

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560738

研究課題名(和文) テストパイロットの実現を目指す飛行制御の智能化技術

研究課題名(英文) Machine Intelligence Flight Control mimicking Test Pilot Function

研究代表者

宮沢与和(MIYAZAWA YOSHIKAZU)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60358645

## 研究成果の概要(和文)：

自動飛行制御技術の進歩により最近では完全自動の無人機が開発可能となっている。しかし、実際の開発においては墜落のリスクが大きく、確実な飛行試験を行うためには有人機のテストパイロットと同様な能力が必要である。飛行中に飛行制御則を調整する機能と、飛行の健全性をモニタして飛行試験遂行(飛行領域拡大)の可否を判断する機能を実現することが本研究の目標である。従来の自動飛行制御則とは異なる調節の容易な新しい制御則を提案し、飛行データを用いて調節する方法を検討した。提案した方法を実際に近い不確かさを考慮した数値シミュレーションを用いて評価し、有望な結果を得た。飛行中に安定余裕を推定する方法も検討し、テストパイロットが持つ主要な機能実現を提案することができた。

## 研究成果の概要(英文)：

Progress in automatic flight control technology has made it possible to develop a fully automatic unmanned aerial vehicle. In real development, however, risk of vehicle damage by crash through the flight test is not small, therefore, more reliable flight control like what is realized by a human test pilot is desirable. In order to solve this problem, it pursued two major functions, that is, real time monitoring of safety margin of the flight control and real time adjustment of flight control parameters by using flight test data. A novel flight control law design approach called Hierarch-structured Dynamic Inversion was proposed to realize these functions. The approach was evaluated by a realistic flight simulation analysis which considered various kinds of uncertainty. It obtained promising results.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：航空宇宙工学, 制御工学, 知能機械, 飛行制御, 適応制御, 学習

## 1. 研究開始当初の背景

航空機の制御，すなわち飛行制御においては他の交通機械に比べて高度な自動化が実現され運用に供されている．旅客機などの自動化においてパイロットと同等のことができるシステムが実現されているが，飛行制御の内容はパイロットによる操縦の機械による実現，すなわち自動化＝省力化である．パイロットなどの人間の負荷を軽減して安全性を向上することが自動化の大きな原動力になっている．

しかし，いくつかの分野で自動飛行制御の従来技術を超える応用研究が行われている．代表的なものは損傷を受けることを前提に開発と運用が行われる軍用機において故障時でも飛行継続を可能とする知能化飛行制御技術である．

本研究は飛行制御の知能化技術のひとつであるが，飛行実験においてテストパイロットが行っている機能を飛行制御の視点からその意味を理解し，その機能を機械が実現して飛行実験の安全性・確実性を確保しようとするものである．自動飛行制御が人間パイロットの操縦能力を超えたように，テストパイロットの機能を理解することによりテストパイロットを超えた能力を実現していくことが期待できる．

研究担当者は無人機技術の草創期から宇宙往還機の開発研究を通じて自動飛行制御技術に取り組み，3機以上の無人実験機の飛行制御則の設計と飛行試験による評価を行った．確実な飛行の実現のためにはテストパイロットが持つ機能の実現の必要性を痛感している．

## 2. 研究の目的

テストパイロットが有する機能を科学的に分析して自動系により同等の機能を実現し，その有効性を証明することが本研究の目標である．有効性の証明は本研究においてはシミュレーションにとどめるが，実用化を次の目標とするために以下の点が重要である．

テストパイロットの機能を実現する知能化飛行制御は非線形制御であり，複雑な論理で構成されるが，これを正當に評価するためには，不確かさなど実際の状態が模擬されなければならない．JAXAにおいて開発したいいくつかの機体にはこのモデルがあり，初飛行を行う前と同様な条件でシミュレーションによる評価が可能である．すなわち，リスクの大きさを確率で推定することができ，初飛行の可否判断を行うことができる．この評価が本研究における重要な点である．

本研究を実施することにより，自動飛行制御における知能化のあるべき姿に向けて共通の解決手段を提供することができる．さら

に成果は新しい飛行制御の模範に繋がる可能性も高い．すなわち，航空機の自動化の歴史が示すように，人間パイロット以上の能力を発揮する自動飛行制御が実用に繋がって来ており，将来はテストパイロット以上の能力を発揮する知能化飛行制御が，無人機ばかりでなく，さらに広く一般の自動飛行制御の中に組み込まれていく可能性が高い．

## 3. 研究の方法

テストパイロットの機能を実現する制御則は非線形制御となるので評価法が実用化への鍵を握る．以下が方法の詳細である．

### ・評価方法の確立

テストパイロットの実現を目指す研究を推進するためには評価方法を確立することが重要である．飛行制御にかかわらず制御に関連する研究においては問題設定が不十分なため実用化につながらない場合が多い．特に，安全かつ確実な飛行のために，適応制御や学習など非線形制御の実用化には総合的な評価を行うことが必須である．JAXAにおいて構築された統計的な手法（モンテカルロ法により多数の飛行シミュレーションを行う）による設計の信頼性評価をベースとする機体モデルを使い，JAXAの協力を得て評価方法を確立する．

### ・ベースラインの制御則

適応制御の導入として飛行制御則を構造化し（なるべく小さな単位で設計して，それらを組み合わせる手法），非線形制御の代表的な設計法であるダイナミックインバージョンを適用する手法を採用する．ダイナミックインバージョンは機体の特性データをオンラインで利用するので，他の特性推定法を用いて特性データの調整を行うことにより容易に適応制御を行うことができる．（間接法による適応制御）階層構造化，ダイナミックインバージョン，特性推定法の選択，試験入力などに研究課題はある．

### ・実時間での安定余裕の推定

飛行制御の性能を実時間で監視する機能を周波数領域での特性推定法により検討する．周波数応答から安定余裕を推定する．

## 4. 研究成果

以下のような成果を得た．

### ① 新しい飛行制御則の構造を提案

機体モデルデータを搭載計算機に実装し，リアルタイムで利用するという従来とは全く異なる「階層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則」を提案した．搭載計算機の飛躍的な性能向上によって実現可能になったものであるが，飛行制御を普遍的（universal）かつ系統的（systematic）に

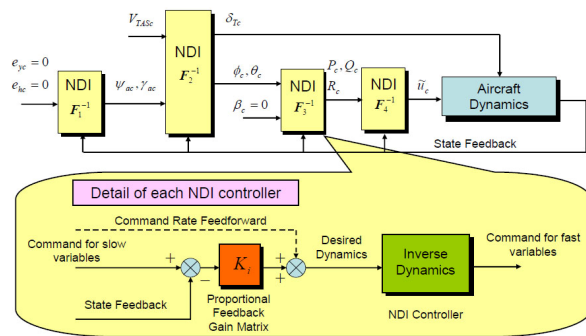
設計できるため、調節が容易である。さらに、調節が容易になる特長を活用して以下の適応機能を追加して組み合わせることを提案した

② 適応機能の付加, 安定余裕推定を提案:

搭載した機体モデルデータを実時間で推定し、修正を自動的にを行うことにより適応機能を実現することを提案した。(リアルタイムモデル同定による適応制御) さらに、制御マージン(安定余裕)の実時間推定を行うことにより調節可能なパラメータを修正することを提案した。(リアルタイムチューニング)

以上の提案を、いくつかの機体モデル(小型双発機, 無人着陸実験機, 超音速研究機等)を用いて実際に近いシミュレーションを行って評価し、問題を抽出するとともに解決策を示すことによって有望な方法であることを確認できた。

成果①の「階層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則」(適応機能なし)は JAXA 共同研究において評価され、静粛超音速研究の飛行実験機に採用することを前提にさらに確認を進めている。成果②の適応制御・リアルタイムチューニングについては、飛行シミュレーションによる統計的評価の段階から、今後は、特性が予め与えられない実証実験へ段階を進め、飛行制御手法の信頼性を確認することが必要である。



階層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則の例

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 5 件)

① T. Ninomiya and Y. Miyazawa, “Neural Network Based Adaptive Control with Hierarchy Structured Dynamic Inversion Applied to Nonlinear Aircraft Model,”

draft reviewed, Guidance, Navigation, and Control Conference, Toronto, 2010.8, AIAA-2010-7869.

② 二宮哲次郎, 宮沢与和: ニューラルネットワークによるパラメータ推定とダイナミックインバージョンを用いた適応制御, 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, Vol.45, No.12, 2010, pp.219-225

③ J. Kawaguchi, Y. Miyazawa, and T. Ninomiya, “Stochastic Evaluation and Optimization of the Hierarchy-Structured Dynamic Inversion Flight Control,” draft reviewed, Guidance, Navigation, and Control Conference, Chicago, 2009.8, AIAA-2009-6175.

④ 川口純一郎, 宮沢与和, 二宮哲次郎: 階層構造化ダイナミックインバージョンによる飛行制御則の設計および評価, 計測自動制御学会論文集, 査読有, 2009.12, pp.703-710

⑤ J. Kawaguchi, Y. Miyazawa and T. Ninomiya, Flight Control Law Design with Hierarchy-Structured Dynamic Inversion Approach, draft reviewed, Guidance, Navigation and Control Conference, Honolulu, 2008.08, AIAA-2008-6959.

[学会発表] (計 9 件)

① 餐場洋介, 宮沢与和: 適応機能を追加した階層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則, 日本航空宇宙学会西部支部講演会, 2010.11

② R. Tsuruta, Y. Miyazawa, T. Ninomiya, H. Suzuki, “Hierarchy-structured Dynamic Inversion Flight Control for Silent Supersonic Technology Demonstrator Airplane,” APISAT2010, Xian, 2010.09

③ 弦田遼平, 宮沢与和, 階層構造化ダイナミックインバージョンを用いた飛行制御則の設計, 日本航空宇宙学会 西部支部講演会 2009, 2009.12

④ 二宮哲次郎, 宮沢与和: 階層構造化ダイナミックインバージョンとニューラルネットワークによる適応制御, 第 26 回誘導制御シンポジウム, 2009.05

⑤ 川口純一郎, 宮沢与和, 二宮哲次郎: 階層構造化ダイナミックインバージョンによる飛行制御則の設計および評価, 第 9 回制御部門大会 (SICE), 2009.03

⑥ J. Kawaguchi, Y. Miyazawa and T. Ninomiya, Precise Path Tracking with Hierarchy-Structured Dynamic Inversion Approach, KSAS-JSASS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, 2008.11.

⑦ 宮沢与和, 川口純一郎, 二宮哲次郎, 階

層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則, 第 47 回飛行機シンポジウム, 2008. 10  
⑦ 二宮哲次郎, 宮沢与和: 静粛超音速研究機に向けた適応制御の検討, 第 57 回理論応用力学講演会, 2008. 06  
⑧ 宮沢与和、川口純一郎、二宮哲次郎, 階層構造化ダイナミックインバージョン飛行制御則のシミュレーションによる検討, 第 25 回誘導制御シンポジウム, 2008. 05  
⑨ 川口純一郎、宮沢与和、二宮哲次郎, 階層構造化ダイナミックインバージョンを用いた 2 自由度飛行制御, 第 25 回誘導制御シンポジウム, 2008. 05

[図書] (計 1 件)  
飛行機の百科事典 (分担執筆) 丸善出版, 2009

[産業財産権]  
該当なし  
[その他]

ホームページ等  
<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K003103/index.html>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
宮沢 与和  
(九州大学・大学院工学研究院・教授)  
研究者番号: 60358645
- (2) 研究分担者  
該当なし
- (3) 連携研究者  
元田敏和  
(宇宙航空研究開発機構・研究開発本部・研究員)  
研究者番号: 20358716  
  
二宮哲次郎  
(宇宙航空研究開発機構・研究開発本部・研究員)  
研究者番号: 80358647
- (4) 研究協力者  
川口純一郎  
(宇宙航空研究開発機構・研究開発本部・研究員)  
研究者番号: 00601238