

# フライトデータを用いた航空機操縦の技能習熟評価と 訓練効果への影響について

Evaluation of Flight Operation Skill Proficiency  
with Flight Data and the Efficiency of Training

関西大学大学院 社会安全研究科

初谷 友希

Graduate School of Safety Science,  
Kansai University

Tomoki HATSUTANI

関西大学 社会安全学部

中村 隆宏

Faculty of Safety Science,  
Kansai University

Takahiro NAKAMURA

## SUMMARY

In the flight training, instructors give various feedbacks to student pilots, and these help them to improve their flight operation skill. However, such feedbacks were affected by the characteristic of the instructors, and such an influence may affect to the flight training effectiveness. Therefore, it is important to adopt new materials for evaluating the skill of pilots more objectively, and flight data is suitable as the material. This study was carried out to examine how the briefing with flight data analysis document affects to the flight training.

The purpose of experiment 1 was to improve basic skill of subjects, and the subjects who completed the experiment 1 proceeded to the next experiment. The experiment 2 was carried out to examine how the briefing with the flight data analysis documents of flight data affects to the training results. Each of the subjects was classified into control group or experimental group. In the training, subjects of the experiment group were presented their flight data analysis document by experimenter, and the control group didn't use it. When the training was completed, there were some differences of flight operation skill proficiency between the experimental group and the control group. According to the result of the experiment 2, the possibility that briefings of using the flight data analysis documents improve the training effectiveness was indicated. However, in order to take advantage the results of this study in practice, it is necessary to obtain more detailed knowledge of the human factors and the flight operation skills.

## Key words

Flight Data Analysis, Flight Operation Skill Proficiency, Training Effectiveness, Briefing, Flight Training Device

## 1. はじめに

### 1.1 航空機事故とヒューマンエラー

航空産業の黎明期には、機械技術や気象予測技術などが未熟であったため、ハード面における航空機事故が多発していた。1960年代には、それら技術が発展し、事故発生率は大幅に減少することとなった。しかし、1970年頃を境に、そういった減少傾向は停滞し、事故発生率はゼロになることはなく、横ばい状態が続くようになった(図1)<sup>[1]</sup>。その要因には、ヒューマンエラーが深く関与していると認識されるようになり、近年では航空機事故の70~80%には、ヒューマンエラーが関与しているとされている<sup>[2]</sup>。したがって、ヒューマンファクターの観点からのアプローチが、航空産業における安全性向上の鍵となると言える。

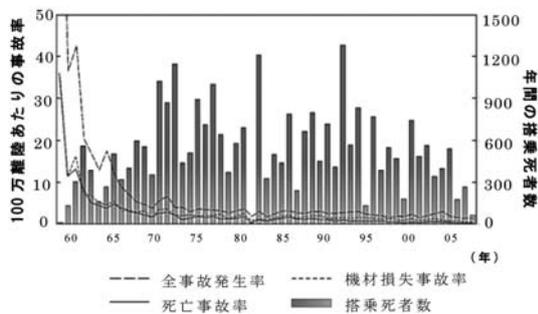


図1 商業用ジェット航空機の事故数・死者数の推移

出典：Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents-Worldwide Operations 1959-2013. (筆者一部改変)

### 1.2 操縦士不足問題

近年、多くの格安航空会社(LCC: Low Cost Carrier)が設立されたことや、各航空会社の路線拡大などの影響を受けて、国際的に操縦士の需要が急増している。特に、アジア/太平洋地域では、2030年までに操縦士需要が現在の約4.5倍に増加すると推定されている<sup>[3]</sup>。我が国も例外ではなく、操縦士需要が年々増加してい

る。さらに、現在の操縦士の年齢構成が40歳代に偏っていることから、2030年頃には大量の退職者が発生することが予想されており、多くの新規操縦士育成が急務となっている<sup>[4]</sup>。

我が国では、この深刻な状況を鑑みて、2012年に新たな技能証明制度であるMPL(Multi-crew Pilot License)制度の法制化が進められた。同制度は、主にエアラインが運航する操縦に2人を要する航空機の副操縦士の養成を目的とした技能証明制度であり、操縦士育成過程の初期段階から副操縦士としての知識や技量の習得のための訓練を行うことによって、従来の技能証明制度に比べて約6か月間、訓練期間を短縮することが可能となる<sup>[5]</sup>。同制度について西小路(2006)は、副操縦士養成の立場に立つと、時間的かつ経済的に非常に有利な制度ではあるが、適格な教育シラバス及び、確実なフィードバックが強く求められなければならないと指摘している<sup>[6]</sup>。

現在、我が国を含む同制度導入国は、導入後の進捗状況などを共有し合いながら、MPL制度とそれに対応した訓練の在り方について模索している。今後は、操縦士不足問題に向け、従来の訓練法のさらなる見直しが必要と考えられる。

### 1.3 操縦技能低下問題

機械技術の向上に伴って、航空機操縦の自動化が大幅に進められた。自動操縦技術は、操縦士への操作負荷を軽減させ、複雑な運航をより容易に行うことを可能にする。一方で、自動化に伴う操縦技能の低下が問題視されるようになった。それに関連している事例として、アジアナ航空214便着陸失敗事故が挙げられる。2013年7月6日、仁川国際空港発サンフランシスコ行きのアシアナ航空214便が、サンフランシスコ国際空港への着陸に失敗し、炎上するという事故が発生した。事故当時には、サンフランシ

スコ国際空港の計器着陸装置の一部の運用が停止されていたため、副操縦士は手動による着陸操作を行っていた。事故の状況から、自動操縦への過度な依存による手動操作技能の低下が、事故要因となった可能性があるとして事故調査が進められていた<sup>[7]</sup>。

翌年の2014年6月24日、米国の国家運輸安全委員会は<sup>[8]</sup>、同事故の発生要因には、操縦士の操縦ミスが大きく関与していたと断定した。同委員会の委員長代行を務める Christopher A. Hart 副委員長は、「この事故は、操縦士が自動操縦システムについて十分な理解をしていないままに、これに過剰依存していた」と指摘し、アジアナ航空に対して基本操縦手順遵守と、手動操縦訓練を強化することを勧告した。

アジアナ航空に限らず、ほぼ全ての航空会社においても、操縦の自動化が進められている。したがって、同問題に関しては、航空産業全体として取り組むべきであると考えられる。今後は、自動化に対応した訓練や技能評価法の在り方について検討し、同問題解決に向けた対策を進めて行く必要がある。

#### 1.4 研究目的

前項で取り上げた2つの問題のように、航空産業では操縦士訓練や操縦技能の習得に関して改善すべき課題がある。また、それらは今後の航空産業の安全性と強く関連しているため、積極的に対策を講じる必要がある。そこで、本研究では操縦士訓練と操縦技能について扱うこととした。

従来の操縦士訓練では、訓練生は訓練機体に同乗する教官から指示や助言を与えられ、それらを技能習熟の主な材料としてきた。そういった、フィードバックが訓練生の技能習熟に有効であることは疑う余地はない。しかし、同フィードバックは、訓練教官の知識や経験・個人特性

による影響を受けている可能性がある(図2)<sup>[9]</sup>。

筆者が経験した約一年半にわたる操縦士訓練では、訓練生同士でミーティングの時間を設け、訓練に関する情報の共有を頻繁に行っていた。その中で、教官ごとに、ある訓練科目(離着陸や急旋回など)に対する指導法や評価法などが異なるといった場合が多く確認された。さらに、そういった違いにより、訓練生の技能習熟速度や訓練効果になんらかの影響が生じている可能性があることも否定できなかった。またそれらが、ポジティブに影響することもあれば、ネガティブに影響することもあると考えられる。したがって、そういった影響を受けない、より客観的な指標を用いることで、訓練の効率化や訓練効果の向上が図れるのではないかと考えた。

本研究では、教官の知識や経験・個人特性の影響を受けないフライトデータを、訓練に取り入れることで、訓練効果にいかなる影響を与えるかについて検討した。

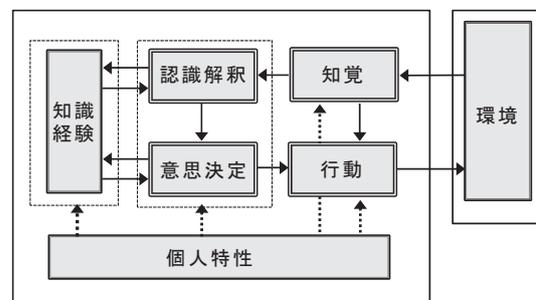


図2 人間の行動概念モデル

出典：心理学から考えるヒューマンファクターズ 有斐閣ブック 1. 現代社会とヒューマンファクターズ pp7-12. (筆者一部改変)

## 2. 航空機の操縦

### 2.1 操縦機材と操作法

基本的な操縦に使用する操縦機材(図3-4)である操縦輪・ラダーペダル・スロットルレバーの操作法について、以下(1)~(3)に記す<sup>[10]</sup>。

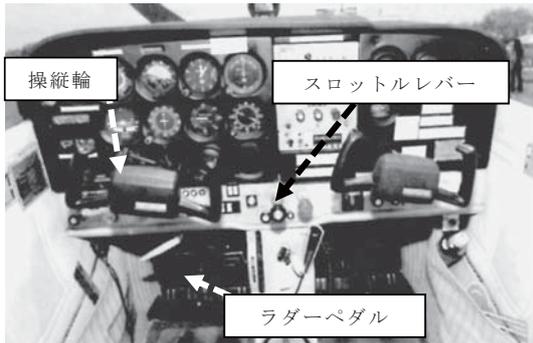


図3 セスナ 172 のコックピット

出典：航空知識の ABC イカロス出版株式会社  
3. コックピット pp66-76.

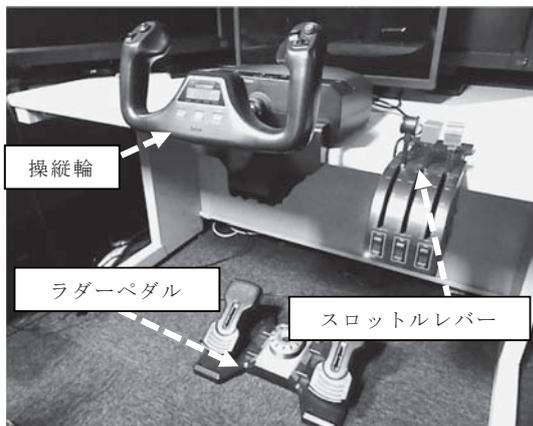


図4 実験で使用した操縦機材

(1) 操縦輪

操縦輪は操縦席の正面に位置する操縦機材で、片手または両手で操作を行う。操縦輪による操作は、主に「エルロン（補助翼）」、「エレベーター（昇降舵）」の2つの操作に分かれる。操縦輪を左右に切ることで、エルロンを操作することができ、機体の前後軸を中心とした回転運動（ローリング）を制御することができる（図5）。操縦輪を左に切ると機体が左に傾転し、右に切ると右に傾転する。同操作でバンク角の調節を行う（図6）。

操縦輪を前後に操作することで、エレベーターを操作することができ、左右軸を中心とした回転運動（ピッチング）を制御することができる。操縦輪を手前に引くと機首があがりピッチ

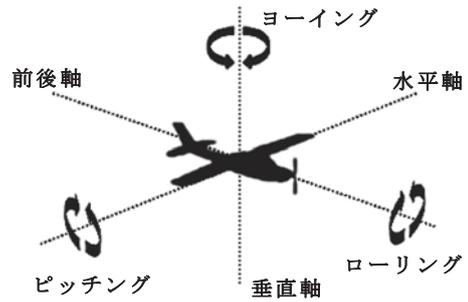


図5 軸と運動

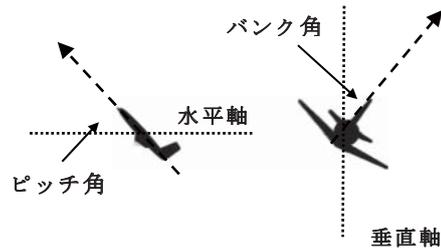


図6 ピッチ角とバンク角

角が高くなる。反対に、奥に押す操作をすると、機首が下がりピッチ角が低くなる。

(2) ラダーペダル

ラダーペダルは操縦席の足元に配置されている操縦機材であり、操縦者は左右の足で操作を行う。飛行中に、ラダーペダルをスライド操作することで、機体の垂直軸を中心とした回転運動（ヨーイング）を制御することができる。左のラダーペダルを奥にスライドさせると、機体が左の方向を向き、右を奥に操作すると右方向を向くようになっている。同操作は、旋回飛行などの際に行われる。

(3) スロットルレバー

スロットルレバーは、左右の操縦席の中心よりやや前方に位置する操縦機材であり、基本的に片手で操作を行う。同レバーを、前後に操作を行うことで、エンジンシリンダーへ送られる混合気の流量が調節される。同操作は、エンジン出力の調節が必要な場合に行われる。

## 2.2 操縦計器の特性

航空機の操縦では、複数の操縦計器 (図7) をクロス・チェック (反復または連続的に確認) することで、航空機の状態を正しく認識し、それに応じた操作を行わなければならない。基本的な操縦に必要な操縦計器は、高度計・速度計・姿勢指示器・旋回計・機首方位計・昇降計・回転計の7つ (図7: 枠内の操縦計器) で、操縦士はそれぞれに表示される操縦要素 (高度・速度・バンク角・ピッチ角・機首方位など) から航空機の状態を認識する。

操縦計器によっては、表示までに数秒から10数秒程度の時間差が生じる場合がある。したがって、操縦者は同特性を理解しておかなければ、航空機の状態を正しく認識することが不可能となる。



図7 操縦計器

## 2.3 機体の飛行特性

操縦計器に表示される操縦要素は、複雑に関連し合っており、一つの操縦操作を行えば、複数の操縦要素に影響が生じる (図8)。例えば、飛行中に機体を傾転させると、揚力が減少し機首が下がり始める。その際、一定の高度を維持するには、機首上げを行わなければならない。さらに、一定の速度を維持するためには、エンジン出力の調節が必要となる。

また、操縦操作が行われてから、航空機の状態が変化し始めるまでに、数秒の時間差が生じる。操縦者は、上記のような機体の飛行特性を十分に理解し、適切な操縦操作を適切なタイミングで行わなければならない。本研究の模擬飛行訓練で実施した操縦操作に関しても、同様の理解と操縦技能が必要であった。

## 3. 模擬飛行訓練装置

### 3.1 実験室

本研究で使用する模擬飛行訓練装置は、関西大学高槻ミュージズキャンパス10階の人間行動小観察室1に設置された (図9)。本装置は暗幕内 (幅: 2,300mm, 奥行: 3,000mm, 高さ: 2,000mm) に設置され、実験中は部屋の照明をすべて落とした状態とすることで、視環境を統制した。

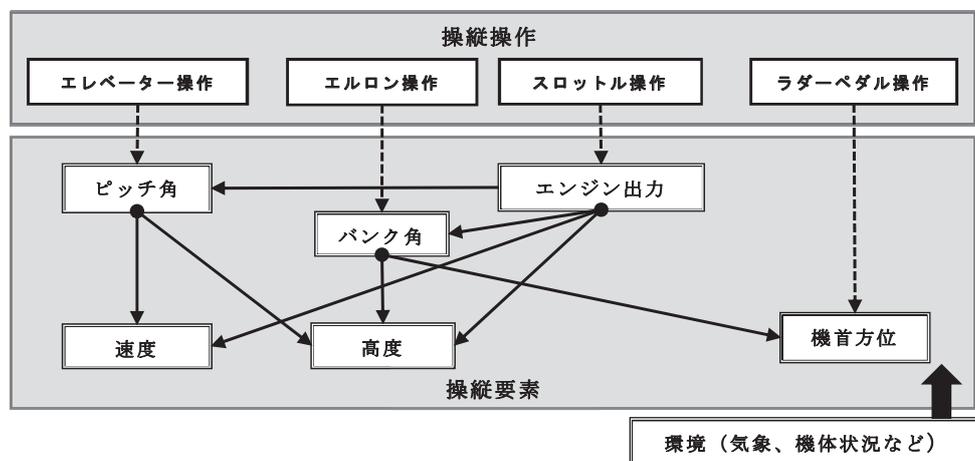


図8 操縦操作と操縦要素の関係図



図9 模擬飛行訓練装置

### 3.2 使用ソフトウェア

模擬飛行訓練装置へ導入するフライトシミュレータソフトには「Microsoft Flight Simulator 2004 (輸入版)」を、フライトデータ記録用ソフトには「FS Recorder for 2004」を使用した。

実験では、フライトデータの記録間隔は1秒に設定した。記録したフライトデータは、テキストファイル形式で出力され、技能習熟評価の際には「Microsoft Excel 2010」上で処理を行った(図10)。また、記録したフライトデータをフライトシミュレータ上で読み込むことで、実施した模擬飛行実験をPCで何度も再現することが可能であった。したがって、技能習熟評価や、実験時に使用する資料を作成する際に、上記の機能を利用した。

### 3.3 映像提示用モニター

模擬飛行訓練装置には、映像提示用としてモニターを4台用意した。その内、3台(NEC MultiSync V321, 画面縦幅:392mm, 画面横幅:698mm)は周辺状況提示用とし、残りの1台(FUJITSU VL-20WB2G, 画面縦幅:286mm, 画面横幅:475mm)を計器提示用とした。

映像提示用モニターの配置については、まず中央の周辺状況提示用モニターを、その中心が基準視点位置(着座時の視点位置, 高さ:1,200

mm)から右(左)方 $0^\circ$ 、距離が1,000mmとなるように配置した(図11)。このモニターに対する視角は、画面左端から画面右端までおよそ $38.6^\circ$ であった。また、基準視点位置の高さから画面上端までの迎角は $2.3^\circ$ 、画面下端までの俯角はおよそ $20.4^\circ$ であった。

次に、左右の周辺状況提示用モニターは、中央のモニターとの内角がおよそ $120^\circ$ になるようにそれぞれ配置された(図12)。どちらのモニターの視角も、画面左端から画面右端までおよそ $38.6^\circ$ であった。また、基準視点位置の高さ

	A	B	C	D	E	F	G	H
5	altitude	pitch	bank	elevators	ailerons	throttle1	TAS	
6	138.739	1.316	0.013	3404	0	95	0.19	
7	138.73	1.849	0.012	3404	0	95	0.01	
8	138.731	1.812	0.011	3404	0	95	0.01	
9	138.731	1.813	-0.013	3404	0	95	0.01	
10	138.731	1.816	0	3404	0	95	0.01	
11	138.731	1.818	0	3404	0	95	0.01	
12	138.739	1.349	0.012	3404	0	14954	0.42	
13	138.738	1.588	0	3404	0	16288	4.72	
14	138.741	1.606	0	3404	0	16288	10.8	
15	138.746	1.567	0.005	3404	0	16288	15.76	
16	138.752	1.559	0.008	3404	0	16288	20.08	
17	138.758	1.559	0.006	3404	0	16288	24.16	
18	138.765	1.564	0	3404	0	16288	27.8	
19	138.773	1.578	0	3404	0	16288	31.34	
20	138.781	1.594	0	3404	0	16288	34.86	

図10 フライトデータ出力例

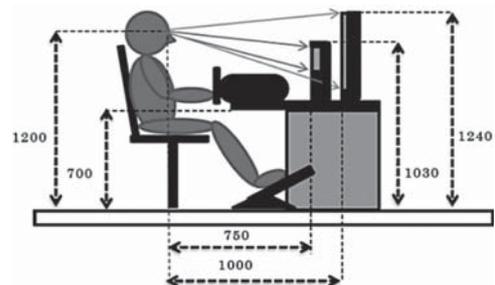


図11 映像提示用モニターの配置

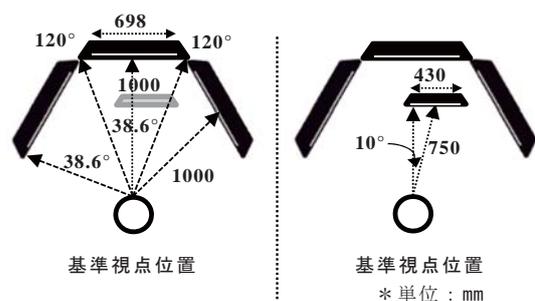


図12 映像提示用モニターの配置

から画面上端までの迎角は $2.3^{\circ}$ 、画面下端までの俯角はおよそ $20.4^{\circ}$ であった。

最後に、計器提示用モニターはその中心が基準視点位置から垂直距離750mm、右(左)方約 $10^{\circ}$ の位置に配置した。同モニターの計器提示範囲の視角は、画面の左端から右端までおよそ $32^{\circ}$ であった。基準視点位置の高さから画面上端までの俯角はおよそ $2.3^{\circ}$ 、画面の上端から下端までの俯角はおよそ $23.9^{\circ}$ であった。

### 3.4 音声提示用機材

音声提示用機材には、「ヘッドセット (audio-technica : ATH-770COM, 密閉型)」、「オーディオミキサー (EDIROL UA-1EX, および EDIROL M-10MX, EDIROL UA-4FX)」を使用した。

外部音が発験に影響を与える可能性があるため、ヘッドセットは密閉型のものを使用した。実験参加者に対してフライトシミュレータの音声提示しつつ、実験者と実験参加者間でコミュニケーションがとれるように上記の機材を接続した (図13)。

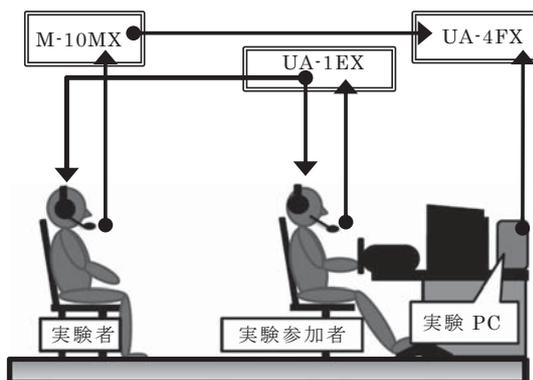


図13 音声提示用機材の配置

### 3.5 フライトシミュレータ環境設定

模擬飛行訓練で使用する機体は、訓練機としてよく用いられる Cessna C172 Skyhawk を選択した。同機体は、単発プロペラ推進の高翼機で、定員は4名の小型機となっている。実験時

の巡航速度は100kt、上昇速度は80ktに指定した。

模擬飛行訓練の開始地点を成田空港の滑走路34R上とし、気象条件は快晴に設定した。

## 4. 実験1

### 4.1 目的

実験1では、初期段階で大きく異なると思われる実験参加者の技能差を一定に近づけるための基礎的な模擬飛行訓練を行った。また、フライトデータを用いた技能習熟評価を行い、実験参加者の技能習熟がどの程度一定に行われているかについて検討した。さらに、検証結果に基づいて、実験2で分析の対象となる実験参加者を抽出した。

### 4.2 実験参加者

実験1を開始する前に、実験参加者に対して、研究の趣旨・目的・内容について説明した。また、実験中にシミュレーター酔いや目の疲れなどの症状を感じた場合には、速やかに実験を中断することが可能であることを説明した。上記の内容を十分に理解し、実験参加に同意した者のみが、実験参加同意書に署名し、実験に参加するものとした。

実験1に参加した実験参加者は17名で、いずれも模擬飛行訓練の経験はなかった。その内、全ての試行に参加した11名の実験参加者 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K) を、技能習熟評価の対象とした。

### 4.3 手続き

実験1では、操縦士訓練の初期段階を想定した5つの訓練科目 (離陸、上昇飛行、水平飛行、降下飛行、旋回飛行) を実施した。上記の訓練科目は、航空機の運航で必ず行うものとなり、飛行特性に関する知識を深め、基礎的な

操縦技能を身に付けることを目的として実施された。

5つの訓練科目は、あらかじめ実験者によって決められた操作手順に従って実施された。例えば、上昇飛行の際には、初めにエンジン出力を最大にするために、スロットルレバーをフルスロットルの位置まで操作する。次に、速度調整を行うが、エンジン出力が一定の場合は、ピッチ角によって速度調整を行う必要がある。その際、ピッチ角を高くすると速度が遅くなるといった飛行特性を理解しておかなければならない。模擬飛行訓練では、訓練科目ごとに決められた操作手順を遵守し、飛行特性を考慮した操縦操作が行える技能の習熟を目標とした。

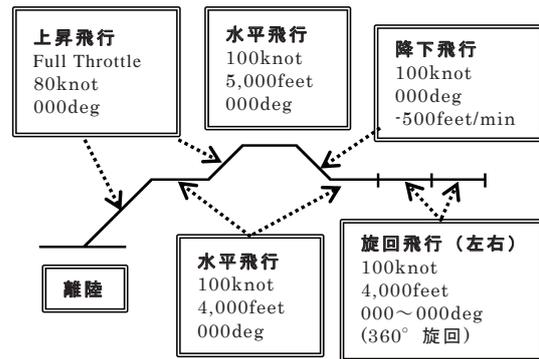
また、実験1は、基礎教育フェーズ・訓練フェーズ・試験フェーズの三段階に分けて行われた。

### (1) 基礎教育フェーズ

実験1の1回目の試行を基礎教育フェーズと位置づけた。この段階は、模擬飛行訓練とその前後に行われるブリーフィングによって構成され、飛行操縦に必要な基礎知識を教育することを主な目的とした。

まず、模擬飛行訓練前のブリーフィングでは、操作手順や飛行特性についての説明が行われた。その後、模擬飛行訓練装置へ移り、実験参加者は操縦機材を模擬的に操作しながら、操作法に関する説明を受けた。その後、視点やラダーペダルの位置を確認しながら座席の調整を行った。

模擬飛行訓練は、一定の飛行ルート(図14)を実験者の指示・助言に従って飛行する形式で行われた。訓練中の指示・助言は、あらかじめ設定した実験手続きに従って行われた。ただし、飛行ルートから大きく逸脱するなどの、個別の対応が必要と判断された場合には、実験者の裁量によって指示・助言を行うこととした。



(高度:feet, 速度:knot, 機首方位:deg, 昇降率:feet/min)

図14 飛行ルート(模擬飛行訓練)

模擬飛行訓練後のブリーフィングでは、訓練内容についての確認が口頭で行われた。

### (2) 訓練フェーズ

基礎教育フェーズを実施した実験参加者は、今回の試行から訓練フェーズへと移行した。この段階は、基礎教育フェーズと同様に、模擬飛行訓練とその前後で行うブリーフィングによって構成され、前述の5つの訓練科目に関する技能習熟を主な目的とする。

まず、ブリーフィングでは、訓練科目に関する理解度を測るための質問がいくつか出題された。実験参加者の理解度は、上記の質問に対する回答の正答率から三段階で評価された(正答率0~49%の場合は「1」、50~89%の場合は「2」、90%~100%の場合は「3」)。その後、前回の訓練の内容について確認し、模擬飛行訓練へと移行した。

模擬飛行訓練は、基礎教育フェーズと同様に、一定の飛行ルートを教官の指示・助言に従って行われた。訓練後のブリーフィングでは、訓練中の指示・助言の内容の確認を行い、同試行を終了することとした。

同フェーズでは、実験参加者の技能習熟度が終了条件を満たすまで、前述の試行が反復して行われた。終了条件は、訓練科目についての理

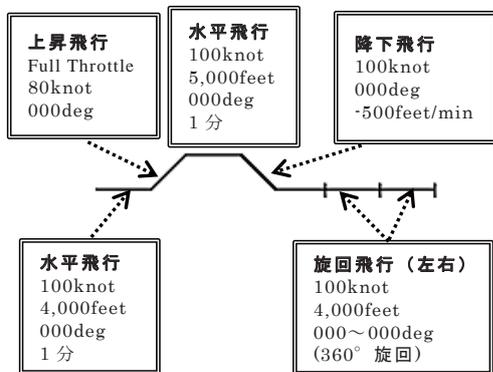
解度が「3」、かつ、実験者によって、適切な操作手順で安定した飛行を行えると判断されることとした。条件を満たした実験参加者は、次の試行で試験フェーズへと進んだ。

### (3) 試験フェーズ

試験フェーズでは、訓練フェーズと同様の形式でブリーフィングと模擬飛行訓練が実施された。訓練終了後、模擬飛行訓練装置は一時停止され、実験参加者は次に行う試験フライトの形式と飛行ルート（図15）について説明を受けた。

試験フライトでは、実験者は指示・助言を一切行わず、実験参加者は予め示された飛行ルートに従って飛行するものとした。また、この試験フライトの実施をもって、実験1の全ての試行を終了することとした。

技能習熟評価の際には、試験フライト時のフライトデータを主な分析対象とした。



(高度 : feet, 速度 : knot, 機首方位 : deg, 昇降率 : feet/min)

図15 飛行ルート (実験1)

## 4.4 技能習熟評価

実施した5つの訓練科目の中で最も操作手順が多く、複合的な操縦操作が必要とされるのが旋回飛行であった。さらに、他の訓練科目と比較して、技能習熟の程度に大きなばらつき傾向があるように見られた。旋回飛行以外の訓練科

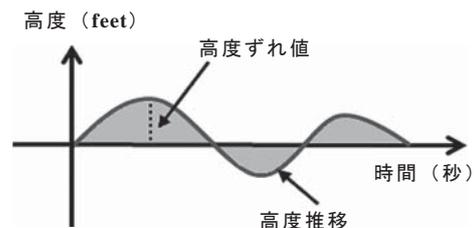
目に関しては、試験フライトを実施した段階で、実験参加者の技能習熟の程度にほとんど差が見られなかった。したがって、試験フライト実施時における技能習熟評価の主な対象を旋回飛行とした。また、実験1の初期段階では、すべての訓練科目において技能差が確認されたので、それら訓練科目実施時の、操縦操作や操縦ミスの傾向などを分析した。

操縦士免許の現地試験では、高度・速度・バンク角のずれに許容範囲が設けられており、操縦者はその範囲内で安定した飛行を行わなければならない。技能習熟評価の際には、この3つの操縦要素（高度・速度・バンク角）が重要であると考え、主な評価指標とすることとした。

旋回飛行実施中に、それぞれの操縦要素が指定された基準（例：高度5,000 feet, 速度100 ktなど）から、どれだけずれていたかを評価するために、ずれの大きさを示す評価値を「ずれ値」と定義し、比較を行った。

また、旋回飛行中に飛行諸元からのずれが生じた際に、適正なタイミングで修正操作を行っていたか、あるいは適切な修正操作を行っていたかについての評価を行うために、ずれの傾向の大きさに注目することとした。「ずれ値」と旋回飛行に要した時間から、ずれの傾向の大きさを表す評価値として「ずれ傾向値」を算出し、比較を行った（図16）。

「ずれ値」と「ずれ傾向値」の比較の際には、Thompsonの棄却検定を用いることで、技能習



\* 高度ずれ傾向値 = 高度ずれ値の総和 ÷ 時間

図16 評価値の算出例

熟の程度が他の実験参加者と大きく異なっている者を抽出した。上記に該当した実験参加者に関しては、さらに関連していると考えられる他の操縦要素を分析の対象とし、評価結果に差が生じた要因について検討した。以上によって、実験参加者の技能習熟がどの程度一定に行われていたかについて検討した。

#### 4.5 結果

高度分析では、実験参加者 K の最大高度ずれ値と高度ずれ傾向値が目立って大きかったことが確認された (図 17-18)。Thompson の棄却検定 ( $p < .01$ ) の結果、実験参加者 K と他の実験参加者の最大高度ずれ値と高度ずれ傾向値の平均値に、それぞれ有意差が認められた ( $p = 0.001$ ,  $p = 0.006$ )。

次に、実験参加者 K の高度推移を見ると、旋回中何度も上下に大きく高度ずれを起こしていたことがわかった。また、高度ずれに対する修正の回数が比較的少なく、ピッチ角の修正操作が正常に行われていなかった。これらの結果より、実験参加者 K は他の実験参加者と比較して、技能習熟が十分に行われていなかったと判断された。

バンク角分析では、実験参加者 A のバンク角ずれ値が、目立って大きかったことがわかった (図 19)。Thompson の棄却検定 ( $p < .01$ ) の結果、実験参加者 A と他の実験参加者の最大バンク角ずれ値に有意差が認められた ( $p = 0.0002$ )。バンク角の推移を見てみると、目立って不安定な動きはなかったが、ゆっくりと変移を続けていることがわかり、実験参加者 A の技能習熟が十分に行われていないと判断された。

速度分析では、速度ずれ値・速度ずれ傾向値共に目立った違いは見られなかった。実験 1 の比較・分析の結果、実験参加者 2 名 (A, K) と残りの 9 名 (B, C, D, E, F, G, H, I, J)

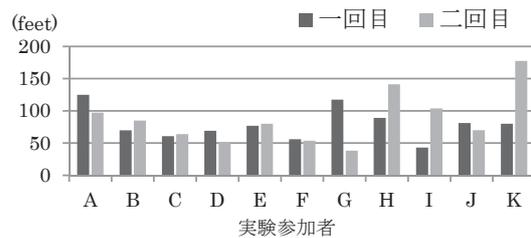


図 17 最大高度ずれ値の比較

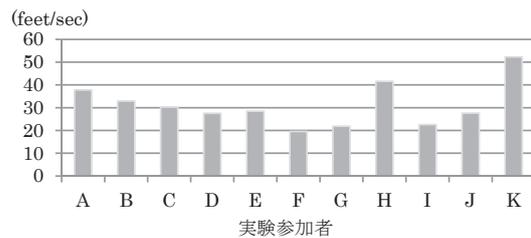


図 18 高度ずれ傾向値の平均の比較

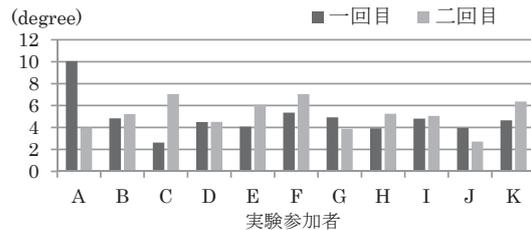


図 19 最大バンク角ずれ値の比較

の技能習熟の程度に差が生じていると判断された。

#### 4.6 考察

実験 1 では、訓練の初期段階においてしばしば見られる、操縦法の傾向や操作ミスなどをいくらか確認することができた。それらを基に、フライトデータを用いた資料を、いかに提示すれば訓練効果の向上に繋がるかについて考察した。

##### (1) 操作法に関する評価

航空機の操縦では、操縦操作を行ってから、それに対する機体反応が確認されるまでに、数秒の時間差が生じる場合がある。それは操縦操

作に対する機体の反応や、一部の操縦計器の表示が遅れることが関係している。しかし、そういった特性を十分に理解していない実験参加者には、操作による反応が確認される前に操作が足りなかったと判断してしまい、過剰に操作をしてしまうといった傾向が見られた。

実際の操縦士訓練において、同傾向が見られた際に、教官は「ゆっくり」、「優しく」といった表現を用いて、操作法に関する教示を行うことがある。しかし、口頭によるフィードバックのみでは、実際にどの程度の強弱と速さで操作を行えばよいのかを、伝達することが難しい場合がある。

実験1の初期段階では、訓練科目の中で比較的容易である水平飛行においても、高度を維持することが難しく、目標高度から何度も逸脱してしまう実験参加者が多くいた。同傾向が見られた実験参加者のピッチ角の推移は、図20のように機首が上下へ繰り返し変移していたことがわかった。また、模範的なフライトと比較すると、その変移量はかなり大きいことがわかる。模範的なフライトでは、1°以下のピッチ角で高度修正を行っているのに対し、上記の傾向が見られた実験参加者は約5°の大きなピッチ角で修正操作を行っていた(図21)。さらに、修正速度にも違いが見られ、同実験参加者は短時間に大きく操作していたことがわかった。

上記の例のように、フライトデータを用いて操縦を評価・比較することで、操作法に関する

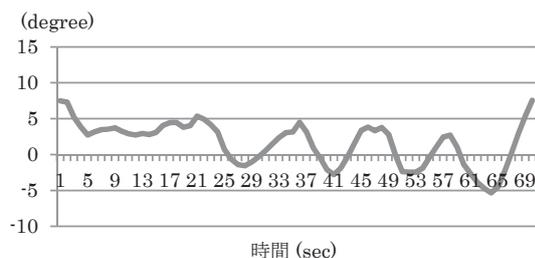


図20 ピッチ角の推移 (実験参加者)

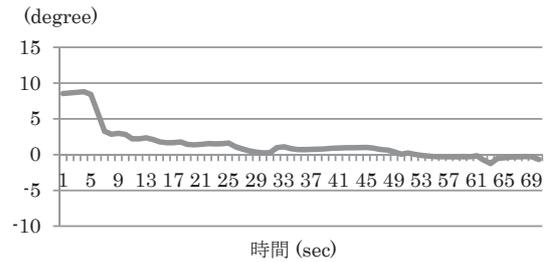


図21 ピッチ角の推移 (模範例)

問題点をより定量的に示すことが可能となる。また、評価結果を訓練生に提示することで、問題のある箇所を正確に把握することができ、対策を講じる手助けとなり得ると考えられる。

## (2) 操縦ミス

操縦士訓練の初期段階では、操縦士は無意識に操縦ミスをしてしまうことが多くある。例えば、上昇飛行から水平飛行へ移行する際には、複数の操作が重複して行われる必要がある。実験では、実験参加者がエレベーター操作とスロットル操作を同時に行う際に、航空機が目標高度から逸脱してしまうといったような傾向が確認された。実験参加者のフライトデータから、ピッチ角とスロットル操作量の推移を見てみると、ピッチ角がスロットル操作を始める直前から徐々に上昇していることがわかった(図22)。このことから、同実験参加者は、スロットル操作を行う際に、無意識に操縦輪を押していた手を緩めてしまい、機首が上がったため目標高度

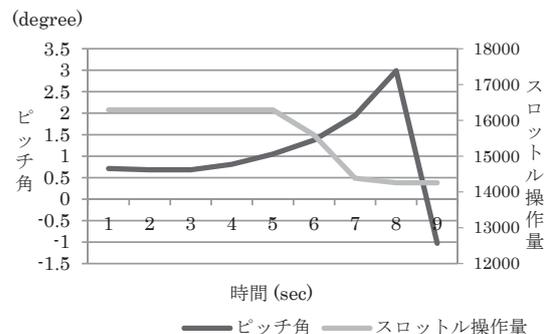


図22 ピッチ角・スロットル操作量の推移

から逸脱してしまっていたと判断された。

この例のように、無意識に操縦ミスを起こしてしまっている場合は、訓練教官の口頭によるフィードバックのみでは、訓練生はそのミスについて明確に認識することは困難な場合がある。したがって、上記のように操縦ミスが生じる前後のフライトデータを提示しながら、指示・教示を与えることで、無意識に起こしていたミスを正しく認識し、その発生原因や傾向についてより詳しく分析することが可能となる。

## 5. 実験2

### 5.1 目的

実験2では、実験1の全ての試行を終了した実験参加者を、実験群と統制群の2群に分け、3つの訓練科目（上昇旋回・降下旋回・急旋回）を含めた模擬飛行訓練を行った。

統制群には、従来の訓練法に従って、模擬飛行訓練の前後に、口頭によるブリーフィングを実施した。実験群には、独立変数の操作として、動画資料とフライト分析資料を用いたブリーフィングを行い、それらが技能習熟に及ぼす影響を与えるかについて検討した。

動画資料には、訓練科目の実施例と実験参加者が実施した操縦操作を、動画化したものを使用した。フライト分析資料には、動画資料と同様のフライトデータを、操縦要素ごとに推移グラフ化したものを使用した。

### 5.2 実験参加者

実験2に参加した実験参加者は、実験1で試験フライトを行った11名であった。その内、実験1の分析結果から技能習熟がほぼ一定に行われたと判断された9名（B, C, D, E, F, G, H, I, J）を、実験2での技能習熟評価の対象とした。

独立変数としての操作を受ける実験参加者5

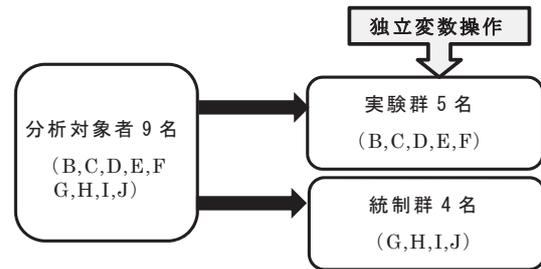


図23 実験群と統制群の振り分け

名（B, C, D, E, F）を実験群とし、残りの実験参加者4名（G, H, I, J）を統制群として、無作為に割り振った（図23）。

### 5.3 手続き

実験2では、3つの訓練科目（上昇旋回・降下旋回・急旋回）に関する技能習熟を図るための4回の試行が、3段階（教育フェーズ・訓練フェーズ・試験フェーズ）に分けて行われた。

#### (1) 教育フェーズ

実験2の1回目の試行を教育フェーズと位置づけ、実施訓練科目に関する基礎教育を行った。また、本試行は模擬飛行訓練とその前後で行うブリーフィングによって構成された。

模擬飛行訓練の前に行うブリーフィングでは、実施訓練科目に関する操作手順や飛行特性についての基礎教育が行われた。この際、実験群に対しては、急旋回の模範例と失敗例を記録した動画資料と、それらの急旋回が行われている際の高度・ピッチ角・エレベーター操作量の推移を示したフライト分析資料を提示した。それらを比較しながら、操作手順・飛行特性および初期段階で起こりやすい失敗などについての説明がされた。一方の統制群は、上記の内容について口頭で説明を受けた。ただし、実験群に対して使用した資料は、あくまでも口頭による説明の内容を裏付けするものであり、2群間で説明の本質的な内容に差が生じないようにした。

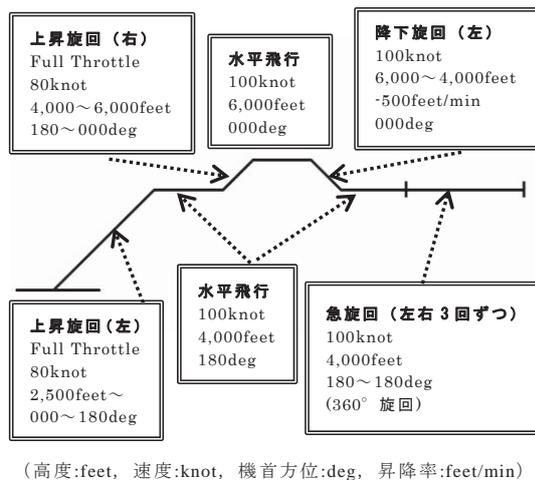


図 24 飛行ルート (実験 2)

模擬飛行訓練では独立変数としての操作は加えず、前述の 3 つの訓練科目を含む飛行ルート (図 24) を、実験者の指示・助言に従って実施するものとした。訓練後のブリーフィングでは、実験群に対しては、訓練前に使用した資料を用いながら、指示・助言の内容に関する説明を行った。統制群には、同内容の説明が、資料が提示されずに口頭で行われた。

実験群のフライトデータから、次回の試行で使用する動画資料とフライト分析資料の作成を行った。

## (2) 訓練フェーズ

実験 2 で実施する、2 回目と 3 回目の試行を訓練フェーズと位置づけ、実施訓練科目に関する技能習熟を図るための訓練が行われた。

まず、ブリーフィングでは、操作手順や飛行特性についての確認が行われた。次に、実験群に対しては、前回の試行後に作成した資料を用いながら、実験参加者が実施した急旋回に関する評価と説明を行った。また、統制群に対しては上記の内容を口頭で説明した。ただし、教育フェーズと同様に、2 群間で説明の本質的な内容に差が生じないようにした。

模擬飛行訓練とその後のブリーフィングは、

教育フェーズと同様の形式で実施され、試行後には、実験群のフライト分析資料と動画資料の作成を行った。

## (3) 試験フェーズ

実験 2 の 4 回目の試行を試験フェーズと位置付け、技能習熟度を測るための試験フライトを行った。試験フライト前のブリーフィングは、訓練フェーズと同様の形式で行われ、実施訓練科目と前回の訓練についての確認を行った。次の試験フライトでは、これまでと同様の飛行ルートを、実験者の指示に従って行なわれることとした。ただし、試験フライト中の指示は、訓練科目の開始と終了のタイミングを知らせるもののみとし、それには助言の内容を一切含まないこととした。

また、試験フライトの実施をもって、実験 2 で行う全ての試行を終了することとした。

## 5.4 技能習熟評価

実験 2 で実施した訓練科目の中で、急旋回の操作手順が最も多く、複合的な操縦操作が必要であった。また、機体の飛行特性が顕著に現れるため、操縦技能の違いが多く観察された。他の訓練科目に関しては、試験フライト実施の時点で、技能差はほとんど観察されなかったため、急旋回を技能習熟評価の主な評価対象とした。

分析では、実験 1 と同様に、高度・速度・バンク角の「ずれ値」と「ずれ傾向値」の比較を行った。それぞれの評価値を実験参加者ごとに比較することで、他の実験参加者との間に技能差が生じている可能性のある実験参加者を抽出した。ただし、上記の比較において、特定の評価値に有意差が認められた場合でも、それに関連する維持・修正操作に関する技能習熟度自体に問題があるとは限らない。例えば、ある実験参加者の高度ずれ値が、他の実験参加者よりも

目立って高く評価された場合、単に高度の維持・修正操作に関する技能習熟度が低いためであるとは言い切れない。航空機の操縦は、多くの操縦要素が複雑に関連しあっており、複数の操縦操作を複合的に行わなければならない。そのため、技能習熟に遅れが生じている場合には、いずれの評価値にも影響が生じる可能性を含んでいる。

次いで、他の実験参加者との間に、技能差が生じている可能性があるかと判断された実験参加者については、関連していると考えられる複数の操縦要素を分析の対象とし、評価結果に差が生じた要因について検討した。

### 5.5 評価値に基づく分析

ここでは、実験参加者ごとに評価値を比較し、他の実験参加者との間に技能差が生じている可能性のある実験参加者を抽出した。

次いで、群ごとの評価値の比較では、独立変数としての操作がそれぞれの評価値へ与える影響の強さに、違いが生じているかどうかについて検討した。

#### 5.5.1 高度分析

##### (1) 最大高度ずれ値の比較

実験参加者ごとに、最大高度ずれ値の比較を行った。各実験参加者が行った急旋回の中で、実験参加者D（実験群）の3回目の同値が、最大を示していた（Thompsonの棄却検定： $p < .01$ ,  $p = 0.0002$ ）。また、同値の旋回方向ごとの比較では、実験参加者J（統制群）の同値が、左右で大きく異なっている傾向が見られた（図25）。実験参加者全体の、最大高度ずれ値の旋回方向ごとの平均値は、それぞれ120.3feet（左）と105.0feet（右）で、その差は15.3feet  $\pm$  22.2feetであった。一方で、実験参加者Jの同平均値は166.2feet（左）と89feet（右）で、差は

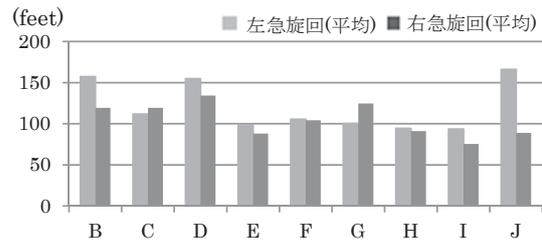


図25 最大高度ずれ値（旋回方向の平均）

77.2feetと全体よりも大きい傾向が見られた（Thompsonの棄却検定： $p < .01$ ,  $p = 0.001$ ）。

次に、最大高度ずれ値の平均値を実験参加者ごとに算出し、比較を行った（図26）。Thompsonの棄却検定（ $p < .01$ ）の結果、最大を示していた実験参加者Dの同平均値と他の実験参加者の同平均値の大きさに、有意差は認められなかった（ $p = 0.05$ ）。

さらに、同平均値の群ごとの比較を行った。F検定（ $p < .05$ ）では、2群の同平均値の分散に有意差は認められなかった（ $F(4,3) = 1.25$ , n.s.）。また、t検定では（ $p < .05$ ）、2群の同平均値の大きさに、有意差は認められなかった（ $t(7) = 1.08$ , n.s.）。

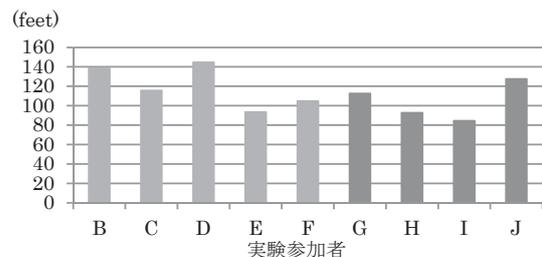


図26 最大高度ずれ値の平均

##### (2) 高度ずれ傾向値の比較

実験参加者ごとに高度ずれ傾向値の平均値を算出し、比較を行った（図27）。Thompsonの棄却検定（ $p < .01$ ）の結果、最も高い値を示していた実験参加者Bの同平均値と他の実験参加者の同平均値の大きさに、有意な差は見られなかった（ $p = 0.04$ ）。

次に、同平均値の群ごとの比較を行った。F

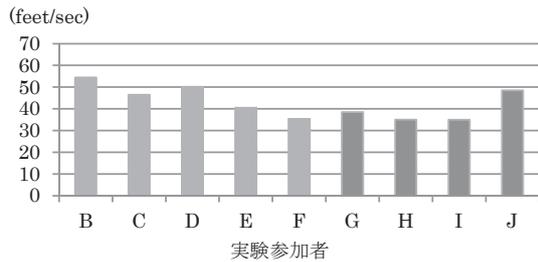


図 27 高度ずれ傾向値の平均

検定 ( $p < .05$ ) では、2 群の同平均値の分散に有意差は認められず ( $F(4,3) = 1.42, n.s.$ ),  $t$  検定では ( $p < .05$ ), 2 群の同平均値に、有意差は認められなかった ( $t(7) = 1.29, n.s.$ ).

### 5.5.2 速度分析

#### (1) 最大速度ずれ値の比較

実験参加者ごとに最大速度ずれ値を算出し、比較を行った。各実験参加者が行った急旋回の中で、実験参加者 I (統制群) の 2 回目の同値が目立って大きく、Thompson の棄却検定の結果、有意差が認められた ( $p < .01, p = 0.002$ ).

次に、最大速度ずれ値の実験参加者ごとに平均を算出し、比較を行った (図 28)。Thompson の棄却検定 ( $p < .01$ ) の結果、最大を示していた実験参加者 I の同平均値と他の実験参加者の同平均値の大きさに、有意差は認められなかった ( $p = 0.039$ ).

さらに、同平均値の群ごとの比較を行った。 $F$  検定では、2 群の平均値の分散に有意差が認められた ( $F(3,4) = 12.29, p < .05$ ). また、 $t$  検定では ( $p < .05$ ) 2 群の同平均値の大きさに、

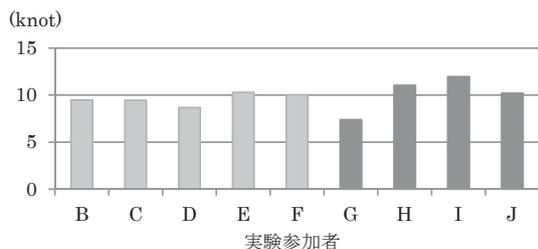


図 28 最大速度ずれ値の平均

有意な差は見られなかった ( $t(3) = 0.61, n.s.$ ).

#### (2) 速度ずれ傾向値の比較

実験参加者ごとに速度ずれ傾向値の平均値を算出し、比較を行った (図 29)。Thompson の棄却検定 ( $p < .01$ ) の結果、最も高い値を示していた実験参加者 I の同平均値と他の実験参加者の同平均値に、有意差は認められなかった ( $p = 0.097$ ).

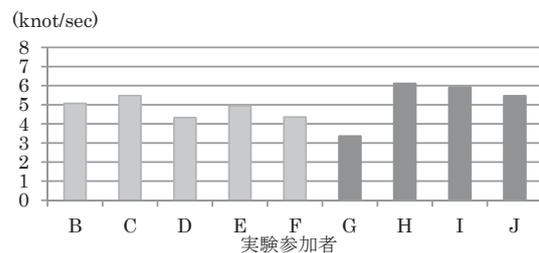


図 29 速度ずれ傾向値の平均

さらに、同平均値の群ごとの比較を行った。 $F$  検定 ( $p < .05$ ) では、2 群の平均値の分散に、有意差が認められ ( $F(3,4) = 6.61, p < .05$ ),  $t$  検定では ( $p < .05$ ), 2 群の同平均値の大きさに、有意な差は認められなかった ( $t(4) = 0.57, n.s.$ ).

### 5.5.3 バンク角分析

#### (1) 最大バンク角ずれ値の比較

実験参加者ごとに最大バンク角ずれ値を算出し、比較を行った。各実験参加者が行った急旋回の中で、実験参加者 D の 3 回目の急旋回での同値と (Thompson の棄却検定:  $p < .01, p = 0.0023$ ) と実験参加者 H の 1 回目と 3 回目の急旋回での同値 ( $p < .01, p = 0.0003, p = 0.0009$ ) が目立って大きかった。また、同値の実験参加者ごとの平均値の比較では (図 30), 2 群の中で、実験参加者 H の値が目立って大きかった (Thompson の棄却検定:  $p < .01, p = 0.003$ ).

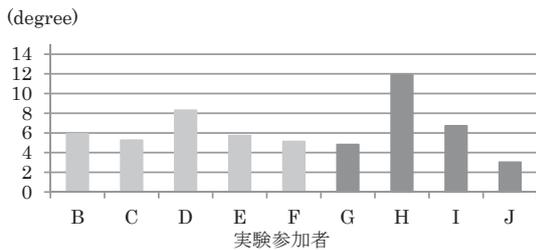


図30 最大バンク角ずれ値の平均

さらに、同平均値の群ごとの比較を行った。F検定 ( $p < .05$ ) では、2群の平均値の分散に有意差が認められた ( $F(4,3) = 0.11, n.s.$ )。また、t検定では ( $p < .05$ ) 同平均値に有意な差は認められなかった ( $t(4) = 0.27, n.s.$ )。

(2) バンク角ずれ傾向値の比較

実験参加者ごとのバンク角ずれ傾向値の平均を算出し比較を行った (図31)。実験参加者の中で、実験参加者Hの同平均値が最も高い値を示していたが、Thompsonの棄却検定では、有意差は認められなかった ( $p < .01, p = 0.025$ )。

さらに、同平均値の群ごとの比較を行った。F検定 ( $p < .05$ ) では、2群の平均値の分散に有意差が認められなかった ( $F(4,3) = 0.18, n.s.$ )。また、t検定では ( $p < .05$ ) 同平均値に有意な差は認められなかった ( $t(7) = 0.16, n.s.$ )。

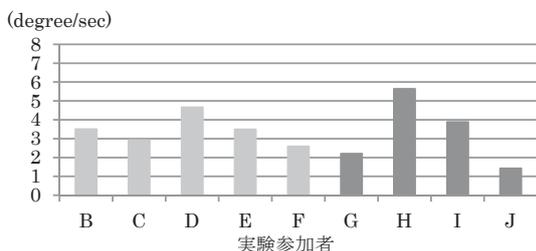


図31 バンク角ずれ傾向値の平均

5.6 操縦操作に関する分析

前述の分析結果から、群ごとの比較において、独立変数として行った操作がそれぞれの評価値へ与える影響の強さに、違いが生じていなかった

ことが明らかとなった。また、実験参加者ごとの比較では、技能差が生じている可能性がある4名 (実験群：D, 統制群：H, I, J) が抽出された。以下では、同4名の評価値に有意差が生じた要因について検討した。

(1) 実験参加者D (実験群)

実験参加者Dの3回目の急旋回において、高度ずれ値とバンク角ずれ値が目立って大きくなっていったことが上記の分析で明らかになった。同急旋回時の高度推移を見てみると、急旋回の途中から徐々に高度が上昇していることが確認された。また、バンク角推移を見てみると、高度が上昇し始めるよりも少し前の時点から、バンク角が徐々に小さくなっていることがわかった。さらに、ピッチ角推移は、他の急旋回時とほぼ変わらず操縦操作が行われていた。これらによって、高度・バンク角のずれに対する修正操作が適切なタイミングで行われていなかったことが明らかとなった。また、ピッチ角維持のためのエレベーター操作など、他の操作は継続して行われていたことから、操縦計器のクロス・チェックに偏りが生じていたことが明らかとなった。

上記の結果より、実験参加者Dとその他の実験参加者の技能習熟の程度に、差が生じていると判断された。

(2) 実験参加者J (統制群)

前述の分析で、実験参加者Jの高度ずれ値が、急旋回方向によって大きく異なっている傾向が見られた。その要因には、機体の飛行特性による影響が関連していると考えられる。

実験に使用した機体は、単発エンジンの固定翼機であるため、エンジンが高出力の時やピッチ角が高い場合に、機体が左にロールしようとする飛行特性を持っている。したがって、エン

ジンが高出力の状態で行われる急旋回においては、旋回する方向によって適切な操縦操作の強弱やタイミングが微妙に異なることを理解しておかなければならない。しかし、実験参加者 J の場合は、機体の飛行特性による影響に対応した操縦操作が行われておらず、旋回方向によって評価結果が大きく異なると考えられる。

上記の結果より、実験参加者 J とその他の実験参加者の技能習熟の程度に、差が生じていると判断された。

### (3) 実験参加者 I (統制群)

実験参加者 I の 2 回目の急旋回において、速度ずれ値が目立って大きくなっていったことが、前述の分析で明らかになった。同急旋回時に、バンク角を深くした際にピッチ角が下がったため、機体が降下してしまい速度が上がってしまっていた。他の急旋回においても、同様の傾向がいくつかの箇所で見られた。

さらに、ピッチ角の変化量の平均値を見ると、実験参加者 I の同値は他の実験参加者より、目立って高くなっていったことがわかった (Thompson の棄却検定:  $p < .01$ ,  $p = 0.006$ )。

上記の結果より、実験参加者 I とその他の実験参加者の技能習熟の程度に、差が生じていると判断された。

### (4) 実験参加者 H (統制群)

実験参加者 H の最大バンク角ずれ値 (1 回目と 3 回目) とその平均値が目立って大きくなっていったことが前述の分析でわかった。

実験参加者ごとに、傾転時間 (急旋回を開始してからバンク角が 40 度に達するまでに要した時間) の平均値を算出・比較したところ、実験参加者 H の同値 (48.5 秒) は全体の平均値 (23.4 秒) の約 2 倍であった (Thompson の棄却検定:  $p < .01$ ,  $p = 0.0007$ )。

上記の結果より、実験参加者 H とその他の実験参加者の技能習熟の程度に、差が生じていると判断された。

## 6. 考察

分析の結果、実験 2 の試験フライトの段階で、実験参加者の技能習熟の程度に、違いが生じていた。実験参加者ごとに評価値を比較したところ、技能差が生じている可能性のある実験参加者は 4 名 (実験群: D, 統制群: H, I, J) 抽出された。残りの実験参加者 5 名 (実験群: B, C, E, F, 統制群: G) については、いずれの評価値においても目立った問題はなかったため、実施した全ての急旋回において、複数の操縦操作をバランスよく適切に行うことが出来ていたと判断された。また、評価値の群ごとの比較では、本研究で実施した実験において、独立変数としての操作がそれぞれの評価値へ与える影響の強さに、違いが生じていなかったことが明らかとなった。

次に、前述の 4 名 (D, H, I, J) の操縦操作を分析した結果、評価値に差が生じた要因は実験参加者によって異なっていたが、操縦計器のクロス・チェックや操作法、機体の飛行特性が関連していたことがわかった。また、同分析結果より、4 名 (D, H, I, J) の技能習熟の程度に遅れが生じていると判断された。

上記の結果から、実験参加者の技能習熟状況 (2 群の技能習熟が十分に行われていた実験参加者と、そうでない実験参加者の分布) には、実験群と統制群で、違いを確認することができた。これより、本実験において独立変数の操作として行ったブリーフィングが、実験参加者の技能習熟に、影響を与えたと判断された。ただし、本研究の実験に参加した実験参加者の数は少なく、かつ実施した模擬飛行訓練も基礎的な段階に限定されたものであった。また、評価法に関

しても十分であるとは言いきれず、更なる検討の余地がある。実際の運航で行われる航空機操縦は、より複合的かつ複雑であり、操縦者は本実験で実施したような基本的な操縦操作に加え、無線通信や航法援助機材の操作などを行う必要がある。よって、今後の研究では、より高度な操縦技能の構成要素、およびそれらの関連性などを明らかにし、それらを考慮に入れた訓練法・評価法の在り方について検討していくことが重要となる。

#### 参考文献

- [1] ボーイング社 (2013). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2013*.  
<http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf> (last visited Nov. 17, 2014)
- [2] 井上紘一, 高見勲 (1988). ヒューマン・エラーとその定量化 システムと制御 Vol.32, No.3 pp.152-159.
- [3] 乗員政策等検討合同小委員会 (2013). 我が国における乗組員等に係る現状・課題.
- [4] 同上資料.
- [5] 西小路謙 (2009). 航空大学校における CBT (Competency Based Training) の導入について 航空大学校研究報告 (R-62) pp.19-44.
- [6] 西小路謙 (2006). 新たな技能証明 MPL に対する調査考察 航空大学校研究報告 (R-59) pp.23-31.
- [7] 国家運輸安全委員会 (2013). *Crash of Asiana Flight 214, San Francisco, CA*. [http://www.nts.gov/news/events/2013/asiana214\\_hearing/index.html](http://www.nts.gov/news/events/2013/asiana214_hearing/index.html) (last visited Nov. 17, 2014)
- [8] 国家運輸安全委員会 (2014). *NTSB Finds Mismanagement of Approach and Inadequate Monitoring of Airspeed Led to Crash of Asiana flight 214 Multiple contributing factors also identified*.  
[http://www.nts.gov/news/press-releases/Pages/PR\\_20140624.aspx](http://www.nts.gov/news/press-releases/Pages/PR_20140624.aspx) (last visited Nov. 17, 2014)
- [9] 篠原一光, 中村隆宏, その他10名 (2013). 心

理学から考えるヒューマンファクターズ 有斐閣ブックス 1. 現代社会とヒューマンファクターズ pp.1-22.

- [10] 安部光南, 酒井真比古, その他5名 (2010). 航空知識のABC イカロス出版株式会社 3. コックピット pp.66-76.

(原稿受付日: 2014年11月28日)

(掲載決定日: 2015年1月27日)