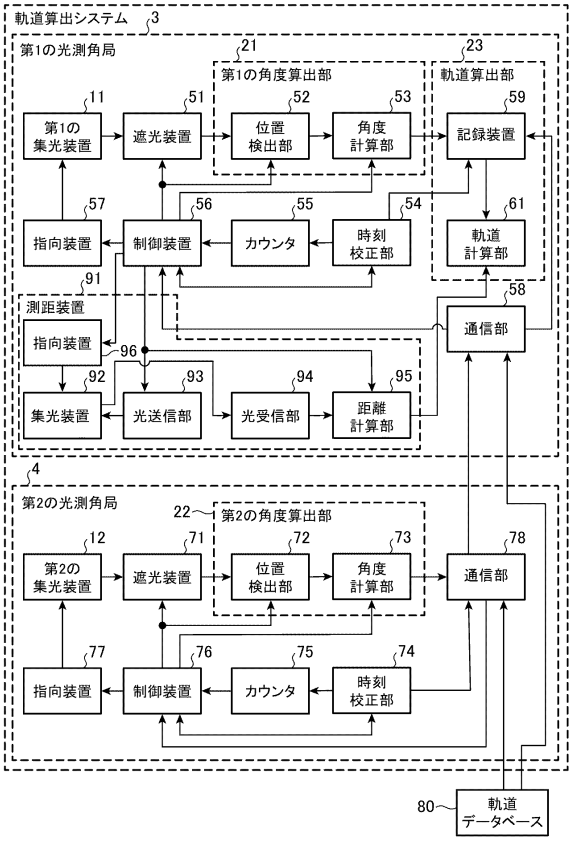
【図１４】



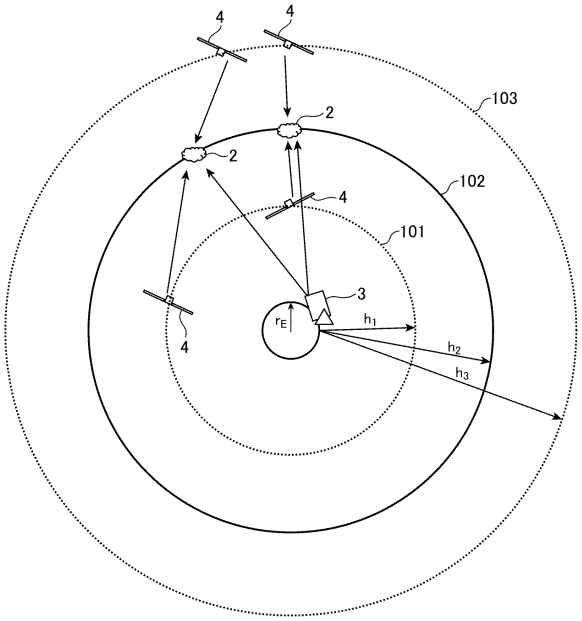
【図１５】



【図１６】



【図１７】



フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内

審査官 山▲崎▼ 和子

(56)参考文献 米国特許出願公開第２０１６／００４１２６６（ＵＳ，Ａ１）
米国特許第４６２２４５８（ＵＳ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１３／０２６５２００（ＵＳ，Ａ１）
米国特許第５８１２２４７（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｃ １／００－１／１４
５／００－１５／１４
Ｇ０１Ｓ ７／４８－７／５１
１７／００－１７／９５