

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「植生等地上観察用垂直離着陸型小型無人飛行システムの
簡易操作ソフトウェア開発」

成果報告書概要版

平成27年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人 中部科学技術センター

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

目 次

第1章 研究開発の概要	5
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	5
1-2 研究体制	5
1-3 研究成果概要	11
1-4 当該研究開発の連絡窓口	15
第2章 平成26年度研究成果	16
2-1 双発テールシッタ機の開発	16
2-1-1 全体システム計画展開	16
2-1-2 機体設計	16
2-1-3 機体製造	16
2-1-4 飛行制御則	17
2-1-5 ホバリング予備試験	20
2-1-6 飛行試験	24
2-1-7 垂直尾翼なし機体試験	30
2-2 多発ロータ機の開発	33
2-2-1 全体システム計画展開	33
2-2-2 飛行制御則	34
2-2-3 飛行試験	37
2-3 制御センサ開発	37
2-3-1 Tiny Feather 機能拡大利用の推進	37
2-4 各研究項目への取り組み	39
2-4-1 高利用性プラットフォーム制御則の構築検討	39
(1) テールシッタ機	
(2) 多発ロータ機	
2-4-2 システム自動作動ソフトウェアの高度化検討	39
2-4-3 安全で最適な任務飛行経路の自動生成検討	40
2-4-4 ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化検討	40
2-4-5 ハードウェア・インターフェースの標準化検討	43
2-4-6 地上システムの汎用化検討	43
2-4-7 フライト・シミュレータの開発検討	45

2-4-8	実装試験法の検討	45
2-4-9	段階的飛行試験の検討	45
2-4-10	実用化検討	45
2-4-11	まとめ	51
第3章 全体総括		52
3-1	これまでの研究開発成果	52
3-1-1	高利用性プラットフォーム制御則の構築検討	53
	(1) テールシッタ機	
	(2) 多発ロータ機	
3-1-2	システム自動作動ソフトウェアの高度化検討	55
3-1-3	安全で最適な任務飛行経路の自動生成検討	56
3-1-4	ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化検討	56
3-1-5	ハードウェア・インターフェースの標準化検討	57
3-1-6	地上システムの汎用化検討	57
3-1-7	フライト・シミュレータの開発検討	58
3-1-8	実装試験法の検討	59
3-1-9	段階的飛行試験の検討	59
3-1-10	全体成果まとめ	63
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	64
3-2-1	研究開発後課題	64
3-2-2	研究開発後の事業化展	65

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

小型無人飛行システムにおいては川下事業者のニーズとして科学観測用、災害監視用、農薬散布等の小型無人機が研究開発されているが、植生等の地上観測業務を安全・確実・容易に遂行可能で必要な情報を機動的に収集でき、東日本大震災のような事態でも安心して運用できるシステムが求められている。

これに対し、現状における小型無人飛行システムの課題は

- ・システムが複雑で運用練度を必要とし、飛行禁止空域等の航空法の知識も求められるので、適用展開が専門家集団に限定されて汎用性に乏しい。
- ・離着陸に一定の見通し距離を持つ広い場所を必要としている。
(ヘリコプター方式では離着陸の場所は取らないが行動範囲に限界がある。)
- ・故障、破損事故が多く運用性に劣る、またシステム開発にも時間がかかっている等がある。

これらの諸課題の解決を図るため、本事業においては、

- ・簡易操作システム・ソフトウェアの構築
 - ：高利用プラットフォームのテールシッタ/ロータ機による垂直離着陸制御則の構築
 - ：離陸から着陸までの自動制御、及び飛行禁止領域回避自動飛行制御の実現
- ・ソフトウェアの標準化・汎用化の実現
 - ：無人機システム・ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化
 - ：ソフトウェア、及びハードウェア・インターフェースの標準化とソフトウェア各部分の汎用化
- ・ソフトウェア検証法の確立
 - ：フライト・シミュレータによるプログラムミスの防止
 - ：適切な地上試験や飛行試験の実施によるソフトウェア開発信頼性の向上等の対策によって、誰でも簡単容易に、狭い場所からでも運用できる小型無人飛行システムの簡易操作ソフトウェア開発を目的とする。

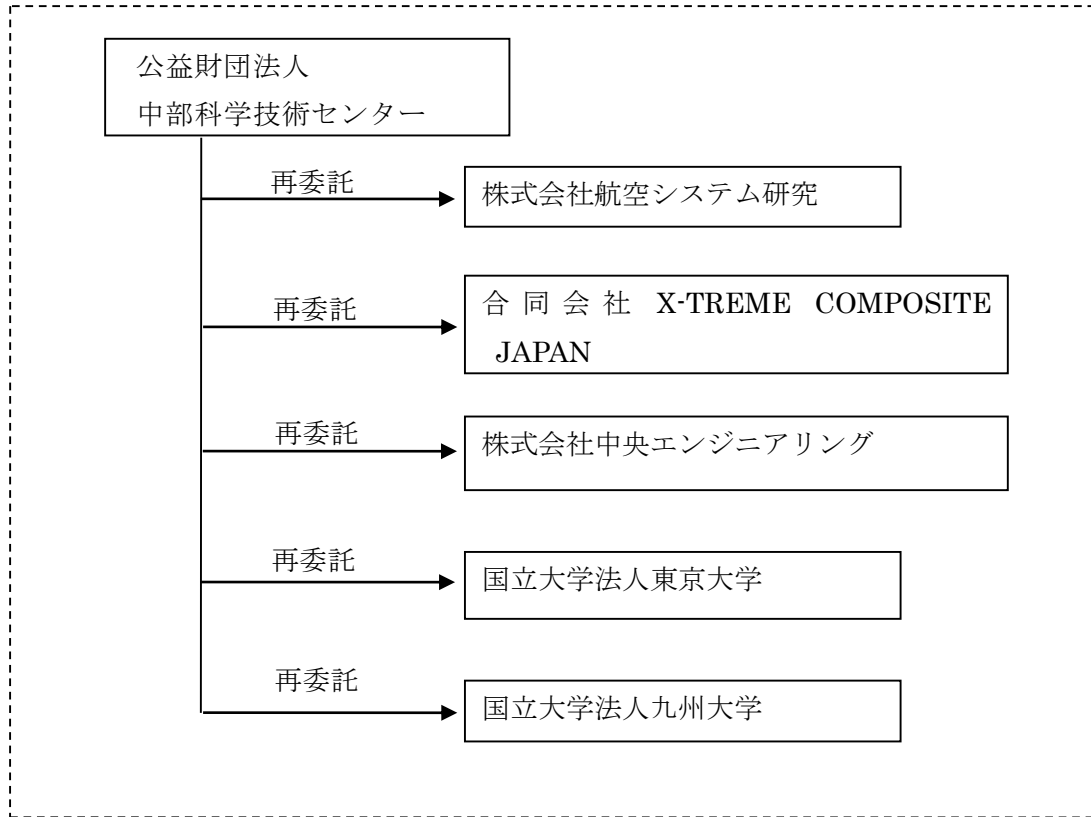
技術的目標値を下表に示す。

1-2 研究体制

項 目	現 状	目 標 値	備 考 (評価対象)
運用に係る稼働人員	5人以上	2人	自動作動化ソフトウェア
行動範囲	2km	5km	テールシッタ型UAS
必要滑走路(面積)	6,000 m ²	100m ²	テールシッタ型UAS
1機における離着陸回数	5回	50回	ソフトウェアの標準化、汎用化、高信頼性化

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



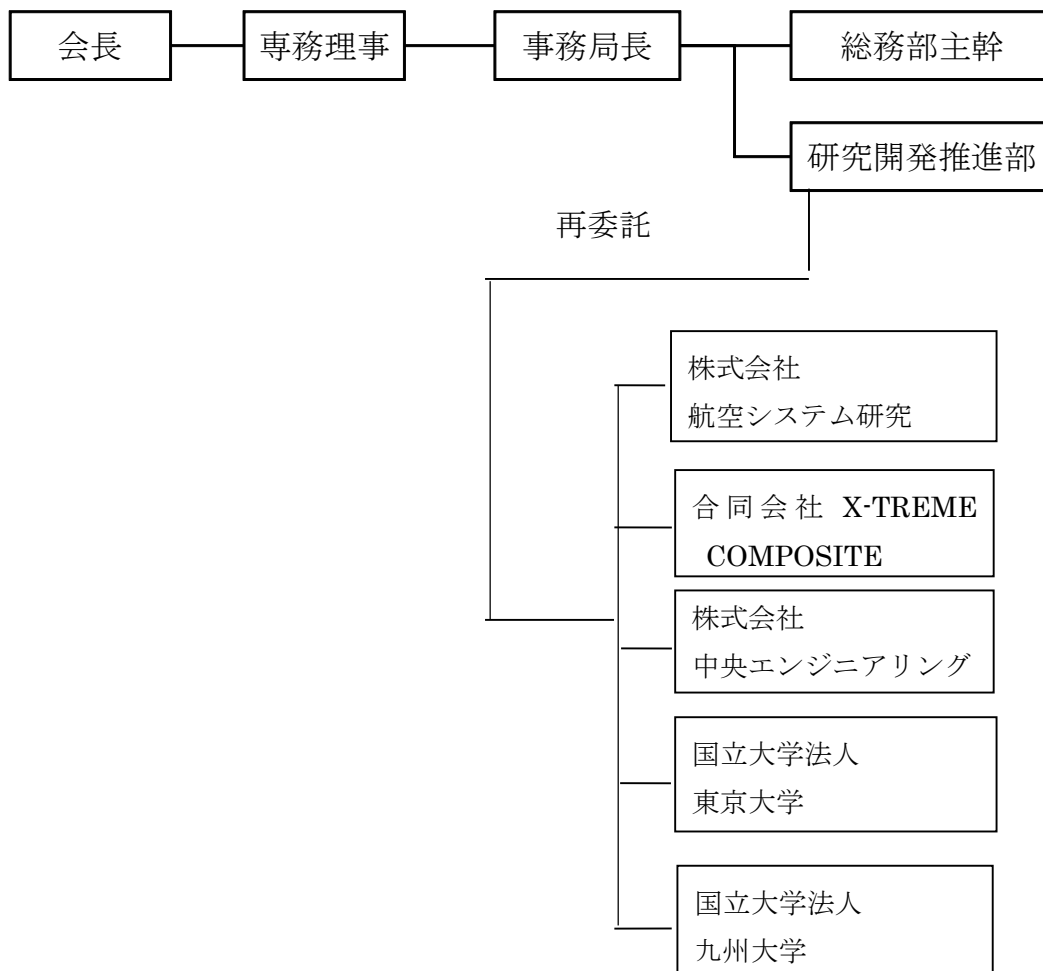
総括研究代表者 (P L)
株式会社航空システム研究
代表取締役
炭田 潤一郎

副総括研究代表者 (S L)
国立大学法人東京大学
大学院教授
鈴木 真二

2) 管理体制

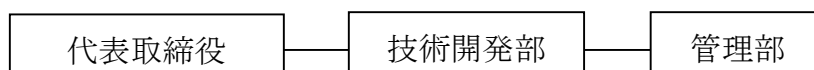
(a) 事業管理機関

公益財団法人中部科学技術センター

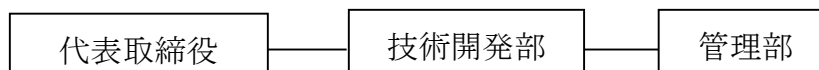


(b) 再委託先

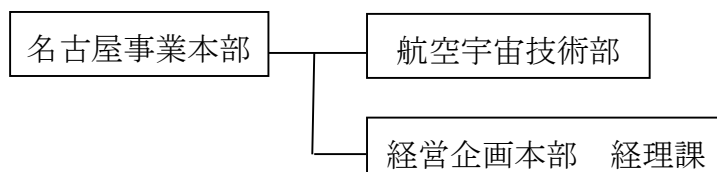
株式会社航空システム研究



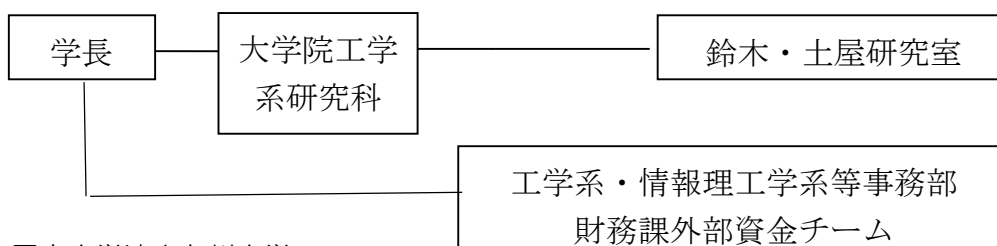
合同会社 X-TREME COMPOSITE JAPAN



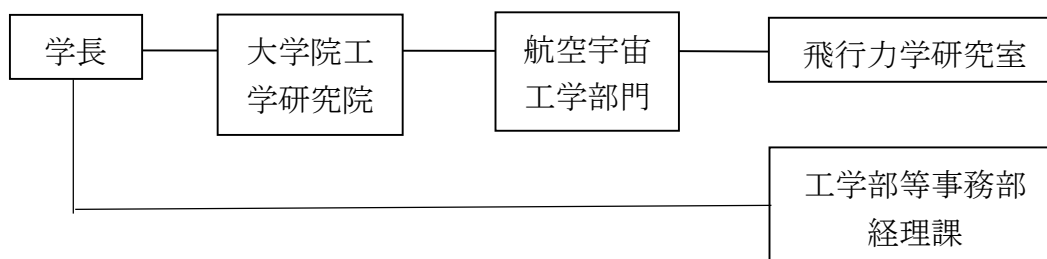
株式会社中央エンジニアリング



国立大学法人東京大学



国立大学法人九州大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人中部科学技術センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
廣瀬 亘	研究開発推進部長	①
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	①
宮島 和恵	研究開発推進部 主任	①
高須 容功	研究開発推進部 主任	①
宮崎 久美子	研究開発推進部 担当	①

【再委託先】

研究員

株式会社航空システム研究

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
炭田 潤一郎	代表取締役	①②③④⑤⑥⑦ ⑧⑨⑩

合同会社 X-TREME COMPOSITE JAPAN

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
角屋 守	代表取締役	①②③④⑤⑥⑦ ⑧⑨⑩

株式会社中央エンジニアリング

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
渡邊 邦一	航空宇宙技術部 部長	①②⑧⑨⑩
立川 克彦	航空宇宙技術部 担当	

国立大学法人東京大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
鈴木 真二	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 教授	① ②⑥⑧⑨⑩
土屋 武司	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 准教授	
柄沢 研治	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 助教	
ラビ・クリス	大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 助教	
トファー・ト ーマス		

国立大学法人九州大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
東野 伸一郎	大学院工学研究院航空宇宙工学部門 准教授	① ②③⑦⑩
長崎 秀司	大学院工学研究院航空宇宙工学部門 助教	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人中部科学技術センター

(経理担当者) 総務部 主幹 山本 清

(業務管理者) 研究開発推進部長 廣瀬 亘

(再委託先)

株式会社航空システム研究

(経理担当者) 代表取締役 炭田 潤一郎

(業務管理者) 代表取締役 炭田 潤一郎

合同会社 X-TREME COMPOSITE JAPAN

(経理担当者) 代表取締役 角屋 守

(業務管理者) 代表取締役 角屋 守

株式会社中央エンジニアリング

(経理担当者) 経営企画本部 経理課長 細川 史恵

(業務管理者) 航空宇宙技術部長 渡邊 邦一

国立大学法人東京大学

(経理担当者) 工学系・情報理工学系等事務部財務課外部資金チーム
北見 佳子

(業務管理者) 大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻
教授 鈴木 真二

国立大学法人九州大学

(経理担当者) 工学部等事務部経理課 係長
矢山 真治

(業務管理者) 大学院工学研究院航空宇宙工学部門
准教授 東野 伸一郎

1-3 研究成果概要

今年度の全体作業計画とその実施状況について内容を図 1-3-1 に示す。

H26年度全体計画実施状況 ▼ ; 計画終了

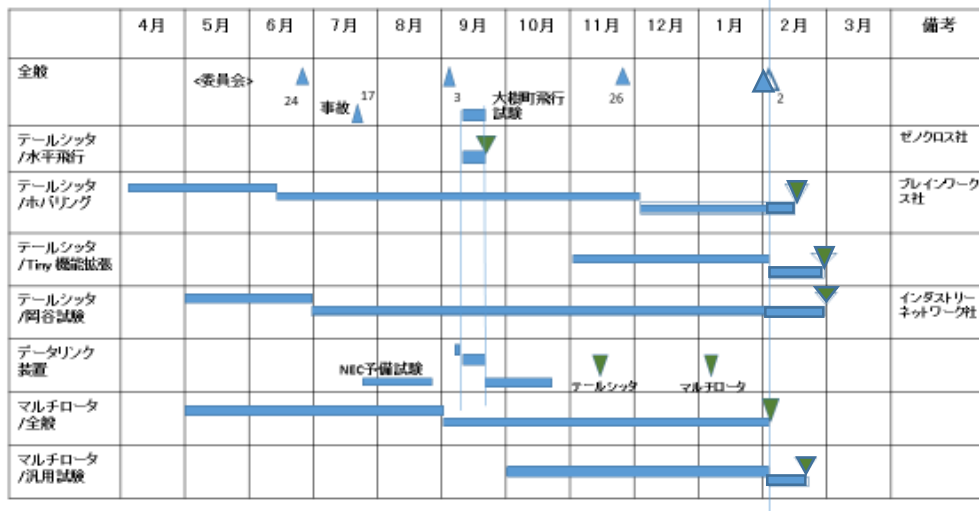


図 1-3-1 全体作業進捗状況

また、

- ・簡易操作システム・ソフトウェアの構築検討
- ・ソフトウェア標準化の検討
- ・ソフトウェア検証法の検討

等の各研究課題に対しての全体的作業進捗状況を図 1-3-2 に示す。

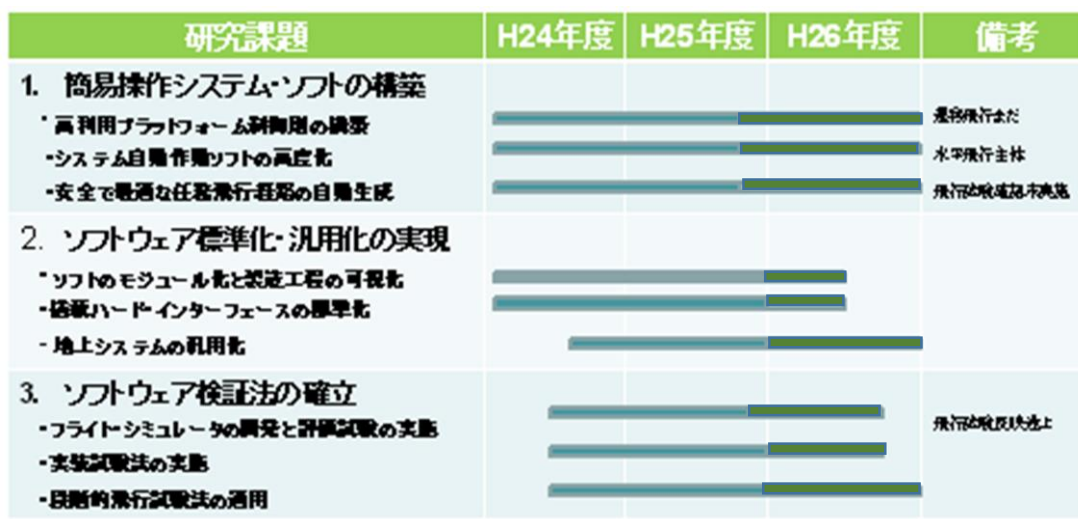


図 1-3-2 研究課題に対しての全体作業進捗状況

(1) 高利用性プラットフォーム(テールシッタ型UAS)制御則の構築検討

垂直離着陸が可能で、行動半径が広く、取り扱いが容易な電動型のテールシッタ方式による機体システムを基本として、空力及び着陸制御等を考慮した作動系を設け、カメラ等、利用者の要求に応じた搭載設備機能内容とするとともに、加速度計、姿勢計、モータアンプ等が実装され、さらに各種センサやサーボモータ等のインターフェースが可能なプラットフォームを構築する。また、地上装置にはネットワークを介したリモート端末からの操作も可能として、システム利用性を向上させる。

特に今年度は、これまでの機体製作とその試験を受けて、全体的な最終飛行試験を実施した。

多発ロータ機においてはミッション遂行ソフトのリファインと AED の搬送試験等運用試験を重ねてシステム評価を行った結果、運用目的に適応した制御則ソフト製作に対し良好な仕上がり状況が確認された。

双発テールシッタ機については、テールシッタ特有の垂直離着陸機能とそこから水平飛行への遷移・逆遷移飛行制御則をシステム単独試験、機体搭載紐付き試験、総合飛行試験、等の段階的評価試験によって確定した。水平飛行機能については飛行試験評価未了となっていた推力変化を伴う定点周回飛行モードや、パス・プランニング機能の飛行試験評価を実施して最終化した。両者を合わせてテールシッタとしての全ミッション対応ソフトが完成したことになる。さらに制御ボックスを廃止してその機能を Tiny Feather センサに入れ込む総合飛行試験を実施したことによってテールシッタとしての全飛行パターンを一つの機体を通して確認できたとともに、将来的には制御ボックスを廃止した軽量システムの実現に見通しを得た。

双発テールシッタ機においては電動機タイプに最適な垂直尾翼なしの形態についても同様な制御則の飛行試験確認ができ、電動モータ対応、エンジン対応と幅広いシステム構成をアピールできることとなった。

信号/画像データ伝送装置については地上伝送試験と空中伝送模擬試験や、多発ロータ機による飛行試験によってその機能を確認した。周波数干渉の可能性を排除したものにしていく必要があるのと、強いアンテナ指向性を持っている難点があるが、5Km 通信も可能であることが判明した。

(2) システム自動作動ソフトウェアの高度化検討

無人機の離陸から着陸までの各フェーズの自動化とともに、これらを連動させた全体の自動化を図る。

また風等の外乱条件に対しその測定結果を反映して対応する。これらは、機体運動モード分析、モードの連動判断回路設定、地上装置を含めたトータル・システム自動作動化にかかるソフトウェアの密な階層化の展開、機体変数変化、外乱等状況変化に対しての測定

等を実施して実現する。

特に今年度は、システム制御則に対してシステム自動作動誘導則を組み合わせた機能を設定し、飛行試験によってその機能を最終確認した。

離着陸機能、水平周回機能等の自動飛行各モードの試験確認とモード間の状態遷移制御を含めた円滑な連動によってのシステム自動運動を実現する内容とし、それを飛行試験確認した。

高度な自動作動システムの要としては故障時対応があるが、電波途絶時やシステム故障時に安全確実に回収できる機能として自動帰還モードやパラシュート開傘機能を設定しその性能が確認されている。

(3) 安全で最適な任務飛行経路の自動生成検討

航空機の性能に関する知識や飛行エリアの地形、及び飛行禁止エリア等に係る関連する法律などを含めた知識がなくても、ミッションを安全確実に遂行する高度な飛行制御を自動的に算出し、最適な飛行経路を生成する機能の開発を行う。

特に今年度は、仕様に基づき設計されシミュレーション試験等によって補正、確認していたものに対して飛行試験による確認を行ってその性能を確定した。

(4) ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化検討

開発するソフトウェア全体の階層構造と、機能毎のモジュール化概念を明確にして体系化するとともに、各モジュール・レベルで機能・性能を明確にし、各モジュール間におけるインターフェースを明確にすることでソフトウェアの全体像を可視化できる。特にここではモジュール間複数インターフェースの体系化を行う。

特に今年度は、テールシッタ機の垂直飛行機能制御則ソフト等の取り組みに対して本概念を適用し、結果は全体的な飛行試験によって確認された。

これは今後展開される小型無人機に対しての法的ルール作りに際し提案可能な一つの方式になると考えている。

(5) ハードウェア・インターフェースの標準化検討

UAS用制御装置と、UASに搭載するハードウェア（センサ、アクチュエータ、無線機器、ミッション機器等）とのインターフェースを標準化する。これによって本体ソフトウェアに影響を与えず、細部仕様が異なる装置交換を受け入れうるシステムとなる。

特に今年度は、地上部分試験、飛行試験等の実施によって付加したこれらの機能を確認したが、開発試験の常として同様高性能部品、同様他社部品の適用等各種のハードウェアを適用しての試験となっただけに、その円滑な試験実施を通してこれまでの標準化検討の効果を裏付けるものが得られた。

(6) 地上システムの汎用化検討

地上装置が異なった機体システムを制御可能な汎用性を持つと、無人機システムの利用性は飛躍的に向上することから、標準化・汎用化可能なインターフェースのモジュール化を行い、複数の機体システムで、評価を実施する。また、ネットワークを介したりリモート端末機能を設定し、データ通信と、遠隔での簡易操作によってシステム運用性の向上を図る。

特に今年度は多発ロータ機において汎用化機能設定を行い、その飛行試験確認を実施したことによって地上システムの汎用化機能を確認できた。またリモート端末機能については飛行試験で機能を確認するとともにその性能についてはシミュレーション試験で確認した。

これによって今回開発対象にしなかった固定翼機デモヘリコプターでもシステム化していくことが可能になった。

(7) フライト・シミュレータの開発検討

機体システムの数学モデルを開発したソフトウェアによって解析的に飛行させるシミュレーション試験により、実際の事故を起こすこともなく、効率的に設計評価を実施可能なシミュレータを開発する。

今年度は、前年度までに制作したフライト・シミュレータを運用して飛行試験前の成果確認試験ツールとして活用し、機体システム開発に不可欠なツールであることを示した。

(8) 実装試験法の検討

実際に使用する地上装置、無線機、センサ、作動系等のハードウェアをシミュレーション試験ループに入れ、できるだけ実際に近い形態にして試験評価を実施することが評価精度を向上させる上で不可欠となる。

特に今年度は、各システム諸機能の最終試験確認のフェーズであり、段階をおいたその地上部分試験、飛行試験等において GPS 等のセンサやサーボ、それにモータ等のハードウェア実物を試験に組み入れモデル化誤差を排除しながら評価試験を実施して、その結果のフィードバックを実施した。

(9) 段階的飛行試験の検討

システム試験は、部分試験から、全体試験に進展させて各段階で不具合を検出する開発ステップが重要であり、ここでは特にホバリングの部分飛行試験も取り入れて、段階的な開発法の定着を図る。全体システムは使いやすい地上システムとの連携により機能するが、その状態での円滑なユーザインターフェースが求められることになり、飛行試験で確認する。

特に今年度は、垂直機能ホバリング飛行試験でも、地上でのシステム試験の後、機体尾部へのそり設置での試験等定置試験、ワイヤによる吊り下げ試験、機体確保のための機体紐つけ試験等を経て、それもまずは手動制御での方向性を確認して自動制御を確認するステップをとって進めた。

(8)(9) 項共に、今後の無人機法改訂を想定する中での小型無人機システム信頼性確保のための製造過程のひな型となると考えている。

(10) 今年度の研究成果まとめ

今年度は本開発研究の最終年度に当たるが、結果的には当初の開発目標の全てを完了でき、その理念としたことへの今後の準備ができたと思われる。

特に本開発研究が目的とした我が国の将来無人機運用基盤下でのシステム運用に対しその素地作りのための JUIDA (Japan UAS Industrial Development Association) が、本サポイン活動の中から設立され今後の我が国行政への窓口となりうることも本サポインの成果の一つとしてあげられるものになる。

具体的には

- ・テールシッタ機において、垂直離着陸機能部分の開発完了がなり、水平飛行機能の飛行試験未了部分の実施とともに全体飛行パターン自動作動システム・ソフトが、そのプラットフォームとともに開発完了できた。
- ・専用の制御ボックスについては、拡張センサとして統合化でき、将来システムでの軽量化見通しを得た。
- ・垂直尾翼なし形態機についても飛行試験を通して成立性が確定し、電動機での優位性から、幅広い当該プラットフォームでの選択可能性を確立した。
- ・多発ロータ機に対しては、その運用飛行試験を実施しての評価も行い、本開発研究の目的を達成したことを確認した。
- ・地上システムの汎用化についても多発ロータ機での飛行試験実施等によって見通しを得ることができ、今後の固定翼、ヘリコプター等本開発研究対象外の各種 UAS に対する柔軟なシステム化が可能になることとなった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社航空システム研究 炭田潤一郎

Tel. & Fax. : 052-891-5536、 E-mail : sumita@kookuu-system.com

第2章 平成26年度研究成果

2-1 双発テールシッタ機の開発

2-1-1 全体システム計画展開

最終年度での計画作業は

- 水平飛行制御則の最終飛行試験確認
 - 高度差を持つ Way Point 間での周回飛行機能の飛行試験確認、およびパス・プランニング機能の飛行試験確認
- 垂直離着陸、遷移飛行を含むホバリング飛行制御則の構築とその飛行試験確認
- Tiny Feather センサへの上記制御則の移設と、その確認飛行試験
 - 個別制御ボックスを排除する軽量化対策を実現することを直接の目的とするが、テールシッタ制御則の水平飛行機能、テールシッタ飛行機能(垂直離着陸、ホバリング、遷移を合わせ確認する試験になる。
- データリンク、画像電波送受信地上装置の性能・機能確認試験
- 垂直尾翼なしテールシッタ機の最終飛行試験確認

等になる。

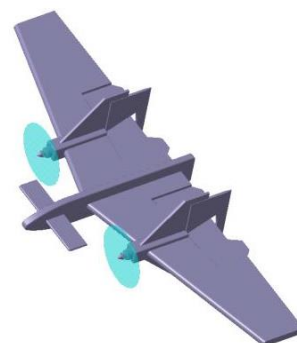
水平飛行検討に2年を費やし、2年度終盤でのホバリング・マニュアル試験に躓いての最終年度になり、盛りだくさんの計画作業と前年までの残作業に取り組むことになったが、それぞれの当初計画に沿った各々の局面作業を展開することができて、当初目的とした所定の成果を得ることができたこととなった。

2-1-2 機体設計

機体構造を軽量化してホバリング飛行を可能にするため及び飛行試験時の機体破損の修理を容易にするために2種類のプロフィール機と最終形態機的设计を行った。

1) 機体概要

- 全 幅 : 1600 mm
- 翼断面 : NACA0012
- 全 長 : 870 mm
- 重 量 : 3 kg (最大)



2-1-3 機体製造

テールシッタの機体製造は試験飛行機改良型機設計図を基に 機体製造を行った。製造機体はホバリングし易いように舵面の面積を大きくし 強度の確保を維持して軽量化を行った。また機体はその飛行性能を反映した試験飛行機改良型にも改造して制作した。

自動操縦を司る制御装置と簡易操作ソフトウェアの他に各種センサとバッテリーを搭載

し完成機とした。

- (1) 機体製造の主な材料
- (2) 胴体、主翼は発砲スチロールにバルサ フィルム張り



主翼 胴体



主材 発泡コア

- (3) 製造機体の全景
試験飛行機改良型機全形



2-1-4 飛行制御則

本年度作業はテールシッタ機おける離着陸と、上昇下降、水平飛行への遷移、逆遷移の飛行制御側を構築し、飛行試験によって確認することになる。適用する飛行制御則はそのブロック図と適用ゲイン等を図2-1-4-1～-4に示すが、これは機体の運動方程式を含めた制御系としての特性方程式の複素面における展開から、最適なブロック図とゲイン等を定めたもので、金沢工業大学片柳教授のKMAPをその解析ツールとして適用した。

センサとしてはGPS-INS情報元としてTiny Featherの各軸姿勢角、角速度、加速度とともに高度を含めたGPS情報を用い、6m以下の高度については超音波距離計を用いている。駆動系もエレポンにラダー、それに同位相駆動の推力系モータ2基等があるが、これらは電波系を含めて超音波距離計を除き、水平飛行形態と全く変わらぬシステム構成になる。

また本年度も水平飛行機能制御則の最終確認を実施しているがそれについては昨年度までの報告通りの制御則等に対する確認を行っている。

(1) 運動安定制御/インナーループ則

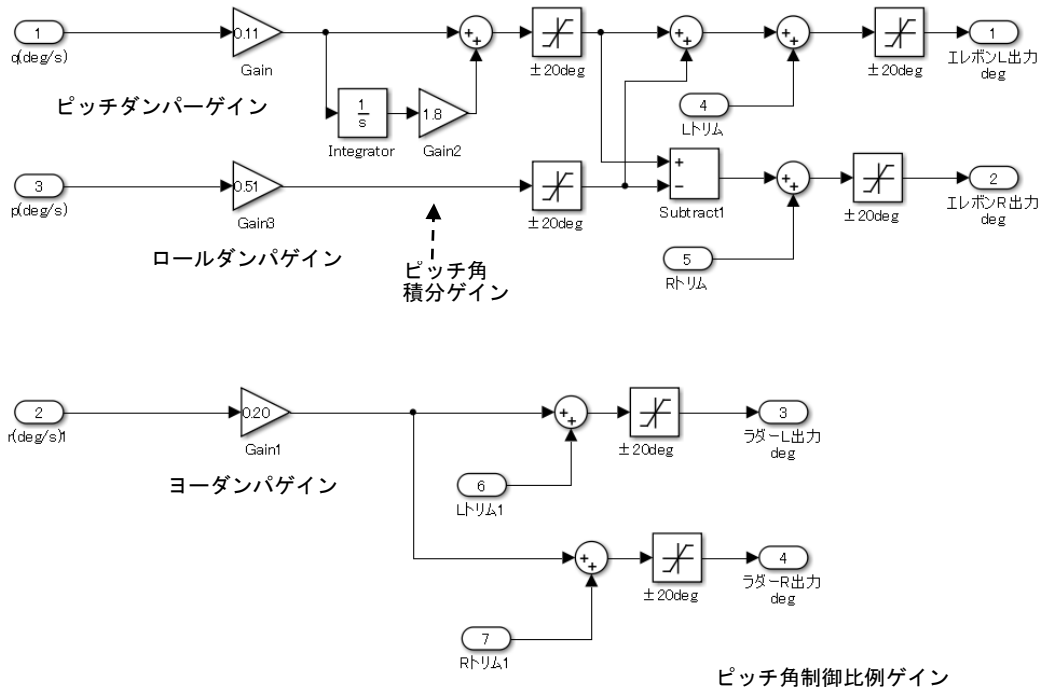


図 2-1-4-1 インナーループ制御則

(2) 垂直姿勢保持・安定制御則

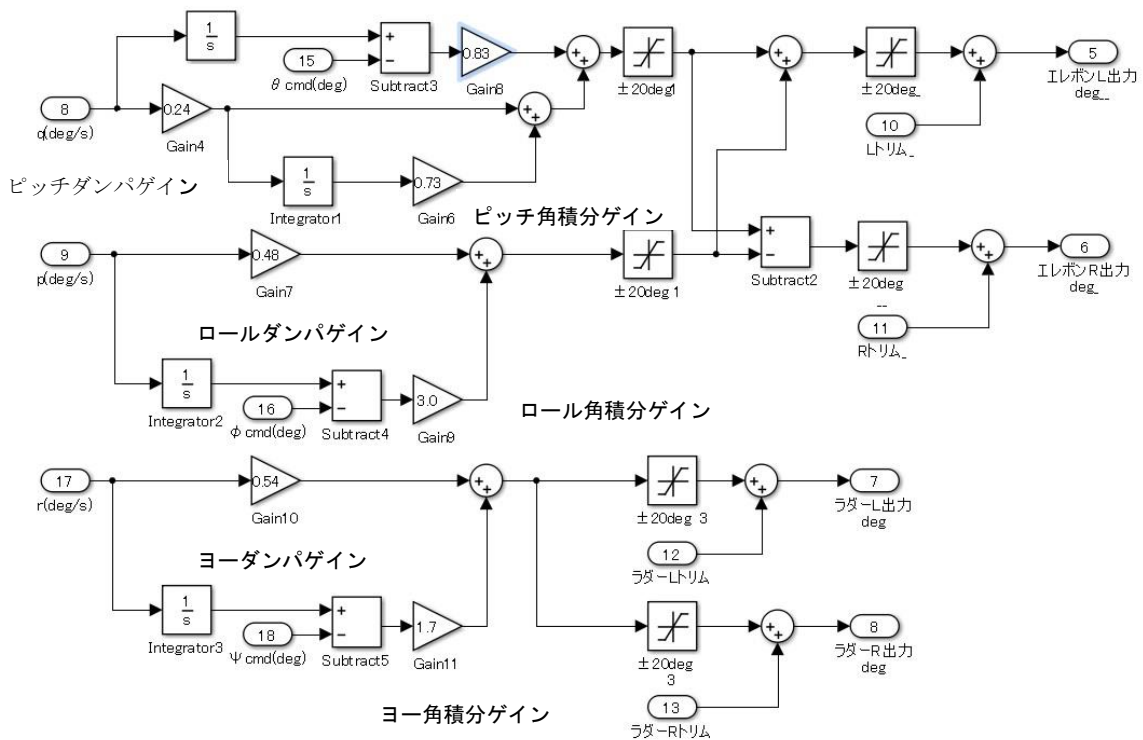


図 2-1-4-2 機体姿勢安定垂直姿勢飛行制御則

(3) 上昇・下降制御則

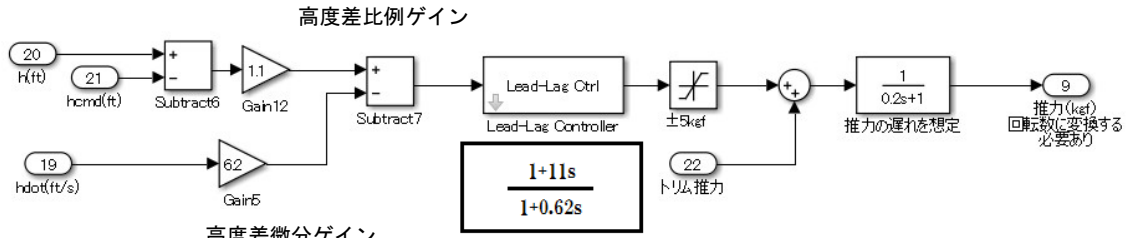


図 2-1-4-3 機体高度安定垂直姿勢飛行制御則/高度一定モード

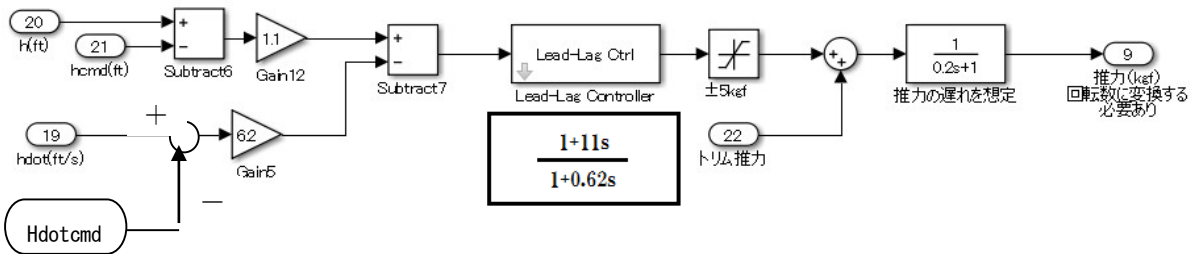


図 2-1-4-4 機体高度安定垂直姿勢飛行制御則/高度変化率一定モード

(4) 根軌跡

制御則設定のための複素面特性の一例を下図に示す。

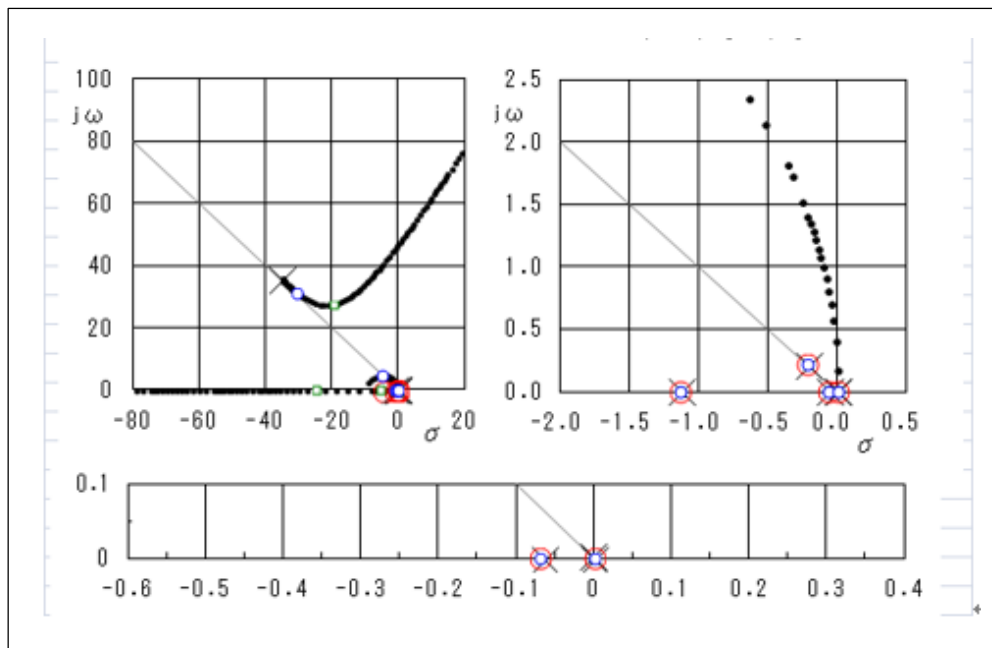


図 2-1-4-5 Df+Dt 系根軌跡

2-1-5 ホバリング予備試験

垂直姿勢による離着陸と上昇・下降、水平飛行への遷移・逆遷移飛行を含む制御則確認飛行試験において、地上システム試験、室内や戸外における紐釣り/紐付き飛行試験等を予備試験段階として実施した。

(1) ホバリング用制御装置の制作

ホバリング用制御則の実用性を確認する為に、専用の制御装置の制作を行った。

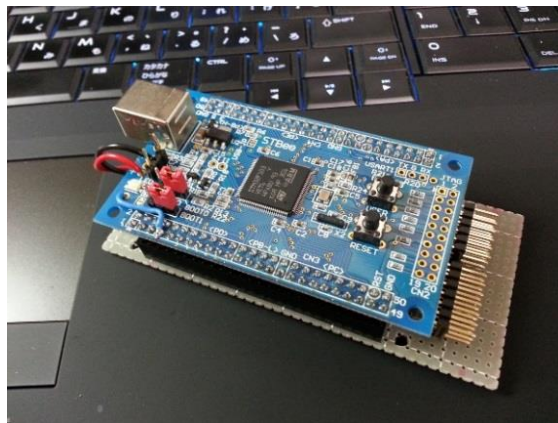


図 2-1-5-1 マイコンボード

以下に制御装置の外部入出力ブロック図を示す。

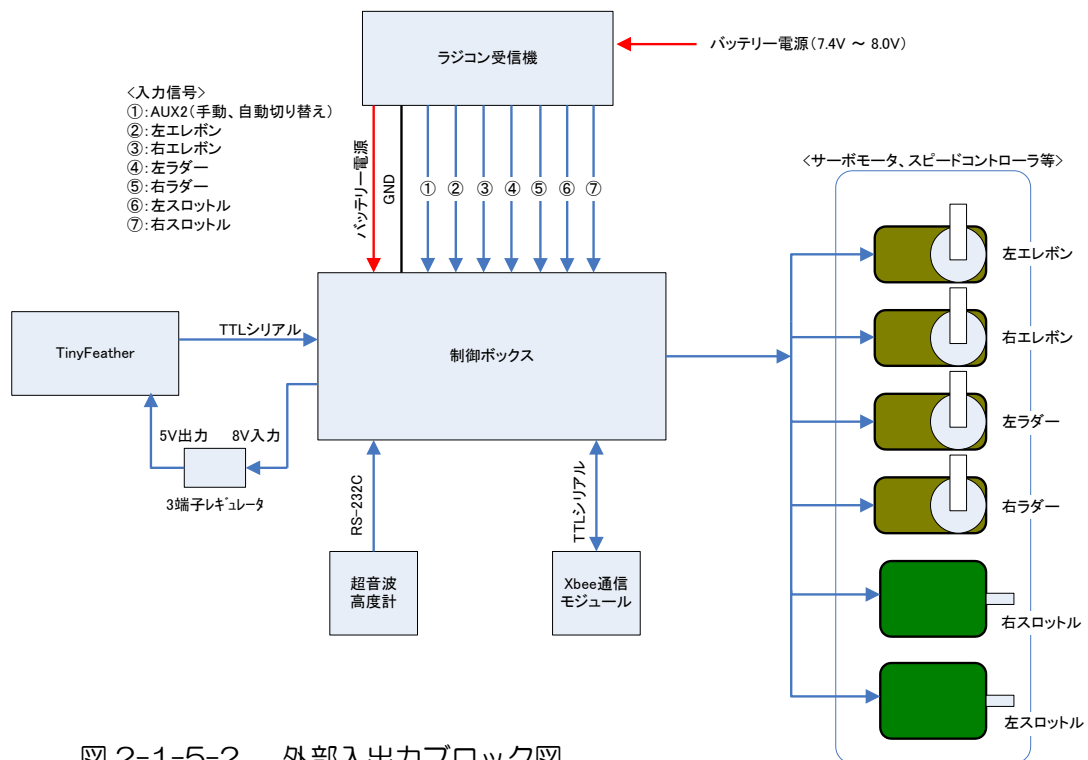
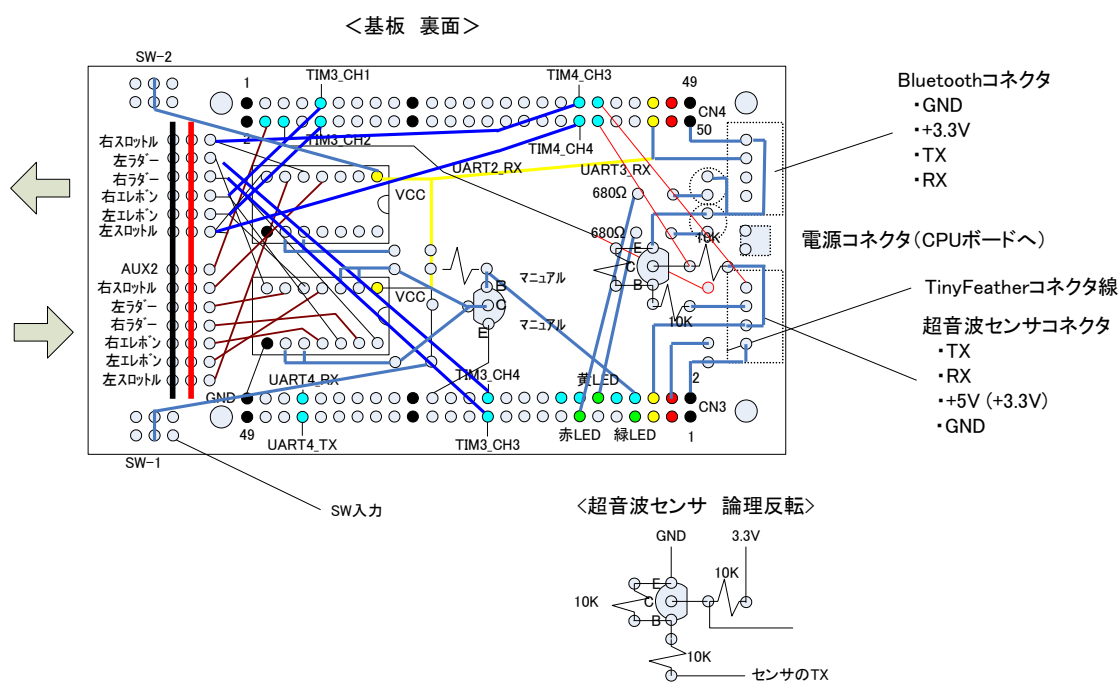


図 2-1-5-2 外部入出力ブロック図

製作したマイコン基板配線と機器搭載状況を下図に示す。



＜実際の機器搭載状態＞

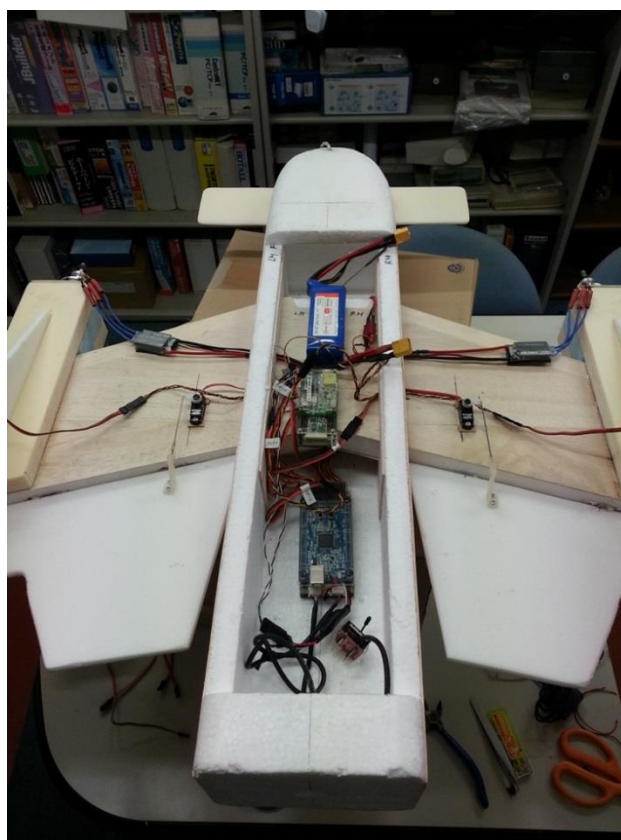


図 2-1-5-3
マイコンボード配線図と機器
搭載状態写真

(2) ホバリング飛行評価予備試験

ホバリングの飛行試験は、常に機体損傷を伴い安全性の確保も行わなければならない為、以下の手順で実施した。

1) 室内での紐釣り試験

外的要因を避けて、適切なゲイン値を得る為、室内で天井から機体を吊るした状態で安定するまで繰り返し試験を行う。



図 2-1-5-4 室内紐釣り試験状況

ソフトウェアの開発段階では、開発環境の電源も確保でき、プログラムの書き換えもスムーズに行える為、非常に有効な手順と言える。

この室内試験においては、ソフトウェアの総合的な動作試験、インナーloop制御則の動作確認とゲインの調整及び垂直姿勢制御の動作確認とゲインの調整を行った。異常な状態が起きた時点でウォークスルーを行い、制御則の確認、プログラムの確認と修正及び機体バランスの調整等を行いながらの繰り返し試験を行った。

2) 屋外での紐釣り試験

室内での吊り試験で、ある程度のプログラムの調整とゲイン値の見極めができた時点で、屋外に試験する場を移動する事とした。

狭い室内では機体の特性で左右前後にブレた時に、中段せざるを得ない為、この先はある程度広い空間が必要となる。

この場合、外的な要因（風）を受ける為、それによる機体挙動を確認し、マニュアル操作の方法を検討し、実装を行った。

また、スロットルの自動制御試験も同時に行い、制御則の見直しとソフトウェアの実装部分のレビューを行い方式決定までを行った。



図 2-1-5-5 屋外紐釣り試験状況

3) 屋外でのタコ糸補助あり(紐付き)試験

屋外での吊り下げ試験において、安定したホバリング動作及びマニュアル操作のミキシング動作の確認が出来た時点で、上から吊るさないで、下に暴走防止用の紐を付けた状態で、屋外にてホバリング飛行を行った。

この試験により、吊り試験により調整された状態であれば通常の状態でもホバリング飛行が可能である事が実証され、評価試験方法の段取りに間違いが無かった事が証明された。



図 2-1-5-6 屋外紐付き試験状況

2-1-6 飛行試験

(1) 全般

飛行試験としては鍋田、大樹町、伊勢での飛行機能確認試験を実施した。

1) 今年度 飛行試験回数

場所	回数	備考
1.鍋田飛行場	3回	マニュアル飛行
2.大樹町飛行場	1回	水平飛行機能確認
3.伊勢飛行場	2回	ホバリング飛行機能確認

またこれとともに NEC 地上装置の性能機能確認試験を、大樹町試験 5 回、およびそれを前後に挟んで鍋田でそれぞれ 1 回実施している。

(2) 鍋田飛行試験

自律水平飛行機能確認のための予備試験として、マニュアルによる準備試験を 3 回実施した。

(3) 大樹町飛行試験

1) 高度誘導ゲイン調整試験

【目的】

前年度に多目的航空公園（北海道広尾郡大樹町）で実施したウェイポイント周回飛行は、スロットル一定、高度一定とし、主に制御則（ピッチ角制御、バンク角制御、横滑り制御）および水平面に関する経路誘導に関するゲインチューニングを実施した。これに対し、今年度はスロットルによる速度制御を追加し、さらに高度変化を伴う飛行計画を用いて、速度制御および高度誘導に関するゲインのチューニングを行う。本作業により、双発テールシッター機の水平飛行に関する誘導制御則の完成を目指す。

【試験結果】

2014 年 9 月 16 日に実施した速度高度制御確認試験のタイムヒストリを図 2-1-6-1 に示す。上から高度、対気速度、ピッチ角、自動・マニュアルフラグを示す。横軸はカウンタ値を示し、10Hz で記録しているため、10 カウントが 1 秒に相当する。自動操縦は、約 3140 カウントから開始し、約 4520 カウントまで行っている。高度指令は、自動操縦開始時は 150m とし、約 3450 カウントから 180m まで上昇、その後、約 4100 カウントから 150m まで降下させた。速度指令は 24m/s 一定とした。高度変化を伴うため、速度制御を行わない場合（スロットル一定）、上昇時は減速し降下時は加速する。

誘導制御則は昨年度設定の方式とゲインを使用した。高度制御については、高度誤差からピッチ角指令を計算し、ピッチ角をエレベータで制御する。速度制御については、

速度誤差をスロットルで制御する。

試験の結果、高度制御については、降下時に約 10m 程度の誤差が見られるが、指令値への追従性は良好であった。インナーループのピッチ角制御も良好な結果が得られた。ピッチ角制御は出来ているため、誘導ゲインを微調整することで、高度制御の追従性はもう少し改善が見込める。速度制御については、上昇降下を伴う飛行計画であったが、速度はほぼ変化することなく、誤差の最大は降下時の約 1m/s 程度であり、良好な結果が得られた。

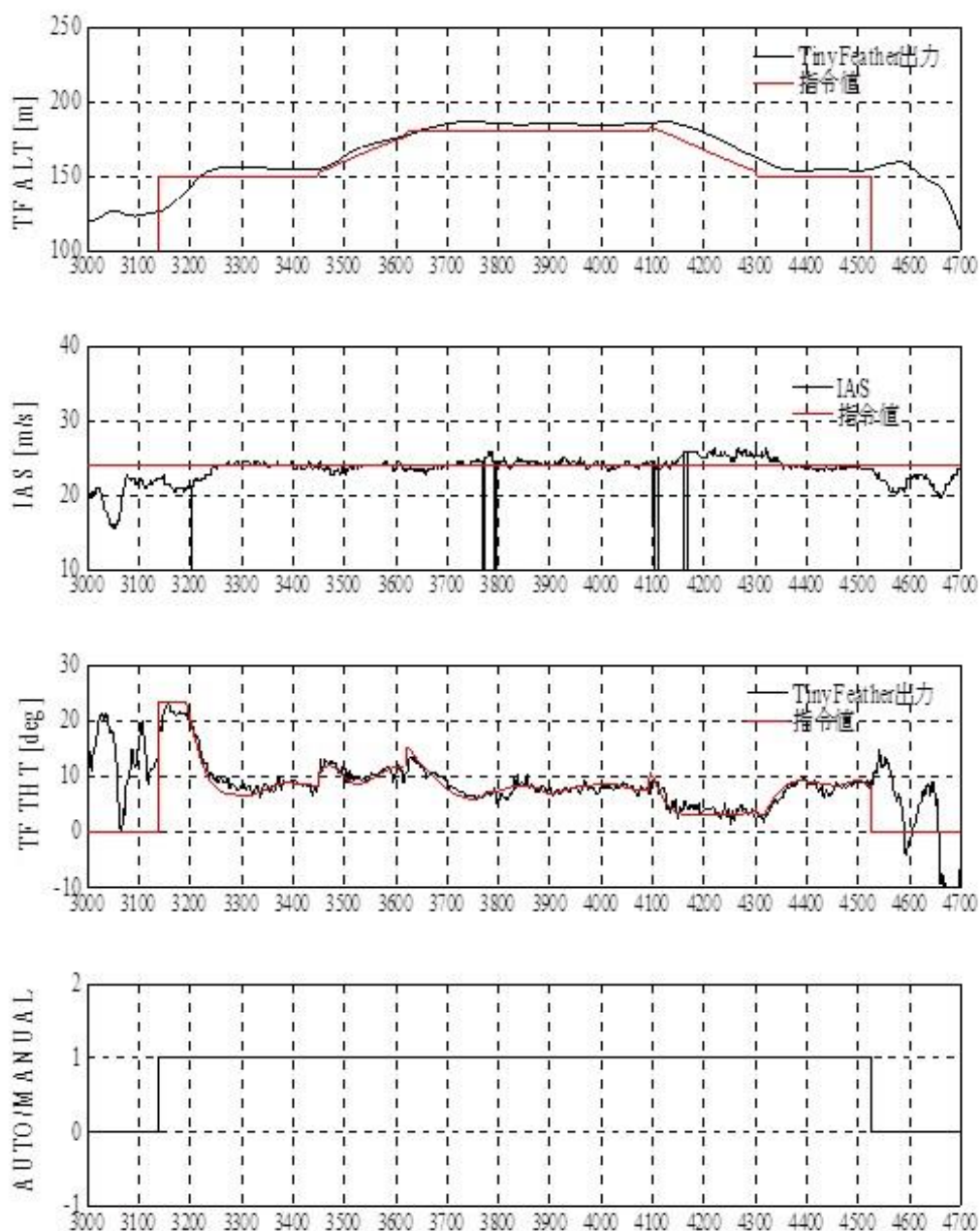


図 2-1-6-1 速度高度制御確認試験 2 (多目的航空公園, 2014/9/16)

2) パスプランニング実証試験

【目的】

前年度に開発した自動経路生成機能について、飛行試験にて実証する。自動経路生成機能は、地形（標高）データを読み取り、オペレータがあらかじめ設定する飛行禁止空域を考慮し、地形と飛行禁止空域との衝突（進入）を回避した飛行経路を自動的に算出する。この機能により、オペレータは予め地形を調べなくとも、通過したい場所（撮影地点など）だけを指定することで、飛行計画を作成することができる。また、この機能を応用し、任意の地点から、あらかじめ設定してあるホーム位置（帰還先）までの帰還経路を自動的に算出することができる。この機能により、緊急時に帰還経路を素早く算出できることから、オペレータの負担が減ることが期待できる。今回の試験では、帰還機能を使い、自動経路生成機能を飛行試験にて実証する。

【試験結果】

2014年9月15日に実施したパスプランニング実証試験のタイムヒストリを図2-1-6-2に示す。滑走路の東側に飛行禁止空域を設定し、滑走路の中央付近にホーム位置を設定した。今回の試験では、地形は考慮せず、飛行禁止空域を回避しながらホーム位置まで自動で帰ってくることを飛行試験で確認する。

飛行試験は、(1)の地点で離陸を開始し、マニュアル操縦で左旋回しながら上昇、(3)の地点で自動操縦に入れ、(4)の地点で自動帰還を開始。自動経路生成機能により、飛行禁止空域を回避した帰還経路を算出し、これに従いホーム位置まで帰還した。(5)の地点でマニュアル操縦に戻し、その後、着陸した。

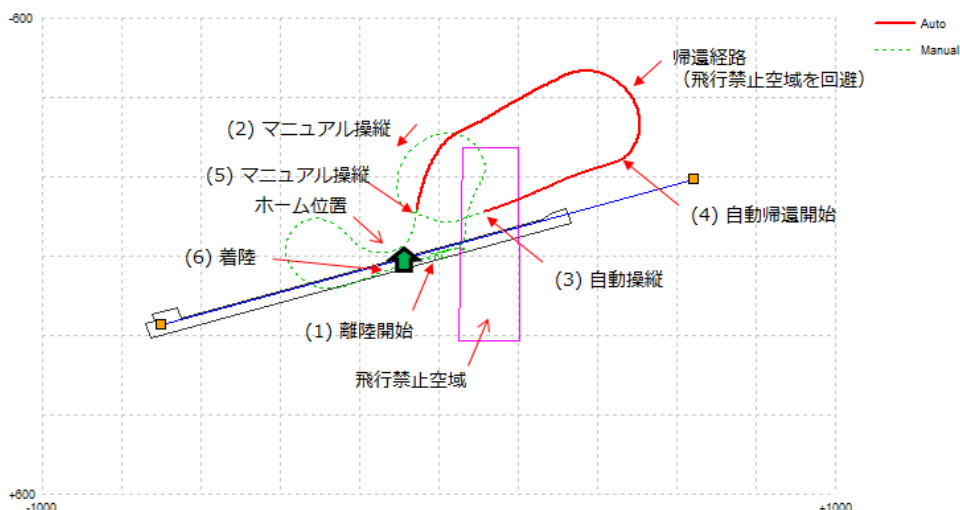


図 2-1-6-2 パスプランニング実証試験（多目的航空公園, 2014/9/15）

飛行試験は、(1)の地点で離陸を開始し、マニュアル操縦で左旋回しながら上昇、(3)の地点で自動操縦に入れ、(4)の地点で自動帰還を開始。自動経路生成機能により、飛行禁止空域を回避した帰還経路を算出し、これに従いホーム位置まで帰還した。(5)の

地点でマニュアル操縦に戻し、その後、着陸した。

飛行時間の制限（約 5 分）があるため、今回のような簡単なケースでしか飛行実証が出来なかったが、自動経路生成機能の実証試験としては成功した。

（3）伊勢飛行試験 -ホバリング飛行機能確認

垂直姿勢制御のホバリングに関しては非常に安定して飛行することを確認した。また水平飛行への遷移も問題なく行えるだけの試験を行う事が出来た。

今回の試験結果とログデータをベースに今後のすべての飛行パターンにおける自動制御運転を完結できる見通しはついたと考えられる。



図 2-1-6-3 ホバリング試験機試験状況



図 2-1-6-4 ホバリング試験機試験状況-高度 5m

（4）NEC 地上装置機能確認試験

1) 鍋田試験（鍋田, 2014/9/3）

2014年9月3日、鍋田にて NEC 製データリンク装置の地上試験を実施した。電子機器はすべて搭載し、モーターを回転させた状態（ノイズ環境としては厳しい条

件)で無線通信の確認を行ったところ、地上局からの距離が200m程度で、プロポとRC受信機との通信が途切れ、フェールセーフモードに入った。データ通信については、500m程度まで通信ができることを確認したが、映像については常に乱れていた。

この現象は2.4GHz帯を使用したラジコン用プロポの使用電波との干渉現象であることが判明した。

2) 大樹町地上装置確認試験(多目的航空公園, 2014/9/17-18)

- (a) 2014年9月17日から18日にかけて、多目的航空公園にてNECからの支援を得てNEC製データリンク装置の地上試験を実施した。17日にデータリンク装置単体での試験を行い、18日に機体に搭載しての地上試験を実施した。地上試験での検討から、9月3日に鍋田にて実施した地上試験では、電波干渉による次の問題があったことが判明した。

[問題点]

- a) グランドプレーンを入れていなかった
- b) プロポはデータリンク装置から200m以上離して使用する
- c) 配線は電源ライン、信号ライン、アンテナラインを分けて配線する
- d) マルチパスを考慮して地上局およびパイロットを配置する

これらの問題点を解決し、地上装置アンテナをプロポ系からアルミ板によってシールドし、プロポ系アンテナもアルミ箔によってシールドするとともに、プロポ送信系を200m以上話して作動させる方式を採用して、多目的航空公園の滑走路にて地上試験を行った結果、データと映像は正常に無線通信でき、その間、プロポとRC受信機との電波途絶(フェールセーフモード)は一度も入らないことを確認した。試験の様子を図2-1-6-5に示す。



NEC データリンク装置 地上試験(機体)



図 2-1-6-5 NEC 製データリンク装置 地上試験 (多目的航空公園, 2014/9/17-18)

3) 第二次鍋田地上装置機能確認試験

；通常通信試験、および空中模擬電波伝搬試験

上記の対策の後、2014年11月14日、鍋田にて NEC データリンク装置の地上試験を実施した。飛行環境に近い状態で通信性能を確認するため、機体は土手の上に固定し、地上局側にアッテネータを入れる(信号レベルを減衰させる)ことで、長距離飛行の環境を模擬した。回線計算の結果を表 2-1-6-1 に示す。条件列の 2 列目がパラボラアンテナを使用し 5 km離れた場合で、3 列目がパッチ(平面)アンテナを使用し 500m 離れた場合を示す。パッチアンテナを使用した場合、-6dB のアッテネータ損失を入れることで、パラボラアンテナを使用し 5 km離れた場合の回線マージンとほぼ一致するため、条件としては同等となる。

表 2-1-6-1 データリンク装置 回線計算

NO.	項目	単位	条件			備考
			平面, 2km	パラボラ, 5km	平面, 500m, アッテネータ	
1	送信電力	dBm	9	9	9	一定値
2	機上 送信系給電損失	dBm	-1	-1	-1	一定値
3	送信空中線利得	dBi	2	2	2	一定値
4	自由空間伝搬損失	dB	-106	-114	-94	下記表参照
5	地上 受信空中線利得	dBi	6	21	6	アンテナに依存
6		アッテネータ損失	dB	0	-6	今回試験で使用
7	受信系損失	dB	-1	-1	-1	一定値
8	受信機入力電力	dBm	-91	-84	-85	1+2+3+4+5+6+7
9	受信機受信感度	dBm	-97	-97	-97	一定値
10	回線マージン	dB	6	13	12	8-9

地上試験の結果、パッチ(平面)アンテナを使用し、アッテネータを使用した状態で、データ通信については 2000m まで受信できることを確認した。500m 以上で通信が確認できたため、この結果は、パラボラアンテナを使用すれば 10km 以上の通信が可能であることに相当する。これで予定していた装置性能通りの電波伝搬特性を有していることを確認できた。



機体（堤防の土手に固定し道に沿って地上局を移動させる）



パッチアンテナにアッテネータを入れた様子（地上局）

図 2-1-6-6 NEC データリンク装置試験（鍋田, 2014/11/14）

2-1-7 垂直尾翼なし機体試験

（1）全般

初年度から推力差ヨーコントロールによる垂直尾翼の無い機体システムの成立性について取り組んできているが、これまでにその成立に見通しを得て最終年度に入っている。最終年度はその電動駆動機体についてミッション適合性を持つまでに大きくし、自動システム駆動制御則を完成させて全体飛行パターンを達成することを目標として取り組んでその見通しを得た。

（2）供試体製作

外注仕様書 ASS-0067 に基づき、2-1-2 項と同等の今年度供試体の製作を行った。



図 2-1-7-1 平成 26 年度供試体

(3) システム構築

機体制御および機体状態監視に用いるハードウェアの供試体への組み込みを行った。基本的制御則は 2-1-4 項に示すものになるが座標系としては Quaternion を適用している。組み込んだハードウェアは Tiny Feather、Servo Mixer、SUZAKU (SZ410-U00)、および Xbee-Pro である。全体システムのブロック図を図 2-1-7-2 に示す。

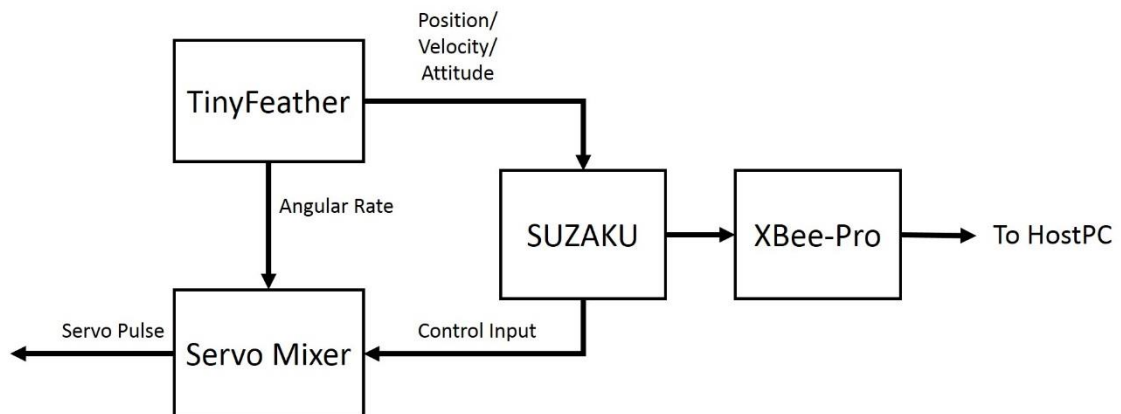


図 2-1-7-2 システムブロック図

SUZAKU は自動制御の演算を行うために用いており、Tiny Feather から得られるセンサーデータを用いた制御演算を行い、生成された制御入力を Servo Mixer に対して出力することで機体制御を実現する。また、地上局において機体状態の監視およびロギングを行うために、Xbee-Pro を介して地上局 PC とデータ通信を行っている。

(4) 制御則の作成と試験

1) 一般

本項での飛行制御則も 2-1-4 項に示した制御則をベースとしているが非線形制御の一手法である Backstepping 法によるクォータニオン・フィードバック制御を適用してオイラー角の特異点を回避している。

以上の姿勢制御系を用いて姿勢制御実験を実施した。その際、オペレーターの手動操舵入力を用いて機体姿勢目標値を生成し、その目標値に対して機体姿勢を追従させる実験をステップとして行った。実験の様子を図 2-1-7-4 に示す。



図 2-1-7-4 屋内飛行実験図

2) 飛行試験

前項での制御則検討を

- 水平/垂直飛行時の姿勢安定制御試験
- 垂直飛行時の GPS 誘導制御試験
- 推力制御試験
- 遷移飛行試験

等に展開した飛行試験を実施しトータル飛行試験の見通しを得た。



図 2-1-7-5 屋外飛行実験



図 2-1-7-6 水平飛行の様子

2-2 多発ロータ機の開発

2-2-1 全体システム計画展開

多発ロータ機に関して今年度は、4ロータ、6ロータ、8ロータ機に関して離陸から着陸までの全自動飛行を可能にし、地上システムとのインターフェースを特に画像伝送に関して確認試験を実施した。応用技術に関しては、植生観測に適用し、固定翼UAVによる植生観測との比較検討を行った。また、AED（自動体外式除細動器、Automated External Defibrillator）の自動搬送試験を医療関係者と協力して実施し、無人機の応用に関する新たな展開の見通しを得た。



図 2-2-1-1 植生観測に利用した6ロータ機と固定翼UAV



図2-2-1-2 AED搬送実験（8ロータ機）



図2-2-1-3 AED自動搬送経路（京葉カントリークラブ）

2-2-2 飛行制御則

飛行制御側に関しては、多発ロータ機に関する全自動飛行制御側を完成させた。GPSによるポジション取得を基本にするが、高度に関してはより精度を向上させるために気圧高度計を用い、方位に関しては磁気方位計を用いた。飛行ルートは上昇、降下、ウェイポイントトラッキングを用いた。

多発ローターVTOL は4発以上の電動モーター駆動プロペラによって飛行する VTOL (Vertical Takeoff and Landing) 型 UAV であり、今回4発、6発、8発ロータ機に関して高利用率プラットフォーム制御則を構築した。



図2-2-2-1 4発口一タ機



図2-2-2-2 6発口一タ機



図2-2-2-3 8発口一タ機

機体システムの構成は図2-2-2-4のようになり、GPSと気圧高度計で位置を検出し、加速度計とジャイロ、方位系で姿勢を算出し、必要な制御入力によってプロペラ回転数を制御する。制御系の構成は図2-2-2-5のようになる。

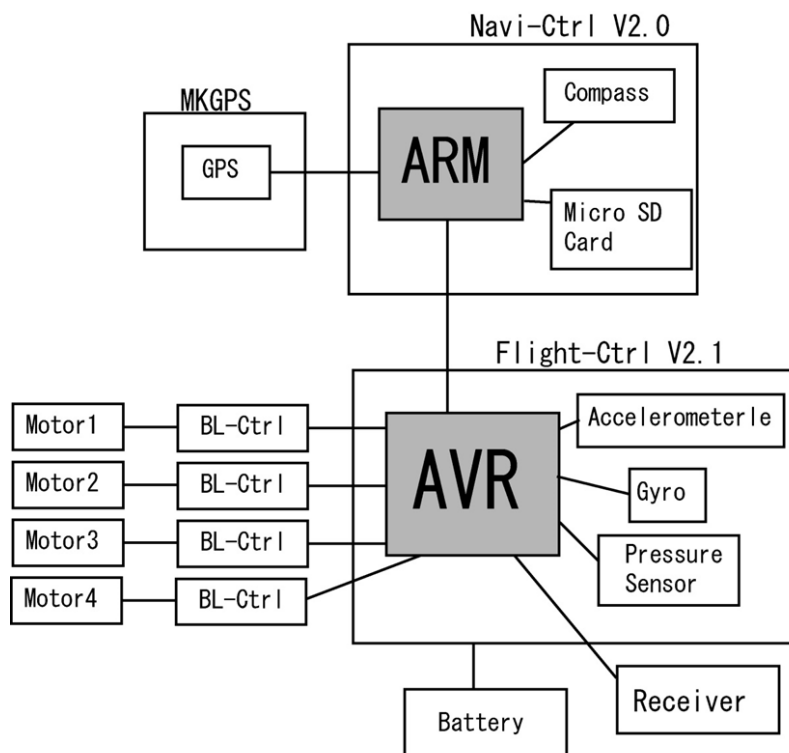


図2-2-2-4 4発ロータ機の機器構成

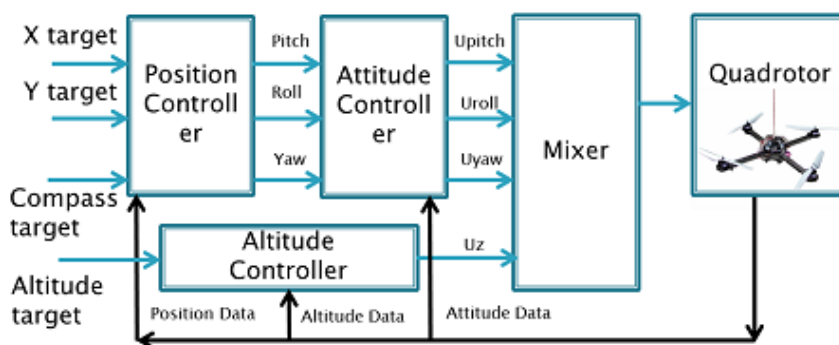


図2-2-2-5 制御系の構成

2-2-3 飛行試験

飛行試験に関しては、東京大学内のフィールド試験の他に、守谷飛行場（茨城県守谷市）での確認試験を経て、植生観測を広島県八幡湿原で実施し、AED搬送試験を千葉県千葉市のゴルフコース（京葉カントリークラブで実施した）。

飛行試験の結果、固定翼UAVは広域の空撮に適し、多発ロータ機はスポット的な詳細な空撮に適することが確認でき、テールシッター機が実用化されれば、固定翼機と多発ロータ機の長所を1台でカバーできることが明確になった。AEDの搬送に関しては、多発ロータ機の垂直離着陸機能の有効性が確認されたが、緊急を要する搬送には、固定翼機の飛行速度が求められるため、こちらもテールシッター機が実用化されれば搬送手段としてさらに有効であることが判明した。

2-3 制御センサ開発

2-3-1 Tiny Feather 機能拡大利用の推進

本事業で使用する制御センサは、長田電機株式会社製 Tiny Feather (NA-35) を基本とし、研究内容に合わせて一部の仕様の変更を行っている。Tiny Feather は、長田電機、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）、東京大学の共同研究により開発された航法装置であり、MEMS センサである小型加速度センサ（3軸）、ジャイロセンサ（3軸）、地磁気センサ、GPS センサの各出力を融合させ、搭載機体の位置、速度、姿勢を高精度に計測することができる。

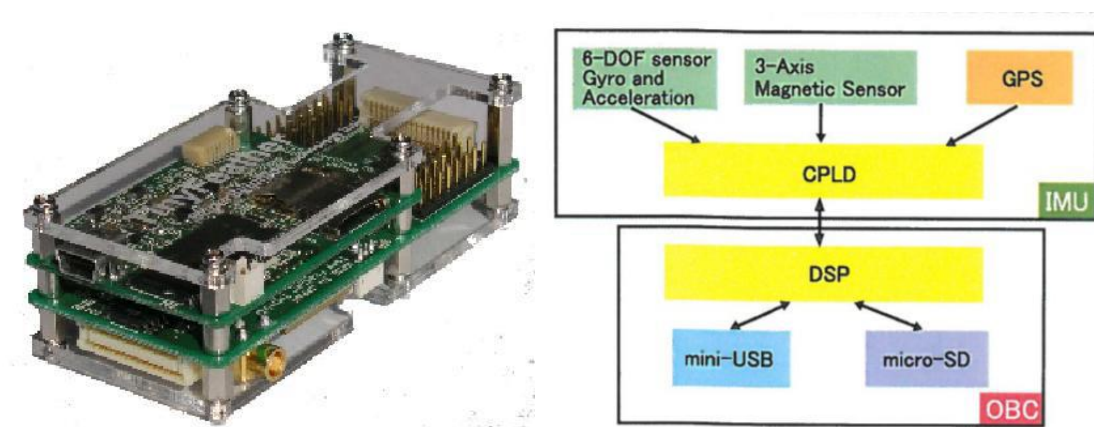


図 2-3-1 Tiny Feather 外観と基本ブロックダイアログ

本事業では、Tiny Feather に加え、制御装置とインターフェースを製作して機体制御を行ってきた。インターフェースは、GPS 時刻、緯度、経度、高度、速度、ヨー角、ロール角、ピッチ角、加速度 X 軸、加速度 Y 軸、加速度 Z 軸、角速度 X 軸、角速度 Y 軸、角速度 Z 軸、迎角、横滑り角を Tiny Feather から制御装置に出力し、制御装置が制御信号を計算し、サーボ、モータに信号を出力している。しかしながら、Tiny Feather は本来、基本ブロックダイアログにあるように、高性能マイコン DSP とサーボ、モータへの信号出力

機能を有している。そこで、制御システムの簡略化と機体重量の軽量化をはかるため、Tiny Feather のみによる機体制御を試みた。

Tiny Feather にこれまでの成果である制御則プログラムを移植して予備飛行試験を実施し、これまでの試験結果と同様な挙動で機体を制御できることを確認した。これから離陸から着陸までの全飛行プロファイルを Tiny Feather によって可能となった。



図 2-3-1 試験機体外観

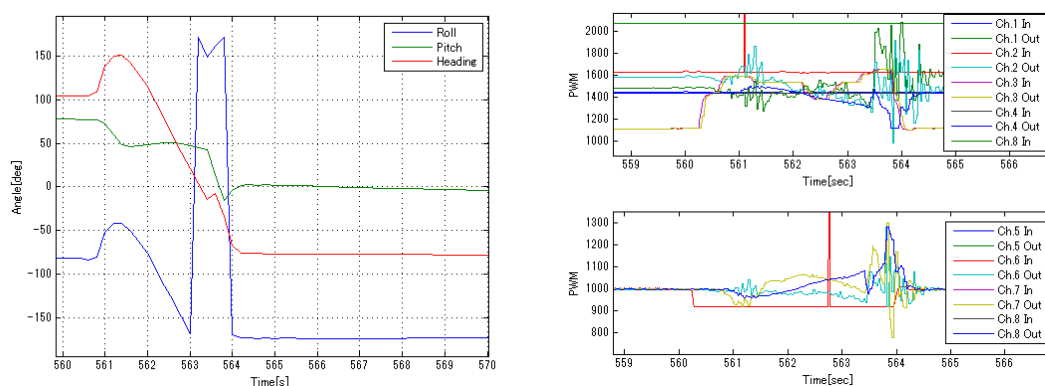


図 2-3-2 ホバリング試験時の飛行ログ（左：姿勢角，右：制御信号）

2-4 各研究項目への取り組み

2-4-1 高利用性プラットフォーム制御側の構築検討

(1) テールシッタ機

本年度作業としては水平飛行機能の高度差のある設定ポイントの周回飛行機能、及び経路生成設定機能の飛行試験確認と、ホバリング飛行機能の構築と設定を行った。

水平飛行機能については大樹町での飛行試験によってこれらを確認し完了することとなった。またホバリング飛行機能については、システムは同じ仕様書をベースとして同一だが、別の飛行試験機を用い別の制御ボックスを開発して全てのこの機能を構築し、その性能を確認した。これは当初の無計画から外れ残り一年となって一からの開発になったが、当初予定通りの飛行機能を完成させることができたものである。

このため、当初 Tiny Feather 機能拡張試験はその名称通り、センサ機能を拡充して制御機能をカバーさせ本開発で適用した制御ボックスを排除できる軽量システムを開発することが目的であったが、それぞれ別々の機体を用いて開発された水平飛行機能とホバリング飛行機能を併せ検証する試験となった。そしてこれらの目的を成功裏に完了した。

これらのステップにより、テールシッタ機をプラットフォームとした高利用性制御側の開発を完了したことになる。垂直離陸、上昇、ミッション・エリアへの移動と周回飛行、及び基地帰還、垂直姿勢着陸とテールシッタとしての全飛行行程をその安全機能とともに自律的に実施する制御ソフトウェアが基本的な開発段階を終了したことになる。

(2) 多発マルチロータ機

マルチロータ機としてはその自律制御ソフトウェアの基本的開発は2年度までに終了しており、本年度は主としてその活用と運用効果の確認を行った。湿地や海岸線等の観察ミッション試験とAED搬送試験という全く新しい用途開拓のための試験等がそれにあたる。制御ソフトウェアについてはこれらの運用実証試験の結果をフィードバックして更なる向上を図った。

2-4-2 システム自動作動ソフトウェアの高度化検討

本年度はホバリング飛行機能についての高度化をシステム制御側の構築とその確認を行う過程で実施した。具体的には各飛行セグメントを連携させて自律的に作動させる系としたこととともに、システム作動を常にマニュアル・モニタし、操作のオーバライドを可能にしたことを飛行試験確認した。

これによって水平飛行機能の高度化と相俟って全体飛行の高度化が実現できたことと、システム運用中の異常によるパラシュート開傘や、基地帰還モードの開始機能とともに総合的な高度化を達成したことになる。

2-4-3 安全で最適な任務飛行経路の自動生成検討

本年度は飛行試験によって任務飛行経路の自動生成機能を確認した。これにより昨年度でのフライト・シミュレーションによる本機能の確認と合わせ、機能の全貌についての実施能力を検証できた。

本機能は飛行回避を要する地形や空域データをデジタル 3 次元データで入力することによって機能する。それによって計画通りの経路生成機能を発揮することはもとより、システム異常の場合の基地帰還飛行に対してはその効果を十分期待できるものになる。また将来、see & avoid のセンサが手頃が開発されるようになった段階ではこの上ない効果を発揮するものとして位置づけられる。

2-4-4 ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化検討

テールシッタ機ホバリング制御則におけるモジュール化と製造工程の可視化検討状況を以下に記す。

(1) モジュール毎の実装と単体試験

1) メインモジュール

メインタスクは、H/W の初期化と初期パラメータの読み込み及び各タスクのスタート処理を行う。

図 2-4-4-1 に概要フローチャートを示す。

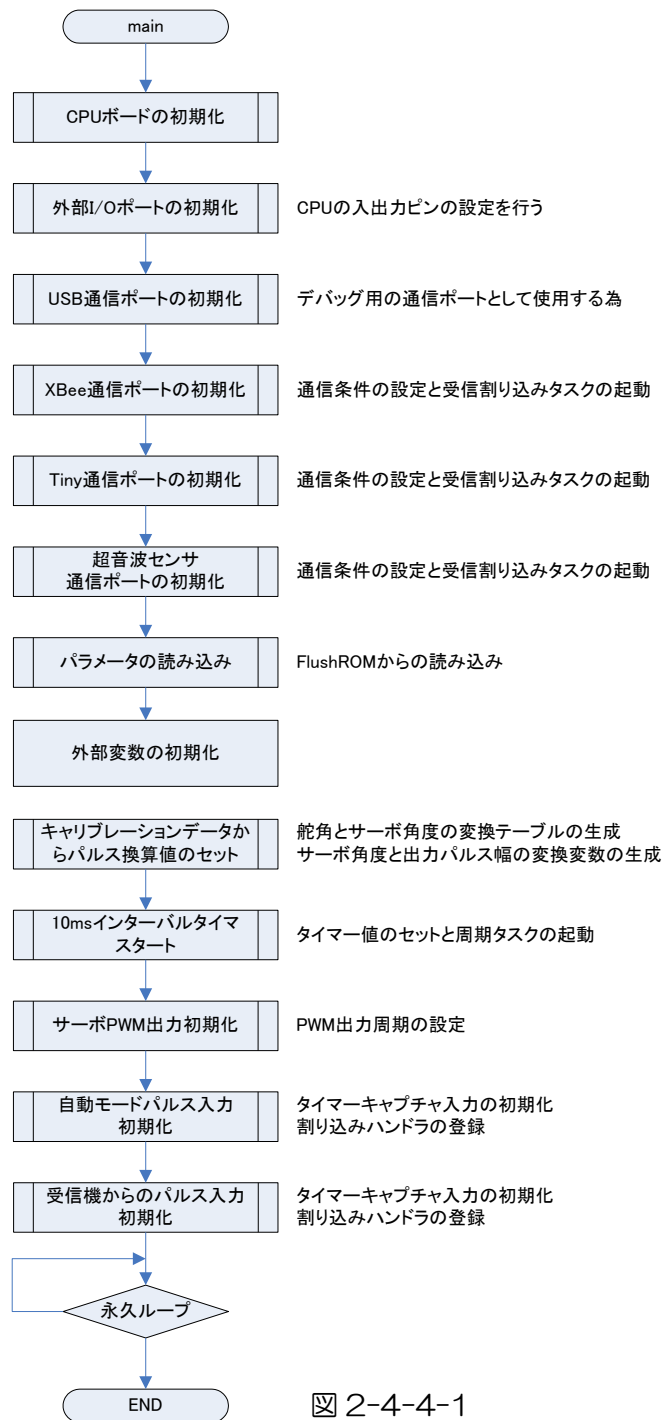


図 2-4-4-1

メインモジュールフローチャート

メインモジュールは、他のモジュール化されたプログラムを呼び出すのみの処理となり、コメントイン、コメントアウトする事で容易に他モジュールの動作試験を行う事が出来る仕組みとした。

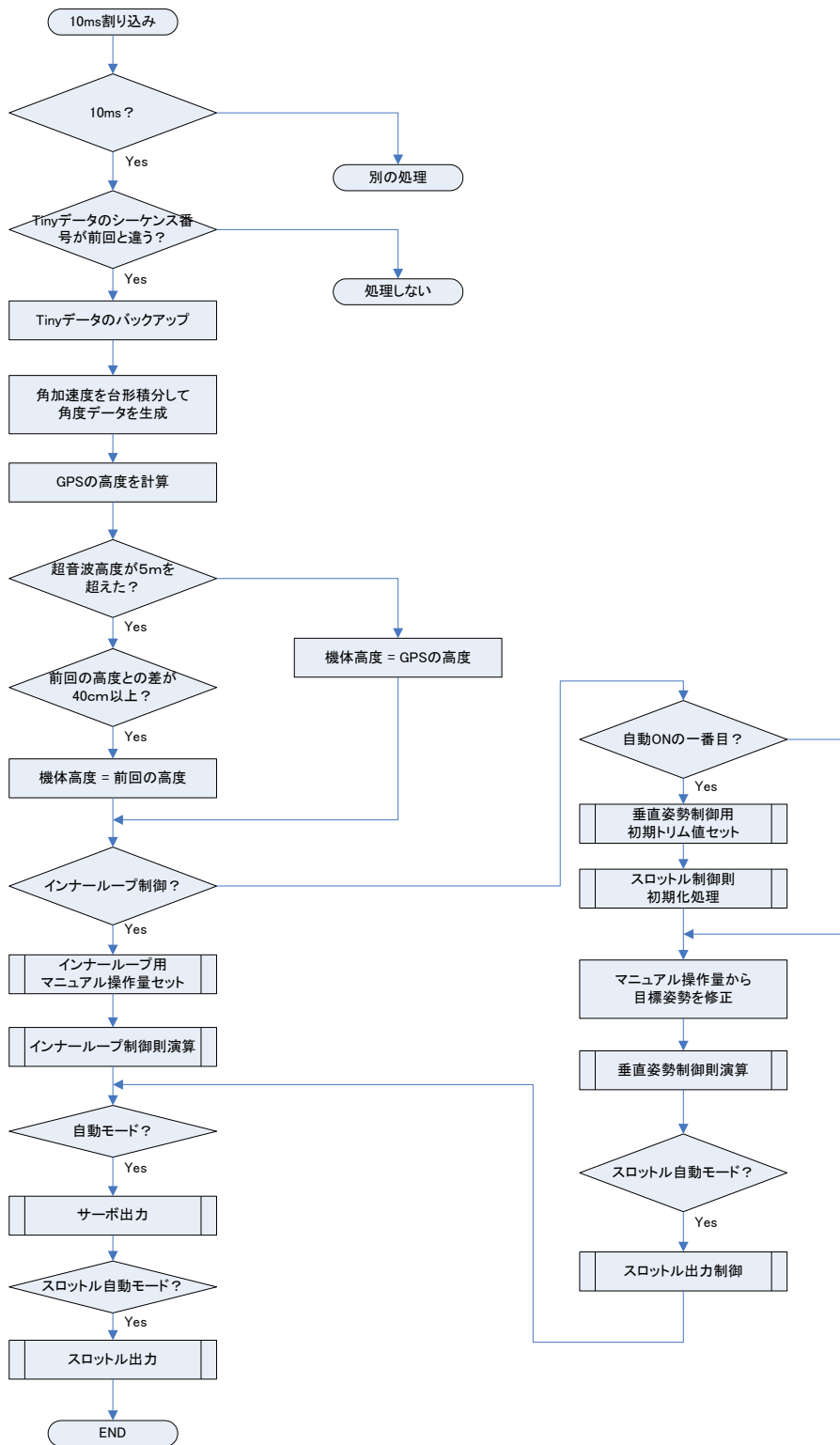


図 2-4-4-2 周期タスクモジュール・フローチャート

(4) 評価試験

(3)項モジュール図に従った製造工程評価試験を実施し、問題ないことを確認することによってV字ステップ評価を行った。

2-4-5 ハードウェア・インターフェースの標準化検討

本年度作業のホバリング飛行機能確認においても特有のものとして超音波距離センサを適用している。これと制御ボックスとの間にもデータ・インターフェースを設け、たとえば当初予定したレーザ高度計を用いても制御ループにすぐに組み入れうることとなっている。

2-4-6 地上システムの汎用化検討

(1) 多発ロータ機

地上システムを多発ロータ機に適用する際の検討から汎用化検討を実施した。

1) 画像伝送機能

地上システムの画像伝送機能を4ロータ機により評価試験を行った。図2-4-6-1に示すように4ロータ機にカメラと画像処理ボードを搭載し飛行試験を実施した。本地上システムは2.4GHz帯の無線を使用しているため、遠隔操作プロポの無線との干渉に注意する必要がある。今回使用したプロポも2.4GHz帯を使用のため、地上送受信機に遠隔操作プロポを近づけると送受信が不安定になった。その対策は、(1)地上送受信機と遠隔操作プロポを話す(30mほど)、(2)周波数の異なるプロポを使用する、によって解決された。

飛行試験によって、デジタル画像がリアルタイムで受信できることを確認した。

2) 地上管制システム

固定翼用の地上管制システムは、(1)ウェイポイントの指定、(2)飛行高度の指定、(3)飛行速度の指定、がなされるが、テールシッター、多発ロータ機ではホバーが可能であるため、下記のような飛行モードを区分する必要がある。

- ・ホバーモード
- ・垂直上昇モード
- ・垂直降下モード

さらに多発ロータ機では方位を自由に設定できるため飛行中の方位を指定する必要がある。

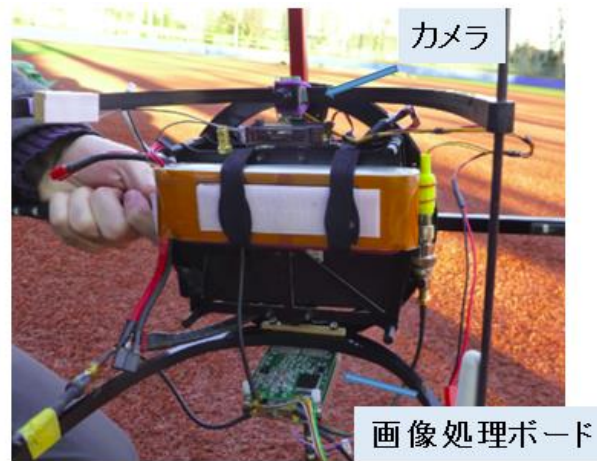


図2-4-6-1 画像伝送ユニットを搭載した4ロータ機



図2-4-6-2 地上ユニット



図2-4-6-3 4ロータ機

2-4-7 フライト・シミュレータの開発検討

昨年度までに完了しており、今年度作業はないが、大樹町飛行試験前にこれを利用した特性確認を実施し有用であった。

2-4-8 実装試験法の検討

ホバリング飛行特性確認の諸試験が対象になる。

システム構成は

- ・センサ系: Tiny Feather、超音波距離計
- ・駆動系: 舵面サーボ、推進モータ/スピコン
- ・電源系: 推進モータ用、制御システム用
- ・制御系: 制御ボックス

となっており、それに制御データ電波伝送系、マニュアル操作電波系が加わって構成されている。

これらのハードウェアを実装したシステム構成によって、その機能の地上試験を行った。

2-4-9 段階的飛行試験の検討

飛行試験ではセンサの動きとそのシステム・インターフェースのみをチェックし制御作動はしないオープン・ループ試験と、制御ボックス機能を直接的にチェックするクローズド・ループ試験で段階的な試験の進展を図った。

ホバリング飛行特性確認飛行試験では

- ・室内地上オープン・ループ試験、クローズド・ループ試験
- ・室内紐釣り飛行試験
- ・戸外紐釣り飛行試験
- ・戸外紐つけ飛行試験

を経て、戸外本飛行試験を実施した。

2-4-10 実用化検討

(1) 植生観察

東京大学では広島県林業技術センターと共同で、広島県八幡湿原の植生観察をUAVにより実施している。今年度、従来の固定翼UAVによる空撮に加え、多発ロータ機による空撮も同時に実施し、今後の事業展開に向けた展望を行った。

1) 八幡湿原における空撮の目的

平成15年に施行された「自然再生推進法」に基づき、広島県八幡湿原の自然再生事業が八幡湿原自然再生協議会によって推進されることになった。広島県北西部の

標高800mの八幡湿原は日本の湿原の南限にあたり、学術的にも価値が高いが、戦後の放牧事業によって乾燥化が進んだ。その後、放牧事業は中止されたが、湿原には戻らず、自然生態系を保全・再生することが決定した。自然再生のための土木工事は平成19年より開始され、その前後による当地の植生変化を定期的にモニターするために、無人機による空撮を実施している。

(<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/j-yawata-conf-conf.html>)

2) 観測エリア

空撮による観測エリアは図2-4-10-1にある長さ700m、幅100mほどである。

観測エリアは公園内にあるため、一般人への被害の心配は無い。飛行高度は80m～100mであり、航空局への届け出は必要ない。

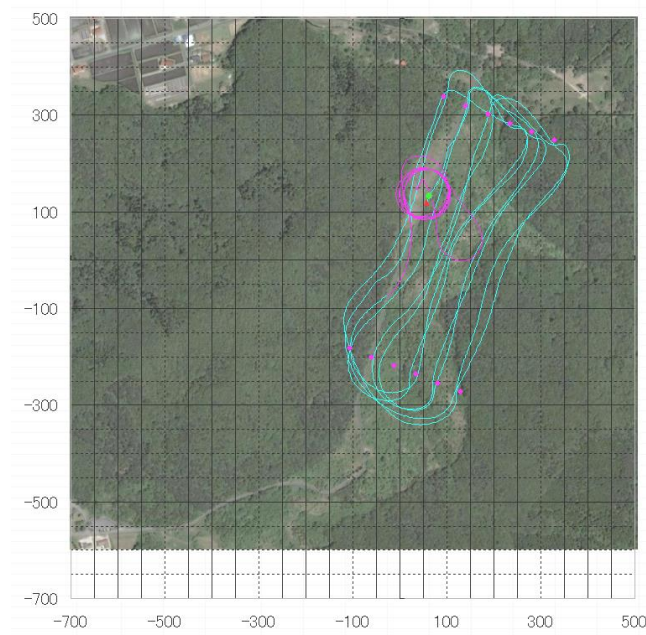


図2-4-10-1 飛行エリア（広島県八幡湿原）

3) 固定翼無人機による観測例

平成19～21年に行った空撮結果を図2-4-10-2に示す。無人機による空撮静止画は撮像範囲が狭いがオルソ処理により広域画像を取得することができる。土木工事による湿地化と植生の変化を記録することができた。



H19年6月

H19年11月

H20年8月

図2-4-10-2 工事前後の植生の変化

<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/j-yawata-history-history.html>

4) 今年度の空撮結果

今年度は、新たに6ロータ機を現地に持ち込み、固定翼無人機との併用により空撮を初めて実施した。図2-4-10-3は固定翼無人機と6ロータ機の写真である。固定翼無人機は広域の空撮に適し、マルチコプターは狭域の空撮に適し、図2-4-10-4にその飛行経路を示す。図2-4-10-5は固定翼機による空撮結果で、分解能は1ピクセルあたり2cm程度で植生の観測には十分な解像度といえる。多発ロータ機は高度30~35mを飛行し、フルHDの動画を取得した。動画から静止画を切り出すと、撮影画像はブレが見られた(図2-4-10-6)。

本サポインで開発のテールシッター気が実用化されれば、固定翼による広域の空撮と、ホバー飛行による定点空撮を1機で実施できるためこうした空撮にはより適していることが確認できた。



図2-4-10-3 固定翼機と6ロータ機

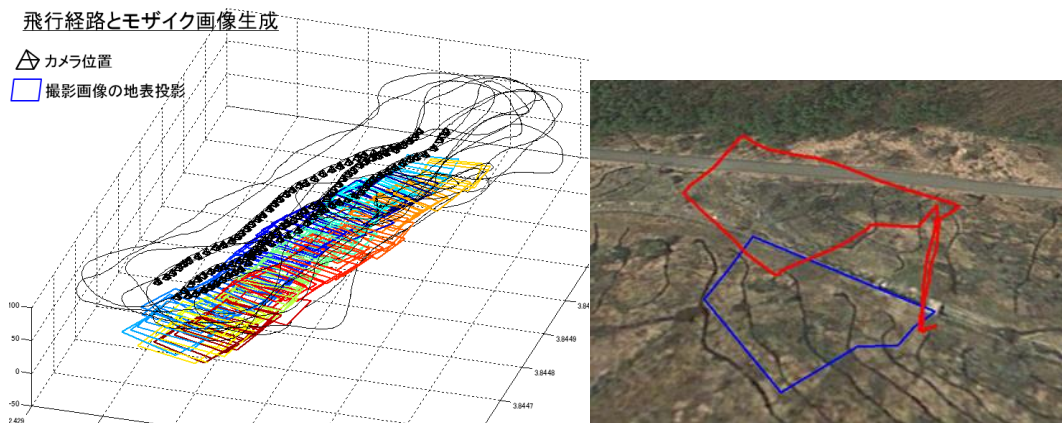


図2-4-10-4 固定翼機と多発ロータ機の飛行経路



図2-4-10-5 固定翼機による空撮結果



➡ 動画像を切り出し静止画で確認すると撮影画像は若干ぶれている

図2-4-10-6 多発ロータ機による空撮

(2) AED搬送試験

無人機の応用として空撮以外に空中搬送への利用が期待されている。米国アマゾンでは小型無人飛行機での配送サービス「Prime Air」の計画を発表し、宅配ピザチェーンの「ドミノ・ピザ」はキャンペーンで多発ロータ機での配達を行っている。東大では、「減らせ突然死プロジェクト」と協力し、AED（自動体外式除細動器、Automated External Defibrillator）の空中搬送試験を行った。

AEDは、電気的なショック（除細動）を与え、心臓の働きを戻すことを試みる医療機器であり、日本に導入され10年ほどになる。倒れてから5分以内にAEDを使えば救命率は50%だが、10分経過すると0%に近くなるという、迅速な処置が必要になる。2014年にはオランダやカナダで多発ロータ機によるAEDの空中搬送の試験が行われているのも、迅速に届ける必要がある証拠である。

今回、ゴルフ場を利用して多発ドローン機の空中搬送を試みたのは

- 1) 中高年者がゴルフ中に突然死するケースが多い。
- 2) 救急車の到着にも時間がかかり、広いゴルフ場ではAEDの設置個所も限られている。
- 3) 木々の高さはほぼ10mに限られ、土地も平坦であり、無人機の飛行に適している。
- 4) 墜落してもけが人が出る確率は低い。

など、使用の条件がそろっているためである。

AED（Fillips 製）は重量2.5Kgであり、ベルトを介して8発ロータ機に固定した。8発ロータ機自体はバッテリー込みで自重3.0Kgである。実験に使用したゴルフ場は千葉県千葉市の京葉カントリークラブである。



図2-4-10-7 AEDを抱えた8発ロータ機

飛行は、GPSによる全自動飛行で、25mの垂直上昇後、150mを水平飛行し、垂直降下させた。離陸、巡航、着陸すべて全自動飛行である。図2-4-10-8はその飛行経

路である。クラブハウス前の空き地から離陸させ、木々を超えるために25m上昇し、その後、150m離れたコース上まで水平飛行し、指定された位置で垂直降下し着陸した。上昇、降下を含め、飛行時間は約2分であった。

同日、全球パノラマカメラによる動画撮影の実験も行い。鮮明な全球パノラマ動画の撮影も可能であることを確認した。

本実験により多発ロータ機による AED 自動搬送が可能であることが確認でき、下記の知見を得た。

- 1) 離陸から着陸までの全自動飛行を2.5KgのAEDを搭載しても可能であることを確認した。
- 2) 多発ロータ機の垂直離着陸機能は空中搬送に有効であることを確認した。
- 3) 飛行速度を上げることは可能と考えられるが、多発ロータ機には限界があり、より高速を目指すのであればテールシッター機が有効と考えられる。
- 4) 飛行時間は15分以下であるが、AED搬送には十分である。
- 5) 患者の位置を知らせるアプリなどが開発され、位置情報が素早く入力できれば実用化される可能性は大きいと考えられる。



図2-4-10-8 飛行経路

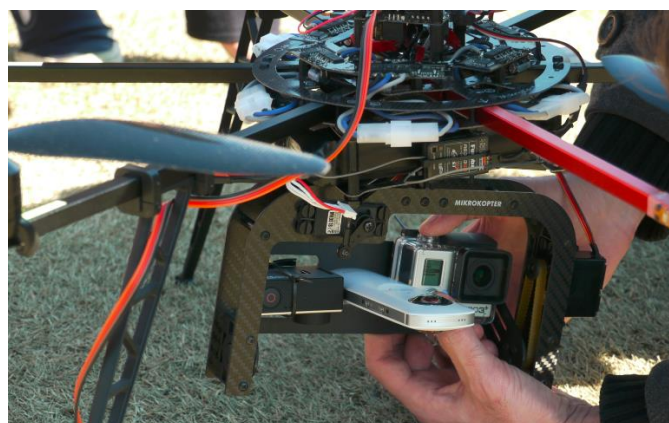


図2-4-10-9 全球パノラマカメラの搭載

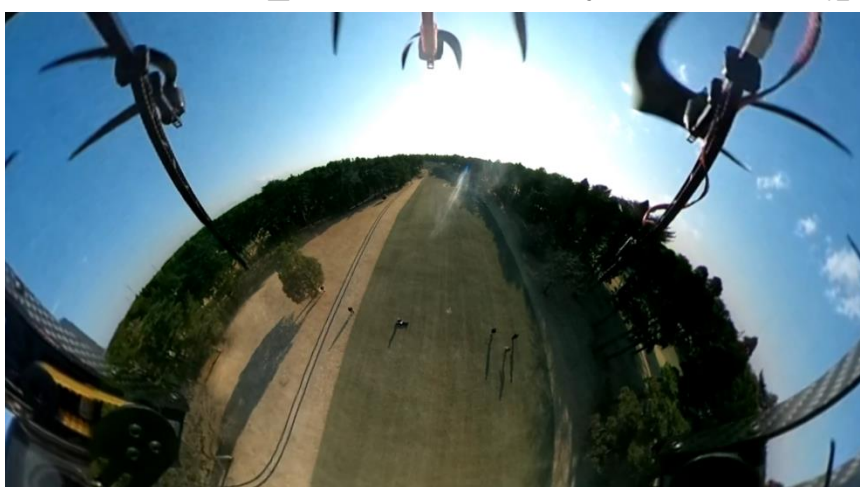


図2-4-10-10 全球パノラマカメラの撮影状況

なお、実験の様子は下記で報道された。

1) ゴルファーに無人飛行機でAED輸送 東大などが実験、木村俊介、2015年1月19日20時40分(朝日新聞DIGITAL)

<http://www.asahi.com/articles/ASH1M5HK8H1MULBJ00K.html>

2) 無人ヘリでAED搬送 千葉市のゴルフ場で実験、2015年1月22日(東京新聞Tokyo Web)

<http://www.tokyo-np.co.jp/article/chiba/20150122/CK2015012202000149.html>

3) ゴルファー心臓発作:無人ヘリでAEDを搬送 救命実験、毎日新聞 2015年02月16日、<http://mainichi.jp/select/news/20150216k0000e040197000c.html>

2-4-11 まとめ

ここまでの今年度の作業状況報告は、これまでの3ヵ年作業の総決算になるが、第一章で言及した実施計画書に設定した本事業における目的を達成して、事業化の基盤になる基本的開発研究は終了したことになる。

実施計画書における技術的目標については、

項 目	現 状	目 標 値	備 考 (評価対象)
運用に係る稼働人員	5人以上	2人	自動作動化ソフトウェア
行動範囲	2km	5km	テールシッタ型UAS
必要滑走路(面積)	6,000 m ²	100m ²	テールシッタ型UAS
1機における離着陸回数	5回	50回	ソフトウェアの標準化、汎用化、高信頼性化

を掲げたが、いずれも十分満足できる結果を推定できることとなった。

ただし、1機における離着陸回数については、ソフトウェア/システムの開発途上でもあり、定常運用状態でのシステム/部品信頼性を導出する基本データに欠いたが、数百回に及んだ試験でのシステム作動のうち数回の機体墜落、部品取り扱い不設定、等による部品損傷や故障発生にとどまっており、いわゆる部品故障に起因するシステム故障を観察しなかったことから、十分なベースデータと判断できる。

第3章 全体総括

3-1 これまでの研究開発成果

図 3-1-1 に年度を通じた概略研究開発線表を示す。

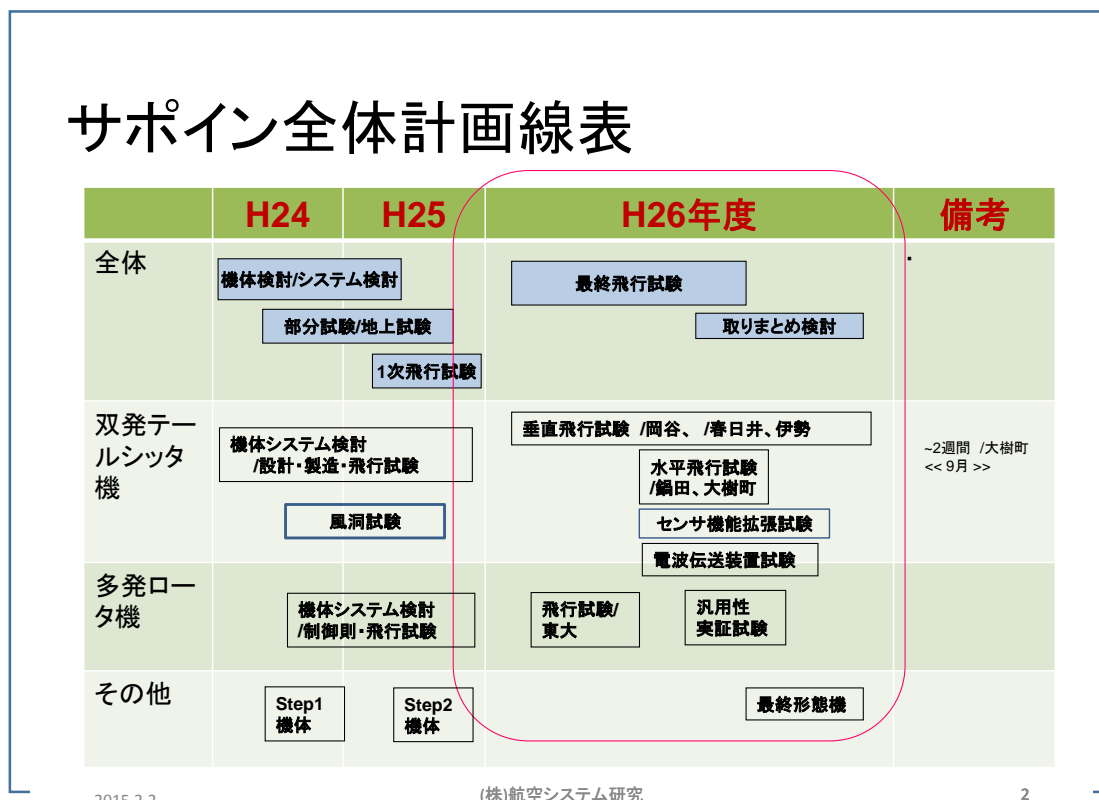


図 3-1-1 サポイン全体計画線表

3-1-1 高利用性プラットフォーム制御則の構築検討

(1) テールシッタ機

初年度は機体システム概念の取りまとめを行い、制御則を含むシステム設計、試験機体設計とその製作によって飛行試験の準備を行った。並行して風洞試験のための試験機体設計製造を行い、基礎風洞試験を開始した。

機体形状はいくつかの候補機によるマニュアル飛行試験を行いながらその結果を盛り込み全翼機形態にカナードをつけたスパン 1.6m、3Kg 程度のステップ 1 機を出発点とした。その後 2 年目にはそれまでの飛行試験結果から機体規模を機体スパン 2m、6Kg になるステップ 2 にしたが、3 年目には垂直離着陸特性の反映からステップ 1 規模に戻りそれを本研究開発での最終形態としている。

2 年度は水平飛行制御機能構築を目途とした飛行試験確認を主体とした。風洞試験も完了して制御則設計の基盤となる基礎空力データをベースにした数学モデルを最終的に設定している。年度末には垂直離着陸予備飛行試験を開始したが、機体重心をコントロールする供試体の製作に手間取り 3 年度にそのすべてを実施することとなった。

3 年度で水平飛行制御機能の未確認部分と、垂直離着陸制御機能とその連携機能についても飛行試験を終了し、テールシッタ機の全体システム制御則と目的とした高利用性プラットフォーム構築を完了した。特に垂直離着陸制御機能確認試験については当初の予定を大幅にオーバーしてほとんど年間を通した予備試験と本試験の実施になったが、次のステップとしてのセンサ機能拡張試験も完了して今後の基盤とすることができた。

また垂直尾翼なしの機体形態については初年度から試験確認を実施し、小型軽量タイプによるマニュアル飛行も実施してその制御則についての成立性を確認した。2 年度では基本形態をベースにした形状、モータ配置等での各種バリエーション効果を試験確認しながら、マニュアル飛行を完成させ、自律飛行機能についても具体的方向性を得た。3 年度にはステップ 2 程度の機体重量による試験機によってその全飛行パターン制御機能の飛行試験確認を行って完了の目途を得ている。結果として軽量化をキーワードとする電動型機には垂直尾翼なし形態を、長時間ミッションをキーワードとするエンジン機型には垂直尾翼付形態が最適との結論を得た。

これらの開発の流れの概要を図 3-1-1-1 に示す。

テールシッタの成果 (FYH24 ~ FYH26)

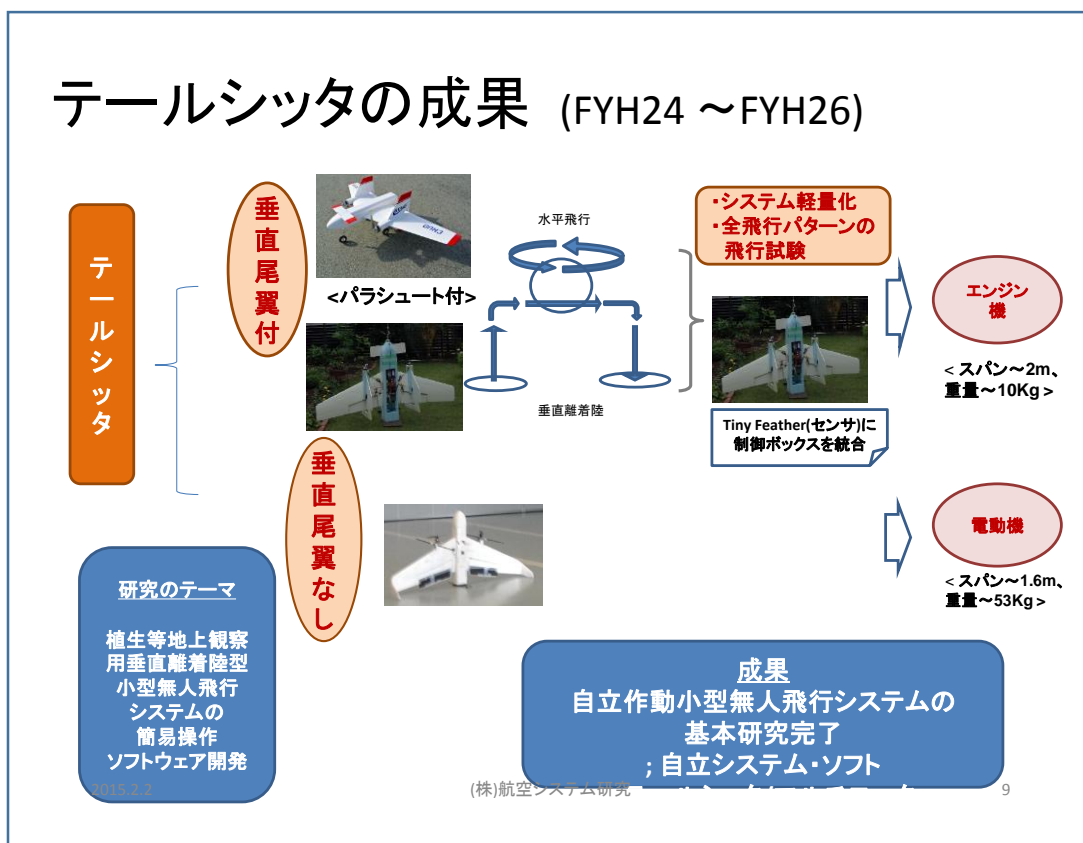


図 3-1-1-1 テールシッタの開発の流れ

風洞試験実施については小型無人機としては異例の開発ステップを導入したことになるが、本開発研究では随所に実航空機開発における考え方導入し、その成果が将来航空法下においても評価される方向を模索する試みの一つであり、一例を示すことができた。

(2) 多発ロータ機

初年度は市販の4発ロータ機を購入し、その作動特性を確認しながらセンサおよび作動系から構成される制御システムを構築して自立システム制御則構築のプラットフォームとしての整備を行った。制御側としても2-2-2項に示すように全体計画の基盤となる4発系での設定を行った。2年度はこれを飛行試験確認してリファインするとともに6発ロータ系、8発ロータ系へと発展させ、プラットフォームも整備しながら飛行試験確認を実施し、その妥当性を確認した。最終年度はコレラを再確認するとともに地上装置汎用試験で他プラットフォームとの汎用運用性を設定し確認するとともに、2年度も実施している湿地観察試験、また今年度の海岸線観察試験、AED搬送試験等実用試験も重ね、設定制御則の最終化とその有用性を確認した。

3-1-2 システム自動作動ソフトウェアの高度化検討

機体が離陸してミッションを遂行後、帰還しての着陸までにおける各飛行セグメント/モード遂行を自動化するとともにその連携を円滑に行い得る制御則の構築が自動作動高度化になるが、その間のシステム以上に対する検知とその対応措置の設定が高度化の要になる。テールシッタ機ではシステム故障に対する自動帰還モードの起動、電波不到達に対するパラシュート開傘機能を備えた。そしてこれは初年度にシステム設計し、次年度以降の各飛行試験で確認された。特にテールシッタ水平飛行時の故障対策ロジックについては2年度に確認している。またパラシュート開傘機能についての飛行試験確認も実施した。

3年目に実施したホバリング飛行機能設定においても全体飛行の一環としての高度化設定が機能することを念頭に置いて構築し、試験確認を行ったが、垂直離着陸時の完全目視範囲内ではマニュアルによるオーバーライド機能の試験確認にも重点をおいた。

課題は NEC 地上装置の電波伝搬機能がマニュアル作動用電波との干渉を起し、概念としたシステム安全性への障害となったことである。この問題は第二章で述べたように干渉回避対策をとることによって解決を見て装置の目的とした性能を確認し全体システム運用概念にも支障ないことを確認しているが、今後の無人機適用電波の適用に当たっては装置設計に対して配慮していくべき問題となる。

図 3-1-2-1 に全体の流れを示す。

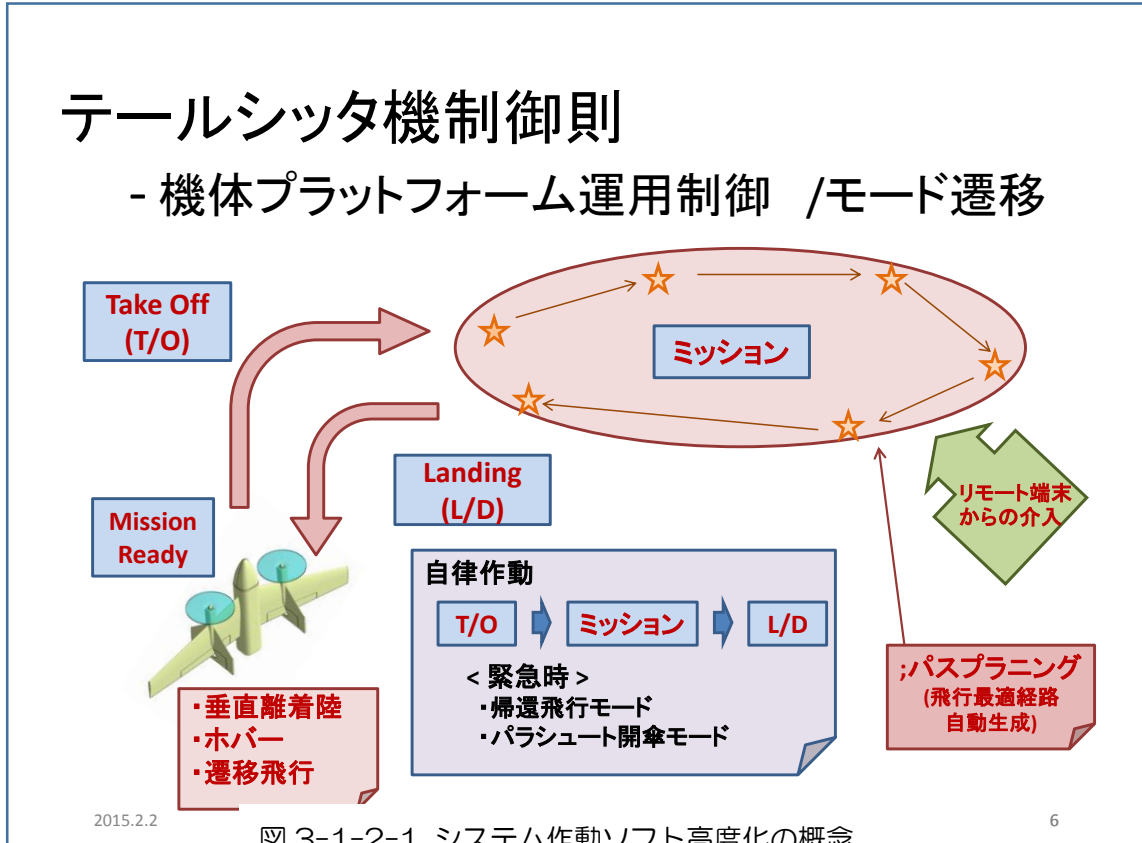


図 3-1-2-1 システム作動ソフト高度化の概念

3-1-3 安全で最適な任務飛行経路の自動生成検討

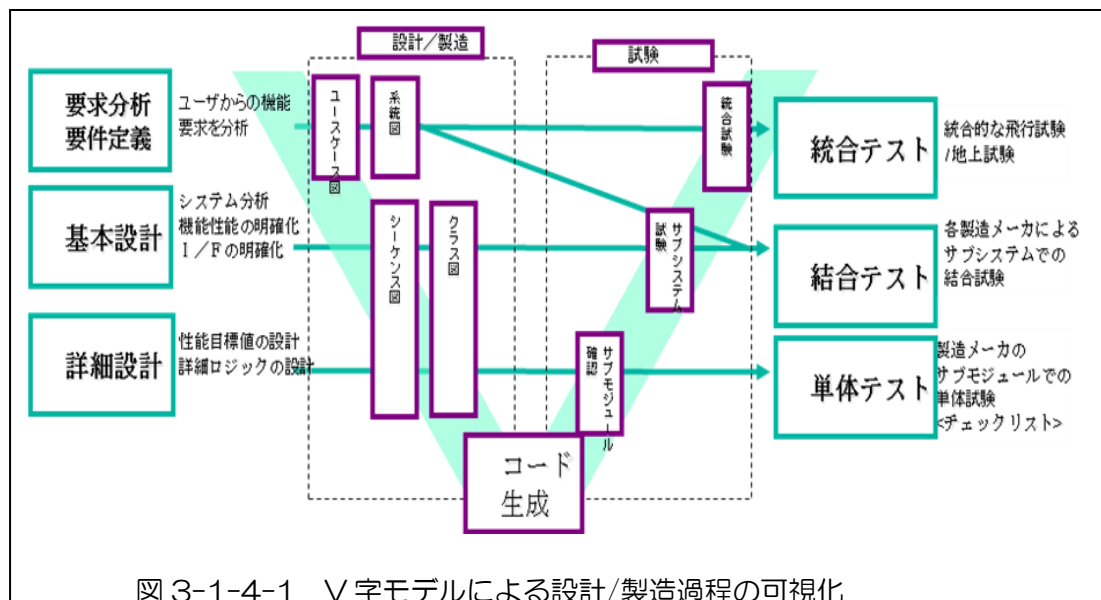
本機能はパス・プランニングと称して取り組んでいるものであるが、テールシッタ機に対して2年度に構築し、飛行シミュレーションでのその機能確認を終えたのち、3年度で飛行試験確認を実施した。

これによって、予定した飛行ルートに対し飛行禁止情報を与えることによってその領域を回避飛行することができ、システム故障時とか指令時には指定ルートに係らない最短の安全な帰還ルートを選択する機能を得た。

3-1-4 ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化検討

制御側ソフトウェアの製造では、システム・ブロック図で全体概念を明確にしなが、基本的にはV字シェープ概念を製造と検証のベースとした。そのためにフロー・チャートやモジュール構成図でソフトの構成を把握するとともに、要すればユースケース図、クラス図によってモジュール構成もレベル分けしながら、そしてその検証試験を実施した。これらは初年度に概念を検討して設計等に反映し、2年目/3年目の製造とその最終試験を通して確認した。特に3年度については垂直離着陸等のテールシッタ基本機能制御ソフトについてもモジュール・フローチャートを明確にし、対応して試験確認していく等、同様の概念に基づいた開発を実施した。

V字シェープの考え方を図3-1-4-1に示す。



ここで示す概念に基づくシステム・ソフトウェア製造過程を持つことはRTCAが世に示しているソフト信頼性確保の基本路線を踏襲するものであり、なおかつ小型無人機

でやれる方向ないし、範囲を示したもので、将来無人機航空法下に於けるルール作りに対しての一案を提示するものである。

3-1-5 ハードウェア・インターフェースの標準化検討

基本的な機体システム構成には、モータ/プロペラ、モータ回転速度制御器、舵面サーボ、機体運動・姿勢/GPS/高度等のセンサ等の要素が存在する。各要素にインターフェース部分を作りそれを介した制御ボックスとの信号通信を行う形式にすると、いろんなハードウェアに対し柔軟性を持つことになる。この概念を初年度に展開し、2年度以降の試験機体システム製作にあたって実行した。その結果同種モデル、他社モデルの適用も可能で試験効率の向上が図られた。

したがってこの項は計画の全体を通して実行し、標準化の効果を試験効率に置き換えながら実施したものになる。

3-1-6 地上システムの汎用化検討

無人機システムでは飛行管制地上システムとデータリンク/画像伝送地上システムが存在する。後者はアンテナを含めた機体搭載系と対にしてどのプラットフォームにも使える汎用システムだが、ここでの汎用化は飛行管制地上システムを対象としている。

またこの汎用化概念はたとえば固定翼機、ヘリコプター等のすべての形式の無人機を対象にしているが、ここではこの概念の構築とその実証のためにテールシッタ機と、マルチロータ機を適用している。

本概念は地上システムと機体システムとの通信プロトコルを共通化することでその実現を図るが、初年度そのルールのもとにテールシッタ向けの地上飛行管制装置を開発設計し、2年目でその完成を得た。3年目としてこれを用いたマルチロータ機飛行管制の飛行試験を行い、その機能を確認した。

これは事業化検討でも示すように、プラットフォームが固定翼機であれ、ヘリコプターであれ、受け入れ得る柔軟性を持つもので、個別制御が行われるこれらの形式機に対して全体システムとしての適用を可能にしていくことになり、今後の事業化の幅を広げ得るものになる。

今年度のマルチロータ機による地上システム汎用化試験の詳細は以下のようなものである。地上システムを多発ロータ機に適用する際の検討から汎用化検討を実施し、画像伝送機能を飛行試験（4発ロータ機使用）によって確認した。本地上システムは2.4GHz帯の無線を使用しているため、遠隔操作用プロポの無線との干渉に注意が必要であり、（1）地上送受信機と遠隔操作用プロポを話す（30mほど）、（2）周波数の異なるプロポを使用する、ことが必要な点を確認した。

[地上飛行管制システム]

固定翼用の地上飛行管制システムは、（1）ウェイポイントの指定、（2）飛行高度の指定、

(3) 飛行速度の指定、がなされるが、テールシッター、多発ロータ機ではホバーが可能であるため、ホバーモード、垂直上昇モード、垂直降下モードの切り替えが必要であり、飛行中の方位を指定する必要があることを確認した。



図3-1-6-1 地上ユニット



図3-1-6-2 4発ロータ機

3-1-7 フライト・シミュレータの開発検討

フライト・シミュレータは数学モデルによる機体運動にその制御システムと制御アルゴリズムを組み入れたものになる。初年度に設計、製作を行い2年度から稼働している。制御則の設計とその性能確認や、飛行試験前の結果予想はもとより、トラブル・シュートのツールとして役割を果たした。

3年目の本年度も飛行試験前の制御則性能確認のためにその機能を発揮した。

フライト・シミュレータは特に機体システム・ハードウェアとの連結でモデル化誤差を無くしたより効果的なシステム確認と運用ができる。これから小型無人機開発の必須ツールとして定着させていくことが求められる。

3-1-8 実装試験法の検討

実装試験法とは、実機製造の過程でもとられている機体開発と製造の手法であるが、全体無人機システムには機体の動きを感知するセンサー群と機体操作のモータ、サーボ群が制御ボックスとともに存在する。動力系統、電波操作系、モニタ系等々も重要な構成要素になるがこれらのシステム構成要素の実物によってシステム試験を遂行していくやりかたを称している。

飛行試験で段階を経ながら試験を進めていく手法とともに欠かせない開発手法になるがシステムの段階的構築を、段階的に試験することで開発過程の効率化と成果の信頼性を得ることができる。

初年度はその概念によるシステム開発を設定した計画を立て、フライト・シミュレータを中心としたソフトによるシステム性能、機能の確認を実施したが、2年目にはその工程で駆動系、電力系等をまずハードウェアに置き換えた確認試験を実施した。また次の段階として飛行はさせセンサも連結するものの、機体制御を行わずにセンサ・インターフェースのみをチェックするオープン・ループ試験と称した実相試験を実施している。

また本年度のホバリング飛行機能確認試験ステップとしては、屋内紐付き飛行試験の前に全体機体システム用いた各種地上作動試験を実施して、この実装試験法の確実なステップアップの効果を享受した。

この手法についてもシステム開発と製造過程の高信頼性化効果を狙って、今後の無人機開発に適用されていくべきものと考えられる。この効果の定量化は難しいが、この過程の記録をとってそれを検証することによって一定レベルの機体システムであることを認証する際の強力な手法になる。

3-1-9 段階的飛行試験の検討

(1) 一般

飛行試験は主として2年度から制御システムの各構成要素とのインターフェース、および機体操作につながらない作動状況をのみ試験確認するオープン・ループ試験と、機体制御操作も正常に機能させるクローズド・ループ試験でステップアップした。

そしてそのクローズド・ループ試験でも離陸から着陸までの各飛行フェーズをそれぞれに、また各種システムの操作、安全、モニタ等のそれごとの機能確認を段階的に実施した。

3年度に実施したホバリング機能飛行試験では、室内紐釣り試験、屋外紐釣り試験、屋外紐付き試験等の予備試験を経て、室内/屋外本飛行試験に移行した。

(2) 実証試験

これはミッション実効性の確認試験になるが、段階的飛行試験の一環としての試験として述べる。

多発ロータ機においては3年間に下記の飛行実証試験を行った

1) 平成24年度

機体を完成させ、マニュアル操縦を可能にした。



図3-1-9-1 4発ロータ機のマニュアル飛行試験

2) 平成25年度

自動飛行機能を完成させ、飛行試験により確認した。



・ 鹿島沖海岸



図3-1-9-2 自動飛行試験（千葉県鹿島沖海岸）



図3-1-9-3 自動飛行試験における飛行経路

3) 平成26年度

広島県八幡湿原での植生観察を固定翼無人機と共に実施し、植生観測における両タイプUAVを比較し、広域の観察には固定翼UAVが、局地的な観察には多発ロータ機が有効であることを実証した。また、両機の特徴を備え持つテールシッター機が完成すれば、植生観察に有用であることを確認した。

無人機の空中搬送機能とその有用性を実証するために、千葉県千葉市のゴルフコースにおいてAED（自動体外式除細動器、Automated External Defibrillator）の搬送実験を行った。AEDのような緊急を有する輸送に多発ロータ機が有用であることを確認し、特に垂直離着陸の自動飛行機能の利便性が認識された。飛行速度を上昇させることが今後の課題であるが、テールシッター機が完成すれば、垂直自動離着陸と高速巡航を併せ持つため、空中搬送に最適であることを確認した。



図3-1-9-4 植生観測に利用した6発ロータ機と固定翼UAV



図3-1-9-5 AED搬送実験（8発ロータ機）



図3-1-9-6 AED自動搬送経路（京葉カントリークラブ）

3-1-10 全体成果まとめ

3年間を通じた本開発研究のまとめとしては、以下によって実施計画書での設定目標を



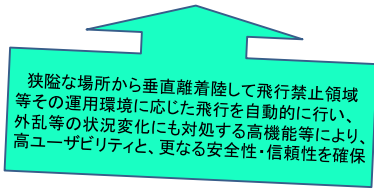
- UAS自律作動システム・ソフトを開発した。
- テールシッタ型、マルチロータ型による小型UAS自律システムの開発を行った。
- 各種UASの汎用運用基盤を構築した。
- 我が国におけるUASの、今後の航空法認可状況においてもきちんと運用されうるUASシステム基盤を構築した。

- 我が国UASの将来成長のための環境整備にJUIDA*活動が始まった。

また3-1-1項~3-1-9項に示した各研究課題とその実施手段については今後予想される無人機航空法上での規定が現実となった時に、何らかのシステム規制出てくるが、その時それに対応できるシステム構築をしていく基盤になるものになる。この概念を整理して図3-1-10-1~2に示す。

研究課題と実施手段 -1

- **1.簡易操作システム・ソフトウェアの構築**
 - 1-1 高利用プラットフォーム(テールシッタ型UAS)制御側の構築
 - 1-2 システム自動作動ソフトウェアの高度化
 - 1-3 安全で最適な任務飛行経路の自動生成

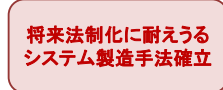
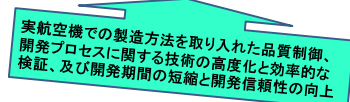
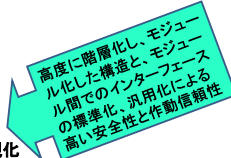


15

図 3-1-10-1 研究課題と実施手段 1

研究課題と実施手段 -2

- **2.ソフトウェア標準化・汎用化の実現**
 - 2-1 ソフトウェアのモジュール化と製造工程の可視化
 - 2-2 UASに搭載するハードウェア・インタフェースの標準化
 - 2-3 地上システムの汎用化
- **3.ソフトウェア検証法の確立**
 - 3-1 フライト・シミュレータの開発と評価試験の実施
 - 3-2 実装試験法(ハードウェア・イン・ザ・ループ試験法)の実施
 - 3-3 段階的飛行試験法の適用



2015.2.*

図 3-1-10-2 研究課題と実施手段 2

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3-2-1 研究開発後課題

本研究開発が実施計画書に基づく計画通りの成果に結びついたが、その後課題についても計画通りの商品化に向けた補完研究と事業化に向けたその体制構築が課題となる。開発研究終了時の現状分析と今後の課題について下記にまとめる。

現状分析と今後の取り組み / H27年度以降

[現状分析]

；サポインでの研究開発は終了した。

- 自律システム・ソフトの開発
- テールシッタ/マルチロータ・システムの開発
- 地上汎用システムの確立
- 小型無人機に対するシステム認可の将来航空法対応ポテンシャル例の提示
- JUIDAの活動の開始

[課題と今後の取り組み]

- テールシッタ/マルチロータ・システム等の商品化検討
- テールシッタ・エンジン機への発展 (基本制御ソフトは開発完了)
- サポイン研究理念の実現
 - 我が国UAS事業環境と基盤の整備
 - 我が国UAS事業者啓蒙

今後の取り組み
；商品化補完研究の実施
[母体] 小型無人機研究会

図 3-2-1-1 現状分析と今後の取り組み

また事業化展開については事業展開概念の具体化と本研究開発での開発事項を核にした固定翼機、ヘリコプタ機への拡大展開の具体化等が課題となる。その基本概念を図 3-2-1-2 に示す。

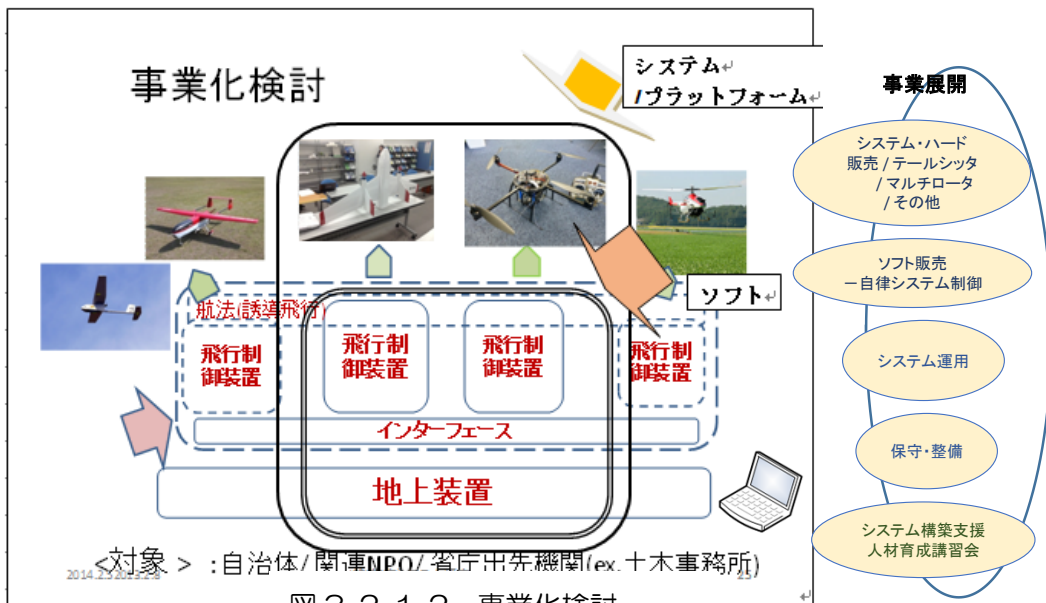


図 3-2-1-2 事業化検討

3-2-2 研究開発後の事業化展開

今後の事業化については、まず商品化のための補完研究を実施し、その成果を展開することが基本となるが、その展開においても単なる製品システム・ソフトウェア、ないし自立無人機システムを販売していくことのみならず、それ係る機体・システムの保守、修理、整備や、それに係る人材の育成、保険体制を含めたシステム運用の諸問題での対応展開が求められる。

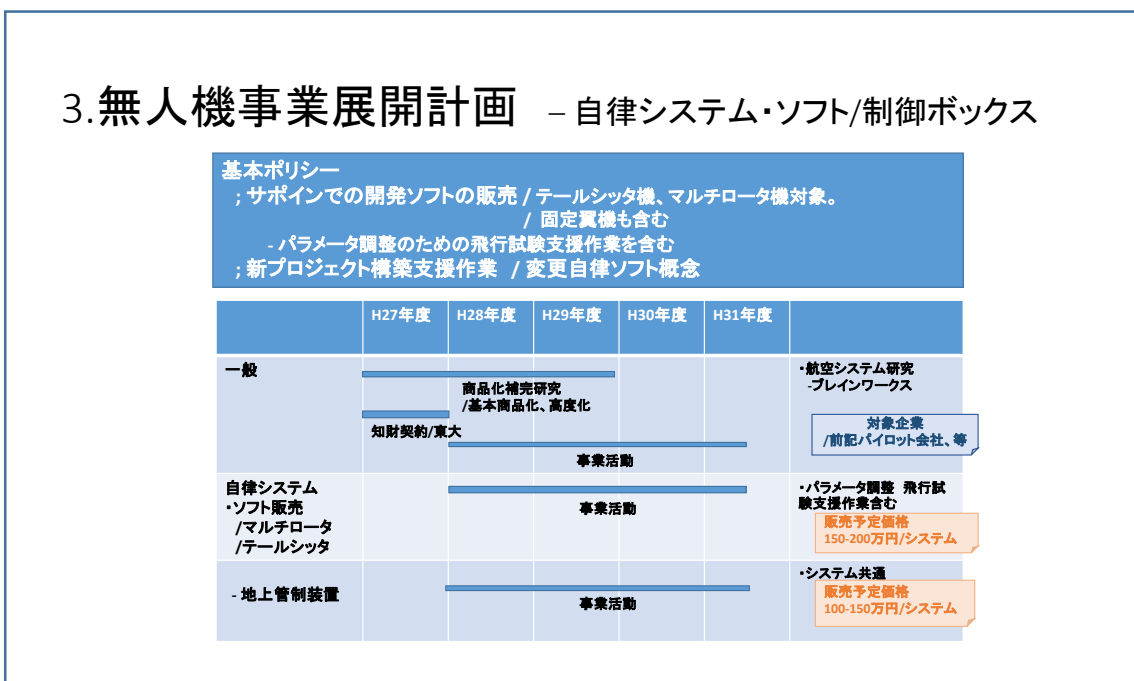
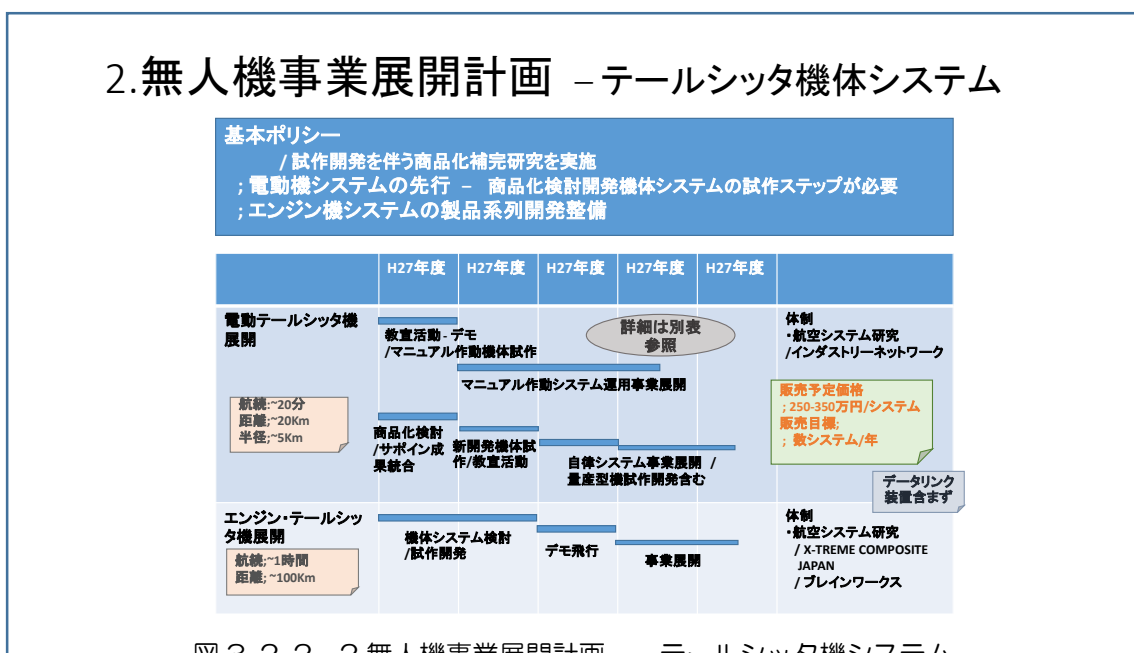
1. 無人機事業展開計画 - 全般

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	
基本ポリシー	<ul style="list-style-type: none"> ・サポインで培ったものをベースに発展をはかり、その事業化をはかる。 / 商品化のための開発機体システム製造ステップを必要とする。 ・我が国無人機産業のベースを構築すべく人材育成を含めた事業支援を行う。 					
基本路線	商品化補完研究 (機体開発/テールシッタ)		試作機開発	55lbs以下機法整備~(予想)	・体制 : 小型無人機研究会 / サポインと同じ / サポイン外注含む ・東大との知財契約 ・パイロット企業 : ブルーイノベーション / ユニドコーポレーション、等	
プロジェクト支援	準備	事業化準備/知財関係契約 / 事業環境整備(展示会、デモ)			本格事業展開	・他の無人機諸プロジェクト開発支援 (各種補助金、予算) (独自展開事業)
製品販売	商品化検討	基本形態、高度化等/ 試作開発	事業推進/販売活動		・付帯事業展開 / 運用サービス / 保守・整備	

図 3-2-2-1 無人機事業展開計画 - 全般

基本的には今後 3 年間で商品化への補完研究の期間とし、またすぐにでもできるマニュアル作動のテールシッタ・システム等を用いてその特異性、有用性をアピールしながら、本システムに適切なミッション開拓を行うことを併行的に実施しながら、その後の事業化に向けて体制を整備していくこととなる。

基本的な事業化展開計画を図 3-2-2-1～-5 に示す。



4.無人機事業展開計画 – マルチロータ機/固定翼機

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	
基本ポリシー [マルチロータ機システム] ; 受注活動は実施する。 / 自律システム・ソフトの製品系列にもマルチロータ機を含む [固定翼機システム] ; デモ機による諸活動の実施をベースに事業を展開						
マルチロータ機システム	展開準備 / 知財契約		受注活動			体制 ・航空システム研究 / X-TREME COMPOSITE JAPAN / プレインワークス
固定翼機システム	システム検討		システム製作 / デモ飛行	事業展開		体制 ・航空システム研究 / X-TREME COMPOSITE JAPAN

図 3-2-2-4 無人機事業展開計画 – マルチロータ機/ 固定翼機

これらの事業化計画のベースとした市場分析の概要を参考として下図に示す。

日本の現状 / 対象市場

- ・空撮運用会社 ; 少なくとも20社以上
(個人を入れると50社以上?)
- 主として、固定翼/ヘリ、
殆どがマルチロータ機適用
; 運用Only
; 運用、および適用システムの製造販売
; 適用ソフト販売、システム設計支援
; どこも 関係者訓練、安全運用指南、保険加入指導
- ・機材、システム製造販売会社
/ ミッション機器(カメラ等)販売会社
; 国内にも多数
(ネットを通じた海外代理店が多い)

無人航空機の民生利用

(国内企業事例) ※9割: ヘリコプター・マルチコプター

利用分野	事例
建築・土木工事分野	土木・建築工事、老朽化建物調査、河川工事、地滑り調査、のり面調査、橋梁調査、工事進捗、道路工事、港湾工事、森林調査、都市計画、砂防・ダム調査
調査・測量分野	災害調査、火災現場調査、防災点検、遺跡・文化財調査、植生調査、環境調査、河川堆砂状況調査、地滑り調査、森林観察、記録、海洋生物観測、河川・海岸調査、環境保全モニタリング、大気放射能測定、気象観測、交通調査、地図、道路調査、事故調査、標定点測量、俯瞰図、等高線図、急傾斜地・斜面調査、地質調査、残土調査、積田調査、地理情報システム、オルソモザイク、GIS
プロモーション分野	景色・風景、マンション販促、不動産販促、分譲地、個人住宅、公共施設、工場全景、農地、観光施設、ゴルフ場、社屋、学校、眺望、テーマパーク、庭園・公園・名所、屋内、広告、リゾート、地域一帯、大型施設、商業施設、パンフレット、CM、音楽PV、展示映像、企業PV、自治体PV、観光PV
報道分野	テレビ、報道、ドラマ、新聞
イベント分野	イベント、祭事、スポーツ、運動会、人文字、記念撮影、結婚式、卒業記念、社歴完成、自宅新築・増改築記念、フライダル写真、ディナーショー
その他(管理)	農業散布、立ち入り困難撮影、防災システム、ソーラーパネル管理、風力発電管理、ウェブコンテンツ、ゴルフ場管理、送電線・鉄塔調査、河川敷管理、警察、資産評価、山林管理、田畑管理、鉄道管理、採石場管理、ため池管理、屋上緑化管理

図 3-2-2-5 日本の現状 / 対象市場