

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760566
 研究課題名 (和文) 自律小型航空機の衝突回避マヌーバにおける制御コンフリクト実験
 研究課題名 (英文) Experimental Research on Control Conflicts of Collision Avoidance Maneuvers of UAVs
 研究代表者
 樋口 丈浩 (HIGUCHI TAKEHIRO)
 横浜国立大学・学際プロジェクト研究センター・特任教員 (助教)
 研究者番号：20403652

研究成果の概要：本研究では自律小型航空機の自動回避を行い、複数機による制御コンフリクトの検証を行った。研究では回避制御システムについてのコンフリクトの検証を行い、その問題点を示し、改良を行った。また、自律小型航空機的设计製作を行い、実機による試験環境を整えた。本研究は今後想定されている高度輸送社会においての航空機の安全性や信頼性の向上に役立てることが可能である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	0	2,400,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙流体・構造・航法・制御・推進

1. 研究開始当初の背景

(1) 航空需要の拡大に伴い、航空管制の持つ役割は大きくなっている。航空管制とは別に航空機の危険回避システムの能力も問われつつある。現在、航空機などは ACAS II 等による回避情報を頼りに航行をしている。これら回避システムを用いても航空事故は未だになくなることはなく、また、将来の航空需要に見合うシステムの開発が急務となっている。

(2) 小型自律航空機に関する研究は多くの機関で盛んに行われている。自律小型航空機の大きな目的としては、有人では行動が困難な環境でも活動・情報取得ができるという点である。将来的には惑星での探査などにも応用が可能であると考えられている。国内では、東大、九大、防衛庁、NEC、JAXA などがそれぞれグループを組み小型航空機の制御実験を行っている。いずれも小型機

体にセンサや制御装置を搭載し、自律飛行を実現することを主の目的にしている。多くは近年著しく発展した情報機器の小型化・汎用化に加えMEMS技術の発展による超小型電子機器を利用した小型機体による自律飛行を目的としている。

- (3) 航空機の回避制御という面では横国大などがファジーロジックを利用した非線形な回避制御則を用いて回避マヌーバの改善などの研究を行っている。これらの研究は現在航空機に搭載されているACAS IIに変わりうる回避制御則及び回避制御指示装置の設計を目標としている。研究は自機に対する侵入機のさまざまな条件により、想定している制御則の有効性や問題点を述べている。

2. 研究の目的

人間の回避行動は視認、思考、実行の3ステップによる時間遅れによって適正な回避行動が取れないことが度々生ずる。航空機でも同じように回避の時間遅れは存在し、中でも実行の部分が問題になることが多々ある。現在、航空機は衝突回避システム等による回避情報を頼りに航行を行っている。これら衝突防止装置は位置及び高度情報を元に回避マヌーバを行うことが基本となっている。今後、航空機の需要がさらに高まり、多様な航空機が複雑な回避制御を必要となることを想定すると、将来的に回避制御則同士のコンフリクトのような症状が生じることが想定される。本研究はこの制御コンフリクトを検証し、自律小型飛行機を用い実際に再現することを最終目的としている。研究ではモデル化された数値シミュレーションを行い、多様な条件における航空機の回避運動に関する検証を行う。また、回避制御システム自体を見直し、新たな制御則の提案なども含め研究を進める。シミュレーションと平行し、機体に制御システムを搭載し実際の飛行時の制御則により生ずる問題点を調査する。この際、生ずる危険性ととも回避

運動において生じた大きな加速度なども測定し、実際の旅客機などにおいても乗客の耐えうる制御則の設計も行う。また、観測可能な状態量や制御入力数を変更させることなどにより、より実社会で扱うことのできやすいシステムを構築する。

3. 研究の方法

本研究は2つの内容に大きく分かれて行うこととする。第一は自律小型航空機の作成であり、第二は回避シミュレーションである。両者を同時並行で進め、最終的にはシミュレーションにおいて習熟した制御則を小型航空機に搭載させることを目指す。自律小型航空機についてはまず機種、形状選定から行い、機体の作成を行う。これに伴い、航空機の特長調査を行い、また、センサ類の選定も行う。これらはできる限り汎用性の高い機器を使うことを目標とする。フライト試験及びデータをある程度取得した後、自律航行を行い、航空機の性能評価を行うこととする。また、別途シミュレーションにて行われた回避制御則を搭載させることを最終目標としている。

一方シミュレーションについては、まず、シミュレータの作成から行う。航空機の運動解析シミュレータを作成した後、様々な回避制御則の検証を行い、その評価を行い各制御則の優位性や弱点などを検証する。シミュレーションを繰り返し、改善しうる制御則の設計などを行い、よりよい制御則の設計も行うこととする。また、航空機の回避制御における問題点を見出し、それら問題点を加味した制御則の設計、回避制御の実行を行うこととする。

4. 研究成果

研究により以下のような事項が成果として実現した。

- (1) 小型航空機を設計作成し、フライトデータの取得をおこなった。航空機のシステムとしては搭載型計測器を用い、位置・姿勢情報を取得する。基本的にはGPSセンサ、ジャイロセンサ、圧力センサにより絶対位置、姿勢角度、飛行速度を計測するシステムとした。計測情報は無線機により地上局とするPCに送られ計測データとする。また、PCにおいて制御信号を生成し、DA変換によりプロポを介して航空機を制御するシステムを構築した。

以上のシステム構築によりフライトデータ取得から PC への情報転送, PC における制御指示, プロポを介した制御までが行えることになり, 一貫した自律小型航空機の研究が行える環境が整ったこととなる. 図 1 は PC によるラダー入力信号に対し, 航空機がどのような姿勢角を取るかを計測したグラフである⁶⁾. 計測開始 2 秒後にラダー角を 10° 与える信号を 1 秒間生成し, その応答を調べたこの結果, 0.2 秒ほど経った後航空機は大きく旋回を開始し, 入力終了したのち約 1 秒後方位角 30° 程の旋回を行ったことを示している. このようなデータ取得により航空機の実験調査, およびデータ取得を行い, 研究を進めることが可能となった.

- (2) 航空機の飛行シミュレータを作成し, 制御則の検証, 設計を行った. 各種制御則に関する検証を行い, 危険度という特有なパラメータを用いた評価を行った. また, 回避に伴う運動等の解析も行い, 制御則の評価を行った. それら制御則の中でも新規設計され, 最も性能の優れた制御則⁷⁾の紹介をする.

制御則はファジー理論及び遅延フィードバックを利用した回避制御則であり, 情報遅れ, 制御コンフリクトに対応しやすい設計思想, 設計手法を用いている. 危険度として最接近までの時間 TCPA および最接近時の離隔距離 RCPA を用いている. これらは現在の危険度と将来的に予想される危険度を示しており, 回避制御を扱う際に非常に有用な指数である. 対面から侵入する航空機の軌道とその際の危険度をそれぞれ図 2, 図 3 に示す. 機体は回避制御により互いに回避を行い制御コンフリクトを起こさず安全にお互いを回避していることが見て取れる. TCPA は機体が近づくにつれ減少し,

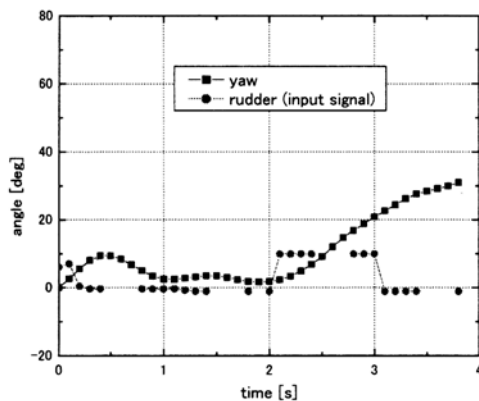


図 1 ラダー入力と機体応答

危険が近付いていることを示している一方, RCPA は回避制御開始と同時に大きく値をとっていることが見て取れる. また, TCPA が小さくなるにつれ, RCPA を少しずつ大きくし, 安全な離隔距離を確保するような運動を行っていることがわかる. この回避運動は人間にも見られるファジー (曖昧) さを制御則内に加味することにより実現したものである.

一方, ファジー理論だけでは回避しきれない問題も存在する. ここで例として挙げているのが, 情報の時間遅れである. 航空機の計測データは計測, 処理, 通信などの要因により時間遅れが必ず含まれる. 特に自律小型航空機の場合は計測機器の能力, 転送機器の能力, 制御則を計算する PC の能力, DA 変換の能力など多くの場面で時間遅れが発生するという問題がある. その問題を遅延フィードバック制御を改良した制御則により解決している.

図 4 は従来制御則により時間遅れを含む回避制御を行った場合の結果である. また, 図 5 は最接近時近傍の両機の離隔距離を示している. 図 4 より制御開始が遅れていることが読み取れ, 図 5 より制御

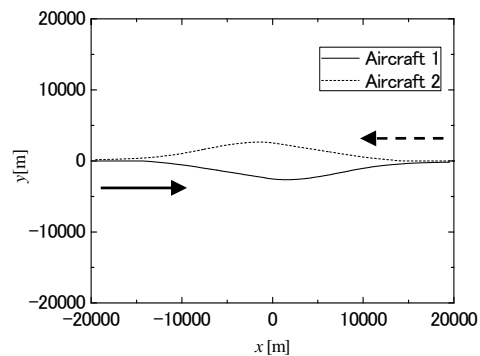


図 2 対面から侵入する航空機

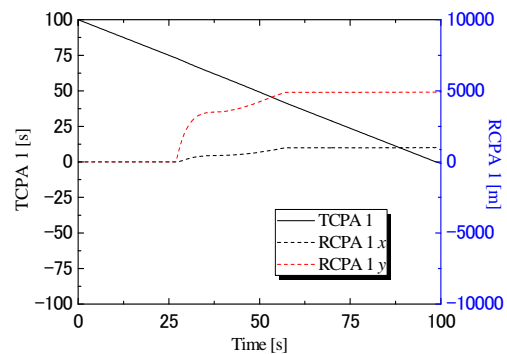


図 3 危険度 : TCPA と RCPA

が遅れた結果、入力が大きくなりすぎ、特に遅延時間が 15s のときは要求離隔距離である 5000m よりもはるかに大きな値をとってしまっていることが見て取れる。これは時間遅れが存在するためにまず、「気づくのが遅い」「入力を開始した後に実際の危険度が反映されるまでに時間がかかる」という 2 重の問題を抱えてしまっているからである。これは人間が操縦している時も起こりえる現象で、計器ではまだ大丈夫だから、という結果からニアミスを生じることもある。

本問題を改善するために、絶対時間を含む制御則を設計した。時間遅れは前述したとおり生ずるが、計測を行った時間を絶対的に保持することが可能である。その値を現在の時間と比較することにより現在の時間遅れがどの程度あるかが算出できる。この時間遅れをファジー理論において「時間遅れがあるならもう少し前から回避しよう」と言うように与えることにより、より良い回避制御を行う。図 6 は改良を行った制御による軌道、図 7 は相対距離を示している。図 7 より離隔距離は要求値程度を示しており、無駄な回避を行っていないことがわかる。改良した制御則では、人間ではリアルタイムでは読み取れない時間遅れの存在を

確実に処理するコンピュータの利点を人間の曖昧さに融合することにより良い制御が可能であることが見て取れる。

- (3) 以上のように、ハードウェアおよびソフトウェアの両面から研究を行い航空機の回避制御に関する研究を行った。研究活動を通し、制御コンフリクトに関する問題点を明らかにした。その主な要因として、

- ・ 機械と人間（パイロット）の判断に関する齟齬
- ・ 既存の回避システム的能力限界
- ・ 情報伝達の時間遅れ

が挙げられた。これら問題を解決する手段を新たな制御則を設計することにより解決した。制御手法としては、まず人間的な曖昧さを機械でも表現するためにファジーロジックを利用した制御則を導入している。これは人間が「まだ遠いから入力は弱めで平気」「結構近くなってきたから大きめに回避」など曖昧な表現を数値化する手法である。また、伝達時間の遅れについては、逆に機械が保持する絶対時間の概念を用い、時間遅れを絶対的な時間で計測し、その時間遅れが存在

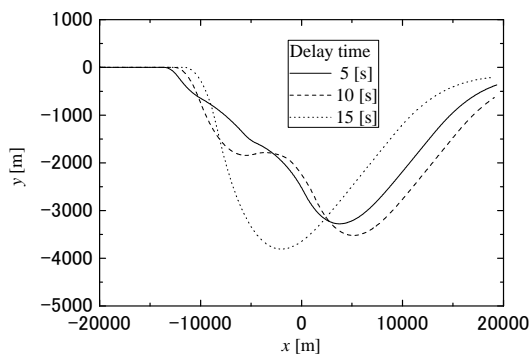


図 4 遅れを伴う回避（ファジーのみ）

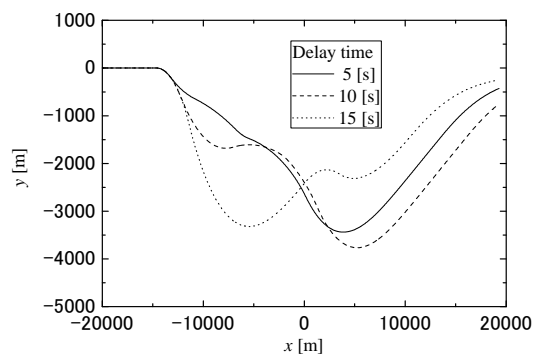


図 6 遅れを伴う回避（新制御則）

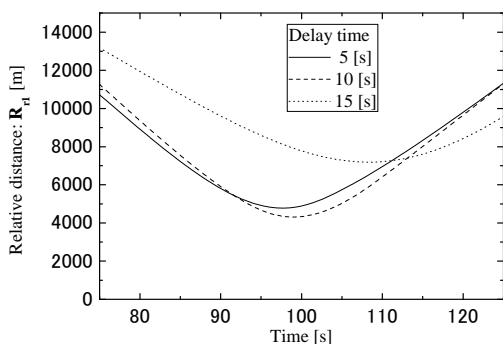


図 5 相対距離（ファジーのみ）

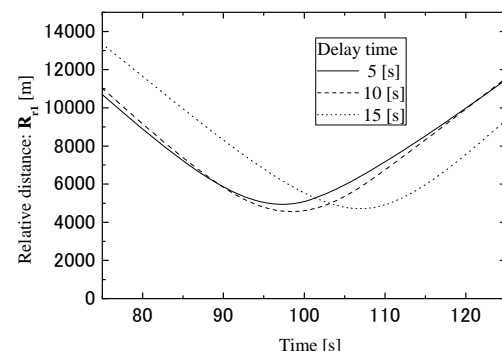


図 7 相対距離（新制御則）

することを利用して新しい制御則を提案している。制御則は遅延フィードバック制御の要素を取り込み、情報が遅延していることを加味しつつ、情報が遅れている分、早期に回避運動を開始するように設計されている。設計した制御則を利用することにより航空機の回避制御を大幅に改善することが可能であり、今後の航空機の安全性向上に役立てることができるものと考えている。また、本制御則は航空機の回避以外の分野にも適用可能であり、応用が広いものと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- ① T. Higuchi, S. Ueno, Conflicts of Collision Avoidance Control Law for Aircrafts with Time Delay , Proceedings of 2008 KSAS-JSASS Joint International Symposium on Aerospace Engineering , pp.522-527, 2008 年 11 月 20 日, 大韓民国チェジュ市
- ② S. Ueno, T. Higuchi, K. Iwama, Proceedings of SICE Annual Conference 2008 , pp.2118-2121, 2008 年 8 月 21 日, 東京都調布市
- ③ 樋口丈浩, 上野誠也, ホロノミーを用いた劣駆動衛星制御則の最適化, 第 25 回誘導制御シンポジウム資料, pp.97-101, 5 月 16 日, 福岡県福岡市
- ④ 上野誠也, 樋口丈浩, 岩間菊子, 情報量フィードバックを用いた航空機の衝突回避則, 第 25 回誘導制御シンポジウム資料, pp.13-16, 2008 年 5 月 15 日, 福岡県福岡市
- ⑤ K. Ogawara, T. Higuchi, H. Iwanaga, M. Ohishi, K. Miyamoto, CFD Analysis of Delayed Feedback Flow Control Around Wings Using PSJA, 46th AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibits, pp.1-12, 2008 年 1 月 8 日, 米国リノ市
- ⑥ T. Yoneda, K. Ogawara, T. Higuchi, Experiment of Automatic Landing Control Using Holonomy on Small Airplane , Proceedings of 2007 JSASS-KSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, pp.28-31, 2007 年 10 月 10 日, 福岡県北九州市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋口 丈浩 (HIGUCHI TAKEHIRO)

横浜国立大学・学際プロジェクト研究センター・特任教員 (助教)

研究者番号 : 20403652