

2019年3月期

関西大学審査学位論文

航空機の基礎的操縦技能の獲得に関する研究

A Study on Acquisition of the Basic Flight Skills

関西大学大学院 社会安全研究科 防災・減災専攻

Graduate School of Societal Safety Sciences, Kansai University

14D7505 初谷 友希

Tomoki HATSUTANI

論文要旨

論文題名 航空機の基礎的操縦技能の獲得に関する研究

氏名 初谷友希

近年における航空機事故の70～80%にはヒューマンエラーが関与しているとされており^[1]，航空機事故の防止対策について検討を進めていく上で，ヒューマンファクターの観点からシステムを中心要素である人間の行動特性についての知見を深めることは重要な課題である．また，航空分野では，操縦士不足が深刻化しており，その対策の一環として新たなパイロット訓練・審査制度であるCBTA（Competency-Based Training and Assessment Program）プログラムの導入が開始された．従来の訓練では，一定の課目・時間の訓練が網羅的に実施されていたが，同プログラムに基づいた訓練では，個々の操縦士の能力について，実運航の分析に基づき，習得すべき能力，訓練要件，審査課目等を設定した上で，安全性が実証できれば，現行の基準で求められている訓練内容，審査基準，機長の定期審査間隔等について柔軟な対応が可能となる^[2]．CBTAプログラムに適応した訓練方式・審査要領に関する検討を進めるには，操縦士が習得すべき能力を明らかにする必要があるため，操縦士の操縦行動や操縦適性に関する知見を深めることが重要となる．さらに，操縦士不足が深刻化するなか，操縦士の養成機関にとって操縦適性の高い訓練候補生の選抜と訓練の効率化は重要課題である．しかし，操縦適性検査の予測妥当性は未だに低い水準に留まっており^[3]，相羽（2016）が行った操縦適性検査の歴史に関する調査では，予測精度を向上させるための研究は継続して実施されるべきであると指摘されている^[4]．

上記の検討を進める上で，操縦行動の基盤となる基礎的な操縦技能に関する知見が必要と考えられるが，小型航空機への簡易型飛行記録装置の導入に関しては未だ検討段階にあり，未熟練者がいかにして基礎的操縦技能を身に着けるかについては，それを裏付ける客観的データが不足した状態にある．こうした状況を鑑み，本研究では，操縦士の基礎的操縦技能に焦点をあて，未熟練者の基礎的操縦技能獲得の実態と傾向の把握を目的とした模擬飛行実験および認知課題実験が実施された．さらに本研究の結果を元に，操縦士訓練における，フライトデータの教育的活用の有効性についての考察を行った．

我が国の技能証明制度は、「自家用操縦士」「事業用操縦士」「定期運送用操縦士」の資格を順次取得する形式が取られており、航空従事者技能証明の種類によって操縦士が行うことができる業務範囲が異なる。本研究では、未熟練者の基礎的な操縦操作の獲得過程である、自家用操縦士課程の初等訓練を想定した模擬飛行実験が実施された。認知課題実験では、単純反応時間課題、N-back 課題、心的回転課題、トラッキング課題、視覚探索課題、有効視野課題の 6 つの認知課題が実施された。本研究を通して得られたフライトデータや認知課題成績、自己評価結果の比較・分析の結果から、未熟練者の操縦行動および操縦適性、自己評価の妥当性に関する検討が行われた。

本研究では、未熟練者の基礎的操縦技能獲得に係る基礎的データを取得することができた。本研究の成果には、多重課題的特性を有する操縦行動を理解する上で有用な知見が含まれており、ヒューマンエラー防止対策について検討を行う上で、操縦負荷と操縦行動の関連性を明らかにすることの重要性が示唆された。フライトデータと認知課題成績の比較では、操縦適性検査において測定されるべき操縦適性項目の策定に係る示唆が得られ、今後の研究課題として、操縦行動に関する知見を広げるには、操縦者の注視行動や情報処理過程を明らかにする必要があると考察された。自己評価の妥当性に関する検討では、操縦技能の習熟が必要な操縦者ほど、自身の操縦行動を適切に認識できていない傾向が示され、そのような傾向が初等訓練において技能差が生じる要因になり得ると考察された。本研究を通して、技能習熟評価や操縦行動の分析にフライトデータを用いることの有効性が示された。本研究で得られた成果は、訓練・教育の現場におけるフライトデータの活用可能性を押し広げるための基礎的データに位置づけられるが、本研究で行ったような技能習熟度評価や分析方法を実際の訓練に適用するには、操縦者の操縦行動や操縦適性に係る知見の更なる蓄積が必要である。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 国土交通省航空局(2017)「最近の運航基準の改正状況等」
<http://www.mlit.go.jp/common/001180156.pdf> (2018年11月22日確認)
- [3] Damons, D.L (1996). Pilot selection batteries: shortcomings and perspectives. *Int. J. Aviation. Psychology*, 6 (2), pp.199-209.
- [4] 相羽裕子(2016). 操縦適性検査の歴史、そして開発法について 航空システム研究会会誌 Vol.32, pp.39-48.

目次

	頁
第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 はじめに	1
1.1.2 技能継承問題	5
1.1.3 新たな訓練方式および審査様式	7
1.1.4 操縦適性	8
1.1.5 フライトデータの教育的活用	9
1.2 研究目的	11
第2章 模擬飛行実験	13
2.1 模擬飛行装置	13
2.1.1 シミュレーションソフト	13
2.1.2 操縦計器概要	14
(1) 対気速度計 (Airspeed Indicator)	14
(2) 姿勢指示器 (Attitude Indicator)	15
(3) 高度計 (Altimeter)	16
(4) 旋回計 (Turn Coordinator)	16
(5) 飛行方位計 (Heading Indicator)	17
(6) 昇降計 (Vertical Speed Indicator)	18
(7) 回転計 (Tachometer)	18
2.1.3 操縦機材の配置	19
2.1.4 操縦機材の操縦操作法	19
(1) 操縦輪の操作法	19
(2) ラダーペダルの操作法	21
(3) スロットルレバーの操作法	21
2.1.5 映像提示用モニター	21
2.2 模擬飛行実験の手続き	23
2.2.1 実験参加者	23
2.2.2 模擬飛行実験の概要	24
2.2.3 自己評価の手続き	26
第3章 認知課題実験	27
3.1 実験参加者	27

3.2 認知課題実験の手続き	27
3.2.1 単純反応時間課題	27
3.2.2 N-back 課題	28
3.2.3 心的回転課題	29
3.2.4 トラッキング課題	31
3.2.5 視覚探索課題	33
3.2.6 有効視野課題	34
(1) 視覚情報処理速度課題	34
(2) 分割的注意課題	35
(3) 選択的注意課題	35
第4章 分析方法および結果	37
4.1 技能習熟度に関する評価・分析	37
4.1.1 技能習熟度の評価指標	37
4.1.2 技能習熟度に関する実験参加者ごとの比較	38
4.1.3 技能習熟度に関する実験進捗度ごとの比較	40
4.1.4 技能習熟度に関する群ごとの比較	41
4.2 飛行推移に関する分析	42
4.2.1 飛行推移の分析指標	42
4.2.2 飛行推移の分析指標値の比較	44
4.2.3 技能習熟度と飛行推移の関連性分析	45
4.2.4 飛行推移に関する実験参加者ごとの比較	46
4.2.5 飛行推移に関する実験進捗度ごとの比較	48
4.2.6 飛行推移に関する群ごとの比較	48
4.3 認知課題に関する分析	49
4.3.1 技能習熟度と認知課題成績との比較・分析	49
(1) 単純反応時間課題に関する分析	49
(2) N-back 課題に関する分析	50
(3) 心的回転課題に関する分析	52
(4) トラッキング課題に関する分析	54
(5) 視覚探索課題に関する分析	55
(6) 有効視野課題に関する分析	57
4.3.2 認知課題成績と飛行推移の比較・分析	58
4.4 自己評価に関する分析	59
4.4.1 自己評価の妥当性評価	59
4.4.2 技能習熟度と自己評価の関連性分析	60
(1) 高度に関する自己評価と技能習熟度の比較	60

(2) 速度に関する自己評価と技能習熟度の比較	61
(3) 機首方位に関する自己評価と技能習熟度の比較	61
4.4.3 自己評価に関する群ごとの比較	62
第5章 考察	64
5.1 技能習熟度に関する考察	64
5.1.1 実験参加者の技能習熟状況	64
5.1.2 実験参加者の技能習熟度差	65
5.2 飛行推移に関する考察	65
5.2.1 飛行推移の変化傾向	65
5.2.2 技能習熟度と飛行推移の比較	66
5.3 認知課題実験に関する考察	68
5.3.1 心的回転課題における回転角度差ごとの比較	68
5.3.2 技能習熟度と単純反応時間課題成績の比較	68
5.3.3 技能習熟度と視覚探索課題成績および有効視野課題成績の比較	69
5.3.4 認知課題成績と飛行推移の比較	69
5.4 技能習熟度と自己評価の関連性	70
第6章 結言	71
6.1 操縦行動と操縦負荷の関連性	71
6.2 操縦適性に関する今後の課題	71
6.3 フライトデータの活用可能性について	73
参考文献	76
謝辞	
巻末資料	

図表一覧

図 1-1	世界の商業用ジェット機の事故率と機内致死率	2
表 1-1	ヒューマンエラーに起因する事故災害の比率	2
図 1-2	SHEL モデル	3
表 1-2	SHEL モデルの構成要素	4
図 1-3	年齢 3 区分別人口の推移	5
図 1-4	旅客需要の見通し	6
図 1-5	主要航空会社パイロットの年齢構成	7
図 2-1	模擬飛行装置	13
図 2-2	操縦計器 (Cessna C172 Skyhawk)	14
図 2-3	対気速度計の表示例	15
図 2-4	飛行姿勢	15
図 2-5	姿勢指示器の表示例	16
図 2-6	高度計の表示例	16
図 2-7	旋回計の表示例	17
図 2-8	飛行方位計の表示例	17
図 2-9	昇降計の表示例	18
図 2-10	回転計の表示例	18
図 2-11	座席調整基準	19
図 2-12	操縦操作と機体姿勢の関連性	20
図 2-13	映像提示用モニター配置(1)	22
図 2-14	映像提示用モニター配置(2)	22
図 2-15	計器提示用モニター (カバー装着時)	23
図 2-16	計器提示領域	23
図 2-17	飛行課題および飛行諸元値	25
表 2-1	自己評価項目および選択肢	26
図 3-1	単純反応時間課題における目標刺激の提示例	27
図 3-2	単純反応時間課題の概要	28

図 3-3	N-back 課題における目標刺激の提示例	29
図 3-4	N-back 課題における入力例 (2-back)	29
図 3-5	N-back 課題の概要	29
図 3-6	心的回転課題における目標刺激提示例	30
図 3-7	心的回転課題の概要	31
図 3-8	目標刺激提問の回転角度差の例	31
図 3-9	トラッキング課題の目標刺激およびマウスカーソル	32
図 3-10	トラッキング課題における目標刺激の移動軌跡	32
図 3-11	視覚探索課題における目標刺激提示場面 (妨害刺激なし条件)	33
図 3-12	視覚探索課題における目標刺激提示場面 (妨害刺激あり条件)	33
図 3-13	視覚情報処理速度課題における目標刺激の提示場面	34
図 3-14	有効視野課題における目標刺激 1 の提示例	35
図 3-15	分割的注意課題における目標刺激の提示場面	35
図 3-16	分割的注意課題における回答選択肢	35
図 3-17	選択的注意課題における目標刺激および妨害刺激の提示場面	36
図 4-1	航空機操縦要素の関連性	37
図 4-2	技能習熟度評価における評価指標	38
図 4-3	高度逸脱傾向値および高度最大逸脱量の平均比較	39
図 4-4	速度逸脱傾向値および速度最大逸脱量の平均比較	39
図 4-5	機首方位逸脱傾向値および機首方位最大逸脱量の平均比較	39
表 4-1	技能習熟度評価指標値の多重比較	40
表 4-2	技能習熟度評価指標値の試行間平均の比較	41
表 4-3	技能習熟度評価指標値の実験進捗度ごとの平均比較	41
表 4-4	実験進捗度前半における技能習熟度評価指標値の群平均の比較	42
表 4-5	実験進捗度後半における技能習熟度評価指標値の群平均の比較	43
図 4-6	飛行推移分析における分析指標	43
図 4-7	実験参加者ごとの増減傾向の転換回数	44
表 4-6	飛行推移における増減傾向の転換回数	44
図 4-8	実験参加者ごとの変動時間平均の比較	45
表 4-7	飛行推移における変動時間の比較	45

表 4-8	技能習熟度と飛行推移に関する相関係数	46
図 4-9	高度推移における変動量平均の実験参加者ごとの比較	47
図 4-10	速度推移における変動量平均の実験参加者ごとの比較	47
表 4-9	飛行推移分析指標値の多重比較	47
表 4-10	飛行推移分析指標値の試行間平均の比較	48
表 4-11	飛行推移分析指標値の実験進捗度ごと平均の比較	49
表 4-12	実験進捗度前半における飛行推移分析指標値の群平均比較	49
図 4-11	単純反応時間課題における反応時間の比較	50
図 4-12	N-back 課題における正答率の比較	51
図 4-13	N-back 課題における反応時間の比較	51
図 4-14	心的回転課題における正答率の比較	52
図 4-15	心的回転課題における反応時間の比較	52
表 4-13	回転角度差ごとの反応時間平均の多重比較	53
表 4-14	回転角度差ごとの正答率平均の多重比較	53
図 4-16	追跡誤差	54
図 4-17	トラッキング課題における追跡誤差平均の比較	55
図 4-18	トラッキング課題における正答率平均の比較	55
図 4-19	視覚探索課題における課題遂行時間の比較	56
図 4-20	選択的注意課題における知覚閾値の比較	57
表 4-15	認知課題成績と飛行推移分析指標値の相関関係	58
図 4-21	自己評価の妥当性評価	59
図 4-22	妥当性評価の該当件数割合	60
表 4-16	自己評価の妥当性評価と技能習熟度の相関関係	61
表 4-17	高度に関する自己評価の群ごとの比較	62
表 4-18	速度に関する自己評価の群ごとの比較	62
表 4-19	機首方位に関する自己評価の群ごとの比較	63
表 5-1	基本操作に関する実地試験細則（自家用操縦士）	65

第 1 章 序論

1.1 背景

1.1.1 はじめに

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、航空機事故が多発していた。第二次世界大戦末期の 1944 年には、国際民間航空が安全かつ整然と発達するように、また、国際航空運送業務が機会均等主義に基づいて健全かつ経済的に運営されるように各国の協力を図ることを目的として、国際民間航空条約が採択され⁽¹⁾、1947 年に国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization）¹が発足した。国際民間航空機関が作成する国際標準および勧告方式は、19 項目の付属書としてまとめられており、それぞれの項目において国際的に統一された規定等が詳細に明記されている。国際民間航空条約第 13 付属書では、航空機事故及びインシデント調査に関する国際標準及び勧告方式が定められており、国際民間航空機関はそれに従って調査・報告を行う責務を有している⁽²⁾。同付属書の規定により、事故・インシデント調査の結果が国際的に共有され、事故防止対策などの取り組みが活発に行われるようになった。

1960 年代には、機械技術や気象予測技術の進歩に伴って、事故発生率は大幅に減少することとなったが、1970 年頃を境に、事故発生率の減少傾向は停滞し、横ばい傾向が続くようになった（図 1-1）⁽³⁾。航空機事故調査およびインシデント調査からは、多くの航空機事故発生 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った。井上・高見（1988）の調査では、航空機事故の 70～80% はヒューマンエラーが関与しているとされており、航空産業以外の分野においても、事故の 40～90% はヒューマンエラーが関与しているとされている（表 1-1）⁽⁴⁾。

人間工学・心理学などの分野において、ヒューマンエラーの定義がなされて

¹ 1944 年に採択された国際民間航空条約に基づき設置された国連専門機関をいう。我が国は 1953 年に国際民間航空機関として加盟しており、2018 年には 192 カ国が加盟している。

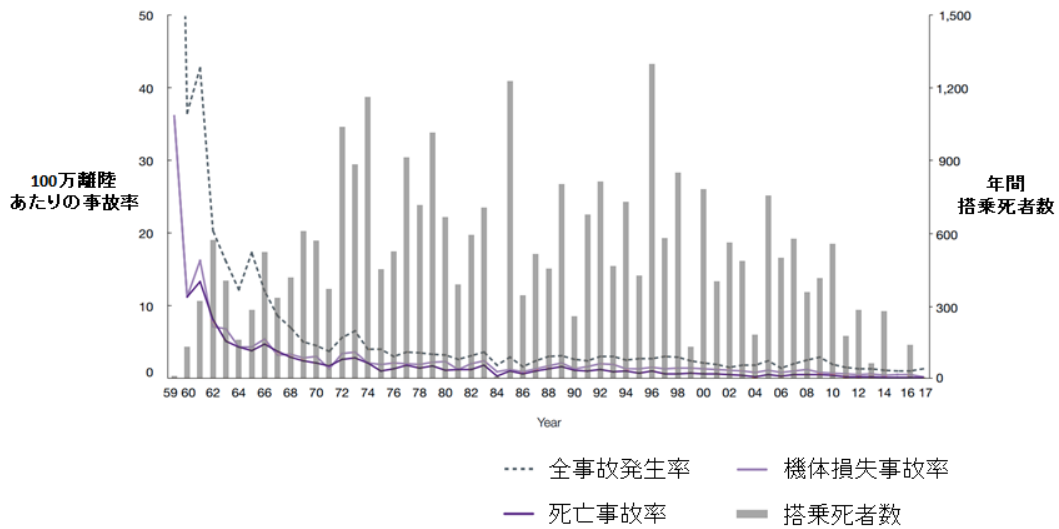


図 1-1 世界の商業用ジェット機の事故率と機内致死率

出典：BOEING (2017). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*

-Worldwide Operations 1959-2017- (筆者一部改変)

表 1-1 ヒューマンエラーに起因する事故災害の比率

分野	ヒューマンエラーに起因する事故の比率	発表者
構造物事故	90%以上 78% (800件) 66% (287件)	Allen (1975) Hauser (1979) 前田 (1983)
化学プラント事故	60%以上	林 (1979) 大島 (1980)
石油化学 コンビナート事故	45~65% (483件)	高圧ガス保安協会保安情報センター (1978~1982)
危険物工場火災	50% (1,270件)	上原 (1985)
製造業事故	40%以上	労働省安全年鑑(1984)
航空機事故	70~80%以上	笠松 (1979) , 黒田 (1979)
航空機・船舶 発電所事故	70~90%	Rubinstein (1979) Danaher (1980) Billings (1981)
医療事故	80%以上 (16件)	古幡 (1980)
自動車事故	90%以上	橋本 (1979)

出典：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. (筆者一部改変)

いる。Swain (1983) は、ヒューマンエラーを「システムによって定義された許容限界を超える一連の人間行動」とし⁽⁵⁾、Reason (1990) は「計画した一連の心理的活動または身体的活動が意図した結果を達成することができず、かつこれらの失敗を何らかの偶然の作用の介入に帰することができない場合を包括する総称的な用語」と定義している⁽⁶⁾。また、黒田 (2001) はヒューマンエラーを、「達成しようとした目標から、意図せずに逸脱することになった、期待に反した人間の行動」と定義づけている⁽⁷⁾。

ヒューマンエラーの防止対策について検討を進めていく上で、人間の行動特性に関する知見を深めることは極めて重要であり、航空分野や原子力分野においてヒューマンファクターに関する研究が活発に行われるようになった。Hawkins (1987) は、ヒューマンファクターの範囲を明確に示す SHEL モデルを提唱している⁽⁸⁾。SHEL モデルは、システムを中心要素であるシステムの使用者 (Liveware) と境界要素であるソフトウェア (Software)、ハードウェア (Hardware)、環境 (Environment)、人間 (Liveware) によって構成されおり、各要素の境界面は非直線的に表されている (図 1-2, 表 1-2)。システムの利用者である人間と各境界要素が整合している場合には、システムの調和を表しており、反対にそれらが整合していない場合には、システムにおいて不具合が生じる可能性があることを示している。

SHEL モデルに示されているように、ヒューマンエラーが起こる背景には、様々な要素が多面的に人間と関わり合っている。ヒューマンエラーの防止対策では、システムを中心要素である人間と他の構成要素の適合・調和について十分に検討される必要があり、ヒューマンエラーが発生した背後要因の追求が重要となる。

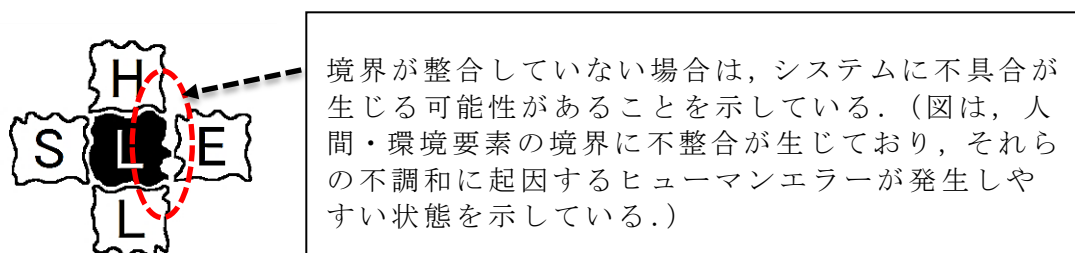


図 1-2 SHEL モデル

表 1-2 SHEL モデルの構成要素

Liveware(中心要素)	システムの使用者
Software	規則, 手順書, プログラムなど
Hardware	座席, 制御装置, 操縦計器など
Environment	気圧, 温度, 騒音, 時差など
Liveware(境界要素)	教官, 管制官, 乗務員など

石橋（2007）によると，1970年代前後は世界と国内で多くの航空機事故が発生し，各航空会社は些細なヒューマンエラーがトリガーとなって大事故が発生したことを重く見て，安全推進体制を固める取り組みが活発となった⁽⁹⁾．その取り組みの一環として，CRM（Crew Resource Management）を取り入れた訓練・教育が行われるようになった．CRMとは，コックピットクルーが利用可能なリソース（情報・技術などを含む資源）を効果的に活用しようとする概念で，1977年にNTSB（National Transportation Safety Board）とFAA（Federal Aviation Administration）が共同開発に着手し，その成果を基に1979年にユナイテッド航空とSMI社がプログラムを作成したのが始まりである⁽¹⁰⁾．小林（2016）によると，CRMは当初，Cockpit Resource Managementとして運航乗務員に対するリソースマネジメントの教育・訓練として導入されるようになり，その後にCRMはCrew Resource Managementに名称が変更され，運航乗務員のみならず，客室乗務員，整備士，運航管理者，管制官の教育・訓練にも導入されることとなった⁽¹¹⁾．CRMが誕生してから現在に至るまでに，その概念は第一世代から第六世代まで変遷をたどり，現在ではエラーを誘発する様々な要因である「脅威（Threat）」を適切にマネジメントすることで，事故やインシデントを防止するTEM（Threat And Error Management）の概念が加わっている⁽¹²⁾．2006年には国際民間航空機関の付属書の改定により，TEMが乗員のライセンスの要件に追加された．2011年からは整備部門にも適用され，乗員以外でもTEMが業務上の要件となった⁽¹³⁾．近年では，原子力や医療などの分野でもCRMの概念は取り入れられており，各分野でCRM・TEMを応用した安全への取り組みが広く行

われている。石橋ら（2010）によると、一般社団法人・日本原子力技術協会では、全国原子力発電所等の会員各社の管理者研修を企画運営しており、その一環として、知識教育や技能訓練以外のチームとしての **Conceptual Skill**（問題の本質を見抜き論理的に解決する能力）⁽¹⁴⁾を養成するマネジメント訓練の必要性を認め、**CRM** 訓練の一部を実施している⁽¹⁵⁾。**CRM** 訓練は、ヒューマンエラー防止対策として期待され、各分野において様々な形で実施されているが、未だ確立された手法は存在しない。**CRM** 訓練を含めるヒューマンエラー防止対策について検討を進めていく上で、操縦者の操縦行動に関する知見を深めることは極めて重要であり、今後もヒューマンファクターの観点から調査・研究が実施される必要があると言えるだろう。

1.1.2 技能継承問題

近年、日本のあらゆる産業で団塊の世代が定年退職を迎えたことにより、労働者不足が深刻化している。国立社会保障・人口問題研究所が2017年に公表した「日本の将来推計人口」によると、労働力の中核をなす生産年齢人口（15～64歳の人口）は、1995年に8,726万人に達して以来減少傾向にあり、2065年には4,529万人となると推計されている（図1-3）⁽¹⁶⁾。

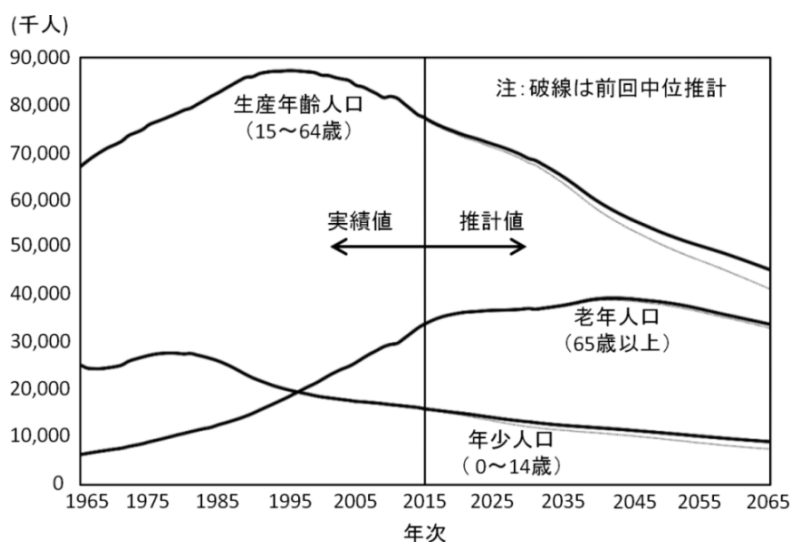


図 1-3 年齢3区分別人口の推移

出典：国立社会保障・人口問題研究所(2017).「日本の将来推計人口 2016年～2065年」

航空分野では、民間航空会社の旅客需要が急増しており、国際航空運送協会（International Air Transport Association）は、2036年には航空旅行者が2017年の約2倍に相当する78億人に到達するとの見通しを発表している（図1-4）⁽¹⁷⁾。旅客需要が急増する一方で、操縦士の高齢化が進行しており、国土交通省航空局の就労実態調査によると、主要航空会社の操縦士の年齢構成が40歳代に偏っているため、2030年頃には操縦士の高齢化が進むとともに大量退職時期が到来することが予想されている（図1-5）⁽¹⁸⁾。2013年には乗員政策等検討合同小委員会が設置され、増大する航空需要や航空関連産業の発展の一方で操縦士、整備士、製造技術者が不足するという問題に対して、乗員政策等の基本的方向性や具体的方策の検討に関する調査審議が行われている。2014年に報告された乗員政策等検討合同小委員会中間取りまとめでは、操縦士の養成・確保を促進するため、我が国全体の供給能力拡充等を図ることが重要課題であり、長期間の訓練・多額の投資を要する操縦士養成は民間企業にとってリスクが高いこと、我が国においては欧米と比べて民間養成機関等による操縦士の市場への供給量

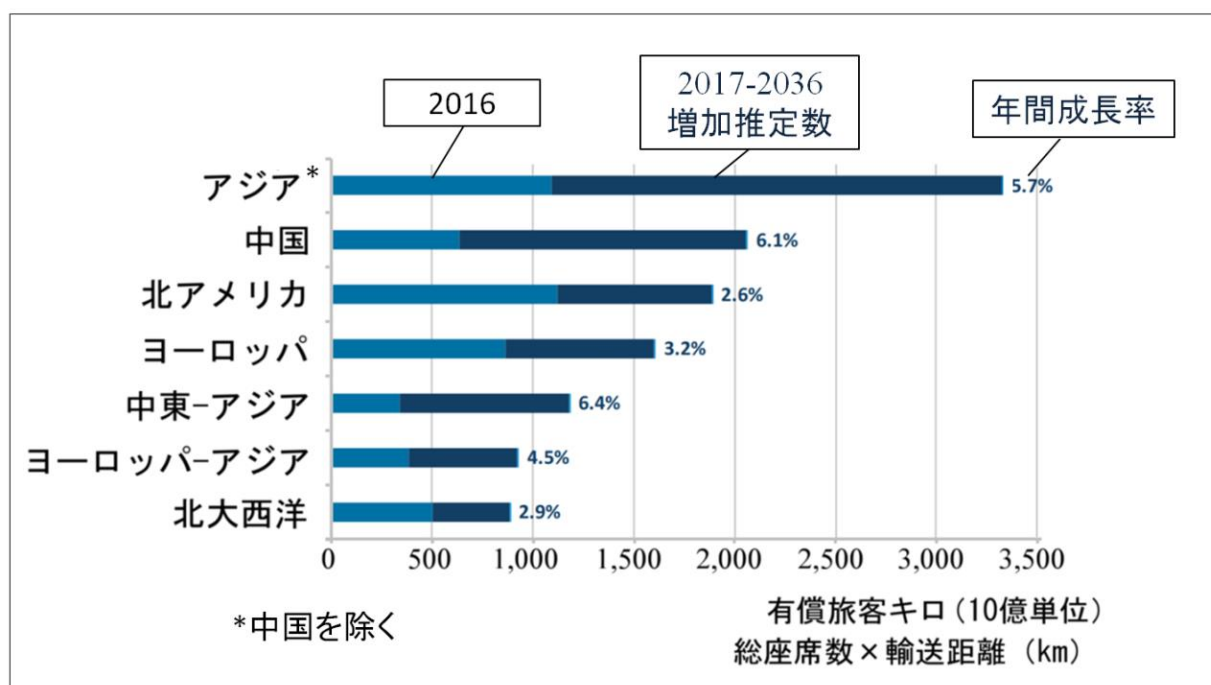
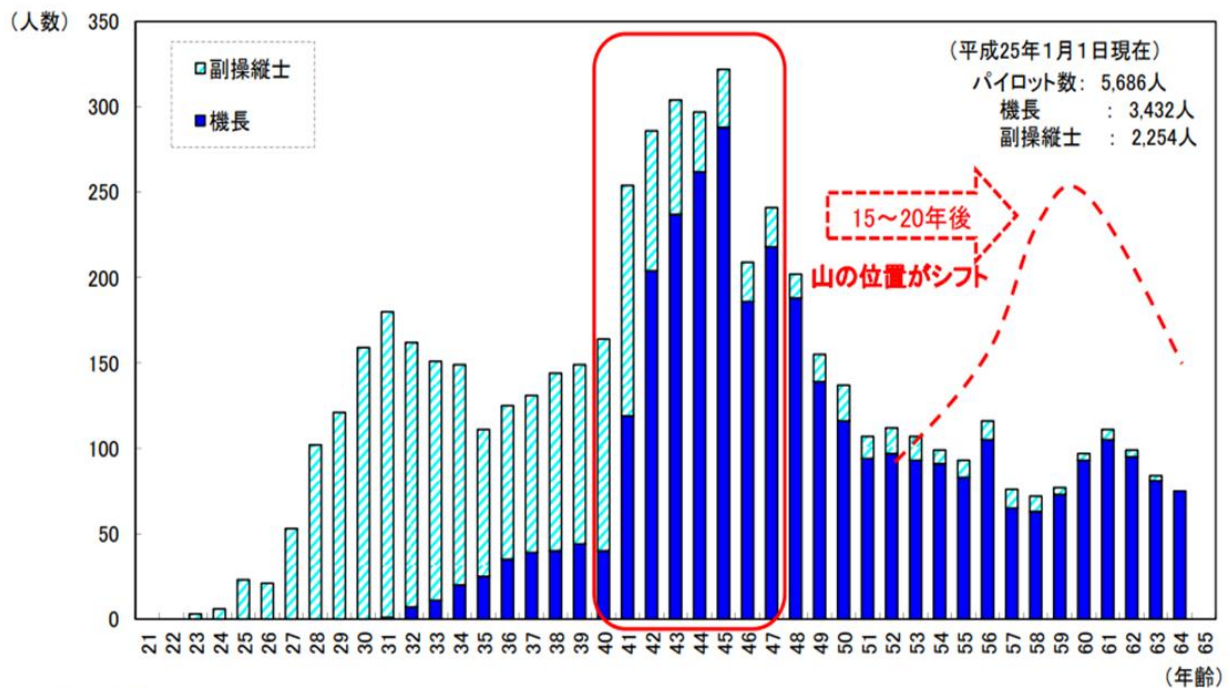


図 1-4 旅客需要の見通し

出典：BOEING(2017). CURRENT MARKET OUTLOOK 2017-2036（筆者一部改編）



主要航空会社: JAL、JTA、JEX、JAC、ANA、AKX、AJX、NCA、SKY、ADO、SFJ、SNA、APJ、JJP、WAJ

図 1-5 主要航空会社パイロットの年齢構成

出典: 国土交通省航空局(2013). 「乗員政策等に係る検討について」

が未だ十分に拡大していないこと等から、民間養成機関による供給の裾野を広げるための環境整備等を行う必要があると指摘されている⁽¹⁹⁾。国土交通省は、2018年より私立大学等民間養成機関のパイロット養成課程の学生に対する無利子貸与型奨学金を創設するなど、産学官連携のもと操縦士を目指す学生の裾野を広げるための各種取組を進めている⁽²⁰⁾。

1.1.3 新たな訓練方式および審査様式

2017年4月に、CBTAプログラム(Competency-Based Training and Assessment Program, 能力目標型教育/訓練・審査)の審査要領細則が、国土交通省航空局安全部によって告示・通達され(国空航第11576号)、我が国における新たなパイロット訓練・審査制度として、CBTAプログラムの導入が開始された。従来の訓練では、一定の課目・時間の訓練が網羅的に実施されていたが、同制度に基づいた訓練では、個々の操縦士の能力について、実運航の分析に基づき、習得すべき能力、訓練要件、審査課目等を設定した上で、安全性が実証できれば、

現行の基準で求められている訓練内容、審査基準、機長の定期審査間隔等について柔軟な対応が可能となる⁽²¹⁾。実運航の分析を踏まえ、航空機乗組員として求められるコンピテンシー²を特定し、これを訓練の目標に設定し計画することで、継続的にコンピテンシーや必要な訓練課目等を評価し改善していくことが今後の課題となる⁽²²⁾。

航空運送事業者における操縦士の教育、訓練及び審査について、諸外国では、国が定めた最低基準を満たすカリキュラムではなく、航空運送事業者自らが航空機の運航実態や教育、訓練及び審査の実態に応じて、定期審査の間隔も含めて教育、訓練及び審査に係る要件を柔軟に設定可能な AQP (Advanced Qualification Program) や、航空機の世代別に航空機乗組員が習得すべき能力を明らかにし、当該能力の習得に重点を置いた EBT(Evidence Based Training)と呼ばれる手法が導入されている⁽²³⁾。我が国においても CBTA プログラムの導入に伴って新たな訓練方式の採択に関する検討が進められている。先進的な取り組みとして、日本航空では、CBTA プログラムに適応した EBT (Evidence-based Training) の導入を進めており、世界中の航空会社の実際の運航や訓練などで得られた様々なデータを分析することで、航空会社全体およびパイロット個人の課題を抽出し、それらに対処するための効果的な訓練・審査を、航空会社が主体となって開発・実施・改善を進めている⁽²⁴⁾。CBTA プログラムに適応した訓練方式・審査要領を含めた、訓練の効率化・効果向上について検討するには、前述のように操縦士が習得すべき能力を明らかにする必要がある、操縦士の操縦行動や操縦適性に関する知見を深めることが重要であると考えられる。

1.1.4 操縦適性

民間航空会社や航空自衛隊の操縦士を養成する過程においては、実機やシミュレータを用いた訓練を段階的に行うことで、乗務に必要な各種資格を取得していく形式が取られている。操縦士養成のための訓練には、多くの費用と時間を要するため、養成機関にとって操縦適性の高い訓練候補生の選抜と訓練の効率化は重要課題である。

相羽 (2016) が行った操縦適性検査の歴史に関する調査では、操縦適性検査

² 業務の遂行に必要な技能・知識・姿勢など

の予測妥当性は未だに低い水準に留まっており⁽²⁵⁾、予測精度を向上させるための研究は継続して実施されるべきであると指摘されている⁽²⁶⁾。

操縦士の操縦適性を扱った先行研究として Hunter らの研究が代表的である。Hunter & Burke (1994) は、1940 年から 1990 年の期間に公表された適性検査と操縦成績に関する 68 の先行研究をメタ分析し、操縦成績の予測に有効であると考えられる適性検査項目として、数的能力、空間能力、力学的能力、知識、知覚速度、反応時間、全体的な身体の器用さ及びワークサンプルを挙げている⁽²⁷⁾。しかし、上記に挙げられたような適性検査項目に関わる認知処理能力の高低が操縦行動や技能習熟にいかに関係されるかを示した先行研究は無く、認知処理能力と操縦行動および技能習熟の関連性については不明な点が多く存在する。したがって、操縦適性についてより明らかにするためには、それらの関連性に着目した研究が進められる必要がある。また、今後より深刻化する操縦士不足への対策として、操縦適性検査の予測妥当性をより高めていくことが重要である。しかし、操縦適性の低い者を訓練候補生の選抜対象から除外することのみを目的とするのではなく、訓練生の操縦適性を適切に把握し、操縦適性を向上させるためには、いかなる働きかけが有効であるかを検討することで、将来、操縦士となる訓練候補生の確保や訓練効果の向上に資する研究に発展していくべきである。

1.1.5 フライトデータの教育的活用

航空法第六十一条では、国土交通省令で定める航空機に対して、飛行記録装置 (Flight Data Recorder) の搭載とその使用が義務付けられている。また、飛行記録装置によって記録されるべき事項については、航空法第百四十九条で定められている。記録されたフライトデータは、気象条件・操縦操作・航空機の状態など運航状況の再現に必要な情報が含まれており、主に事故調査時に活用されている。近年では、航空機の飛行中のデータやコックピットの状況を動画として保存し、これを解析することにより運航中の不安全要素を見つけ出し、事故が発生する前に対策を講じることで、事故が発生した後で解析を行うだけではなく、日常の運航もモニターして改善・安全に繋げていくという Flight Data Monitoring が航空分野で広く取り入れられるようになった⁽²⁸⁾。しかし、小型航

空機に関しては、費用面や制度面などの課題が解決されておらず、未だ Flight Data Monitoring の導入が検討されている段階に留まっている。国土交通省は 2018 年に、小型航空機に係る総合的な安全対策の推進を目的として、訓練機、小型事業機、救難救助機等を対象として簡易型飛行記録装置（Flight Data Monitoring 機器）の実証実験を実施する方針を示しており、実証実験の収集データ解析からフライトデータの事故調査や訓練・審査、リスク分析などへの活用可能性、費用対効果など効果と課題について検証していく見通しである⁽²⁹⁾。今後は、訓練現場におけるフライトデータの実践的な活用法を見つけ出すことが簡易型飛行記録装置の普及促進の重要な鍵となる。これまで、フライトデータの活用範囲は局所的なものに留まっており、特に訓練のフィードバックなどリアルタイムな活用は困難であった。簡易型飛行記録装置の普及が進み、フライトデータの収集や解析を容易に行うことが出来るようになれば、訓練現場におけるフライトデータの教育的活用の範囲が大きく広がる可能性がある。したがって、本研究では、訓練の効率化・効果向上に繋がる可能性のある課題として、フライトデータの教育的な活用法やその有効性について着目することとした。初谷・中村（2014）が行ったフライトデータの教育的活用に関する研究では、航空機操縦の未熟者を対象とした模擬飛行実験が実施され、同実験の結果からフライトデータを用いたフィードバックが、基礎的な操縦技能の習熟過程にポジティブな影響を与えていたことが示唆されている⁽³⁰⁾。同研究では、教示内容を裏付けるフライトデータを用いた資料を実験参加者に提示することで、実験参加者が自身の行った操縦行動をより客観的に理解することができ、訓練効果の向上に繋がったのではないかと考察されている。

航空機の操縦では、スキヤニング（Scanning）と呼ばれる能動的な巡視を行うことで、複数の操縦計器や外部状況から必要な情報を取得し操縦操作に反映しなければならない。しかし、航空機の飛行特性については、複数の操縦要素が複雑に関連し合っているため、それらを十分に理解していなければ、各種情報の中から必要な情報を取捨選択することが困難となる。したがって、未熟練者にとって、必要な情報を適切なタイミングで取得することは容易ではなく、熟練者と比較して状況認識不足に起因するエラーを起こし易い。操縦士訓練では、訓練の前後にブリーフィングの時間が設けられ、訓練教官と共に訓練内容

の事前確認や振り返りが入念に行われるが、訓練教官から状況認識不足に起因するエラーを指摘されても、指摘内容を的確に把握することが困難となることが推測される。黒田・石橋（2003）が「人間は失敗の実態とその背後要因を正確に突き止めることによって、はじめてそこから対策を学ぶことができる」と述べているように⁽³¹⁾、訓練生自身が行った操縦操作や失敗の実態を十分に認識することは、適切な課題分析や目標設定に繋がり得る。したがって、訓練生が行う自己評価の妥当性が訓練効果に影響を与える可能性は否定できないが、これまでの先行研究では技能習熟度と自己評価の妥当性の関連性については明らかにされていない。技能習熟度と自己評価の妥当性の関連性に関する知見は、訓練生の自己評価と実態との齟齬の解消に努めることの重要性を示す客観的な根拠となり、自身が行った操縦行動をより客観的に理解する資料としてフライトデータを用いるなど、フライトデータの教育的活用可能性を押し広げるための基礎的データとなる。本研究では訓練の効率化・効果向上の観点から、未熟練者の技能習熟度と自己評価の妥当性との間にいかなる関連性が見られるかを検証し、その結果を元にフライトデータの教育的活用についての考察を行った。

1.2 研究目的

航空分野における安全性の向上を実現するには、航空機事故の多くに関与するヒューマンエラーの防止対策を強化していく必要がある。そのためにはヒューマンファクターの観点から、人間の行動特性に関する知見を深めることは極めて重要な課題である。また、航空分野では、操縦士不足が深刻化しており、操縦適性検査の予測精度の向上および訓練の効率化は重要課題である。これまで、適性検査項目に関わる認知処理能力の高低が操縦行動や技能習熟にいかに関係されるかを示した先行研究は無く、認知処理能力と操縦行動および技能習熟の関連性については不明な点が多く存在する。したがって、操縦適性についてより明らかにするためには、それらの関連性に着目した研究が進められる必要がある。上記の検討を進める上で、操縦行動の基盤となる基礎的な操縦技能に関する知見が必要であるが、前述のように小型航空機への **Flight Data Monitoring** の導入は未だ検討段階にあり、未熟練者がいかにして基礎的操縦技能を身に着けるかについては、それを裏付ける客観的データが不足した状態に

ある。

こうした状況を鑑み、本研究では、操縦士の基礎的操縦技能に焦点をあて、未熟練者の基礎的操縦技能獲得の実態と傾向の把握を目的とした、模擬飛行実験および認知課題実験を実施した。本研究を通して得られた、フライトデータや認知課題成績、自己評価結果の比較・分析を行うことで、未熟練者の操縦行動および操縦適性、自己評価の妥当性に関する検討を行った。さらに本研究の結果を元に、操縦士訓練における、フライトデータの教育的活用についての考察を行った。

第 2 章 模擬飛行実験

2.1 模擬飛行装置

本研究で使用する模擬飛行装置は，関西大学高槻ミュージックキャンパスの一室に設置された（図 2-1）．同装置は，暗幕内（幅：2,300mm，奥行：3,000mm，高さ：2,000mm）に設置され，模擬飛行実験中は，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．使用機材や機材配置などの模擬飛行装置の概要については下記の通りである．



図 2-1 模擬飛行装置

2.1.1 シミュレーションソフト

本研究の模擬飛行実験で使用するフライトシミュレータソフトには，Microsoft 社製の「Microsoft Flight Simulator 2004」を採用し，フライトデータの記録には，「FS Recorder for 2004」を用いた．「FS Recorder for 2004」による，フライトデータの記録間隔は約 27msec であった．

模擬飛行実験で使用する機種には，訓練機として用いられることの多い，Cessna C172 Skyhawk を採用した．同機種は，4 人乗りの小型機（単発プロペラ推進，高翼式）であった．

2.1.2 操縦計器概要

本研究における模擬飛行実験で使用する操縦計器の概要については下記の通りである（図 2-2）。



図 2-2 操縦計器（Cessna C172 Skyhawk）

(1) 対気速度計（Airspeed Indicator）

対気速度計（速度計）は、飛行中の気流に対する航空機を速度をノット（kt）単位で表示する操縦計器であり、操縦者は速度を指標とした操縦操作を行う際に同計器を使用する（図 2-3）。

水平飛行や旋回飛行では、操縦者は速度計からエンジン出力の過不足を判断し、一定の速度となるようにエンジン出力の調整操作を行う。上昇飛行の際には、速度計からピッチ角³の過不足を判断し、目標の上昇速度となるように、ピッチ角の調整操作を行う。また、降下飛行では、速度計からエンジン出力の過不足を把握し、一定の速度・降下率となるように、エンジン出力の調整操作を行う。

³ 航空機の前後軸と地面のなす角をいう。ピッチ角は、機首の上下の度合いを測る指標として用いられる。



図 2-3 対気速度計の表示例

(2) 姿勢指示器 (Attitude Indicator)

姿勢指示器は、航空機の飛行姿勢に関する情報を表示する操縦計器であり、操縦者は、飛行姿勢（ピッチ角、バンク角⁴）を中心とした操縦操作を行う際に同計器を使用する（図 2-4、図 2-5）。

姿勢指示器には水平線が描写されており、同水平線は水平位置を保持する機構となっている。姿勢指示器の前面部には、ミニチュア・エアプレーンと呼ばれる飛行機の形状を模した表示針が設置されている。操縦者は、ミニチュア・エアプレーンと水平線の相対関係から飛行機の姿勢を把握することが可能となる。ミニチュア・エアプレーンの中心に位置する点状の表示針はピッチ角を表示し、ミニチュア・エアプレーン上部ある三角状の表示針はバンク角を表示している。

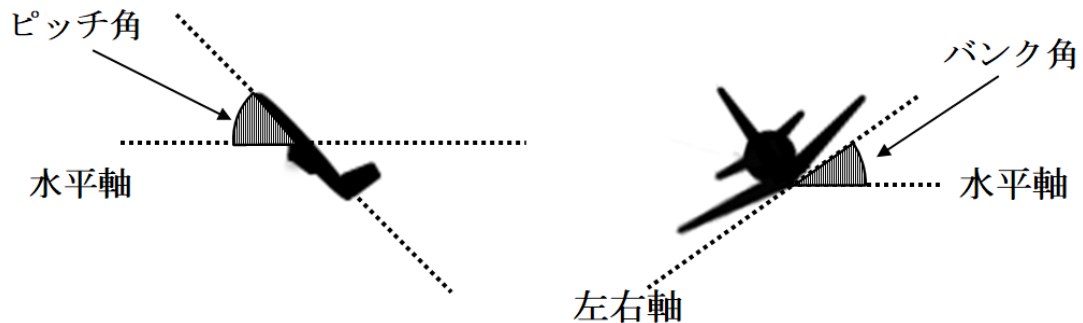


図 2-4 飛行姿勢

⁴ 航空機の機体の左右軸と水平軸のなす角をいう。



図 2-5 姿勢指示器の表示例

(3) 高度計 (Altimeter)

高度計は、機体の海面からの高さをフィート (feet) 単位で表示する操縦計器であり、操縦者は高度を指標とした操縦操作を行う際に同計器を使用する(図 2-5)。高度計は、短針と長針によって高度が表示されようになっており、長針の最小単位は 20 フィート、短針の最小単位は 200 フィートである。

水平飛行や旋回飛行の際には、操縦者は高度計から、ピッチ角の過不足を把握し、目標の高度となるようにピッチ角の調整操作を行う。

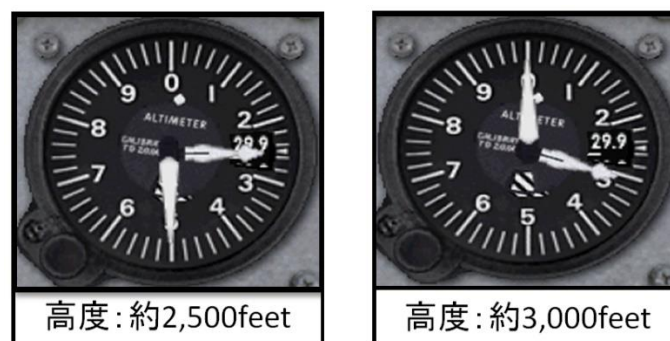


図 2-6 高度計の表示例

(4) 旋回計 (Turn Coordinator)

旋回計は、主に旋回飛行を行う際に用いる操縦計器で、操縦者は同計器から下記の 2 種類の情報を取得することができる(図 2-7)。旋回計の中心にある飛行機の形状をした旋回指針は、旋回の大さを表示する。同計器の下部には、

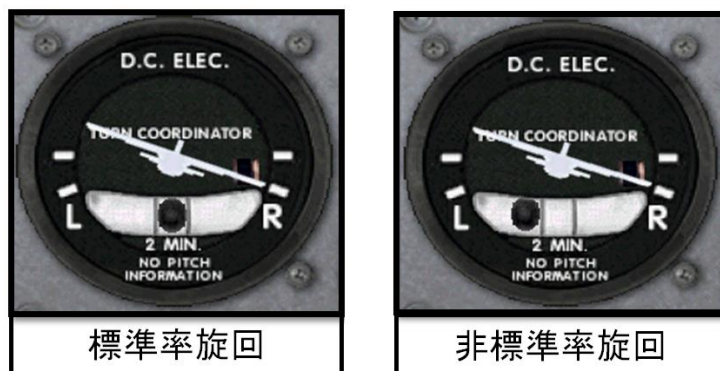


図 2-7 旋回計の表示例

すべり計が設置されており，操縦者はすべり計内部にある球の位置から，調和のとれた旋回が行われているか否かを判断することが可能となる．操縦者は旋回指針とすべり計から旋回の状態を把握し，エルロンおよびラダーペダルの調整操作を行う．旋回指針が L（左旋回飛行時）あるいは R（右旋回飛行時）を指しており，すべり計の球が中央にある場合には，機体が標準率（2 分間で 360 度の旋回率）で旋回していることを示している．

(5) 飛行方位計（Heading Indicator）

飛行方位計は，航空機の機首が向いている方位を表示する操縦計器であり．操縦者は機首方位を指標とした操縦操作を行う際に同計器を使用する(図 2-8)．水平直線飛行では，飛行方位計から機首方位が目標の方位から逸脱していないかを判断し，バンク角の調整操作を行う．

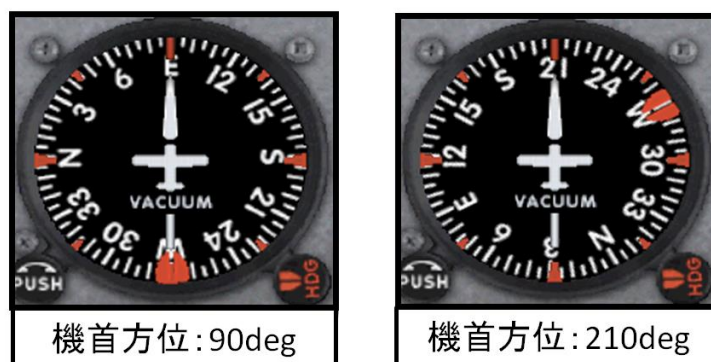


図 2-8 飛行方位計の表示例

(6) 昇降計 (Vertical Speed Indicator)

昇降計は、機体が垂直方向に移動する速度を表示する操縦計器である。同計器の指針が、0feet/min を表示している場合は、機体が水平飛行をしている状態を示している。また、同計器の指針が 0 より下の目盛を示す場合は機体が降下傾向にあり、指針が 0 より上の目盛を示す場合は上昇傾向にあることを示している (図 2-9)。水平飛行および上昇飛行をしている場合には、同計器から高度の変化傾向を把握し、ピッチ角の調整操作を行う。また、降下飛行の際には、同計器から昇降率を読み取り、エンジン出力およびピッチ角の調整操作を行う。

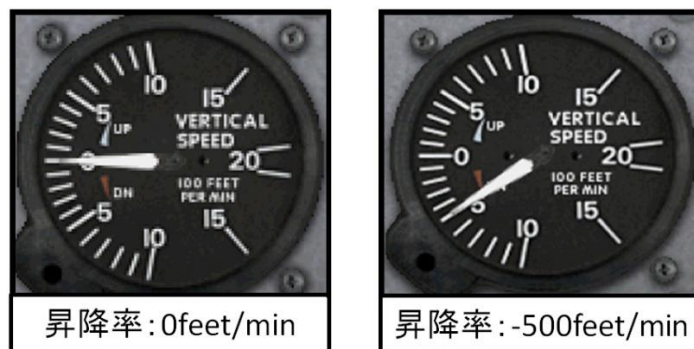


図 2-9 昇降計の表示例

(7) 回転計 (Tachometer)

回転計は、エンジンの回転数を RPM (Revolutions Per Minute : 回転毎分) 単位で表示する操縦計器である (図 2-10)。操縦者は、回転計からエンジンの回転数を把握し、速度や昇降率の調整操作を行う。



図 2-10 回転計の表示例

2.1.3 操縦機材の配置

模擬飛行実験で使用する操縦機材として、以下の機材を選定した。昇降舵と補助翼（エルロン）の操作を行う操縦輪、およびエンジン出力を調整するスロットルレバーには、Saitek社の「Saitek YOKE SYSTEM」を用いた。方向舵を操作するラダーペダルには、Saitek社の「Saitek RUDDER PEDALS」を使用した。

操縦機材の配置は以下の通りに行った。機材配置の際の基準として、身長が約170cmの男性が操縦席に着座している際の眼球位置（高さ1,200mm）を座席基準位置とした。まずは、ラダーペダル（Saitek RUDDER PEDALS）を操縦席正面の足元に配置した。その際、ラダーペダルの中心から座席基準位置までの水平距離が700mmとなるように配置した。

次に、操縦輪（Saitek YOKE SYSTEM）を床面からの垂直距離が700mmかつ、操縦輪の中心が座席基準位置の前方500mm、左方50mmの位置になるように設置した。スロットルレバー（Saitek YOKE SYSTEM）は、スロットルレバーの中心が座席基準位置の前方400mm、右方300mmの位置になるように配置した。模擬飛行実験の際には、操縦輪を握った際の肘関節の角度が約90°～100°かつ、ラダーペダルに足を置いた際の足関節の角度が約100°～110°となるように座席調整を行った（図2-11）。



図 2-11 座席調整基準

2.1.4 操縦機材の操縦操作法

(1) 操縦輪の操作法

操縦輪による操縦操作は主にエレベータ（昇降舵）操作・エルロン（補助翼）

操作・エレベータトリム操作の3つに分類される。操縦輪を前後に操作することで、機体後部に位置する水平安定板上に設置された可動式の昇降舵が動き、機体の水平軸を中心とした回転運動の制御をすることができる（図 2-12）。操縦者が、操縦輪を手前に引くと機首が上がり、操縦輪を奥に押すと機首が下がる。同操作によってピッチ角および昇降率の制御を行う。

操縦輪を左右に切ることによって、主翼後縁に設置された可動式の補助翼が動き、機体の前後軸を中心とした回転運動を制御することができる。操縦輪を左に切ると機体が左に傾き、右に切ると右に傾く。同操作によって主にバンク角および旋回率の調節を行う。

本研究で用いた操縦輪（Saitek YOKE SYSTEM）の左側の持ち手の先には、エレベータ（昇降舵）トリムの操作ボタンが設置されている。エレベータトリムは、操縦士の操縦負担を軽減させることを目的として、機首の上げ下げの釣り合いを保つ際に用いられる操縦装置をいう。例えば、上昇を行う際は、エンジン出力を上げた後、操縦輪を手前に引いてピッチ角を上げる必要がある。その際、上昇に適切なピッチ角を維持し続けるためには、操縦輪を引き続けなければならない。操縦輪を引いている手を弱めてしまうと、操縦輪がニュートラルの位置に戻ろうとするため、ピッチ角が下がってしまう。このような場合に、一定のピッチ角を維持するために、エレベータトリムの調節を行う。操縦輪を引いている状態で、そのピッチ角を維持したい時には、エレベータトリムの操作ボタンを手前に押し、操縦輪を奥に押している状態で、そのピッチ角を維持

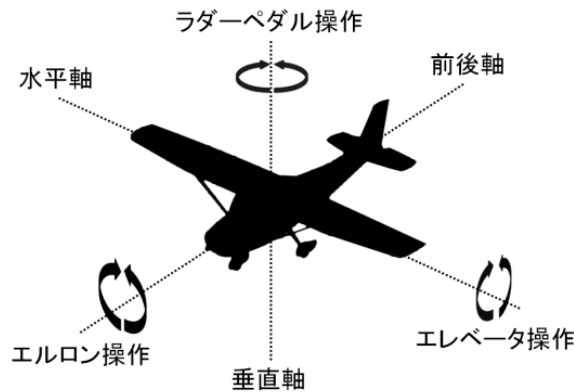


図 2-12 操縦操作と機体姿勢の関連性

したい時には、エレベータトリムの操作ボタンを奥に押すことで、機首の釣り合いを保つように使用する。

(2) ラダーペダルの操作法

機体後部に位置する垂直尾翼後部に設置された可動式の舵面で、ラダーペダルの操作によって舵面が動き、機体の垂直軸を中心とした回転運動を制御することができる。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の方向を向くようになっている。同操作は、主として飛行針路を修正・変更する際に行われる。

(3) スロットルレバーの操作法

スロットルレバーは、前後に操作を行うことで、エンジン出力を調整することができる。スロットルレバーを手前に操作すると、エンジン出力が弱まり、奥に操作するとエンジン出力が強まる。同操作は、基本的に高度・速度の調整の際に行われる。

2.1.5 映像提示用モニター

模擬飛行装置に用いた4台の映像提示用モニターを、以下の通りに配置した。まず、航空機の外部映像を提示する外部映像提示用モニター（NEC/MultiSync LCD-V321、有効表示領域：697.7(H) x 392.3(V)mm）を、操縦席正面の机上に3台設置した。中央の外部映像提示用モニターは、画面中心が基準視点位置から左方100mm、水平距離が1,000mmとなるように配置した（図2-13）。同モニターの画面左端から画面右端までの視角はおよそ38.6°、画面上端までの迎角はおよそ2.3°、画面下端までの俯角はおよそ20.4°であった。次に、前側方（左右）の外部映像提示用モニターは、中央のモニターとの内角が120°になるように配置した（図2-14）。左右いずれのモニターも、画面左端から画面右端までの視角はおよそ38.6°であった。基準視点位置の高さ（1,200mm）から画面上端までの迎角は2.3°、画面下端までの俯角はおよそ20.4°であった。

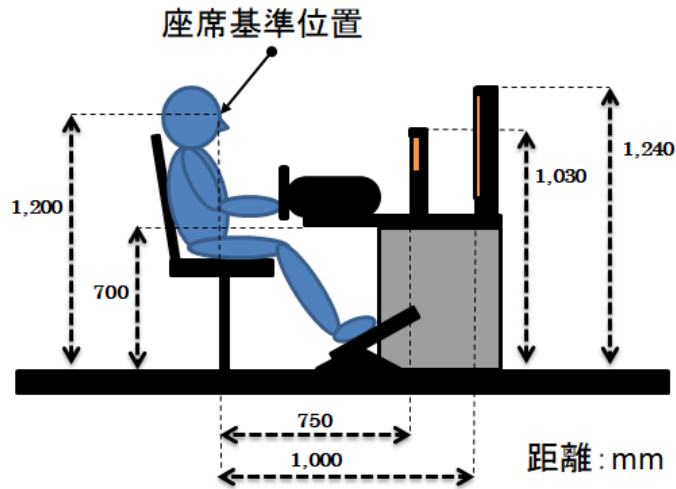


図 2-13 映像提示用モニター配置(1)

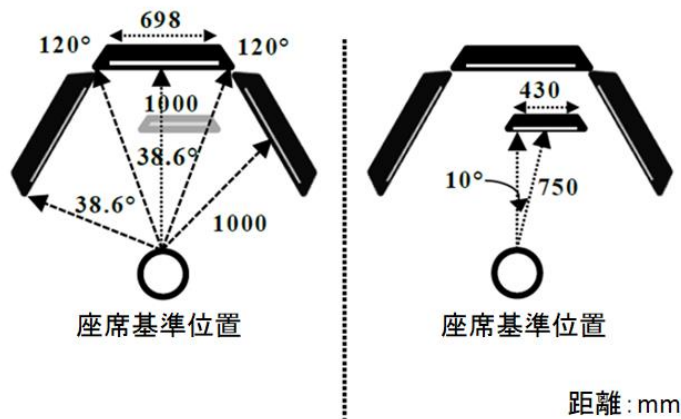


図 2-14 映像提示用モニター配置(2)

計器提示用モニター（FUJITSU/ESPRIMO DH50/GN，有効表示領域：442.8(H) x 249.1(V)mm）を操縦席の正面に1台設置した。計器提示用モニターは、画面中心が基準視点位置の正面から右方10度の直線上かつ、画面中心および基準視点位置の水平距離が750mmの位置に配置した（図2-14）。操縦計器が提示されている範囲のみが実験参加者の視界に入るように、計器提示用モニターの上からカバーを装着した（計器提示領域：430.0(H) x 140.0(V)mm，図2-15，図2-16）。同モニターの計器提示領域の視角は、画面左端から画面右端までおよそ32°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°，画面上端から画面下端までの俯角はおよそ23.9°であった。



図 2-15 計器提示用モニター (カバー装着時)

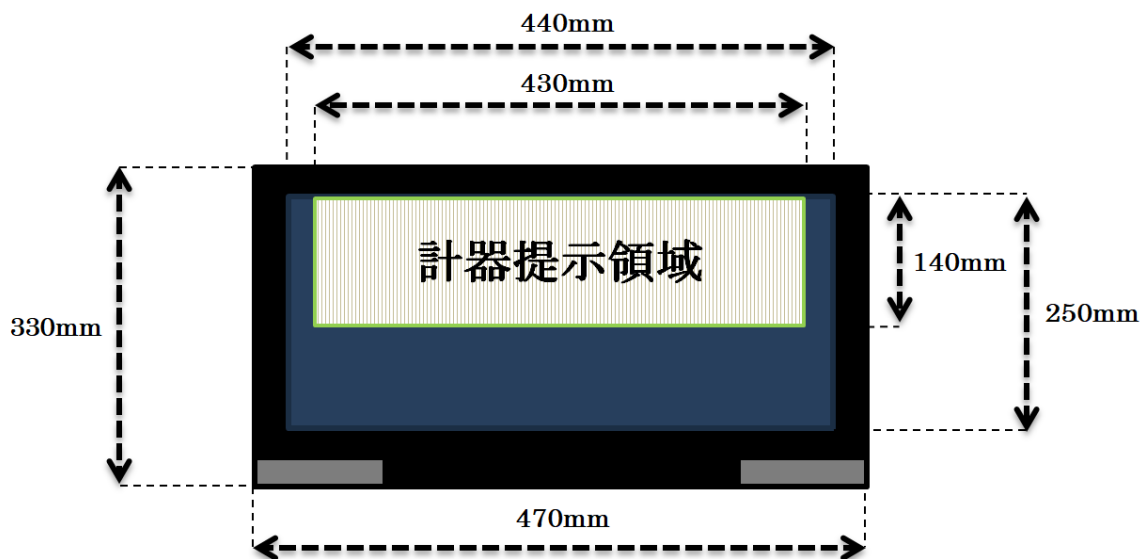


図 2-16 計器提示領域

2.2 模擬飛行実験の手続き

2.2.1 実験参加者

本研究では、航空機操縦の未熟者を対象とした模擬飛行実験が行われた。過去に操縦適性検査、および模擬飛行を含める飛行経験が無い一般の大学生 10

名を模擬飛行実験の対象とした（21.9±2.2歳，男性：7名，女性：3名）。

2.2.2 模擬飛行実験の概要

操縦士として航空業務を行うには，国土交通大臣の航空従事者技能証明を取得する必要がある。我が国の技能証明制度は，「自家用操縦士」「事業用操縦士」「定期運送用操縦士」の資格を順次取得する形式が取られており，航空従事者技能証明の種類によって操縦士が行うことが出来る業務範囲が異なる。本研究では，未熟練者の基礎的な操縦操作の獲得過程に焦点を当て，自家用操縦士課程の初等訓練を想定した模擬飛行実験を行った。

自家用操縦士課程の初等訓練では，訓練生は基礎的な飛行課題（水平直線飛行，上昇飛行，降下飛行，旋回飛行など）を繰り返し行うことで，飛行諸元⁵から逸脱しないように機体制御するための操縦技能を獲得する必要がある。例えば，自家用操縦士の実地試験細則⁶では，水平飛行時の飛行諸元を高度±100feet，速度±10kt，針路±10deg以内に維持することが合否判定基準に含まれており，訓練生は定められた飛行諸元の維持・修正操作を行うための操縦技能を訓練の中で身に着ける必要がある。本研究では，航空機の基礎的な操縦技能として，未熟練者の飛行諸元の維持・修正に関する操縦技能を評価対象とした模擬飛行実験が4回の試行に分けて実施された。

初回試行では，模擬飛行実験前に操縦機材および操縦操作法，飛行特性など航空機の基本操縦に関する基礎教育が行われた。基礎教育が実施された後に，操縦席へ移動し，実際に操縦機材を操作しながら，操縦練習が実施された。操縦練習では，水平飛行および水平直線飛行⁷を実施しながら，高度・速度・機首方位の維持・修正操作に関する教示が行われた。模擬飛行実験では，4種類の飛行課題（水平直線飛行，上昇飛行，降下飛行，旋回飛行）が実施された（図2-17）。実験参加者は，飛行課題ごとに設けられた飛行諸元値（高度，速度，機首方位）から逸脱せずに飛行するように教示され，模擬飛行中に飛行諸元値か

⁵ 航空機の位置や機体状態をいう。

⁶ 航空法の第29条第1項の規定に基づく操縦士に係る実地試験は，操縦士実地試験実施細則に従って実施される。操縦士実地試験実施細則には，実施課目および実施要領，判定基準などが明記されている。

⁷ 特定の高度を維持しながら，特定の針路上を真っすぐに進む飛行をいう。

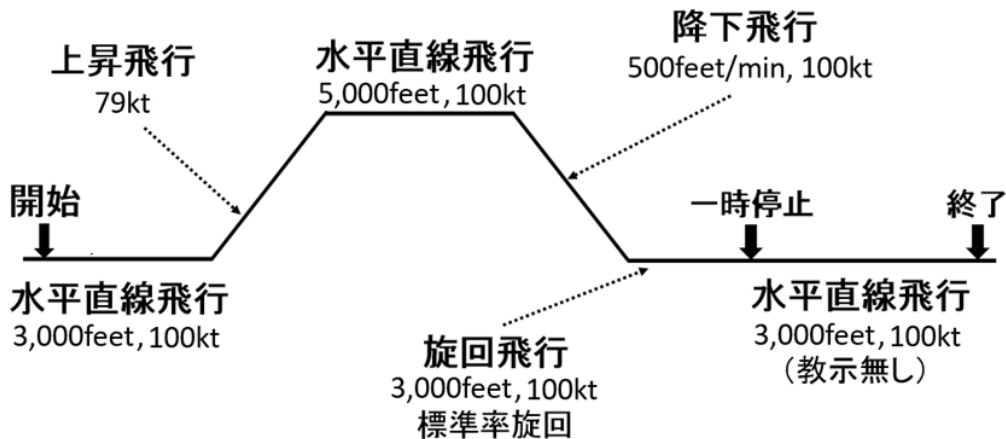


図 2-17 飛行課題および飛行諸元値

らの逸脱が確認された場合には、実験者から維持・修正のための教示が行われた。上記の飛行課題が実施された後、実験者が模擬飛行装置を一時停止させ、PC操作にて航空機を一定の状態に調整し（3,000feet, 100kt, 360deg）、その状態から技能習熟度測定のための水平直線飛行が実施された。同調整には、エレベータトリムの調節が含まれており、飛行再開後にはピッチ角の維持・修正操作および、エレベータトリムの調整操作が必要であった。同課題の実施中は、課題の開始と終了以外の教示が一切行われなかった。模擬飛行実験後には、各飛行課題の振り返りが口述形式で行われた。

2・3回目の試行では、模擬飛行実験前に飛行課題（水平直線飛行、上昇飛行、降下飛行、旋回飛行）の実施に必要な基礎知識の確認と教示が行われた。模擬飛行実験では、初回試行と同様の飛行課題が実施され（図 2-17）、実験参加者は、各飛行課題に設けられた飛行諸元値（高度、速度、機首方位）から逸脱せずに飛行を行うように教示された。上記の飛行課題が実施された後、実験者が模擬飛行装置を一時停止させ、初回試行と同様にPC操作にて航空機を一定の状態に調整し、その状態から技能習熟度測定のための水平直線飛行が実施された。模擬飛行中に飛行諸元値からの逸脱が確認された場合には、実験者から維持・修正のための教示が行われた。模擬飛行実験後には、各飛行課題の振り返りが口述形式で行われた。

4回目の試行では、模擬飛行実験前に実施する飛行課題（水平直線飛行、上

昇飛行，降下飛行，旋回飛行）の実施に必要な基礎知識の確認と教示が行われた。模擬飛行実験では，課題の開始と終了以外の指示・教示が行われない条件で，他の試行と同様の飛行課題が実施された（図 2-17）。また，模擬飛行実験の最後には，実験者が模擬飛行装置を一時停止させ，航空機を一定の状態に調整し（3,000feet，100kt，360deg），その状態から技能習熟度測定のための水平直線飛行が実施された。

2.2.3 自己評価の手続き

各模擬飛行実験後に，実験参加者は模擬飛行実験の最後に実施された水平直線飛行に関する自己評価を行った。自己評価項目は，各飛行諸元値（高度・速度・機首方位）からの逸脱量の時間平均（逸脱傾向値）と，各飛行諸元値から最大逸脱量とした。実験参加者は，評価項目ごとに設けられた選択肢から，当てはまるものを選ぶように教示された（表 2-1）。

表 2-1 自己評価項目および選択肢

		選択肢				
		1	2	3	4	5
高度	逸脱傾向値	0～50feet	51～100feet	101～150feet	151～200feet	201feet以上
	最大逸脱量	0～50feet	51～100feet	101～150feet	151～200feet	201feet以上
速度	逸脱傾向値	0～2kt	3～5kt	6～8kt	9～11kt	12kt以上
	最大逸脱量	0～2kt	3～5kt	6～8kt	9～11kt	12kt以上
機首方位	逸脱傾向値	0～4deg	5～9deg	10～14deg	15～19deg	20deg以上
	最大逸脱量	0～4deg	5～9deg	10～14deg	15～19deg	20deg以上

第3章 認知課題実験

3.1 実験参加者

認知課題実験は、模擬飛行実験と同一の実験参加者 10 名を対象に実施された。同実験参加者は、過去に操縦適性検査および模擬飛行を含める飛行経験が無い一般の大学生 10 名であった (21.9±2.2 歳, 男性: 7 名, 女性: 3 名)。

3.2 認知課題実験の手続き

本研究で実施する認知課題の選定には、Hunter & Burke (1994) の研究を参考として⁽²⁷⁾、単純反応時間課題、N-back 課題、心的回転課題、トラッキング課題、視覚探索課題、有効視野課題の 6 つの認知課題が実施された。

3.2.1 単純反応時間課題

ヒトが、ある刺激を知覚してから、反応を起こすまでに行われる認知処理に要する時間には個人差があり、航空機の操縦適性や自動車の運転適性、運動能力などの評価指標として反応時間が用いられることがある。本研究では、視覚刺激の提示に対する単純反応時間の測定を行った。

単純反応時間課題では、実験用モニター (518.4(H)×324.4(V)mm) の中心位置に目標刺激の黒円 ($\phi=54\text{mm}$, RGB 値⁸: 目標刺激=0, 0, 0, 背景=255, 255, 255) が提示され、実験参加者はキーボード入力によって反応するように教示された(図 3-1)。目標刺激の提示時間は 1,000msec, 刺激間隔は 2,000~5,000msec, 試行数を 30

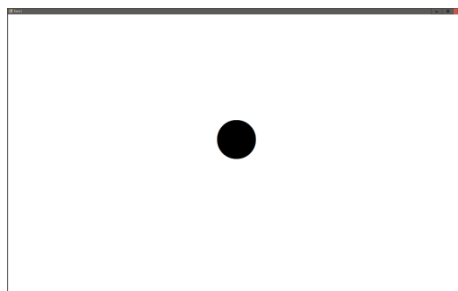


図 3-1 単純反応時間課題における目標刺激の提示例

⁸ 本文中の RGB 値は、PC から出力される RGB 値を記載している。

回とし、本試行の前には、課題内容と操作法の確認を目的とした練習試行（5試行）が実施された（図 3-2）。

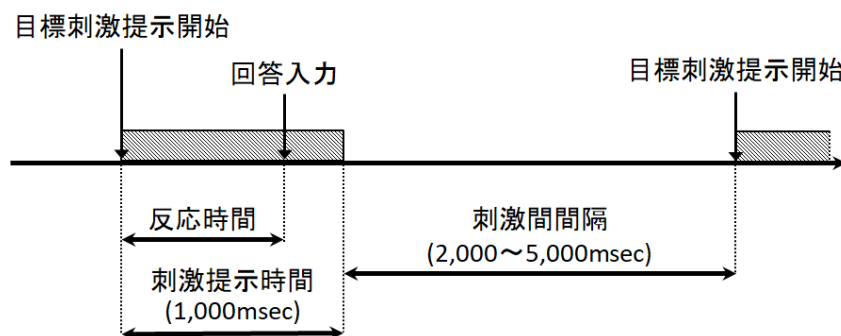


図 3-2 単純反応時間課題の概要

3.2.2 N-back 課題

航空機の操縦では、あらゆる視覚的情報を頼りに操縦操作を行うため、各種異なる情報を一時的に保持し、複数の課題を逐次的あるいは並列的に処理しなければならない。認知心理学の分野では、認知課題の遂行中に一時的に必要な記憶の機能やメカニズム、それらを支えるシステムの概念として、ワーキングメモリが用いられる⁽³²⁾。Baddeley（2000）が提唱したワーキングメモリ・モデルは、システム全体を統括する中央実行系と、情報保持のためのサブシステムとして、言語的・音韻的情報の保持を行う音韻ループ、視空間的情報を保持する視空間スケッチパッド、複数情報を統合して保持するエピソード・バッファによって構成されている⁽³³⁾。視覚的情報の短期的保持と処理に関する認知処理能力の測定には、N-back 課題が用いられることがある。N-back 課題では、実験参加者は連続的に提示される視覚的情報を保持し、N 個前に提示された刺激の想起と処理を持続的に行う。本研究では、視覚的情報の短期的保持と処理に関する認知処理能力の測定に、N-back 課題を用いることとした。

同課題では、実験用モニター（518.4(H)×324.4(V)mm）の中心位置に、1桁のランダムな算用数字（RGB 値：目標刺激= 0, 0, 0, 背景= 255, 255, 255）が連続で提示され、実験参加者は 2 つ前に提示された数字に対応する Number パッドの入力を行うように教示された（図 3-3, 図 3-4）。目標刺激の提示時間は 2,000msec,



図 3-3 N-back 課題における目標刺激の提示例

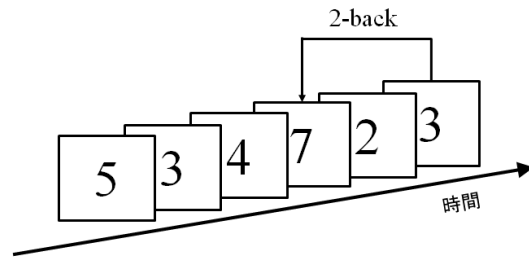


図 3-4 N-back 課題における入力例 (2-back)

刺激間間隔を 0msec, 提示回数を 62 回とし, 本試行を実施する前に, 課題内容と操作法の確認を目的とした練習試行 (15 試行) が実施された (図 3-5).

同課題の実施中に, 多重入力が行われた場合には, 分析の際に誤入力が行われたのか, 意図的に再入力が行われたかを判断することが不可能であったため, 実験参加者への課題説明の際には, 各試行の 1 回目の入力のみを有効な回答入力として評価することを説明した. また, 目標刺激の提示時間内に回答入力が行われなかった場合には, 該当試行は誤答として評価されることを説明した.

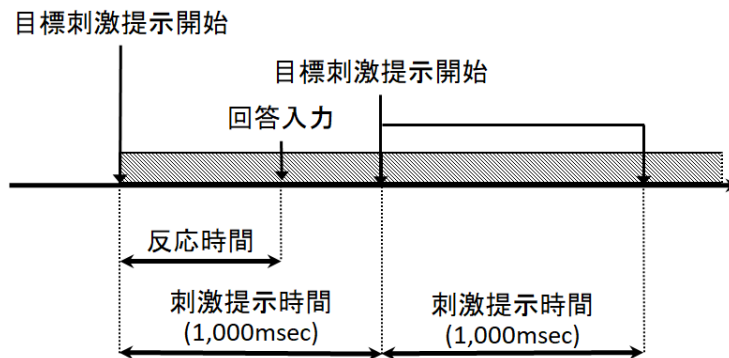


図 3-5 N-back 課題の概要

3.2.3 心的回転課題

航空機の操縦では, 操縦者は 3 次元的な機体制御や, 航空図などを用いた機体位置の把握などの, 空間や物体の位置や方向, 大きさを心的イメージとして把握する空間能力が必要とされている. 航空適性検査では, 空間能力を測定する際に, 心的回転課題が用いられることがある. 心的回転課題を用いた実験で

は、Shepard & Metzler (1971) が行った実験が代表的である。Shepard らの実験では、実験参加者に透視図法を用いて描写された 2 つの図形が提示され、それらが同一の図形であるか、鏡像であるかを判断するまでの反応時間が測定された。同実験では、2 つの図形の回転角度差が大きいほど、反応時間が増加することが確認され、回転角度差の増加が心的回転を行う際の認知負荷に影響を与えていたことが明らかとされている⁽³⁴⁾。本研究では空間能力を測定する認知課題として、心的回転課題が実施された。

同課題では、実験用モニター (518.4(H)×324.4(V)mm) に、8 個の立方体で構成されている 2 つの図形型の目標刺激 (RGB 値:立方体側面=0, 39, 128, 背景=0, 0, 0) が同時に提示され、実験参加者はそれらが同一であるか非同一定であるかを判断し、キーボード (左右矢印キー) 入力で反応するように教示された (図 3-6)。目標刺激の提示時間を 6,000msec、刺激間間隔を 1,000msec、試行数を 60 回とした (図 3-7)。また、目標刺激は左右の図形の回転角度差が 30deg・90deg・150deg である 3 パターンに分類され、各パターンの試行数は 20 試行で、無作為な順序で提示された (図 3-8)。本試行の前には、課題内容と操作法の確認を目的とした練習試行 (5 試行) が実施された。

同課題の実施中に、多重入力が行われた場合には、分析の際に誤入力が行われたのか、意図的に再入力が行われたかを判断することが不可能であったため、実験参加者への課題説明の際には、各試行の 1 回目の入力のみを有効な回答入力としてみなすことを説明した。また、目標刺激の提示時間内に回答入力が行われなかった場合には、誤答として評価されることを説明した。



図 3-6 心的回転課題における目標刺激提示例

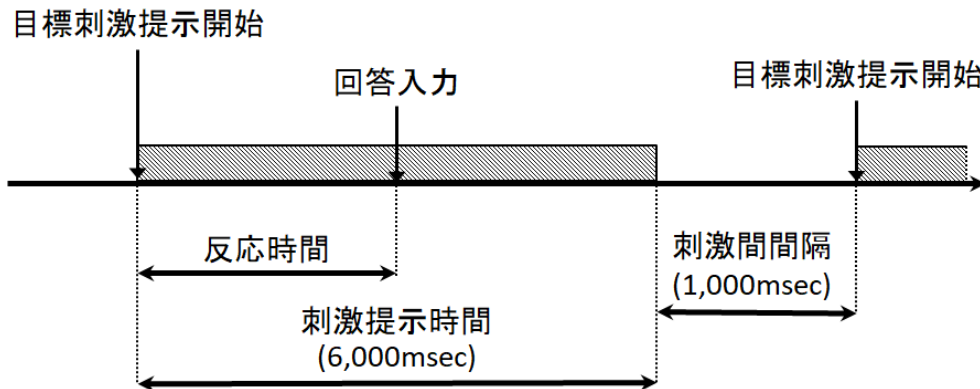


図 3-7 心的回転課題の概要

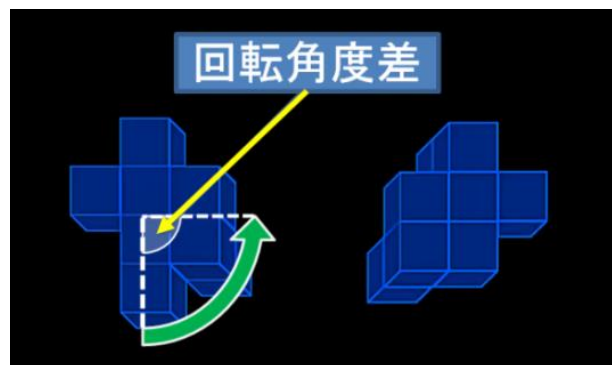


図 3-8 目標刺激提示間の回転角度差の例

3.2.4 トラッキング課題

航空機の操縦は、知覚した各種の情報から航空機の姿勢や状態を把握し操縦操作に反映するため、知覚系と身体運動系の協調である知覚運動協応に関わる特性を含んでいる。本研究では、知覚運動協応に関わる認知処理能力の測定課題として、トラッキング課題を用いた。

同課題では、実験用モニター（518.4(H)×324.4(V)mm）上を曲線移動（移動速度：45.7±14.6mm/sec）する目標刺激（φ=26mm，RGB 値：目標刺激= 253, 253, 252, 背景=0, 0, 0）をマウスカーソル（RGB 値：カーソル中心= 255, 255, 0, カーソル枠= 248, 0, 0）で追跡することを主課題とした（図 3-9, 図 3-10）。目標刺激は移動中に短時間の消滅を伴い、実験参加者は消滅時の移動を予測して追跡を継続するよう

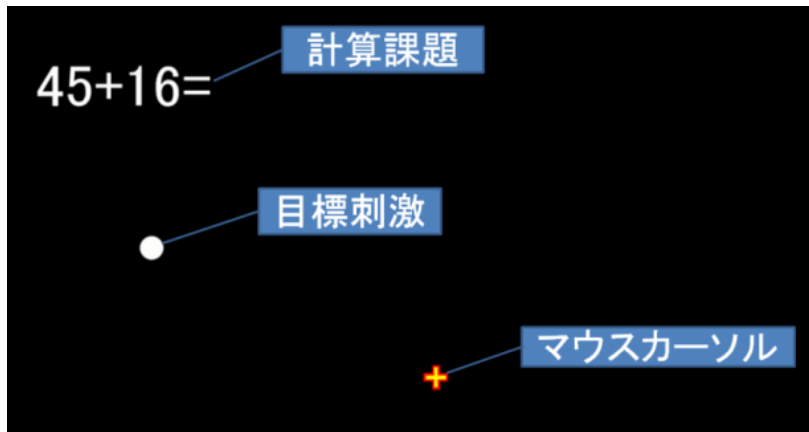


図 3-9 トラッキング課題の目標刺激およびマウスカーソル

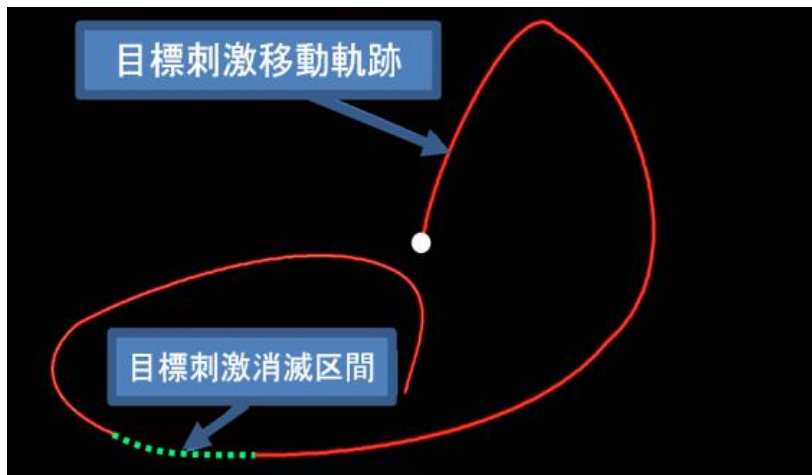


図 3-10 トラッキング課題における目標刺激の移動軌跡

に教示された。さらに、副次課題として、「2桁+2桁」の計算課題（RGB値：計算課題=255,255,255）が出題され、実験参加者は主課題を継続しながら、Numberパッドの入力で計算課題の回答を行うように教示された（20試行）。本試行の前には、課題内容と操作法の確認を目的とした練習試行（約100sec）が実施された。

計算課題の実施中に、多重入力が行われた場合には、分析の際に誤入力が行われたのか、意図的に再入力が行われたかを判断することが不可能であった。実験参加者への課題説明の際には、各試行の1,2回目の回答入力（2桁の回答入力）のみを有効な回答入力としてみなすことを説明した。

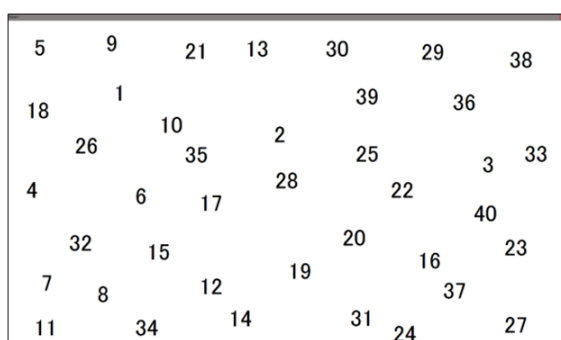
3.2.5 視覚探索課題

航空機の操縦では、スキヤニング（Scanning）と呼ばれる能動的な巡視を行うことで、複数の操縦計器から必要な情報を取得し操縦操作に反映するため、選択的・分割的な注意が必要となる。本研究では、特定の目標刺激を、それとは異なる特性をもつ複数の妨害刺激の中から視覚的に見つけ出す、視覚探索課題を実施した⁽³⁵⁾。

同課題では、実験用モニター（518.4(H)×324.4(V)mm）に提示された目標刺激（1~40までの算用数字，RGB値：目標刺激=0,0,0，背景=255,255,255）を順番にマウスクリックで消滅させて行き、課題が開始されてから、全ての目標刺激が消滅するまでの時間を課題遂行時間として測定した（図3-11）。また同課題は、妨害刺激なし条件と、妨害刺激あり条件の2条件に分けて実施された（RGB値：妨害刺激=0,0,0，図3-12）。

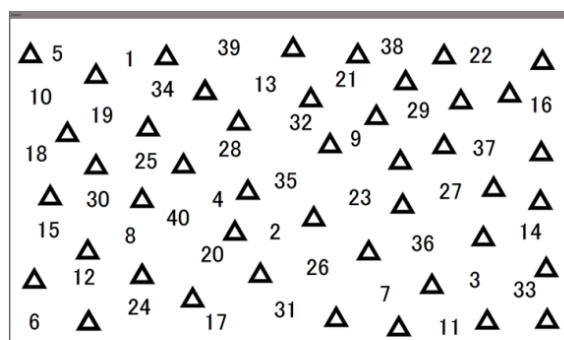
視覚探索課題では、目標刺激が無作為に配置された。妨害刺激なし条件における連続する目標刺激間の平均距離は $209.4 \pm 93.0\text{mm}$ ，妨害刺激あり条件における同平均距離は $230.5 \pm 93.7\text{mm}$ であった。2条件間における、連続する目標刺激間の平均距離には有意差が認められず ($F(1, 38)=0.98, n.s., t(76)=0.98, n.s.$)，視覚探索課題において実験参加者が行うマウス操作の作業負荷に有意な差は無いものとした。

本試行の前に、練習試行（目標刺激：15個）が実施され、予め課題内容およびマウス操作等の確認が行われた。



妨害刺激なし

図3-11 視覚探索課題における目標刺激提示場面（妨害刺激なし条件）



△ 妨害刺激

図3-12 視覚探索課題における目標刺激提示場面（妨害刺激あり条件）

3.2.6 有効視野課題

ヒトが視覚情報を得ようとするとき、周囲に広がる空間のどの部分へ視点を向けるべきか、といった選択は、無作為に行われる訳ではなく、比較的明確に対象を認知することが可能である有効視野やさらにその外側に広がる周辺視野で大まかに捉えた情報を、精緻に捉えるために注視点を移動させる⁽³⁶⁾。航空機の操縦では、多くの情報リソースから必要な視覚情報を取得し、状況判断を行わなければならないため、有効視野に係る認知処理が操縦パフォーマンスに影響を与える可能性がある。本研究では、Visual Awareness 社製の有効視野課題を用いて、有効視野に関する認知処理能力の測定を行った。同課題は、以下の 3 つの課題で構成された。

(1) 視覚情報処理速度課題

視覚情報処理速度課題では、実験用モニター（376.3(H)×301.1(V)mm）の中心に目標刺激 1（車型目標刺激とトラック型目標刺激，RGB 値：目標刺激 1 = 255, 255, 255，背景 = 0, 0, 0）が短時間提示され、実験参加者は提示された目標刺激と一致する選択肢を選ぶように教示された（図 3-13，図 3-14）。

刺激提示時間は自動的に調節され、課題遂行中に、2 度正答が確認された場合には、次の試行での刺激提示時間が短くなり、誤答があった場合には刺激提示時間は延長された。同手順を正答率が安定して 75% となるまで繰り返し行うことで、知覚閾値（適切に目標刺激を知覚することが出来る刺激提示時間の下限値）の測定を行った。

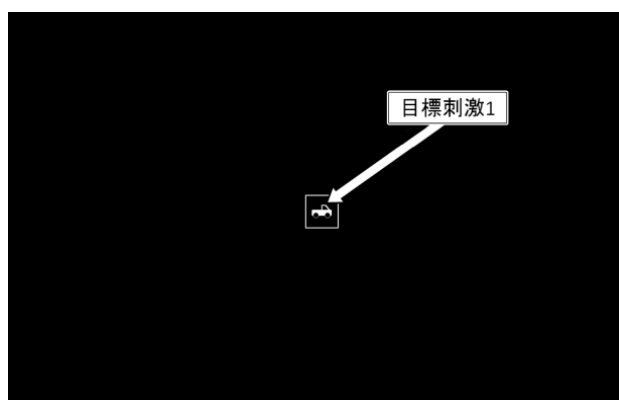


図 3-13 視覚情報処理速度課題における目標刺激の提示場面

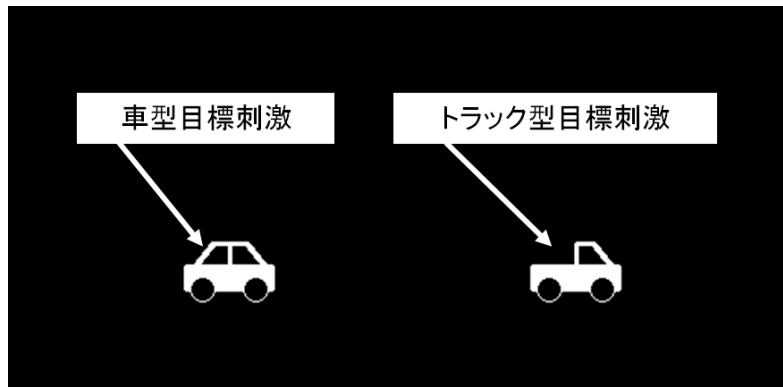


図 3-14 有効視野課題における目標刺激 1 の提示例

(2) 分割的注意課題

分割的注意課題では，視覚情報処理速度課題と同様の目標刺激 1 が画面中心に提示され，同時にもう一つの目標刺激 2（車型目標刺激，RGB 値：目標刺激 2 = 255, 255, 255）がその周りに提示された（図 3-15）。

実験参加者は，画面の中心に提示された目標刺激 1 を 2 つの選択肢から選び（図 3-14），次に目標刺激 2 がどの位置に提示されていたかを，8 つの選択肢から選ぶように教示された（図 3-16）。この課題でも，視覚情報処理速度課題と同様の手続きで知覚閾値の測定を行った。

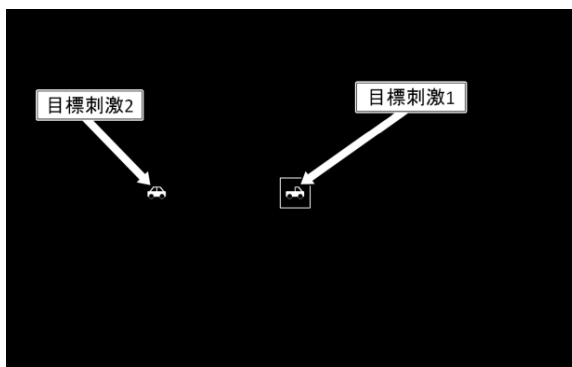


図 3-15 分割的注意課題における目標刺激の提示場面

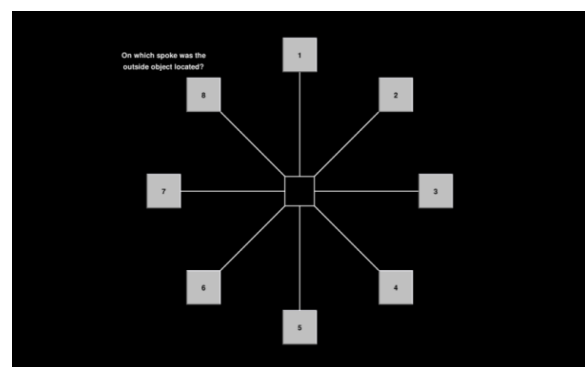


図 3-16 分割的注意課題における回答選択肢

(3) 選択的注意課題

選択的注意課題は，分割的注意課題と同様の目標刺激 1 が画面中心に提示さ

れ、同時にもう一つの目標刺激 2 (車型目標刺激, RGB 値: 目標刺激 2 = 255, 255, 255) がその周りに提示された。さらに、選択的注意課題では、目標刺激以外に妨害刺激が提示され (図 3-17)、知覚した視覚情報から妨害刺激を除外し、目標刺激を選択的に認知する能力に関する負荷が高くなっていた。

実験参加者は、画面の中心に提示された目標刺激 1 を 2 つの選択肢から選び (図 3-14)、次に目標刺激 2 がどの位置に提示されていたかを、8 つの選択肢から選ぶように教示された (図 3-16)。

この課題でも、視覚情報処理速度課題および分割的注意課題と同様の手続きで知覚閾値の測定を行った。

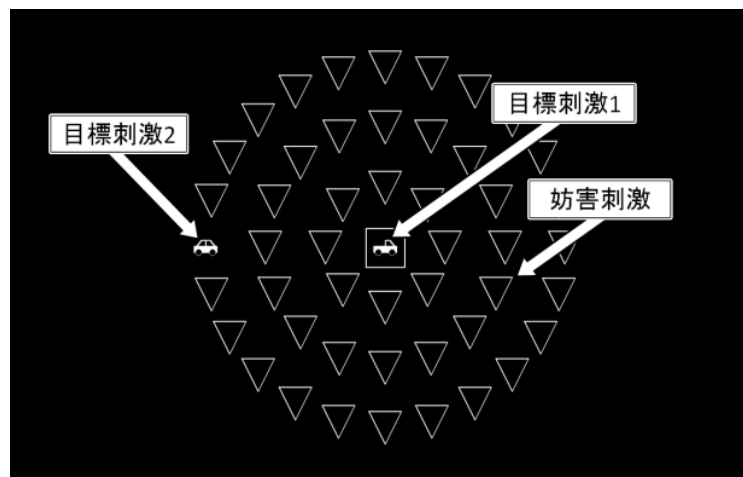


図 3-17 選択的注意課題における目標刺激および妨害刺激の提示場面

第4章 分析方法および結果

4.1 技能習熟度に関する評価・分析

4.1.1 技能習熟度の評価指標

基礎的な操縦士訓練では、定められた飛行諸元に従って飛行を行うための操縦技能を身に着けることが初期の目標となる。飛行諸元を維持するには、操縦計器から航空機の姿勢や状態を適切に把握し、操縦に反映させる必要がある。しかし、航空機の飛行特性は、複数の操縦要素が複雑に関連し合っているため、未熟者にとって、必要な情報を適切なタイミングで取得することが容易ではなく、熟練者と比較して状況認識不足に起因するエラーを起こしやすい(図4-1)。本研究の技能習熟度評価では、未熟者である実験参加者の技能習熟度の評価指標として、飛行諸元(高度、速度、機種方位)からの逸脱傾向値(逸脱量の時間平均)および最大逸脱量(飛行課題実施中の逸脱量の最大値)を用いた(図4-2)。実施された飛行課題の中で最も基礎的な課題であった水平直線飛行を評価対象とし、各試行(4試行)の最後に行われた水平直線飛行のフライトデー

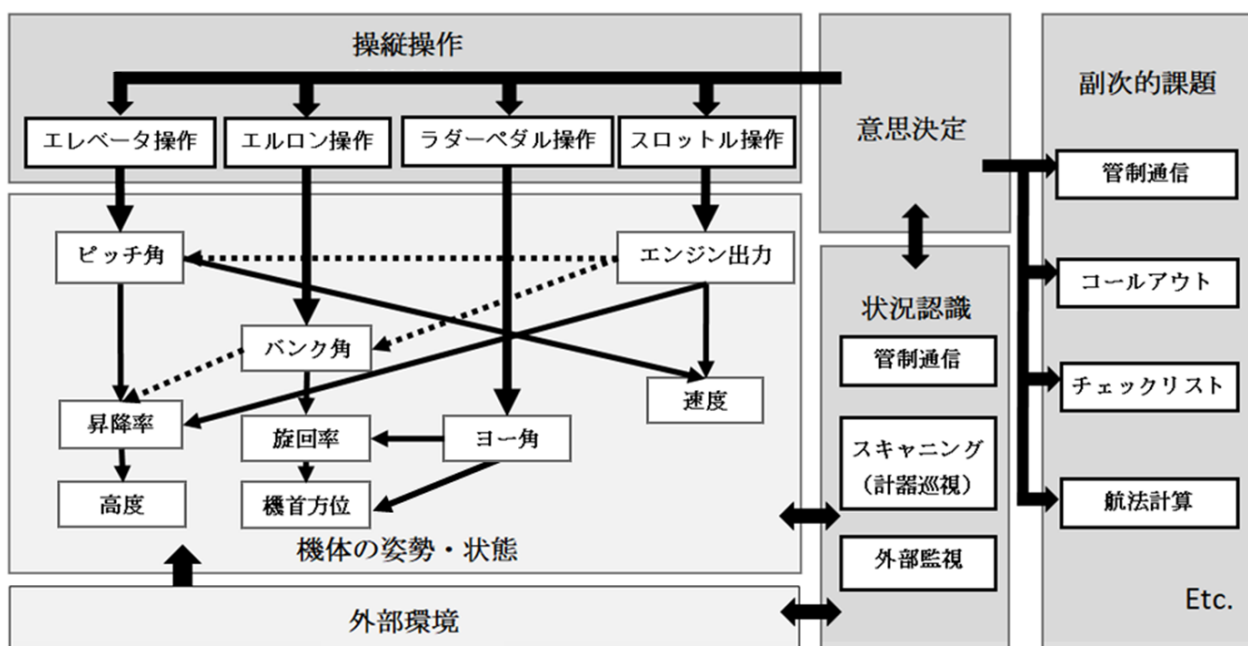


図4-1 航空機操縦要素の関連性

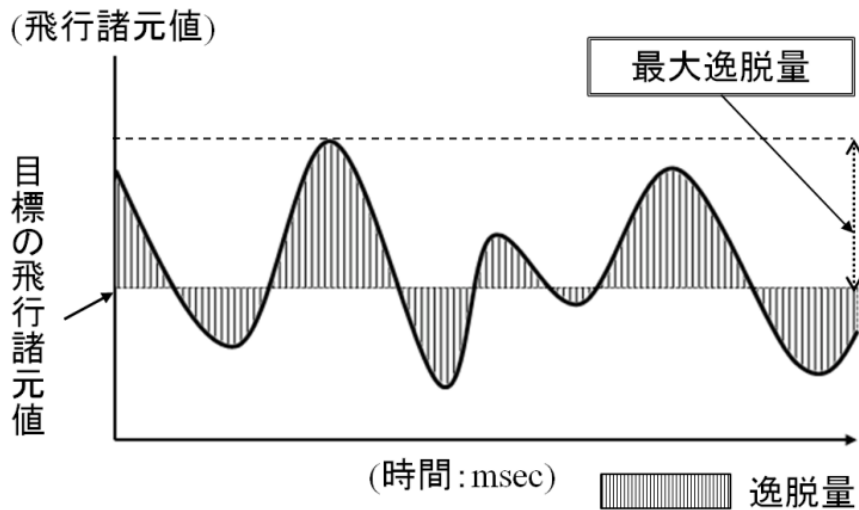


図 4-2 技能習熟度評価における評価指標

タを元に技能習熟度評価を行った。技能習熟度測定のための水平直線飛行が実施される前には、実験者が模擬飛行装置を一時停止させ、航空機を一定の状態（高度：3,000feet，速度：100kt，機首方位：360deg）に調整することで、実験参加者間の実験条件の統制を行った。同調整には、エレベータ（昇降舵）トリムの調節が含まれており、ピッチ角の維持・修正および、エレベータトリムの操作が必要であった。また、上記の水平直線飛行が実施されている際には、実験者による指示・教示は一切行われておらず、指示・教示による操縦操作への影響は無いものとした。

4.1.2 技能習熟度に関する実験参加者ごとの比較

模擬飛行実験における実験参加者の技能習熟状況を把握するために、実験参加者ごとに技能習熟度評価の評価指標値の平均を算出し(図 4-3, 図 4-4, 図 4-5), 一元配置分散分析を行った。分析の結果、高度逸脱傾向値および機首方位の逸脱傾向値, 最大逸脱量の平均の分散に有意差が認められた ($F(9,30)=2.26, p<0.05$, $F(9,30)=3.15, p<0.01$, $F(9,30)=3.86, p<0.01$)。続けて行った多重比較 (Tukey 法) では、実験参加者 D と他の実験参加者 (A, C, E, G, H) の機首方位逸脱傾向値の平均に有意差が認められ、実験参加者 D と他の実験参加者 (A, C, E, F, G, H, J) の機首方位最大逸脱量の平均にも有意差が認められた (表 4-1)。

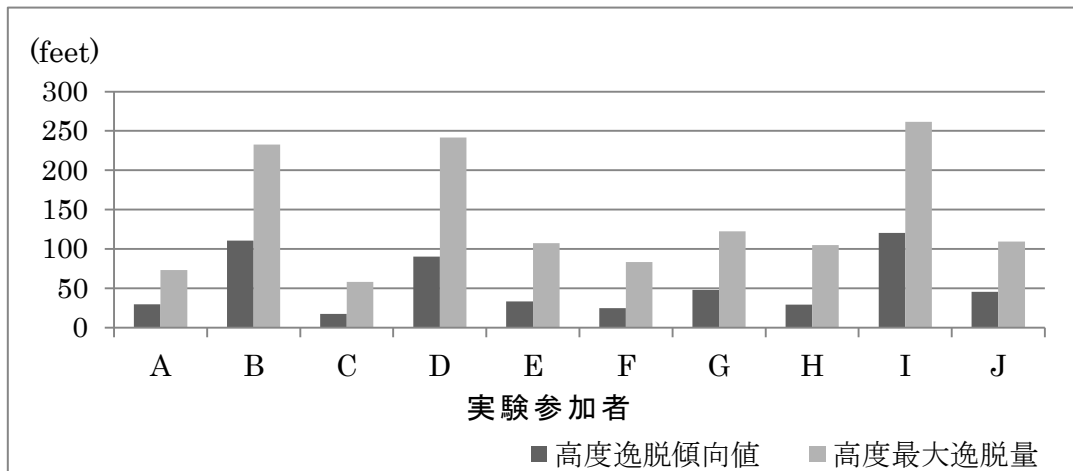


図 4-3 高度逸脱傾向値および高度最大逸脱量の平均比較

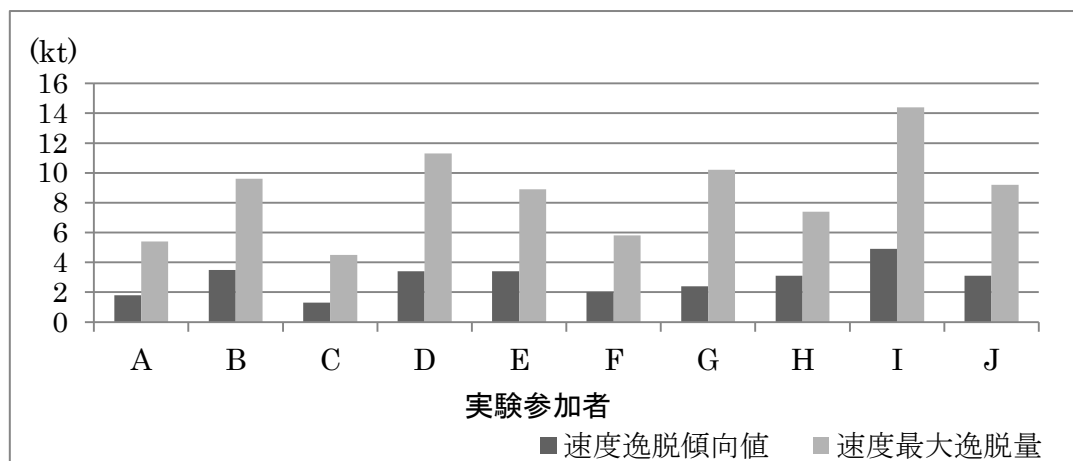


図 4-4 速度逸脱傾向値および速度最大逸脱量の平均比較

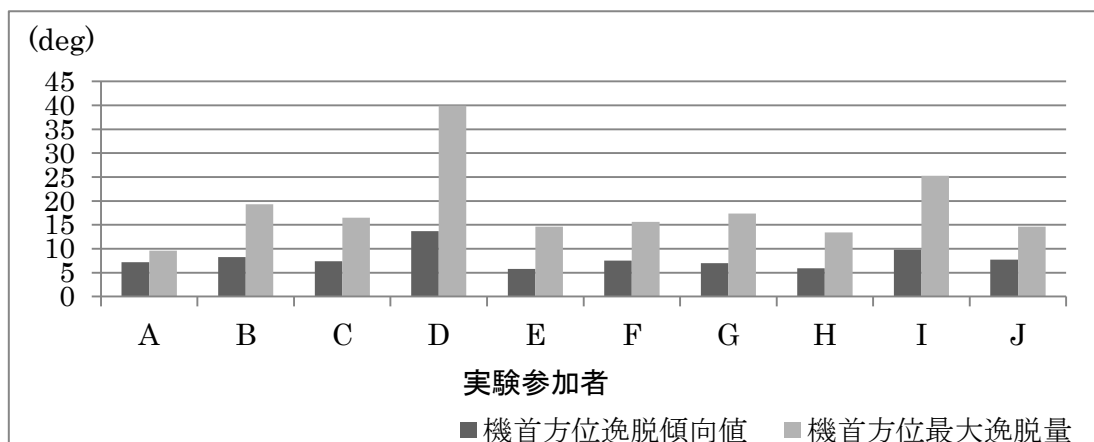


図 4-5 機首方位逸脱傾向値および機首方位最大逸脱量の平均比較

表 4-1 技能習熟度評価指標値の多重比較

従属変数	実験参加者(I)	実験参加者(J)	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
						下限	上限
機首方位 逸脱傾向値	D	A	6.5*	1.83	.036	.26	12.71
		C	6.3*	1.83	.047	.05	12.50
		E	7.9**	1.83	.005	1.64	14.09
		G	6.7*	1.83	.027	.47	12.92
		H	7.8**	1.83	.006	1.60	14.05
機首方位 最大逸脱量	D	A	30.4**	6.14	.001	9.41	51.33
		C	23.5*	6.14	.019	2.50	44.41
		E	25.3**	6.14	.009	4.37	46.29
		F	24.3*	6.14	.013	3.34	45.26
		G	22.5*	6.14	.028	1.53	43.44
		H	26.5**	6.14	.005	5.56	47.48
		J	25.3**	6.14	.009	4.38	46.30

*. 平均値の差は1%水準で有意

** . 平均値の差は5%水準で有意

4.1.3 技能習熟度に関する実験進捗度ごとの比較

本研究で実施された模擬飛行実験において、実験進捗度の違いによって、実験参加者の技能習熟状況に差が生じているかについての検討を行った。模擬飛行実験の試行ごとに、技能習熟度評価における各評価指標値（逸脱傾向値、最大逸脱量）の平均を変数として等分散の検定および差の検定を行った(表 4-2)。等分散の検定において、模擬飛行実験の 1 試行目と 3・4 試行目間および 2 試行目と 3・4 試行目間で、平均の分散に有意差が見られたことから、1・2 試行目と 3・4 試行目で技能習熟状況に違いが生じている可能性が考えられた。実験進捗度を前半（1・2 試行目）と後半（3・4 試行目）に分類し、下記の分析を行った。

模擬飛行実験の実験進捗度ごと（前半・後半）に各評価指標値の平均を算出し、等分散の検定を行ったところ、高度・速度の逸脱傾向値および高度・速度・機首方位の最大逸脱量の平均において有意差が認められた（表 4-3）。続けて行った差の検定では、高度および速度の最大逸脱量の平均に有意差が認められた（表 4-3）。

表 4-2 技能習熟度評価指標値の試行間平均の比較

評価指標値	試行(I)	試行(J)	等分散の検定(I-J)	差の検定(I-J)
高度逸脱傾向値	1	2	$F(1, 18)=0.27, p<0.05$	$t(14)=0.49, n.s.$
速度最大逸脱量		3	$F(1, 18)=5.59, p<0.01$	$t(12)=2.20, n.s.$
機首方位逸脱傾向値			$F(1, 18)=2.84, n.s.$	$t(18)=2.10, p<0.05$
機首方位最大逸脱量		4	$F(1, 18)=21.99, p<0.01$	$t(10)=2.95, p<0.01$
高度逸脱傾向値			$F(1, 18)=3.60, p<0.05$	$t(14)=1.69, n.s.$
高度最大逸脱量			$F(1, 18)=2.76, n.s.$	$t(18)=1.78, p<0.05$
速度最大逸脱量		2	3	$F(1, 18)=3.41, p<0.05$
高度逸脱傾向値	$F(1, 18)=8.89, p<0.01$			$t(11)=1.35, n.s.$
高度最大逸脱量	$F(1, 18)=6.20, p<0.01$			$t(12)=1.28, n.s.$
速度逸脱傾向値	$F(1, 18)=6.15, p<0.01$			$t(12)=0.70, n.s.$
速度最大逸脱量	$F(1, 18)=7.20, p<0.01$		$t(11)=0.52, n.s.$	
機首方位最大逸脱量	$F(1, 18)=31.14, p<0.01$		$t(11)=1.68, n.s.$	
高度逸脱傾向値	4		$F(1, 18)=13.16, p<0.01$	$t(10)=1.49, n.s.$
高度最大逸脱量			$F(1, 18)=8.08, p<0.01$	$t(11)=1.37, n.s.$
速度逸脱傾向値		$F(1, 18)=4.15, p<0.05$	$t(13)=0.79, n.s.$	
速度最大逸脱量		$F(1, 18)=4.40, p<0.05$	$t(13)=0.43, n.s.$	
機首方位逸脱傾向値	3	4	$F(1, 18)=0.42, n.s.$	$t(18)=1.74, p<0.05$
機首方位最大逸脱量			$F(1, 18)=0.06, p<0.01$	$t(10)=2.92, p<0.01$

表 4-3 技能習熟度評価指標値の実験進捗度ごとの平均比較

評価指標	実験進捗度ごとの平均		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	前半 (試行1, 2)	後半 (試行2, 3)		
高度逸脱傾向値(feet/msec)	72.7±70.7	37.2±27.1	$F(1, 9)=6.05, p<0.01$	$t(12)=1.83, n.s.$
高度最大逸脱量(feet)	177.3±143.6	101.6±66.2	$F(1, 9)=3.41, p<0.05$	$t(14)=1.92, p<0.05$
速度逸脱傾向値(kt/msec)	3.3±2.2	2.4±1.2	$F(1, 9)=3.52, p<0.05$	$t(14)=1.52, n.s.$
速度最大逸脱量(kt)	10.4±7.8	6.9±3.4	$F(1, 9)=3.40, p<0.05$	$t(14)=1.93, p<0.05$
機首方位逸脱傾向値(deg/msec)	8.6±3.4	7.5±2.7	$F(1, 9)=1.69, n.s.$	$t(18)=0.83, n.s.$
機首方位最大逸脱量(deg)	21.2±12.2	16.9±8.6	$F(1, 9)=3.70, p<0.05$	$t(13)=0.92, n.s.$

4.1.4 技能習熟度に関する群ごとの比較

実験参加者を技能習熟度ごとに分類することを目的として、下記の分析を行った。まず、実験参加者ごとに各評価指標値の平均を算出し、同平均を変数と

した階層クラスタ分析を行った。分析の結果、10名の実験参加者がA群（実験参加者：A, C, E, F, G, H, J）とB群（実験参加者：B, D, I）に分類された。

次に、上記の分析で抽出された二群間において、技能習熟度に差が生じているかを検討するために、実験進捗度ごとに逸脱傾向値および最大逸脱量の群平均を変数とした等分散の検定を行い、その結果を踏まえ差の検定を行った。実験進捗度前半における二群の比較では、等分散の検定において高度逸脱傾向値および機首方位の逸脱傾向値、最大逸脱量の平均間で有意差が認められ、差の検定では高度逸脱傾向値および最大逸脱量、機首方位逸脱傾向値の平均に有意差が認められた（表 4-4）。実験進捗度後半における二群の比較では、等分散の検定において高度最大逸脱量の平均間で有意差が認められ、差の検定では高度・速度の逸脱傾向値および最大逸脱量、機首方位の最大逸脱量の平均間で有意差が認められた（表 4-5）。

表 4-4 実験進捗度前半における技能習熟度評価指標値の群平均の比較

評価指標	群ごとの平均 (実験進捗度-前半)		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
高度逸脱傾向値(feet/msec)	41.3±21.2	145.9±31.3	$F(1, 8)=0.36, n.s.$	$t(8)=5.49, p<0.01$
高度最大逸脱量(feet)	118.3±50.9	315.0±54.5	$F(1, 8)=0.68, n.s.$	$t(8)=4.90, p<0.01$
速度逸脱傾向値(kt/msec)	2.8±1.1	4.3±1.9	$F(1, 8)=0.27, n.s.$	$t(8)=1.39, n.s.$
速度最大逸脱量(kt)	9.0±4.0	13.7±4.5	$F(1, 8)=0.61, n.s.$	$t(8)=1.49, n.s.$
機首方位逸脱傾向値(deg/msec)	6.9±1.2	12.5±2.1	$F(1, 8)=0.26, n.s.$	$t(8)=4.64, p<0.01$
機首方位最大逸脱量(deg)	14.7±4.6	34.5±11.3	$F(1, 8)=0.13, p<0.05$	$t(2)=2.40, n.s.$

4.2 飛行推移に関する分析

4.2.1 飛行推移の分析指標

実験参加者が水平直線飛行を実施している際の飛行推移傾向、および技能習熟度と飛行推移の関連性について検討することを目的とした分析を行った。水平直線飛行では、各飛行諸元値の維持・修正操作を継続的に行う必要があるため、各飛行諸元値は増減変動を繰り返しながら推移する。飛行推移に関する分

表 4-5 実験進捗度後半における技能習熟度評価指標値の群平均の比較

評価指標	群ごとの平均 (実験進捗度-後半)		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
高度逸脱傾向値(feet/msec)	23.9±7.5	68.4±8.9	$F(1, 8)=0.54, n.s.$	$t(8)=7.27, p<0.01$
高度最大逸脱量(feet)	69.8±17.9	175.6±44.5	$F(1, 8)=0.13, p<0.05$	$t(2)=3.27, p<0.05$
速度逸脱傾向値(kt/msec)	2.0±0.7	3.2±0.2	$F(1, 8)=5.82, n.s.$	$t(8)=2.72, p<0.05$
速度最大逸脱量(kt)	5.7±2.0	9.8±1.0	$F(1, 8)=3.31, n.s.$	$t(8)=3.04, p<0.01$
機首方位逸脱傾向値(deg/msec)	7.0±2.0	8.7±2.6	$F(1, 8)=0.48, n.s.$	$t(8)=0.99, n.s.$
機首方位最大逸脱量(deg)	14.3±4.3	22.0±6.0	$F(1, 8)=0.40, n.s.$	$t(8)=2.01, p<0.05$

析では、飛行諸元値の時間推移から、飛行諸元値が 500msec 以上継続して増加・減少している場合に、飛行諸元値が増加傾向あるいは減少傾向にあるとみなすこととした。また、上記の増減傾向が逆転する時点を転換点として抽出し、抽出された転換点の数を転換回数として増減変動の頻度に関する分析指標として用いることとした（図 4-6）。さらに、飛行諸元値の時間推移において、ある増減傾向の転換点から次の転換点までを一変動として、変動ごとの変動量および変動時間の平均を算出し、飛行推移の分析指標とした（図 4-6）。

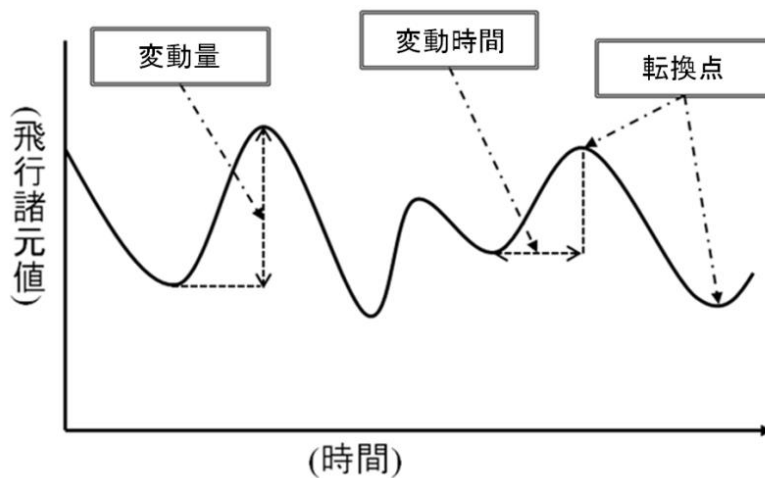


図 4-6 飛行推移分析における分析指標

4.2.2 飛行推移の分析指標値の比較

各飛行諸元値の増減変動の頻度に関する分析指標として飛行推移の転換回数を算出した（高度推移転換回数：24.0±4.2，速度推移転換回数：25.5±4.2，機首方位転換回数：11.0±3.0）。飛行推移における転換回数を説明変数とした一元配置分散分析では，平均の分散に有意差が認められ（ $F(2, 27)=38.70, p<0.01$ ），多重比較（Tukey 法）では，高度・速度推移の転換回数と機首方位推移の転換回数の平均に有意差が認められた（図 4-7，表 4-6）。

飛行諸元値の時間推移においてある増減傾向の転換点から次の転換点までを 1 変動として，変動ごとの変動量および変動時間を算出した（高度変動量：33.3±15.6feet，速度変動量：3.1±1.1kt，機首方位変動量：8.1±3.9deg，高度変動時間：10.8±1.9sec，速度変動時間：10.1±1.7sec，機首方位変動時間：29.6±11.4sec）。

飛行推移の変動時間を説明変数とした一元配置分散分析では，平均の分散に有意差が認められ（ $F(2, 27)=23.86, p<0.01$ ），多重比較（Tukey 法）では，高度・

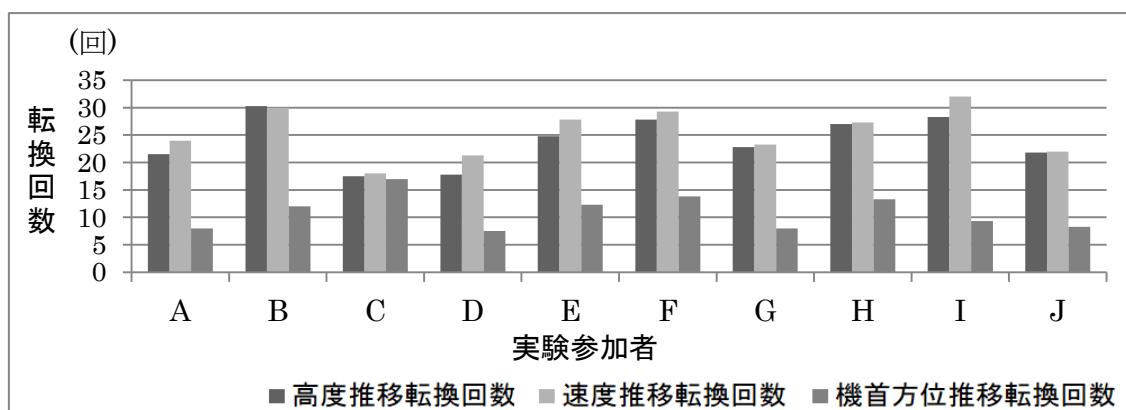


図 4-7 実験参加者ごとの増減傾向の転換回数

表 4-6 飛行推移における増減傾向の転換回数

従属変数		平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
(I)	(J)				下限	上限
高度推移 転換回数	速度推移 転換回数	-1.55	1.82	.674	-6.05	2.95
	機首方位推移 転換回数	13.00*	1.82	.000	8.50	17.50
速度推移 転換回数	機首方位推移 転換回数	14.55*	1.82	.000	10.05	19.05

*. 平均値の差は5%水準で有意

速度推移の変動時間と機首方位推移の変動時間の平均に有意差が認められた (図 4-8, 表 4-7).

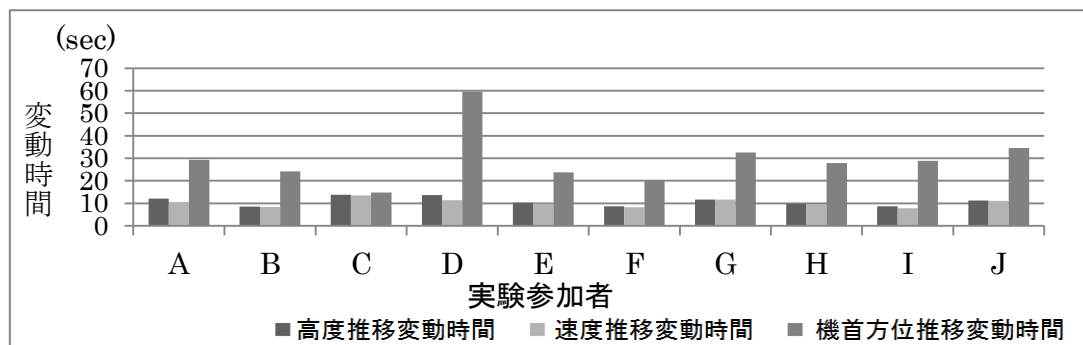


図 4-8 実験参加者ごとの変動時間平均の比較

表 4-7 飛行推移における変動時間の比較

従属変数		平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
(I)	(J)				下限	上限
高度推移変動時間	速度推移変動時間	.69	3.19	.975	-7.22	8.60
	機首方位推移変動時間	-18.72*	3.19	.000	-26.63	-10.82
速度推移変動時間	機首方位推移変動時間	-19.41*	3.19	.000	-27.32	-11.50

*. 平均値の差は5%水準で有意

4.2.3 技能習熟度と飛行推移の関連性分析

技能習熟度と飛行推移の関連性について検討を行うために、技能習熟度評価の評価指標値 (逸脱傾向値, 最大逸脱量) と飛行推移の分析指標値 (転換回数・変動量・変動時間) を変数とした相関分析を行った。分析の結果、高度推移における増減傾向の転換回数と高度・速度の逸脱傾向値、高度最大逸脱量に有意な正の相関が認められた (表 4-8)。また、速度推移における増減傾向の転換回数と高度・速度の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が認められた (表 4-8)。変動量に関する分析では、機首方位変動量と高度逸脱傾向値に有意な相関は見られなかったが、その他の変動量および逸脱傾向値、最大逸脱量に有意な正の相関が見られた (表 4-8)。変動時間に関する分析では、高度推移・

表 4-8 技能習熟度と飛行推移に関する相関係数

	高度 逸脱傾向値	高度 最大逸脱量	速度 逸脱傾向値	速度 最大逸脱量	機首方位 逸脱傾向値	機首方位 最大逸脱量
高度推移 転換回数	.314*	.334*	.346*	.306	.120	.012
速度推移 転換回数	.374*	.414**	.342*	.320*	.173	.103
機首方位推移 転換回数	-.213	-.245	-.248	-.294	-.257	-.245
高度推移 変動量	.677**	.734**	.581**	.647**	.662**	.740**
速度推移 変動量	.613**	.702**	.654**	.763**	.527**	.590**
機首方位推移 変動量	.294	.338*	.411**	.524**	.518**	.570**
高度推移 変動時間	-.285	-.296	-.370*	-.329*	-.090	.021
速度推移 変動時間	-.370*	-.397*	-.332*	-.309	-.231	-.151
機首方位推移 変動時間	.082	.132	.157	.272	.341*	.380*

*. 相関係数は 5%水準で有意 (両側)

** . 相関係数は 1%水準で有意 (両側)

における変動時間と速度の逸脱傾向値,最大逸脱量に有意な負の相関が見られ,速度推移における変動時間と高度・速度の逸脱傾向値および高度最大逸脱量に有意な負の相関が見られた。また,機首方位推移における変動時間と機首方位の逸脱傾向値,最大逸脱量に有意な正の相関が見られた(表 4-8)。

4.2.4 飛行推移に関する実験参加者ごとの比較

実験参加者間で飛行推移の傾向に違いが生じていないかを検討することを目的として,飛行推移に関する実験参加者ごとの比較を行った。実験参加者ごとに飛行推移の各分析指標値の4試行の平均を算出し(図 4-9, 図 4-10),一元配置分散分析を行った。分析の結果,高度および速度の変動量の平均の分散に有意差が認められた($F(9, 30)=6.52, p<0.01, F(9, 30)=2.86, p<0.05$)。次に,多重比較(Tukey法)では,実験参加者Dと他の実験参加者(A, B, C, E, F, G, H, I)の高度変動量の平均に有意差が認められ,実験参加者Dと実験参加者Aの速度変動量の平均にも有意差が認められた(表 4-9)。

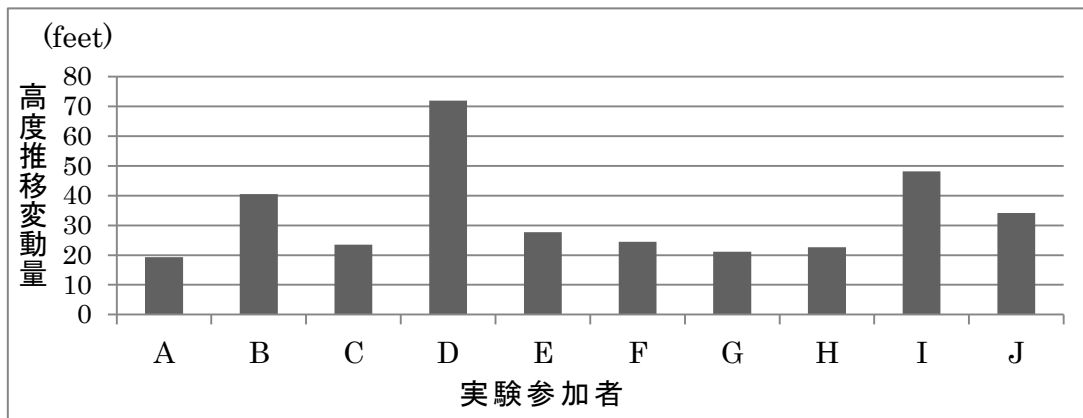


図 4-9 高度推移における変動量平均の実験参加者ごとの比較

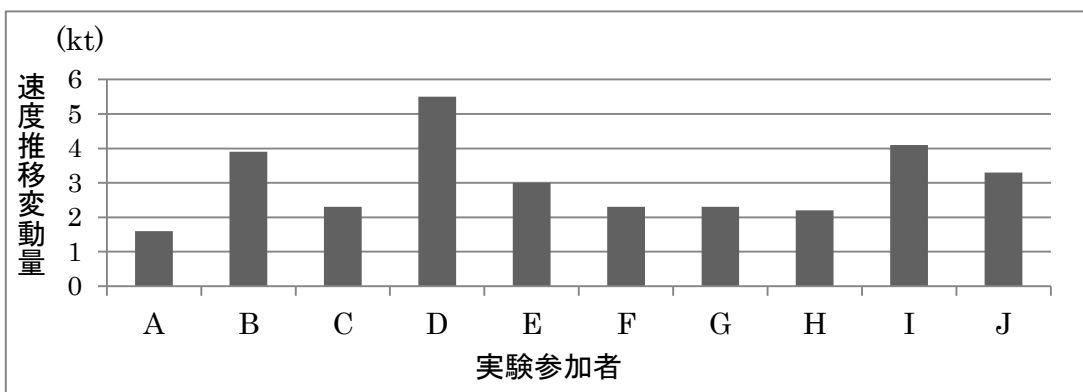


図 4-10 速度推移における変動量平均の実験参加者ごとの比較

表 4-9 飛行推移分析指標値の多重比較

従属変数	実験参加者 (I)	実験参加者 (J)	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
						下限	上限
高度推移変動量	D	A	52.6*	9.10	.000	21.59	83.66
		B	31.4*	9.10	.046	0.36	62.44
		C	48.4*	9.10	.000	17.40	79.48
		E	44.2*	9.10	.001	13.18	75.26
		F	47.4*	9.10	.000	16.40	78.48
		G	50.8*	9.10	.000	19.77	81.85
		H	49.3*	9.10	.000	18.25	80.33
		I	37.9*	9.10	.008	6.81	68.89
速度推移変動量	D	A	3.9*	.98	.013	0.55	7.25

*. 平均値の差は5%水準で有意

4.2.5 飛行推移に関する実験進捗度ごとの比較

本研究で実施された模擬飛行実験において、実験進捗度の違いによって、飛行推移に差が生じているかについての検討を行った。模擬飛行実験の試行ごとに算出した、飛行推移の分析指標値平均を変数として、等分散の検定および差の検定を行った。分析の結果、一部の分析指標値の平均において有意差が認められた（表 4-10）。次に、実験進捗度ごと（前半・後半）に飛行推移分析指標値の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を続けて行った。等分散の検定では、高度推移・速度推移における増減傾向の転換回数および機首方位変動量の平均間において有意差が認められた。続けて行った差の検定では、高度推移・速度推移・機首方位推移における増減傾向の転換回数および機首方位の変動量、高度・速度・機首方位の変動時間の平均間において有意差が認められた（表 4-11）。

表 4-10 飛行推移分析指標値の試行間平均の比較

従属変数	試行		平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
	試行(I)	試行(J)				下限	上限
高度推移 転換回数	1	4	8.8*	2.75	.014	1.40	16.20
機首方位推移 変動量	1	2	9.3*	2.96	.017	1.31	17.24
		3	11.6*	2.96	.002	3.64	19.57
		4	11.1*	2.96	.003	3.12	19.05
高度推移 変動時間	1	4	-3.6*	1.27	0.04	-7.01	-0.15
機首方位推移 変動時間	1	4	24.0*	8.52	0.04	1.00	46.91

*. 平均値の差は5%水準で有意

4.2.6 飛行推移に関する群ごとの比較

前述の技能習熟度に関する分析では、階層クラスタ分析によって技能習熟度が類似する実験参加者群（A, B 群）が抽出され、その後の分析では、二群の技能習熟度に差が生じていると評価された。飛行推移に関する群ごとの比較では、技能習熟度に差が生じていると評価された二群間で、飛行推移に違いが生

表 4-11 飛行推移分析指標値の実験進捗度ごと平均の比較

分析指標	実験進捗度ごとの平均		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	前半 (試行1, 2)	後半 (試行2, 3)		
高度推移 転換回数	26.8±6.7	21.1±3.6	$F(1, 9)=3.43, p<0.05$	$t(14)=2.22, p<0.05$
速度推移 転換回数	28.3±6.7	22.7±3.9	$F(1, 9)=2.99, n.s.$	$t(18)=2.20, p<0.05$
機首方位推移 転換回数	8.9±3.1	13.0±4.5	$F(1, 9)=0.49, n.s.$	$t(18)=2.22, p<0.05$
機首方位推移 変動量	11.4±6.8	4.7±2.0	$F(1, 9)=11.22, p<0.01$	$t(11)=2.82, p<0.01$
高度推移 変動時間	9.8±2.8	11.9±2.0	$F(1, 9)=1.89, n.s.$	$t(18)=1.88, p<0.05$
速度推移 変動時間	9.2±2.5	11.1±1.8	$F(1, 9)=2.03, n.s.$	$t(18)=1.83, p<0.05$
機首方位推移 変動時間	35.3±13.5	23.9±11.2	$F(1, 9)=1.45, n.s.$	$t(18)=1.95, p<0.05$

じているかについての検討を行った。実験参加者群ごとに飛行推移の分析指標値の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を続けて行った。分析の結果、実験進捗度前半では、速度変動量と機首方位変動量の平均間に有意差が認められた（表 4-12）。次に、実験進捗度後半では、いずれの分析指標値の平均間にも有意差は認められなかった。

表 4-12 実験進捗度前半における飛行推移分析指標値の群平均比較

評価指標	群ごとの平均 (実験進捗度-前半)		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
機首方位推移 転換回数	9.5±3.6	7.5±0.4	$F(1, 8)=59.3, p<0.05$	$t(6)=1.35, n.s.$
高度推移 変動量	26.3±6.4	55.6±14.3	$F(1, 8)=0.16, p<0.05$	$t(2)=2.81, n.s.$
速度推移 変動量	2.7±0.8	4.5±0.6	$F(1, 8)=1.23, n.s.$	$t(8)=3.20, p<0.01$
機首方位推移 変動量	8.8±4.4	17.5±7.7	$F(1, 8)=0.25, n.s.$	$t(8)=2.00, p<0.05$

4.3 認知課題に関する分析

4.3.1 技能習熟度と認知課題成績との比較・分析

(1) 単純反応時間課題に関する分析

単純反応時間課題の評価では、目標刺激が提示されてから回答入力が行われるまでに要する時間を反応時間とし、反応時間の平均を同課題の評価指標とし

た．多重入力の確認された試行に関しては，目標刺激の提示に対する適切な反応時間を計測することが不可能であることから，当該試行を反応時間の平均から除外した．単純反応時間課題における，反応時間の実験参加者全体の平均は $279.6 \pm 26.9 \text{ msec}$ であった．実験参加者ごとの比較では，単純反応時間の平均が全体から目立って逸脱していると評価された実験参加者はいなかった (Thompson, n.s.).

相関分析では，単純反応時間課題における反応時間と高度の逸脱傾向値および最大逸脱量に正の相関が見られた ($r=0.694, p<0.05, r=0.691, p<0.05$).

群ごとの比較では，A 群と B 群の反応時間の平均 (A 群： $266.5 \pm 20.5 \text{ msec}$ ，B 群： $310.0 \pm 10.5 \text{ msec}$) を変数とした等分散の検定を実施し，その結果を踏まえて差の検定を続けて行った．分析の結果，二群の反応時間の平均に有意差が認められた ($F(1, 8)=2.97, n.s., t(8)=3.11, p<0.01$).

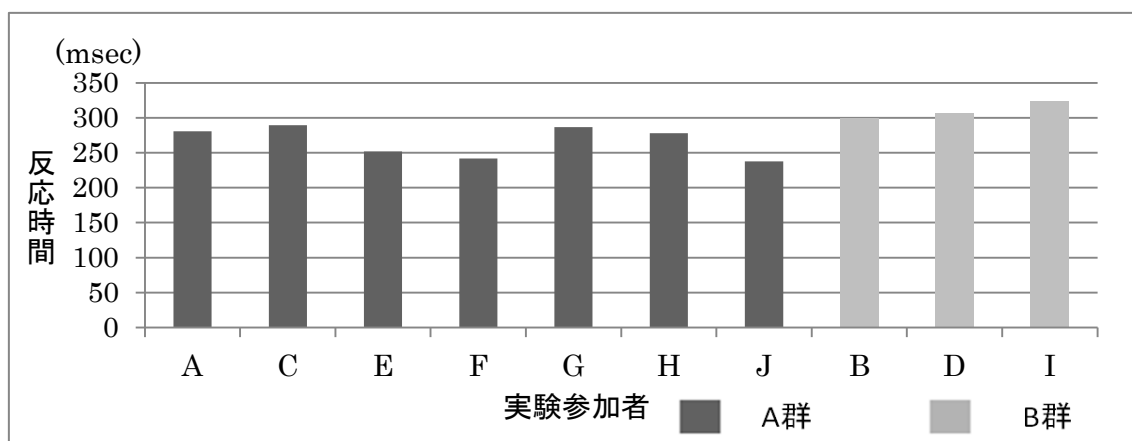


図 4-11 単純反応時間課題における反応時間の比較

(2) N-back 課題に関する分析

N-back 課題の評価では，正答率および反応時間（目標刺激が提示されてから回答入力が行われるまでの時間）の平均を，同課題の評価指標とした．多重入力および未入力の確認された試行に関しては，各試行の 1 回目の入力のみを有効な回答入力とみなし，当該試行を正答数の評価対象に含めることとした．ただし，多重入力および未入力の確認された試行では，目標刺激の提示に対する適切な反応時間を計測することが不可能であることから，当該試行を反応時間

の平均には含めなかった。N-back 課題における、正答率の全体平均は 80.8% (正答数平均 : 48.5 ± 10.3) で、反応時間の全体平均は $525.0 \pm 172.8 \text{ msec}$ であった (図 4-12, 図 4-13)。実験参加者ごとの比較では、正答率および反応時間平均が目立って逸脱していた実験参加者はいなかった (Thompson, *n.s.*)。

相関分析では同課題と、いずれの技能習熟度評価指標値に有意な相関は見られなかった。群ごとの比較では、A 群と B 群の N-back 課題における正答率の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析の結果、二群の正答率の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.81, n.s., t(8)=0.39, n.s.$)。次に、A 群と B 群の N-back 課題における反応時間の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析の結果、二群の反応時間の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.92, n.s., t(8)=0.75, n.s.$)。

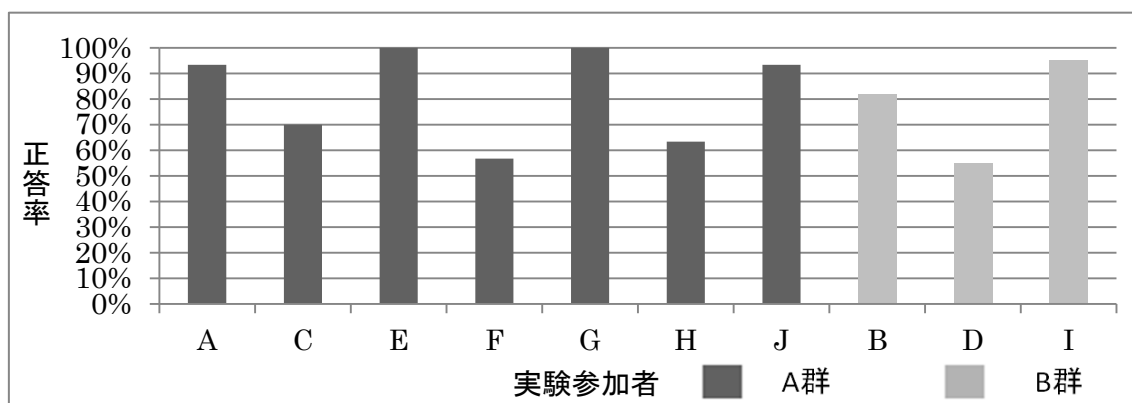


図 4-12 N-back 課題における正答率の比較

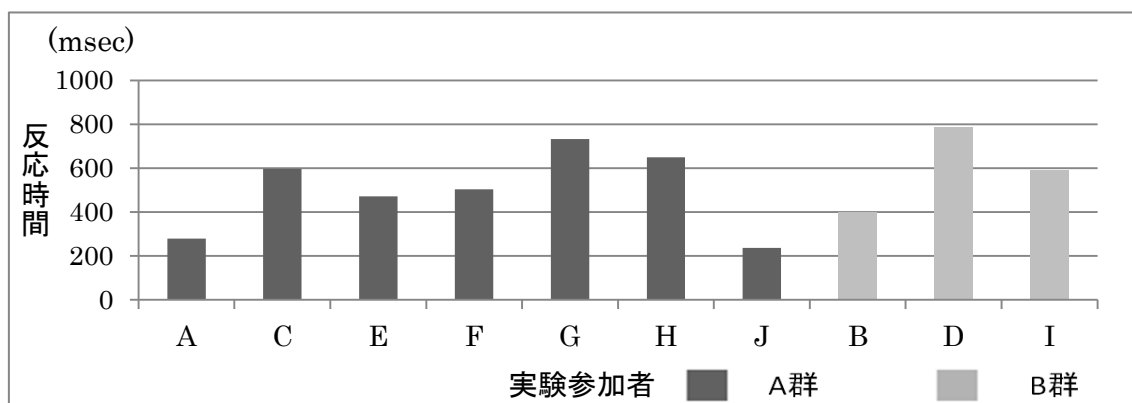


図 4-13 N-back 課題における反応時間の比較

(3) 心的回転課題に関する分析

心的回転課題の評価では、正答率および反応時間の平均を同課題の評価指標とした。多重入力および未入力の確認された試行に関しては、当該試行を正答数の評価対象に含めることとした。ただし、多重入力および未入力の確認された試行では目標刺激の提示に対する適切な反応時間を計測することが不可能であることから、多重入力および未入力の回答は反応時間の平均に含めなかった。

心的回転課題における正答率の全体平均は86.3%(正答数平均:51.8±4.2問)、反応時間の全体平均は3,408.2±366.8msecであった(図4-14, 図4-15)。実験参加者ごとの比較では、全体の中で正答数および反応時間の平均が目立って逸脱していた実験参加者はいなかった(Thompson, *n.s.*)。

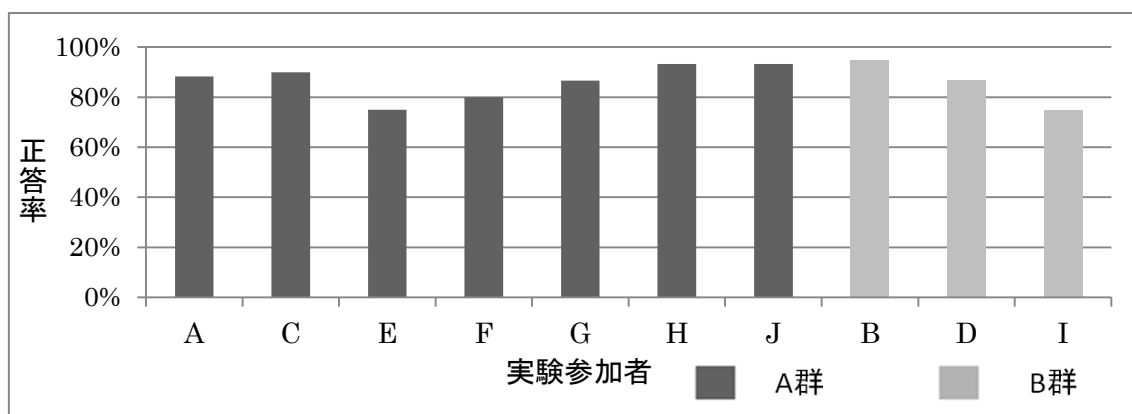


図 4-14 心的回転課題における正答率の比較

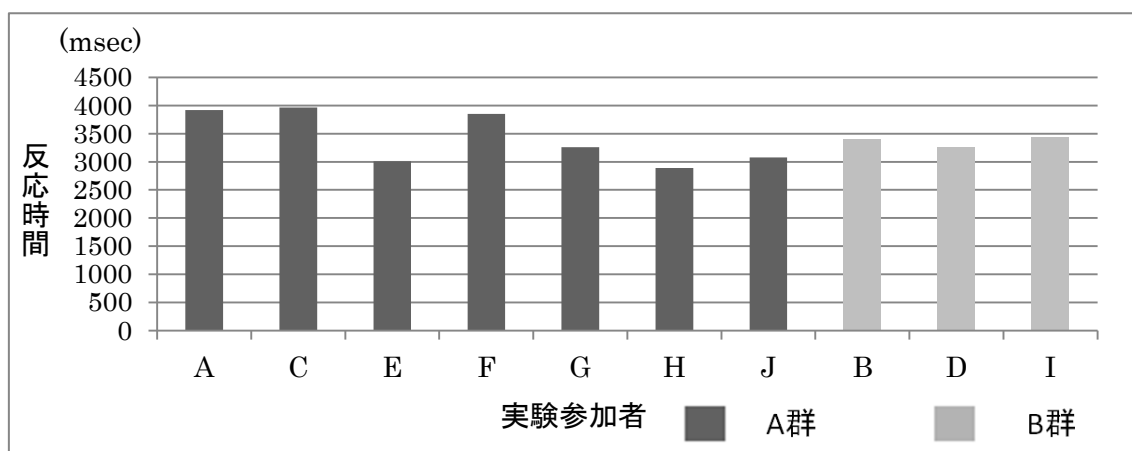


図 4-15 心的回転課題における反応時間の比較

回転角度差ごとの比較では、回転角度差の増加が反応時間および正答率へ及ぼす影響について検討した。回転角度差ごとの反応時間および正答率の平均を目的変数とし、回転角度差を説明変数とする一元配置分散分析を行った。分析の結果、反応時間の平均の分散に有意差が認められた ($F(2, 57)=41.03, p<0.01$, 30deg : 2,841msec, 90deg : 3,483msec, 150deg : 3,913msec)。多重比較 (Tukey 法) では、30-90deg 間・30-150deg 間・90-150deg 間で反応時間の平均に有意差が認められた (表 4-13)。また、回転角度差ごとの正答率の平均の分散に有意差が認められた ($F(2, 57)=8.59, p<0.01$)。多重比較 (Tukey 法) では、30-150deg 間および 90-150deg 間で、正答率の平均に有意差が認められた (表 4-14)。

相関分析では、高度・速度・機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量と心的回転課題の成績に有意な相関は見られなかった。群ごとの比較では、A 群と B 群の心的回転課題における正答率の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析の結果、二群の正答率の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.47, n.s., t(8)=0.21, n.s.$)。

群ごとの比較では、A 群と B 群の心的回転課題における反応時間の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析

表 4-13 回転角度差ごとの反応時間平均の多重比較

回転角度差 (I)	(J)	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
30	90	-642.11*	119.15	.000	-928.83	-355.40
	150	-1072.35*	119.15	.000	-1359.06	-785.63
90	150	-430.23*	119.15	.002	-716.95	-143.52

*. 平均値の差は5%水準で有意

表 4-14 回転角度差ごとの正答率平均の多重比較

回転角度差 (I)	(J)	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
30	90	.60	.42	.326	-0.40	1.60
	150	1.70*	.42	.000	0.70	2.70
90	150	1.10*	.42	.028	0.10	2.10

*. 平均値の差は5%水準で有意

の結果，二群の反応時間の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=25.7$, $p<0.05$, $t(8)=0.29$, $n.s.$) .

(4) トラッキング課題に関する分析

トラッキング課題の評価では，目標刺激の中心からカーソルの中心までの距離を追跡誤差とし，追跡誤差の時間平均を評価指標とした (図 4-16) . また，副次課題として実施された計算課題の正答率を同課題の評価指標とした . トラッキング課題における，追跡誤差の全体平均は $14.8\pm 2.7\text{mm}$ で，副次課題として行った計算課題の正答率の平均は 87.5% (正答数平均 : 17.5 ± 1.5 問) であった (図 4-17, 図 4-18) . 実験参加者ごとの比較では，全体の中で追跡誤差および計算課題の正答率が目立って逸脱していた実験参加者はいなかった (Thompson, $n.s.$) .

相関分析では，高度・速度・機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量とトラッキング課題のパフォーマンスに有意な相関は見られなかった . また，追跡誤差の平均と副次課題として行った計算課題の正答率に有意な負の相関が認められた ($r=-0.788$, $p<0.01$) .

群ごとの比較では，A 群と B 群のトラッキング課題における追跡誤差の平均を変数とした等分散の検定を実施し，その結果を踏まえて差の検定を行った . 分析の結果，二群の追跡誤差の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.47$, $n.s.$, $t(8)=1.55$, $n.s.$) . 次に，副次課題として行った計算課題の正答率の平均を

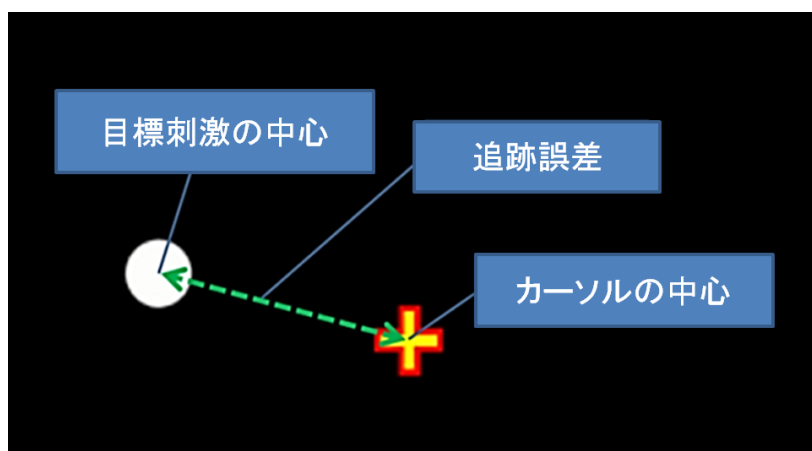


図 4-16 追跡誤差

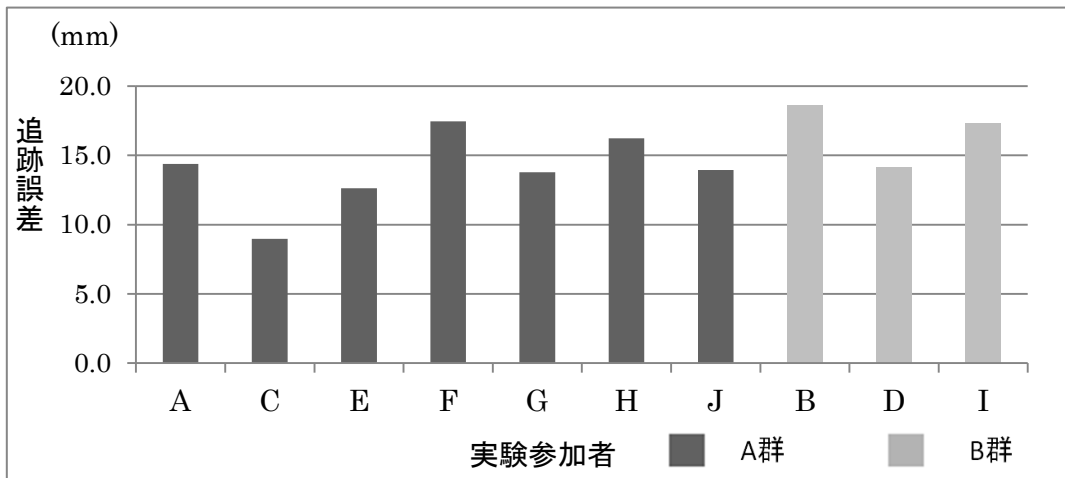


図 4-17 トラッキング課題における追跡誤差平均の比較

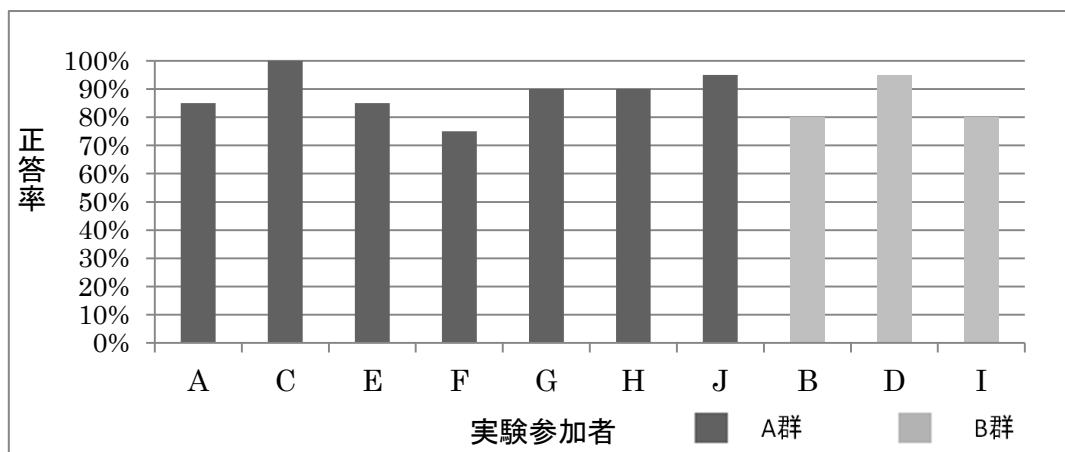


図 4-18 トラッキング課題における正答率平均の比較

変数とした等分散の検定を実施し，その結果を踏まえて差の検定を行った．分析の結果，二群の計算課題の正答率に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.86, n.s., t(8)=0.63, n.s.$)．

(5) 視覚探索課題に関する分析

視覚探索課題の評価では，課題開始から全ての目標刺激を消滅させるまでに要した時間を課題遂行時間として，同課題の評価指標とした．視覚探索課題における課題遂行時間の全体平均は，妨害刺激なし条件では $50.4 \pm 7.9 \text{sec}$ で，妨害刺激あり条件では $61.7 \pm 11.1 \text{sec}$ であった (図 4-19)．

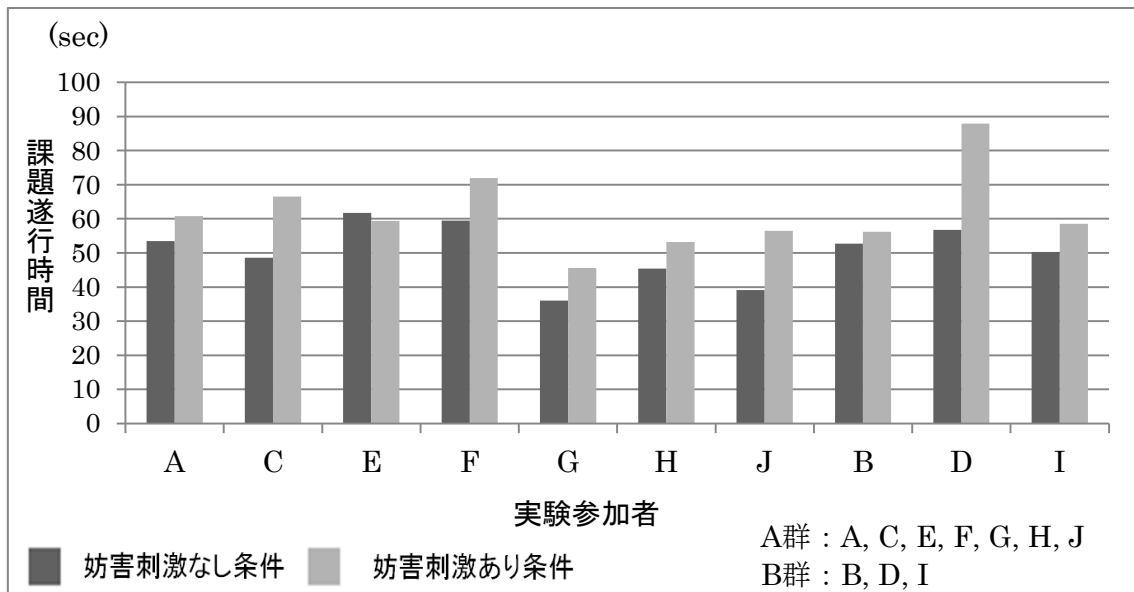


図 4-19 視覚探索課題における課題遂行時間の比較

実験参加者ごとの比較では、妨害刺激を提示した条件において、実験参加者 D（妨害刺激なし条件：56.8sec，妨害刺激あり条件：87.9sec）の課題遂行時間の平均が他の実験参加者よりも有意に長かったことが明らかとなった（Thompson, $p < 0.01$ ）。

2 条件間（妨害刺激なし条件，妨害刺激あり条件）の比較では、それぞれの条件における課題遂行時間の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析の結果、それぞれの条件における課題遂行時間の平均に有意差が認められた（ $F(1, 18) = 0.51, n.s., t(18) = 2.49, p < 0.05$ ）。

相関分析では、妨害刺激あり条件の視覚探索課題の遂行時間と機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に正の相関が認められた（ $r = 0.732, p < 0.05, r = 0.662, p < 0.05$ ）。

群ごとの比較では、条件ごとに課題遂行時間の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。妨害刺激なし条件では、A 群と B 群の視覚探索課題における課題遂行時間の平均に有意差は認められなかった（ $F(1, 8) = 8.95, n.s., t(8) = 0.70, n.s.$ ）。妨害刺激あり条件では、A 群と B 群の視覚探索課題における課題遂行時間の平均に有意差は認められなかった（ $F(1, 8) = 0.23, n.s., t(8) = 1.05, n.s.$ ）。

(6) 有効視野課題に関する分析

有効視野課題は、「視覚情報処理速度課題」「分割的注意課題」「選択的注意課題」の3課題で構成され、各課題において知覚閾値（適切に目標刺激を知覚することが出来る刺激提示時間の下限値）を測定し、同課題の評価指標とした。

視覚情報処理速度課題では、全ての実験参加者の知覚閾値が、同課題で測定可能な下限値（最短目標刺激提示時間：16msec）を記録しており、知覚閾値に有意差は見られなかった。また、実験参加者間の知覚閾値に差が見られなかったため、視覚情報処理速度課題における知覚閾値は、相関分析および群ごとの比較対象から除外された。

分割的注意課題では、実験参加者 D（B 群）を除く全ての実験参加者の知覚閾値が、同課題で測定可能な下限値（最短目標刺激提示時間：16msec）を記録しており、実験参加者 D の知覚閾値のみ 19msec であった。実験参加者ごとの比較では、分割的注意課題における知覚閾値が他の実験参加者よりも有意に長かった（Thompson, $p < 0.05$ ）。分割的注意課題では、前述の通り実験参加者 D の知覚閾値のみが他の実験参加者と異なっていたことから、相関分析および群ごとの比較対象から除外された。

選択的注意課題では、知覚閾値の平均は 36.7 ± 24.9 msec で（図 4-20）、実験参加者の中で同課題における知覚閾値に有意差が生じていた実験参加者は、実験参加者 D（79msec）と実験参加者 H（83msec）であった（Thompson, $p < 0.05$ ）。

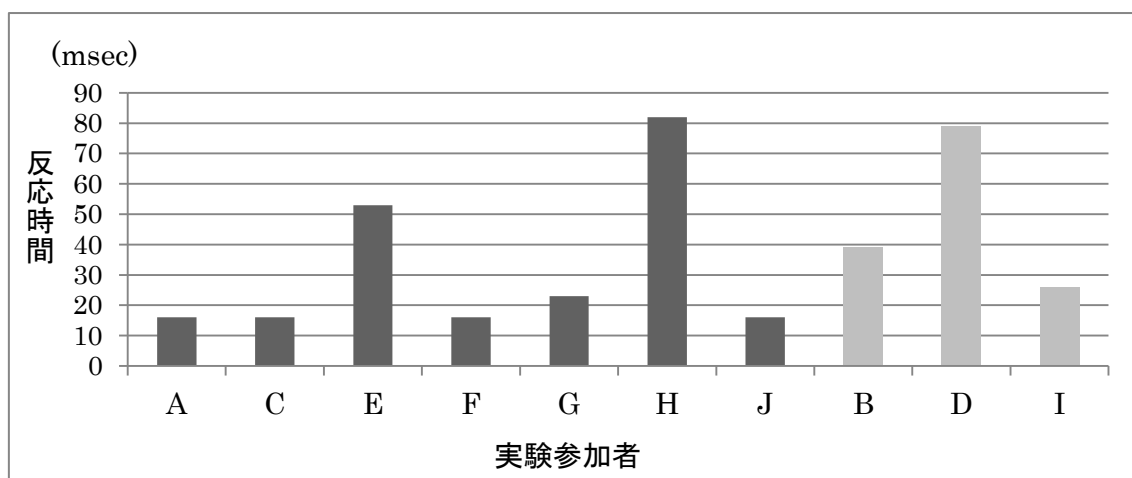


図 4-20 選択的注意課題における知覚閾値の比較

相関分析では選択的注意課題における知覚閾値と技能習熟度評価に有意な関連性は認められなかった。群ごとの比較では、A群とB群の選択的注意課題における知覚閾値の平均を変数とした等分散の検定を実施し、その結果を踏まえて差の検定を行った。分析の結果、選択的注意課題における二群の知覚閾値の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=0.70, n.s., t(8)=1.00, n.s.$)。

4.3.2 認知課題成績と飛行推移の比較・分析

認知課題成績と飛行推移の関連性について検討するための分析を行った。飛行推移の分析指標値（転換回数・変動量・変動時間）と各認知課題の評価指標値の4試行平均を変数として、相関分析を行った。有効視野課題として行った視覚情報処理速度課題および分割的注意課題に関しては、実験参加者の知覚閾値がほぼ同数であったため、分析対象から除外した。上記の分析の結果、視覚探索課題の妨害刺激あり条件における課題遂行時間と高度推移の変動量の間に関連のある正の相関が認められた ($r=0.635, p<0.05$, 表 4-15)。また、トラッキング

表 4-15 認知課題成績と飛行推移分析指標値の相関関係

		転換回数			変動量			変動時間		
		高度	速度	機首方位	高度	速度	機首方位	高度	速度	機首方位
単純反応時間課題	反応時間	-.010	.094	-.180	.509	.457	.539	.101	-.035	.286
N-back課題	正答率	.119	.143	-.405	-.293	-.187	-.081	-.119	-.045	-.185
	反応時間	-.186	-.117	.065	.344	.305	.610	.237	.219	.350
心的回転課題	正答率	-.179	-.437	.034	-.102	-.107	-.365	.262	.371	.082
	反応時間	-.204	-.179	.283	-.215	-.322	-.383	.197	.108	-.375
視覚探索課題	課題遂行時間 (妨害刺激なし)	.149	.342	.257	.253	.213	-.004	-.183	-.391	-.041
	課題遂行時間 (妨害刺激あり)	-.428	-.255	.026	.635*	.518	.285	.373	.124	.477
トラッキング課題	追跡誤差	.837**	.830**	-.233	.214	.222	.261	-.826**	-.897**	.071
	正答率 (副次課題)	-.835**	-.897**	.008	.094	.073	-.008	.851**	.918**	.305
有効視野課題	知覚閾値 (選択的注意課題)	0.56	0.55	0.24	0.17	0.25	-0.18	-0.57	-0.57	-0.17

*. 相関係数は 5%水準で有意 (両側)

** . 相関係数は 1%水準で有意 (両側)

課題における追跡誤差と高度・速度推移における増減傾向の転換回数・変動時間の間にも有意な相関が認められ（表 4-15），副次課題として行った計算課題の正答率と高度・速度推移における増減傾向の転換回数・変動時間の間にも有意な相関が認められた（表 4-15）。

4.4 自己評価に関する分析

4.4.1 自己評価の妥当性評価

実験参加者が行った自己評価結果と実測値（フライトデータ）の比較結果を用いて，自己評価の妥当性評価を行った．自己評価と実測値の誤差を評価指標として自己評価結果を，以下の基準で「妥当評価」「過小評価」「過大評価」のいずれかに分類した．自己評価の妥当性評価では，自己評価の結果が実測値と一致する場合には，「妥当評価」として分類した．さらに，実測値が自己評価の選択肢として設けられた値幅の閾値と近似する場合に，実測値と一致する選択肢を選ぶことが相対的に困難となることが想定された．そこで，実測値からの許容誤差範囲を設け（高度： $\pm 30\text{feet}$ ，速度： $\pm 2\text{kt}$ ，機首方位： $\pm 5\text{deg}$ ），許容誤差範囲内に自己評価として選択した値幅が含まれる場合も「妥当評価」として分類を行った（図 4-21）．自己評価が，前述の「妥当評価」に分類される条件に該当せず，実測値よりも技能習熟度の評価指標値が少なかった場合には，操縦パフォーマンスを実際よりも高く評価しているとみなして，「過大評価」に分類した．一方で実測値よりも技能習熟度の評価指標値が多かった場合には，「過小評価」として分類した．

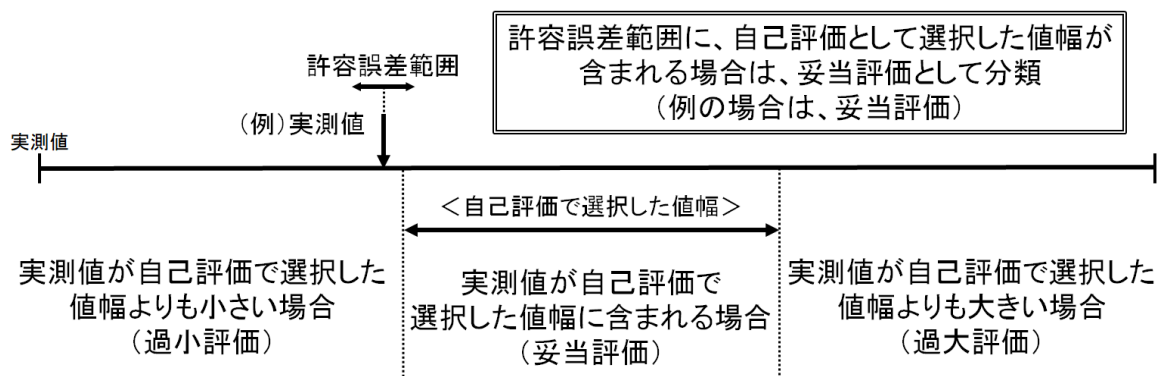


図 4-21 自己評価の妥当性評価

高度に関する自己評価では、「妥当評価」に該当する件数の割合が全体の約 68.8% (55 件), 「過小評価」に該当する件数の割合は約 23.8% (19 件), 「過大評価」に該当する件数の割合は 7.5% (6 件) であった (図 4-22).

速度に関する自己評価では、「妥当評価」の割合が全体の 60.0% (48 件), 「過小評価」の割合は約 26.3% (21 件), 「過大評価」の割合は約 13.8% (11 件) であった (図 4-22).

機首方位に関する自己評価では、「妥当評価」の割合が全体の 72.5% (58 件), 「過小評価」の割合は 10.0% (8 件), 「過大評価」の割合は 17.5% (14 件) であった (図 4-22).

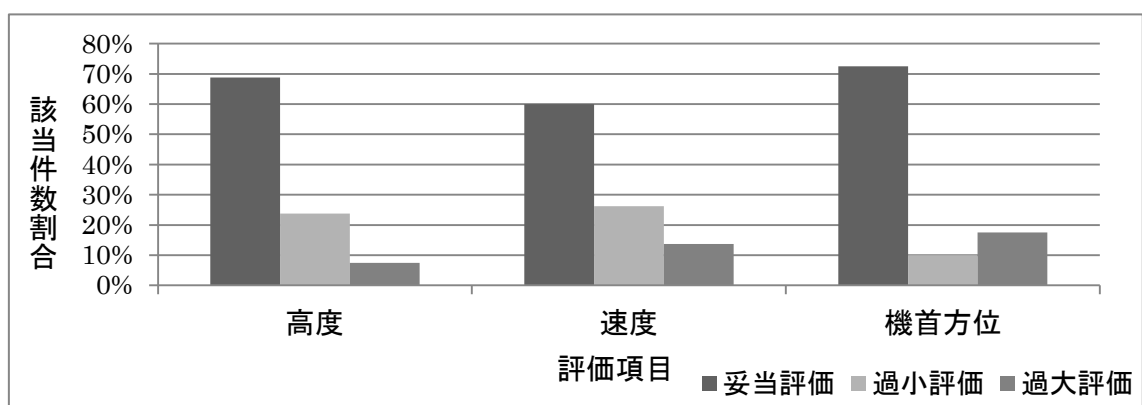


図 4-22 妥当性評価の該当件数割合

4.4.2 技能習熟度と自己評価の関連性分析

実験参加者ごとの技能習熟度と自己評価の妥当性評価の比較を行い、それらの関連性について検討した。模擬飛行実験の各試行 (4 試行) で、実験参加者ごとに算出された各評価指標値 (高度, 速度, 機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量) と、自己評価の妥当性評価において「妥当評価」「過大評価」「過小評価」のそれぞれに該当する評価件数を変数として相関分析を行った。

(1) 高度に関する自己評価と技能習熟度の比較

高度に関する自己評価での「妥当評価」の該当件数と機首方位逸脱傾向値に有意な負の相関がみられた (表 4-16)。また、高度に関する自己評価での「妥当評価」の該当件数と高度・速度・機首方位の最大逸脱量に有意な負の相関が

みられた（表 4-16）。

高度に関する自己評価での「過小評価」の該当件数と機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が見られた（ $r=0.683$, $p<0.05$, $r=0.810$, $p<0.01$, 表 4-16）。高度に関する自己評価での「過大評価」の該当件数と速度最大逸脱量に有意な正の相関が見られた（表 4-16）。

表 4-16 自己評価の妥当性評価と技能習熟度の相関関係

		高度		速度		機首方位	
		逸脱傾向値	最大逸脱量	逸脱傾向値	最大逸脱量	逸脱傾向値	最大逸脱量
高度	妥当評価	-.512	-.645*	-.507	-.636*	-.696*	-.850**
	過小評価	.379	.523	.309	.382	.683*	.810**
	過大評価	.453	.506	.542	.690*	.377	.493
速度	妥当評価	-.720*	-.719*	-.468	-.379	-.532	-.435
	過小評価	.493	.494	.393	.213	.316	.201
	過大評価	.763*	.760*	.340	.502	.667*	.669*
機首方位	妥当評価	-.214	-.252	-.217	-.093	-.257	-.276
	過小評価	.115	.162	.462	.228	-.153	-.045
	過大評価	.128	.117	-.318	-.175	.532	.417

**．相関係数は 1%水準で有意（両側）

*．相関係数は 5%水準で有意（両側）

(2) 速度に関する自己評価と技能習熟度の比較

速度に関する自己評価での「妥当評価」の該当件数と高度の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な負の相関が見られた（表 4-16）。速度に関する自己評価での「過小評価」の該当件数と、いずれの技能習熟度にも有意な相関は見られなかった。速度に関する自己評価での「過大評価」の該当件数と高度・機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が見られた（表 4-16）。

(3) 機首方位に関する自己評価と技能習熟度の比較

機首方位に関する自己評価の妥当性評価では、「妥当評価」「過小評価」「過大評価」の該当件数と、いずれの技能習熟度にも有意な相関は見られなかった（表 4-16）。

4.4.3 自己評価に関する群ごとの比較

模擬飛行実験の技能習熟度評価で技能習熟度に差が生じていると評価された二群間（A群，B群）において，自己評価の妥当性評価の結果に差が生じていないかについて検討した．自己評価の妥当性評価において「妥当評価」「過大評価」「過小評価」のそれぞれに該当する評価件数の群平均を変数とした等分散の検定を実施し，その結果を踏まえて差の検定を行った．

高度に関する自己評価の比較では，「妥当評価」該当件数の群平均に有意差が認められた（ $F(1, 8)=0.43, n.s, t(8)=2.09, p<0.05$ ，表 4-17）．また，二群の高度に関する自己評価で「過小評価」「過大評価」の該当件数平均に有意差は認められなかった（ $F(1, 8)=0.46, n.s, t(8)=1.78, n.s., F(1, 8)=0.43, n.s, t(8)=1.22, n.s.$ ）．

速度に関する自己評価での，二群の「妥当評価」の該当件数の平均に有意差が認められた（ $F(1, 8)=5.71, n.s, t(8)=3.59, p<0.01$ ，表 4-18）．また，二群の速度

表 4-17 高度に関する自己評価の群ごとの比較

従属変数	群ごとの平均		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
妥当評価の該当件数	6.0±0.9	4.3±1.2	$F(1, 8)=0.43, n.s.$	$t(8)=2.09, p<0.05$
過小評価の該当件数	1.6±0.7	2.7±0.9	$F(1, 8)=0.46, n.s.$	$t(8)=1.78, n.s.$
過大評価の該当件数	0.4±0.5	1.0±0.8	$F(1, 8)=0.43, n.s.$	$t(8)=1.22, n.s.$

表 4-18 速度に関する自己評価の群ごとの比較

従属変数	群ごとの平均		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
妥当評価の該当件数	5.7±1.3	2.7±0.5	$F(1, 8)=5.71, n.s.$	$t(8)=3.59, p<0.01$
過小評価の該当件数	1.6±1.5	3.3±0.5	$F(1, 8)=7.86, n.s.$	$t(8)=1.78, n.s.$
過大評価の該当件数	0.7±0.5	2.0±0.0	N/A	N/A

に関する自己評価で「過小評価」の該当件数平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=7.86, n.s, t(8)=1.78, n.s.$)。B群の速度に関する自己評価で「過大評価」の該当件数が同じであったため、「過大評価」の該当件数の平均の分散の検定および差の検定は行わなかった。

機首方位に関する自己評価での、二群の「妥当評価」「過小評価」「過大評価」の該当件数の平均に有意差は認められなかった ($F(1, 8)=3.81, n.s, t(8)=0.94, n.s, F(1, 8)=1.19, n.s, t(8)=0.22, n.s, F(1, 8)=2.14, n.s, t(8)=0.91, n.s,$ 表 4-19)。

表 4-19 機首方位に関する自己評価の群ごとの比較

従属変数	群ごとの平均		等分散の検定 (F検定)	差の検定 (t検定)
	A群 (A, C, E, F, G, H, J)	B群 (B, D, I)		
妥当評価の該当件数	6.1±1.8	5.0±0.8	$F(1, 8)=3.81, n.s.$	$t(8)=0.94, n.s.$
過小評価の該当件数	0.7±1.7	1.0±1.4	$F(1, 8)=1.19, n.s.$	$t(8)=0.22, n.s.$
過大評価の該当件数	1.1±1.6	2.0±0.8	$F(1, 8)=2.14, n.s.$	$t(8)=0.91, n.s.$

第 5 章 考察

5.1 技能習熟度に関する考察

5.1.1 実験参加者の技能習熟状況

実験進捗度ごとの比較では、高度・速度の逸脱傾向値および高度・速度・機首方位の最大逸脱量の平均の分散は、実験進捗度の前半と比較して実験進捗度の後半では有意に少なくなっており、高度および速度の最大逸脱量の平均間にも有意差が認められた（表 4-3）。これらの結果により、本研究で模擬飛行実験が繰り返し行われたことで、実験参加者の技能習熟度のばらつきが少なくなり、高度・速度に関する維持・修正に関する操縦技能の習熟が進展したことが確認された。

操縦士が最初に取得する自家用操縦士技能証明の実地試験細則では、「基本的な計器による飛行」の項目において水平直線飛行の実施が定められており、水平飛行時の飛行諸元を高度 $\pm 100\text{feet}$ 、速度 $\pm 10\text{kt}$ 、針路 $\pm 10\text{deg}$ 以内に維持することが同課題の合否判定基準となる（表 5-1）。上記の課題はフード⁹を着用している状態で計器飛行¹⁰を行うことが実施要領に含まれている。本研究で実施した水平直線飛行ではフードは着用しておらず、外部の目視が可能であったことから、飛行諸元の維持・修正に関する操縦負荷は少なかった。上記の判定基準と実験参加者の各飛行諸元の最大逸脱量を比較してみると、最後の試行では高度および速度の最大逸脱量に関しては、同判定基準に収まっていたが（高度最大逸脱量： $99.4\pm 61.6\text{feet}$ 、速度最大逸脱量： $7.1\pm 3.8\text{kt}$ ）、機首方位に関しては同判定基準に満たない結果となった。ただし、自家用操縦士の実地試験は、総飛行時間 40 時間（10 時間以上の単独飛行を含む）が受験の資格となっており、4 試行（約 3 時間）の模擬飛行実験における技能習熟状況としては妥当な結果であると考えられる。

⁹ 計器飛行の訓練に用いられる被い。フードの着用により、視野を制限し、模擬的に雲中状態とすることで、操縦計器のみに依存した飛行条件を再現するために使用される。

¹⁰ 航空機の姿勢、高度、位置、針路の測定を計器のみに依存して行う飛行をいう。

表 5-1 基本操作に関する実地試験細則（自家用操縦士）

科目	実施要領	判定基準
基本操作	<p>巡航形態で次の順序により一連の科目を行わせる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1分間の水平直線飛行 2. 右又は左の180度水平旋回 3. 500フィートの上昇又は降下 <p>(注) 気象状態等により必要と認められる場合は、科目の順序を変更することができる。</p>	<p>飛行中の諸元は、 高度は±100フィート 速度は±10ノット 針路は±10度(水平直線飛行時) ±20度(旋回停止時)</p> <p>以内の変化であること。</p>

5.1.2 実験参加者の技能習熟度差

本実験に参加した実験参加者は、過去に操縦適性検査および操縦訓練の経験が無い一般の大学生であったため、飛行課題を実施するための初期技能にどの程度のばらつきが生じているかは不明であった。技能習熟度評価における実験参加者ごとの比較では、実験参加者 D と他の実験参加者 (A, C, E, G, H) の機首方位逸脱傾向値の平均に有意差が認められ、実験参加者 D と他の実験参加者 (A, C, E, F, G, H, J) の機首方位最大逸脱量の平均にも有意差が認められた (表 4-1)。上記の結果は、実験参加者 D が他の実験参加者と比較して、機首方位の維持・修正に関する操縦操作を適切に行えていなかったことを示している。

実験参加者を技能習熟度ごとに分類することを目的として、実験参加者ごとに各評価指標値の平均を算出し、同平均を変数とした階層クラスタ分析を行い、抽出された実験参加者群ごとに技能習熟度の比較を行った。分析の結果、技能習熟度に差が生じている可能性のある二群 (A, B 群) の実験参加者群が抽出され、A 群の実験参加者の方が B 群の実験参加者よりも、技能習熟度が高かったことが明らかとなった。

5.2 飛行推移に関する考察

5.2.1 飛行推移の変化傾向

高度・速度の飛行推移に関する試行ごとの比較では、高度推移における転換回数の全体平均が 1 回目の試行と比較して 4 回目の試行の方が有意に少なかったことが明らかとなった (1 回目: 28.8 ± 7.6 回, 4 回目: 20.0 ± 4.5 回)。飛行推移の実験進捗度ごとの比較では、高度推移・速度推移における転換回数の平均

が、実験進捗度前半（高度：26.8±6.7 回，速度：28.3±6.7 回）と比較して実験進捗度後半（高度：21.1±3.6 回，速度：22.7±3.9 回）の方が有意に少なくなっていた。また、高度推移・速度推移の変動時間の平均は、実験進捗度前半（高度：9.0±2.4sec，速度：8.4±1.8sec）と比較して実験進捗度後半（高度：11.7±2.0sec，速度：10.9±1.7sec）の方が有意に長くなっていた。上記の結果より、実験の進捗に伴って、水平直線飛行実施時における高度および速度の増減変動の頻度が少なくなっていたことが明らかとなった。技能習熟度と飛行推移の比較では、高度推移における増減傾向の転換回数と高度・速度の逸脱傾向値、高度最大逸脱量に有意な正の相関が認められ、速度推移における増減傾向の転換回数と高度・速度の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が認められた(表 4-8)。また、技能習熟度に関する分析結果では、実験進捗度の前半と後半で高度および速度の最大逸脱量の平均間に有意差が認められた。上記の結果は、水平直線飛行において高度・速度の維持に関する操縦技能が習熟したことにより、高度・速度の修正操作を行う頻度が減少したものと考察された。

機首方位の飛行推移に関する実験進捗度ごとの比較では、機首方位推移における転換回数の平均が、実験進捗度前半（8.9±3.1 回）と比較して実験進捗度後半（13.0±4.5 回）の方が有意に多くなっていた。また、機首方位の変動量および変動時間の平均は、実験進捗度前半（変動量：11.4±6.8deg，変動時間：35.3±13.5sec）と比較して実験進捗度後半（変動量：4.7±2.0deg，変動時間：23.9±11.2sec）の方が有意に少なくなっていた。上記より、実験の進捗に伴って、水平直線飛行実施時における機首方位の変動頻度が多くなっていたことが明らかとなった。飛行推移の分析指標値ごとの比較では、高度・速度推移の転換回数と機首方位推移の転換回数の平均に有意差が認められ(図 4-7，表 4-6)、高度・速度推移の変動時間と機首方位推移の変動時間の平均に有意差が認められた(図 4-8，表 4-7)。こうした結果は、本研究で実施された水平直線飛行において、高度および速度の維持・修正に関する操縦負荷が機首方位の維持・修正操作に関する操縦負荷と比較して相対的に高かったことを示している。

5.2.2 技能習熟度と飛行推移の比較

技能習熟度評価における実験参加者ごとの比較では、実験参加者 D と他の実

験参加者（A, C, E, G, H）の機首方位逸脱傾向値の平均に有意差が認められ、実験参加者 D と他の実験参加者（A, C, E, F, G, H, J）の機首方位最大逸脱量の平均にも有意差が認められた（表 4-1）。上記の結果は、実験参加者 D が他の実験参加者と比較して、機首方位の維持・修正に関する操縦操作を適切に行えていなかったことを示している。また、飛行推移の比較では、実験参加者 D と他の実験参加者（A, B, C, E, F, G, H, I）の高度変動量平均に有意差が認められ、速度変動量平均の差が最も大きかった実験参加者 A・D 間で有意差が認められる結果となった（表 4-9）。上記の結果は、実験参加者 D の高度・速度の各変動における変動量が目立って大きかったことを示している。

航空機の飛行特性として、ピッチ角の増減が昇降率および高度、速度の増減に影響を与えることから、高度の維持・修正操作が適切に行われている場合には、速度の増減傾向が小さくなる。技能習熟度と飛行推移に関する相関分析では、高度および速度の評価指標値と転換回数、変動量の間に関連が認められた。上記の結果は、高度・速度に関する技能習熟度が高い実験参加者ほど、高度および速度の増減変動の回数と各変動における変動量が少なかったことを示している。また、高度逸脱傾向値を除く高度・速度の評価指標値と機首方位の変動量の間に関連が認められた。こうした結果は、高度に関する維持・修正操作の技能習熟度が高いほど、機首方位の各変動における変動量が少なくなる傾向を示している。このような傾向が見られた要因には、操縦行動が多重課題的特性を持つことが関連しているものと考えられる。航空機の操縦では、複数の操縦操作を並列的に行わなければならない。本実験で実施された水平直線飛行では、高度維持・修正に関する操縦負荷が相対的に高く、優先的に実行されたのではないかと推測される。

実験参加者 D の場合には、高度および速度の逸脱傾向値および最大逸脱量は他の実験参加者から目立って逸脱していなかったが、高度および速度の変動量が他の実験参加者よりも有意に大きく、高度の維持・修正操作が他の実験参加者よりも相対的に安定していなかった。高度の維持・修正操作に多くの注意資源を割かなければならず、機首方位の維持・修正操作が適切に行われなかった可能性があると考えられた。

飛行推移に関する実験参加者群ごとの比較では、実験進捗度前半において二

群の速度変動量の平均（A 群：2.7±0.8kt，B 群：4.5±0.6kt）と，機首方位変動量の平均（A 群：8.8±4.4deg，B 群：17.5±7.7deg）に有意差が認められたが，実験進捗度後半では，二群の飛行推移に有意差が認められなかった．上記の結果から，模擬飛行実験の進捗に伴って，二群の飛行推移の傾向に差が少なくなっていたことが明らかとなった．

5.3 認知課題実験に関する考察

5.3.1 心的回転課題における回転角度差ごとの比較

回転角度差ごとの比較では，回転角度差の増加が反応時間および正答率へ及ぼす影響について検討した．同比較では，回転角度差ごとの反応時間を目的変数とし，回転角度差を説明変数とする一元配置分散分析を行った結果，反応時間の平均の分散に有意差が認められた ($F(2, 57)=41.03, p<0.01, 30\text{deg}: 2,841\text{msec}, 90\text{deg}: 3,483\text{msec}, 150\text{deg}: 3,913\text{msec}$)．続けて行った多重比較（Tukey 法）では，30-90deg 間・30-150deg 間・90-150deg 間で反応時間の平均に有意差が認められた（表 4-13）．次に，回転角度差ごとの正答率を目的変数とし，回転角度差を説明変数とする一元配置分散分析を行った結果，回転角度差ごとの正答率の平均の分散に有意差が認められた ($F(2, 57)=8.59, p<0.01$)．続けて行った多重比較（Tukey 法）では，30-150deg 間および 90-150deg 間で，正答率の平均に有意差が認められた（表 4-14）．上記の結果から，Shepard ら（1971）が行った実験⁽³⁴⁾と同様に，回転角度差の増加により，心的回転に関わる認知負荷が高くなっていたことが示唆された．

5.3.2 技能習熟度と単純反応時間課題成績の比較

技能習熟度と単純反応時間課題成績の比較では，同課題の反応時間と高度の逸脱傾向値，最大逸脱量に有意な正の相関が見られた ($r=0.694, p<0.05, r=0.691, p<0.05$)，高度に関する技能習熟度が低い実験参加者ほど，単純反応時間課題における反応時間が長かったことが明らかとなった．群ごとの比較では，A 群と B 群の同課題の反応時間の平均に有意差が認められ ($t(8)=3.11, p<0.01$)，二群の技能習熟度に差が生じた要因に，単純反応時間課題に関わる認知処理能力が関連している可能性が示唆された．

5.3.3 技能習熟度と視覚探索課題成績および有効視野課題成績の比較

視覚探索課題に関する条件間の比較では、妨害刺激なし条件と妨害刺激あり条件で、課題遂行時間の平均に有意差が認められた ($t(18)=2.49, p<0.05$)。また、2条件間における、連続する目標刺激間の平均距離には有意差が認められず ($F(1, 38)=0.98, n.s., t(76)=0.98, n.s.$)、視覚探索課題において実験参加者が行うマウス操作の作業負荷に有意な差は無いことから、独立変数として提示した妨害刺激が課題遂行時間に影響を与えていたことが示唆された。

相関分析では、妨害刺激あり条件の課題遂行時間と機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に正の相関が見られ ($r=0.732, p<0.05, r=0.662, p<0.05$)、機首方位の維持・修正操作に関する技能習熟度が低い実験参加者ほど、視覚探索課題における課題遂行時間が長かったことが明らかとなった。

視覚探索課題に関する実験参加者ごとの比較では、視覚探索課題で妨害刺激あり条件において、実験参加者 D (B 群) の課題遂行時間が他の実験参加者よりも有意に長かったが、妨害刺激なし条件では、実験参加者 D と他の実験参加者の課題遂行時間に有意な差が見られなかった。実験参加者 D に関しては、有効視野課題として実施された「選択的注意課題」においても、他の実験参加者よりも知覚閾値が長かったことが確認された。視覚探索課題では、選択的注意の範囲を逐次的に移動させることで視覚探索を行う必要があり、実験参加者 D と他の実験参加者で上記の認知課題成績に有意差が見られた要因に選択的注意が関連している可能性が示唆された。

5.3.4 認知課題成績と飛行推移の比較

認知課題成績と飛行推移の比較では、トラッキング課題における追跡誤差と高度・速度推移における転換回数間に有意な相関が認められ ($r=0.837, p<0.01, r=0.830, p<0.01$)、副次課題として行った計算課題の正答率と高度・速度推移における転換回数間に負の相関が認められた ($r=-0.835, p<0.01, r=-0.897, p<0.01$, 表 4-15)。上記の結果は、トラッキング課題成績が高かった実験参加者ほど高度・速度の増減頻度が少なく、副次課題として行った計算課題の正答率が高かったことを示している。

水平直線飛行実施中に高度を維持するためには、エレベータ操作でピッチ角

の調節を行う必要がある。エレベータ操作が行われてからピッチ角が変動開始するまでには多少の時間差があり、またエレベータ操作によりピッチ角変動が開始してからその変動が収まるまで数秒から数十秒単位の時間がかかる。したがって、操縦者はピッチ角の変動傾向を予測しながら、繊細なエレベータ操作を行う必要がある。そのような操縦行動には知覚系と身体運動系の協調である知覚運動協応に関わる特性が少なからず含まれており、トラッキング課題成績との関連性が見られた可能性があると考えられた。

5.4 技能習熟度と自己評価の関連性

技能習熟度と自己評価に関する相関分析では、高度に関する自己評価での「妥当評価」の該当件数と機首方位逸脱傾向値に有意な負の相関が認められ ($r=-0.696, p<0.05$)、高度に関する自己評価での「過小評価」の該当件数と機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が見られた ($r=0.683, p<0.05, r=0.810, p<0.01$)。また、高度に関する自己評価での「過大評価」の該当件数と速度最大逸脱量に有意な正の相関が見られた ($r=0.690, p<0.05$)。次に、速度に関する自己評価での「妥当評価」の該当件数と高度の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な負の相関が見られ ($r=-0.720, p<0.05, r=-0.719, p<0.05$)、「過大評価」の該当件数と高度・機首方位の逸脱傾向値および最大逸脱量に有意な正の相関が見られた (高度: $r=0.763, p<0.05, r=0.760, p<0.05$, 機首方位: $r=0.667, p<0.05, r=0.669, p<0.05$)。上記の分析結果より、高度・速度の維持・修正操作に関する技能習熟度の高い実験参加者ほど、自己評価の妥当性が高い傾向が示唆された。

自己評価に関する群ごとの比較では、技能習熟度評価において技能習熟度に差が生じていた二群間において、高度に関する自己評価における「妥当評価」該当件数の群平均に有意差が認められ ($t(8)=2.09, p<0.05$, 表 4-17)、速度に関する自己評価における「妥当評価」の該当件数の平均に有意差が認められた ($t(8)=3.59, p<0.01$, 表 4-18)。上記の結果より、技能習熟度に差が生じていると評価された二群間において、自己評価の妥当性にも差が生じていたことが明らかとなった。

第6章 結言

6.1 操縦行動と操縦負荷の関連性

本研究ではフライトデータを用いた技能習熟評価および分析方法を用いることで、未熟練者の操縦行動の特性についての検討が行われた。飛行推移に関する分析では、模擬飛行実験の進捗に伴って、高度・速度の変動頻度は減少し、機首方位の変動頻度は増加していたことが確認された。また、飛行推移の分析指標値ごとの比較では、高度および速度の維持・修正に関する操縦負荷が機首方位の維持・修正操作に関する操縦負荷と比較して相対的に高かったことが確認された。本研究の模擬飛行実験では、特定の操縦操作を優先的に行う旨の教示は行われておらず、操縦負荷が操縦操作を行う優先度に影響を与えている可能性が示唆された。上記の結果は、多重課題的特性を有する操縦行動を理解する上で重要な知見となる可能性がある。航空機の操縦では、飛行の目的や状況によって、各操縦操作の操縦負荷が変化する。操縦負荷が操縦操作を行う優先度に影響を与えるのであれば、操縦負荷の変化に伴って操縦者によって行われる操縦行動の傾向にも変化が生じる可能性がある。したがって、ヒューマンエラーの発生要因を追求する上で、操縦者が行っていた操縦操作の操縦負荷を正確に評価することが出来なければ、ヒューマンエラー発生時の状況を的確に再現することが困難となり得る。操縦負荷と操縦行動の関連性を明らかにすることが可能となれば、事故調査におけるヒューマンエラー発生時の再現精度の向上に資する新たな知見を得られる可能性がある。

6.2 操縦適性に関する今後の課題

本研究では、基礎的操縦技能の獲得に関連する操縦適性についての検討を行うために、技能習熟度と認知課題成績の比較を行った。技能習熟度と単純反応時間課題成績の比較では、高度に関する技能習熟度が低い実験参加者ほど、単純反応時間課題における反応時間が長かったことが明らかとなった。また、群ごとの比較では、二群の技能習熟度に差が生じた要因に、単純反応時間課題に関わる認知処理能力が関連している可能性が示唆された。次に、技能習熟度と

視覚探索課題成績の比較では、機首方位の維持・修正操作に関する技能習熟度が低い実験参加者ほど、視覚探索課題における課題遂行時間が長かったことが明らかとなった。視覚探索課題および有効視野課題（選択的注意課題）に関する実験参加者ごとの比較では、実験参加者 D と他の実験参加者の課題成績に有意差が見られ、その要因に選択的注意が関連している可能性が示唆された。実験参加者 D に関しては、視覚探索課題成績との有意な相関関係が確認された機首方位の維持・修正に関する技能習熟度が低かったことが、技能習熟度に関する分析で確認された。航空機の操縦では、スキヤニング（Scanning）と呼ばれる能動的な巡視を行うことで、複数の操縦計器から必要な情報を取得し操縦操作に反映するため、その過程で選択的注意がスキヤニングの精度や速度に関連している可能性がある。操縦者がどのようにスキヤニングを行っているかについて把握するには、操縦者の特定の注視対象への注視時間や注視回数、注視順序などの注視行動を明らかにする必要がある。今後の研究において、選択的注意に関わる認知課題成績に差が生じている操縦者間で、注視行動に差が生じているかを比較することで、選択的注意とスキヤニングの関連性について把握することが可能となれば、操縦行動の一部であるスキヤニングに関する新たな知見が得られる可能性があるため、今後は注視行動の測定・分析手法を含めた検討が必要となる。

認知課題成績と飛行推移の比較では、トラッキング課題における追跡誤差と高度・速度推移における転換回数間に有意な相関が認められた一方で、機首方位推移における転換回数とトラッキング課題成績の間には有意な関連性が見られなかった。その要因には、各操縦操作にかかる操縦負荷の違いが関与している可能性がある。水平直線飛行実施中に一定の針路を維持するためには、バンク角の変動傾向を予測しながら、繊細なエルロン操作を行う必要がある。このような操作は、エレベータ操作と同様に知覚系と身体運動系の協調である知覚運動協応に関わる特性を含んでいると考えられる。しかし、飛行推移の分析指標の比較では、高度推移・速度推移における転換回数よりも、機首方位推移における転換回数の方が有意に少なく、水平直線飛行実施時のエレベータ操作とエルロン操作の操縦負荷に差が生じていると考察された。本研究では、相対的に操縦負荷の高かった高度の維持・修正操作に関する技能習熟度とトラッ

キング課題成績との関連性が顕著に見られた可能性が考えられる。

本研究では、前述のように技能習熟度と一部の認知課題成績の間に関連性が確認され、本研究で実施された一部の認知課題を操縦適性の測定方法として取り入れることが有効である可能性が示唆された。今後の研究において、操縦適性検査の予測妥当性や訓練効果・効率の向上についての検討をより進めるためには、上記のような技能習熟度と認知課題成績の関連性が見られた要因を更に追求していく必要があり、それには操縦行動と認知処理能力の関連性を明らかにすることが有効であると考えられる。本研究で行った認知課題実験の結果から、実験参加者の情報処理過程を評価することは難しく、操縦行動と認知処理能力の関連性を明らかにするには、操縦時や認知課題実施時の情報処理過程に焦点を当てた研究へと発展させる必要がある。ヒトの情報処理過程を把握することを目的として、事象関連電位（event-related potential：ERP）が分析指標として用いられることがある。事象関連電位は感覚に対する脳内の情報処理過程に関連して生じる内因性電位のことで、刺激に対する比較、評価、判断、選択的注意、認知文脈の更新に関与しているとされている⁽³⁷⁾。操縦時や認知課題実施時の事象関連電位を測定・比較することで、本研究では確認することが出来なかった認知処理過程や技能習熟度と認知処理能力の関連性について把握することが可能となれば、操縦適性検査の予測妥当性や訓練効果・効率の向上に資する知見を得ることが出来る可能性がある。しかし、操縦環境では振動などによる外部性ノイズが事象関連電位測定障害となることが想定されるため、今後は事象関連電位の測定・分析手法を含めた検討が必要となる。

6.3 フライトデータの活用可能性について

実際の訓練環境において、フライトデータを教育的に活用する場面もあるが、未だ限定的な活用に留まっている。国土交通省は、小型航空機に係る総合的な安全対策推進の一環として、簡易型飛行記録装置によって得られたフライトデータを訓練・技量審査などに活用することの効果と課題について検討を進めている⁽²⁹⁾。今後は、訓練現場におけるフライトデータの実践的な活用法を見つけ出すことが簡易型飛行記録装置の普及促進の重要な鍵となる。そういった背景のなか、本研究で得られた下記の成果は、技能習熟評価や操縦行動の分析にフ

ライトデータを用いることの有効性を示すものであり、訓練・教育の現場におけるフライトデータの活用可能性を押し広げるための基礎的データに位置づけられる。

本研究では、フライトデータを用いた技能習熟度評価および飛行推移の分析では、多重課題的特性を有する操縦行動を理解する上で有用な操縦負荷と操縦行動に関する知見が得られ、ヒューマンエラー防止対策について検討を行う上で、操縦負荷と操縦行動の関連性を明らかにすることの重要性が示唆された。フライトデータを用いた技能習熟度評価では、技能習熟度の類似する実験参加者群の抽出を目的としてフライトデータを用いた階層クラスタ分析を実施し、分析の結果、技能習熟度の類似する実験参加者群（A、B 群）が抽出された。その後の分析では、上記で抽出された2群間において、基本的な操縦操作に関する技能習熟度に差が生じていたことが明らかとなった。2018年に行われた小型航空機等に係る安全推進委員会では、特定操縦技能審査¹¹において技能審査員によって審査内容にバラツキがあり、一部の被審査者の知識・技量不足の散見等がある可能性が指摘されている⁽³⁸⁾。本研究で得られた成果は、フライトデータを用いた技能習熟評価や分析法の技能審査へ応用可能性を示すものであり、審査官によって行われた評価を裏付ける客観的な評価指標としてフライトデータを活用することで、より公正かつ公平な技能審査の実施が可能と考えられる。

従来の研究では、航空機操縦の技能習熟度と自己評価の妥当性の関連性については明確に示されていなかった。本研究では、フライトデータと実験参加者の自己評価の比較を行い、技能習熟度の高い実験参加者ほど自己評価の妥当性が高い傾向が示唆された。この結果は、操縦技能の習熟が必要な操縦者ほど、自身の操縦行動を適切に認識できていない傾向を示している。操縦者が自身の操縦行動を適切に認識できていない場合には、適切な課題分析や目標設定を行うことが困難となるため、上記で見られた傾向は自家用操縦士課程の初等訓練において技能差が生じる要因となり得る。したがって、未熟練者が操縦技能を獲得する過程において、自己評価と実態との齟齬の解消に努めることが重要と

¹¹ 国土交通大臣の行った技能証明を有する操縦者に対する審査であり、飛行前の2年以内に、操縦操作の能力、非常時の操作に関する知識、航空法規の改正点に関する知識等を有するかどうかについて確認することをいう。

なる。自己評価と実態との齟齬の解消には、本研究で行われたような、フライトデータを用いた技能習熟評価や飛行推移分析の結果を、自身が行った操縦行動を客観的に把握する資料として活用することが有効である。訓練の振り返りの際に、自身が行った操縦行動を客観的に把握する資料を用いることで、訓練生が訓練教官の指摘する内容を視覚的に確認することが出来るため、従来のフィードバック形式では理解することが難しかった状況認識不足に起因するエラーなどをより適切に把握することが可能となる。また、実際の訓練環境では、複数の訓練教官や他の訓練生と情報共有しながら訓練を進めていくのが一般的である。実際の訓練環境で、各々のフライトデータを共有することが可能となれば、従来と比較してより多くの教官や訓練生からのフィードバックを得ることができ、フライトでは気付くことが出来なかった課題を発見するきっかけとなり得る。

本研究で得られた成果は、訓練・教育の現場におけるフライトデータの活用可能性を押し広げるための基礎的データに位置づけられ、小型航空機への簡易型飛行記録装置の普及促進を後押しするものである。本研究で実施された模擬飛行実験は、自家用操縦士課程の初等訓練を想定して行われたものであり、本研究で行ったような技能習熟度評価や分析方法を実際の訓練に適用するには、操縦者の操縦行動や操縦適性に係る知見の更なる蓄積が必要である。実際の操縦士訓練では、訓練生は進捗状況に応じてより複雑な飛行課題を遂行するための操縦技能が必要となり、それに加えて管制通信や航法計算などの副次的な課題を並行して行う能力が求められる。したがって、操縦適性検査の予測精度の向上および訓練の効率化・効果向上についての検討を進めていくためには、飛行課題の難易度や副次的課題による操縦行動への影響を考慮に入れた研究を行うことが必要である。

参考文献

- [1] 外務省(2018)「国際民間航空機関 (ICAO)」
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/page22_000755.html (2019年1月15日確認)
- [2] 国際民間航空機関編, 財団法人航空振興財団訳(2001). 国際民間航空条約第13付属書, 国際標準及び勧告方式, 航空機事故及びインシデント調査, 第9版, pp.23-37.
- [3] BOEING(2017). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents -Worldwide Operations 1959-2017-*
https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/stats_um.pdf (2019年1月15日確認)
- [4] 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.
- [5] Swain, A. D & Guttman, H. E (1983), *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application*. U.S NRC-NUREG /CR-1278
- [6] ジェームズ・リーズン著, 十亀洋訳(2014). ヒューマンエラー, 海文堂出版, pp.1-24.
- [7] 黒田勲(2001). 信じられないミスはなぜ起こる ヒューマンファクターの分析, 中央労働災害防止協会, pp.3-22.
- [8] F・H・ホーキンス著, 黒田勲監修, 石川好美監訳(1992). ヒューマン・ファクター 航空の分野を中心として, 交通研究協会 成山堂書店, pp.1-12.
- [9] 石橋明(2007). 航空分野におけるヒューマンファクターズへのアプローチ ボーダレスな安全文化の構築, 日本 AEM 学会誌 Vol.15, No.1, pp.9-15.
- [10] 杉江弘(2006). 機長が語るヒューマン・エラーの真実, ソフトバンク新書, pp.182-207.
- [11] 小林宏之(2016). 航空安全とパイロットの危機管理, 成山堂書店, pp.5-21.
- [12] 松尾晋一(2005). V CRM/AMRM 訓練とドクターヘリへの応用 ドクターヘリの安全に関する研究と提言, 第1章
- [13] 小林宏之(2016). 航空安全とパイロットの危機管理, 成山堂書店, pp.23-70.
- [14] 村上耕一, 斎藤貞雄(2002). 機長のマネジメント, 産能大学出版部, pp.60-183.
- [15] 石橋明, 狩川大輔, その他3名(2010). 原子力発電分野における安全意識向上のための Crew Resource Management 概念に基づく訓練手法, 日本原子力学会和文論文誌 Vol.9, No.4, pp.384-395.
- [16] 国立社会保障・人口問題研究所(2017)「日本の将来推計人口 2016年～2065年, 平成29年推計」, 人口問題研究資料第336号
http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_ReportALL.pdf (2019年1月15日確認)

- [17] 国際航空運送協会(2017). *2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion*
<https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx> (2019年1月15日確認)
- [18] 国土交通省航空局(2013) 「乗員政策等に係る検討について」
<http://www.mlit.go.jp/common/001049319.pdf> (2019年1月15日確認)
- [19] 交通政策審議会, 航空分科会, 基本政策部会, 技術・安全部会(2014). 「乗員政策等検討合同小委員会中間とりまとめ, 今後の乗員政策等の基本的な方向性について」
<http://www.mlit.go.jp/common/001031190.pdf> (2019年1月15日確認)
- [20] 国土交通省(2017) 「私立大学等における無利子貸与型奨学金 未来のパイロットの創設」
http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000114.html (2019年1月15日確認)
- [21] 国土交通省航空局(2017) 「最近の運航基準の改正状況等」
<http://www.mlit.go.jp/common/001180156.pdf> (2019年1月15日確認)
- [22] 国土交通省航空局(2017) 「Competency-Based Training and Assessment Program の審査要領細則」
<http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201706/00006710.pdf> (2019年1月15日確認)
- [23] 国土交通省航空局(2017) 「航空法施行規則の一部改正に伴う告示及び関係通達の制改訂について」
<http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000152463> (2019年1月15日確認)
- [24] 日本航空(2017) 「JAL、世界で採用が進む EBT (Evidence-based Training) を導入へ」
http://press.jal.co.jp/ja/items/17007/2017_419_CBTA_FINAL.pdf (2019年1月15日確認)
- [25] Damons, D.L (1996). *Pilot selection batteries: shortcomings and perspectives. Int. J. Aviation. Psychology*, 6(2), pp.199-209.
- [26] 相羽裕子(2016). 操縦適性検査の歴史、そして開発法について 航空システム研究会会誌 Vol.32, pp.39-48.
- [27] Hunter, D. R. & Burke, E. F (1994). *Predicting Aircraft Pilot-Training Success: A Meta-Analysis of Published Research. The International Journal of Aviation Psychology*, 4(4), pp.297-313.
- [28] 国土交通省航空局(2017) 「新技術の紹介 Flight Data Monitoring について」
<http://www.mlit.go.jp/common/001180084.pdf> (2019年1月15日確認)
- [29] 国土交通省航空局(2018) 「小型航空機等の安全性向上に向けた取組状況及び今後の方向性」
<http://www.mlit.go.jp/common/001228504.pdf> (2019年1月15日確認)
- [30] 初谷友希, 中村隆宏(2014). フライトデータを用いた航空機操縦の技能習熟度評価と訓練効果への影響について, 社会安全学研究 No.5, pp.55-72.
- [31] 黒田勲監修, 石橋明著(2003). 事故は、なぜ繰り返されるのか ヒューマンファクターの分析, 中央労働災害防止協会, pp.38-47.

- [32] 斎藤智著，原田悦子・篠原一光編，その他 9 名(2011). 現代の認知心理学 4 注意と安全，第 3 章 注意とワーキングメモリ，北大路書房，pp.61-84.
- [33] Baddeley (2000). *The episodic buffer: a new component of working memory*, Trends in Cognitive Sciences, Vol.4, pp.417-423.
- [34] Roger N.Shepard & J Metzler (1971). *Mental rotation of three-dimensional objects*, Science, New Series, Vol.171, No.3972, pp.701-703.
- [35] 中島義明，その他 6 名(2014). 心理学辞典 有斐閣，初版第 18 刷，p.314
- [36] 中村隆宏，深谷潔，呂健，江川義之，輿水ヒカル(2001). 掘削機操作における眼球運動と有効視野、産業安全研究所特別研究報告 No.23, pp.15-34.
- [37] 加賀佳美，相原正男(2013). P300 基礎，臨床神経生理学 Vol.41(2), pp.80-85.
- [38] 国土交通省航空局(2018)「小型航空機等に係る安全推進委員会 第 5 回」
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000022.html(2019 年 1 月 15 日確認)

謝 辞

本研究を行うにあたっては、数多くの方々からご指導、ご助言を賜りました。特に、本研究の指導教官である関西大学大学院社会安全研究科中村隆宏教授には、博士課程後期課程進学以前から現在に渡り、公私にわたって熱心なご指導を賜りました。ご指導の中で中村隆宏教授の安全に対して妥協を許さない姿勢に感銘を受けたことが、筆者が博士課程後期課程修了後の進路として、「安全」に関わる仕事を志望するきっかけとなりました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究の審査委員として、副査をお引き受け下さいました関西大学大学院社会安全研究科西村弘教授、関西大学大学院社会安全研究科林能成教授、並びに関西大学大学院社会安全研究科の先生方には、多くのご指導、ご助言を頂戴いたしました。心より感謝いたします。ジェットスター・ジャパン株式会社運航本部南野亮副操縦士には、操縦士の視点から多くのご指導、アドバイスを頂戴いたしました。深く感謝を申し上げます。また、快く実験に参加して下さいました実験参加者の皆様のお陰で、貴重な実験データを得ることができました。心より感謝いたします。

様々な皆様のご指導・ご協力を頂いたお陰で本研究はひとまず博士論文としてまとめることが出来ました。しかし、本研究を通じて、筆者の未熟さを痛感する機会が多々ありましたので、本研究で学んだことを活かして今後の研究活動に精進する所存であります。今後とも、皆様方の更なるご指導・ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

最後に、研究者の視点から熱心な指導・助言を与えてくれた父と、研究生活を優しく支え続けてくれた母に心より感謝します。

卷末資料

【目次】

1. 実験参加同意書	i
2. 模擬飛行実験教示例：操作練習	ii
3. 模擬飛行実験教示例：試行 1	vi
4. 模擬飛行実験教示例：試行 2	xii
5. 模擬飛行実験教示例：試行 3	xvii
6. 模擬飛行実験教示例：試行 4	xxi
7. 映像提示用機材（模擬飛行実験）	xxiii
8. 映像提示用機材（認知課題実験）	xxiv
9. 視覚探索課題における目標刺激座標一覧（妨害刺激なし条件）	xxv
10. 視覚探索課題における目標刺激座標一覧（妨害刺激あり条件）	xxvi

実験参加同意書

平成_____年_____月_____日

私は、実験の趣旨・目的・内容・予期される危険性等について、十分な説明を受けて理解しました。よって、自らの意志に基づいてこの実験に参加することに同意します。また、実験および調査で収集された全てのデータは統計的に処理され個人が特定される形で処理・公表されることがないという条件のもとで、データが研究に利用されることに同意します。ただし、今回の実験への同意は、不利益なしにいつでも撤回できること、また実験への参加を途中で止めることができることを確認しています。

氏 名 _____

模擬飛行実験教示例：操作練習

訓練科目	教示内容
操作練習	<p>■FS を一時停止し、次の教示へ進む</p> <p>今から操作練習を実施します。現在、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360deg で水平直線飛行をしています。ピッチ角は約 0 度、昇降計は約 0feet/min を示しています。前方に水平線が見えるのがわかりますか？水平線とダッシュボードの位置関係を覚えておいて下さい。では、シミュレータの一時停止を解除します。</p> <p>■FS の一時停止を解除し、次の教示へ進む</p> <p>では、この状態で操縦輪をゆっくりと手前に引いて下さい。</p> <p>➡ピッチ角約 10 度 (FS 一時停止し、次の教示へ進む)</p> <p>操縦輪を引くと、飛行機のピッチ角が上がり、速度が下がります。また、昇降計は (+) feet/min を示しているのので、上昇している事がわかります。機体が少し上を向いているので水平直線飛行をしている時と違い、水平線が見えなくなったことを確認して下さい。では、シミュレータを再開します。</p> <p>■FS 再開し、次の教示へ進む</p> <p>次は操縦輪をゆっくりと奥に押して下さい。</p> <p>➡ピッチ角-10 度に到達 (FS を一時停止し、次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
操作練習	<p>今回は操縦輪を押したので、ピッチ角が下がり、速度が上がっていることを確認して下さい。また、昇降計が（－）feet/minを示しているので、降下していることがわかります。</p> <p>■FS 一時停止&シナリオ（3,000feet、100kt、360deg）を読み込み、次の教示へ進む</p> <p>次に、水平飛行の練習を実施します。高度計や速度計、昇降計などの操縦計器や外部を交互に確認しながら、高度 3,000feet を維持して下さい。まずは、ピッチ角約 0 度を水平飛行の目安にして、3,000feet を維持してみてください。高度がずれた場合はその都度ピッチ角の修正操作を行って下さい。水平直線飛行が維持できているかは、「高度計の針が動いているか」「昇降計が 0 になっているか」「ダッシュボードと水平線の位置関係が変わらないか」などを指標として確認することが出来ます。ピッチ角の修正を行う際には一度に大きくピッチ角を変えずに、5 度以内の修正を心がけて下さい。</p> <p>それでは、水平飛行を開始して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>➡約 2 分経過後に FS 一時停止し、次の教示へ進む</p> <p>次は、高度 3,000feet を維持しながら、機首方位 360deg を維持して下さい。機首方位がずれた場合は、その都度バンク角操作で修正してください。大きくずれていない場合は、小さなバンク角で修正を行ってください。</p> <p>■FS 再開&ストップウォッチ測定開始</p> <p>➡約 5 分経過後に FS を一時停止させ、次項へ進む</p>

訓練科目	教示内容
操作練習	<p>■シナリオ1 (3,000feet、100kt、360deg) を読み込み、実験者操作でエレベータトリムを TO 位置に調節後、次の教示へ進む</p> <p>次に、エレベータトリムの操作練習を実施します。飛行中に一定のピッチ角を継続して維持したいときに、左の持ち手にあるボタンを前後に操作することでエレベータトリムを調節することができます。今、操縦輪を押し続けている状態で、水平直線飛行をしています。手を放すとピッチ角が上がり、上昇してしまうので操縦輪を押し続ける必要があります。しかし、長時間に渡るフライトでは、操縦輪を一定の力で操作し続けることは、操縦士にとって負担となり、飛行推移も安定しません。そこで、操縦負荷を軽減させるために、エレベータトリムを使用します。</p> <p>■操縦操作補助をしながら、次の教示を開始する</p> <p>操縦輪を押し続けている状態で、そのピッチ角を維持したいときは、左の持ち手にあるボタンを奥に押し調節します。一度調節したあと、手の力を少し抜いたとき、まだピッチ角が上がる場合はトリム操作が足りないということなので、目安のピッチ角に戻した後、再度トリム操作を行います。反対に、手の力を抜いたときにピッチ角が下がっていく場合は、トリム操作量が多すぎたということになるので、ピッチ角に戻したあとにトリムボタンを手前に押し再度調節をします。これらの操作を繰り返し行うことで、操縦輪に力を入れていない状態でもピッチ角を維持できるようにします。エレベータトリムはあくまでも補助的に使用するものなので、エレベータトリムを使ってピッチ角を操作しないでください。必ず操縦輪で目安のピッチ角になったことを確認してからエレベータトリムを使用するようにして下さい。</p> <p>エレベータトリムの説明についてわからないことはありますか。質問が無ければ、練習を始めましょう。操縦輪を握って下さい。今 3,000feet で水平直線飛行をしています。この状態で手の力を少し抜いて見て下さい。ピッチ角が少し上がっていくのわかりますか。では、ピッチ角を維持したいところまで戻してから、エレベータトリムを操作してみましょう。今、操縦輪を押し続けている状態なので、トリムボタンを奥に操作します。</p>

訓練科目	教示内容
操作練習	<p>■エレベータトリム操作が不足している状態で、次の教示を開始</p> <p>この状態で手の力を緩めてみて下さい。ピッチ角は先ほどより上がりにくくなっていますが、まだ少し上がって行きます。つまりトリム操作がまだ足りていないことがわかります。ではもう少しトリムボタンを奥に押して見て下さい。この状態で手の力を緩めてみて下さい。今度はトリム操作量が多すぎたのでピッチ角が下がっていきます。今、水平直線飛行を維持するためには、操縦輪を引き続けなければなりません。このような場合には、トリムボタンを手前に押して調節をしてください。では、ピッチトリム操作を繰り返して手の力を抜いた状態でも、水平直線飛行を維持出来るようにしてみてください。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>➡約1分経過（操縦練習を終了する）</p>

模擬飛行実験教示例：試行 1

訓練科目	教示内容
水平直線飛行	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、一時停止で説明開始</p> <p>それでは模擬飛行実験を始めます。今から、水平直線飛行で 3,000feet、速度 100kt、機首方位 N（360）を維持して下さい。操作練習でやったように、姿勢指示器や高度計、昇降計などの操縦計器と、ダッシュボードと水平線の見え方を確認しながら高度維持をして下さい。高度±100feet、速度±10kt、機首方位±10 度の範囲内を維持出来ることを目標にやってみてください。では、開始します。</p> <p>■FS 再開&ストップウォッチ測定開始</p> <p>➡約 5 分経過（次項へ進む）</p>
上昇飛行	<p>■FS 一時停止後に説明開始</p> <p>次は上昇飛行の練習を実施します。現在 3,000feet で水平直線飛行をしているので、5,000feet まで上昇してもらいます。上昇飛行の際にはスロットルレバーを一番奥まで操作して、フルスロットルの状態にして下さい。また上昇時の速度は 79kt を維持して下さい。速度計を見て 79kt になるピッチ角を探して、そのピッチ角を維持するようにして下さい。上昇時の目安のピッチ角は 10kt です。今の手順でわからなかったことはありますか？それではシミュレータを再開します。</p> <p>■FS 再開&次の教示を開始</p>

訓練科目	教示内容
<p>上昇飛行</p>	<p>では、まずはフルスロットルにしてから、ゆっくりと操縦輪を引いてピッチ角をあげて、約 10 度を維持してみてください。同時に速度が 100kt から下がっていくのを確認して、79kt になるピッチ角を探してください。79kt より速い場合はピッチ角を少し上げて速度を落とし、79kt より遅い場合はピッチ角を少し下げて速度を上げて下さい。</p> <p>⇒4,000feet (次の教示へ進む)</p> <p>今 4,000feet に到達しました。このまま上昇飛行を継続して、5,000feet の 100feet 手前からゆっくりとピッチ角を下げ始めて 5,000feet で水平直線飛行に移行して下さい。</p> <p>⇒4,000feet (次の教示へ進む)</p> <p>ピッチ角は約 0 度で、5,000feet を維持するようにして下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 1 分経過後に FS 一時停止 (次の教示へ進む)</p>
<p>水平直線飛行 (速度調整)</p>	<p>次に、上昇飛行から水平直線飛行へ移行する際の速度調整の練習を実施します。先ほどはフルスロットルで上昇速度の 79kt で上昇してもらいましたが、水平直線飛行の際は速度 100kt を維持してもらいます。今、フルスロットルの状態になっているので、そのまま水平直線飛行へ移行すると速度が 100kt を超えてしまいます。水平直線飛行移行後に 100kt を維持するには、スロットルレバーを操作してエンジンの回転数を少なくする必要があります。ここまでの説明でわからないことはありますか？</p> <p>⇒質問が無ければ、次の教示へ進む</p>

訓練科目	教示内容
<p>水平直線飛行 (速度調整)</p>	<p>巡航時の目安のエンジン回転数は 2,400RPM です。スロットルレバーを調節してエンジンの回転数を 2,400RPM にして下さい。 この時、高度や機首方位のずれが生じやすいので、各計器のスキヤニングを忘れないでください。シミュレータを再開するので、速度調整を始めてください。</p> <p>■FS 再開 (次の教示へ進む)</p> <p>では、スロットルレバーをゆっくりと操作してエンジン回転数を 2,400RPM にして下さい。エンジン回転数が少なくなると、少しピッチ角を上げないと高度維持が出来なくなるので注意して下さい。一度 2,400RPM で水平直線飛行をしてみて、速度がいくつになるかを確認しましょう。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒2,400RPM で速度が安定したのを確認 (次の教示へ進む)</p> <p>水平直線飛行している状態で速度が遅い場合は回転数を少し上げ、速度が速い場合は回転数を少し下げて、100kt で水平直線飛行が出来るように操作してください。</p> <p>⇒約 5 分経過後に FS を一時停止 (次の教示へ進む)</p>
<p>降下飛行</p>	<p>次は、降下飛行の練習を実施します。降下飛行では巡航速度 100kt を維持したまま 500feet/min で降下をします。エンジンの回転数を変えずにピッチ角を下げると降下することはできますが、速度が上がってしまいます。速度を維持したまま降下飛行をする際にはスロットル操作でエンジンの回転数を下げる必要があります。まずはエンジン回転数を降下の目安回転数の 2,100RPM に調節して下さい。速度はピッチ角を調節して 100kt を維持して下さい。何かわからないことはありますか？無ければ、シミュレータを再開します。</p> <p>■FS 再開 (次の説明へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
降下飛行	<p>エンジンの回転数を下げると、機首が下がり降下が始まります。速度 100kt、機首方位 N (360)、降下率-500feet/min で 3,000feet まで降下して下さい。では、再開します。</p> <p>■FS 再開 (次の説明へ進む)</p> <p>まずは、エンジン回転数を 2,300RPM に調整してください。エンジンの回転数を少なくするとピッチ角が下がり降下が始まるので、ピッチ角と速度、降下率の変化を確認して下さい。</p> <p>⇒2,300RPM で一時停止</p> <p>エンジン回転数と速度、降下率を確認してください。速度が 100kt になっていない場合はまず、ピッチ角で 100kt になるように調節して下さい。速度 100kt を維持している状態で降下率が-500feet にならない場合は、エンジンの回転数を調節して降下率を 500feet/min にして下さい。この場合は、降下率が (feet/min) なのでエンジンの回転数を (上げて or 下げて) 下さい。</p> <p>■FS 再開</p> <p>⇒3,500feet 到達 (次の教示へ進む)</p> <p>3,000feet の 100feet 手前で、水平直線飛行に移行するためにエンジン回転数を 2,400RPM まで上げて下さい。水平直線飛行に移行した後は、速度 100kt、機首方位 360 度、高度 3,000feet を維持して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 4 分経過後に FS 一時停止 & 次項へ進む</p>

訓練科目	教示内容
旋回飛行	<p>次は、旋回飛行の練習を実施します。高度 3,000feet を維持しながら標準率旋回率で 360 度旋回してもらいます。旋回時には、旋回計から旋回率と旋回の釣り合いを読み取ります。例えば、左旋回をする際には、まず操縦輪を左に切って機体を左へ傾けます。この時、旋回計の針が L を指す所までバンク角を入れて下さい。この時、旋回計のボールが左に移動するので、左のラダーペダルを少し奥へスライドさせ、ボールが中心位置になるように操作します。この二つの操作が正しく行われている状態を標準旋回と呼び、2 分間で 360 度旋回することが出来ます。ここまでの説明でわからなかったことはありますか？無ければ旋回飛行を始めます。</p> <p>■FS 再開 (次の教示へ進む)</p> <p>操縦輪をゆっくりと左に切って、旋回計の針が L を指すところまでバンク角を入れてください。姿勢指示器を見てみるとバンク角が約 15 度になっていることが確認できます。このバンク角を維持するようにして下さい。次に、旋回計のボールが中心位置から左に少し左にあるのがわかりますか？左のラダーペダルを少し奥に押すとボールが右へ移動するので、ボールが中心位置になるようにラダーペダル操作をして下さい。</p> <p>➡90 度手前 (次の教示へ進む)</p> <p>機首方位が 30 度手前からゆっくりとバンク角を水平に戻し、機首方位が 360 度になった時にちょうど水平直線飛行になるように操作して下さい。水平直線飛行に戻った後は、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>➡1 分経過 (次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
<p>旋回飛行</p>	<p>次は右旋回をしてみましょう。今度は旋回計が R を指すバンク角を維持しながら、旋回計のボールを中心に維持するようにラダーペダル操作を行って下さい。右旋回ではボールは右に飛ぶので、右のラダーを操作して下さい。では、始めてください。</p> <p>⇒90度手前（次の教示へ進む）</p> <p>機首方位が 30 度手前からゆっくりとバンク角を水平に戻し、機首方位が 360 度になった時にちょうど水平直線飛行になるように操作して下さい。水平直線飛行に戻った後は、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒1分経過（FSを一時停止し、次項へ進む）</p>
<p>水平直線飛行 (技能習熟度測定)</p>	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、トリム：TO+0.5</p> <p>それでは、最後に水平飛行をしてもらいます。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら 4 分間水平飛行をして下さい。諸元から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。実験者は、基本的に指示・教示を行ないません。何かわからないことはありますか？それでは、始めましょう。</p> <p>■FS再開&ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約4分経過（模擬飛行実験終了）</p>

模擬飛行実験教示例：試行 2

訓練科目	教示内容
水平直線飛行	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、一時停止で説明開始</p> <p>それでは模擬飛行実験を始めます。今から、水平直線飛行で 3,000feet を維持して下さい。姿勢指示器や高度計、昇降計などの操縦計器と、ダッシュボードと水平線の見え方を確認しながら高度維持をして下さい。一度に大きく操作をしてしまうと飛行推移が安定しないので、小さな修正角でゆっくりと修正操作を行ってください。水平直線飛行を安定して行う為に、エレベータトリムも操作して下さい。エレベータトリムの操作法は覚えていますか？</p> <p>■エレベータトリムの操作法を確認後に、次の教示へ進む</p> <p>高度±100feet、速度±10kt、機首方位±10 度の範囲内を維持出来ることを目標に、水平直線飛行を開始してください。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒5 分経過 (次項へ進む)</p>
上昇飛行	<p>次に上昇飛行に移ります。現在 3,000feet で水平直線飛行をしているので、5,000feet まで上昇してもらいます。上昇の際の速度と目安のピッチ角は覚えていますか？</p> <p>■上昇速度と目安のピッチ角を確認後に、次の教示へ</p> <p>ゆっくりと操縦輪を引いてピッチ角約 10 度を維持し、速度が 79kt になるようにして下さい。上昇中の速度はピッチ角で調整して下さい。では、上昇を始めてください。</p> <p>⇒4,000feet 到達 (次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
上昇飛行	<p>今 4,000feet に到達しました。このまま上昇飛行を継続して、5,000feet の 100feet 手前からゆっくりとピッチ角を下げ始めて 5,000feet で水平直線飛行に移行して下さい。水平直線飛行の目安のエンジン回転数はいくつですか？</p> <p>⇒4,900feet 到達 (次の教示へ進む)</p>
水平直線飛行	<p>ゆっくりとピッチ角を下げて、5,000feet で水平直線飛行を初めて下さい。速度計で速度が徐々に上がっていくのを確認し、速度が 100kt に到達する直前で、エンジン回転数を目安の 2,400RPM にして 100kt で水平直線飛行をして下さい。</p> <p>⇒2,400RPM</p> <p>今速度は何 kt になっていますか？</p> <p>100kt になるようにエンジン回転数の調整を行って下さい。この時、高度と機首方位を維持することを忘れないで下さい。</p> <p>⇒エンジン回転数の調整終了 (次の教示へ進む)</p> <p>引き続き、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら水平飛行をして下さい。複数の操縦計器と外部を巡視しながら、高度・速度・機首方位が目標から逸脱していないかを確認し、逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と回数が少なくなるようにして下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒5 分経過 (次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
降下飛行	<p>次は降下飛行をしてもらいます。降下の際の降下率と目安のエンジン回転数は覚えていますか？</p> <p>■降下率と目安のエンジン回転数を確認後、次の教示へ進む</p> <p>ではエンジンの回転数を 2,300RPM にして降下を始めてください。エンジンの回転数を下げると、機首が勝手に下がり降下が始まります。速度 100kt、機首方位 360 度、降下率-500feet/min で 3,000feet まで降下して下さい。</p> <p>⇒4,500feet 到達（次の教示へ進む）</p> <p>速度 100kt を維持している状態で降下率が-500feet にならない場合は、エンジンの回転数を調節して降下率を 500feet/min にして下さい。この場合は、降下率が（ feet/min）なのでエンジンの回転数を（上げて or 下げて）下さい。</p> <p>⇒3,500feet 到達（次の教示へ進む）</p> <p>目標高度の 3,000feet に到達する 100feet 手前から、エンジン回転数を上げ始めて水平飛行に移行して下さい。水平飛行移行後は高度、速度、機首方位を維持して下さい。また逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 4 分経過後に FS 一時停止 & 次項へ進む</p>

訓練科目	教示内容
旋回飛行	<p>次は、旋回飛行を実施します。高度 3,000feet を維持しながら標準率旋回率で 360 度旋回してもらいます。旋回時には、旋回計から旋回率と旋回の釣り合いを読み取ります。例えば、左旋回をする際には、まず操縦輪を左に切って機体を左へ傾けます。この時、旋回計の針が L を指す所までバンク角を入れて下さい。この時、旋回計のボールが左に移動するので、左のラダーペダルを少し奥へスライドさせ、ボールが中心位置になるように操作します。この二つの操作が正しく行われている状態を標準旋回と呼び、2 分間で 360 度旋回することが出来ます。実際のフライトでは、旋回をする際は基本的に標準旋回率で旋回をしているので、模擬飛行実験では標準旋回率で旋回するようにして下さい。ここまでの説明でわからなかったことはありますか？無ければ旋回飛行を開始します。</p> <p>■FS 再開&次の教示へ進む</p> <p>操縦輪をゆっくりと左に切って、旋回計の針が L を指すところまでバンク角を入れてください。姿勢指示器を見てみるとバンク角が約 15 度になっていることが確認できます。このバンク角を維持するようにして下さい。次に、旋回計のボールが中心位置から左に少し左にあるのがわかりますか？左のラダーペダルを少し奥に押しとボールが右へ移動するので、ボールが中心位置になるようにラダーペダル操作をして下さい。</p> <p>⇒90 度手前 (次の教示へ進む)</p> <p>機首方位が 30 度手前からゆっくりとバンク角を水平に戻し、機首方位が 360 度になった時にちょうど水平飛行になるように操作して下さい。水平飛行に戻った後は、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒1 分経過 (次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
<p>旋回飛行</p>	<p>次は右旋回をしてみましょう。今度は旋回計が R を指すバンク角を維持しながら、旋回計のボールを中心に維持するようにラダーペダル操作を行って下さい。右旋回ではボールは右に飛ぶので、右のラダーを操作して下さい。では、始めてください。</p> <p>⇒90度手前（次の教示へ進む）</p> <p>機首方位が 30 度手前からゆっくりとバンク角を水平に戻し、機首方位が 360 度になった時にちょうど水平飛行になるように操作して下さい。水平飛行に戻った後は、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒1分経過後に FS を一時停止（次の教示へ進む）</p>
<p>水平直線飛行 (技能習熟度測定)</p>	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、トリム：TO+0.5</p> <p>それでは、最後に水平飛行をしてもらいます。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら 4 分間水平飛行をして下さい。諸元から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。実験者は、基本的に指示・教示を行ないません。何かわからないことはありますか？それでは、始めましょう。</p> <p>■FS 再開&ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 4 分経過（模擬飛行実験終了）</p>

模擬飛行実験教示例：試行 3

訓練科目	教示内容
水平直線飛行	<p>■3,000feet、100kt、360deg、一時停止で教示開始</p> <p>高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 を維持しながら水平飛行をして下さい。目標の高度・速度・機首方位から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。フルスロットルの状態から開始するので、最初に回転数の調整をするのを忘れないでください。それでは始めます。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒5分経過（次の教示へ進む）</p>
上昇飛行	<p>次に 5,000feet まで上昇してもらいます。上昇の際の速度と目安のピッチ角はいくつですか？</p> <p>■速度と目安のピッチ角を確認後に、次の教示へ進む</p> <p>目標高度 5,000feet の 100feet 手前からゆっくりとピッチ角を下げ始め、5,000feet で水平飛行になるように操作して下さい。水平飛行移行後の速度調整も忘れずに行ってください。それでは始めてください。</p> <p>⇒5,000feet 到達（次項へ進む）</p>

訓練科目	教示内容
<p>水平飛行 (速度調整の説明)</p>	<p>ではそのまま水平飛行を続けて下さい。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 を維持しながら水平飛行をして下さい。目標の高度・速度・機首方位から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と回数が少なくなるようにして下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒5分経過 (次の教示へ進む)</p>
<p>降下飛行</p>	<p>次は降下飛行をしてもらいます。降下の際の降下率と目安のエンジン回転数は覚えていますか？</p> <p>■降下率と目安のエンジン回転数を確認し、次の教示へ進む</p> <p>速度 100kt、機首方位 360、降下率-500feet/min で 3,000feet まで降下して下さい。ピッチ角で速度を調節してから、降下率が -500feet/min になるようにエンジン回転数の調節を行って下さい。3,000feet の 100feet 手前から少しずつエンジン出力を上げて 3,000feet で水平飛行へ移行し、100kt を維持して下さい。それでは初めて下さい。</p> <p>⇒3,000feet 到達 (次の教示へ進む)</p> <p>ではしばらく水平飛行をしてもらいます。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 を維持しながら水平飛行をして下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒1分経過 (次の教示へ進む)</p>

訓練科目	教示内容
旋回飛行	<p>次は、旋回飛行をしてもらいます。標準旋回の手順は覚えていますか？</p> <p>■標準旋回の手順を確認後に、次の教示へ進む</p> <p>操縦輪をゆっくりと左に切って、旋回計の針が L を指すところまでバンク角を入れてください。姿勢指示器を見てみるとバンク角が約 15 度になっていることが確認できます。次に、旋回計のボールが中心位置から左に少し左にあるのがわかりますか？旋回をするときは、このボールが中心になるようにラダーペダルを操作します。ボールが左に飛んでいるときは、左のラダーペダルを少し奥に押すとボールが右へ移動するので、ボールが中心位置になるようにラダーペダル操作をして下さい。</p> <p>3,000feet を維持しながら標準旋回率で 360 度左旋回をして下さい。では初めて下さい。</p> <p>⇒ロールインの 90 度手前で次の教示を始める</p> <p>機首方位が N の 30 度手前の時点からゆっくりとバンク角を水平に戻して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒1 分経過（次の教示へ進む）</p> <p>次は右旋回をしてみましよう。今度は旋回計が R を指すバンク角を維持しながら、旋回計のボールを中心に維持するようにラダーペダル操作を行って下さい。右旋回ではボールは右に飛ぶので、右のラダーを操作して下さい。では、始めてください。</p> <p>⇒ロールインの 90 度手前で次の教示を始める</p>

訓練科目	教示内容
旋回飛行	<p>機首方位が N の 30 度手前の時点からゆっくりとバンク角を水平に戻して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒1分経過 (FS 停止後に、次項へ進む)</p>
水平直線飛行 (技能習熟度測定)	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、トリム : TO+0.5</p> <p>それでは、最後に水平飛行をしてもらいます。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら 4 分間水平飛行をして下さい。諸元から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。実験者は、基本的に指示・教示を行いません。何かわからないことはありますか？それでは、始めましょう。</p> <p>■FS 再開&ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 4 分経過 (模擬飛行実験終了)</p>

模擬飛行実験教示例：試行 4

訓練科目	教示内容
水平直線飛行	<p>■3,000feet、100kt、360deg、一時停止で教示開始</p> <p>試験を始めます。今から、プリブリーフィングで確認したルートを飛行してもらいますが、高度変更などの指示以外の指示は基本的に行いません。目標の高度・速度・機首方位から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と回数が少なくなるようにして下さい。現在、高度 3,000feet でエンジンがフルスロットルの状態で水平飛行をしています。まずはスロットル操作で速度調整をして巡航速度にすることから初めて下さい。試験内容について、何かわからないことはありますか？質問が無ければ、開始します。それでは、高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら水平直線飛行を始めてください。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒5分経過（次項へ進む）</p>
上昇	<p>それでは、5,000feet まで上昇して下さい。</p> <p>⇒5,000feet 到達（次項へ進む）</p>
水平直線飛行	<p>高度 5,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら水平直線飛行を継続して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒5分経過（次項へ進む）</p>
降下飛行	<p>速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら 3,000feet まで降下して下さい。</p> <p>⇒3,000feet 到達（次項へ進む）</p>

訓練科目	教示内容
水平直線飛行	<p>高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら水平直線飛行を継続して下さい。</p> <p>■ストップウォッチ計測開始</p> <p>⇒4分経過 (次の指示へ進む)</p>
旋回飛行	<p>高度 3,000feet、速度 100kt で、360 度左標準旋回を開始して下さい。</p> <p>⇒旋回終了 (次の教示へ進む)</p> <p>高度 3,000feet、速度 100kt で、360 度右標準旋回を開始して下さい。</p> <p>⇒旋回終了 (FS 一時停止 & 次項へ進む)</p>
水平直線飛行 (技能習熟度測定)	<p>■3,000feet、100kt、360deg、2,300RPM、トリム : TO+0.5</p> <p>それでは、最後に水平飛行をしてもらいます。高度 3,000feet、速度 100kt、機首方位 360 度を維持しながら 4 分間水平飛行をして下さい。諸元から逸脱した場合はその都度修正操作を行って、なるべく逸脱量と修正回数が少なくなるようにして下さい。実験者は、基本的に指示・教示を行ないません。何かわからないことはありますか？それでは、始めましょう。</p> <p>■FS 再開 & ストップウォッチ測定開始</p> <p>⇒約 4 分経過 (模擬飛行実験終了)</p>

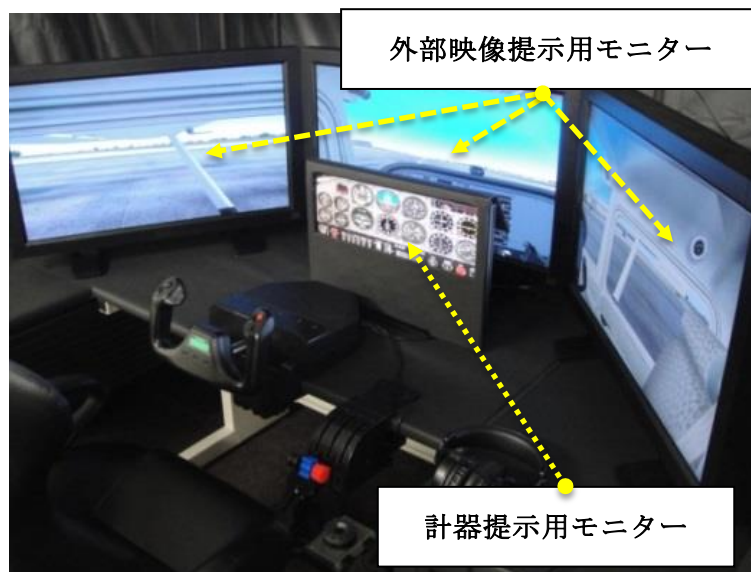
映像提示用機材（模擬飛行実験）

(1) Multisync LCD-V321 (外部映像提示用モニター)

サイズ（表示サイズ）	32型(80.0cm)
有効表示領域	697.7(H) x 392.3(V)mm
画素ピッチ	0.511mm
表示色	約 1,677 万色
輝度	330cd/m ² （標準値）、450/m ² （最大値）
コントラスト比（標準値）	3000:1
応答速度（標準値）	8ms(Gray to Gray)

(2) DH50/GN(計器提示用モニター)

サイズ（表示サイズ）	20型(80.0cm)
有効表示領域	442.8(H) x 249.1(V)mm
画素ピッチ	0.277mm
表示色	約 1,677 万色
輝度	330cd/m ² （標準値）、450/m ² （最大値）



映像提示用機材（認知課題実験）

(1) Multisync EA244WMI

サイズ（表示サイズ）	24.1 型
有効表示領域	518.4(H) x 324.4(V)mm
画素ピッチ	0.270mm（RGB ストライプ）
表示色	約 1677 万色
輝度	350cd/m ² （標準値）
コントラスト比（標準値）	25000:1
応答速度	6ms

(2) PLE1906S-W1（有効視野課題）

サイズ（表示サイズ）	19 型
有効表示領域	376.3(H)×301.1(V)mm
画素ピッチ	水平：0.294mm×垂直：0.294mm
表示色	約 1,670 万色
輝度	250cd/m ² （標準）
コントラスト比（標準値）	250cd/m ² （標準）
応答速度	5ms（黒→白→黒）

9. 視覚探索課題における目標刺激座標一覧（妨害刺激なし条件）

視覚探索課題における目標刺激座標一覧
（妨害刺激なし条件）

刺激番号	X座標 (pixel)	Y座標 (pixel)
1	1530	283
2	982	433
3	269	537
4	1829	624
5	1809	122
6	1455	654
7	1782	960
8	1588	1001
9	1559	102
10	1352	396
11	1780	1122
12	1209	972
13	1059	125
14	1111	1085
15	1386	849
16	464	881
17	1213	674
18	1808	348
19	911	918
20	727	800
21	1270	134
22	564	627
23	174	836
24	553	1139

25	683	496
26	1644	463
27	176	1112
28	959	596
29	460	135
30	788	126
31	703	1091
32	1664	820
33	108	498
34	1434	1121
35	1271	505
36	349	314
37	382	990
38	159	163
39	683	296
40	279	711

* 有効表示領域の左上が原点 (0, 0)

10. 視覚探索課題における目標刺激座標一覧（妨害刺激あり条件）

視覚探索課題における目標刺激座標一覧
（妨害刺激あり条件）

刺激番号	X座標 (pixel)	Y座標 (pixel)
1	1512	165
2	1016	778
3	339	952
4	1207	663
5	1757	146
6	1834	1095
7	643	993
8	1509	788
9	743	444
10	1810	302
11	423	1118
12	1663	936
13	1046	257
14	145	773
15	1782	768
16	110	328
17	1220	1098
18	1824	499
19	1604	367
20	1226	860
21	775	238
22	320	156
23	728	655
24	1474	1042

25	1453	528
26	870	905
27	422	639
28	1165	484
29	529	347
30	1624	662
31	980	1055
32	929	387
33	168	983
34	1396	270
35	979	597
36	513	819
37	305	485
38	619	119
39	1173	128
40	1346	726

* 有効表示領域の左上が原点 (0, 0)