

## 2I12 簡易フライトシミュレーターの教育研究活動への活用

○ 松永 大一郎、上村 常治、ヨルグ オノ エントジンガー、土屋 武司、鈴木 真二

Utilization of a simple flight simulator for educational and research activities

Daiichiro MATSUNAGA、Tsuneharu UEMURA、Jorg Onno Entzinger、Takeshi TSUCHIYA、Shinji SUZUKI

Key Words: Flight Simulator, Human Factor, Education

### Abstract

A simple fixed base flight simulator has been developed for educational and research activities in the University of Tokyo. While this flight simulator is composed of commercially available hardware and software, in-house motion analysis software can be implemented. Under graduate students in the department of aeronautics and astronautics can use this simulator to understand dynamic characteristics of an aircraft and to study the flight control theory in a student experiment class. The flight simulator has been utilized for various research projects, such as a pilot modeling, a pilot evaluation and a design of instrumental panels. This paper reports the structure of our flight simulator, analytical tools developed in our laboratory, and typical research applications.

### 1. はじめに

以前は、研究室において簡易型フライトシミュレーター（以降「SIM」と略称する）を力学モデルの検証や新たなフライトダイナミクス等の確認等に使用してきたが、今日、小型無人航空機に様々なプログラムを組み込み実飛行にて検証できるようになった。こうした状況において、本研究室にある SIM は、学部学生の授業及び教育目的のための利用が主になり、研究目的としての SIM を開発することも以前ほどは注目されなくなっていった。しかしながら、パイロットモデル構築に関する研究が、研究室において最近活発になり、SIM 環境の新たな整備に取り組むことになった。具体的には、各種計測装置を用いて、操縦作業時のパイロット（被験者）の心身への影響等を測定し、実際の航空機の操縦に役立つような訓練方法の模索、並びに計器表示方式の研究などが主な内容である。ここでは、SIM のシステム構成を簡単に示した後、教育、研究分野における活用法、最近整備した計装機器や解析ツールなどについて紹介したい。

### 2. 簡易型フライトシミュレーターについて

SIM は学生を対象とした航空機力学の研究・学習を目的として開発されたもので、学生が各々に選定した航空機の機体 3 面図を元に、各種微係数を計算

して得られたデータを SIM に読み込ませ、その挙動等を確認し、基本的な力学制御モデルを構築させ固有値や安定化制御ゲイン等を調べるために、あらゆるタイプの設定を行えるようになっている。

#### 2.1 システムの構成

SIM のシステムの構成については、図 1 の通りで、パイロット（被験者）から、機体の操作入力、心身の状態（眼球追跡、心拍数変化、脳波計）及び Second Task に関する計測を行えるようになっている。ハードウェア構成は図 2 のとおりで SIM 画面として、計

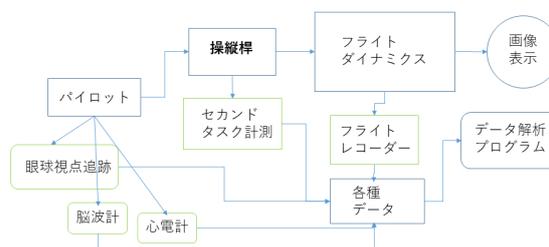


図 1 : システムの構成（概念図）

器用画面 2 台、視界表示用画面 3 台から成り、PC は 4 台から構成されている。そのうち 3 台 (PC①～③) は以前から使用している第 1 世代 PC (Core2Duo) で、視界表示用画面の PC④は第 3 世代 PC (Ivy Bridge) と GTX970 から構成されている。ソフトウェアは、PC③で使用しているフライトダイナミクス計算部以外は業者から購入したものである。また、操舵入力

装置等も購入しもので、EPIC というデバイスコントローラーを使用して USB ケーブルで読み込んでいる。つまり我々が研究開発を行っている SIM の本体は PC③とでもいい。また、Second Task および追加計器等は PC②に直接プログラムを付加して追加のマウスをタスクの入力として使用している。

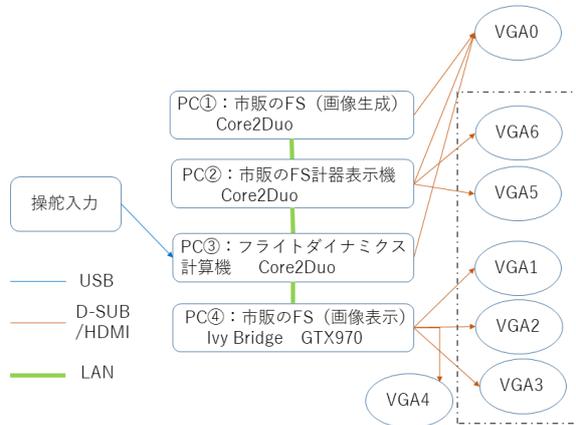


図2：システムの構成（ハードウェア）



図3：フライトシミュレーター（SIM）

## 2.2 市販のシミュレーターと開発力学モデル計算プログラムを接続するアドイン

市販のシミュレーターは計器表示を含めて業者から購入したもので、それぞれ開発用のライブラリとそれに対応した接続用アドインが同梱されている。また、操舵入力装置（EPIC）も同様にライブラリを含めて購入したものである。

## 2.3 追加加工ソフト（アドイン）について

これらのソフトは市販以外にもフリーソフトとしてもインターネット上に存在し、これらを利用して新たな（より高精細なグラフィックスに対応した）SIM への応用も期待される。

## 3 簡易型のフライトシミュレーターの活用

手軽に航空機のような挙動を実時間で体感できる SIM は応用範囲が広く教育、研究のあらゆる分野で利用することができる。以下は本研究室で利用する一例としてご参考いただきたい。

### 3.1 学科学生への教育での利用

授業で学習したことをもとに計算された微分係数は、線形、非線形の SIM でそれぞれ確認を行う。また、線形モデルの SIM で基本的な制御則を確認し、実験で求めたゲインを計算してレポートする等にも利用している。

### 3.2 パイロット評価などの研究への活用

SIM を使用しているパイロット（被験者）に脳波計、心電計、眼球視点追跡器を取り付け多様な条件下で計測を行い、ベテランと初心者との変化の違いを考察し、初心者が経験を重ねていくと、操舵入力や心身の状態についてどのような変化が現れるか等を調べる。

## 4. データ計測方法の1考察について

データの計測例の1つとして、高度 2000ft 以上上空から着陸・滑走・停止までの約 3 分間の状況でのフライトレコーダー、眼球視点追跡器の計測による視点軌跡及び瞳孔状態の変化、心拍数変化、各点の脳波信号、及び操作中の Second Task の反応結果を調べている。

### 4.1 各種計測装置

各種計測装置は図4のとおりである。これらにおいて、眼球視点・瞳孔計測装置は SIM とは別のノート PC と USB（シリアル通信）接続にデータ得るようになっている。脳波計は無線 USB（シリアル通信）のトランシーバーで PC に情報を送る方式になっている。



眼球視点・瞳孔計測



脳波計



心電計

図 4：各種計測装置

心電計は、PC を介さない独立した計測器で機器内部にデータを保存して、計測後に USB（シリアル通信）で、PC 上にデータを取り込むようになっている。データ計測の開始は心電計から発生する Beep 音を計測スタートのトリガーとしている。各種計測装置はスタンバイモードで待機（SIM も含む）し心電計の Beep 音でそれぞれ同時に計測を開始する。全ての計測装置には内部時計が組み込まれているので、それぞれの時間を正確に合わせることで同期を可能にし、さらに計測プランごとの開始時間を記録することで、何をどの条件下で記録したのかを確認できるようになっている。

### 4.3 同時スターター（トリガー）について

同時スターターは図 5 のようになっている。回路構成は Arduino(アルデュイーノ)を使用している。マイクから心電計の Beep 音を捉えると、それぞれの USB（シリアル通信）を介した実験開始の情報を送るしくみである。心電計以外は、それぞれ PC を介して計測（又はシミュレーション計算等）をしている。各種計測器で PC を介さない心電計は特別で、医療機器の中身は触りたくない、また外部入力機能がないため、心電計の計測開始の Beep 音をマイクで撮って、計測のスタートを決めている。

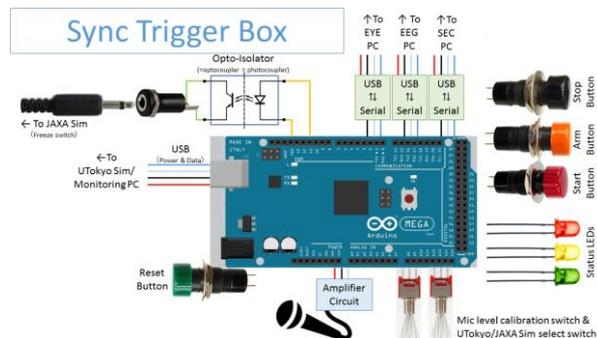


図 5：同時スターター（トリガー）

### 4.4 フライトレコーダーのデータ出力

図 6 はフライトレコーダーのデータをそれぞれピッチ・ヨー・バンクの 3 つに分けて同スケール状で比較表示を行っている。これは LabVIEW のグラフ機能を利用している。このデータ表示アプリはプログラム実行時にリアルタイムで確認できる。右上の青の棒グラフ状のものは、プログラム実行状態での昇降舵、補助翼、方向舵、推力、フラップ、エレベータートリムの変化を表示している。



図：6 フライトレコーダーのグラフ出力

### 4.5 グーグルアースを利用したデータの確認

フライトダイナミクス計算部（PC③）にもフライトレコーダーを読み込み、飛行状況を再現することは可能で、これにより以前操作した内容をコクピット背景から確認できようになっている。飛行軌跡や機体の挙動を確認するために、フライトレコーダーの機体姿勢角と軌道データを取り出しグーグルアースを利用することで多角的に飛行状況や軌道なども確認することができる（図 7）。これらは、複数の飛行軌跡を重ねて同時にアニメーションで表示できる。

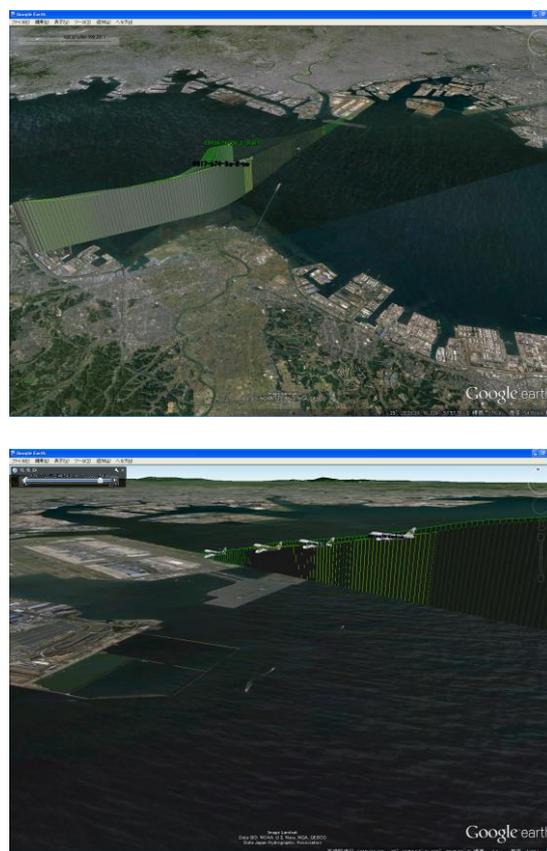
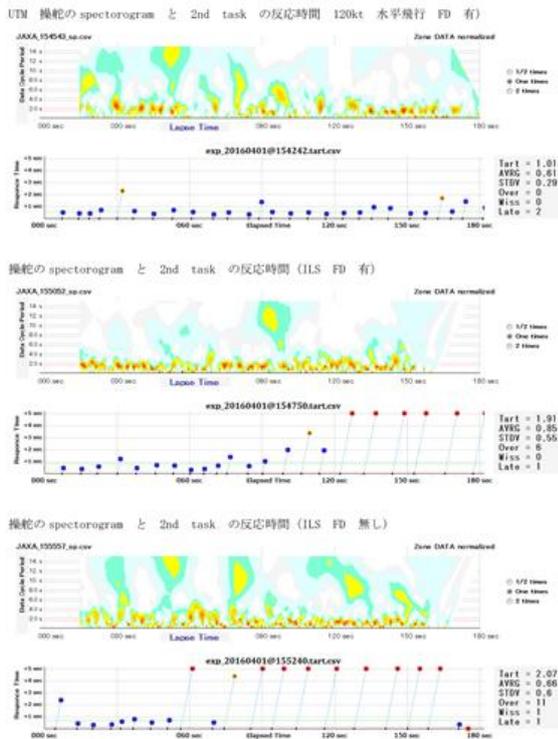


図 7：グーグルアースを利用した確認

#### 4.6 フライトレコーダーのピッチ変異スペクトルについての熟練度に関する考察と Second Task の反応結果について

操縦桿の操作について、一見様々な操作が存在するように思われるが、昇降舵角(エレベーター操作)のみに焦点を置いてフライトレコーダーのデータを調べてみると、初心者でよく見られる、大きく割とゆっくり(場合によっては急激に)動く操作に対して、熟練者に多い小さく、細かく(割合早い動き)が見られるような現象が確認できた。この状態をより客観的にグラフ(画像)化する手法を考察したものが図8の解析結果例(カラー分布図)である。



図：8 各種データの解析結果例

また、その下にセットであるグラフは同状態での Second Task の反応結果を示している。

#### 4.7 眼球視点・瞳孔計測装置

いわゆる、アイマーク等様々な機器が存在し非常に高額な機器から、割合安価なものまで多様に存在するようになった。違いはいろいろあるが、主に1秒当たりの計測数やその精度、データ収集方式やソフトウェア解析手法等がある。被験者に取り付ける計測装置として、最初に行ったのがこの機器である。機器が進歩するにつれ、キャリブレーションの簡易化、計測精度の向上が行われてきた。視点は座標で記録されるものとビデオ信号にポイント記録される

物とある。今までは、ある程度しか、視点座標の精度がなかったので、外視界、計器(PFD)、推力値のどれを見ているか、またその状況下での瞳孔の大きさの変化についても調べて来た。今日では精度が向上したおかげで、計器(PFD)中について、さらに、速度、ピッチ角、バンク角、高度、降下率、方位角等に関して見ているポイントを調べることも可能になって来た。



図9：眼球視点・瞳孔計測装置

#### 4.7 心電計の計測における操縦操作の考察

図10に関しては、心拍数変化のグラフで、150秒前後で着陸操作を行っている。ベテランパイロットではさほどではないが、入門者は心拍数の変化が比較的大きくなるようだ。これらは、個人差にもよるが、との程度で熟練者に近づくのか、また、かなり時間をかけても、近づかないようなものは有るのかなどまだ、多くの計測情報を集積中である。



図10：心電計の心拍数変化

#### 4.7 脳波計の計測における操縦操作の考察

以前は大変高価であり、一般販売されてなかった

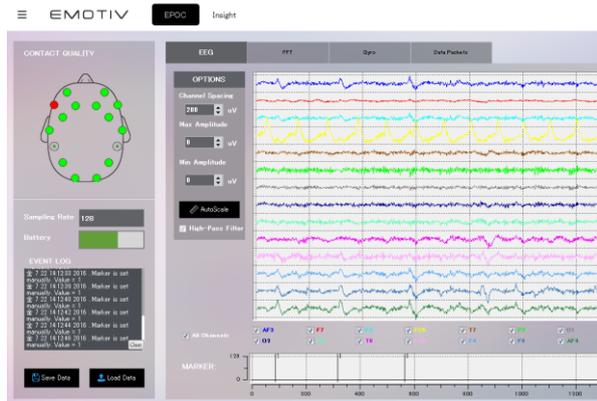


図7：脳波計のプロット

脳波計測器は今日では、より高機能な計測機能と専用解析プログラムも同梱されたうえ、一般販売され安価なものになってきた。

## 5 今後の展望

これらの、設備により得られたデータをもとに、パイロットが操作しやすい計器及び新しい観測機器を利用した、予知気象を含めた操縦計器の開発と導入によるパイロットの負荷等を調べ、新たなパイロットモデルの構築と先進を図りたい。

本研究室の力学計算モデルは主に C 言語を介して行われているが、今後はより短い時間で様々なモデルを検証できるような、多くの言語（及び CAD）の活用を検討する必要があると思われる。すでに部分的には活用してはいるが、上記のような要求を満たせるような、環境の構築が期待される。

いままで、シミュレーターについていろいろと調査結果を報告してきたが、飛行力学モデル構築やその制御則について研究開発するに当たっては、シミュレーター情報で得られるものと、実際に機体を制作して、飛ばして（実機試験）を行うことで得られるデータは大きく異なり、実飛行試験を行った実験データの収集活動は大変重要である。現在、飛行試験の開発プロセスの中で利用しているのは、主に市販のラジコンシミュレーターに留まるが、今後はこれらのプロセスにも SIM を導入して、開発を支援できるのではと考える。

## 6 まとめ

簡易型フライトシミュレーター (SIM) のシステム構成を簡単に示した後、教育、研究分野における活用法、最近整備した計装機器や解析ツールなどに関して紹介した。人工知能の各種ライブラリ化が進みあらゆる分野での応用（すでに実用）も見られるよ

うになり、これらは航空機および航空管制等あらゆる分野での研究活用がなされようとしている。こうした新技術の研究においても SIM の役割は大きいと考える。将来は、管制シミュレーターのもとでの複数の SIM の統合シミュレーションも重要になると考える。また、SIM または、SIM のようなシステムを利用して、より身近に飛行操作を体感できることは、実務利用に関してはもろ刃の剣ではあることに注意が必要だと思われるが、今後の航空分野の発展に大きく貢献できるのではないかと期待する。

## 参考文献

- 1) Jorg O. Entzinger, Tsuneharu Uemura, and Shinji Suzuki, "On the use of secondary tasks in addition to other objective measures of pilot workload", The 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2016), 25-27 October 2016, Toyama, Japan.
- 2) 上村 常治、鈴木 真二、エントジンガー ヨルグ、森 亮太、松永 大一郎「航空機最終進入時の操縦操作を、経験差で比較する」、日本航空宇宙学会第 51 回飛行機シンポジウム、高松、21/11/2013.
- 3) 赤木 宣道「RNP AR 進入の導入及び進捗について」日本航空宇宙学会誌, Vol.62 , No.7 , pp 227-232 , 2014.7