

課 題 情 報 シ ー ト

テ ー マ 名 :	空撮用トリコプターの製作 ～組機体及び制御基板製作～		
担当指導員名 :	大館 広之	実施年度 :	26 年度
施 設 名 :	北海道職業能力開発大学校		
課 程 名 :	専門課程	訓練科名 :	電子情報技術科
課題の区分 :	総合制作課実習	学生数 :	4 人
		時間 :	12 単位 (216h)

課 題 制 作 ・ 開 発 の ポ イ ン ト

【開発（制作）のポイント】

最近、クアッドコプターなどの無人飛行体が普及しています。本テーマでは、3つの駆動部を持つ飛行体について、独自開発に取り組みました。無人飛行し空撮動画および搭載GPSによる現在位置をリアルタイムにPCに表示します。手動による無線操縦ができるほか、自律運転機能として、障害物や人との接触回避、静止浮揚や、バッテリー容量低下時の自動着陸などの機能を盛り込んでいます。機体構造の設計・製作、機体制御ソフトウェアの開発、リモコンの製作およびPCソフトの開発を行いました。

【学生数の内訳】機体・電子回路製作：2名、組込みソフトウェア開発：1名、リモコン筐体及びPCソフトウェア開発：1名

【訓練（指導）のポイント】

無人で飛行するだけでなく、民家の屋根の点検などの実用性も持ったものを目指すようにしました。また、飛行体の自律飛行、水平浮揚の維持などの自動制御メカニズムを明らかにして自力で開発することを通して、総合的な組込み開発技能・技術の習得を図りました。

この開発のために、カーボンファイバーによる機体構造、ブラシレスモータ、サーボモータ、リチウムイオン電池、32ビットマイコン、超音波・気圧・加速度・ジャイロセンサ、無線シリアル通信、無線LANカメラおよびGPS並びにPCにおける動画処理及び地図表示ソフトウェアなどの多岐にわたる要素技術について、指導・習得させました。

常に、到達目標と期限について意識し、失敗してもその解決を繰り返すなど、モチベーションを維持・高揚して取り組むことができました。

課 題 に 関 す る 問 い 合 わ せ 先

施 設 名 : 北海道職業能力開発大学校
 住 所 : 〒047-0292 北海道小樽市銭函3丁目190番地
 電話番号 : 0134-62-3553 (代表)
 施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

空撮用トリコプターの製作 ～ 機体及び制御基板製作～

北海道職業能力開発大学校

電子情報技術科

1. はじめに

本テーマでは、「トリコプター（無人回転翼機）を使用して学校を上から眺めること」を目標とした。

「自分たちの技術力はどれくらいのものなのか、それをどこまで高められるのか」を知ることが目的に、実現できるかどうかわからないレベルの高い目標を掲げることとした。

空撮用トリコプターを製作するにあたって、機体の製作、機体制御用プログラムの開発、リモコンの製作、PCソフトの開発の4分野に分けることにした(図1)。

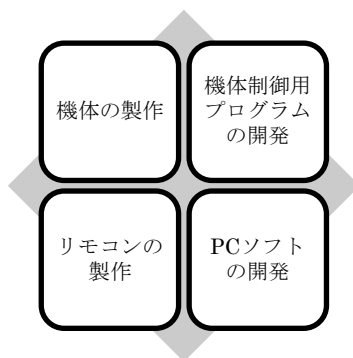


図1 トリコプター開発の4分野

グループで研究を行うにあたって私たちの担当は機体製作、基板製作である。

2. 概要

トリコプターの機体をカーボンファイバーで製作する。飛行制御のために必要なマイコンやセンサーなどを実装したセンサー基板を開発する。また、モーター、センサーおよびマイコンへ、それぞれ異なる電圧で十分な電源供給ができるよう電源基板を開発する。

2.1 システム構成

全体のシステム構成を図2に示す。

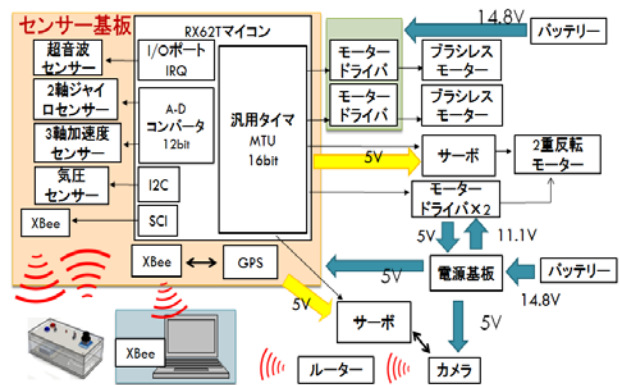


図2 システム構成図

- (1) 電源基板では、バッテリーからの 14.8V を 11.1V に変換する機能と、バッテリーの 14.8V をモータードライバで 5V に変換したものを安定化し、センサー基板や各電子部品に供給する機能をもつ。
- (2) センサー基板では、マイコンおよび各種センサーを実装し、サーボに 5V を供給する。
- (3) カメラはサーボと連結しており機体の高度に合わせて向きを変更できる。
- (4) PC ではカメラからの映像を表示、GPS での位置表示を行う。
- (5) リモコンでは、機体を操縦することや機体の状態を LED の点灯パターンにより分かりやすくしている。

2.2 マルチコプター

私達の製作したトリコプターはマルチコプターの一つである。マルチコプターとは 3 個以上のローターを搭載し、同時にバランスよく回転させることによって飛行する回転翼機のことである。ローターの数によってマルチコプターの機種が変わり、トリコプターは 3 つのローターで飛行させる、他のマルチコプターに比べ軽量化できることなどが特徴だが、空中制御はマルチコプターの中でも非常に難しく、そのため市販品も少ない。ローターの数が奇数であるためローターの回転数だけでは反転トルクを相殺することができないため、本研究ではローターのひとつを二重反転とした。

3. 機体

3. 1 ブラシレスモーター

3. 1. 1 前アーム用

機体を浮上させるための主な推進力を担う前アーム用に、FSD・FC3542-6T®を 2 個採用した。推進力が高くリポセル数 3～4 セル対応で、値段が比較的安い。

3. 1. 2 後アーム用

方向転換などに使用される後アーム用に、二重反転モーターの CR28M 1050kv with prop adapter+blade®. を採用した。リポセル数 3 セル対応で、精密な制御が可能である。

3. 1. 3 モータドライバー

モータードライバは 2 種類のモーターに推奨されている製品を採用した。

3. 2 サーボ

後アームのモータをサーボにより傾けて方向転換を行う。このサーボには、E-MAX 社製デジタルハイスピードミドルサーボ E9257®を採用した。ミドルサイズだがトルクは $2.5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，動作速度が $0.05\text{sec}/60^\circ$ と同サイズのデジタルサーボの中では速い。

3. 3 バッテリー

バッテリーは、KYPOM 社製リポバッテリー，K6 14.8V4200mA 35C-70C //13A1A®を採用した。4 セルである。前モーターは 4 セル用であり、適合している。後モーターは 3 セル用であるため、電源基板で電圧を下げて使用することとした。

3. 4 木製機体

機体のフレームとなるカーボンファイバー素材の調達に時間がかかったため、モーターやセンサーの実験などを行うため急遽、木を素材とした機体を製作した。重さ 2.5kg 以内を目標とした。完成した機体の総重量は 2.8kg となり、目標を 0.3kg 上回った。大きさは横：約 550mm ，縦：約 600mm となった (図 3)。

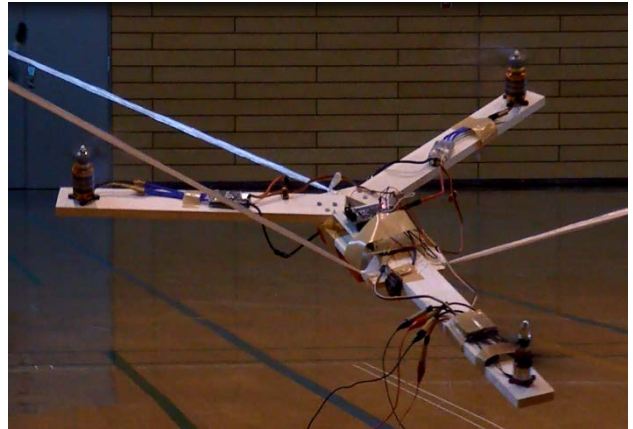


図 3 木製機体

この機体でモーターの推進力及び自動制御の確認実験を行った。その結果、モーターの推進力は十分なことが確認できたが、機体の重心点のずれが予想以上に大きいことがわかった。

3. 5 カーボン製機体

実験用として製作した木製機体での問題点をふまえてカーボン製機体を製作した。機体の設計は初めての経験であり、参考資料も少ないため web サイト，関連書籍などを参考にフレームの外装，構造を設計した。設計図を図 4 および図 5 に示す。

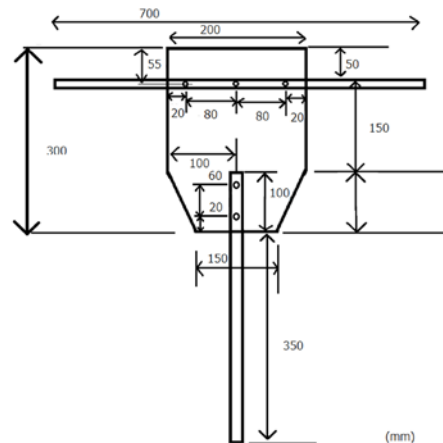


図 4 本体フレーム設計図

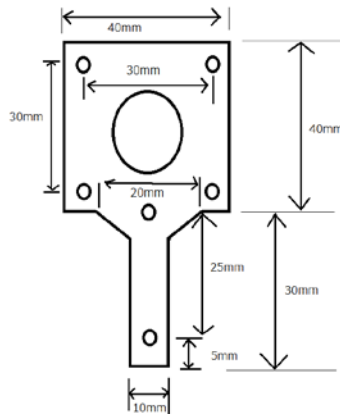


図5 モーター固定金具設計図

二重反転モーターの固定金具にはアルミニウムを使用する。

設計段階での重心点の求め方は、水平面では3角形の重心の求め方、垂直面ではオートジャイロの重心点の求め方を参考に重心位置を仮定して設計した。

他の設計上での仕様は以下のとおりである。

- (1)モーターの推進力は、前モーターが1個につき約2,270gなのに対し、後モーターは約1,750gであるため、仮重心点から前モーターまでの長さに対して、仮重心点から後ろモーターまでの長さを約2倍とした。前2つのアームに比べ足を長く設計し、この原理で後ろモーターにかかる負荷を減少させ、フレームの形をT型に決定した。
- (2)超音波センサー仕様により地上から3cm以上に取り付けるため足の長さを6cmに固定。
- (3)基板配置場所の変更やセンサー追加などの可能性も考慮し他に機能を追加した際対応できるようボディは余裕がある大きさにしている。
- (4)重心をずれにくくするため電源基板とマイコン基板を多段式に決定。
- (5)機体重心点の細かい調整はバッテリーの固定位置で修正する。
- (6)固定しているねじとナットが外れないよう、フレーム、モーター、プロペラ、基板などを固定するナットはすべて2重ナットとした。
- (7)カメラはサーボに固定し上下に向きを変更できるようにした。

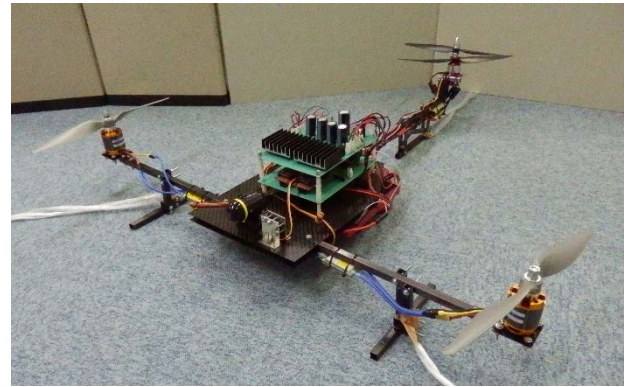


図6 カーボン製機体

完成した機体を図6に示す。

機体の総重量は約2.4kg

機体の大きさは横：約704mm，縦：約650mm

となり、木製機体と比べると機体素材をカーボン製で製作したことで軽量化することができた。

フレームに使用したカーボン素材の種類は厚さ1mmのウェットカーボンである。カーボン素材には、ほかにドライカーボンがあるが、これは堅く丈夫であるが価格が高い。これに比べウェットカーボンはドライカーボンほど堅くはないが多少ながら柔軟性があり価格も安い。墜落など衝撃を与えた場合の耐久性を考慮しウェットカーボンを採用した。

完成後、重心を合わせるために地上すれすれのホバー実験を行い重心点を調整した。

ホバー実験中、機体が、地上と接触している片足を中心に回転することがあった。このため、足の位置を機体中心側に移設した。

4. 電源基板

4.1 電源基板について

今回製作した電源基板の主な用途は、リポバッテリーからの14.8Vを11.1Vに変換することおよびセンサー基板からの5Vを安定化させ各電子部品や基板に供給することである。

4. 2 仕様・説明

ここでは、電源基板の仕様や、実装する部品について説明する。

まず、仕様は以下のとおりである。

- (1)14.8V を 11.1V に変換
- (2)電源の ON/OFF 機能
- (3)5V 電源を 6 ポートから供給
- (4)11.1V を 2 ポートから供給

(1)については、14.8V を 11.1V に変換するために可変三端子レギュレータ (LM338T®) を使用した。最大出力電流が 5A であり必要な電流を満足し、動作温度が 0～125℃と動作環境に適合するため、これを採用した。

(2)については、電源スイッチを 5V 電源用のみ実装し、11.1V 電源用は実装しなかった。実装設計を進めていくなかで、11.1V 用の電源スイッチを実装するスペースを確保することが難しくなったためであるが、11.1V はモータードライバへ供給する電源であり、マイコンが起動し PWM が出力されるまではモータードライバは動作しないため、スイッチを実装しなくても問題ないと判断した。

(3)については、5V 電源を、センサー基板、マイコン、後モータ用サーボ、カメラ用サーボ、カメラの 5 ポートに供給する。今後の機能拡張に備え、予備を 1 ポート設けた。

(4)については、二重反転モーターのモータードライバに使用する

4. 3 回路図

ここでは、回路について説明する。

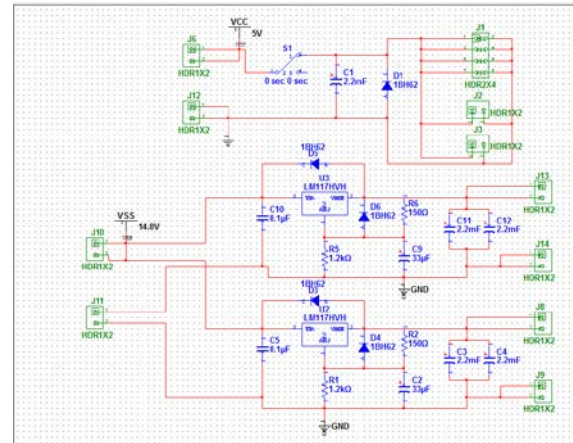


図 8 電源基板の回路図

回路図を、図 8 に示す。

まず、ダイオード D3～D6 は電流の逆流で可変三端子レギュレータが破損されないための保護用である。放熱対策としては放熱板(グローバル電子株式会社の 15PB054-01050®)を使用した。採用理由は、消費電力に比べ、温度上昇がゆるやかな点である。

4. 4 完成図

図 9 に電源基板の完成図を示す。

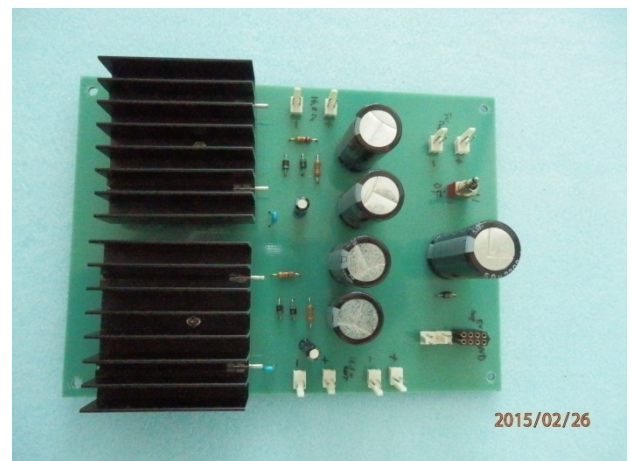


図 9 電源基板完成図

5. センサー基板

5. 1 センサー基板について

センサー基板とは、センサー、XBee®, PWM 出力ピン、マイコンを実装した回路のことである。

5. 1 センサー

ここでは、使用したセンサーについて説明する。

表 1 にセンサー名称と測定用途を示す。

表 1 センサー一覧

センサー種別 (製品名)	測定用途	備考
ジャイロセンサー (ENC-03R®)	角速度	2 軸(ピッチ, ロー)
加速度センサー (KXM52-1050®)	加速度	3 軸(x, y, z)
気圧センサー (MPL3115A2®)	大気圧	I2C 通信対応
超音波センサー (PARALLAX 社 28015®)	距離	パルス波形で 出力される

5. 2 仕様・説明

ここではセンサー基板の仕様や、実装する部品について説明する。仕様については以下のとおりであり、回路図を図 10 に示す。

- (1)必要なセンサーをすべて実装
- (2)電源基板から 5V を供給
- (3)リモコン用の XBee®と GPS 用の XBee®が動作可能
- (4)各モータードライバ 及び RC サーボモーターに PWM 信号を出力

(1)については、表 1 のセンサーを実装した。図 10 では、加速度センサーの記述があるが、当初の実装予定から後に不要となったため実装していない。

(2)については、前 4 項で記した電源基板から 5V と GND を供給する。

(3)については、リモコン用の XBee®はリモコンから送信されたデータをマイコンで処理させるため、マイコンと配線をする。GPS 用は GPS の情報をマイコンを介さず PC 側へ送信するため、マイコンには配線しない。

(4)については、前モータ用 2 個、後モーター用 2 個、後モータ用サーボおよびカメラ用サーボに PWM 信号を供給している。図 10 にカメラ用サーボが記載されていないが、これには拡張用に設計していた予備のピンをマイコンと配線し、動作を実現させている。

5. 3 回路図

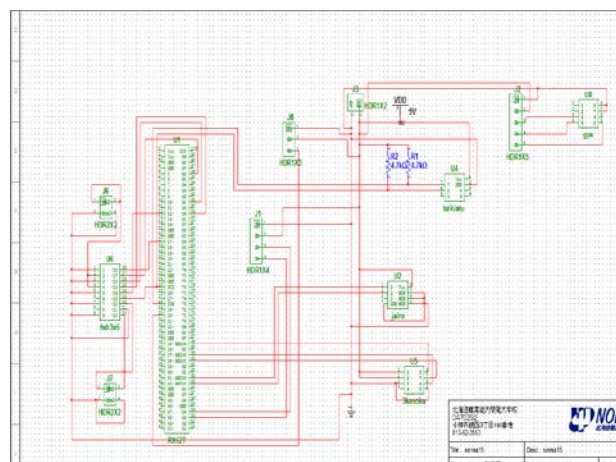


図 10 センサー基板回路図

5. 4 完成図

図 11 にセンサー基板の完成図を示す。

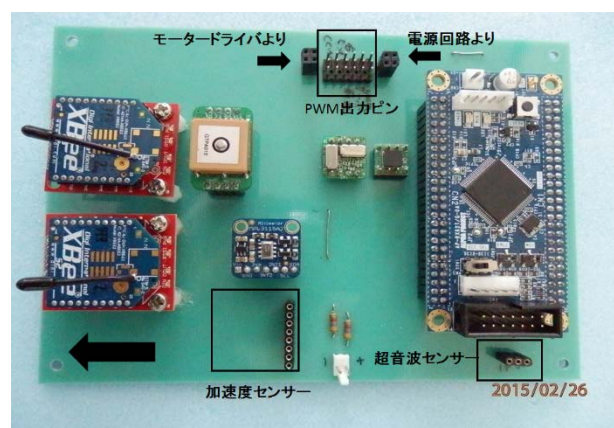


図 11 センサー基板完成図

5. 5 特徴

製作した基板は、図 11 の左下の矢印の向きを機体が進行する向きに合わせて設置する。

これは、センサー基板に実装されているジャイロセンサーおよび加速度センサーの測定軸を、機体の X, Y, Z 軸と一致させるためである。

右下にあるピンソケットは超音波センサー用である。超音波センサーは、地面からの高度を測定するため機体本体の下部に配置しているため、このソケットか

ら超音波センサーまで配線している。

PWM 出力ピンでは、前モーター2 個、後ろモーター2 個、サーボ 2 個の計 6 つの出力端子を配置した。

6. 実験結果

センサ部品はコネクタ経由で実装していたが、飛行実験時に予想以上に機体が振動してしまい、センサーがはずれてしまうという問題が発生した。このため、超音波センサー以外のセンサーを基板に直付けして改善した。XBee®エクスペローラも同じくはずれかけていたので XBee®エクスペローラにプラスチックスペーサーを付けグルーガンを用いて基板に固定した。

また、飛行実験時に電線の許容電流値を超えてしまい発生熱により被覆が溶けてしまった。このため、電線を 2 本並列に接続し、電流容量を確保することにより解決した。

7. まとめ

7. 1 機体

今回の機体製作では、自分の学んでいる電子情報分野とは少し離れ、機械生産分野の体験をした。何も無い状態から物を作り上げるだけでどれだけの苦悩と、どれほどの知識と経験、発想が必要なのか改めて感じた。しかし、知識と経験、そして発想力が重要という点では同じであり、モノ作りというひとつの枠の中で異なる分野の技術が融合されていくことが理解できた。

今後の課題は、サーボの固定金具と後モーターのアルミニウム製の固定金具が安定して固定されず、グラつくことがあるため、アルミニウム製の固定金具を作り直しグラつきを直したい。

7. 2 基板

今回の基板製作の特徴は、基板を製作した私自身が使うのではなく、他のメンバーが使うということである。このため、ただ部品と部品を配線するのが基板製作なのではなく使用するユーザーのことを思い、使い勝手よく製作しなければならないということに改めて気づかされた。今後の課題としては、配線にも、もう少し工夫をし、簡易化させることで他人からみてもわかりやすい基板を製作することを心がけていきたい。

8. 謝辞

本研究と卒業論文の作成を進めるにあたり、さまざま

まなご指導と助言をしてくださった指導教員の先生、ならびに電子情報技術科の先生方、研究室の方々をはじめとする同学年の皆様に深く感謝いたします

9. 参考文献

- [1]JRC “三端子レギュレータについて”
http://semicon.njr.co.jp/jpn/PDF/application_notes/3_TER_VOL_REG_J_RE_L.pdf September 2014/
- [2]RS Japan “三端子レギュレータ編”
http://jp.rsonline.com/web/generalDisplay.html?id=centre/eem_mrtech0809 September 2014
- [3] 三宅和司 “回路の仕様に最適な電子部品を選ぶために”
抵抗&コンデンサの適材適所—回路の仕様に最適な電子部品を選ぶために
- [4]NationalLM338Semiconductor
<http://akizukidenshi.com/download/LM338.pdf> November 2014
- [5]トライコプターVer1.0～1.2.
<http://www.geocities.jp/fujicco777/rc/rc-heri/ycopter/ver10/ver10.html> September 2014
- [6] “鋼のペンギン (Fullmetal-Penguin) ”.
マルチコプター (Multicopter) 自作、製作の注意点 (随時改訂中). <http://ameblo.jp/fullmetal-moon/theme-10058626948.html>, September 2014
- [7] “モータ 세미나 滝田様 (2). ppt [互換モード]”.
http://japan.renesas.com/event/private_2013/motor/peer/b1.pdf#search=2%E9%87%8D%E5%8F%8D%E8%BB%A2%E3%83%A2%E3%83%BC%E3%82%BF, January 2015
- [8] CPU を作ろう～計算機教材とマイコンと電子工作～.
<http://http://plaza.rakuten.co.jp/CPU4Edu/31001/> September 2014
- [9] MULTICOPTER に挑戦(multiwii).
<http://www.catv296.ne.jp/~myergo/tricopter.html> September 2014
- [10]ZERO” マルチコプター空撮 [技術解説] ”.
http://www.04u.jp/aerial0d_index.html, September 2014

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 4月23日

科名：電子情報技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		空撮用トリコプターの製作	
担当教員		担当学生	
電子情報技術科 大館 広之			
3個のモーターでプロペラを回転し、飛行するトリコプターの製作を通して、設計、製作及び組立・調整技術等の総合的な実践力を身に付けるとともに、機体制御部の設計を通して、実践的な電子回路設計技術、制御システム設計技術も身に付ける。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
最近、クアッドコプター（4つの駆動部で飛行する）などの無人飛行体は、世界的にも普及している。このような製品の原理を明らかにし、自作することは、電子回路、制御ソフトウェアなど様々な技術要素を学ぶ題材として適切である。本テーマでは、3つの駆動部を持つ飛行体については、あまり開発例が多くなく、研究の余地がある。この実習をとおして「ものづくり」の面白さや発展性を理解するとともに、期限までに成果物を完成させることでスケジュール管理の重要性を認識する。			
実習テーマの特徴・概要			
無人で飛行するだけでなく、上空からの映像を動画でリアルタイムに提供できるようにし、たとえば民家の屋根の点検などの実用性も持ったものを目指している。無線操縦を行え、障害物や人との接触を回避する。無線操縦の指令がない場合は、その場で静止して浮揚するような自律制御機能も与える。設計段階では、機体の重量と浮揚力とのバランスなどを十分に考慮する。また、最初はモーター単独で回転実験し、安全を確認した上で最終的に統合組立・調整・動作試験を行う。また、完成後は各種性能評価試験を行い、報告書を作成する。			
No	取組目標		
①	地上1.5mまで上昇し、上空からの動画をPCに表示する。		
②	自律運転し、微風があっても、機体の水平を保つ。		
③	機体を設計通りに駆動させ、各種性能の確認を行う。		
④	想定した動作が行われなかった場合には、問題を分析し、その問題の解決に取り組む。		
⑤	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行う。		
⑥	材料、工具、機器及び部品等については、チェックリストを用いて厳密に管理する。		
⑦	報告書の作成、製作品の展示及び発表会を行う。		
⑧	実習の進捗状況や、発生した問題等については、単独、グループの場合にかかわらず、担当教員へ報告する。		
⑨			
⑩			