

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：ロボットプラットフォーム

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

タフロボット型災害対応飛行ロボットに関する研究

研究開発機関名：

千葉大学

研究開発責任者

野波 健蔵

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

- ① 3次元ビジュアルSLAMを用いた屋内外でのマッピングと自己位置推定・自律飛行制御  
これまでのSLAM技術に追加して、画像処理によるビジュアルSLAMも加えて一層信頼性を向上させる。とくに、本研究では通常の情報収集用カメラを用いることで低コストにSLAMを実現し、飛行ロボットの自己位置推定と3次元マッピングを実現する。本研究では高速処理を実現する。
- ② オプティカルフローを用いた速度制御と自己位置推定  
本研究ではオプティカルフローを用いた速度制御の飛行方法を今年度は実用レベルまで確立する研究を行う。とくに、昨年度の研究を一層発展させる研究を行い今年度は実用化する。この方法により自己位置の推定法についても確立する。
- ③ 動力系故障判断システムの確立と故障容認制御・フォルトトレランス制御  
昨年度の研究で完成したフォルトトレランス制御技術を今年度は実装して実用化する。とくに、昨年度開発した新しいアルゴリズムを一層発展させること、また、異常診断のプログラムも実装して、信頼性・安全性・耐久性のある飛行ロボット・ドローンを実現する。
- ④ セルフチューニング制御による次世代オートパイロットの開発  
本研究では質量や慣性モーメントなどが変化しても常に飛行性能を一定に保つために、適応制御理論を応用してセルフチューニング制御を実現する。昨年度は鉛直方向におけるセルフチューニング制御を姿勢制御にも実装する。さらに、飛行時の外部環境の変化や風外乱などもモデル化して最適な飛行性能を維持する研究を行う。
- ⑤ 実時間モデリングと制御切替および実時間軌道生成によるスーパーバイザリ制御  
進行方向に障害物を検知した際は実時間で目標軌道を変更するために、本年度は実時間軌道生成を行う。そして、スーパーバイザリ制御では飛行時において実時間モデリングを常時行い、動力系やセンサ系の異常を瞬時に判断して制御器の切替を行う。本年度はこの機能の一部を実装する。
- ⑥ パラシュート搭載による安全性の向上と自動起動および張力制御による着陸地点制御  
本研究ではパラシュートを実装して、起動させて開傘する。特に、本研究ではパラシュートによる着陸地点の制御も実現することで風任せの意図しない着陸地点となることを防止するために能動的にパラシュートテザーの張力制御を行う研究を実施し、一部実用化する。
- ⑦ ロボットハンド搭載型飛行ロボットと単純な空中作業の研究開発  
宅配ドローンのような機体ではロボットハンド、いわゆるグリッパーを搭載している。本研究では様々なグリッパーを検討する。さらに、斜面に着陸する場合はこうしたアクティブなロボットハンドが機体本体を水平に維持して着陸することができる。同時にプロペラガードも兼ねるような多機能なグリッパーの研究を行う。
- ⑧ 複数機の同時飛行によるスワーム飛行、編隊飛行、リーダー・フォロワー飛行  
昨年度は、3機によるフォーメーションを実現した。本年度は5機から7機のフォーメーションを実現する。また、機体間の距離を10mから5m程度に接近させたフォーメーション飛行を実現する。制御方式はモデル予測制御などの先端的なアルゴリズムによる編隊飛行を実現する。編隊飛行以外にもスワーム飛行、リーダー・フォロワー飛行の研究も行う。
- ⑨ 従来の飛行ロボットをはるかに凌ぐ、超ロバスタなスーパー飛行ロボットの研究開発  
本研究では、これまでの飛行ロボットの「運動性能」に重点を置いた研究から、飛行する生物が有する「外界の瞬時の認識技術」や「危険を瞬時に判断して回避する知能技術」といった機能を保有する新しい概念の飛行ロボット、すなわち、これまでの飛行ロボットを遙かに凌ぐ「スーパー飛行ロボット」を行う。本年度はこの機能の1部を実用化する。

- ⑩ 10km程度のデータリンクが可能な飛行ロボットを核とした強靱なネットワーク構築  
複数機の同時飛行によるスワーム飛行、編隊飛行、リーダー・フォロワー飛行などの複数機体や地上施設・地上車両等を介して、直線距離で約10km程度の飛行エリアで速やかにネットワークを構成する技術を確認する。見通しの悪い場所での約10km程度の強靱なデータリンクは一般的には容易ではないが、本研究ではタフロボット型災害対応飛行ロボットとして構築する。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

- ① 3次元ビジュアルSLAMを用いた屋内外でのマッピングと自己位置推定・自律飛行制御  
本年度は作成したハードウェアによるアルゴリズムの検証を行った。
- ② オプティカルフローを用いた速度制御と自己位置推定  
本年度は実験での検証をベースにアルゴリズムの改良を行った。
- ③ 動力系故障判断システムの確立と故障容認制御・フォルトトレランス制御  
本年度はローター停止時の制御の改良を行い、故障後から着地までの実験を行った。
- ④ セルフチューニング制御による次世代オートパイロットの開発  
株式会社自律制御システム研究所が開発を行った「PF1」に対して昨年度開発を行ったシステムのポータビリティ、機能試験が完了した。
- ⑤ 実時間モデリングと制御切替および実時間軌道生成によるスーパーバイザリ制御  
本年度はセルフチューニングを実装し、機体重量に対しリアルタイムに適応する機能を実装、検証した。
- ⑥ パラシュート搭載による安全性の向上と自動起動および張力制御による着陸地点制御  
本年度は機体にパラシュートを実装し、展開試験を行うことで機能の有効性を検証した。
- ⑦ ロボットハンド搭載型飛行ロボットと単純な空中作業の研究開発  
本年度はアルゴリズムの検討を中心に行った。
- ⑧ 複数機の同時飛行によるスワーム飛行、編隊飛行、リーダー・フォロワー飛行  
離着陸を含む完全自律飛行で、それぞれの機体が基地局と通信しモニタリングできる形でのシステムを構成した。
- ⑨ 従来の飛行ロボットをはるかに凌ぐ、超ロバストなスーパー飛行ロボットの研究開発  
本研究では、様々な環境に適応した機体開発の一環として、防水機体の設計・制作を行った。
- ⑩ 10km程度のデータリンクが可能な飛行ロボットを核とした強靱なネットワーク構築  
本研究では、5km以上の通信が可能なRoLa方式の通信モジュールの検証を行った。

### 2-2 成果

#### 1. 防水機体

完全防水を実現するために密閉型のボディを採用し、制御装置やバッテリーなどの電子機器を機体内部に配置した。機体の概観を図1に、機体の諸元を表1に示す。密閉型ボディでは①放熱性の低下によるESCなど駆動系の故障、②気圧センサを用いた高度推定が困難になるなどの課題がある。①の課題を解決するため、ボディ下部にはアルミフレームを採用し、ESCとボディの間には熱伝導シートを使用した。また、ボディには放熱用のフィンを設けた。②の課題を解決するためカバーの一部に空気は通すが水は

通らないシートを使用（日東電工株式会社製 TEMISH®）。カバーは GPS アンテナや受信機の電波を遮らない FRP 製にした。

水面での離着水を可能にするため、着水時にプロペラが水面より高い位置に来るようにスタイロフォーム製のフロートを取り付けた。

防水試験としてビニールプールに機体を浮かべ、上方向から水を掛ける試験を行った。試験の様子を図 2 に示す。試験後機体カバーを外したところ内部への水の侵入は見られなかった。



図 1 防水機体

Table 1 機体諸元

制御装置	自律制御システム研究所製 AP1.1
モータ	650W 430KV
プロペラ	カーボン製15インチ
ESC	HOBBYWING XRotor Pro-50A
モータ軸間距離	792mm

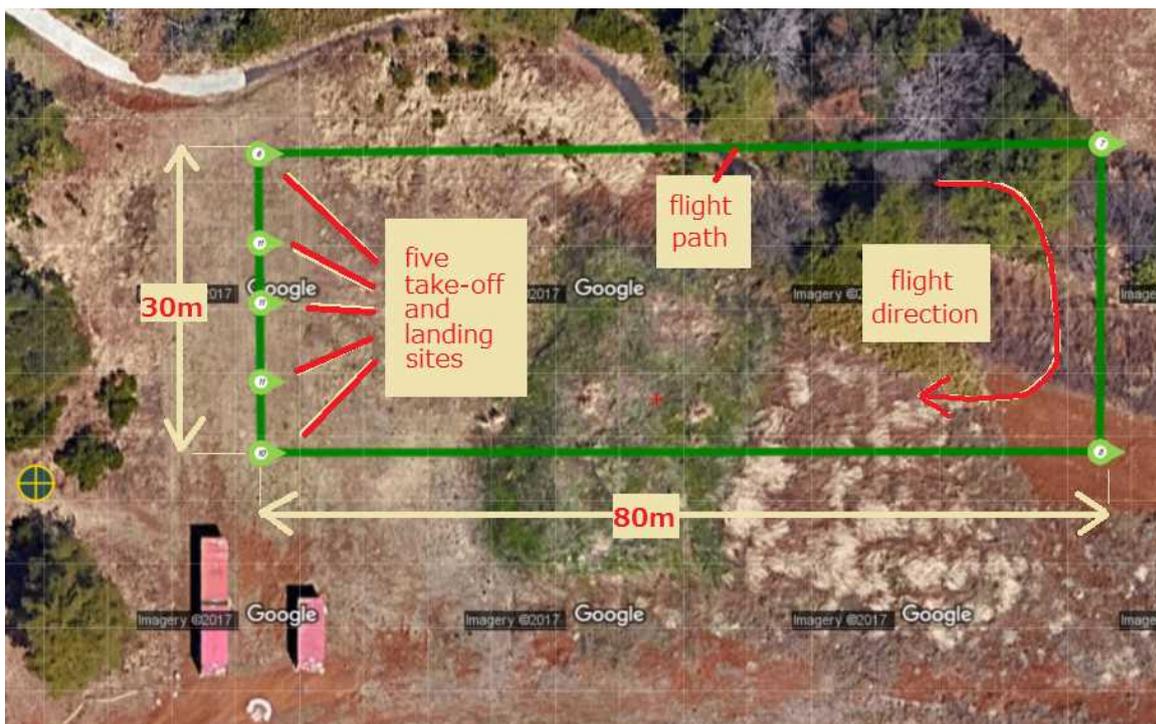


図 2 防水試験の様子

## 2. 編隊飛行

計画の課題に対して推進状況は下記の通り：

- 5 台の機体を直列の飛行を行い、機体間距離は一定に保つ仕組みを採用した。
- 全ての機体は離着陸を含む、完全自律飛行した。  
手前の機体は発進してから、一定の時間が経ってから、次の機体は発進するという仕組みを採用した。結果として機体間距離は一定となり、それぞれの機体は同じ規範モデルに基づいて飛行するので飛行スピード、スピードプロファイルは機体の特性や環境に依存しない。
- 全て（5 台）の機体の位置は基地局からモニタリングを行った。（緯度経度、高度、バッテリー残量、無線リンクの状態）
- シームレス（滑らかな）飛行起動を実装。  
飛行計画はウェイポイントからなる。ウェイポイントで機体は従来の一時的停止することなく、スムーズな円形のカーブを一定のスピードで飛行した。
- 機体間通信  
機体間通信の代わりに基地局とそれぞれの機体の間の通信を行った。



飛行エリアと飛行ルート

任意の飛行ルートを編隊で飛行できるシステムを開発。ルートと編隊の形は自由に設計が可能。



5台の機体が完全自律で直列編隊飛行している様子

### 3. セルフチューニング

株式会社自律制御システム研究所が開発を行った「PF1」に対して昨年度開発を行ったシステムのポータリング、機能試験が完了した。

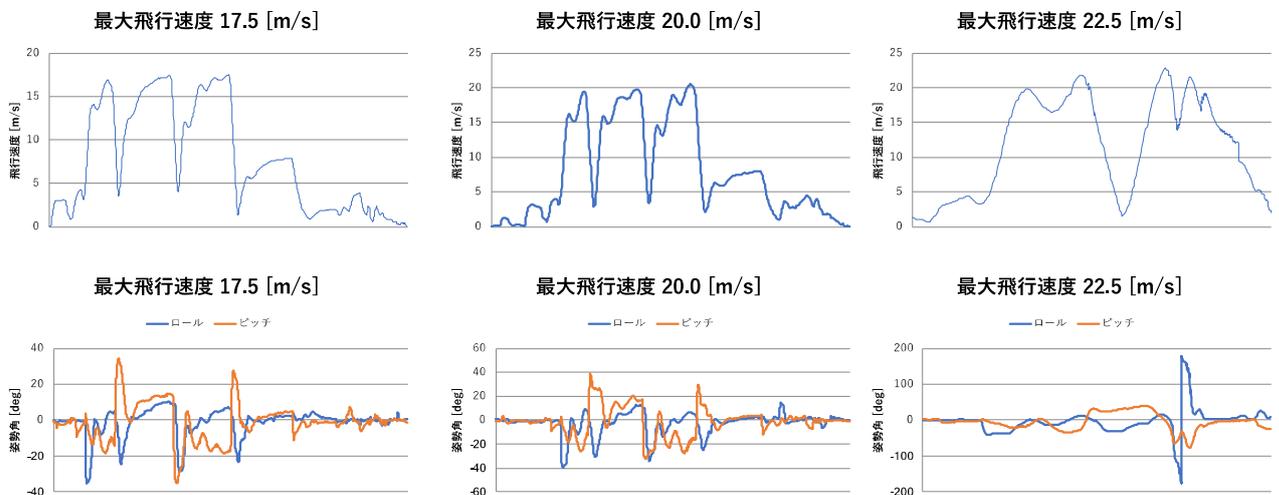
株式会社自律制御システム研究所が開発を行った「PF1」に昨年度までに開発を行ったシステムのポータリングを行った。これにより、あらかじめ決めた飛行計画に沿った経路を自律飛行させた上で任意の位置で機体の安定性を損なうことなく物資投下が可能なシステムを完成させた。

### 4. 高速自律飛行

MS06LA では、機体の剛性、制御アルゴリズム、センサ系統などの問題から、自律で高速飛行を行うことが難しかった。2016年10月頃に自律制御システム研究所からリリースされた新機体PF1は、機体の剛性を高め、制御アルゴリズムを一新し高速での自律飛行が可能になった。

本研究では、その新機体PF1での高速自律飛行の性能評価を行った。下図にて各飛行時の飛行速度、姿勢角をプロットしたグラフを示す。最大飛行速度を17.5m/s、20.0m/sにした時は、少し姿勢角の振動が見られたが、総じて安定的に飛ぶことができた。22.5m/s設定時は加速時に大きく姿勢角の変化がおり、途中で制御が飽和し転覆してしまったため、マニュアルに切り替えて自律飛行を中断した。

上記結果から、現状のPF1の自律飛行での限界は20m/sであることが分かった



### 2-3 新たな課題など

#### 1. 防水機体

密閉型ボディの中にバッテリーを収納するため、電源の入り切り時やバッテリー交換の際にカバーを外す必要があるため防水化されていない機体に比べ手間がかかる。バッテリーやコネクタを防水性のものにするなどの対応策が考えられる。

#### 2. 編隊飛行

基地局から離れた状態で、基地局と機体間の通信が途絶したとき、編隊を保つのに機体間通信が必要になります。そのためメッシュネットワーク通信構成が必要。現在市場に適切なデバイスがないので、有効なデバイスの選定が必要である。

### 3. セルフチューニング

本システムは急な重量減による上昇方向の加速度を用いてパラメータ推定を行っている。このため、緩やかな重量減や地上で意図しない重量増があった際のパラメータ変動については推定機構が適切に動作しない。具体的なアプリケーション例として農薬の散布や物資搬送における積み込み作業等を行われた場合に、制御性能の劣化が引き起こされることが想定される。

以上の問題を解決するため、緩やかなパラメータ変動に対して効果的なセルフチューニング機構を実装する必要がある。

### 4. 高速自律飛行

本取組みでは、高速飛行時に姿勢角の振動が見られた。これを解決するためには、制御の改善が必要とかがえられる。具体的には、①高度推定の精緻化、②インナーループ制御の最適化、③演算周期の高速化が今後必要である。

## 3. アウトリーチ活動報告

第二回国際ドローン展 ImPACT ブースにて機体静展示およびポスター展示を行った。