

特集 ■ 教育訓練シミュレータ

ゲストエディタ巻頭言

航空機開発に必須なフライトシミュレータ



片柳亮二

金沢工業大学

KATAYANAGI Ryoji

私は約 30 年間、メーカーにおいて航空機的设计作業に従事してきた。開発に約 10 年かかるといわれる航空機の開発に、幸いにも三つの開発プロジェクトに参画することができた。今回日本 VR 学会からシミュレータに関して何か記事を書くように依頼されたので、私の経験を少し述べてみたいと思う。

航空機開発プロジェクトにおいて、私は“飛行制御班”で仕事をしてきた。飛行制御システムとは航空機を安定に飛行させるためのシステムである。外乱に対して十分な安定性を有し、パイロットが操縦し易い特性を確保するのが仕事である。私が会社に入った頃、丁度航空機開発のやり方が大きく変化している時代であった。それは、アポロ宇宙船のデジタルコンピュータを航空機の飛行制御に応用しようとするという流れである。それ以来、各国でコンピュータ制御による航空機が開発されるようになった。コンピュータ制御による電氣的操縦装置は、フライ・バイ・ワイヤ（電線を通して飛行制御するという意味）と呼ばれている。

フライ・バイ・ワイヤ機では、機体の固有の安定を弱めて制御により安定を確保し、運動能力を格段に向上させることが可能である。その反面、制御に頼ったシステムであることから、パイロットの想定外の操縦が入ると極端に飛行特性が悪化し、開発途上で墜落する機体も出現した。フライ・バイ・ワイヤ機は、フィードバック制御を積極的に用いて高性能化していることから、これにパイロットが操縦することによる一種のフィードバック制御が加わり、それまで最適であったシステム特性を悪化させてしまうわけである。

このような背景から、パイロットの操縦による飛行特性の善し悪しを初飛行前にしっかりと確認しておく必要がある。開発時に用いる設計基準により、初飛行までにパイロット操縦によるリアルタイムシミュレーションを実施することが義務づけられており、フライトシミュレータは、フライ・バイ・ワイヤ機の開発に欠

かせないものとなっている。

私が会社に入社した頃は、ハイブリッドコンピュータが導入された頃で、アナコン（アナログコンピュータ）とデジタルコンピュータを組み合わせるものであった。今で言うと、車のハイブリッド方式みたいなものである。積分などの速い演算を必要とする部分はアナコンで行い、複雑な計算はデジタルコンピュータで行うものである。問題となったのは、デジタルコンピュータの演算遅れと I/O の時間遅れである。デジタルコンピュータのサンプルレートは少なくとも 40Hz（25msec 以下）を目標としたが、なかなか達成することはできなかった。

フライ・バイ・ワイヤ機のシミュレータでは、航空機の運動模擬、操縦装置模擬、制御則演算など 50 次元くらいの微分方程式をリアルタイムで計算する必要がある。模擬が難しいのは機体に働く空気力の部分である。風洞試験で得られた空気力のデータをテーブルで記憶しておき、それをシミュレーション時にデータ補間しながら空気力を求め、機体の運動方程式に代入する必要がある。種々の条件によって変化する多変数補間をリアルタイムに実行する必要がある。効率的に実行するために補間する変数を何種類かに分けて異なるサンプリング間隔で補間を実行する。この空気力の推定の精度が、フライトシミュレータの模擬度と演算時間に最も影響するので工夫のしどころである。

次に重要な要素は、ビジュアル視界である。リアルタイムに動く視界を、あたかも実際に飛行しているように再現する必要がある。視界の模擬度の良し悪しが、パイロットの飛行状態における操縦特性評価の精度に直結する。視界を出来る限り広くすることが重要である。どんなに鮮明な視界でも、小さなテレビのように小さな視界では、パイロットに臨場感を与えることはできない。

私が最初に参画した開発プロジェクト（日本で最初のフライ・バイ・ワイヤ機）では、飛行制御則設計を担当したが、社内飛行試験で機体があわや墜落、という

大問題が発生した。当時はまだコンピュータ制御の航空機は開発途上であり、技術的にも手探り状態での開発であった。結局、原因はパイロットが大操舵すると急に特性が悪化するような制御則になっていたことであった。もちろん地上のフライトシミュレータで、パイロット操縦特性を徹底的に行い、パイロットからは大丈夫との評価をもらっていた。しかし、その評価装置であるフライトシミュレータが十分ではなかったのである。その最も大きな要素はビジュアル視界が小さく、ほとんど臨場感のない状態での評価となっていた。実際の飛行とは緊張度が大きく異なり、パイロット操舵もハイゲイン状態になっていないため、問題点が浮き彫りにならなかったわけである。

そのような経験から、その後の開発用のフライトシミュレータは大きく進歩した。視界もドーム型で360°の臨場感あふれる装置が導入された。これで問題は解決したかに見えたが、実はそうではなかった。その後の諸外国の開発機が、やはりパイロット操縦特性の問題で墜落した。これは結局、空中での操縦特性は、いくら地上のフライトシミュレータ評価装置を充実しても、空中でのパイロット操縦に係わる問題は再現できないという現実である。それでは、フライトシミュレータは不要ではないのか、という疑問が生じるがそうではない。フライトシミュレータの模擬度が向上したことにより、多くの問題点が事前に評価されて空中でのリスク回避に役立っている。ただ、地上の評価には限界がある、ということをも十分認識して使うことが重要だと思っている。

今、当時の航空機開発チームでフライトシミュレータの仕事をやってきたことを思い出すと、非常に重要な仕事であったと感じている。小牧市の住宅密集地で、初飛行を見届けた経験が2度あるが、仕事とはいえ、よくそんな大変な仕事をやってきたな、とつくづく思う。なにせフライトシミュレータの結果で、初飛行は大丈夫です、と報告して初飛行に望んだわけですから。

さて、今回の特集は「教育訓練シミュレータ」である。実践で使われている教育訓練シミュレータをシミュレータを作る側でなく利用する側の視点から紹介する企画である。以下簡単に紹介する。

●「ごみ焼却運転訓練シミュレータ」

ごみ焼却プラントは通常停止することなく連続運転されている。機器の故障などの異常事態が発生した場合には、迅速かつ適切な操作が要求されるが、実プラントを用いた運転員の慣熟訓練の機会が少ないのが現状である。この課題を解決する方法として運転訓練シミュレータが開発・導入されてきた。このシミュレータと、これに導入されてきたVR（バーチャルリアリティ）技術についての解説である。

●「船橋シミュレータ（水先教育）」

海事に関する教育訓練シミュレータの内、代表的な操船シミュレータについて取りあげる。操船シミュレータは船橋に搭載された航海機器等の機能も有しており、ここでは船橋シミュレータと題している。シミュレータを用いた水先人（パイロット）養成教育の内容、現場実習とシミュレータ演習との違いなど、海事分野としてホットな話題の解説である。

●「管制シミュレータ」（取材記事）

空の安全を司る航空管制官の訓練シミュレータに関する話題である。東京空港事務所にはレーダ管制と飛行場管制のシミュレータが設置されている。1971年の全日空雲石衝突事故に関連して、当時の米国連邦航空局から管制システムの不備が指摘されたため、それ以降シミュレータを用いた訓練が本格的に行われるようになった。航空管制業務は、ミス、見落としが命取りになる非常にシビアかつリスクな仕事である。訓練シミュレータの概略と訓練の様子についての解説である。

●「フライトシミュレータ」（取材記事）

現在の航空機操縦訓練において、フライトシミュレータは必要不可欠なものとなっている。ANAの訓練センターには、現在14台のシミュレータが設置されている。24時間シフトで70名の体制でシミュレータの整備が行われており、実際の航空機さながらの体制で運用されている。ANA訓練センターのシミュレータの概略と訓練の様子についての解説である。

●「運転士訓練シミュレータ」（取材記事）

JR東日本の12の各支社には総合訓練センターが設けられている。ここでは、ヒューマンエラーの防止を最も重視しており、そのため訓練を受けているのはある程度経験を積んだ乗務員や運転士である。シミュレータ訓練は、運転技術向上のためではなく、普段起こりえない状況の対応を訓練させるものである。トラブル発生時に適切な行動ができるように、身体で覚えさせることを基本にしている。東京・大宮総合訓練センターのシミュレータの概略と訓練の様子についての解説である。

【略歴】

片柳亮二 (KATAYANAGI Ryoji)

金沢工業大学 工学部航空システム工学科 教授

1946年群馬県生まれ。1970年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。1972年東京大学大学院工学系研究科修士課程（航空工学）修了。同年、三菱重工業（株）名古屋航空機製作所に入社。T-2CCV機、QF-104無人機、F-2機等の飛行制御系開発に従事。同社プロジェクト主幹を経て2003年金沢工業大学教授、現在に至る。博士（工学）。（現在、工学部航空システム工科学科長）