

機関番号：13301

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20686058

研究課題名（和文） ピギーバックを利用した多目的超小型自律再突入機の基礎研究

研究課題名（英文） The Study about the Small Reentry Vehicle

研究代表者

得竹 浩（TOKUTAKE HIROSHI）

金沢大学・機械工学系・准教授

研究者番号：80295716

研究成果の概要（和文）：将来の宇宙輸送系開発に資する小型実験機および飛行制御システムの開発を行った。開発した全長 1m 程度の小型実験機には実機と同様の様々な機能を有するアビオニクス系を搭載し、先進的な飛行制御系を実装した飛行実験を安価で手軽に行うことができる。また突風外乱や故障、飛行条件の変化などに対応する新しい外乱オブザーバと外乱予測制御器の設計手法を構築した。最後に提案システムを実装した飛行試験により性能評価を行った。

研究成果の概要（英文）：The small experimental airplane and flight control system were developed. The developed airplane has an avionics system with various functions. An observer-based disturbance estimation method and an output-feedback preview control method were constructed. The proposed system was applied to the experimental airplane and the flight testing was performed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	7,000,000	2,100,000	9,100,000

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：再突入機，無人航空機

1. 研究開始当初の背景

わが国における宇宙航空技術の研究・開発はその有用性が厳しく問われている。宇宙航空研究開発機構（JAXA）においても宇宙航空技術を通じて豊かな社会を作るための長期ビジョンを打ち出した。その「JAXA2025/長期ビジョン」の中で太陽系探査や月探査、有人宇宙技術などが目標として掲げられている。それらの実現には多くの技術課題が存在するが、そのなかでも大きなものは地球軌道上からの安全な物資や人員の回収技術である。有人宇宙計画における人員の安全な帰還

はもちろんのこと、探査計画で採取したサンプルの回収や無重力実験の試料回収を確実に、安価に行うことができれば、宇宙技術の幅広い有効利用につながる。しかしわが国において定常的に再突入機を運用した経験はなく、いくつかの実験があるのみである。

2. 研究の目的

再突入機の開発においては効果的な熱防衛システムを採用し大きなペイロードを確保すること、大きなクロスレンジ、ダウンレンジを確保し回収コストを下げることなど

の多くの課題を克服する必要がある。いずれにおいても飛行実験を通じて機体や飛行制御システムの実証を行うことは必須である。そこで本研究では再突入機を模した小型実験機と新しい耐故障型飛行制御システムを開発し、飛行実験において実証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 小型実験機の設計と製作

全長 1m, 質量 1kg 程度の、再突入機を模した無人航空機を設計・製作する。

(2) 機体運動のモデリング

製作した実験機の風洞試験を行い、空力特性を計測する。さらに 6 自由度の非線形運動をシミュレーションするプログラムを製作する。

(3) 外乱推定器の開発

既存のオブザーバ理論を改良し、航空機に加わる外乱を推定する外乱オブザーバを構成する。

(4) 外乱予測制御器の開発

航空機に加わる外乱モデルを仮定し、外乱オブザーバの推定結果をもとに近い将来に加わる外乱を予測し、その影響を保障する外乱フィードバックコントローラを構成する。

(5) 飛行実証

開発した実験機に提案理論を実装し、飛行実証を行う。

4. 研究成果

(1) 小型実験機の設計と製作

再突入機を模した 2 種類の実験機を設計・製作した。一つはリフティングボディー型の、もう一つは有翼型の機体である (表 1, 図 1, 2)。また、実験機に搭載するアビオニクス系一式も開発した。GPS アンテナ, 3 軸角速度系, 3 軸加速度計, 気圧高度計, 地磁気方位系などの機能を有し、様々な飛行制御システムを実装した飛行実験が可能である。

表 1: 実験機諸元

	リフティングボディー型実験機	有翼型実験機
全長	434 mm	800 mm
スパン	387 mm	430 mm
質量	630 g	580 g

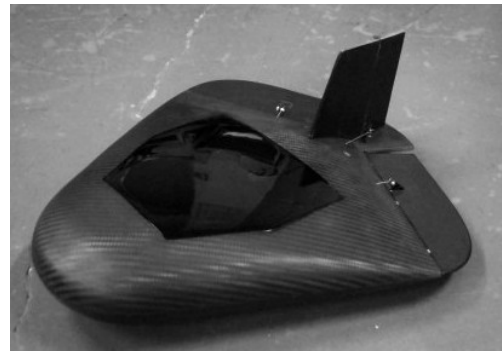


図 1: リフティングボディー型実験機



図 2: 有翼型実験機

(2) 機体運動のモデリング

開発した実験機の風洞試験を行い、空力特性を計測した。さらに推算式と合わせて機体運動の安定微係数を求めた。また機体の非線形運動をシミュレーションするプログラムを製作した。

(3) 外乱推定器の開発

既存のオブザーバ理論を改良して機体に加わる突風などの外乱とその時間微分を推定する外乱オブザーバの設計理論を構築した。過去の複数点の情報をもとに外乱入力を精度よく推定できる手法である。そして提案手法をリフティングボディー型実験機の運動モデルに対して適用し、外乱推定の数値シミュレーションを行った。その結果より精度よく外乱入力を推定できることが明らかとなった (図 3)。

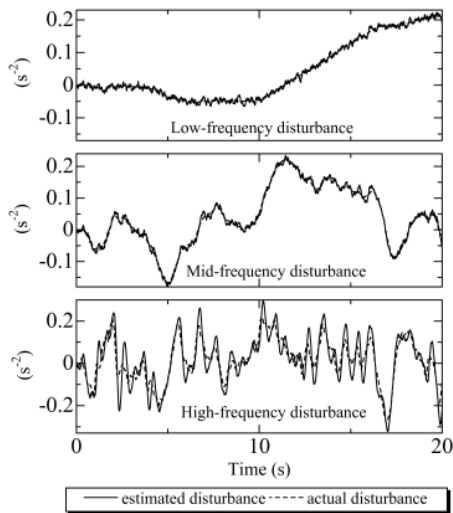


図 3：外乱オブザーバ推定結果

(4) 外乱予測制御器の開発

機体に加わる外乱を時間の多項式でモデル化し、外乱オブザーバの推定結果と合わせることで近い将来の外乱を予測する。さらにその外乱による機体応答を低減する外乱フィードバックコントローラを構築した(図4)。ここでの外乱は突風などによる空気力外乱や機体の故障によるダイナミクス変化、飛行条件の変化などを含んだものである。その結果故障や環境の変化などに対してロバストな飛行制御系を構築することができた。

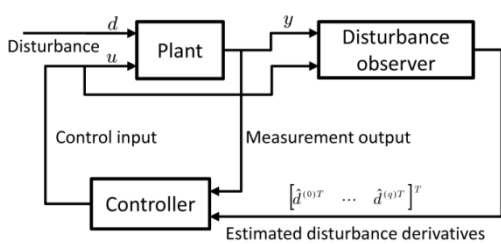


図 4：外乱予測制御器

(5) 飛行実証

提案した飛行制御システムを実験機に実装して、飛行試験を行った。まずリフティングボディ型実験機に外乱オブザーバを実装し、飛行試験中に加わるモーメント外乱を推定した。その結果実験での機体応答を精度よく再現できるモーメント外乱をリアルタイムで推定できることを示した。

また有翼型実験機に外乱予測制御器を実装し飛行試験を行った。その結果実装した予測制御器が実際の飛行環境においても問題なく作動することが確認できた(図5)。さら

に実験においてオンライン推定された外乱による機体応答をシミュレーションすると、実験における機体運動を精度よく再現できることも確認できた(図6)。

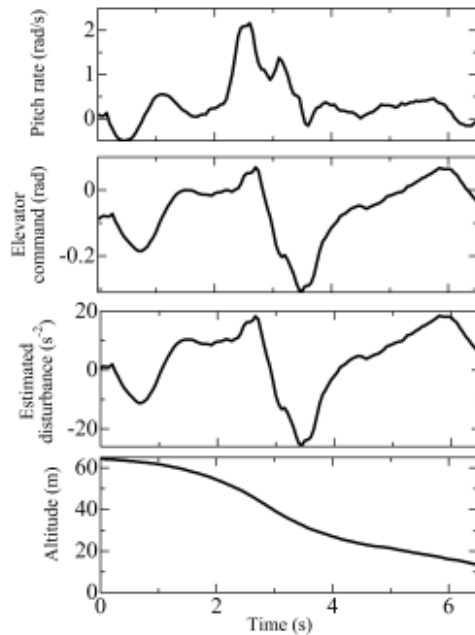


図 5：飛行試験結果

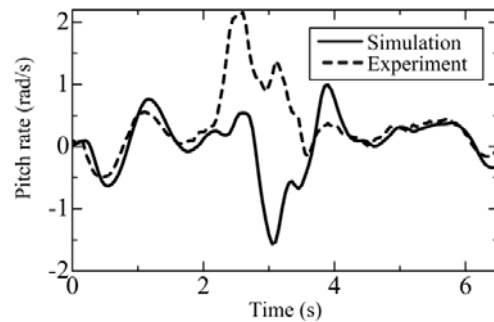


図 6：外乱応答

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)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Hiroshi TOKUTAKE, Shuichi OKADA and Shigeru SUNADA, “Disturbance Observer based on Multipoint Feedback”, Transactions of JSASS (in press) Vol. 54(2011), 査読有
- ② Hiroshi TOKUTAKE, Shuichi OKADA and Shigeru SUNADA, “Disturbance Preview Controller and Its Application to a Small UAV”, Transactions of JSASS (in press), 査読有

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 得竹浩, 岡田周一, 砂田茂, 新井隆景, 小木曾望, 荒木俊輔, “得竹浩, 岡田周一, 砂田茂, 新井隆景, 小木曾望, 荒木俊輔”, 次世代宇宙輸送システム実証用小型航空機の開発と外乱予測制御の適用, 社団法人日本航空宇宙学会 第 41 期講演会, 2010 年 4 月 16 日, 東京大学(東京).
- ② 岡田周一, 得竹浩, 砂田茂, “外乱推定器を利用した線形予測制御”, SICE 関西支部 若手研究発表会 2010, 2010 年 1 月 15 日, 常翔学園 大阪センター(大阪).
- ③ 濱田いづみ, 中瀬淳史, 得竹浩, 岡田周一, 橋爪幹人, 砂田茂, 新井隆景, “推力偏向機構を有する UAV の開発”, 日本航空宇宙学会第 47 回飛行機シンポジウム, 2009 年 11 月 6 日, 長良川国際会議場(岐阜県).
- ④ S. Okada, H. Tokutake and S. Sunada, ”Disturbance prediction and its application to H-infinity flight control”, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009 年 8 月 20 日, Fukuoka(Japan).
- ⑤ Syuichi Furukawa, Hiroshi Tokutake and Shigeru Sunada, “Disturbance Observer based on Polynomial Approximation and its Application to Aircraft Dynamics”, 2008 KSAS-JSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, Nov. 21, 2008, Jeju Island(Korea).
- ⑥ Hiroshi Tokutake, Syuichi Furukawa and Shigeru Sunada, “Experimental Program of Autonomous Lifting Body Airplane in Osaka Prefecture University”, 2008 KSAS-JSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, Nov. 21, 2008, Jeju Island(Korea).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得竹 浩 (TOKUTAKE HIROSHI)
金沢大学・機械工学系・准教授
研究者番号: 80295716

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

砂田 茂 (SUNADA SHIGERU)
大阪府立大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 70343415