

## リミットサイクル法によるパラメータチューニングを用いた 小型飛翔ロボットの飛行高さ自律制御

東京電機大院工<sup>1)</sup> 東京電機大工<sup>2)</sup> ○野地健太<sup>1)</sup>、横井寿成<sup>2)</sup>、堀内敏行<sup>1)2)</sup>

### 要旨

災害時などに役立てるために、屋内用の小型飛翔ロボットを開発中である。本研究では、Åströmのリミットサイクル法とZiegler-Nicholsの限界感度法を用いてパラメータを調整し、小型飛翔ロボットの自動飛行高さ制御の高精度化を行った。その結果、30 s間以上目標高さ $\pm 3$  cm以内に自動で静止維持することができた。目標高さを $\pm 10$  cmずつステップ状に変更した場合も8 s以内で目標高さに追従することを確認した。

### 1. 研究の背景・目的

災害時などに、人が立ち入ることのできない空間や危険な場所での状況把握に役立てるため、屋内用の小型飛翔ロボット（以下、機体）を開発中である。機体に状況把握用のカメラを搭載することを想定した場合、カメラ映像の品質向上には高精度な空中静止維持が必要となる。また、プロポと機体の通信が困難な場面などを想定すると、人の操作が及ばない場所でも自律飛行をさせなければならない。

そのため、本研究では超音波センサを用いたPID制御による高さ制御の高精度化を目指した。先行研究では目標高さ $\pm 20$  cm以内で30秒間維持可能であったが、PIDゲインの調整が困難であるという問題点があった<sup>1)</sup>。そのため、部品などを変更するたびにゲインの再調整に時間を要していた。PID制御の設計においては、PIDゲインの最適値を決定することが必要である。しかし、一度で最適値を決定することは困難であり、暫定値の決定と最適値への調整が必要である。本研究では、このうち先行研究では重要視されていなかったゲインの暫定値の決定方法に注目して検討した。そして、暫定値決定方法の簡易化を図って、飛行高さ維持制御の高精度化を目指した。目標高さ $\pm 5$  cm以内に30秒間維持することを目標とした。

### 2. 制御方法の検討

#### 2.1 離着陸方法の変更

先行研究では、飛行開始時に人が機体を手で保持し、飛行終了時人も人が手で捕捉することが必要であった。そのため、実験条件を一定に保つことが困難であった。本研究では、飛行開始・終了時における人の手による補助を無くすため、自動離着陸が可能となるよう制御プログラムを変更した。

#### 2.2 PIDゲインの調整方法の検討

本研究では、高さ制御方法としてPID制御を採用した。

PID制御には比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲイン（以下、PIDゲイン）の調整が必要であり、これらのゲインを決定するための方法が様々提案されている<sup>2)3)</sup>。

先行研究では、経験則から初期値を設定し、そこからP、I、Dそれぞれの働きの割合を可視化したものを目安として調整を行っていた。しかし、調整するPIDゲインの初期値が適切な値からかけ離れた値であると、適切なゲインを定めることが困難であった。また、機体に変更を加えるとゲインも見直しが必要となった。

そこで、本研究ではÅströmのリミットサイクル法<sup>3)4)</sup>とZiegler-Nicholsの限界感度法<sup>5)</sup>を組み合わせることでPIDゲインを算出し、その値を初期値として先行研究と同様の調整方法で、適切なPIDゲインを導出した。その結果、最適なPIDゲインを効率良く導出することを可能とできた。

### 3. 実験用機体

#### 3.1 機体外観

図1に機体の外観を、表1に機体の諸元を示す。2個のブラシレスモータで駆動する同軸二重反転メインロータを揚力源として飛行する。電力源としてLi-Poバッテリーを採用している。制御基板には制御用マイコンとしてmbed NXP LPC1768を搭載した。



図1 実験用機体の外観

表 1 機体の諸元

項目	仕様
高さ	235 mm
ロータ径	350 mm
機体重量	275 gf

### 3.2 超音波センサによる高さのセンシング

飛行高さのセンシングは超音波センサにより行った。超音波センサには Parallax 社製の PING))) Ultrasonic Distance Sensor を採用し、図 2 に示すように機体底部の裏側に取り付けた。超音波が床に当たり跳ね返ってくるまでの時間を制御用マイコンで 0.1 秒毎にサンプリングし、それを床との距離、すなわち飛行高さに換算した。その換算した値を用いて PID 制御を行った。

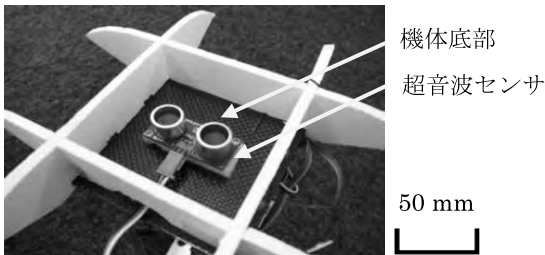


図 2 機体底部

## 4. 高さ自動維持制御実験

### 4.1 目標高さ一定の高さ制御実験

実験は、床が平らで周囲に障害物のない屋内教室で行い、目標高さは 100 cm とした。機体の動作は、機体を床に置きスイッチを入れると自動で離陸し、そのまま PID 制御へと移行、その後 30 秒間目標高さに対し  $\pm 5$  cm 以内を維持した場合、飛行終了とし自動着陸するように設定した。

2.2 節で導出した最良な PID ゲインで実験したときの飛行高さの変化を図 3 に示す。

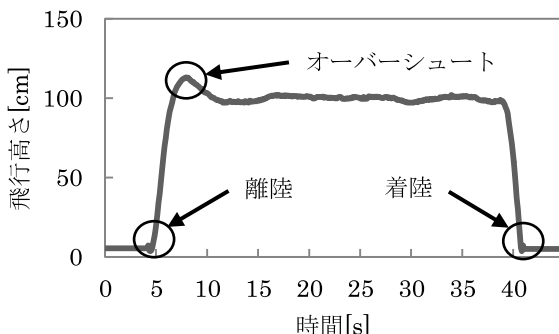


図 3 目標高さ一定の制御実験の結果

離陸後、高さ制御に移行する際 (約 5 s ~ 8 s) オーバーシュートが 15 cm ほど発生しているが、その後、着陸動作に移行するまで (約 8 s ~ 38 s) は最低 97 cm、最高 102 cm と、30 s 間以上目標高さ  $\pm 3$  cm 以内に維持できた。

### 4.2 目標高さを変化させた高さ制御実験

次に、4.1 節の実験と同じ環境で、目標高さをステップ状に変化させた場合の実験を行った。0 s ~ 20 s までは目標高さ 100 cm、その後 10 s ごとに 90 cm、80 cm、90 cm、100 cm の順で目標高さを変化させ、60 s 後に着陸動作に移行させた。PID ゲインも 4.1 節で導出した値と同じものを用いた。この実験における目標高さに対する飛行高さの変化を図 4 に示す。

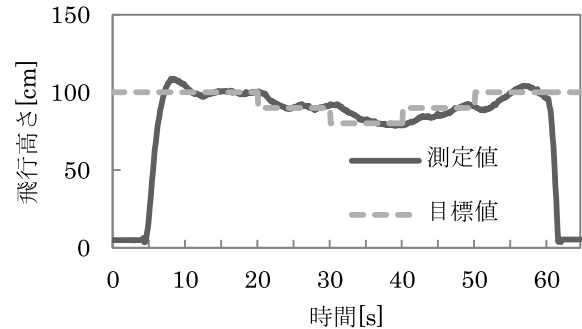


図 4 目標高さを変化させた制御実験の結果

0 s ~ 40 s は約 3 s で目標高さに到達したが、40 s ~ 60 s は約 8 s で目標高さに到達した。目標高さを増加させた時の応答が目標高さを減少させた時の応答と比べて遅れる結果となった。これは重力の影響によるものと考えられる。

## 5. 結言

Åström のリミットサイクル法と Ziegler-Nichols の限界感度法を組み合わせた PID ゲイン暫定値の算出と、先行研究での調整方法を組み合わせることで、効率的に最適な PID ゲインを導出した結果、30 s 間以上目標高さ  $\pm 3$  cm 以内に自動で静止維持することができた。目標高さを  $\pm 10$  cm ずつステップ状に変更した場合も 8 s 以内に目標高さに追従することを確認した。

### 参考文献

- 1) 木幡典央:「搭載バッテリー電圧の常時検出による小型飛行ロボットの高度自動制御の安定化」平成 25 年度精密工学会北海道支部講演論文集, 2014.
- 2) 山本重彦, 加藤尚武:「PID 制御の基礎と応用 [第 2 版]」pp. 87-97, 2014.
- 3) 須田信英:「PID 制御」第 7 版, 朝倉書店, pp. 16-28/pp. 162-172, 1998.
- 4) K. J. Åström, T. Hägglund, : “Automatic tuning of simple regulators with specification on phase and amplitude margins”, *Automatica*, 20, pp. 645-651, 1984.
- 5) J. G. Ziegler, N. B. Nichols, : “Optimum Settings for Automatic Controllers”, *Trans. ASME*, Vol. 64, pp. 759-768, 1942.