

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1151

コックピット・アドバイザリ・システムの シミュレータ評価実験

田 中 敬 司 ・ 川 原 弘 靖
松 本 甲太郎 ・ 増 沢 秀 穂

1992年4月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

実 験 分 担

(1) 計 画 :

田 中 敬 司^{*1} 松 本 甲太郎^{*2} 永 安 正 彦^{*1}

(2) エキスパートシステム :

松 本 甲太郎 渡 辺 篤^{*5} 伊 藤 哲 博^{*5}
安 斎 薫^{*5}

(3) 評価パイロット :

中 村 勝^{*3} 照 井 祐 之^{*3}

(4) 実験実施 :

田 中 敬 司 川 原 弘 靖^{*1} 渡 辺 篤^{*5}
伊 藤 哲 博 金 内 久 樹^{*6}

(5) 実験, 解析支援 :

川 原 弘 靖^{*1} 若 色 薫^{*1} 渡 辺 顯^{*1}
金 内 久 樹 武 藤 康^{*7} 清 水 良 浩^{*6}
藤 間 泰 彦^{*6}

(6) エキスパートシステム製作支援 :

相 馬 行 雄^{*4} 増 沢 秀 穂^{*4}

(7) 執 筆 :

田 中 敬 司^{*1} 川 原 弘 靖^{*1} 松 本 甲太郎^{*2}

*1 制御部

*2 数理解析部

*3 飛行実験部

*4 富士通(株)

*5 マーケティング技研(現エム研)

*6 研修生

*7 非常勤職員

コックピット・アドバイザリ・システムの シミュレータ評価実験*

田 中 敬 司*¹ 川 原 弘 靖*¹

松 本 甲太郎*² 増 沢 秀 穂*³

Flight Simulator Experiment of the Cockpit Advisory System

Keiji TANAKA*¹, Hiroyasu KAWAHARA*¹
Kohtaro MATSUMOTO*² and Hideo MASUZAWA*³

ABSTRACT

This paper describes flight simulation experiment of a cockpit human-interface system which monitors aircraft utility systems and provides timely displays of aircraft conditions, warnings, and suggestions of initial actions, as well as operational procedures. This "Cockpit Advisory System" is a kind of intelligent display which functions as a real-time flight manual. The current system was developed using the utility systems of "ASKA," a short take-off and landing (STOL) experimental aircraft of the National Aerospace Laboratory (NAL). The system has two displays controlled by a real-time expert system, i.e., one for conditions and procedures and the other for various messages. Two pilots participated in flight simulator tests in which various emergency situations were encountered. Results indicate that the system 1) remarkably reduced pilot workload, 2) enhanced crew coordination and situation awareness due to looking at color graphic displays instead of reading written checklists, 3) created a different cockpit environment since reading checklists is not necessary, and 4) is especially useful for pilot training.

Keywords: Cockpit display, Human engineering, Flight simulation, Expert system, Pilot workload

概 要

知能型コックピットにおいては、機体状況をコンピュータでモニターし、マニュアルなどの知識ベースと比較照合した結果や、また運航上必要な数値や制約条件等を統合表示することが可能となる。また、通常操作、作業手順、不具合発生時の操作、状況分析等におけるパイロットの判断に有効な支援情報を呈示することも可能となり、これらによりパイロット・ワークロードの大幅な軽減が期待できる。この可能性を明らかにし、その具体化に当っての

* 平成4年3月6日受付 (received 6 March 1992)

*1制御部 (Control Systems Division)

*2数理解析部 (Computational Sciences Division)

*3富士通㈱ (Fujitsu Ltd.)

問題点を調べるため、低騒音STOL実験機「飛鳥」をモデルとし、将来のコックピットにおけるパイロットの手順的作業を支援することを目指したコックピット・アドバイザー・システム(CAS)を人工知能手法を応用して構築し、長時間作動環境でシミュレータ評価実験を実施した。実験では、二人乗務を模擬した「飛鳥」のテストパイロットによる評価が行われた。CASを装備した通常手順でのエンジン始動からエンジン停止までのすべての離着陸操作及び種々の不具合発生時の操作を行い、CASのワークロードに及ぼす効果及び将来型コックピットにおける同システムの有効性について評価を行った。実験の結果、本システムがパイロットワークロードを軽減し、今後の操縦室での作業手順を改善できる有力な手段になり得ることなどが確認できた。

略 語 表

ADI	: Attitude Director Indicator
ATC	: Air Traffic Control
CAS	: Cockpit Advisory System
CO	: Co-pilot
CRT	: Cathode Ray Tube
CTOL	: Conventional Take-Off and Landing
DCP	: Display Control Panel
ECAM	: Electronic Centralized Aircraft Monitor
EICAS	: Engine Indication and Crew Alerting System
FD	: Flight Director
FE	: Flight Engineer
GPIB	: General Purpose Interface Bus
HUD	: Head-Up Display
LISP	: LISt Processing
ND	: Navigation Display
PF	: Pilot Flying
PFD	: Primary Flight Display
PNF	: Pilot Not Flying
SCAS	: Stability and Control Augmentation System
STOL	: Short Take-Off and Landing
TPI	: Tail Plane Incidence
USB	: Upper Surface Blowing
VTR	: Video Tape Recorder

1. 緒 言

航空機の制御や航法的大幅な自動化によるいわゆるコックピット・オートメーションが進み、パイロット・ワークロードの軽減と運航の安全に寄与している。その結果、操縦室内では、手動操縦や航法計算などの手作業に代り、計器類の監視、不具合事態処理、フライト計画策定といったスーパーバイザリ¹⁾型の作業の比率が増大している。また、操縦室の電子化が進展するに伴い、操縦のための情報取得が計器表示に一層依存することになり、パイロットの状況把握 (Situation Awareness) レベルを高く維持するための情報の呈示方式が重要になっている。元来、航空機における飛行計器は、主にパイロットの操縦を支援するために装備されてきたものである²⁾。とくに、ADIの中央部に表示されるフライト・ディレクタ (FD) は、操縦を支援する表示の典型であり、パイロットに操縦の手がかり (cue) を与えることで、昇降率や風を考慮した複雑なフィードバック制御に係わるワークロードを軽減している。しかし、操縦室内で中心となっているスーパーバイザリ型作業を支援する表示方式は、操縦を支援するFD等とは異なった機能を有している。それらは、エンジン計器、注意警告灯に代わるものとして発達し、EICASあるいはECAMと称され、PFD、NDに次いで第3の主要計器となりつつある。

パイロット行動の階層型モデル³⁾では、パイロットの行動を、計器読み取りや操縦操作など習熟した操作を行うスキル規範行動 (Skill-based behavior)、形態変更、無線交信、チェックリストに

よる確認操作、運用規定や法規等に沿った手順的操作の指示などのルール規範行動(Rule-based behavior)、及び不具合状態の判断や意思決定などのナレッジ規範行動(Knowledge-based behavior)といった3階層に分類することを試みてきた。この階層的行動モデルに対応した支援のための表示を考えると、

(1) スキル規範行動に対しては、状況把握能力の維持、操縦に関わる作業負担の軽減を図るための

- FD
- PFD
- ND

等の統合表示が有効である。

(2) ルール規範行動に対しては、エキスパート・システムによる機器作動状況と作業手順やアドバイスの表示のための、

- ECAM のアドバイザーモード
- 電子式チェックリスト
- 警報、注意指示
- 初期操作アドバイス

等が相当する。

(3) ナレッジ規範行動に対しては、意思決定を支援するための知識ベースを活用した表示が有効となる。

本稿で報告するコックピット・アドバイザー・システム(CAS)は、パイロット行動の階層とマン・マシン・インタフェースとの関連を模式化した図1.1に示すように、この内のルール階層での作業である通常操作、不具合発生時の操作、状況分析等におけるパイロットの判断に有効な支援情報を呈示することを目的として製作されたものである。本稿では、CASのマン・マシン・インタフェースとしての機能、性能を評価するために実時間作動環境で実施された飛行シミュレーション実験について報告する。

2. CAS の概要

2.1 航空機における知識工学の適用

パイロットなど人間の経験に基づく知識を統合整理する有力な手段に知識工学がある。近来これ

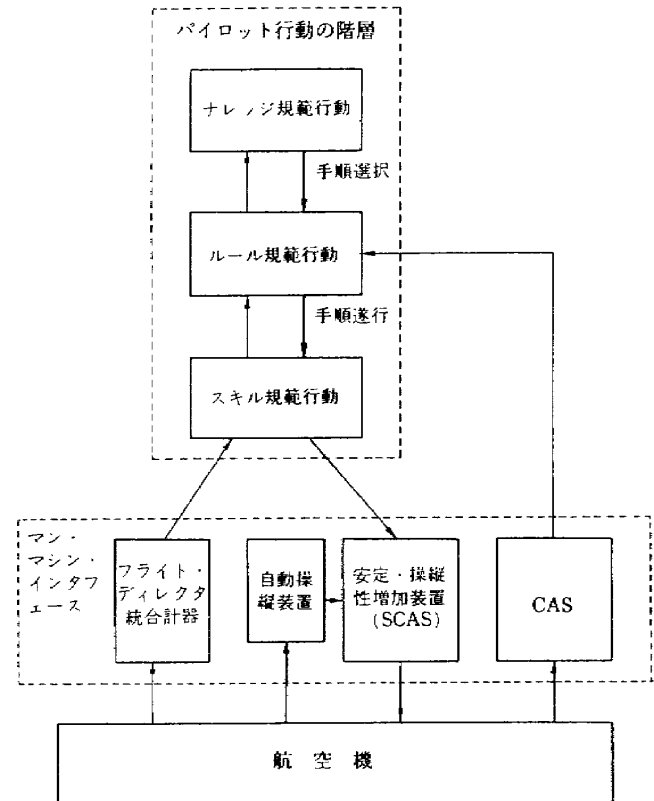


図1.1 パイロット行動の階層モデルとCASとの関連図

を航空機に適用しようとする試みが盛んになっている。米空軍のパイロット支援エキスパート(Pilot's Associate)計画⁴⁾は、パイロットの意思決定支援と補佐操作を行わせるための種々のエキスパート・システムの開発を目指したものである。また、戦闘機への応用を主たる目的とした研究であるが、地形図上での低空飛行のルート計画のエキスパート群を用いた自動作成システム(Knowledge Based Route Planning ; KBRP)⁵⁾や、計画の詳細説明や戦術の示唆、機体運動の異常の警告等パイロットの認知プロセスの限界を補完するような支援を行う自動化(Intent-Driven Automation)⁶⁾が提案されている。さらに、パイロット支援エキスパートへの適用を目標として、種々の選択肢群とゴール群のネットワークとして表現された知識ベースを基に、現在の動作状況を自ら判断できる自律型操縦システム(Tactical Manager)の研究も進められている⁷⁾。知識に基づく地形情報や不具合事態への対応策などの支援があると全体性能が向上するとのシミュレーション結果

も報告されている⁸⁾。

CASは、「飛鳥」のユーティリティシステムの論理モデルを有した実時間エキスパート・システムであり、同機の運航マニュアルのインテリジェント表示装置と言うこともできる。CASの製作、評価に係わる本研究は、上述の知識工学適用の試みの一環として位置づけることができる。

2.2 CASの開発経過

昭和62年度にCASの試作システムの開発に着手し、平成元年度に基本機能の確認とデバッグを完了した^{9),10)}。その結果を反映して、平成2年度に以下の改修を行い、機能の拡充を図った。

- (1) リアルタイム性確保のためのソフトウェア構成の改良
- (2) CRT ディスプレイとプラズマ・ディスプレイを併用した2画面化
- (3) GPIB によるシミュレータとの結合
- (4) 画面変更に伴うヒューマン・インタフェースの改良

2.3 CASの構成と機能

2.3.1 ハードウェア

CASは、図2.1に示すように、機体の各種センサーからの情報を入力とし、それらに基づいて各

ユーティリティの作動状況を推定し、

- 1) 各ユーティリティ系統(電源、油圧、空気、燃料)毎の作動状況の統合表示
- 2) 警報及び初期操作の表示
- 3) 通常及び不具合発生時のチェックリストの表示

を行うことができる。本システム及び飛行シミュレータの構成を図2.2に示す。図中のCASの主要構成要素とその機能は以下の通りである。

(1) 演算部(図2.3)

CASの推論、表示情報決定のための演算部である。演算部本体(A-50;富士通製),CRTコンソール及びビット・マップ・ディスプレイで構成される。機体のユーティリティシステムの論理モデルもここで実現されている。また、ビット・マップ・ディスプレイによって、CASの各タスク毎の初期化、起動、停止の制御、更には天井パネルや後述のディスプレイ・コントロール・パネル上のスイッチ状態の監視が可能である。

(2) 天井パネル(図2.4)

元来FE操作盤上にあったスイッチ類をシミュレータの天井パネルとして移設したものである。スペースの節約と簡略化のため、FE操作盤上の計器類を省略し、作動状態をLEDランプで代行して表示した。例えば緑色点灯時が正常作動状態

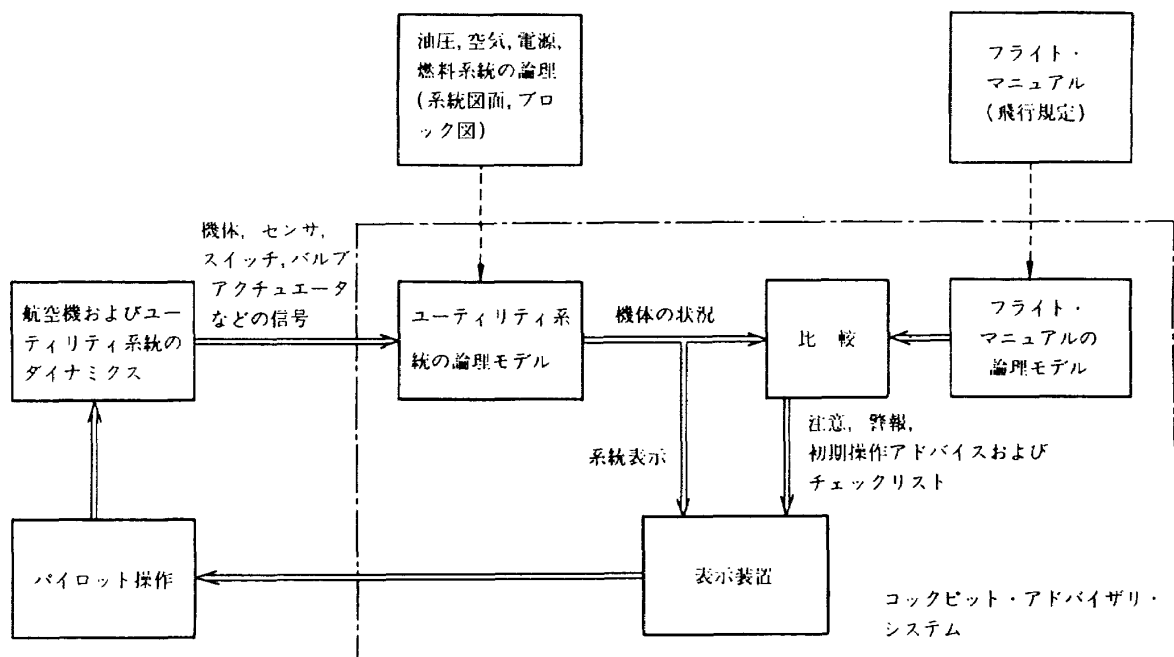


図2.1 CAS機能ブロック図

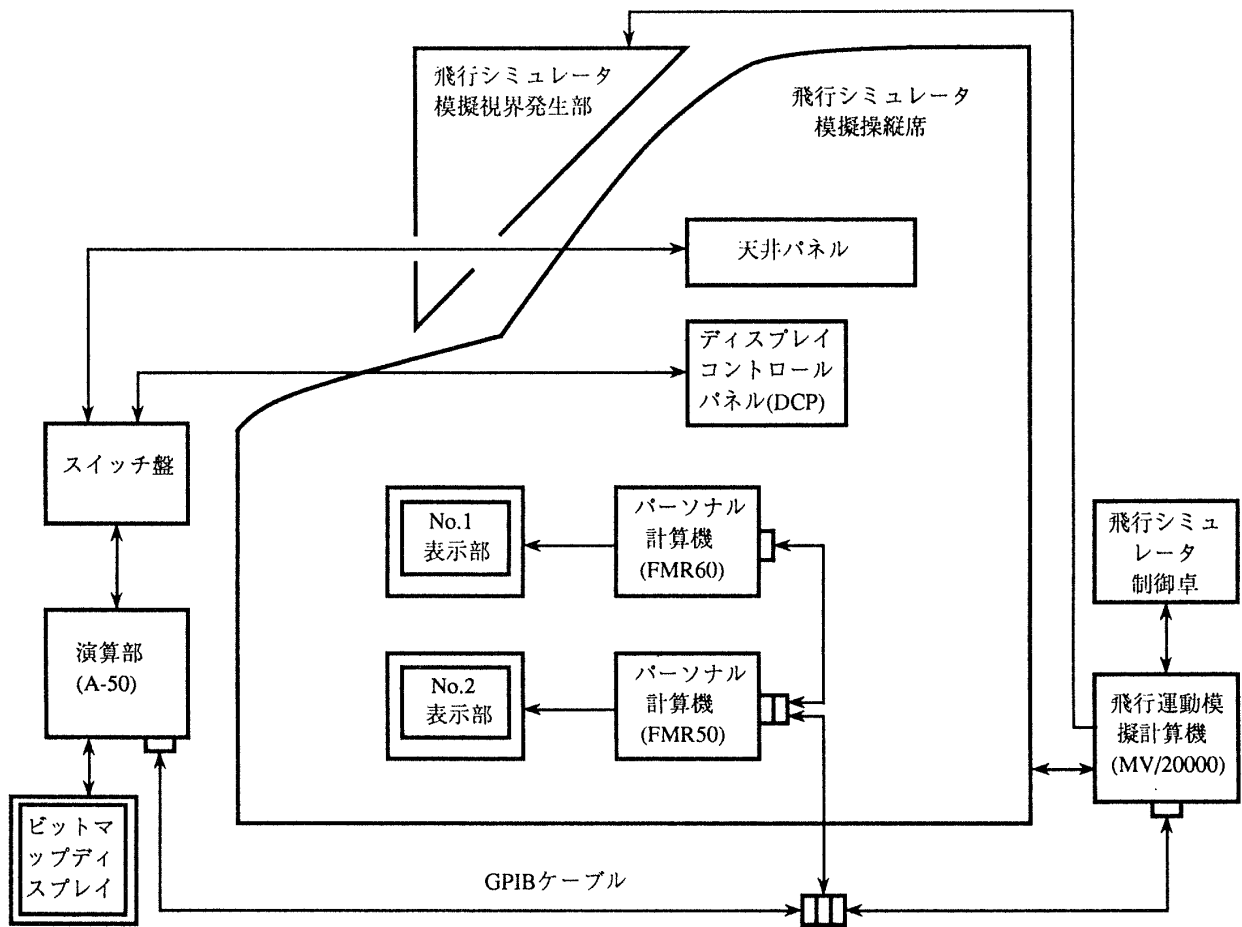


図 2.2 CAS の主構成要素と飛行シミュレータ

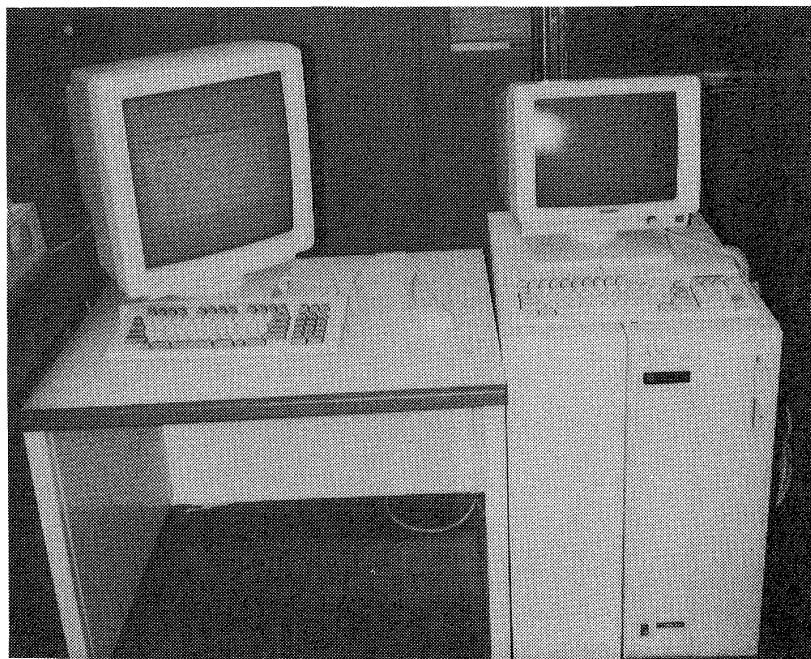


図 2.3 演算部 (A-50) の外観

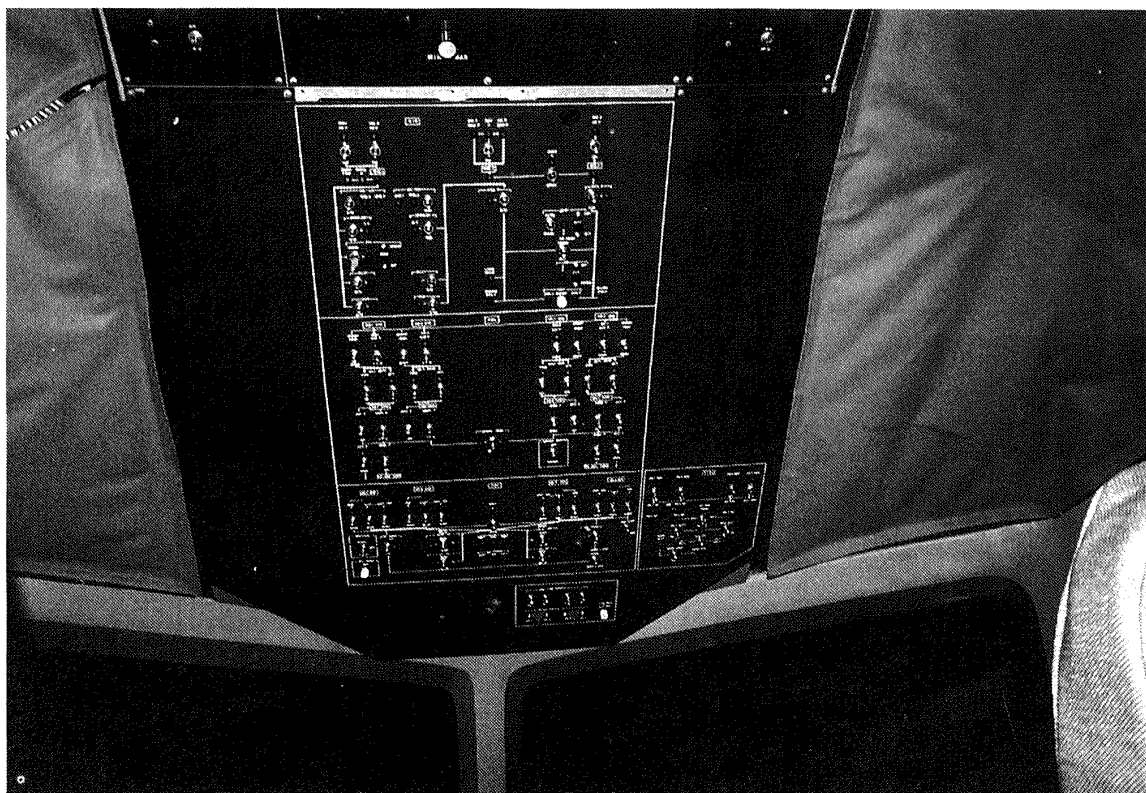


図 2.4 天井パネルの外観

を表している。また、パネル上のスイッチには 2 接点と 3 接点のトグルスイッチを用いる必要があった。これらが同一形状で同色であったことにより区別が困難なため、スイッチの操作つまみ部分を着色して判別性を改善した。

(3) ディスプレイ・コントロール・パネル (図 2.5 ; DCP と略記する。)

CAS のシステム画面表示を制御するためのパネルである。自照式の押しボタンによって 4 種類のシステム表示及び通常チェックリストと不具合発生時チェックリストの呼び出し、及びチェックリスト画面の更新と戻しの制御ができる。なお、この DCP には、スピード・ブレーキ、TPI (水平安定板) ブレーキ・リリース・スイッチ、アンチスキッド・スイッチ、緊急脚ハンドルといった操作機器が追加配置されている。これらは、本実験に必要な機能を模擬するために新たに付け加えられたものである。

(4) No.1 表示部 (図 2.6)

パーソナル計算機 (FMR60 ; 富士通製) の表示部に高解像度 CRT (中央無線製, 300mm×261mm (12 インチ)) を接続し、これを中央計器板に配

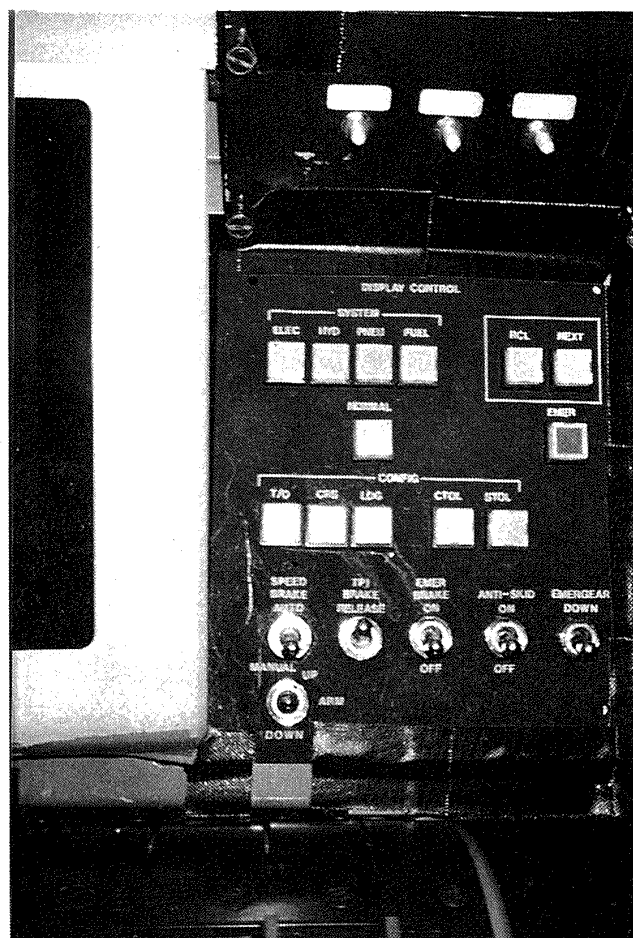


図 2.5 ディスプレイ・コントロール・パネルの外観

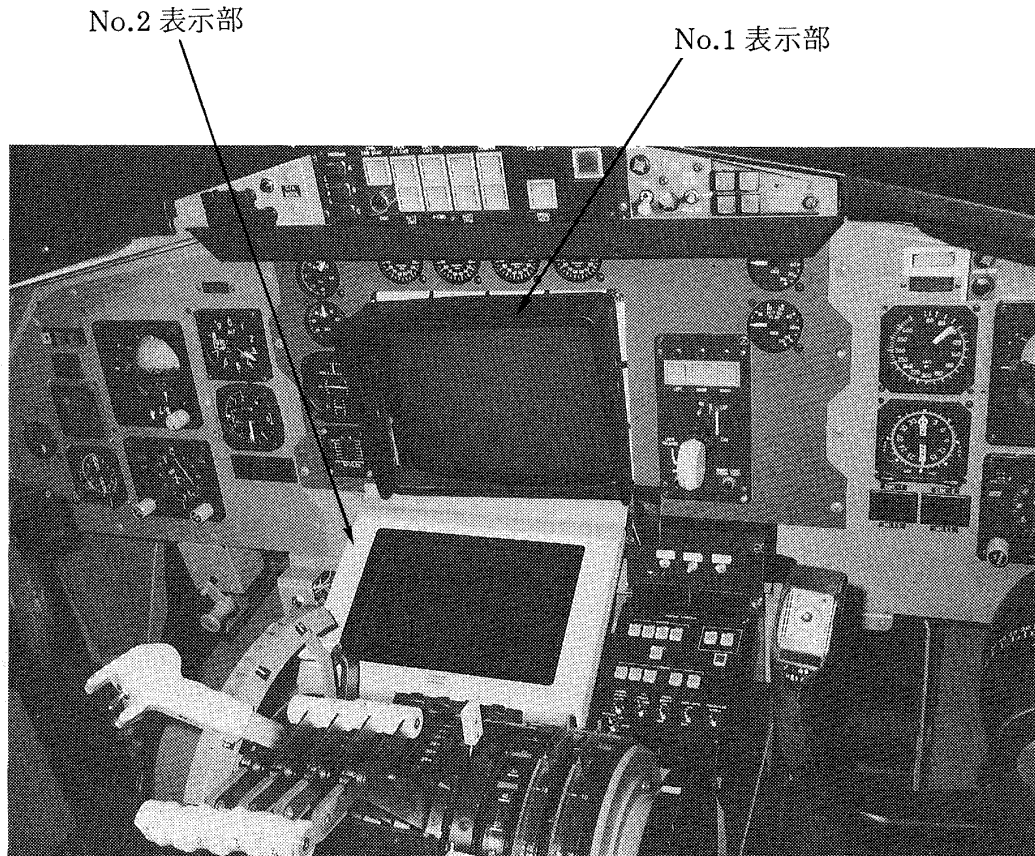


図 2.6 No.1 表示部及び No.2 表示部の取り付け状況

置した。演算部から光 GPIB インタフェースを経由して受け取った GPIB 信号に基づき、システム状態表示画面（電源、油圧、空調、燃料）及びチェックリスト（通常、不具合）を表示した。同 CRT は中央計器板に配置した。改修後の計器配置を図 2.6 に示す。

(5) No.2 表示部（図 2.6）

パーソナル計算機（FMR50；富士通製）の表示部にプラズマ・ディスプレイを接続し、これを用いて、同じく演算部からの GPIB 信号に基づき、注意警告、初期操作アドバイス、手順選択肢、フラップ角等機体形態の 4 区分された情報を共通画面として常時表示した。

(6) スイッチ盤

ソフトウェア開発時のデバッグ作業に使用された模擬スイッチパネルである。CAS と飛行シミュレータとの結合後はコックピットの天井パネルとの中継器として使用した。

なお、図 2.2 中の飛行シミュレータについては

以下の通りである。

(1) 飛行運動模擬計算機（MV/20000；日本データゼネラル社製）：「飛鳥」の飛行運動¹¹⁾を再現する演算部である。

(2) 飛行シミュレータ制御卓：ここから飛行シミュレータを制御するとともに、卓上の汎用入力スイッチによって、エンジン火災、脚故障等の不具合の発生あるいは解除を制御した。

(3) 飛行シミュレータ模擬操縦席：今回の実験では操縦性や飛行性に関する評価を行わないためモーションキューは必ずしも必要でないと考え、コックピットを固定して実験を行った。本実験のための表示部等を装備したコックピットの状態を図 2.7 に示す。

(4) 飛行シミュレータ模擬視界発生部：図 2.7 に例示されるように岐阜飛行場を中心とした視界情報が表示された。

2.3.2 ソフトウェア

本システムのソフトウェアは、以下のものを主

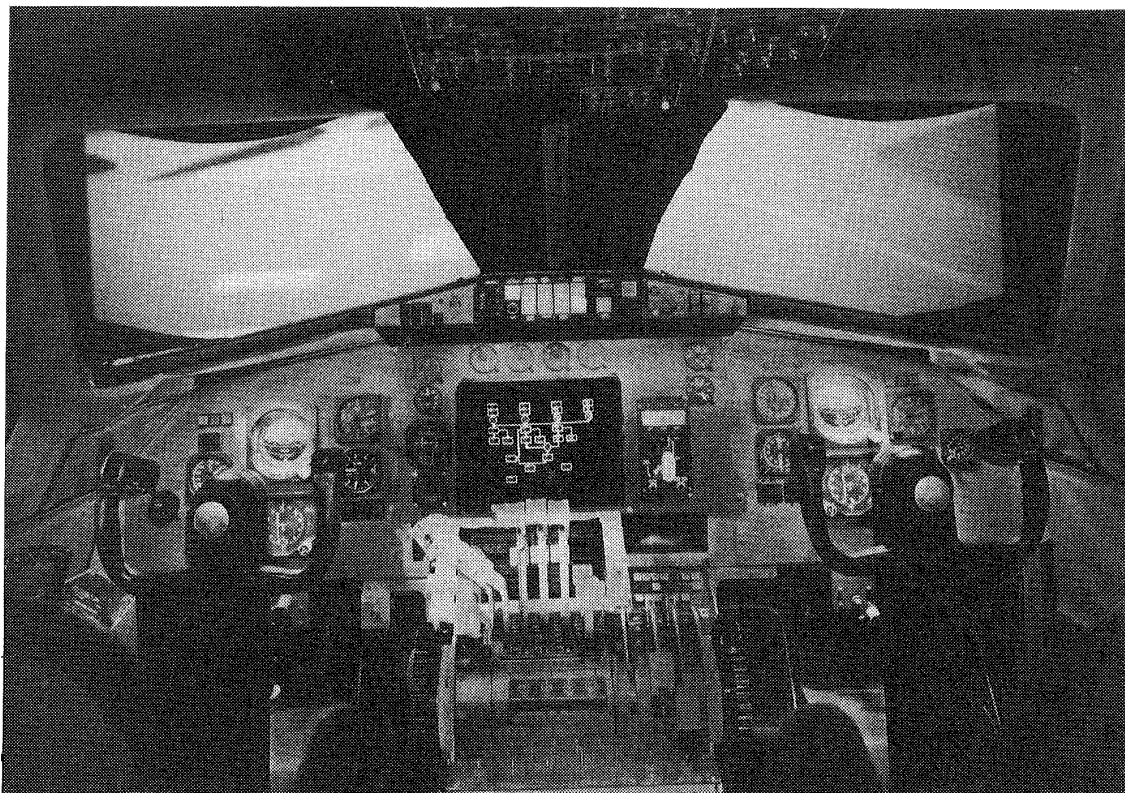


図 2.7 実験で使したコックピット

要構成要素としている。

(1) 推論部：機体モデル（ルール数822*），故障判別（ルール数247），初期操作判定（ルール数59）といった知識ルール群を使用して推論を進める。

(2) 通信インタフェース：画面表示色の決定（ルール数2387），表示画面切り替えの制御，DCP ランプ制御，GPIB 通信を行う。

(3) 入力操作盤インタフェース：入力操作盤の情報を推論部に取り込む。

(4) 画面表示用ソフトウェア：各パーソナル計算機上で動作するソフトウェアで，演算部からの GPIB 信号に基づいて各種の画面を描画する。

註* 「ルール」は「もし～ならば…である。」という論理の単位を表わす用語として用いており，ここで示したルール数はその合計を表わす。

上記の内，(1)～(3)は演算部に組み込まれており，知識工学の問題解決手法である黑板システム**を用いて作成され，共通黑板を媒体として各ソフトウェア間の情報伝達が行われる。推論部は LISP (ESHELL) で記述されているが，その他の部分には C 言語を使用している。本システムでは機体状態，スイッチ状態，故障の有無等現在 740 種類の変数を対象として処理する。

以上の表示機能をまとめると表 2.1 のようになる。また，同表に対応する画面表示例を図 2.8 ～ 図 2.16 に示す。

註** 黑板システム (Blackboard system) は，文献 12 によると，ブラックボード（構造化されたグローバルデータベース）の構造を利用して逐次的に解決に向けての情報をブラックボード上に増やしながら便宜主義的に問題解決を行う特徴をもつシステムと定義されている。

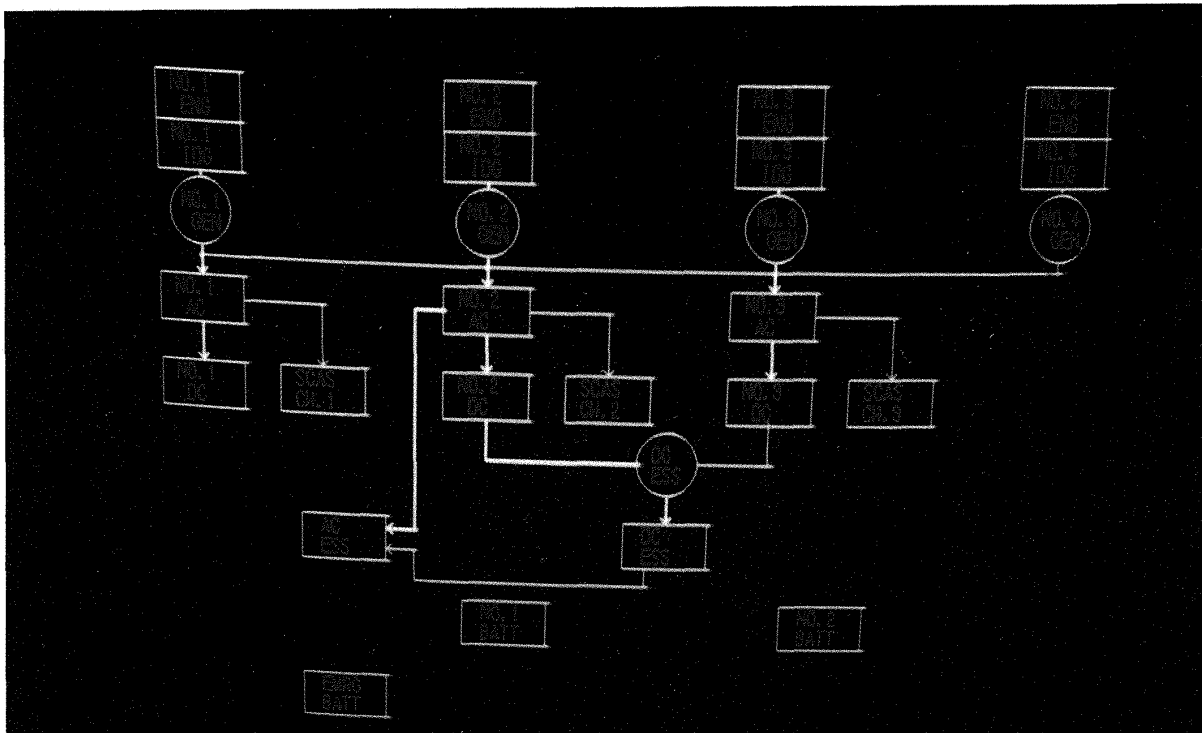


図 2.8 電源系統表示例

上部 4 ケ所がエンジン及び対応する発電機を表し、それらから、ACバス（3 系統）、さらに下方に DC バスや SCAS 用バスが結線され、全てが正常に作動している状態を表わしている。

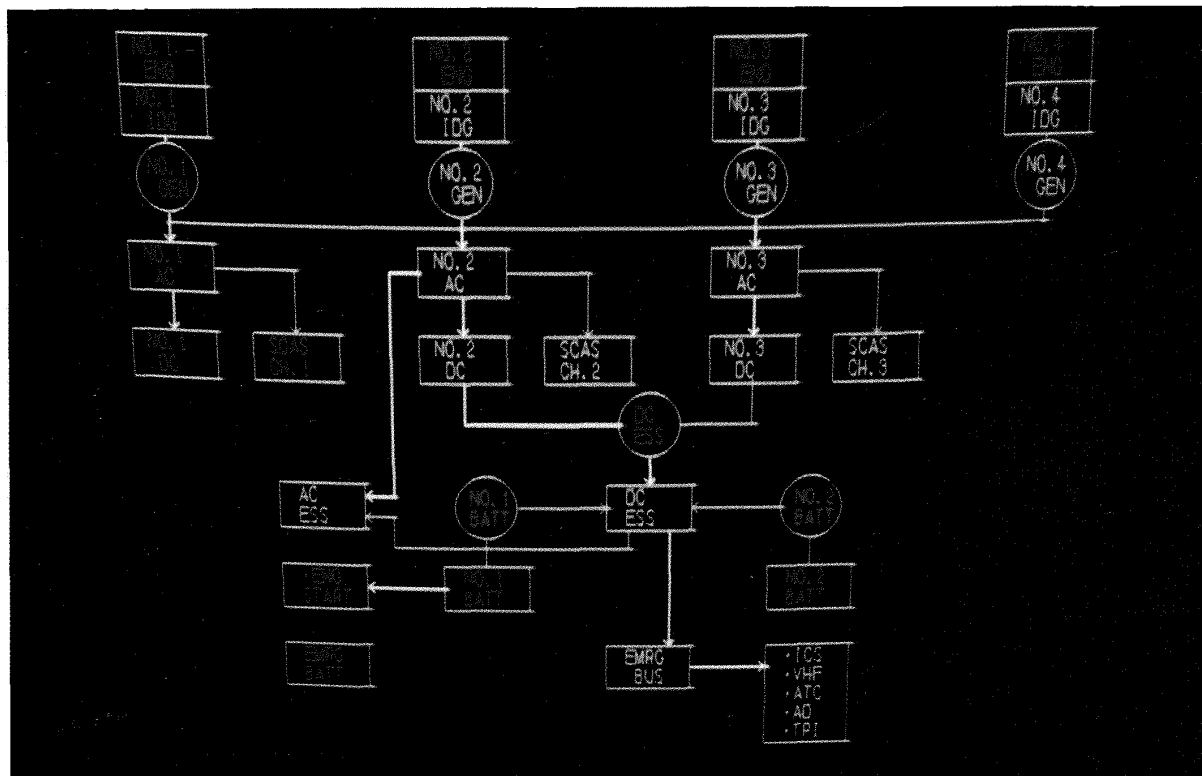


図 2.9 電源系統表示例（3 系統不動作）

図 2.8 に対比して、No.2～4 の発電機が故障時の状態を表わす。図中の黄色部分は不動作なバスや機器を表わし、また、バックアップのバッテリーが作動していることも示されている。

表 2.1 表示機能

表示種類	表示内容（種類）	表示位置
電源系統表示	—	No.1 表示部
油圧系統表示	—	No.1 表示部
抽気空調系統表示	—	No.1 表示部
燃料系統表示	—	No.1 表示部
通常チェックリスト表示	操作手順を含む	No.1 表示部
緊急チェックリスト表示	操作手順を含む	No.1 表示部
注意警告表示	注意，警告（反転表示） (134, 110)	No.2 表示部（共通画面）右上
初期操作アドバイス表示	(57)	No.2 表示部 左上
操作手順選択肢表示	手順に依存	No.2 表示部 左下
機体形態表示	USB フラップ角，外フラップ角， スラット角，エルロンドループ角（左右） 残燃料(6)	No.2 表示部 右下

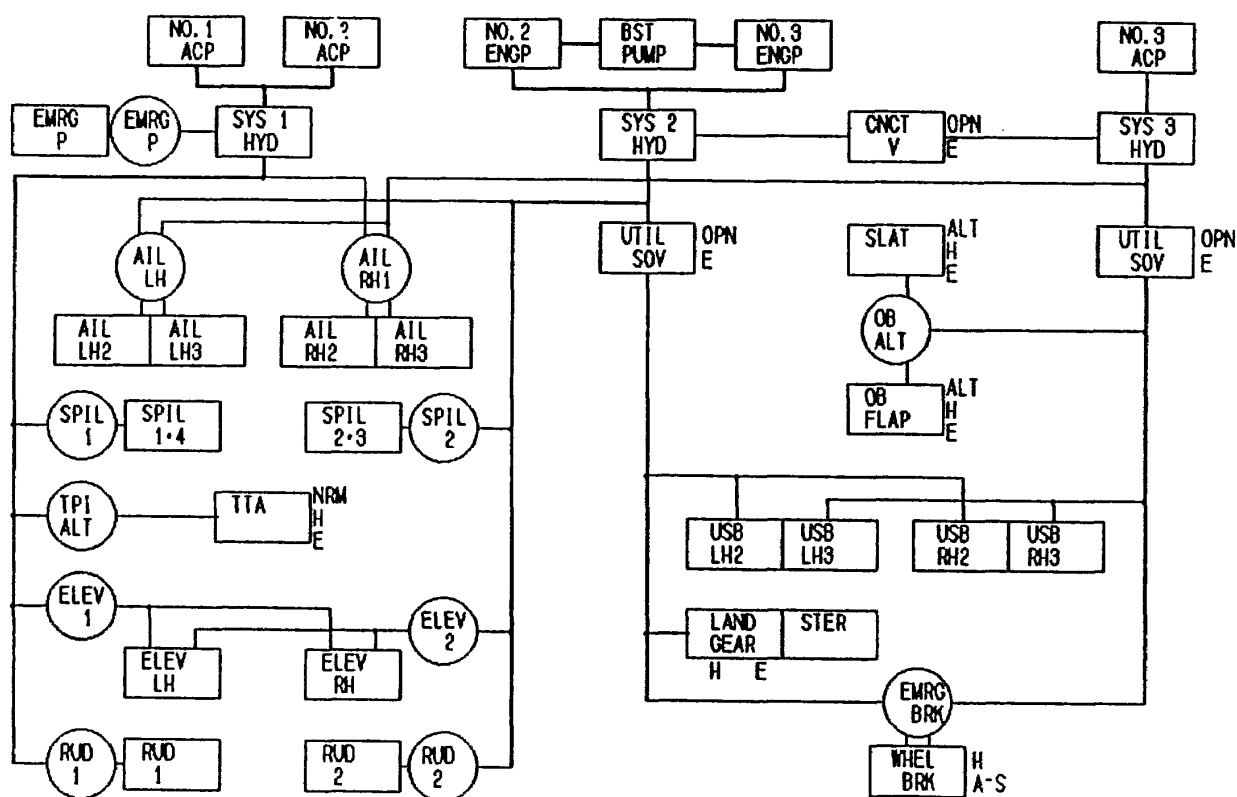


図 2.10 油圧系統表示例

上端の油圧ポンプによって3系統の油圧源が順次下方のエルロン(AIL)，フラップ(OB, USB)等の操縦システム作動用に供給されていることを図示している。

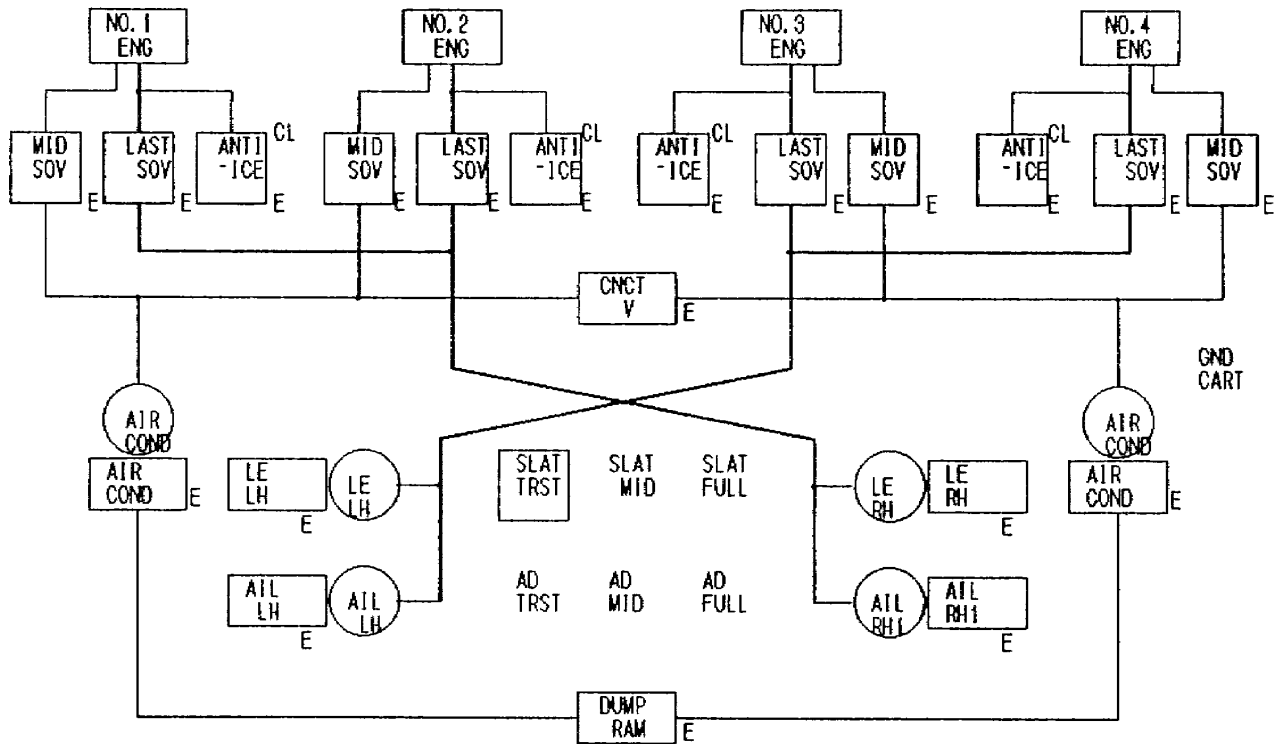


図 2.11 抽気系統表示例

上端の4つのエンジンからそれぞれ中間段 (MID)、後段 (LAST) より抽気され、エアコンやスラット、前縁 (LE) 及びエルロン (AIL) 境界層制御用に供給される状況を図示している。

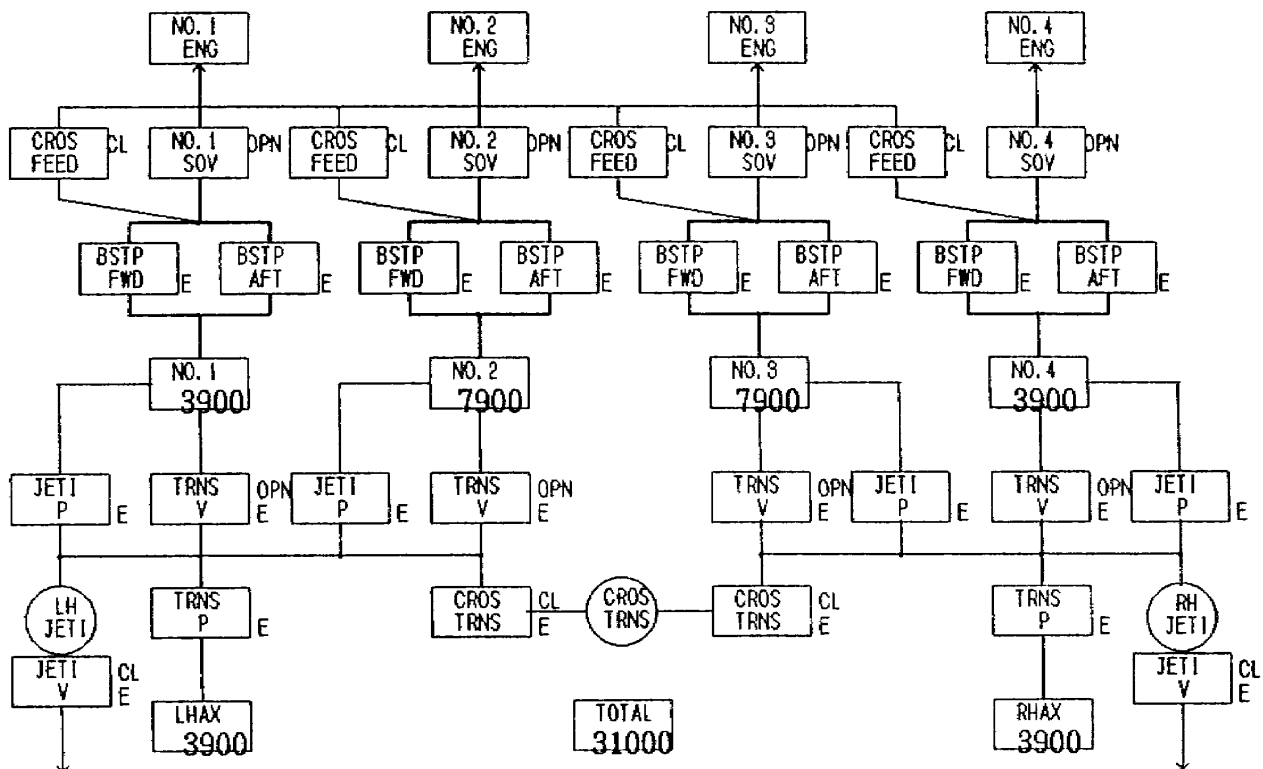


図 2.12 燃料系統表示例

中間部及び下部の燃料タンク（数字のある部分）からブースタポンプ (BSTP) や遮断弁 (SOV) を経由して上部のエンジンに燃料が供給される状況を示している。

Cockpit Preparation 3		
2. Pilot & Co-Pilot Panel		
(20) SCAS CDU -----	CKED	(P)
(21) Anti-Skid -----	CKED & OFF	(CP)
(22) IRU Slect SW -----	MAIN	(P, CP)
(23) Annunciator Lights -----	CKED	(P, CP PNF)
(24) ENG & Flt Instruments -----	CKED	(P, CP)
(25) Emer Gear Down Handle -----	IN, SECURED	(CP)
(26) Radio Altimeter -----	ON & SET	(P)
(27) Standby ADI -----	UNCAGED	(P)
(28) Gear & Gear Warning -----	DOWN LOCK & CHED	(CP)
(29) Flap Indicators -----	CKED	(CP)
(30) Speed Brake -----	DOWN DETENT [MAN]	(P)
(31) Throttle Levers -----	CUT OFF	(P)
(32) TPI Sw -----	NORM, GUARDED	(P)
(33) Slat Cont Selector Sw -----	AUTO, GUARDED	(P)
(34) Slat Cont Sw -----	OFF	(P)
(35) Ail Droop Sw -----	AUTO	(P)
(36) USB Flap Master Sw -----	CUT OFF	(P)
(37) Flap Cont Selector Sw -----	NORM, GUARDED	(P)
(38) Alt Flap Cont Sw -----	OFF	(P)
CONTINUE		

図 2.13 通常チェックリスト表示例

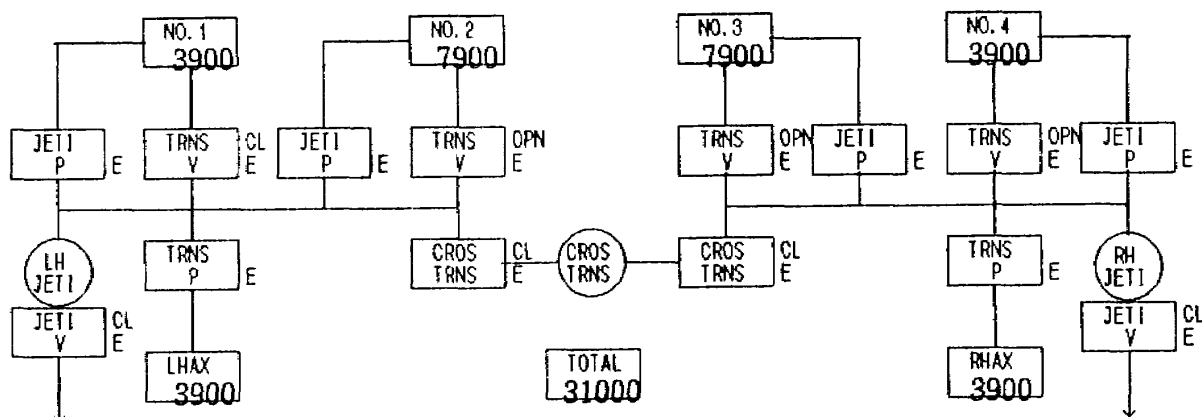
コックピット準備作業の手順の例であり、白色項目は実施済、黄色項目は未実施を意味する。なお、右側()内については P は機長(実験では PF)、CP は副操縦士(実験では PNF)、PNF はフライトエンジニア(実験では PNF)の実施項目であることを表わしている。

No. 3 Engine Fire		
1. Throttle Lever -----	CUT OFF	(P)
2. Engine Fire Handle -----	PULL	(P, CP)
3. Discharge SW -----	DISCHARGE	(P, CP)
4. Fire Bell Cut off SW -----	CUT OFF	(P, CP)
5. Fuel Boost Pump SWs -----	OFF	(PNF)
6. Generator SW -----	OFF	(PNF)
7. BLC Bleed SW -----	CLS	(CP)
8. Bleed Air SW -----	CLS	(PNF)
9. Engine Anti-Ice SW -----	OFF	(CP)
Fly at A S below 250 kt		
Make CTOL Land As Soon As Possible		

図 2.14 不具合発生時チェックリスト表示例(エンジン火災)

No.3 エンジンが火災時の例であり、赤色部分は緊急操作項目である。

FUEL JETTISON



1. Fuel Jettison SW ----- EMERG (?)
2. Jettison Valve OPEN LT --- CHECK (?)
3. Jettison Pump ON LT ----- CHECK (?)
4. Trans Pump SW ----- ON(AS REQ) (?)
5. FUEL QTY ----- CHECK

AFTER JETTISON COMPLETE

1. Trans Pump SW ----- OFF (?)
2. Fuel Jettison SW ----- NORM GUARD (?)

図 2.15 不具合発生時チェックリスト表示例 (燃料放出)

上部のブロック図は燃料放出作業に関連する系統を図示したもので、下部の実施手順と対応させるためまとめて表示されている。

[INITIAL ACTION]		[EMERGENCY MESSAGE]															
#3 ENG FUEL S/O VALVE ----- CL		#3 ENG FIRE															
[SELECT MENU]		FLAP															
<ol style="list-style-type: none"> 1. Engine Fire in Flight 2. 1 Engine Out Operation 3. Fuel Jettison 4. Landing with 1 Engine Out 5. Belly Landing 6. Ditching 		<table border="1"> <tr> <td>USB F</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>OB F</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>SLAT</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>AILD L</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>AILD R</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>FUEL</td> <td>7000</td> </tr> <tr> <td>QTY</td> <td>lbs</td> </tr> </table>		USB F	40	OB F	65	SLAT	40	AILD L	20	AILD R	20	FUEL	7000	QTY	lbs
USB F	40																
OB F	65																
SLAT	40																
AILD L	20																
AILD R	20																
FUEL	7000																
QTY	lbs																

図 2.16 No.2表示部の表示例

上左部は、緊急操作項目を示し、No.3 燃料遮断弁を閉じるように指示している。
 上右部は注意警告メッセージであり、No.3エンジン火災警報が示されている。
 下左部には1.空中エンジン火災処置から6.デイチングまで6つの手順選択肢の
 あることが示されている。
 下右部には、フラップ角 (USB, 外側), スラット角, エルロンドループ角,
 残燃料が示されている。

3. 実 験

3.1 実験目的

CASが航空機のヒューマン・インタフェースとして、パイロットの情報処理過程に及ぼす効果を評価することを目的とした。また、今回試作したCASの実用化に向けた問題点を探り、将来型の操縦室設計のあり方の一提案とするとともに、本システムの他分野への応用の可能性について検討することも本実験の目的である。なお、表示フォーマットや、色あい、表示機器の配置等については実験の直接の評価対象とはしなかったが、評価者から今後の参考となるアドバイスを得た。

3.2 セットアップ

実験のセットアップは図2.2の通りであり、CASと飛行シミュレータによって構成されている。MV/20000, A-50, FMR60, 及びFMR50の間の通信は GPIB によって行った。これらの通信はMV/20000が管理し、その指示に従ってA-50がMV/20000からの情報受容やその他の計算機への情報送出を行った。MV/20000からA-50への通信内容は表3.1に示されるように26バイトにまとめられた60種類の変数である。A-50からFMR50及びFMR60への通信情報は最大約200バイトの表示画面用の情報である。模擬不具合発生のために作成されたプログラムはFORTRANで記述され、MV/20000上のソフトウェアに組み込まれている。

本セットアップの模擬の程度について、実機と従来の形態での飛行シミュレータとの機能の比較を表3.2にまとめる。また、これらの模式的な関連を図3.1に示す。これらから明らかなように、本セットアップは、本来の操縦に関する機能の上にスロットルカット、警報音、天井パネル、故障模擬などユーティリティ系統の操作に関わる機能を付加して構成したものと言える。

いっぽう、A-50で実行している各タスクの処理に要する時間を計測した結果を表3.3に示す。この表によると、本システムは、シミュレータとの通信を約0.5秒毎に実施しつつ、自照式のスイッチの応答時間を約0.6秒、またシステム画面の変

更を約1.8秒程度で実行していることになる。これらの応答性能については、シミュレーション実験の評価対象とした。

3.3 実験の方法

実験では、当所の研究パイロット（「飛鳥」のパイロット）2名が参画し、各シナリオに基づいて順次マニュアルに規定された操作を実施した。慣熟試行の段階で、パイロットは以下に示す多様な項目について習熟する必要があった。

- (1) CASの機能性能と操作方法
- (2) 操縦や操作更には機体全般に亘る機能、性能、機構に関する知識の再確認
- (3) 実機に装備されているもので、今回の実験で新たに追加された警報音や天井パネルなどのスイッチ類の機能や操作方法

慣熟試行の結果、パイロットの予期しない不具合事象の処置操作を繰り返す方法について問題のあることが明らかになった。一般に、学習の影響を除去するためには、不具合発生順序をランダム化する必要がある。ランダム化しないで同じ不具合の試行を繰り返して実施すると、CASの効果による操作時間の変化よりも評価者の学習効果の影響による操作時間変化の方が大きくなる問題がある。しかし、今回の設定では、手順的操作はまず記憶によって行い、その後チェックリストにより確認することとしたため、CASの効果は主に確認作業に影響すると考えられる。この場合に不具合発生をランダム化し、不具合の種類を予測できなくすると、その効果は主に操作に着手する時刻が遅れるように影響するが、以降の作業所要時間にはあまり影響しないと考えられる。したがって、今回の実験において、CASの効果を調べる目的のためには、実験手順をランダム化して実験を複雑にすることが必ずしも有効とは言えない。以上のことを考慮し、実験で用いるシナリオを当初設定した9種類に限定し、パイロットが設定された不具合の処置操作に慣熟し、また予め不具合種類を承知している条件で実験を行った。各シナリオについて、STOL形態あるいはCTOL形態での通常離着陸ではまず記憶に基づいた準備作業及びその

表 3.1 GPIB による MV/20000から A-50への通信情報の一覧

先頭からのバイト数	変数	データ種類
1 ~ 6	水平安定板故障, USB フラップ非対称, USB フラップ制御バルブ No.2 左ジャミング, USB フラップ制御バルブ No.2 右ジャミング, USB フラップ制御バルブ No.3 左ジャミング, USB フラップ制御バルブ No.3 右ジャミング, 外フラップ非対称, スラット非対称, アンチスキッド右前故障, アンチスキッド右後故障, アンチスキッド左前故障, アンチスキッド左後故障, No.1 エンジン後部過熱, No.2 後部過熱, No.3 エンジン後部過熱, No.4 後部過熱, No.1 エンジン前部過熱, No.2 前部過熱, No.3 エンジン前部過熱, No.4 前部過熱, No.1 エンジン前部火災, No.2 前部火災, No.3 エンジン前部火災, No.4 前部火災, No.1 油圧故障, No.2 油圧故障, No.3 油圧故障, No.1 発電機故障, No.2 発電機故障, No.3 発電機故障, No.4 発電機故障, DC エッセンシャルバス故障, 左主脚ドアオープン, 右主脚ドアオープン, 左主脚ダウンロック, 右主脚ダウンロック, 前脚ダウンロック, パーキングブレーキセット, 脚制御ハンドル上げ, 脚警報停止スイッチ押し, エルロンドループスイッチ(オート) 以上41種類	ビット情報
7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	外気温度 対気速度 No.1 タンク残燃料 No.2 タンク残燃料 No.3 タンク残燃料 No.4 タンク残燃料 左補助タンク残燃料 右補助タンク残燃料 No.1 エンジン回転数 N1 No.2 エンジン回転数 N1 No.3 エンジン回転数 N1 No.4 エンジン回転数 N1 USB フラップ角 外側フラップ角 No.1 スロットルレバー角 No.2 スロットルレバー角 No.3 スロットルレバー角 No.4 スロットルレバー角 以上18種類	バイト単位
25, 26	高度 1 種類	2 バイト単位

表 3.2 実験での実機からの相違点

実機機器	既存シミュレータ	今回のセットアップ
操縦装置	ほぼ実機同等の油圧反力	ほぼ実機同等の油圧反力
飛行計器	ほぼ実機同等	ほぼ実機同等
HUD	なし	なし
エンジン計器	ほぼ実機同等	N1 計のみ
ATC 通信装置	なし	なし
航法支援システム	STOL 進入用仮想 ILS	なし（実機同等）
FE 操作パネル	なし	天井位置に設置
天井パネル	なし	なし
注意警告灯パネル	なし	なし
警報音	なし	脚警報，火災警報の追加
視界	模擬視界	模擬視界
モーションキュー	模擬発生	なし

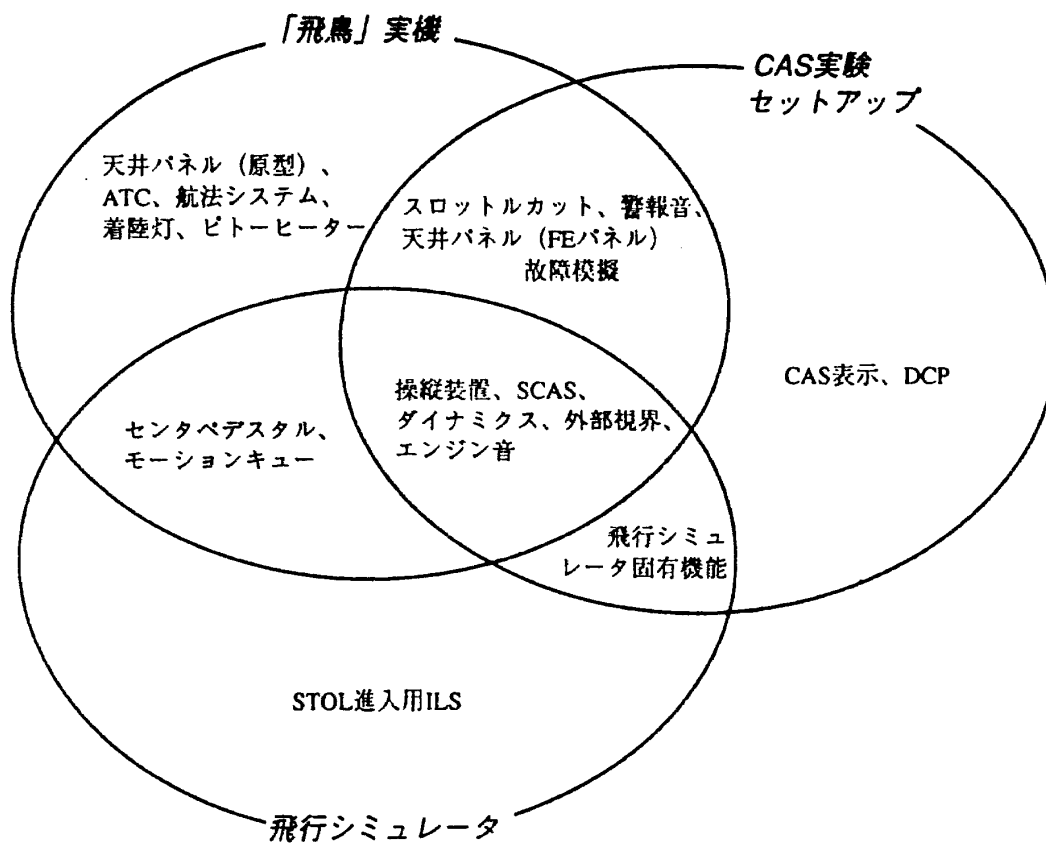


図 3.1 「飛鳥」実機，飛行シミュレータ，CAS 実験セットアップ間のパイロット・インタフェースの相違の例

表 3.3 ソフトウェア実行に要する時間（註1）

プロセス	(A) プロセス 1 回に要した時間の平均（秒）	(B) 実際に CPU を使用した時間の平均（秒）	備 考
入力操作盤 インタフェース	0.64	0.03	
推論部 通常飛行時	1.39	0.96	ガーベッジ・コレクション（註 3）に要する時間（平均約 0.27 秒 / 1 プロセス）を含む。
故障発生時	1.76	1.10	
表示部インタ フェース	0.53（註 2）	0.16	

註1) 本表に記載したデータは、CASを飛行シミュレータと結合してリアルタイムで動作させている場合に、全プロセスを約300回程度繰り返すのに要した時間とその間に各々のプロセス毎に要した中央処理装置を使用した時間を計測して求めたものである。表の (A) 欄は対応するプロセスを 1 回実行するのに要した見かけの所要時間であり、(B) 欄は 1 回の実行について実際に CPU (Central Processing Unit) で要した時間である。(A) にはその間に実行された他のプロセスやガーベッジ・コレクションに要した時間も含まれているが、パイロットや機体側から見た反応時間に対応したものであるため、これがシステムの性能を表現するものと言える。また、推論部のデータのうち、故障発生時とは、2 エンジン故障を模擬した場合である。

註2) シミュレータ計算機から 0.51 秒毎に GPIB 情報を転送したときの値であるが、システム起動時の未処理プロセスが残っている影響により約 0.02 秒の測定誤差が発生している。

註3) ガーベッジ・コレクションとは、不要なデータを削除してデータ領域を確保するため、LISP システムが適宜に実施するデータ領域管理作業である。

他の通常手順作業を実施し、その後 CAS 有りの条件では、CAS のチェックリスト表示により、図 2.13 で例示される未実施項目の黄色部分がないことを視認することにより確認した。CAS なしでは、従来の紙のチェックリスト表を読み上げる方法で確認した。

なお、パイロット間の役割分担に関しては、右席パイロット (PNF) が従来の航空機関士 (FE) 操作も併せて行うこととし、「飛鳥」を二人乗務で操作する場合を模擬した。従って、各ユーティリティの操作は、紙のチェックリストあるいは CAS に基づいて PNF が実施した。これを実現するため、本実験では通信など実機の副操縦士 (CO) の業務は大幅に省略した。

3.4 評価項目

CAS がパイロットの手順操作実施及び確認行動

に及ぼす影響については、表 3.4 に示す評価項目についてパイロットが実験後に数値的に評定することとした。そこでは CAS の以下の機能がパイロットの情報処理に関わるワークロードに及ぼす影響を中心に評価した。

- (1) 警報表示機能
- (2) 初期操作アドバイス機能
- (3) 操作手順選択肢表示機能
- (4) ユーティリティ系統（電源、油圧、空調、燃料）状態表示機能
- (5) チェックリスト（通常及び不具合）の表示機能

実験では以下のデータを収録し、以降の解析に供した。

- (1) パイロット動作の時間記録：コックピット後部上方より、小型 CCD カメラにより、パイロットの動作を記録した。

表3.4 パイロット評価項目 コメントシート

評価者名 日時：平成3年 月

試験番号： - -

評定： 従来のもの比べて
 非常に効果有り = 5 効果有り = 4 (中間値あり)
 同等 = 3 悪化 = 2
 非常に悪化 = 1 評価できず = 0

1. 各表示機能の操作手順の効率的実施について

(1) 警報表示機能

(2) 初期操作アドバイス機能

(3) 操作手順選択肢表示機能

(4) システム状態表示機能

(5) チェックリストの表示機能

	電源、油圧、空調、燃料
	NORMAL、緊急

2. 各表示の状況把握に対する効果

(1) 警報表示

(2) 初期操作アドバイス

(3) 操作手順選択肢表示

(4) システム機能状態表示

(5) チェックリストの表示

	電源、油圧、空調、燃料
	NORMAL、緊急

3. 各表示のワークロード軽減に対する効果

(1) 警報表示

(2) 初期操作アドバイス

(3) 操作手順選択肢表示

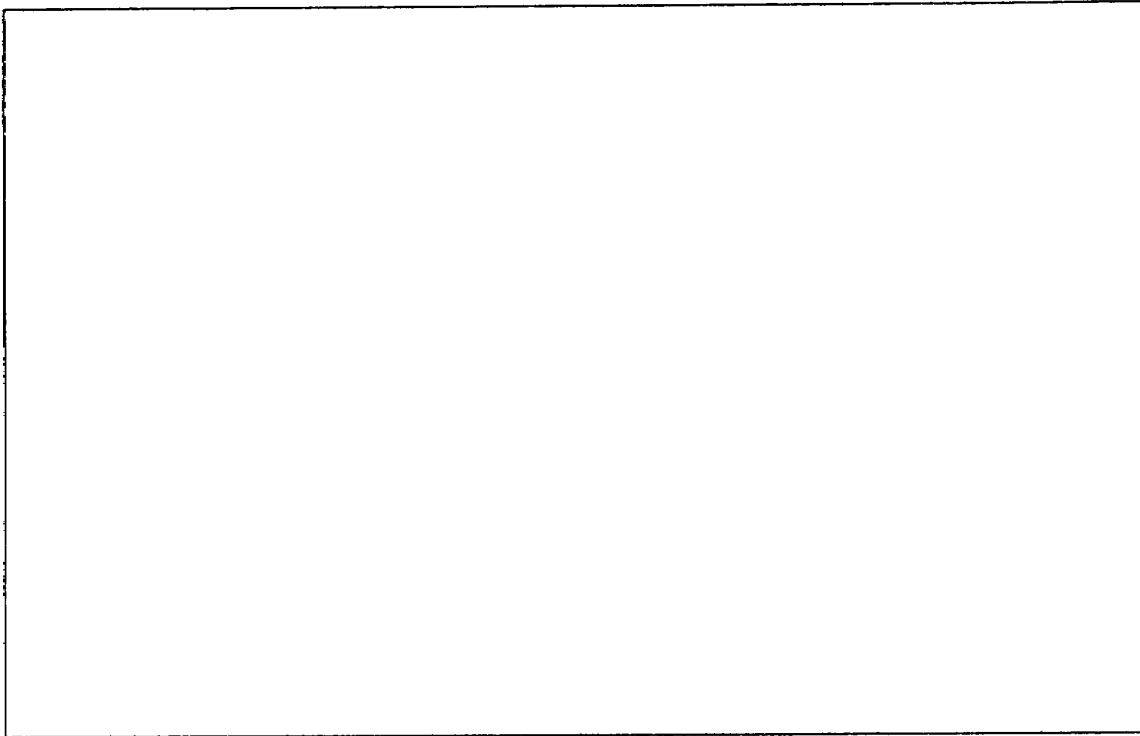
(4) システム機能状態表示

(5) チェックリストの表示

	電源、油圧、空調、燃料
	NORMAL、緊急

表 3.4 続き

4. その他の補足意見、その他の気付かれた点をコメント下さい。



5. C A S は、手順的作業支援のために試作したのですが、操縦操作への影響についてあればコメント下さい。

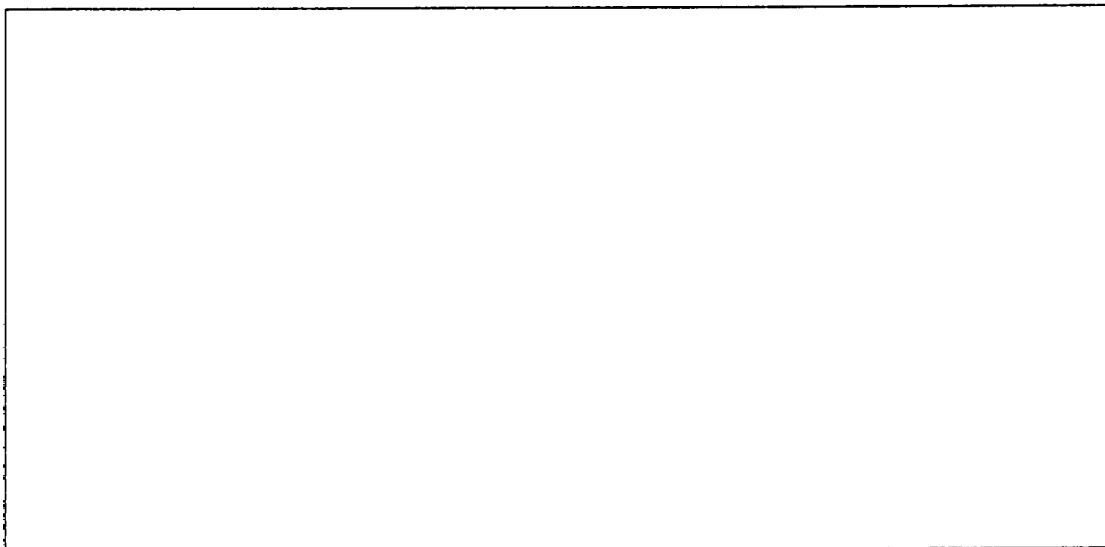
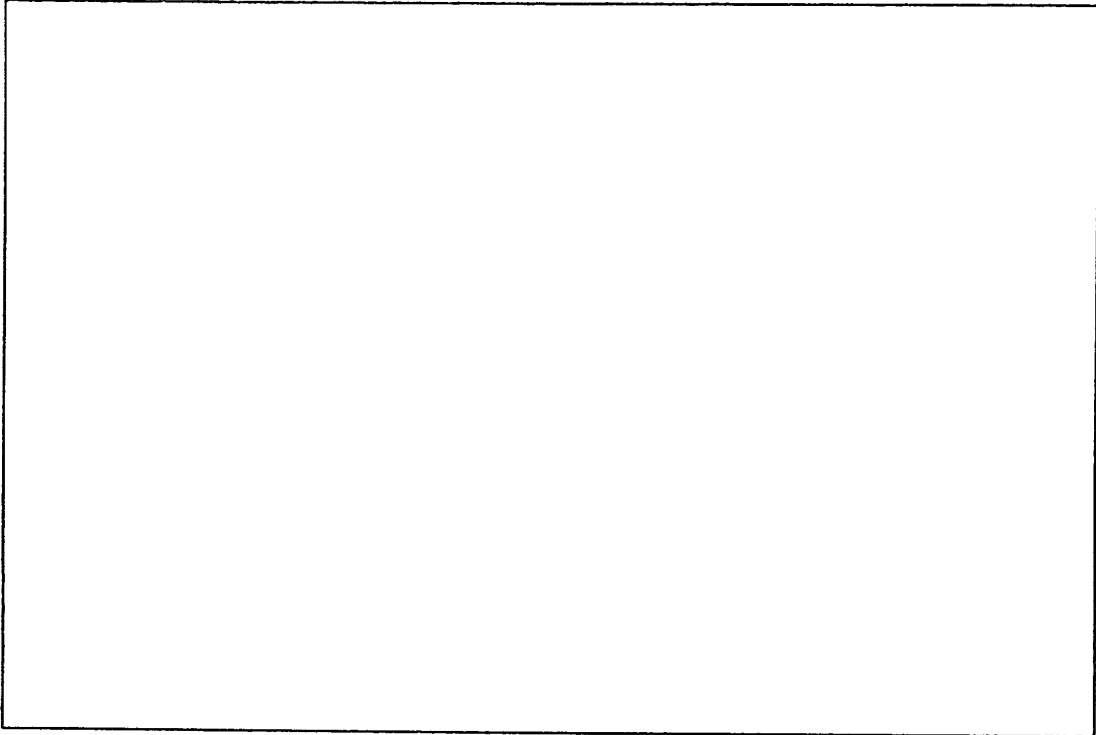


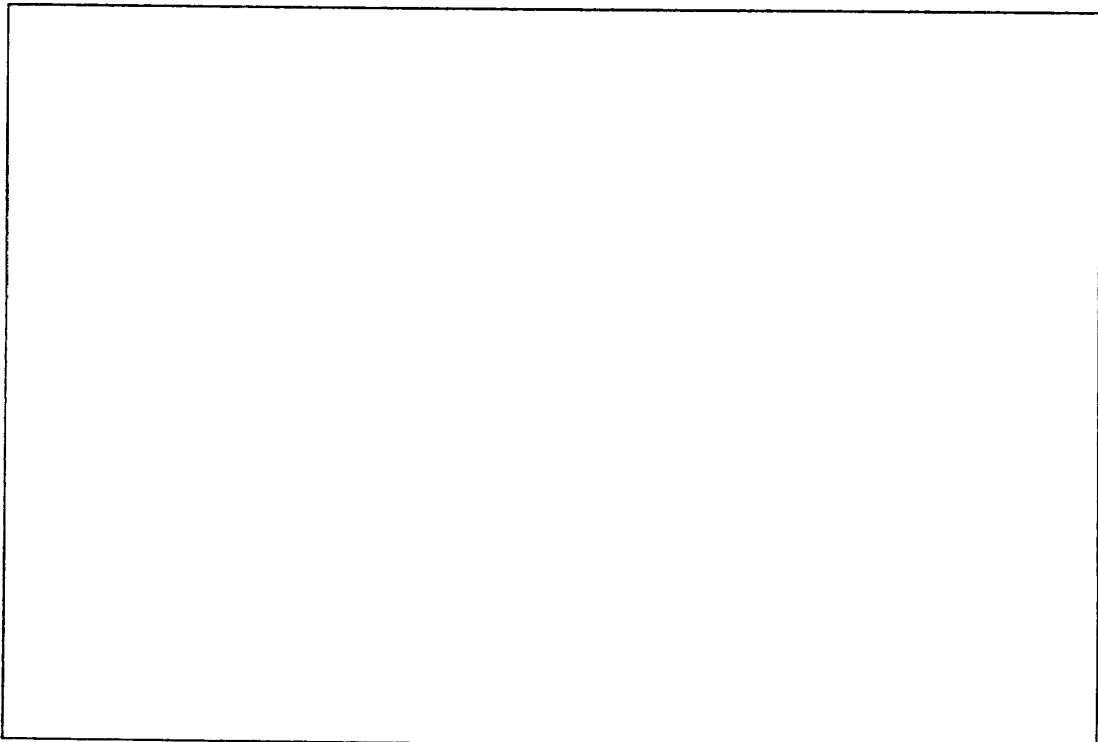
表 3.4 続き

6. 今回試作した装置の表示方式は、予算等の制約で極めて限られたものであるため、必ずしも望ましいヒューマンインタフェースが実現できたとはいえませんが、今後の参考として次の項目についてもコメントがあれば記入下さい。

(1)表示のフォーマット、色合い、大きさ、呈示位置等



(2)操作機器の大きさ、位置、レイアウト、形状、反応速度等



- (2) パイロットコメント：実験後に、上述の表 3.4 の評価項目及びその他のパイロットコメントを得た。
- (3) 時間履歴：また、飛行シミュレータの実時間記録機能を用いて、操縦機器の移動や航空機位置の時間記録を得た。

3.5 実験のシナリオ

実験で用いるシナリオには種々の不具合の発生が組み込まれている。そのような不具合発生時に、パイロットはまず記憶に基づく初期操作を実施し、その後、CAS 有りの条件では初期操作アドバイス、チェックリスト、次操作選択肢表示等を利用して確認及び次の操作を実施した。CAS なしの条件では、CAS 表示部の注意、警告表示及び操縦装置アクチュエータ状況表示パネルが利用できるもので、これを参照して記憶に基づいた作業を行い、その後紙のチェックリストで作業を確認した。この両者の作業を比較することによって CAS の効果を評価した。

シナリオは次の(1)から(9)までの 9 種類である。

- (1) No.1 エンジン火災
- (2) No.3 エンジン故障－エンジン再始動
- (3) No.4 エンジン過熱
- (4) No.2 エンジン火災－No.3 過熱（2 エンジン不作動）
- (5) 脚故障－胴体着陸
- (6) No.1 油圧故障
- (7) TPI 故障
- (8) 通常 STOL 離陸－STOL 着陸
- (9) 通常 CTOL 離陸－CTOL 着陸

上記のシナリオのうち、通常離着陸の場合は、滑走路方位 280°、エンジン停止を初期状態とした。その後、コックピット準備作業、エンジン始動準備、エンジン始動、地上走行準備、離陸準備、離陸後点検、巡航点検、降下点検、着陸準備点検、着陸後点検、エンジン停止準備、エンジン停止の作業を順次行うことになる。不具合発生の場合は、川島町上空約 1000 [m] から巡航形態（脚上げ、フラップ上げ）でダウン・ウインド・レグに進入する状態を初期状態とした。その後、予め設定した

不具合をコックピット内の実験指揮者から指示するタイミングで発生した。なお、エンジン故障の発生は、コックピット内で実験指揮者が当該のスロットルレバーを手前一杯に引いて模擬した。不具合発生後は場周飛行を継続して着陸操作を継続するか、あるいはダウン・ウインド・レグ上で水平直進飛行を維持することとした。

4. 実験結果と検討

4.1 実験結果

慣熟試行も含め、総計 85 回の試行を実施した。実験試行の記録を表 4.1 にまとめる。実験では、CAS がパイロットの手順操作実施及び確認行動に及ぼす影響について、パイロットコメントと、表 3.4 の CAS の効果に関する 5 段階の評点を得た。パイロットコメントを表 4.2 にまとめる。なお、同表には、別途実施した運航会社の技術パイロットとの討議の結果も加えた。また、CAS の効果についての評点を図 4.1 に示す。一方、脚ドアケーブルを引っ張る等故障状況の再現の困難な脚故障や油圧故障では作業に要する時間の測定が難しく作業時間の比較ができなかった。これらのシナリオを除き、パイロット行動の VTR 記録を再生し、各シナリオ毎の作業に要した時間を測定した。その結果を図 4.2 に示す。

今回の実験は、コメントにあるように、PNF の作業が従来の CO の作業に FE の操作が付け加わったものとなって過重であることや、三人で運航されてきた「飛鳥」の操作を二人で実施するなどパイロットにとって困難な条件が課せられた設定であった。かかる限定された条件下にも拘らず、実験により以下の結果が得られた。

- (1) 全ての試行について、操作手順の効率的実施、状況把握、ワークロード軽減の評価項目に関し、警報表示、初期操作アドバイス、手順選択肢、システム状態、チェックリスト毎の評定結果を得た。そして CAS の有効性については、全般的に、効果有りあるいは非常に有効との評定を得ている。表 4.2 のパイロットコメントに示されるように、CAS は紙のチェックリストに比べ、状況把握時間の短縮、心理的余裕等からみて操作が容易で、ク

表 4.1 実験試行一覧表

実施日	項 目	CAS	整理番号	備 考
慣熟試行 第 1 日	離陸	有り	1	慣 熟
	CTOL 着陸		2	
	#1 エンジン火災		3	
	離陸 & 着陸		4	
	エンジン火災		5	
	エンジン故障		6	
	エンジン過熱		7	
	2 エンジン不作動		8	
	脚故障		9	
	油圧故障		10	
	電源故障		11	
	TPI 故障		12	
慣熟試行 第 2 日	CTOL 離陸 & 着陸	有り	13	
	#1 エンジン火災		14	
	2 エンジン不作動		15	
	脚故障		16	
	TPI 暴走		17	
	STOL 離陸 & 着陸		18	
実験第 1 日	STOL 離陸 & 着陸	なし	19	
	#1 エンジン火災		20	
	#1 エンジン火災		21	
	#3 エンジン故障		22	
	#3 エンジン故障		23	
	#4 エンジン過熱		24	
	2 エンジン不作動		25	
	HYD 故障		26	
	TPI 故障		27	
	STOL 離陸	有り	28	
	#1 エンジン火災		29	
	#3 エンジン I		30	
	#4 エンジン過熱		31	
	2 エンジン不作動		32	
	HYD 故障		33	
	TPI 故障		34	
	STOL 離陸 & 着陸	なし	35	
	#1 エンジン火災		36	
	#3 エンジン故障		37	
	#4 エンジン過熱		38	
実験第 2 日	CTOL 離陸 & 着陸	なし	39	
	脚故障		40	
	HYD 故障		41	
	TPI 故障		42	

表 4.1 続き

実施日	項 目	CAS	整理番号	備 考
実験第 2 日	STOL 離陸	有り	43	
	STOL 離陸		44	
	#1 エンジン火災		45	
	#3 エンジン I		46	
	#4 エンジン過熱		47	
	2 エンジン不作動		48	
	2 エンジン不作動		49	
	脚故障		50	
	HYD 故障		51	
	フラップ操作		52	
	STOL 離陸 & 着陸		53	
	CTOL 離陸 & 着陸	なし	54	
	#1 エンジン火災		55	
	#3 エンジン I		56	
	#4 エンジン過熱		57	
	2 エンジン不作動		58	
	脚故障		59	
	HYD 故障		60	
	TPI 故障		61	
	CTOL 離陸 & 着陸	有り	62	
	#1 エンジン火災		63	
	#3 エンジン故障		64	
	#4 エンジン過熱		65	
	2 エンジン不作動		66	
実験第 3 日	2 エンジン不作動	有り	67	
	脚故障		68	
	脚故障		69	
	HYD 故障		70	
	TPI 故障		71	
	2 エンジン不作動		72	
	2 エンジン不作動		73	
	STOL 離陸		74	
	STOL 着陸		75	
	STOL 離陸 & 着陸	なし	76	
	CTOL 離陸 & 着陸	有り	77	
	STOL 離陸	なし	78	
	CTOL 着陸		79	
	HYD1 故障	有り	80	以降 ランダム
	#4 エンジン過熱		81	
	#3 エンジン火災		82	
	#3 エンジン過熱		83	
	HYD1 故障		84	
	#4 GEN 故障		85	

表 4.2 パイロットコメントの要点

1. CAS の評価

- (1) CAS はすぐ呼び出すことができるが、紙のチェックリストでは頁を繰る必要があるので、両者で操作時間に差が生じる。CASでは初期操作などが表示されるので、記憶に基づく作業項目以外についてもそれを手がかりにして操作を連想でき、更に早く手順が表示されるので操作し易い。
 - (2) 紙のチェックリストでは、時間的に余裕のない場合には PNF のリストの読み飛ばしが生じ得る。CAS があると、PF はチェックをしつつ操作が可能のため心理的な余裕が増す。
 - (3) システム表示を呼び出して確認する機能も有効である。
 - (4) CAS により、PF と PNF の両者がモニターできるので、PF に余裕が生まれ、誤操作も無くなる。また、PF が PNF に対して的確な情報を流せる。その結果、クルーコーディネーションがスムーズになる。従前では、PNF が PF の先回りをして何が欲しいか予め用意する必要があった。
 - (5) PNF にとって最適な手順を捜す必要がないため、PF の作業に対する的確なアシストができる。
 - (6) CAS は、運航状態のモニターと緊急手順支援に必然である。
 - (7) 将来CASが機体に装備された場合、短時間に慣熟して正確な操作ができると思われる。
-

2. CAS の問題点

- (1) 電気系統の警報に対応するチェックリストも必要である。
 - (2) チェックリストとイニシャルアクションの機能が重複している。イニシャルアクションとチェックリストとは本来同等のものである筈であるが、現在それぞれ別個に表示されている。
 - (3) 現在運航会社で用いられているものと違って、今回のチェックリストでは操作項目と確認項目とが混在している。
-

3. 今回のヒューマンインタフェースに関する評価

- (1) 表示部の配置が不適當である。
- (2) 表示用の文字、色については識別性、光、夜間等環境を考慮し、実用に向けた別途の工夫が必要である。また、表示文字が小さい。
- (3) 天井パネルのスイッチ形状が同じため、識別が困難であったが、色分けすることでかなり解消した。画面を見つつ天井のスイッチを操作するのは適當でない。
- (4) 表示部の操作に関して、画面をロールアップ、ロールダウン、スキップができると良い。チェックリストの該当箇所を示すカーソルがあると良い。
- (5) DCP について、一動作でメニューを選択できると良い。
- (6) 反応速度は若干遅い。0.2 秒程度がよい。
- (7) 注意、警告情報はマスターコーションの近くにこれと連動して表示すると良い。

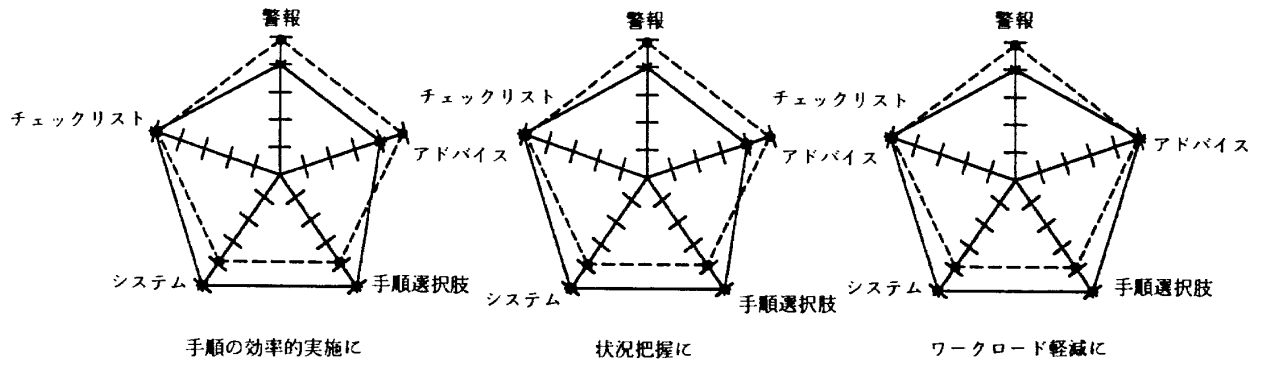
表 4.2 続き

4. 実験実施方法について

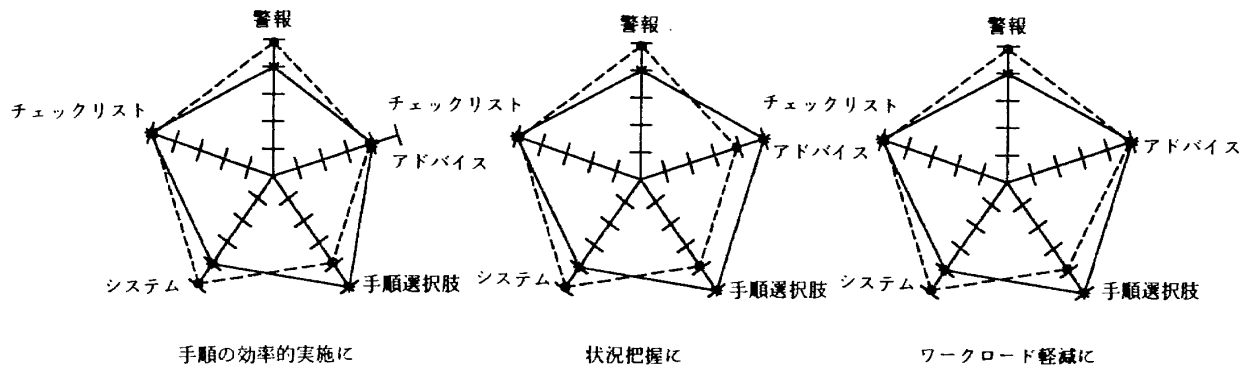
- (1) 今回の操作手順は「飛鳥」のものと同じであるが、省略されている。このため、作業遂行には困難を伴ったが CAS によって実施できた。
- (2) PNF の作業は、元来の CO の作業に FE の操作が付け加わったものであり、PF に比べ多すぎる。
- (3) 「飛鳥」では、3人で紙のチェックリストを用いて安全運航を実施してきた。CASがあってもこれを2人で運航するのは困難と思われる。従って、今回のセットアップでは、2人でCASによれば何とか可能であるが、CASなしでは不可能な作業量であったと思われる。

5. 将来の課題

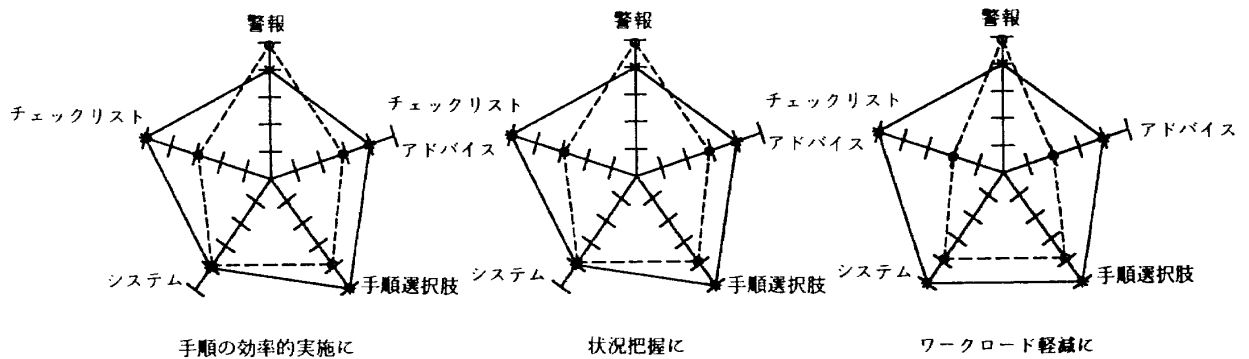
- (1) CAS が実用になると、PNF が中心的役割をもつようになる。とくに、Flight Safety Management は PNF が受け持つことになる。PNF が主導的な役割を持ち得るため、従来の機長と CO との役割分担とは異なったものを考える必要がある。
- (2) 通常時には、PNF が ATC、航法等の運航支援を行っているが、緊急時にはこの運航支援のロードが PNF に追加されることも考慮する必要がある。
- (3) 自動化が進んでも、二人乗務にはCASが必須である。二人乗務形態では、チェックリストを繰る状況をCASによって改善する必要がある。この場合、CASの信頼性確保の方法、センサーで状態をモニターする範囲、表示装置のバックアップ方法等の検討が必要である。
- (4) 二人が同一画面に見入ってしまうと操縦がおろそかになるおそれがある。将来型では個別の画面によってそれぞれのパイロットが選択表示することになろう。
- (5) STOL、CTOL 巡航等飛行フェーズはソフトウェアにより判別できるはずなので、DCP操作による選択は必要ない。また、エンジン始動のチェックリストには、前半の手順ではスロットルレバー位置が後方であれば終了とする項目がある一方、後半の手順ではその位置が前方であれば終了とする項目が含まれている。この手順を進めた後、チェックリストを戻して既に完了している部分を振り返ると実際には終了していても未実施と判定され、その項目が再び黄色表示されてしまうことがあった。これらの問題を解消するにはメタ・ルールが有効である。
- (6) CAS があると、チェックリスト項目はもっと多くても良いことになる。階層型のチェックリストが適当になって来る。
- (7) CAS には通信機能も組み込まれる。また、小型機用の手順書やチェックリストとしても効果的であろう。飛行エンベロップをモニターする必要もある。
- (8) 現在の航空機では、燃料と油圧は消火ハンドルを引くと自動的にカットされる。このように自動化されていればシステムの表示方式が変わることになる。
- (9) 緊急時には、安全飛行確保が優先されるため、かえって表示を抑制した方がよい場合もある。



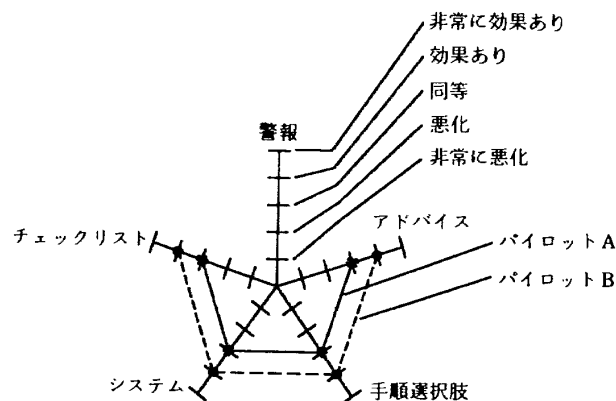
(1) エンジン火災



(2) エンジン故障



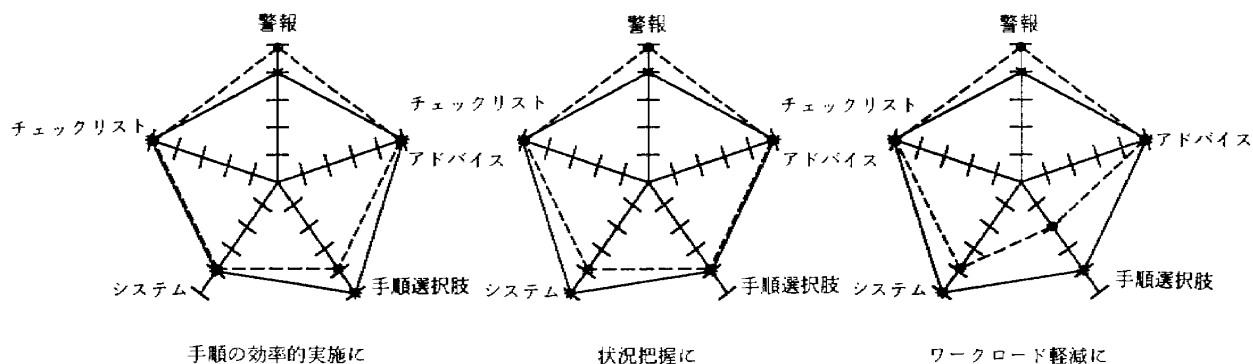
(3) エンジン過熱



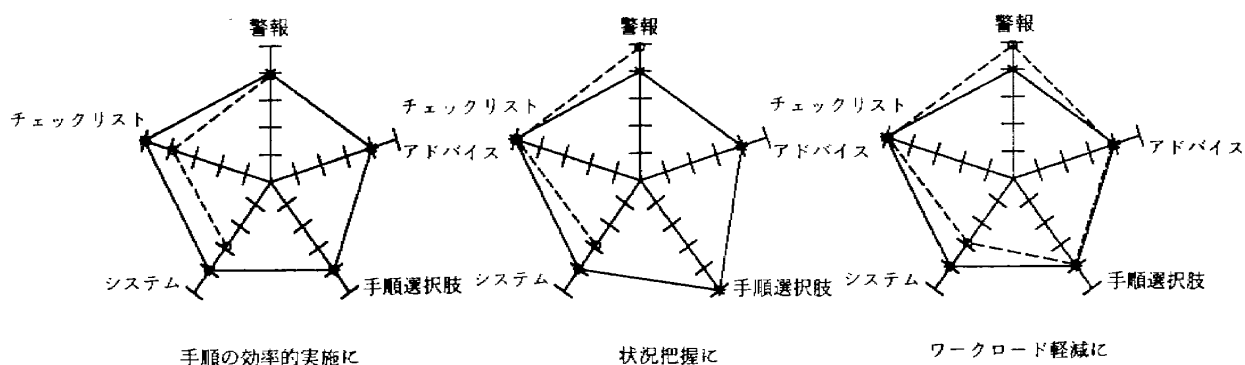
コックピット・アドバイザリ・システムを紙のマニュアル
及びチェックリストと比較した評定結果である。

(図4.1の註)

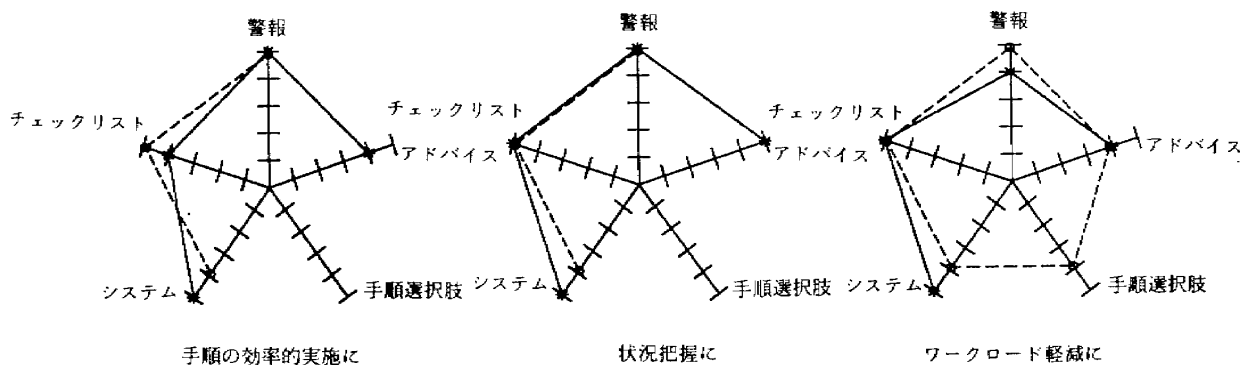
図4.1 CASの効果に関するパイロット評点^{註)}(その1)



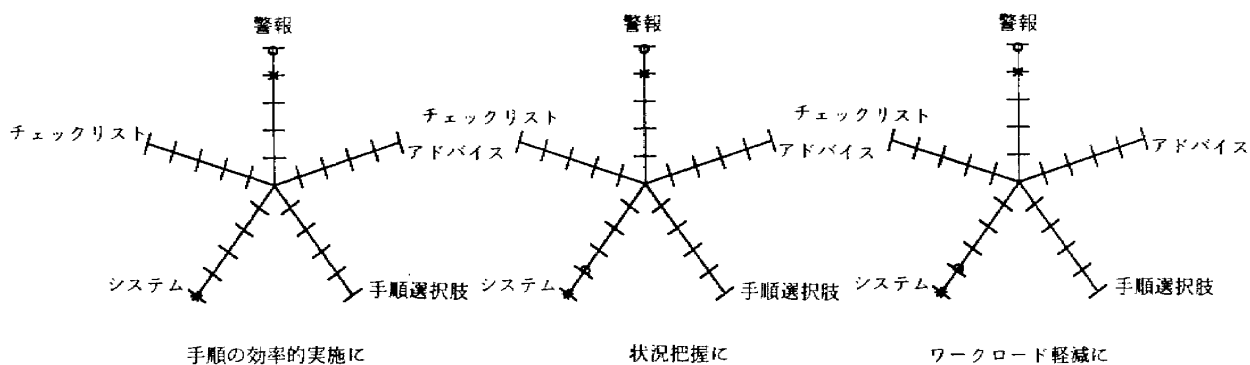
(4) 2 エンジン故障



(5) 脚故障

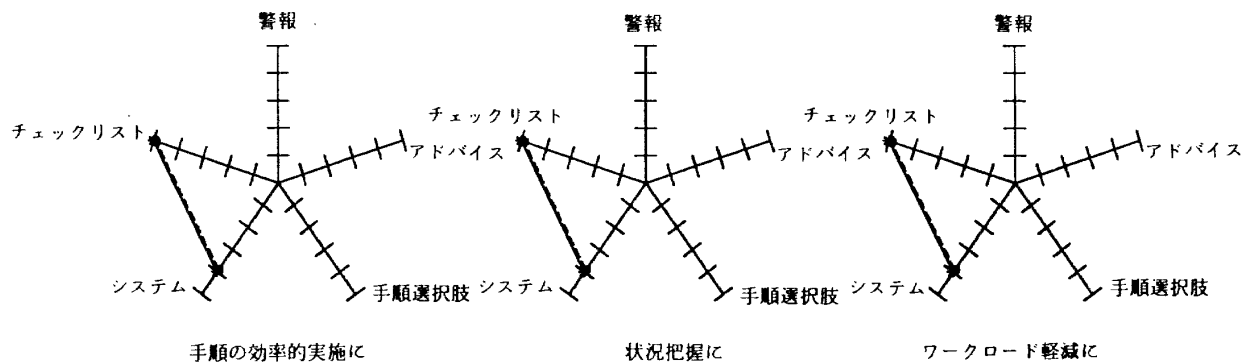


(6) 油圧故障

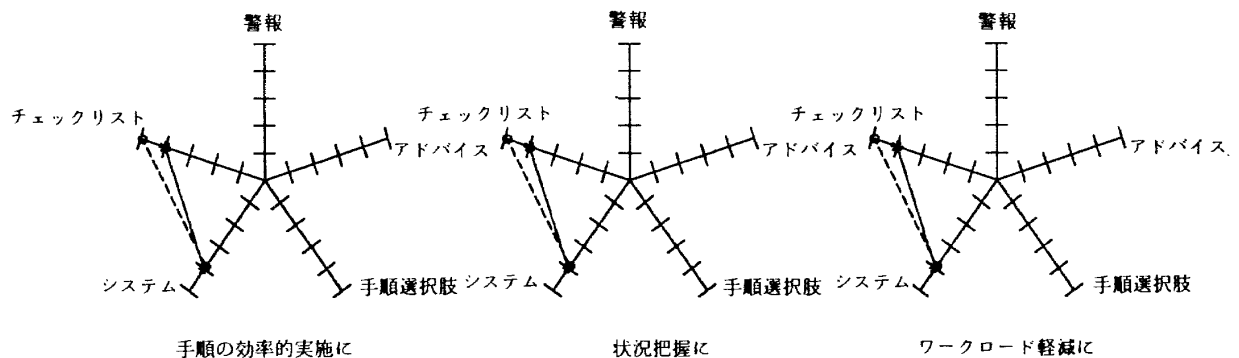


(7) TPI 故障

図 4.1 (その 2)

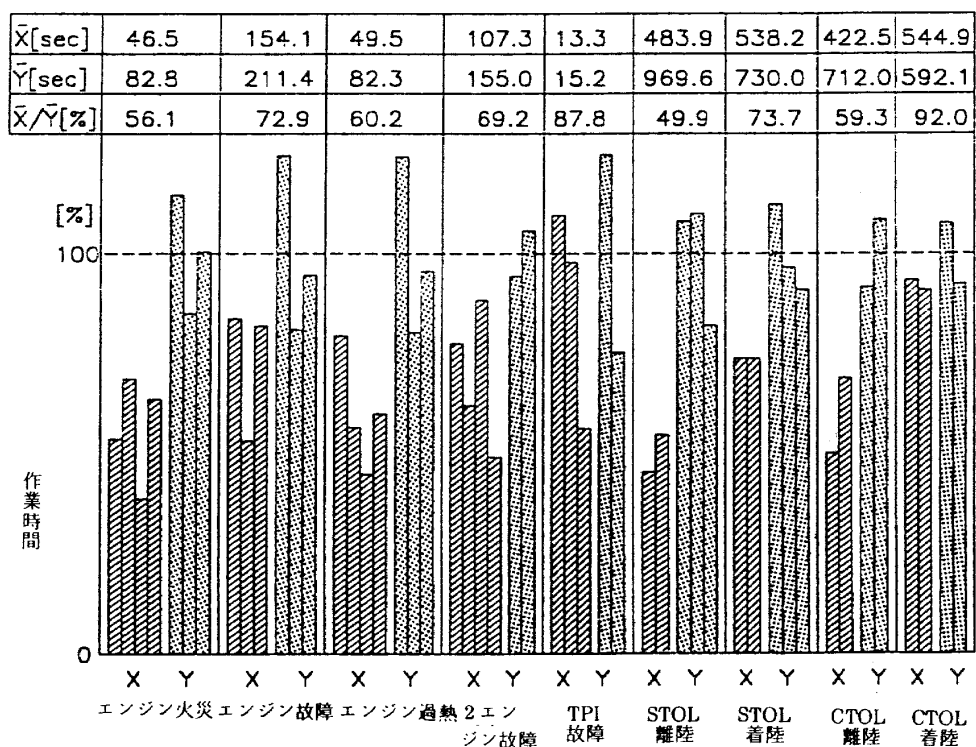


(8) STOL 離着陸



(9) CTOL 離着陸

図4.1 (その3)



X : CAS 有りのデータ \bar{X} , \bar{Y} はそれぞれの平均値である。

Y : CAS なしのデータ

作業時間は Y の平均値を 100[%] とした相対値である。

図4.2 シナリオ毎に要した作業時間測定値

ルーコーディネーションに有効であるとされた。

(2) 通常操作については、システム状態表示とチェックリスト表示が有効であるとされた。また、複雑な故障の場合にも、全ての表示項目が有効とされた。図4.2からも、水平安定板暴走や着陸時といったチェックリスト表の読み上げの影響の小さいシナリオを除き、CASにより作業時間の大幅な短縮が達成されたことが判る。

(3) 一方、チェックリスト表示と初期操作アドバイスの機能が重複し、それぞれが別の場所に個別に表示されていたが、両者を統合してより簡潔に表示すべきとの指摘があった。

(4) また、油圧故障等チェックリストによる確認を必要としない不具合や電気系統の不具合に対応するCASのチェックリストに不足部分があり、紙のチェックリストを使用しなければならないことがあった。更に、チェックリストと初期操作アドバイスとが必ずしも一致しない場合があった。これらに関して、全ての表示項目を統一して表示する必要性が指摘された。

(5) 情報を呈示するルールについて、今回、手順選択肢の表示の順位は一意に定まっていたが、今後は状況に応じて優先度の高いものから呈示すべきであること、飛行フェーズを判別して適切な表示を行うべきであること、更にはチェックリスト表示において作業の進展状況に対応して装置類の状態を判断できるようにすること等の課題が明らかになった。これらを解決するためには、適用できるルールを選択制御するいわゆるメタ・ルールが必要である。また、緊急時には安全飛行確保のため表示を抑制することが望ましい場合もある。このためにも、一層複雑な表示ルールが必要である。

(6) 本CASの実時間応答に関する性能は、実験実施という点では良好であったが、将来の操縦室におけるパイロットとのインタフェースとしてはやや不十分と評価された。画面の変更等の全ての操作に対する応答が約0.2秒以下、即ち現在の約1/10程度であることが望ましい。この程度の性能向上は、現在のワークステーションの演算能力によって十分実現可能である。一方、今回の実験で

は、システム操作性、表示の配置、色調、サイズ、などを検討の主な対象とはせず、限られた表示装置とスイッチパネルを既存のコックピットに組み込んで実験装置とした。このため、パイロットコメントに示されるように、表示部の配置が不適当、表示文字が小さい、天井パネルのスイッチの識別が困難などが指摘されており、表示の識別性や操作性が不十分なものであることが判った。今後、対象とする機体が具体化し、搭載型のシステムを開発することになった時点で、コックピット・インタフェースについて全般的に再検討する必要がある。

(7) 今回の実験では、手順の効率的実施、状況把握、ワークロード軽減の3つの評価項目の評定が図4.1で見られるようにシナリオ毎に同傾向を示した。このことは、実験で用いた評価項目が同一次元の項目として評定されたことを意味する。今回のような表示について、幅広い評定を得るための評価次元の選択は今後の課題である。

4.2 結果の検討

ここで、パイロットの操作手順とチェックリストとの関連について検討を行う。運航マニュアルに記載されており、本実験でCASの知識ベースとなった操作手順書の使用法は次の通りである。各々の飛行フェーズについて、チェックリスト表読み上げ時点までに各乗員の実施すべき操作は予め記憶にしたがって実施しておく。その後、副操縦士によるチェックリスト表の読み上げが行われ、操作が完了し、機器の状態が所定通りであることを乗員全員が確認する。ただし、「飛鳥」で用いられたチェックリストは操作手順とほぼ同等のものであるため、そこには必ずしも確認すべき項目（チェック項目）だけでなく、操作を指示する項目が部分的に含まれている。確認作業時には、この操作を指示する部分については、その操作が完了していることを確認することになる。現在の大型航空機では一般に、操作手順とチェックリストは同じではなく、チェックリストは操作手順の一部分をまとめたものである。従って、それらは「飛鳥」のものよりも簡単であるため、今回の実

験の結果と同様の効果が期待できるとは思えない。しかし、CASは確認作業を個々の操作時に済ませてしまうため、チェックリスト読み上げ作業そのものを不要にできる点で意義があると考えられる。但し、チェックリスト読み上げによる確認作業は、作業のし忘れ等により機器が所定の状態でない場合を防止するためだけに実施されるのではない。以降実施する作業に対してパイロットの構え(set)を設定し、また、パイロット間の意志統一を行うといった人間側の作業の節目になる意義も有している。今回のCAS実験では、人間側の準備作業に及ぼす影響の評価を行わなかった点に注意を要する。現時点において、確認作業の省略された操縦室の実現を予想することは困難と考える。

今回の実験により指摘された課題は、PNFとPFの役割分担の再検討、CASの信頼性確保の方法、表示装置の個数やバックアップ方法等の実用化に向けた検討、階層型のチェックリスト、更には地上システムからの支援を得るための通信機能の組み込みなど多様であるが、これらは総て現在及び今後の航空機で採用される自動化システムとの関連で検討する必要があると考える。航空機の自動化が一層進むことにより、チェック項目の比率が大きくなり、かつチェック項目総数も減少する傾向が指摘されている¹³⁾。すなわち、B727の通常時の操作手順総数が627ステップであるのに対し、最新のB747-400ではその総数が270ステップと減少している。これに対応して、B727の通常チェックリストの総項目数が117であるのに対し、B747-400ではその総項目数が60と半減している。自動化によってチェック項目が一層減少するに伴い、現在以上に通常飛行時のワークロードの減少を図る必要性の有無が問われる反面、緊急時のワークロードの急増に対処するための支援システムが必須であると考え。CAS等の知識ベースを基にした手段が緊急時の支援に方向付けられるものと思われる。地上システムからの支援について付言すると、地上に設置された実時間エキスパートと専門エンジニアによって機上で発生した故障を管理し、パイロットに適切なアドバイスを行うシステムの研究が報告されている¹⁴⁾。このように、

発達した通信システム、地上の大型計算機及び専門エンジニアを活用することも今後のパイロット支援システムの方法として重要と考える。

5. 結 言

実験の結果、本システムが今後の操縦室での作業手順を大幅に改良できる強力な手段となり得ることが確認できた。本システムを活用すれば、不具合発生時の状況把握や確認作業に伴うパイロット・ワークロードの急変を改善できると考えられる。

本CASの試作は、航技研と富士通(株)との共同研究の一環として実施されたものである。CASの構築にあたって川崎重工業(株)の協力を得たこと、また、日本航空(株)の中川晃機長、同社からの当所客員研究官の本房文雄課長、及び全日空(株)からの客員研究官の一ノ瀬逸雄主席部員からはCASに関する討議に参加戴き貴重なコメントを戴いたことについて、各位に謝意を表する。

文 献

- 1) Sheridan, T. B. ; 'Supervisory Control : Problems, Theory and Experiment for Application to Human-Computer Interaction in Undersea Remote Systems, Technical Report of Man-Machine Systems Lab. M. I. T. (1982).
- 2) Corley, R. A. ; Seventy Years of Flight Instruments and Displays, Aeronautical Journal, 80-788 (1976) pp.323-342.
- 3) Tanaka, K. and Matsumoto, K. ; A Hierarchical Model of Pilot's Procedural Behavior for Cockpit Workload Analysis, Trans. Japan Society for Aeronautics and Space Sciences, 28-82 (1986) pp.230-239.
- 4) Rouse, D. M. and Hummel, T. C. ; The Pilot's Associate : Enhancing Situational Awareness Through Cooperating Expert Systems, SAE TP 871896 (1987).
- 5) MacMillan, T. R., Gerber, C. E., Sackett, J. M. and Holden, P. D. ; Knowledge Based

- Route Planning, NAECON 90 (1990) pp. 1001-1007.
- 6) Secarea, V. V., Jr. ; Beyond Knobs and Dials : Toward an Intentional Model of Man-Machine Interaction, NAECON 90 (1990) pp.763-769.
- 7) Swangwana, S. and Zytchow, J. M. ; Real-Time Decision Making for Autonomous Flight Control, SAE TP 891053 (1989).
- 8) Lind, J. H., Hutchins, C. W., Jr. and Neil, D. E. ; The Effect of Knowledge-Based System Assistance on Piloting Performance, Workload, and Satisfaction, NAECON 90 (1990) pp.775-781.
- 9) 松本他 ; 飛鳥のパイロット支援エキスパートシステムの試作, 第26回飛行機シンポジウム (1988) pp.72-75.
- 10) 田中, 松本 ; コックピット・アドバイザー・システムについて, 日本人間工学会航空人間工学部会第57回例会 (1990).
- 11) 坂東, 渡辺 ; 汎用飛行シミュレーション・プログラム (FSPK-I) 第1部 : プログラムの内容, 航技研報告 TR-702 (1982).
- 12) 大須賀 (監訳) ; 人工知能大辞典, 丸善 (1991).
- 13) 一ノ瀬逸雄 ; 通常操作手順に見るコックピットの変遷, 航技研客員研究官メモ (1991).
- 14) Anon. ; Knowledge-Based Flight-Status Monitor, NASA Tech Briefs (1991) pp.31 and 34.

航空宇宙技術研究所報告1151号

平成4年4月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
電話三鷹(0422) 47-5911(大代表) ㊦182
印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2 - 27 - 12
