

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6219002号
(P6219002)

(45) 発行日 平成29年10月25日(2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日(2017.10.6)

(51) Int.Cl.		F I	
B 6 4 C 27/08	(2006.01)	B 6 4 C	27/08
B 6 4 C 39/02	(2006.01)	B 6 4 C	39/02
G 0 8 G 5/00	(2006.01)	G 0 8 G	5/00 A

請求項の数 11 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-534381 (P2017-534381)	(73) 特許権者	715001390 株式会社プロドローン 愛知県名古屋市中区新栄町二丁目4番地 坂種栄ビル16階
(86) (22) 出願日	平成28年8月3日(2016.8.3)	(74) 代理人	110002158 特許業務法人上野特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/072750	(72) 発明者	市原 和雄 愛知県名古屋市中区新栄町二丁目4番地 坂種栄ビル16階 株式会社プロドローン 内
(87) 国際公開番号	W02017/026337	(72) 発明者	菅木 紀代一 愛知県名古屋市中区新栄町二丁目4番地 坂種栄ビル16階 株式会社プロドローン 内
(87) 国際公開日	平成29年2月16日(2017.2.16)		
審査請求日	平成29年7月10日(2017.7.10)		
(31) 優先権主張番号	特願2015-157720 (P2015-157720)		
(32) 優先日	平成27年8月7日(2015.8.7)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2015-225922 (P2015-225922)		
(32) 優先日	平成27年11月18日(2015.11.18)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 飛行制御装置およびこれを備える無人航空機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

無人航空機の機体に搭載される飛行制御装置であって、
別体からなる主制御装置および副制御装置を備え、
前記主制御装置は中央処理装置とパルス幅変調器とを有しており、
前記中央処理装置と前記パルス幅変調器とは前記副制御装置を介して接続されており、
前記副制御装置は、前記機体の通常飛行時は、前記中央処理装置の制御信号を前記パルス幅変調器へ転送し、前記主制御装置による前記機体の制御処理に割り込むときには、前記中央処理装置からの制御信号を遮断して前記パルス幅変調器に直接制御信号を送出することを特徴とする飛行制御装置。

【請求項2】

前記副制御装置による不正な割り込みを遮断する回路である暴走検出手段をさらに備え、
前記副制御装置は、前記暴走検出手段に対して予め定められた処理を実行した後でなければ、前記主制御装置による前記機体の制御処理へ割り込むことができないことを特徴とする請求項1に記載の飛行制御装置。

【請求項3】

前記暴走検出手段は順序回路を備え、
前記副制御装置は、前記順序回路の出力を予め定められた順序かつ予め定められたタイミングで切り替えることにより、前記主制御装置による前記機体の制御処理への割り込み

が可能となることを特徴とする請求項 2 に記載の飛行制御装置。

【請求項 4】

前記主制御装置および前記副制御装置はそれぞれ、前記機体の空中における飛行位置を取得する別個の現在位置取得手段を有しており、別個の電力供給源に接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の飛行制御装置。

【請求項 5】

前記無人航空機の通常飛行時における前記機体の姿勢や飛行動作を制御する飛行制御手段と、

前記機体の空中における飛行位置を取得する現在位置取得手段と、

前記機体の飛行が許容される空間である飛行エリアを区画する情報が登録される飛行エリア記憶手段と、 10

前記飛行エリアから前記機体が逸脱することを防止する逸脱防止手段と、を備え、

前記主制御装置は前記飛行制御手段を有しており、

前記副制御装置は前記飛行エリア記憶手段と前記逸脱防止手段とを有しており、

前記逸脱防止手段は、予め定められた条件に基づいて、前記機体を強制的に飛行不能にすることを特徴とする請求項 1 に記載の飛行制御装置。

【請求項 6】

前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときに、前記機体からパラシュートを射出させることを特徴とする請求項 5 に記載の飛行制御装置。

【請求項 7】 20

前記パラシュートは、前記機体を、そのホバリング時における姿勢から鉛直方向に略 90 度傾けて吊支することを特徴とする請求項 6 に記載の飛行制御装置。

【請求項 8】

前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときには、前記機体の揚力発生装置を構成する信号線もしくは電力線を電気的もしくは機械的に切断し、または、該揚力発生装置の少なくとも一部を前記機体から物理的に切り離すことを特徴とする請求項 5 に記載の飛行制御装置。

【請求項 9】

請求項 5 に記載の飛行制御装置と、

複数の DC モータおよびその各出力軸に取り付けられた回転翼により構成される複数の 30
ローターと、

を備えることを特徴とする無人航空機。

【請求項 10】

前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に着陸させるときには、前記機体が地上から 3 m 以下の所定の高度になったときに、前記複数のローターの回転を停止し、前記機体を落下させることを特徴とする請求項 9 に記載の無人航空機。

【請求項 11】

前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときには、前記機体の進行方向に対して後方側に配置された前記ローターを先に切り離し、一定時間後に他の前記ローターを切り離すことを特徴とする請求項 9 に記載の無人航空機。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は飛行制御装置およびこれを備える無人航空機に関し、さらに詳しくは、予め定められた飛行許容エリアから無人航空機が逸脱することを防止する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、産業用無人ヘリコプターに代表される小型の無人航空機 (UAV) は、機体が高価で入手困難なうえ、安定して飛行させるためには操縦に熟練が必要とされるものであ 50

た。しかし近年、加速度センサや角速度センサなどの機体部品の高性能化および低価格化が進み、また、機体の制御操作の多くが自動化されたことでその操作性も飛躍的に向上した。こうした背景から現在、特に小型のマルチコプターについては、趣味目的だけでなく、広範な分野における種々のミッションへの応用が試行されている。

【0003】

また、所定の地理的領域に仮想的な境界線を設け、かかる領域に移動体などが出入りしたことを検知して関係者にその旨を通知する技術が知られている。このような技術の実用例としては、いわゆるジオフェンス (Geofence) などがある。マルチコプターについても、手動による操縦時や自律飛行時において、侵入が禁止されている区域の中にマルチコプターが入り込んでしまうことを防ぐため、上記のような仕組みを用いてマルチコプターの飛行エリアを制限することがある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許5573949号公報

【特許文献2】特開2015-014500号公報

【特許文献3】特開2006-064550号公報

【特許文献4】特開2002-274495号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0005】

上記特許文献の技術やジオフェンスの仕組みなどを応用することにより、理論上マルチコプターの飛行エリアを所望の範囲に制限することができる。しかし、それはあくまでマルチコプターの飛行環境や各機構の動作が正常なときに機能するものであり、例えばマルチコプターがその飛行位置を検知不能となった場合、マルチコプターがその推力以上の強風に継続的にあおられた場合、プロペラの一部が故障した場合、または手動操縦時において操縦者との通信が長時間にわたり途絶えた場合など、異常状態にあるマルチコプターが飛行エリアの外へ飛去することを阻止し得るものではない。

【0006】

上記問題に鑑み、本発明が解決しようとする課題は、予め定められた飛行許容エリアから無人航空機が逸脱することを防止し、さらに、無人航空機の飛行環境や各機構の動作に異常がある場合でも、飛行許容エリアからの逸脱を強制的に阻止可能な飛行制御装置およびこれを備える無人航空機を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するため、本発明の飛行制御装置は、無人航空機の通常飛行時における機体の姿勢や飛行動作を制御する飛行制御手段と、前記機体の空中における飛行位置を取得する現在位置取得手段と、前記機体の飛行が許容される空間である飛行エリアを区画する情報が登録される飛行エリア記憶手段と、前記飛行エリアから前記機体が逸脱することを防止する逸脱防止手段と、を備え、前記逸脱防止手段は、予め定められた条件に基づいて、前記機体を強制的に飛行不能にすることを特徴とする。このとき、前記逸脱防止手段は、予め定められた条件に基づいて、前記機体を強制的に着陸または墜落させることが好ましい。さらに、前記逸脱防止手段は、前記現在位置取得手段が前記機体の飛行位置を取得不能になったとき、または、前記現在位置取得手段により取得した前記機体の飛行位置が、前記飛行エリアとその外部との境界近傍にあるとき、もしくは前記飛行エリア外にあるときに、前記機体を強制的に着陸または墜落させることが好ましい。

40

【0008】

無人飛行機が上記逸脱防止手段を備えることで、例えば、無人飛行機の機体部品の故障や、強風などの環境的影響により、無人飛行機が飛行エリア外に飛去する徴候が検出された場合でも、機体が強制的に飛行不能状態にされるため、飛行エリアから離れた場所での

50

事故を未然に防ぐことができる。これにより、異常事態発生時の最悪シナリオにおける被害を、無人飛行機の喪失や破損という経済的損失の範疇に収めることができ、無人飛行機による事故リスクをコントロール下におくことが可能となる。

【 0 0 0 9 】

また、前記逸脱防止手段は、前記現在位置取得手段が前記機体の飛行位置を継続的に取得不能である時間、前記飛行エリアの境界と前記機体との相対的な位置関係、または、その位置関係における継続飛行時間に応じて、前記機体に対して、(1)前記機体の操縦者への警告、(2)前記飛行エリアへの前記機体の引き戻し操作、(3)前記機体のホバリングまたは旋回飛行、(4)前記機体の着陸操作、および(5)前記機体の墜落操作からなる逸脱防止操作のうち、少なくとも(4)または(5)を含む逸脱防止操作を段階的に実行可能であることが好ましい。

10

【 0 0 1 0 】

逸脱防止手段が、無人航空機の飛行エリアからの逸脱度合に応じて、段階的に無人航空機を飛行不能状態に移行させることにより、無人航空機の飛行ルートに異常が認められた場合でも、軽微な異常の場合には飛行位置を自動的に補正して航行を継続させ、飛行位置の修復が不可能な状況に陥った場合にのみ無人航空機を飛行不能状態にさせることが可能となる。これにより、無人航空機の異常に対してより柔軟に対処することが可能となる。

【 0 0 1 1 】

また、別体からなる主制御装置および副制御装置をさらに備え、前記主制御装置は前記飛行制御手段を有しており、前記副制御装置は前記飛行エリア記憶手段と前記逸脱防止手段とを有しており、前記副制御装置は、前記主制御装置による前記機体の制御処理に割り込み可能である構成としてもよい。

20

【 0 0 1 2 】

無人航空機の通常飛行時における飛行動作を制御する主制御装置とは別に、逸脱防止手段の実行専用の副制御装置を備えることにより、例えば過負荷に起因する主制御装置の熱暴走などにより主制御装置がハングアップした場合でも、通常飛行時における負荷の低い副制御装置により機体を確実に飛行不能状態に移行させることが可能となる。

【 0 0 1 3 】

また、前記主制御装置は中央処理装置とパルス幅変調器とを有しており、前記中央処理装置と前記パルス幅変調器とは前記副制御装置を介して接続されており、前記副制御装置は、前記機体の通常飛行時は、前記中央処理装置から前記パルス幅変調器への制御信号をそのまま通過させ、前記主制御装置による前記機体の制御処理に割り込むときには、前記中央処理装置からの制御信号を遮断して前記パルス幅変調器に直接制御信号を送出する構成とすることが好ましい。

30

【 0 0 1 4 】

パルス幅変調器を備える飛行制御装置では、市販のどのような飛行制御装置であっても、中央処理装置とパルス幅変調器との間の通信方式は概ね一致している。そのため、上記構成とすることにより、広く一般に流通している飛行制御装置を用いて、低コストかつ短時間で本発明の逸脱防止手段を備えた飛行制御装置を製造することが可能となる。さらに、例えば機体の墜落を招く操作指示など、通常では避けるべき操作指示は、市販の飛行制御装置に予め用意されたアクセス手段からでは安全機構が作用して受理されないことがある。そこで、飛行制御装置の中央処理装置を経由せず直接パルス幅変調器に逸脱防止手段の制御信号を送出することにより、上で述べた機体の墜落操作などを含むあらゆる制御が可能となる。

40

【 0 0 1 5 】

また、前記副制御装置による不正な割り込みを遮断する回路である暴走検出手段をさらに備え、前記副制御装置は、前記暴走検出手段に対して予め定められた処理を実行した後でなければ、前記主制御装置による前記機体の制御処理へ割り込むことができないことが好ましい。

【 0 0 1 6 】

50

特に、前記暴走検出手段は順序回路を備え、前記副制御装置は、前記順序回路を予め定められた順序かつ予め定められたタイミングで操作することにより、前記主制御装置による前記機体の制御処理への割り込みが可能となることが好ましい。

【0017】

副制御装置による逸脱防止手段の実行は、主制御装置の機体制御の無効化や機体の墜落など、無人航空機の飛行動作に対して著しい影響を及ぼすものである。そのため、主制御装置による機体の制御が副制御装置の暴走で不正に奪われてしまうことを未然に防ぐ必要がある。飛行制御装置が暴走検出手段を備え、副制御装置が正しく動作できない場合には主制御装置の制御処理への割り込みができない構成とすることにより、副制御装置の暴走による意図しない逸脱防止手段の実行を防ぐことができる。

10

【0018】

また、前記主制御装置および前記副制御装置はそれぞれ、別個の前記現在位置取得手段を有しており、別個の電力供給源に接続されていることが好ましい。

【0019】

主制御装置と副制御装置が共通の電力供給源を使用している場合、その電力供給源が停止すると機体は墜落を免れない。また、主制御装置と副制御装置が現在位置取得手段を共有している場合、現在位置取得手段に異常が生じていることを検知することは困難である。主制御装置および副制御装置がそれぞれ別個の電力供給源および現在位置取得手段を備えることにより、各構成部品の故障に対する逸脱防止手段の信頼性を向上させることができる。

20

【0020】

また、前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときに、前記機体からパラシュートを射出させることが好ましい。

【0021】

無人航空機を墜落させる際にパラシュートを展開させることにより、機体や墜落地点の構造物などの損傷を低減させることができる。

【0022】

また、前記パラシュートは、前記機体を、そのホバリング時における姿勢から鉛直方向に略90度傾けて吊支することが好ましい。

【0023】

例えば無人航空機が高価な機材をその下部に支持しているときに、無人航空機の機体を墜落時におけるクッションとすることにより、その機材の損傷を低減することができる。

30

【0024】

また、前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときには、前記機体の揚力発生装置を構成する信号線もしくは電力線を電気的もしくは機械的に切断し、または、該揚力発生装置の少なくとも一部を前記機体から物理的に切り離す構成としてもよい。

【0025】

無人航空機の飛行ルートに異常が認められ、飛行位置の修復が不可能な状況に陥った場合においては、機体の電子的な制御が必ずしも正しく機能するとは限らない。逸脱防止手段により無人航空機を墜落させるときには、機体の一部を物理的に破壊し、揚力の発生を必然的に止める構成とすることにより、確実に機体を墜落させることが可能となる。

40

【0026】

上記課題を解決するため、本発明の無人航空機は、本発明の飛行制御装置と、複数のDCモータおよびその各出力軸に取り付けられた回転翼により構成される複数のローターと、を備えることを特徴とする。

【0027】

本発明の飛行制御装置は、無人航空機であるマルチコプターへの適用に好適である。

【0028】

また、前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に着陸させるときには、前記機体が地上から3m以下の所定の高度になったときに、前記複数のローターの回転を停止し、前記機

50

体を落下させることが好ましい。

【 0 0 2 9 】

マルチコプターを着陸させる際には、その着陸時における降下速度は可能な限り落とすべきである。一方、マルチコプターの回転翼は鋭利であり、例えば機体の着陸地点に構造物などがある場合、回転翼がこれを著しく損傷させるおそれがある。また、着陸地点に歩行者があるケースも想定し、その被害を最小限に抑える対策を講じておく必要がある。マルチコプターを着陸させる際に、人間の身長程度の高度までは可能な限り降下速度を落とし、その後回転翼を停止して機体を落下させることにより、これらの両立を図ることが可能となる。

【 0 0 3 0 】

また、前記逸脱防止手段は、前記機体を強制的に墜落させるときには、前記機体の進行方向に対して後方側に配置された前記ローターを先に切り離し、一定時間後に他の前記ローターを切り離す構成としてもよい。

【 0 0 3 1 】

マルチコプターの進行方向に対して後方にあたる回転翼を先に切り離すことにより、機体に一時的にブレーキがかかった状態となり、飛行エリア外へのマルチコプターの逸脱距離を縮めることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 2 】

以上のように、本発明にかかる飛行制御装置およびこれを備える無人航空機によれば、予め定められた飛行許容エリアから無人航空機が逸脱することを防止することができ、さらに、無人航空機の飛行環境や各機構の動作に異常がある場合でも、飛行許容エリアからの無人航空機の逸脱を強制的に阻止することが可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 3 】

【 図 1 】 第 1 実施形態にかかるマルチコプターの概略構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 副制御装置の R A M / R O M に登録された飛行エリアの一例を示す図である。

【 図 3 】 第 1 実施形態の逸脱防止手段による逸脱防止操作を示すフローチャートである。

【 図 4 】 第 2 実施形態にかかるマルチコプターの概略構成を示すブロック図である。

【 図 5 】 第 2 実施形態の逸脱防止手段による逸脱防止操作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 】

【 0 0 3 4 】

以下、本発明にかかる飛行制御装置およびこれを備える無人航空機の実施形態について図面を用いて説明する。

【 0 0 3 5 】

< 第 1 実施形態 >

[構成概要]

図 1 は本実施形態にかかるマルチコプター 9 0 (無人航空機) の機能構成を示すブロック図である。マルチコプター 9 0 は、その筐体 C、筐体 C に配設されたフライトコントローラ F C (飛行制御装置)、複数のローター R、ローター R ごとに備えられた E S C 9 1 (Electric Speed Controller) (モータ制御器)、および電力供給源であるバッテリー 2 9、3 9 により構成されている。各ローター R は、D C モータ 9 2、および、その出力軸に取り付けられたブレード 9 3 (回転翼) により構成されている。E S C 9 1 はローター R の D C モータ 9 2 に接続されており、フライトコントローラ F C から指示された速度で D C モータ 9 2 を回転させる装置である。

【 0 0 3 6 】

フライトコントローラ F C は、通常飛行時におけるマルチコプター 9 0 の姿勢やその飛行動作を制御する主制御装置 2 0 と、主制御装置 2 0 とは別体の副制御装置 3 0 とを備えている。主制御装置 2 0 および副制御装置 3 0 はいずれもマイクロコントローラであり、それぞれ中央処理装置である C P U 2 1、3 1 および記憶装置である R A M / R O M 2 2

10

20

30

40

50

、32を備えている。尚、本発明における「通常飛行時」とは、後述する逸脱防止プログラム321による機体の逸脱防止操作が実行されていない状態を意味している。

【0037】

主制御装置20および副制御装置30は、それぞれ別個のバッテリー29、39、センサ群25、35、およびGPS受信器26、36を備えている。センサ群25、35にはそれぞれ、加速度センサ、角速度センサ、気圧センサ（高度センサ）、地磁気センサ（方位センサ）が含まれている。主制御装置20および副制御装置30は、これらセンサ群25、35およびGPS受信器26、36（以下、「センサ等」ともいう。）（現在位置取得手段）により、マルチコプター90の飛行時における機体の緯度・経度、および高度からなる現在位置をそれぞれ独自に取得可能とされている。

10

【0038】

主制御装置20および副制御装置30が共通のバッテリーを使用している場合、そのバッテリーが故障するとマルチコプター90は墜落を免れない。また、主制御装置20および副制御装置30がセンサ等を共有している場合、センサ等に異常が生じていることを検知することは困難である。本実施形態におけるフライトコントローラFCは、主制御装置20および副制御装置30がそれぞれ別個のバッテリー29、39、センサ群25、35、およびGPS受信器26、36を備えていることにより、構成部品の故障に対する信頼性が高められている。

【0039】

尚、本実施形態におけるマルチコプター90は、その現在位置取得手段としてセンサ群25、35およびGPS受信器26、36を用いているが、本発明の現在位置取得手段はこれらには限定されない。例えばBluetooth（登録商標）Low Energyの近接プロファイルに対応したビーコンを大規模な施設内に所定間隔で配置し、これらビーコンとの相対的な距離を計測することでその施設内におけるマルチコプター90の現在位置を特定してもよい。また、本実施形態におけるマルチコプター90は、その飛行高度を気圧センサにより取得することを想定しているが、気圧センサ以外にも、例えば赤外線、超音波、またはレーザーなど種々の方式を用いた測距センサを地表に向けることで高度を取得することも可能である。さらには、このような測距センサで自機の周囲をスキャンすることで地理的特徴を検出し（または、カメラにより撮影した自機周囲の映像から画像認識により地理的特徴を検出し）、予め登録しておいた飛行ルートにおける地理的特徴の情報に照合して、自機の大きな現在位置を特定してもよい。

20

30

【0040】

主制御装置20のRAM/ROM22には、マルチコプター90の通常飛行時における飛行制御手段である通常飛行プログラム221が記憶されている。通常飛行プログラム221は、操縦者の指示に従い、センサ等から取得した現在位置を基に各ローターRの回転数を調節し、機体の姿勢や位置の乱れを補正しながらマルチコプター90を飛行させる。マルチコプター90の操縦は、通信装置50を介して操縦者が手動で行ってもよく、または、緯度・経度、飛行ルート、飛行高度、飛行速度などのパラメータを自律飛行指示222として予め通常飛行プログラム221に登録しておき、自律的に目的地へ飛行させてもよい。

40

【0041】

[機体制御割り込み構造]

副制御装置30のRAM/ROM32（飛行エリア記憶手段）には、マルチコプター90の飛行が許容される空間である飛行エリアAを区画する情報である飛行エリア情報322が登録されている。本実施形態において「飛行エリアAを区画する情報」とは、具体的には飛行エリアAの緯度・経度の最小値および最大値と、高度の最小値および最大値である。かかる情報には、後述する飛行エリアAとその外部との境界近傍Bを区画する緯度・経度の最小値および最大値と、高度の最小値および最大値も含まれている。尚、飛行エリアAおよび境界近傍Bの形状は図2に示すような単純な立方形状には限定されない。緯度・経度および高度に相当する数値で領域を特定可能な形状であればどのような形状であっ

50

てもよい。また、RAM/ROM 32には、飛行エリアAからマルチコプター90が逸脱することを防止するプログラムである逸脱防止プログラム321が記憶されている。

【0042】

マルチコプター90が、その通常飛行時において機体を制御する主制御装置20とは別に、逸脱防止プログラム321の実行専用の副制御装置30を備えていることにより、例えば主制御装置20の過負荷による熱暴走や通常飛行プログラム221の検出困難なバグによるハングアップなどにより、マルチコプター90の飛行中に主制御装置20の機能が喪失した場合でも、通常飛行時における処理量の少ない副制御装置30が逸脱防止プログラム321の実行主体となることにより、逸脱防止プログラム321をより確実に実行することが可能とされている。

10

【0043】

主制御装置20はPWMコントローラ23(パルス幅変調器)を備えており、主制御装置20のCPU21およびPWMコントローラ23は、副制御装置30の割込回路40を経由して接続されている。本実施形態における割込回路40はワンチップマイコンにより構成されている。割込回路40の入力ポートには、CPU21のPWM信号線またはPWM信号の生成に必要な情報を送信する信号線(以下、これらの信号線を総称して「制御線」といい、PWM信号およびその生成に必要な情報を総称して「制御信号」という。)と、副制御装置30のCPU31の制御線とが接続されている。割込回路40の出力ポートにはPWMコントローラ23が接続されており、これにより主制御装置20のCPU21は、割込回路40を介してPWMコントローラ23に制御信号を送信することが可能とされている。割込回路40の実装形態は本実施形態におけるワンチップマイコンには限定されず、入力された信号の伝送路を所定の条件に基づいて動的に切り替え可能な機構であればその実装形態は問わない。また、割込回路40に入力される信号がPWM信号ではなくその生成に必要な情報である場合、かかる情報からPWM信号を生成するPWM信号生成ユニットを、割込回路40とPWMコントローラ23との間に設けてもよい。

20

【0044】

割込回路40は、マルチコプター90の通常飛行時においては、CPU21からの制御信号をPWMコントローラ23へ転送する。そして、割込回路40は、逸脱防止プログラム321により機体を制御する際には、CPU21からの制御信号を遮断して、逸脱防止プログラム321(CPU31)からの制御信号をPWMコントローラ23へ送出する。かかる伝送路の切り替えは割込回路40が備えるプログラムにより行われる。本発明における「副制御装置による割り込み」とは、上記のように、副制御装置が主制御装置の制御信号を遮断して、逸脱防止手段に基づく制御信号をPWMコントローラへ送出することを意味している。

30

【0045】

フライトコントローラのCPUおよびPWMコントローラ間の通信方式は、市販の多くのフライトコントローラにおいて概ね一致している。そのため、このCPUおよびPWMコントローラ間の通信を別体の副制御装置に迂回させ、かかる通信を副制御装置側で操作可能とすることにより、広く一般に流通しているフライトコントローラを利用して、低コストかつ短期間で本発明の逸脱防止手段を備えたフライトコントローラを製造することが可能とされている。

40

【0046】

さらに、一般的なフライトコントローラを用いる場合、例えば機体の墜落を招く操作指示など、不正な操作または誤操作であるとフライトコントローラに判断される可能性のある指示は、フライトコントローラに予め用意されたアクセス手段からでは安全機構が作用して受理されないことがある。本実施形態では、主制御装置20のCPU21を経由せず直接PWMコントローラ23に逸脱防止プログラム321の制御信号を送出する仕組みを実装していることにより、マルチコプター90の墜落操作を含むあらゆる機体制御を、安全機構に阻まれることなく実行することが可能とされている。

【0047】

50

[逸脱防止操作]

図2は副制御装置30のRAM/ROM32に登録された飛行エリアAの一例を示す図である。透過表示された立方形状の層のうち、実線で示された外側の層が飛行エリアAである。飛行エリアAは10進数表記における緯度および経度の範囲が[35.nnn050, 136.nnn050]~[35.nnn550, 136.nnn550]、高度の範囲が10m~25mである。飛行エリアAの内側に破線で示された層は、飛行エリアAとその外部との境界近傍Bを示す層である。境界近傍Bの緯度および経度の範囲は[35.nnn100, 136.nnn100]~[35.nnn500, 136.nnn500]、高度の範囲は13m~22mである。尚、緯度および経度の値に用いられている「nnn」は任意の数値を表しており、緯度の最大値および最小値に含まれる「nnn」、経度の最大値および最小値に含まれる「nnn」はそれぞれ同じ値である。

10

【0048】

図3は逸脱防止プログラム321による逸脱防止操作の実行条件を示すフローチャートである。フライトコントローラFCは逸脱防止プログラム321を周期的に実行する。本実施形態における副制御装置30は、センサ群35およびGPS受信器36を用いてマルチコプター90の空中における飛行位置(以下、「現在位置」ともいう。)を取得する(S100)。

【0049】

S100で取得した現在位置が境界近傍Bよりも内側にあるときは、何ら異常はないものとして処理を終了する(S110:Y)。現在位置が境界近傍Bよりも外側にあるが(S110:N)、飛行エリアAの内側にあるとき(S120:N)は、逸脱防止プログラム321は、通信装置50からその旨を操縦者へ通知((1)機体の操縦者への警告)(S130)し、その回の処理を終了する。

20

【0050】

現在位置が飛行エリアAよりも外側にあるが(S120:Y)、飛行エリアAから10m未満の距離にあるとき(S200:N)は、逸脱防止プログラム321は、マルチコプター90の引き戻し操作((2)飛行エリアへの機体の引き戻し操作)(S220)を試みる。尚、「引き戻し操作」とは、逸脱防止プログラム321が副制御装置30のセンサ群35およびGPS受信器36を用いて現在位置をモニタしながら、マルチコプター90を飛行エリアAの境界近傍Bよりも内側に復帰させる操作である。このため、副制御装置30は、通常飛行プログラム221の機能のうち、マルチコプター90の引き戻し操作に必要な自律飛行機能を少なくとも備えている必要がある。ここで、例えば通信装置50に操縦者からの操縦信号が継続的に送られてきているような場合には、副制御装置30は主制御装置20の制御処理への割り込みを行わず、復帰動作を操縦者に委ねるという分岐条件を設けてもよい。

30

【0051】

引き戻し操作によりマルチコプター90が境界近傍Bの内側に復帰した場合(S230:Y)、逸脱防止プログラム321はその旨を操縦者へ通知(S130)してその回の処理を終了する。

【0052】

マルチコプター90が飛行エリアAから10m以上離れたとき(S200:Y)、または引き戻し操作を行っても15秒以上にわたってマルチコプター90を境界近傍Bの内側に引き戻すことができない場合(S210:Y)、逸脱防止プログラム321はマルチコプター90の着陸操作を試みる((4)機体の着陸操作)(S300)。着陸操作が成功した場合(S310:Y)、逸脱防止プログラム321はその旨を操縦者へ通知(S130)して処理を終了する。

40

【0053】

本発明における「着陸操作」とはマルチコプター90を地上まで徐々に降下させることであるが、本実施形態における逸脱防止プログラム321は、マルチコプター90が地上から3mの高度になったときに機体を一度ホバリングさせて降下速度を落とし、その後口

50

ーターRの回転を停止させて機体を落下させる。マルチコプター90を着陸させる際には、その着陸時における降下速度は可能な限り減速すべきである。一方、マルチコプター90のブレード93は鋭利であり、例えばマルチコプター90の着陸地点に構造物などがある場合、ブレード93がこれを損傷させるおそれがある。また、着陸地点に歩行者がある万が一のケースも想定し（通常は歩行者のいない飛行ルートを設定する）、その被害を最小限に抑える対策を講じておく必要がある。本実施形態の逸脱防止プログラム321は、マルチコプター90を着陸させる際に、人間の身長の高さに至る前の高度（3m）で、降下速度を可能な限り減速し、その後ブレード93を停止して機体を落下させることにより、これらの両立を図っている。尚、例えば赤外線、超音波、またはレーザーなど種々の方式を用いた測距センサにより鉛直下方の障害物をスキャンし、障害物や歩行者のない平坦な場所であることが確認できている場合には、ローターRを停止させることなく着陸させてもよい。

10

【0054】

着陸操作が成功しないとき（S310：N）は、逸脱防止プログラム321は墜落操作（（5）機体の墜落操作）（S320）を行い、同時にその旨を操縦者へ通知（S130）する。尚、「墜落操作」とは、全てのローターRを停止させて機体を地上に落下させる操作である。ここで、例えば図示しないパラシュート射出装置など、機体の落下速度を緩和する機構をマルチコプター90に備えておき、墜落操作の際にはそのパラシュートを展開する構成とすることが望ましい。

【0055】

20

このように、逸脱防止プログラム321が、マルチコプター90の操縦者への警告や、マルチコプター90の飛行エリアA内への引き戻し制御のみならず、その逸脱度合に応じて、機体を着陸させ、さらには墜落させることにより、機体が飛行エリアAから離れていくことを強制的に阻止することが可能とされている。例えば、マルチコプター90の機体部品の故障や、強風などの環境的影響により、マルチコプター90が飛行エリアA外に飛去する徴候が検出された場合でも、上記着陸操作または墜落操作により機体が強制的に飛行不能状態に移行されるため、飛行エリアAから離れた場所での事故を未然に防ぐことができる。これにより、異常事態発生時の最悪シナリオにおける被害を、マルチコプター90の喪失や破損という経済的損失の範疇に収めることができ、マルチコプター90による事故リスクをコントロール下におくことが可能とされている。尚、図3に示されるような各逸脱防止操作の実行条件は一例であり、各逸脱防止操作をどのような条件で実行させるかは適宜好適な条件を定めることができる。

30

【0056】

[暴走防止機構]

上でも述べたように、副制御装置30は、主制御装置20によるマルチコプター90の制御処理に割り込んで逸脱防止プログラム321を実行する。

【0057】

割込回路40は、副制御装置30による不正な割り込みを遮断する回路である暴走検出プログラム41（暴走検出手段）をさらに備えている。副制御装置30は、暴走検出プログラム41に対して予め定められた処理を実行した後でなければ、マルチコプター90の制御処理へ割り込むことができない。

40

【0058】

具体的には、暴走検出プログラム41はフリップフロップ回路からなる順序回路411を備えており、副制御装置30は、順序回路411の出力を予め定められた順序かつ予め定められたタイミングで切り替えることにより、マルチコプター90の制御処理への割り込みが可能となる。

【0059】

以下にその実装の一例を説明する。副制御装置30のCPU31と割込回路40との間には2本の制御線が設けられている。これら2本の制御線の信号は順序回路411にも入力される。通常これらの制御線はともにLステート（信号電圧が0Vの状態）に保たれて

50

いる。副制御装置 30 が割り込みを行なうときには、CPU 31 はまず一本目の制御線を H ステート（信号電圧が電源電圧に等しい状態）にする。暴走検出プログラム 41 はこれをトリガーとして内部タイマーを起動し、カウントを開始する。次に CPU 31 は、一本目の制御線を H ステートにしてから 50 msec 後に、二本目の制御線を H ステートにする。暴走検出プログラム 41 は二本目の制御線が H ステートになったことを検出すると、その時点における内部タイマーのカウントが 40 msec 以上 60 msec 以下であることを確認し、割り込みを許可する準備段階に移行するとともに、内部タイマーをリセットしてカウントをリスタートする。次に CPU 31 は、二本目の制御線を H ステートにしてから 100 msec 後に、一本目の制御線を L ステートに戻す。暴走検出プログラム 41 は一本目の制御線が L ステートとなったことを検出すると、リスタートした内部タイマーのカウントが 90 msec 以上 110 msec 以下であることを確認する。ここまでの手順でエラーが生じていないときは、暴走検出プログラム 41 は副制御装置 30 の動作に異常はないものと判断し、副制御装置 30（逸脱防止プログラム 321）による割り込みを許可する。その後、逸脱防止プログラム 321 の制御信号は二本目の制御線を使って割込回路 40 に入力される。逸脱防止プログラム 321 が一連の逸脱防止操作を終えたときには、一本目の制御線が一度 H ステートになりその後 L ステートに戻る。割込回路 40 はこの合図により逸脱防止操作の完了を検知し、副制御装置 30 による割り込みを遮断するとともに、主制御装置 20 からの制御信号の転送を再開する。

【0060】

このように二本の制御線の状態を、予め定められた順序かつ予め定められたタイミングで切り替えることで初めて副制御装置 30 の割り込みが可能となるため、副制御装置 30 が正常な状態にない場合には、副制御装置 30 による割り込みは阻止される。なお、最初の切り替えタイミングを 50 msec、次の切り替えタイミングを 100 msec と、その時間を変えていることにより、周期的なノイズによる影響を避けることができる。また、タイマーを数十 msec の単位とすることにより、スパイクノイズ（瞬間的な強いパルス性のノイズ）による誤動作が防止されている。

【0061】

副制御装置 30 による逸脱防止プログラム 321 の実行は、主制御装置 20 の機体制御の無効化や機体の墜落など、マルチコプター 90 の飛行に対して著しい影響を及ぼすものである。そのため、主制御装置 20 による機体の制御が副制御装置 30 の暴走で不正に奪われてしまうことを防ぐ必要がある。本実施形態におけるフライトコントローラ FC は暴走検出プログラム 41 を備えていることにより、副制御装置 30 の暴走による意図しない逸脱防止プログラム 321 の実行を防止することが可能とされている。

【0062】

尚、本実施形態においては、すべての逸脱防止操作を副制御装置 30 が主制御装置 20 の制御処理に割り込むことで実行しているが、逸脱防止操作の実行主体は必ずしも副制御装置 30 である必要はない。例えば、逸脱防止プログラム 321 の機能と飛行エリア情報 32 のデータを主制御装置 20 と共有し、マルチコプター 90 の着陸操作および墜落操作以外の操作については、副制御装置 30 による割り込みを行うことなく、副制御装置 30 からの指示を受けて主制御装置 20 が実行する構成としてもよい。

【0063】

< 第 2 実施形態 >

[構成概要]

以下に、本発明にかかる飛行制御装置およびこれを備える無人航空機の第 2 実施形態について図面を用いて説明する。図 4 は第 2 実施形態にかかるマルチコプター 90 b（無人航空機）の機能構成を示すブロック図である。図 5 はマルチコプター 90 b の逸脱防止プログラム 321 b（逸脱防止手段）による逸脱防止操作の実行条件を示すフローチャートである。なお、以下の説明では、先の実施形態と同一の機能を有する構成については、先の実施形態と同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。また、先の実施形態と基本的な機能が共通する構成については、先の実施形態の符号にサフィックス b を付し、その

10

20

30

40

50

基本的な機能についての説明を省略する。

【 0 0 6 4 】

本実施形態のマルチコプター 9 0 b は、第 1 実施形態のマルチコプター 9 0 のハードウェア構成から、副制御装置 3 0、ならびに、副制御装置 3 0 に付随するセンサ群 3 5、GPS 受信器 3 6、およびバッテリー 3 9 が省略されている。副制御装置 3 0 が省略されていることから、CPU 2 1 から PWM コントローラ 2 3 へ送信する制御信号について割込回路 4 0 への迂回が行われておらず、制御信号は CPU 2 1 から PWM コントローラ 2 3 へ直接送信される。また、第 1 実施形態において副制御装置 3 0 が備えていた逸脱防止プログラム 3 2 1 および飛行エリア情報 3 2 2 は、主制御装置 2 0 b の ROM / RAM 2 2 b (飛行エリア記憶手段) に登録されている。主制御装置 2 0 b の逸脱防止プログラム 3 2 1 b は通常飛行プログラム 2 2 1 よりも優先度が高く設定されており、マルチコプター 9 0 b においても、逸脱防止プログラム 3 2 1 b は通常飛行プログラム 2 2 1 に優先して実行される。

10

【 0 0 6 5 】

また、マルチコプター 9 0 b は、パラシュート P を展開し、ESC 9 1 への給電線 (電力線) E をバッテリー 2 9 から機械的に引き抜くアクチュエータ 6 1 を備えている。アクチュエータ 6 1 は主制御装置 2 0 b に接続されており、逸脱防止プログラム 3 2 1 b からの墜落操作 ((5) 機体の墜落操作)) 指示により作動する。ここで、パラシュート P は、マルチコプター 9 0 b の機体を、そのホバリング時における姿勢から鉛直方向に略 9 0 度傾けて吊支する。つまり、ローター R を支持するアームから地面に着地するようにマルチコプター 9 0 b の機体を吊支する。これにより、例えばマルチコプター 9 0 b が高価な機材をその下部に支持しているときであっても、マルチコプター 9 0 b の機体を墜落時におけるクッションとすることができ、その機材の損傷を低減することが可能とされている。

20

【 0 0 6 6 】

[逸脱防止操作]

以下に、逸脱防止プログラム 3 2 1 b によるマルチコプター 9 0 b の逸脱防止操作の流れについて説明する。フライトコントローラ F C b は逸脱防止プログラム 3 2 1 b を周期的に実行する。本実施形態におけるマルチコプター 9 0 b は、主制御装置 2 0 b のセンサ群 2 5 および GPS 受信器 2 6 を用いてマルチコプター 9 0 b の空中における飛行位置 (以下、「現在位置」ともいう。) を取得する (S 4 0 0) 。

30

【 0 0 6 7 】

S 4 0 0 における現在位置の取得が成功した場合 (S 4 1 0 : Y) は、その後は図 3 に示すフローチャートの S 1 1 0 以降の処理を行う。例えば電波障害や GPS 受信器 2 6 の故障などにより現在位置の取得が失敗した場合 (S 4 1 0 : N)、逸脱防止プログラム 3 2 1 b はマルチコプター 9 0 b をその場でホバリングさせる ((3) 機体のホバリングまたは旋回飛行) (S 5 0 0) 。

【 0 0 6 8 】

S 5 0 0 でホバリングを開始したマルチコプター 9 0 b は、ホバリングを継続しながら現在位置の取得を再試行し (S 5 2 0)、3 0 秒以内 (S 5 1 0 : N) に現在位置の取得が成功した場合 (S 5 3 0) には、図 3 に示すフローチャートの S 1 1 0 以降の処理を行う。ホバリングを開始してから 3 0 秒を経過しても現在位置が取得できない場合 (S 5 1 0 : Y) は、図 3 に示すフローチャートの S 3 0 0 以降の処理を行う。

40

【 0 0 6 9 】

逸脱防止プログラム 3 2 1 b は、現在位置の取得が 3 0 秒以内に成功しなかった場合には、マルチコプター 9 0 b の着陸操作を試みる ((4) 機体の着陸操作) (S 3 0 0) 。着陸操作が成功したとき (S 3 1 0 : Y) は、逸脱防止プログラム 3 2 1 b はその旨を操縦者へ通知 (S 1 3 0) して処理を終了する。

【 0 0 7 0 】

着陸操作が成功しないとき (S 3 1 0 : N) は、逸脱防止プログラム 3 2 1 b はアクチ

50

ューエータ61によりパラシュートPを展開し、また、ESC91への給電線Eをバッテリー29から引き抜いて機体を墜落させ((5)機体の墜落操作)(S320)、同時にその旨を操縦者へ通知(S130)する。

【0071】

マルチコプター90bの飛行ルートや現在位置取得機能に異常が認められ、その飛行位置の修復が不可能な状況に陥った場合には、機体の電子的な制御が必ずしも正しく機能するとは限らない。本実施形態では、逸脱防止プログラム321bがアクチュエータ61により機体の一部を物理的に破壊(給電線Eの脱抜)し、揚力の発生を必然的に止める構成とされていることにより、機体をより確実に墜落させることが可能とされている。

【0072】

尚、本実施形態においては、アクチュエータ61が主制御装置20b(逸脱防止プログラム321b)からの指示に基づいて機体の墜落操作を行う構成とされているが、マルチコプター90bを墜落させる態様は本実施形態の手段には限定されない。例えば、アクチュエータ61がウォッチドッグタイマーを備え、主制御装置20bからの定期的なウォッチドッグ操作が途絶えたときに自動的に給電線Eを引き抜くようにしたり、または、FETなどのスイッチング素子を用いてPWMコントローラ23とESC91間の信号線を切断状態にしたり、さらには、マルチコプター90bの揚力発生装置の一部を物理的に切り離すことにより墜落させてもよい。尚、本発明でいう「揚力発生装置」とは、無人航空機の機体を空中に浮上させるための必須構成全体を指している。

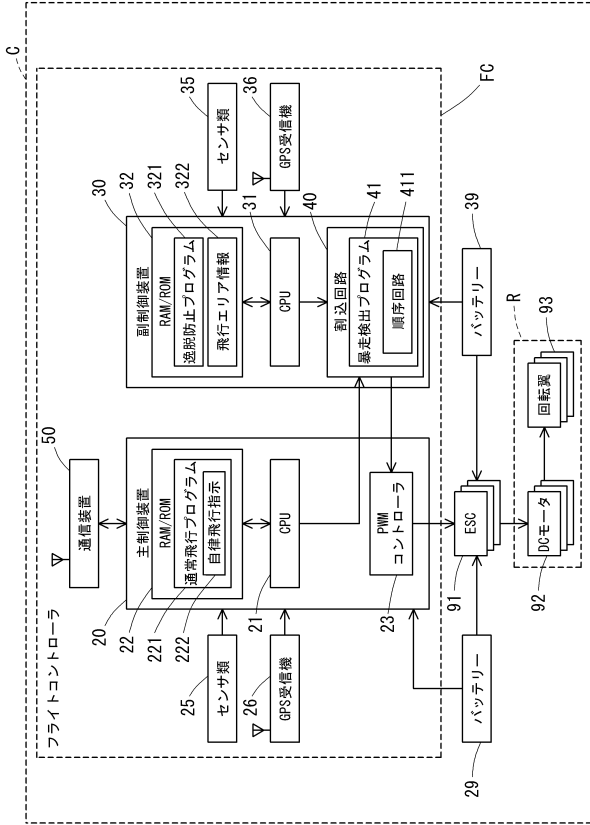
【0073】

一例として、マルチコプター90bからローターRを物理的に切り離して墜落させる場合、マルチコプター90bの進行方向に対して後方側に配置されたローターRを先に切り離し、一定時間後に他のローターRを切り離すことにより、機体に一時的にブレーキがかかった状態となり、飛行エリアA外へのマルチコプター90bの逸脱距離を縮めることができる。その他の例としては、マルチコプター90bからバッテリー29を物理的に切り離して墜落させる場合、バッテリー29とマルチコプター90bの機体とをワイヤで繋いでおき、バッテリー29を切り離した際にバッテリー29を機体に吊支する構成が考えられる。落下したバッテリー29に地上の突起物などが貫通した場合、バッテリー29の落下地点において火災が生じるおそれがある。バッテリー29を切り離しつつワイヤで機体に吊支し、機体をパラシュートで降下させることによりこのような火災を未然に防止することができる。

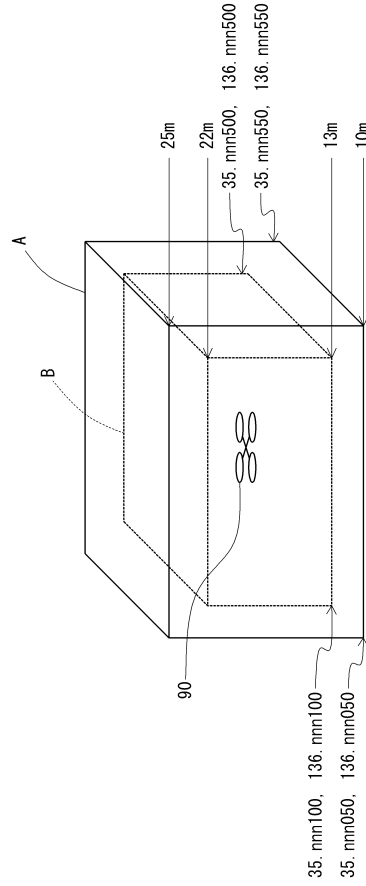
【0074】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の改変が可能である。例えば、本発明の無人航空機は回転翼機のみでなく、固定翼の無人航空機にも適用することが可能である。また、飛行位置の取得不能時における逸脱防止操作や、墜落操作時における揚力発生装置の機械的な切断は第2実施形態でのみ行われているが、第1実施形態にこれらの処理や構造を追加してもよい。同様に、第2実施形態のフライトコントローラFCbは主制御装置20bのみの構成とされているが、第1実施形態のように副制御装置や割り込み回路を備えていてもよい。

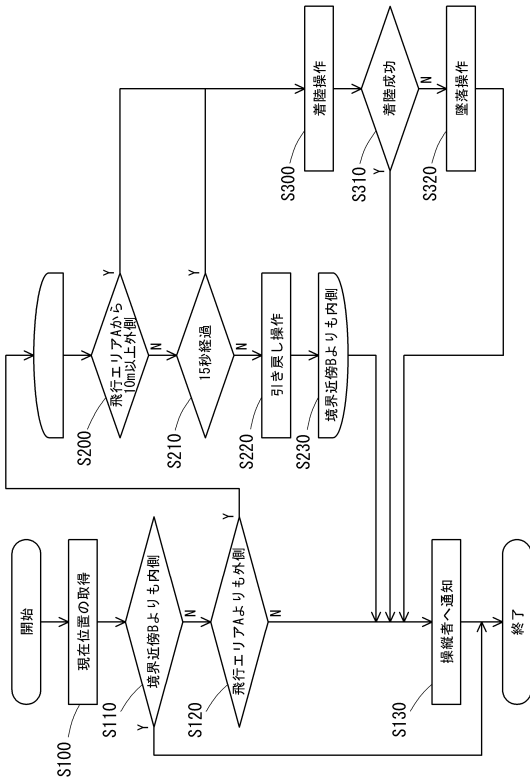
【図1】



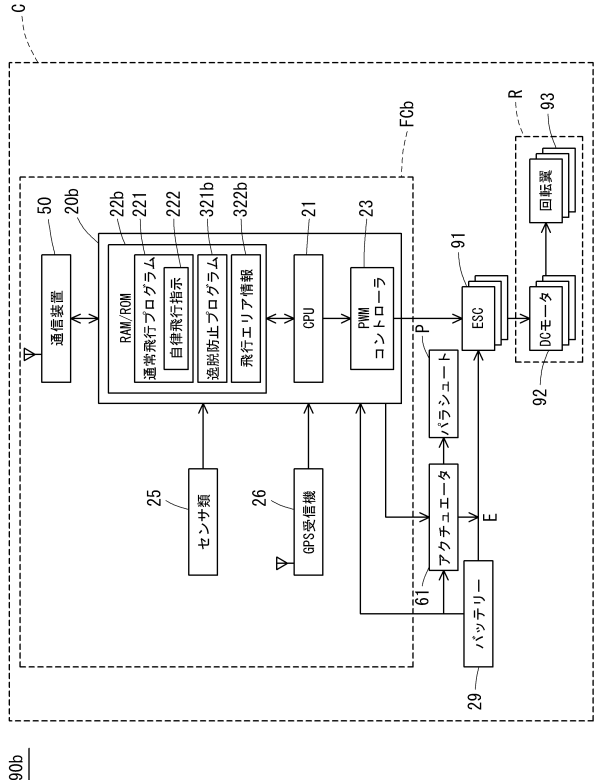
【図2】



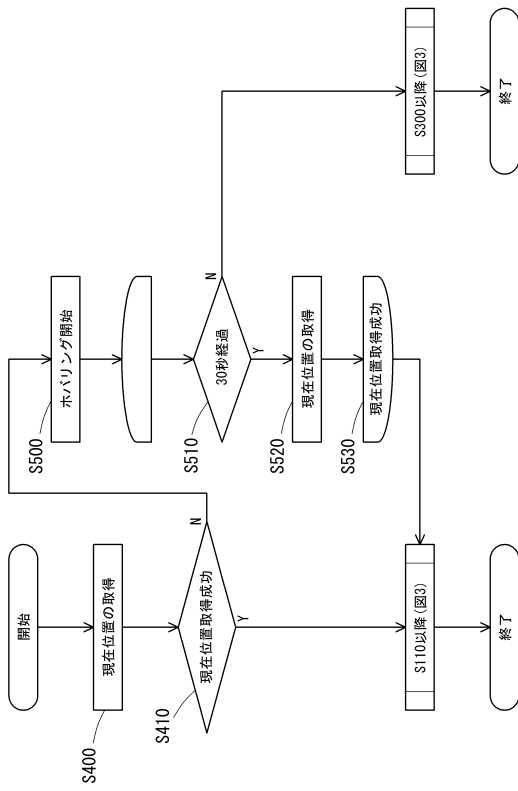
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

審査官 川村 健一

(56)参考文献 特開2014-227166(JP,A)
国際公開第2003/004352(WO,A1)
特開2007-237873(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B64C 27/08
B64C 39/02
G08G 5/00