

宇宙航空研究開発機構研究開発報告

JAXA Research and Development Report

コックピット・ワークロード推算プログラムの開発

Development of Flightcrew Workload Estimation Package

津田 宏果^{*1}, 村岡 浩治^{*1}, 稲田 崇志^{*1}, 宮田 貴広^{*1}
Hiroka TSUDA^{*1}, Koji MURAOKA^{*1}, Takashi INADA^{*1} and Takahiro MIYATA^{*1}

* 1 航空プログラムグループ 運航・安全技術チーム
Operation and Safety Technology Team, Aviation Program Group

2008年2月

February 2008

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目 次

略語	1
1. はじめに	2
2. FWEP：コックピット・ワークロード推算パッケージ	3
2.1 概要	3
2.2 シナリオ生成ルーチン	3
(1) 入力ファイル	3
(2) 行動シナリオの生成	5
(3) ワークロード量の設定	7
(4) 行動計算用シナリオ出力	8
2.3 行動計算ルーチン	8
(1) 短期記憶	8
(2) 知覚	9
(3) 意思決定	9
(4) ワークロード配分	9
(5) タスク実施	9
2.4 結果処理ルーチン	9
(1) シミュレーション結果概要	9
(2) タスク実施履歴	9
(3) ワークロード時歴	10
3. 機能検証	11
3.1 行動シミュレーション	11
3.2 考察	12
(1) 機能検証結果	12
(2) 耐空性審査への適用	12
(3) タスク開始条件の設定	12
(4) 補間動作生成機能	12
(5) 人間モデルの模擬レベル	12
(6) 機能拡張	13
4. おわりに	13
参考文献	13
付録	14

コックピット・ワークロード推算プログラムの開発*

津田 宏果*¹, 村岡 浩治*¹, 稲田 崇志*¹, 宮田 貴広*¹

Development of Flightcrew Workload Estimation Package*

Hiroka TSUDA*¹, Koji MURAOKA*¹, Takashi INADA*¹ and Takahiro MIYATA*¹

Abstract

JAXA developed a software package; FWEP (Flightcrew Workload Estimation Package) which can be used in a cockpit design process and in an operational procedure design process. FWEP generates task sequence and workload time history of simulation based on a set of inputs; flightcrew procedure, cockpit layout and aircraft characteristics. FWEP's three major components are scenario generator, human behavior simulator and data viewer. The scenario generator converts users inputs to scenario which is used to drive a behavioral simulation. The human behavior simulator calculates task timeline and workloads by using simulated human models interacting with aircraft model. Their results could be handled by the data viewer. The FWEP was applied to estimation for a flightcrew workload. Based on the simulation results, capabilities, limitations and potential advantages of FWEP have been discussed.

Keywords: Workload Estimation, Human Performance Modeling, Flight Procedures

概要

航空機のコックピット設計や操作手順設計プロセスに適用することを目的として、ワークロード推算ツールを開発した。本ツールは、入力として与えられるコックピット機器配置、操作手順および航空機特性をもとに、パイロット行動のシミュレーションを実施し、パイロットの作業の時間軸解析(Timeline Analysis)およびワークロード推算を行い、結果を出力する。本ツールは、入力された操作手順等をもとに行動計算用シナリオを生成するシナリオ生成ルーチン、シナリオに基づいてシミュレーションを行う行動計算ルーチン、行動計算の結果出力された時系列の乗員行動およびワークロードを図表化する結果処理ルーチンの合計3部から構成される。ここで乗員ワークロード推算や時間軸解析にはJAXAで研究推進中の計算機人間モデル技術²⁾を利用した。このように入力からワークロード出力までの過程を自動化・簡略化し、計算に要する時間を短縮することで、コックピット機器配置や操作手順等の改良・変更による解析・検討作業の効率化が可能となる。本稿では、開発したFWEPについて記述するとともに、実際のコックピット機器配置および操作手順を用いて実施したワークロード推算例を示す。

略語

FBSS	Flightcrew Behavior Simulation System	PNF	Pilot Not Flying
FWEP	Flightcrew Workload Estimation Package	TAWL	Task Analysis Workload
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	V	Visual Workload
PF	Pilot Flying	A	Auditory Workload
		C	Cognitive Workload
		P	Psychomotor Workload

* 平成19年12月28日受付 (received 28 December 2007)

*¹ 航空プログラムグループ 運航・安全技術チーム

(Operation and Safety Technology Team, Aviation Program Group)

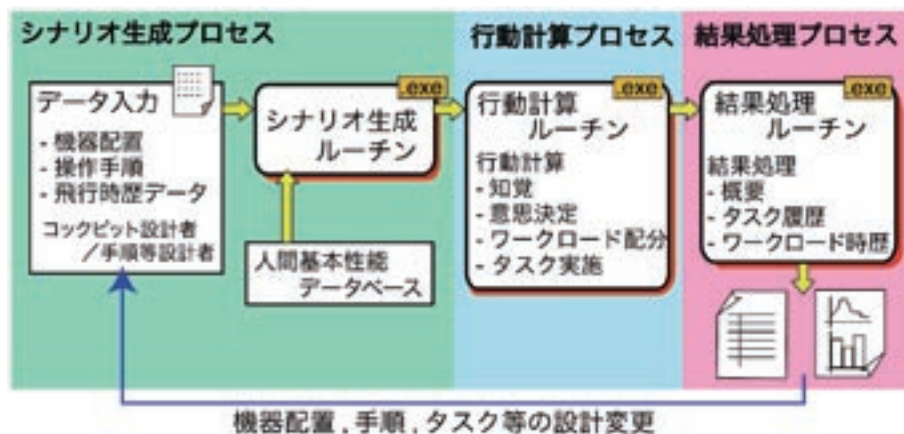


図1 FWEPシステム概要

1. はじめに

航空機をはじめとする大規模システムの設計においては、その初期段階からオペレータの役割やタスクを検討することが、システムの安全性確立、効率の確保、および設計プロセスの効率化の観点から重要となる¹⁾。タスク検討作業の方法として、モックアップやシミュレータあるいは実機による人間-機械系実験評価や実証に加え、人間の代表的特性値に基づく数値解析等が行われる。特に変更や改良が繰り返される設計の初期段階では、簡略な入力方式や短時間での解析結果出力の機能を有する解析・評価ツールが有効となる。

JAXAでは、このようなニーズに関して航空機コックピット設計や操作手順設計時に利用可能なワークロード推算パッケージFWEPを開発した。本パッケージは、入力として与えられるコックピット機器配置、操作手順および航空機特性をもとに、パイロットの行動をシミュレーションした結果に基づいて作業の時間軸解析(Timeline Analysis)およびワークロード推算を数値計算により行う。これらのワークロード推算や時間軸解析にはパッケージに組み込まれた計算機人間モデルが適用されている。

JAXAにおける計算機人間モデルに関わる研究は、航空安全の一層の向上を目指したヒューマンファクタ研究の一環として推進されている。ここでは、パイロットの身体的特性および認知特性を計算機上にモデル化したソフトウェア・システム(FBSS: Flightcrew Behavior Simulation System)²⁾を構築することを目的とし、これまでに航空機事故シナリオの再構築や航空機故障モード発生時の非通常操作模擬、データリンク使用時の管制タスク模擬などに応用してきた。また、文献3で

は、パイロットの状況認識過程モデルの開発を行い、それを既存の統合型人間-機械系設計・解析システム(Air MIDAS: Man-Machine Integrated Design and Analysis System)⁶⁾に組み込み、シンセティック・ビジョン・システム使用時の状況認識性向上効果の推算を試みた。

FBSSをはじめとする従来の人間モデルを含んだ解析システムの多くは、高度な認知特性の模擬機能を含む一方で、シミュレーション計算を実施するためのシナリオ作成や新たなプログラミング作業等が必要となり、頻繁に設計と解析のサイクルを繰り返す必要のある航空機設計過程に適用するのは必ずしも効率的とは言い難い。また、これらの設計過程では、コックピット機器配置および操作手順による乗員の作業時歴や時系列ワークロード量の検討が重要であり、高度な認知機能は必ずしも必要としない場合が多い。一方、より簡易な市販の時間軸解析ソフトウェア¹¹⁾を利用する場合にも、航空機設計に必要なデータ算出を可能とするためには、作業を定義したシナリオ作成や出力方式定義に関わる作業が、解析・計算を実施する度に不可欠となってしまう。

そこで、本研究ではJAXAにおけるこれまでの研究成果をもとに、設計プロセスを効率化することを目的としたパッケージ・プログラム“コックピット・ワークロード推算パッケージFWEP (Flightcrew Workload Estimation Package)”を開発することとした。本プログラムは、航空機コックピット設計におけるワークロード解析を対象とし、設計者が容易に利用可能なシステムの構築を目指した。

本稿では、開発したFWEPについて記述するとともに、実際のコックピット機器配置および操作手順を用いて実施したワークロード推算例を示す。

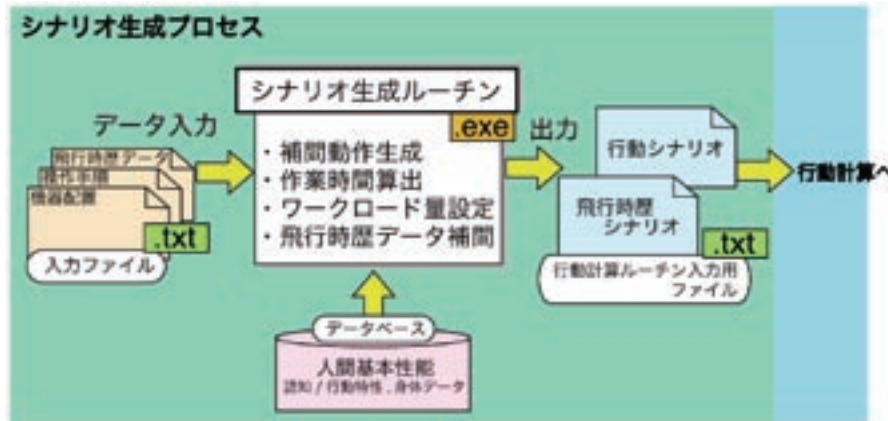


図2 シナリオ生成ルーチン機能

2. FWEP：コックピット・ワークロード推算パッケージ

2.1 概要

航空機のコックピット設計においては、航空機の特長やコックピット形状および操作手順を、乗員が適切なワークロードで実施可能なように設計しなければならない。FWEPは、航空機の特長、設計したコックピット機器配置および操作手順に対し、乗員にどの程度のワークロードがどの程度の時間生じるかを推算する。図1に開発したFWEPシステム概要を示す。FWEPは大きく次の3つの部分から構成される。

(1) シナリオ生成ルーチン

ユーザが用意した入力ファイルをもとに、行動計算用のシナリオを作成する。コックピット機器配置ファイル、乗員の操作手順ファイル、航空機の飛行時歴ファイルのそれぞれのデータをもとに、次段階の行動計算ルーチン用シナリオを出力する。シナリオには、乗員が実施すべき操作手順とそのワークロード量、作業時間等が記述される。

既存の人間-機械系シミュレーション・ツールでは、シミュレーションを実施するためのシナリオの作成時に、各作業動作分析や作業時間の計算、個別のワークロードの指定など、解析前の準備作業に大きな労力が必要となっている。このシナリオ生成ルーチンでは、この作業を効率化するために、設計時に用いられるデータから最小限の時間および労力で行動計算用のシナリオを生成する。

(2) 行動計算ルーチン

シナリオに記述された一連の操作手順タスク（各タスクのワークロード量や作業時間、作業開始条件等を含む）に基づき、航空機特性と連動しながら行動計算を行

い、タスク時歴を出力する。タスクの実施タイミングは、飛行状況およびワークロード配分を行う計算機人間モデルにより決定される。

(3) 結果処理ルーチン

行動計算結果から、ワークロード量の平均値等を算出するとともに、タスク実施履歴を表示する。また、飛行およびワークロード時歴をグラフ化して表示する。

2.2 シナリオ生成ルーチン

図2にシナリオ生成ルーチンの機能ブロック図を示す。シナリオ生成ルーチンはユーザが用意する入力ファイル（機器配置、操作手順および飛行時歴）を行動計算ルーチン用のシナリオ・ファイルに変換する。行動計算時に必要な、操作手順内各タスクの作業時間やワークロード量が本ルーチンに組み込んだ補完動作生成、作業時間算出およびワークロード量設定機能により自動計算され、シナリオ・ファイルに書き込まれる。パイロットの標準身体寸法および標準操作速度を含む人間基本性能データベースを有し、作業時間はこのデータベースを利用して算出する。

(1) 入力ファイル

ワークロード推算を行うために、ユーザは機器配置ファイル、操作手順ファイル、飛行時歴ファイルを用意する必要がある。

(1-1) 機器配置ファイル（図3）

機器配置ファイルには、ワークロード推算の対象コックピット内の機器（スイッチ、レバー、計器類）名称、位置、寸法および操作特性を記述する。各機器の位置は、コックピット絶対座標系で定義できるほか、コックピット内のパネルなどを規準とする相対座標系での定義

機器配置ファイル (*.txt)

	サイズ	参照機器名	位置 x, y, z	取付角度 φ, θ, ψ
%Cockpit Layout Data				
#This is a comment				
ModeControlPanel	2554	PushButton	1000 0 855	90 0
LeftAutoPilotSwitch	7.1	PushButton	ModeControlPanel	19 -230.3 0
RightAutoPilotSwitch	7.1	PushButton	ModeControlPanel	19 135.3 0
InstrumentalPanel	1615	PushButton	1400 0 552.8	0 80.9 0
EICAS	173.4	DigitalIndicator	InstrumentalPanel147.3	0 0
GearLever	16.2	HandLever	InstrumentalPanel23.8	143 0
CenterStandForePanel	2554	PushButton	788.5 0 450	0 30 0
MFD	173.4	DigitalIndicator	CenterStandForePanel	161.5 0 0
CenterStandMiddlePanel	997.2	PushButton	790 0 600	0 0 0
FlapLever	29	HandLever	CenterStandMiddlePanel	63.4 115.9 50
TQ/GASwitch	29	PushButton	CenterStandMiddlePanel	44.9 13.2 120
CenterStandAftPanel	422.4	PushButton	500 0 450	0 0 0
ATCTransponder	10.5	RotaryKnob	CenterStandAftPanel	0 184.7 0
OverheadPanel	755	PushButton	790 0 1540	0 158.8 0

図3 機器配置ファイル例

図3 機器配置ファイル例

表1 機器操作所要時間例

Control/Display Type	操作所要時間 (sec)
PushButton	1.04
TwoPositionToggleSwitch	1.11
ThreePositionToggleSwitch	1.35
CoveredToggleSwitch	1.50
SingleRotarySwitch	1.58
RotarySwitchInAnArray	1.64
SingleThumbWheel	1.95
ThumbWheelInAnArray	2.00
HandLever	2.25
RotaryKnob	1.69
HandWheel	2.39
DiscreteIndicator	0.25
AnalogIndicator	2.00
DigitalIndicator	0.75

も可能とした。例えば、天井パネル上に配置されたスイッチは、天井パネル座標系で定義することができる。この天井パネル自体の位置を別途、絶対座標にて同ファイル内に定義しておくことで、相対位置で記述された機器類もファイル読み込み時に絶対位置に換算される。

寸法には機器の操作面の幅を記述する。この値は(2-2)作業時間の算出に用いられる。操作特性は機器の特徴であり、表1⁵⁾のControl/Display Typeから選択する。操作特性は、(2-3)ワークロード設定に用いられる。

(1-2) 操作手順ファイル (図4)

操作手順ファイルには、PF (Pilot Flying) および PNF (Pilot Not Flying) の操作手順タスクを記述する。各タスク・アイテムは、タスク・アイテム番号・内容・開始条件で記述する。

表2 操作手順記述用動詞リスト

hear, say, callout, order, dobriefing, readback, call, check, confirm, monitor, set, rotate, push, pick, put

内容は、主語S、述語(作業内容)V、目的語(操作対象)O、および補語(終了条件)Cを用いたS+V+O+CもしくはS+V+O+Oの形で記述することができる。ユーザは、表2にあるリストのなかから動詞を選択し、マニュアル表記と同様の“Set, FlapLever, 15”などといった形式で定義する。これに加え開始条件を、飛行パラメータあるいはPF/PNFのタスク・アイテム番号を用いて記述する。例えば前者の場合、上記動作を対気速度が150 [kt] 以下となったときに開始する場合は“EASKT < 150”と記述する (EASKTは、飛行時歴データファイル内の対気速度パラメータに相当する)。後者では、PFがタスク・アイテム番号3を実施中または終了後に開始するタスクは“PF ≥ 3”と記述する。

(1-3) 飛行時歴データファイル (図5)

ユーザは航空機特性として飛行時歴ファイルを用意する必要がある。飛行時歴ファイルには、飛行高度・速度等の航空機状態およびシステム状態変化を時系列で記述する。これらは、シナリオ生成ルーチンにて次の行動計算ルーチンで読み込み可能な形式へ変換され、行動計算ルーチンにおいて当該手順実施時の作業開始および終了を判断するために用いられる。よって操作手順の作業開始条件で用いられる飛行パラメータは、この飛行時歴データファイル内に記述されている必要がある。

(1-4) 人間特性データベース (表1)

シナリオ生成ルーチンは、ユーザが用意する入力ファ

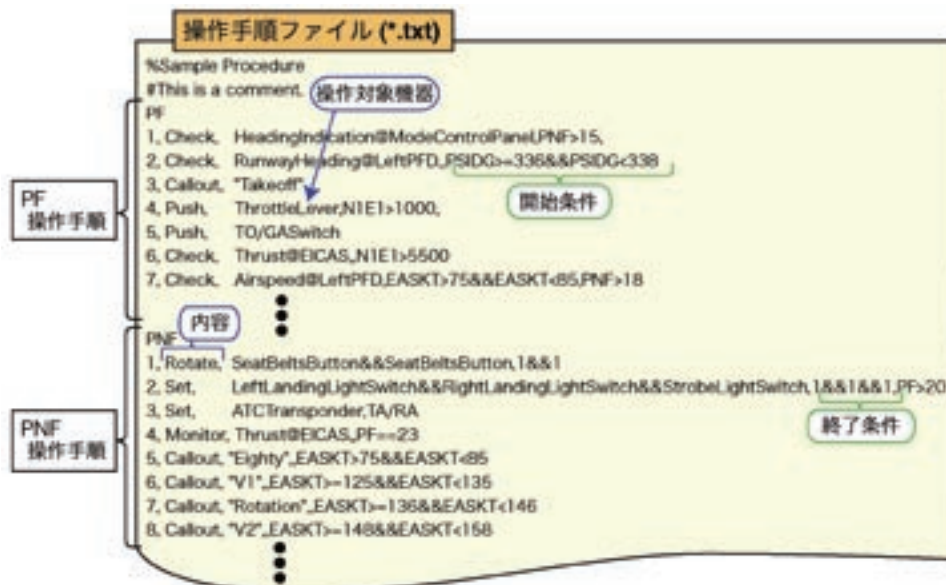


図4 操作手順ファイル例

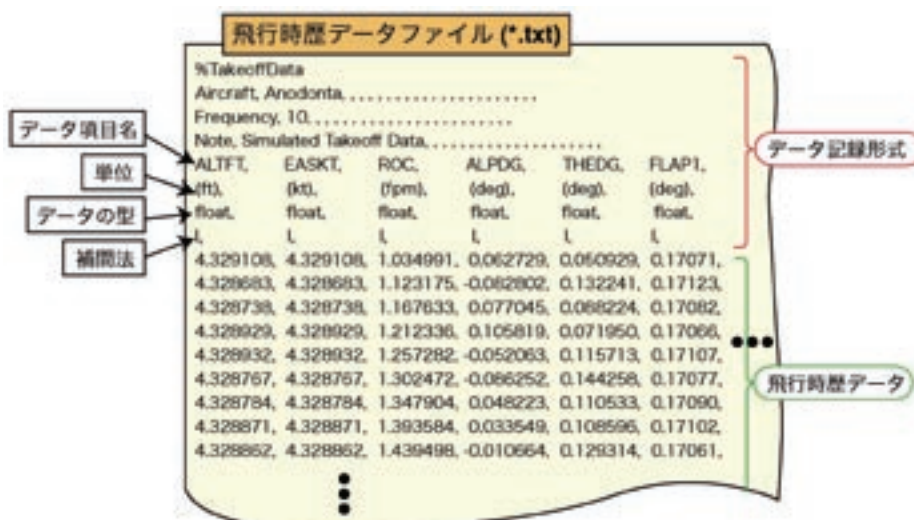


図5 飛行時歴データ・ファイル例

イルとは別に、人間特性データベースを有する。この人間特性データベースには、人間の標準身体寸法、機器操作標準所要時間が含まれている。表1は機器操作標準所要時間の例である。

航空機特性データの準備方法として、対象となる航空機の重量や翼面積などの性能値入力に基づきシナリオ生成ルーチンにて飛行時歴を自動生成する方法や、ユーザの用意した機体シミュレーション・モデルと結合可能とするなどの方法が考えられる。航空機的设计段階では、機体シミュレーション・モデルは设计の初期段階から必ずしも利用可能とは考えられないこと、および性能計算に基づく飛行時歴算出の詳細度は设计の進捗に応じて多様となることから、本バージョンでは機体シミュ

レーション・モデルは用いず、ユーザ自身が飛行時歴データを用意する仕様とした。

(2) 行動シナリオの生成

(2-1) 補間動作生成

操作手順ファイルに指定された個々のタスク・アイテムを計算機人間モデルで模擬する場合には、そのタスク・アイテムをさらに詳細な動作に分解しなければならない場合がある。例えば、PF：“Order Flap 5”に対するPNF：“Set, Flaps 5”という操作手順を考える場合、これは「フラップ5deg」の指示を聞く、「レバーを動かす」、「フラップ角度が計器表示上で5degに設定されたことを確認する」というタスクに分解することがで

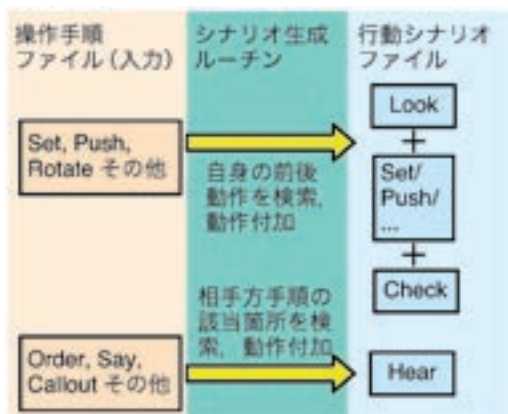


図6 補間動作生成のアルゴリズム

きる。行動計算用のシナリオにはこのレベルまでタスクを分解する必要があるが、操作手順ファイルを準備する段階でこの種の作業分析を行うことは、本ツールが想定するユーザすなわちコックピット設計者にとって煩雑な作業となる。本ルーチンでは補間動作生成機能を組み込んで、前記のような補間動作を自動的に生成可能とした。図6に示すように操作手順ファイルに記述された動詞に応じて、操作実施者自身あるいは相手側の手順を参照しながら補間動作を生成する。

Set, Push, Rotateなどスイッチやノブの操作に関わるタスク・アイテムは、スイッチ等位置の確認およびスイッチ等位置の変更に伴うシステム状態変化の確認を伴うことと仮定して、当該動作の前にLookを、後にCheckを付加した(操作手順ファイルで既に付加動作が定義されている場合を除く)。また、Order, Sayなど発声に関わるタスク・アイテムに関しては、相手側パイロットにHearを付加した。

(2-2) 作業時間の算出

作業時間算出機能では、各作業に必要な平均時間、標準偏差および最大最小時間を計算する。作業時間算出のために、文献7と同様の動作時間モデルおよび統計データを用いた方法を組み込んだ。操作手順ファイルに記述されている動詞および機器配置ファイルに記述されている操作対象の属性(位置および操作特性)情報を用い、下記の方法で計算している。なお、標準偏差は、タスク・アイテム作業内容に応じて平均作業時間の25%あるいは30%の値とした。

(a) 機器操作

作業時間 $t_{manipulate}$ は、乗員が手を操作対象機器の位置まで移動させる時間 t_{hand} (Hand Movement Time)と、機器操作に要する時間 t_{device} の合計とする。手の移動時

間はFittsの法則¹⁰⁾により算出される。操作対象までの距離 D は、機器配置ファイルに基づいた機器の位置および人体寸法に基づく左または右手の位置(タスクを実施していない場合は、膝の位置に手があると仮定)により計算した。機器操作に使用する手(左あるいは右)は、操作対象機器のより近傍にある側を使用するものとした。また、操作対象の幅 S は、機器配置ファイル内に定義される機器操作部の幅である。機器操作に要する時間 t_{device} は、人間基本性能データベース内の統計値を用いた。表1は文献5の統計データに基づくデータベース例である。

・Fittsの法則

$$t_{hand} = 100 \cdot \log_2(D/S + 0.5)[msec]$$

D : 操作対象までの距離 [m],

S : 操作対象の幅 [m]

・平均作業時間

$$t_{manipulate} = t_{hand} + t_{device} [msec]$$

ここで標準偏差は平均作業時間の25%として算出した。

(b) 発話および聴話

発話内容の単語数により平均作業時間を算出する。聴話の場合は発話に要する時間に加え、発話内容を文節に分けた文節数に認識時間(Cognitive Cycle)¹⁰⁾を乗じた時間を加えた時間とする。文節数は、発話内容の“,”(カンマ)数で判定する。

・発話時間

$$t_{speech} = n_{words} / f_{speech} [msec]$$

n_{words} : 単語数, f_{speech} : 発話速度,

$f_{speech} = 166$ [word/min]⁵⁾: 聴話時間

$$t_{hear} = t_{speech} + n_{chunks} \cdot \tau_{cgn} [msec]$$

n_{chunks} : 文節数, τ_{cgn} : 認識時間,

$\tau_{cgn} = 0.070$ [sec]

ここで標準偏差は平均作業時間の30%として算出した。

(c) 読み取りおよび状態確認⁵⁾

状態の読み取りや確認に要する時間に関しては、機器操作実施後の確認、あるいは機体状態変化の確認のためにディスプレイ等に視線を移動させるものとし、視線移動に要する時間 t_{eye} と、読み取りに要する時間 t_{device} との

表3 TAWLワークロード指標⁴⁾

Scale Value	Verbal Descriptor
	Visual (視覚)
1.0	Visually Register/Detect (Detect Occurrence of image)
3.7	Visually Discriminate (Detect Visual Differences)
4.0	Visually Inspect/Check (Discrete Inspection/Static Condition)
5.0	Visually Locate/Align (Selective Orientation)
5.4	Visually Track/Follow (Maintain Orientation)
5.9	Visually Read (Symbol)
7.0	Visually Scan/Search/Monitor (Continuous/Serial Inspection, Multiple Conditions)
	Auditory (聴覚)
1.0	Detect/Register Sound (Detect Occurrence of Sound)
2.0	Orient to Sound (General Orientation/Attention)
4.2	Orient to Sound (Selective Orientation/Attention)
4.3	Verify Auditory Feedback (Detect Occurrence of Anticipated Sound)
4.9	Interpret Semantic Content (Speech)
6.6	Discriminate Sound Characteristics (Detect Auditory Differences)
7.0	Interpret Sound Patterns (Pulse Rates, etc.)
	Cognitive (知覚)
1.0	Automatic (Simple Association)
1.2	Alternative Selection
3.7	Sign/Signal Recognition
4.6	Evaluation/Judgment (Consider Single Aspect)
5.3	Encoding/Decoding, Recall
6.8	Evaluation/Judgment (Consider Several Aspects)
7.0	Estimation, Calculation, Conversion
	Psychomotor (精神活動・身体活動)
1.0	Speech
2.2	Discrete Actuation (Button, Toggle, Trigger)
2.6	Continuous Adjustive (Flight Control, Sensor Control)
4.6	Manipulative
5.8	Discrete Adjustive (Rotary, Vertical Thumbwheel, Lever Position)
6.5	Symbolic Production (Writing)
7.0	Serial Discrete Manipulation (Keyboard Entries)

合計とする。読み取りに要する時間は、人間基本性能データベース内の統計値を利用した（表1参照）。

・視線移動時間

$$t_{eye} = \frac{angle \cdot 0.66}{90} [sec]$$

angle：視線移動角度 [deg]

・状態読み取り時間

$$t_{check} = t_{eye} \cdot 1000 + t_{device} [msec]$$

ここで標準偏差は平均作業時間の30%として算出した。

(3) ワークロード量の設定

行動計算ルーチンにおける行動シミュレーション実

施時には、各タスク・アイテムのワークロード量に応じて人間モデル内でタスク配分が行われ、タスク・アイテムの実施タイミングを決定する。また実施したタスク・アイテムのワークロードを積算したものが総ワークロード量として出力される。そのため、行動計算用シナリオの各タスク・アイテムには、タスク・アイテムの内容に応じたワークロード量があらかじめ定義されている必要がある。ここでは、ワークロード量の指標として文献4のTask Analysis Workload（以下、TAWL）を使用した。TAWLは、ワークロード解析用に開発された指標であり、人間オペレータのワークロード・リソースをV (Visual), A (Auditory), C (Cognitive), P (Psychomotor) の4つに分けている（表3）。各タスクに必要なワークロード量は作業の性質に基づいて1.0～7.0の値を用いて指定する。一般に、タスク解析を行う場合には、解析者がタスク内容と表3の定義を照らし合わせながら個々のタ

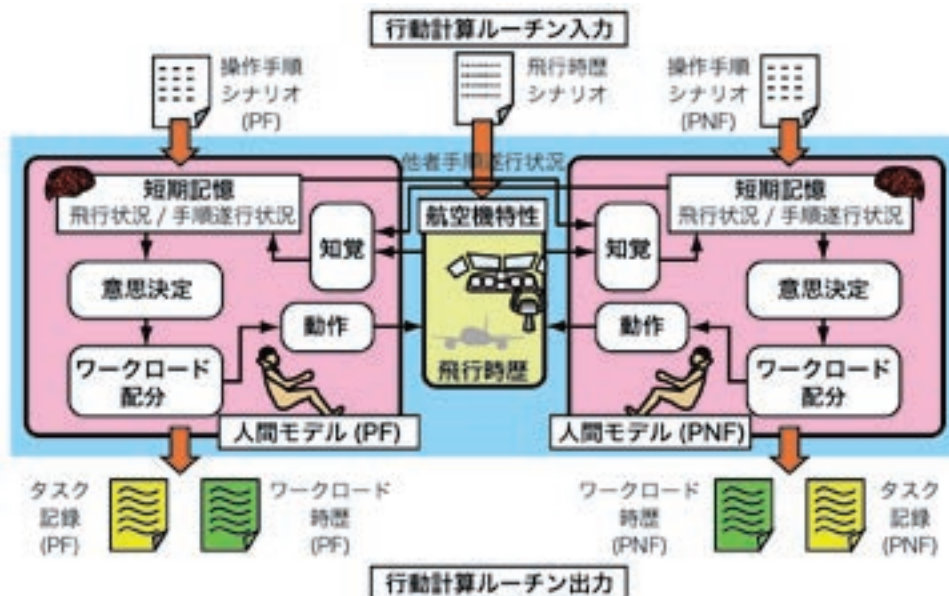


図7 行動計算ルーチン機能

スク・アイテムのワークロード量を設定する。これに対し、本システムでは操作手順に記述されたタスク内容(動詞)と操作対象の特性との組み合わせにより自動的にワークロード量を設定する機能を組み込んだ。

表3の選択肢(Verbal Descriptor)を用いて、あるタスクのワークロード量設定を、コックピット内操作のみに限定して考え、そのタスクの作業内容(動詞)に応じてある程度まで選択肢を絞り込む。例えば、“Set”というタスク内容について、表3のP(Psychomotor)量を設定する場合、1.0 Speechや6.5 Symbolic Productionを除外する。さらに、その動詞の目的語(操作対象の操作特性)を考慮することにより選択肢を特定し、ワークロード量を決定する。このように、“Set, PushButton”の場合、Pワークロード量はDiscrete Actuation(Button)の2.2となり、“Set, RotaryKnob”の場合はDiscrete Adjustive(Rotary)の5.8となる。

一方、このような方法でワークロード量を決めるには困難あるいは曖昧になってしまうコックピット動作が存在する場合も考えられる。例えば“Check, Flight Control(操縦系統に異常がないことを確認する)”という作業は、“Check Current Altitude”などのように単に現在のシステム値を確認するのみでなく、操縦輪を手で動かし、異常がないことを確認する作業を含んでいる。本システムでは、このようにあらかじめ設定した動詞・目的語の組み合わせルールに無い作業は例外として扱い、デフォルト値を用いてワークロード値を出力すると同時に、ユーザに関して注意を喚起し、出力された行動シナリオの確認および手動によるワークロード値の変更を促すように設計した。

(4) 行動計算用シナリオ出力

行動計算用の飛行時歴シナリオ・ファイルおよび行動シナリオ・ファイルを出力する。行動計算は、100[msec]を基本周期として実施されるため、任意の周期で記録されている飛行時歴ファイルは100[msec]のデータに補間され、飛行時歴シナリオ・ファイルとして出力される。行動シナリオ・ファイルには、行動シナリオ生成ルーチンで計算した各乗員の一連の動作、およびその属性(タスク・アイテム番号、ワークロード量、作業時間(平均、標準偏差および最大、最小時間)、実施優先順位、タスク開始条件、終了条件)が記述される。

2.3 行動計算ルーチン

行動計算ルーチンでは、飛行時歴シナリオおよび行動シナリオ(PFおよびPNF)に基づいて計算機人間モデルにより作業の実施タイミングを決定する。本ルーチンの機能ブロック図を図7に示す。ここではPF人間モデルおよびPNF人間モデルが駆動し、飛行状況に応じて作業を随時実施(模擬)する。両人間モデルでは、飛行状態の知覚およびそれに基づく意思決定、ワークロード分配およびタスク実施が以下のように模擬されている。

(1) 短期記憶

機体の高度や速度などの飛行状態、脚の位置や選択された自動操縦のモード等、現在の飛行状況および機体システムの状況を格納する。これらの状況は随時更新される。

表4 行動シミュレーション結果概要

Task Report									
All task items were accomplished.						Total Flight Time (T_{ft})		(sec)	100.2
Workload Summary		PF				PNF			
		V	A	C	P	V	A	C	P
Total Task Time (T_{task})	(sec)	26.2				31.8			
Total Workload Time (WL_{task})	(sec)	89.38	45.08	58.18	30.88	114.65	44.10	101.24	91.94
Average Workload (WL_{avg})		0.8920	0.4499	0.5806	0.3082	1.1442	0.4401	1.0104	0.9176

Workload Sources: V=Visual, A=Auditory, C=Cognitive, P=Psychomotor

(2) 知覚

現在の飛行パラメータおよび自身/他者（モデル）の手順実施状況（番号）を用いて短期記憶領域のデータを更新する。パイロットは最新の航空機飛行状態およびシステム状態を常時把握しているものとした。

(3) 意思決定

各タスク・アイテム開始条件の成立可否を確認する。条件が成立すると、当該タスク・アイテムは作業開始可能状態となり、ワークロード配分機能にてタスク開始可否を判定する。

(4) ワークロード配分

自身（モデル）のワークロード・リソース状態（V,A,C,Pの値）の量を確認し、当該タスク実施に必要なリソースが利用可能な場合当該タスクを開始する。各リソースは、ワークロード量が最大7.0となるまで利用可能、すなわち複数タスクの並行実施を可能とした。他タスク実施中でリソースが不足している場合には、タスク開始待機状態とし、リソースが利用可能となるまで上記判定を繰り返す。

(5) タスク実施

タスクを実施し、当該タスクの作業時間経過後終了する。

行動シミュレーションは、飛行時歴シナリオ・ファイルの初期時刻から時歴終了時刻まで実施され、PF人間モデルおよびPNF人間モデルのタスク記録およびワークロード時歴を出力する。

2.4 結果処理ルーチン

行動計算ルーチンからの出力をもとに、シミュレーション結果概要表示、PF / PNFタスク実施履歴表示および飛行/ワークロード時歴のグラフ化を行う。シミュレーション結果概要表示およびPF / PNFタスク実施履歴表示は、テキストにて表示される。以下にこれらの機能について記述する。

(1) シミュレーション結果概要

表4は、結果概要出力の例である。冒頭に入力ファイルに定義した操作手順タスクが全て実施されたか否かを示し、実施されなかったタスク・アイテムが存在した場合にはその番号を出力する。また操作手順に関わるパフォーマンス参照値として、行動シミュレーションの対象であった飛行時間 T_{ft} (Total Flight Time), その飛行中に何らかのタスクを実施していたタスク実行時間 T_{task} (Total Task Time), タスク実行時間にその時々のワークロード値を乗算した総ワークロード量 WL_{task} (Total Workload Time) および総ワークロード量を飛行時間で除算した平均ワークロード量 WL_{avg} (Average Workload) が算出される。

- ・総飛行時間 T_{ft}
- ・タスク実行時間

$$T_{task} = \sum_{i=0}^{n_{task}} (\Delta WL_{Vi} + \Delta WL_{Ai} + \Delta WL_{Ci} + \Delta WL_{Pi})$$

- ・総ワークロード量

$$WL_{task} = \sum_{i=0}^{n_{task}} \Delta T_i \cdot (\Delta WL_{Vi} + \Delta WL_{Ai} + \Delta WL_{Ci} + \Delta WL_{Pi})$$

- ・平均ワークロード量

$$WL_{avg} = \frac{WL_{task}}{T_{ft}}$$

ここで、 i はタスク・アイテム番号、 n_{task} は総タスク数、 ΔWL_{vi} は i 番目のタスク実行時に発生するVワークロード量であり、A, C, Pについても同様である。

タスクはPFとPNFにおいて異なるため(T_{ft} を除く)、タスク実行時間 T_{task} , 総ワークロード量 WL_{task} , 平均ワークロード量 WL_{avg} はPF, PNFそれぞれについて算出される。

(2) タスク実施履歴

PFおよびPNFモデルが実施したタスクと実施状況について以下の項目が出力される。付録の付図3~5にタスク実施履歴例を示した。

表5 行動シミュレーションに使用した、離陸フェーズの操作手順

PF	PNF
	Turn Seatbelt Button twice.
	Turn Left and Right Landing Switch and Strobe Light Switch ON.
	Set Transponder Mode Selector TA/RA.
Check Heading Indication and Runway Heading.	
Callout "Heading Check".	
Callout "Takeoff"	Monitor Engine Instrument on EICAS, and adjust Takeoff Thrust if necessary.
Set Thrust Lever 1.05EPR and Push TO/GA Switch.	
Check Takeoff Thrust on EICAS.	
Check 80kt on PFD.	Standard Callout "Eighty".
Monitor Airspeed and Vertical Speed on PFD.	Standard Callout "V1".
	Standard Callout "Rotation" after check VR on PFD.
Start Rotation after PNF's callout.	Monitor Airspeed and Vertical Speed on PFD.
	Standard Callout "V2".
Check Rate of Climb on PFD, and Order "Gear Up" to PNF.	Check Rate of Climb on PFD.
	Readback "Gear Up".
	Set Landing Gear Lever Up.
	Check LNAV and VNAV on FMA.
Engage Autopilot.	
Check Climb Thrust on EICAS.	Check Climb Thrust on EICAS.
Check Acceleration on PFD.	
Check Flap Retraction Schedule on EICAS and Order "Flaps XX".	Readback "Flaps XX".
	Set Flap Lever XX.
Order AFTER TAKEOFF Checklist.	Perform AFTER TAKEOFF Checklist.

(2-1) タスク・アイテム内容

付図3「Task Log Summary」において“Task Goal”として記述される。行動計算用シナリオに記述された動作内容と同義であり、PFおよびPNFが実行したタスク・アイテムの内容を表す。“Rotate SeatbeltSwitch”等、記述される。

(2-2) タスク実施状況

タスク実行状況を0～5の値で表す。付図4および付図5「Task Detail」における“Leaf Stat (Status)”として出力される。それぞれ0：Pending（開始条件が成立せず未実施）、1：Current（開始条件成立したが未実施）、2：Working（実施中）、3：Suspended（中断）、4：Postpone（延期）、5：Completed（完遂）を意味しており、そのタスクが最後まで完遂されたか、あるいは途中で中断されたか等を識別可能となっている。

(2-3) 開始時刻

タスクを開始した時刻。付図3～5において“Start Time”として記述される。

(2-4) 終了時刻

そのタスクを終了、あるいは中断した時刻。付図3～5において“End Time”として記述される。ワークロードは、開始時刻から終了時刻までの間を通して発生する。

(2-5) ワークロード量

タスク実施に伴い発生したワークロードの量である。付図4および付図5「Task Detail」における“V”, “A”, “C”, “P”として出力される。VACPそれぞれ4項目について出力される。

(3) ワークロード時歴

飛行時歴シナリオ・ファイルおよびPF / PNFタスク記録ファイルから、PF / PNFのワークロード時歴および飛行時歴をグラフ上にプロットする。付図2がグラフ出力の例である。PF / PNF別に、かつVACPワークロード量別にそれぞれ1個のグラフをプロットするため、ワークロード時歴を表すグラフは合計8個となり、時間軸上のワークロード状態および飛行状態の比較を容易に行うことが可能となる。

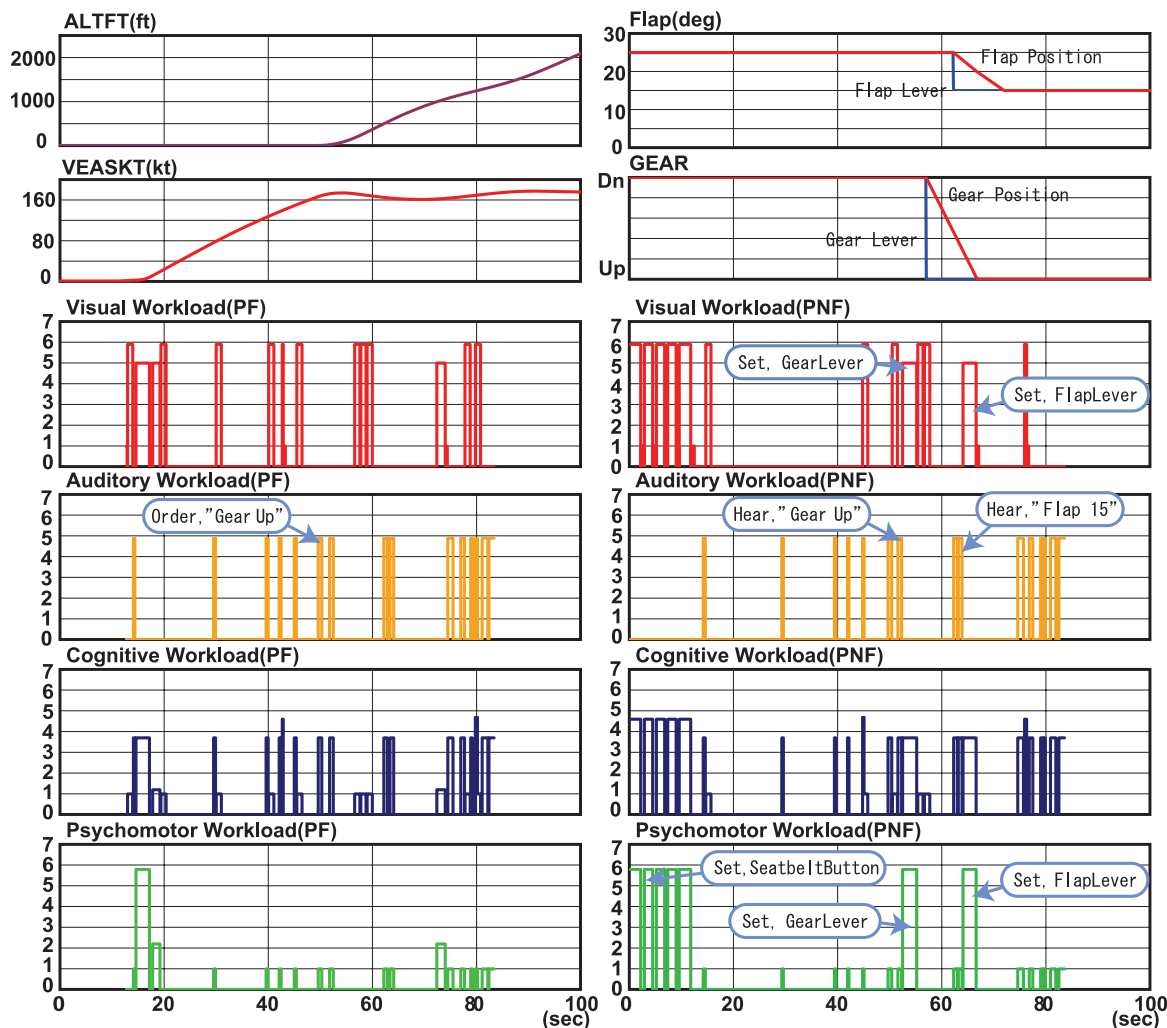


図8 行動シミュレーション結果

3. 機能検証

3.1 行動シミュレーション

開発したFWEPの機能を検証するため、中型旅客機の離陸フェーズを対象とし行動計算を試みた。表5に示す離陸手順を仮定し、図3～5の入力ファイルを準備した。

シミュレーション結果の抜粋を表4および付図1～5に示す。なお、結果詳細は付録に示した。表4冒頭の“All task items were accomplished.”よりシナリオに記述された全ての操作手順タスクが実施され、未実施となったタスクはなかったことが分かる。また、総飛行時間は100.2 [sec] であり、そのうちPFは26.2 [sec]、PNFは31.8 [sec] の時間を操作手順タスクに費やしており、PFと比較してPNFの作業時間が長かったことが分かる。さらにPFの総Vワークロード量は89.38 [sec]、平均Vワークロード量は0.8920であり、A、C、Pについても同様に読み取ることができる。PNFについても同様で

ある。

図8は付図2より抜粋した、行動シミュレーション結果をグラフにプロットしたものである。入力した飛行時歴データ（高度ALTFT、速度VEASKT、昇降率ROC、姿勢THETADEGなど）に対し、人間モデルが作業の実施タイミングを調整し、その結果PFおよびPNFのワークロードが算出されている（図8下部）。例えばPFの“30, Order, “Gear Up”, ROC (Rate of Climb) > 1500”, PNFの“Set, GearLever, Up”という操作手順について、開始後50 [sec] 付近で実行されていることがグラフより読み取れる。PFが“Gear Up”を指示、それを受けてPNFが昇降率を確認、復唱し、ギアレバーの操作を行った。PFの指示を受けた後、PNFが昇降率を確認している箇所は、グラフ中に赤色で示されたVのワークロード量が5.9となっており、ギアレバー操作の箇所は緑色のPワークロードが生じている。また、63 [sec] 付近では、フラップ格納の指示 (PF) および操作実施 (PNF) が確認できる。作業時間に関しては、2.2節の各計算式

による結果の通り作業が実行されていることが確認できた。開始直後0 [sec] のPNF操作内容は、天井パネルにあるスイッチ類の操作であるが、天井パネルという離れた場所にある機器操作のため、他と比べて長い作業時間を要していることが分かる。以上の結果より、シナリオ生成ルーチン、行動計算ルーチンおよび結果処理ルーチンの各機能が確かめられた。

3.2 考察

本節では、開発したFWEPや今後の機能拡張などについて考察する。

(1) 機能検証結果

前節の行動シミュレーションのように、FWEPは、ユーザが用意した入力ファイルをもとにワークロード推算結果を出力する。シナリオ生成ルーチンにより、操作手順やコックピット機器配置および飛行特性といった、航空機設計過程で比較的容易に準備可能な入力を用いた行動シミュレーションを行うことが可能となった。本システムを用いれば、設計変更やそれに基づくシステム検討が繰り返し行われる航空機設計プロセスにおいても、操作手順の検討やコックピット・システムの影響評価や解析が簡易かつ即座に実施可能である。

(2) 耐空性審査への適用

航空機開発における耐空性審査において、必要最小乗員数を決定するための乗員ワークロード解析が必要とされている。文献9では、設計の進捗に応じて、初期段階から解析、飛行シミュレーションおよび飛行実証によって、乗員のワークロードが適切に設定されていることを既存の類似機との比較により証明する方法が推奨されている。本ツールは上記手法のうち、解析用のツールとして耐空性審査に適用可能であり、シナリオ生成ルーチン機能などにより従来の解析作業を効率化することが可能である。なお、現時点でのFWEPは、人間基本性能のデータベースとしてFittsの法則やNASA TLA⁵⁾等の汎用データに基づいており、比較対象となる類似機運航中のデータには必ずしも基づいていないことに注意する必要がある。使用するデータベースや行動計算手法など航空当局との十分な調整のもとで本ツールを適用する必要がある。

(3) タスク開始条件の設定

今回用意した操作手順ファイルでは、PFの操作手順のうち、脚上げ操作指示の

Positive Climb, Order Gear Up

(昇降率が正となった後、脚上げを指示)

というタスクを、

“Order, “Gear Up”, ROC > 1500

(Rate of Climb > 1500 [ft])”

と設定した。タスク開始条件については、操作手順にある“Positive Climb”をそのまま“ROC > 0”とはせず、“ROC > 1500”と設定した。

飛行時歴データにおける昇降率は、計算機上では航空機が浮揚した瞬間に正の値となる。今回用いたモデル(行動計算ルーチン)では模擬計器スキャンやそれに基づいた知覚の模擬などの機能を省略し、乗員は常に航空機の状況変化を把握していると仮定したため、“ROC > 0”とすると航空機が浮揚した瞬間に作業開始条件が満たされて、即座に脚上げ操作を実行してしまう。しかし実際に人間パイロットがこの操作をする場合には、計器表示の遅れ、計器のスキャンを行うまでの時間遅れや、計器の分解能ではROC > 0となった瞬間を読み取ることは不可能であるなどの理由から、実際には0に比べてROCが大きな値になってから開始条件の確認が可能となる。現バージョンではこれらの背景をユーザ側が考慮し、操作手順ファイルを“ROC > 1500”などを用いて定義する必要がある。

(4) 補間動作生成機能

FWEPのシナリオ生成ルーチンでは、2.2節で述べたようにSetやPush等の動作では“Look”と“Check”を、OrderやSay等の場合は“Hear”といったタスクを自動的に生成する機能を組み込み、操作手順(入力)ファイル作成作業をできるだけ実際の操作手順と同じレベルのタスク表現で行えるように設計した。この補間動作自動生成機能は、さらに詳細に動作を生成したり、もしくは現状とは異なる分解による動作を生成したりするよう設定が可能となるため、FWEP運用実績からフィードバックを得るなどして機能追加や改良を行っていく。

(5) 人間モデルの模擬レベル

(3)にて論じたように、FWEP現バージョンではユーザ側がモデルの特性を留意した上で入力ファイルを準備する必要がある。このような留意事項は、行動計算ルーチン内の航空機特性モデルや人間モデルの機能を向上することである程度緩和しうると考えられる。例えば、航空機特性モデルに計器表示の遅れや表示の分解能を付加する方法や、人間モデル側に計器スキャン・パターン機能等を付加する方法をとることで、より自然な方法で操作手順入力ファイルの準備を行うことができると考えられる⁷⁾。

しかし、このようなモデル側の機能を拡張することで、シミュレーション条件の設定が複雑となったり、入

力と出力の因果関係の理解がモデルの複雑さのために困難となってしまう場合がある。また、設計変更に伴って、再度ワークロード推算をするような際にソース・コードを変更せざるを得なくなってしまうような場合があり得る。現バージョンでは汎用性や効率性を重視して、2章のような機能構成を採用したが、設計現場での利用実績等を考慮しながらツールの機能拡張や改良を行っていく予定である。

(6) 機能拡張

現バージョンでは、ワークロード指標としてTAWL⁴⁾を使用した。2.2. (3) でも述べたようにTAWLはワークロード解析用に開発された指標であり、各タスクに必要なワークロード量をタスクの性質に基づいてV, A, C, Pそれぞれについて7段階の数値で定めたものである。TAWLの優位性は文献12でも検証されているが、TAWL以外のワークロード指標をFWEPのワークロード推算に適用することも可能である。

シナリオ生成ルーチンにおける作業時間算出機能に関しては、現バージョンで用いているデータベースや算出法に対し、実際の計測値に基づくデータベースの更新や、視点移動や下肢動作時間等の算出法の追加を実施することが望ましいと考える。

また、現バージョンでは、航空機モデルには飛行時歴データを使用して行動計算を行う方法としたが、機能を拡張すれば文献2や3のように航空機のシミュレーションモデルとの結合も可能である。シミュレーションモデルを用いることで、乗員の操作と航空機の状態との相互作用が模擬でき、より詳細な解析が可能となる。

今後はこれらの潜在的な機能拡張可能項目を考慮しつつ、設計現場等での運用実績およびニーズに関する情報を得ながら開発および改良を継続する予定である。

4. おわりに

コックピット・ワークロード推算プログラム (FWEP) を開発し、機能確認のための行動計算を実施した。これにより、以下のようなFWEPの特長を確認することができた。

- ・FWEPは操作手順、機器配置、飛行時歴データに基づいて、コックピット・ワークロード推算を実施する。これによりタスクの時間軸解析およびワークロード評価が計算機上で可能となる。
- ・シナリオ生成ルーチンにより、行動計算のためのシナリオ作成作業が大幅に効率化される。
- ・行動計算ルーチンにおいて、計算機人間モデルを用いた行動シミュレーションが実施される。モデルには、

知覚、意思決定、ワークロード配分、および操作実施模擬機能が含まれる。

・結果処理ルーチンにより、行動計算の結果をテキストおよびグラフにて提示可能である。

・本ツールにより、航空機設計過程で実施されるワークロード検討等の効率化を図ることが可能になる。

今後は、入力および出力結果処理部分の機能拡張を図るとともに、実際の人間パイロットによる操作結果とFWEPの計算結果との比較評価を行うなどして、同システムの精度向上を図る。また、国産旅客機開発プロジェクト等、我が国の航空機開発へ適用していく予定である。

参考文献

- 1) D.Harris (Ed.); Human Factors for Civil Aircraft Design, Ashgate, England (2004)
- 2) K.Muraoka and N.Okada; Crew Behavioral Model for Evaluating Procedure of Research Aircraft, SAE-985581 (1998)
- 3) K.Muraoka, A.Jadhav and K.Corker; Computational Model of Situation Awareness for Advanced Cockpit Interface Design, IFAC Symposium: Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Atlanta, Georgia, September (2004)
- 4) David B.Hamilton, Card R.Bierbaum and D.Michael McAnulty; Task Analysis / Workload (TAWL) User's Guide: Version 4.0., U.S. Army Research Institute Research Product 91-11. Alexandria, VA (1991)
- 5) J.Lundstrom; NASA TL Workload Analysis Support Volume 1 Detailed Task Scenarios for General Aviation and Metering and Spacing Studies, (1980). 3, pp.25
- 6) K.Corker; Cognitive Model & Control: Human & System Dynamics in Advanced Airspace Operations. (2000) in N.Sarter and R.Amalberti (Eds.) Cognitive Engineering in the Aviation Domain. Lawrence Earlbaum Associates, New Jersey.
- 7) K.Muraoka, S.Verma, A.Jadhav, K.Corker and B.Gore; Human Performance Modeling of Synthetic Vision System Use, NASA Grant Report Lab.-No.2903-100-04, San Jose State University (2004)
- 8) K.Muraoka and N.Okada; FBSS-RAIS: Flight crew Behavior Simulation System-Reconstruction of Accident, AIAA 2000-4578 (2000)
- 9) Anon: Minimum Flight Crew, FAA Advisory Circular 25.1523-1 (1993)

- 10) Card,S.,Moran,T. and Newell,A.; The Psychology of Human Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates (1983)
- 11) John K.; Human Performance Modeling for Discrete-Event Simulation: Workload, Proc. of the 2002 Winter Simulation Conference, pp.157-162 (2000)
- 12) David B., Hamilton and Kenneth D. Cross; Preliminary Validation of the Task Analysis/Workload Methodology, U.S. Army Research Institute Research Product 93-18. Alexandria, VA (1993)

付録

3章で実施した行動シミュレーションの入力条件および出力結果を示す。付図1に示した操作手順（離陸手順(Takeoff Procedure), チェックリスト(After Takeoff Checklist), スタンダード・コールアウト手順(Standard Callout), フラップ格納スケジュール(Flap Retraction Schedule)および離陸諸元(Takeoff Settings)に基づいて、操作手順入力ファイルを作成した。付図2～4にそれぞれワークロード時歴, シミュレーション結果概要およびタスク実施履歴を示した。

付録

Takeoff Procedure		Standard Callout (Normal Takeoff)	
PF	PNF	Flight Phase	Standard Call
	Tell Takeoff to Cabin Crew Set Left and Right Landing Light, and Strobe Light Set Transponder Mode Selector to TA/RA		PF PNF
Check Heading Indication		Takeoff	80 kt Eighty
Callout "Takeoff"			V ₁ V one
Set Thrust Lever 1.05ER and Push TO/GA Switch	Monitor Engine Instrument If necessary, Adjust Thrust by 80kt		V _R Rotation
Check Airspeed 80kt	Callout "Eighty"		V ₂ V two
Monitor Airspeed Rotate Left Control Clumn at V _R	Callout "V ₁ " Callout "V _R " and Monitor Airspeed, Vertical Speed	RTO	80 kt Eighty
Order "Gear Up" , after getting Positive Rate of Climb	Check Positive Rate of Climb Readback "Gear Up" and Set Gear Lever Up		60 kt Sixty
	Check LNAV and VNAV Engagement	CLB	Level-off Altitude - 1,000 ft One Thousand
Autopilot Engage			Level-off Altitude *
Check Climb Thrust		DES	Level-off Altitude + 1,000ft One Thousand
Check Acceleration at Acceleration Height			Level-off Altitude *
Order "Flaps XX" according to the Flap Schedule	Readback "Flaps XX" and Set Flap Lever XX		
Order "AFTER TAKEOFF Checklist"	Perform "AFTER TAKEOFF Checklist"		

AFTER TAKEOFF Checklist

Landing Gear UP

FLAPS UP

Flap Retraction Schedule

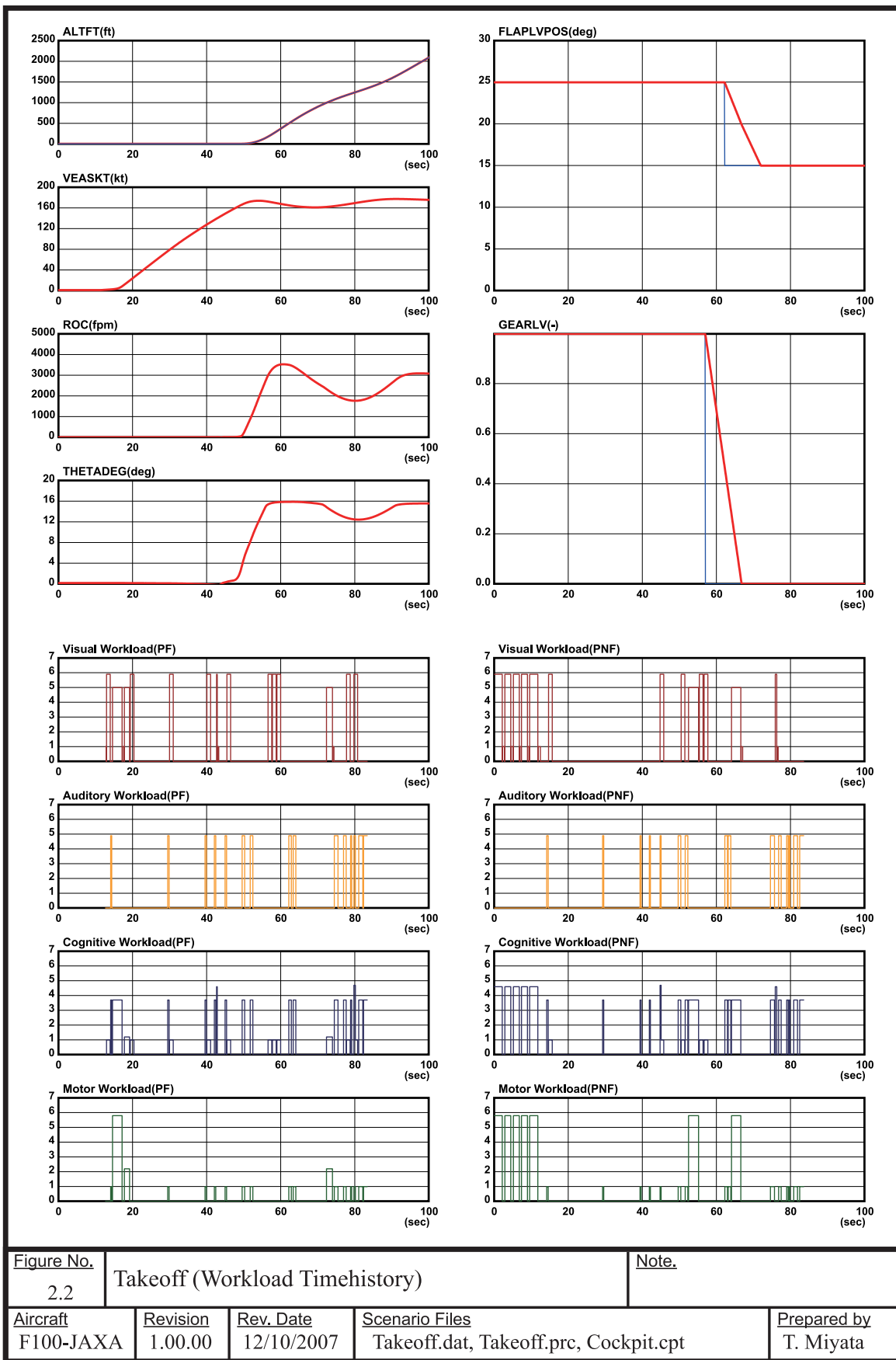
Flap Setting (deg)	V _s (kt)	Flap Retraction Schedule
15	105	Takeoff Flap
8	107	Positive Climb, ALTFT > 500 (ft), Veas > 120 (kt)
0	115	Veas > 130 (kt)

Takeoff Settings

Params	Unit	Value
W _{TO}	(kg)	37,133
Takeoff. Flaps	(deg)	15
V ₁	(kt)	130
V _R	(kt)	141
V ₂	(kt)	153
Procs		Normal T/O
Field Elv.	(ft)	0
QNH		2992

Figure No.	2.1	Takeoff (Inputs)	Note.
Aircraft	Revision	Rev. Date	Scenario Files
F100-JAXA	1.00.00	12/10/2007	Takeoff.dat, Takeoff.prc, Cockpit.cpt
			Prepared by T. Miyata

付図1 行動シミュレーション条件



付図2 行動シミュレーション結果（飛行時歴およびPF/PNFのワークロード時歴）

付録

Task Report										
All task items were accomplished.							Total Flight Time (T _{fit})	(sec)	100.2	
Workload Summary		PF				PNF				
		V	A	C	P	V	A	C	P	
Total Task Time (T _{task})	(sec)	26.2				31.8				
Total Workload Time (WL _{task})	(sec)	89.38	45.08	58.18	30.88	114.65	44.10	101.24	91.94	
Average Workload (WL _{avg})		0.8920	0.4499	0.5806	0.3082	1.1442	0.4401	1.0104	0.9176	
Workload Sources: V=Visual, A=Auditory, C=Cognitive, P=Psychomotor										
Task Log Summary (PF)					Task Log Summary (PNF)					
Goal ID	Task Goal	Start Time	End Time		Goal ID	Task Goal	Start Time	End Time		
0	Check HeadingIndication@ModeControlPanel	12.7	12.9		0	Rotate SeatBeltsSwitch	0.1	2.8		
1	Check RunwayHeading@LeftPFD	13	14		1	Push LeftLandingLightSwitch	2.9	5.1		
2	Callout "Takeoff"	14.1	14.4		2	Push RightLandingLightSwitch	5.2	7.3		
3	Push ThrottleLever	14.6	17.7		3	Push StrobeLightSwitch	7.4	9.5		
4	Push TO/GASwitch	17.8	19.2		4	Set ATCTransponder	9.6	12.5		
5	Check Thrust@EICAS	19.4	20.4		5	Hear "Takeoff"	14.2	14.6		
6	Hear "Eighty"	29.5	29.9		6	Monitor Thrust@EICAS	14.7	15.7		
7	Check Airspeed@LeftPFD	30	31		7	Callout "Eighty"	29.3	29.6		
8	Hear "V1"	39.6	40		8	Callout "V1"	39.4	39.7		
9	Check Airspeed@LeftPFD	40.1	41.1		9	Callout "Rotation"	41.9	42.2		
10	Hear "Rotation"	42.1	42.5		10	Monitor Airspeed@RightPFD	44.8	45.8		
11	Rotate LeftControlColumn	42.7	43.3		11	Callout "V2"	44.8	45.1		
12	Hear "V2"	45	45.4		12	Hear "Gear Up"	49.7	50.4		
13	Check RateOfClimb@LeftPFD	45.5	46.5		13	Check RateOfClimb@RightPFD	50.5	51.5		
14	Order "Gear Up"	49.6	50.3		14	Readback "Gear Up"	51.6	52.3		
15	Hear "Gear Up"	51.8	52.5		15	Set GearLever	52.5	55.2		
16	Check Thrust@EICAS	56.6	57.6		16	Check LNAV@RightPFD&&VNAV@RightPFD	55.4	56.4		
17	Check Acceleration@LeftPFD	57.8	58.8		17	Check Thrust@EICAS	56.7	57.7		
18	Check flap@EICAS	59	60		18	Hear "Flaps 15"	62.3	63		
19	Order "Flaps 15"	62.2	62.9		19	Readback "Flaps 15"	63.2	63.9		
20	Hear "Flaps 15"	63.4	64.1		20	Set FlapLever	64.1	67.1		
21	Set A/PSwitch	72.4	74.4		21	Hear "AFTER TAKEOFF CHECKLIST"	74.6	75.7		
22	Order "AFTER TAKEOFF CHECKLIST"	74.5	75.5		22	Pick Checklist	75.9	76.7		
23	Hear "LANDING GEAR"	77	77.7		23	Say "LANDING GEAR"	76.8	77.5		
24	Check LandingGearPosition@EICAS	77.8	78.8		24	Hear "UP"	79	79.4		
25	Say "UP"	78.9	79.2		25	Say "FLAPS"	79.6	79.9		
26	Hear "FLAPS"	79.8	80.2		26	Say "Checklist is completed"	80.9	81.9		
27	Check flap@EICAS	79.8	80.8		27	Hear "Checklist is completed"	82.5	83.6		
28	Hear "Checklist is completed"	81.1	82.2							
29	Say "Checklist is completed"	82.4	83.4							

Figure No.	Takeoff (Task Report)			Note.
2.3				
Aircraft	Revision	Rev. Date	Scenario Files	Prepared by
F100-JAXA	1.00.00	12/10/2007	Takeoff.dat, Takeoff.prc, Cockpit.cpt	T. Miyata

付図3 行動シミュレーション結果 (結果概要)

付録

Takeoff Tasks Detail (PF)											
Goal ID	GoalName	ID Orgn	LeafName	Leaf Orgn	Leaf Stat	Start Time	End Time	V	A	C	M
0	Check HeadingIndication@	1	Check HeadingIndication@	PF1	5	12.7	12.9	1	0	0	0
1	Check RunwayHeading@	2	Check RunwayHeading@LeftPFD	PF2	5	13.0	14.0	5.9	0	1	0
2	Callout "Takeoff"	3	Callout "Takeoff"	PF3	5	14.1	14.4	0	4.9	3.7	1
3	Push ThrottleLever	4	Push ThrottleLever	PF4	5	14.6	17.2	5	0	3.7	5.8
3	Push ThrottleLever	4	Check ThrottleLever	PF4	5	17.3	17.7	1	0	0	0
4	Push TO/GASwitch	5	Push TO/GASwitch	PF5	5	17.8	19.2	5	0	1.2	2.2
5	Check Thrust@EICAS	6	Check Thrust@EICAS	PF6	5	19.4	20.4	5.9	0	1	0
6	Hear "Eighty"	7	Hear "Eighty"	PNF7	5	29.5	29.9	0	4.9	3.7	1
7	Check Airspeed@LeftPFD	8	Check Airspeed@LeftPFD	PF8	5	30.0	31.0	5.9	0	1	0
8	Hear "V1"	9	Hear "V1"	PNF8	5	39.6	40.0	0	4.9	3.7	1
9	Check Airspeed@LeftPFD	10	Check Airspeed@LeftPFD	PF10	5	40.1	41.1	5.9	0	1	0
10	Hear "Rotation"	11	Hear "Rotation"	PNF9	5	42.1	42.5	0	4.9	3.7	1
11	Rotate LeftControlColumn	12	Rotate LeftControlColumn	PF12	5	42.7	42.9	5.9	0	4.6	0
11	Rotate LeftControlColumn	12	Check LeftControlColumn	PF12	5	43.0	43.3	1	0	0	0
12	Hear "V2"	13	Hear "V2"	PNF11	5	45.0	45.4	0	4.9	3.7	1
13	Check RateOfClimb@LeftPFD	14	Check RateOfClimb@LeftPFD	PF14	5	45.5	46.5	5.9	0	1	0
14	Order "Gear Up"	15	Order "Gear Up"	PF15	5	49.6	50.3	0	4.9	3.7	1
15	Hear "Gear Up"	999	Hear "Gear Up"	PNF14	5	51.8	52.5	0	4.9	3.7	1
16	Check Thrust@EICAS	16	Check Thrust@EICAS	PF16	5	56.6	57.6	5.9	0	1	0
17	Check Acceleration@LeftPFD	17	Check Acceleration@LeftPFD	PF17	5	57.8	58.8	5.9	0	1	0
18	Check flap@EICAS	18	Check flap@EICAS	PF18	5	59.0	60.0	5.9	0	1	0
19	Order "Flaps 15"	19	Order "Flaps 15"	PF19	5	62.2	62.9	0	4.9	3.7	1
20	Hear "Flaps 15"	999	Hear "Flaps 15"	PNF19	5	63.4	64.1	0	4.9	3.7	1
21	Set A/PSwitch	20	Set A/PSwitch	PF20	5	72.4	74.0	5	0	1.2	2.2
21	Set A/PSwitch	20	Check A/PSwitch	PF20	5	74.1	74.4	1	0	0	0
22	Order "AFTER TAKEOFF"	21	Order "AFTER TAKEOFF"	PF21	5	74.5	75.5	0	4.9	3.7	1
23	Hear "LANDING GEAR"	22	Hear "LANDING GEAR"	PNF23	5	77.0	77.7	0	4.9	3.7	1
24	Check LandingGearPosition@	23	Check LandingGearPosition@EICAS	PF23	5	77.8	78.8	5.9	0	1	0
25	Say "UP"	24	Say "UP"	PF24	5	78.9	79.2	0	4.9	3.7	1
26	Hear "FLAPS"	25	Hear "FLAPS"	PNF25	5	79.8	80.2	0	4.9	3.7	1
27	Check flap@EICAS	26	Check flap@EICAS	PF26	5	79.8	80.8	5.9	0	1	0
28	Hear "Checklist is completed"	27	Hear "Checklist is completed"	PNF26	5	81.1	82.2	0	4.9	3.7	1
29	Say "Checklist is completed"	28	Say "Checklist is completed"	PF28	5	82.4	83.4	0	4.9	3.7	1

Figure No.	2.4	Takeoff (Task Detail, PF)	Note.
Aircraft	Revision	Rev. Date	Scenario Files
F100-JAXA	1.00.00	12/10/2007	Takeoff.dat, Takeoff.prc, Cockpit.cpt
			Prepared by
			T. Miyata

付図4 行動シミュレーション結果 (PFタスク実施履歴)

付録

Takeoff Tasks Detail (PNF)												
Goal ID	GoalName	ID Orgn	LeafName	Leaf Orgn	Leaf Stat	Start Time	End Time	V	A	C	M	
0	Rotate SeatBeltsSwitch	1	Rotate SeatBeltsSwitch	PNF1	5	0.1	2.2	5.9	0	4.6	5.8	
0	Rotate SeatBeltsSwitch	1	Check SeatBeltsSwitch	PNF1	5	2.3	2.8	1	0	0	0	
1	Push LeftLandingLightSwitch	2	Push LeftLandingLightSwitch	PNF2	5	2.9	4.5	5.9	0	4.6	5.8	
1	Push LeftLandingLightSwitch	2	Check LeftLandingLightSwitch	PNF2	5	4.6	5.1	1	0	0	0	
2	Push RightLandingLightSwitch	3	Push RightLandingLightSwitch	PNF3	5	5.2	6.8	5.9	0	4.6	5.8	
2	Push RightLandingLightSwitch	3	Check RightLandingLightSwitch	PNF3	5	6.9	7.3	1	0	0	0	
3	Push StrobeLightSwitch	4	Push StrobeLightSwitch	PNF4	5	7.4	9.0	5.9	0	4.6	5.8	
3	Push StrobeLightSwitch	4	Check StrobeLightSwitch	PNF4	5	9.1	9.5	1	0	0	0	
4	Set ATCTransponder	5	Set ATCTransponder	PNF5	5	9.6	11.8	5.9	0	4.6	5.8	
4	Set ATCTransponder	5	Check ATCTransponder	PNF5	5	11.9	12.5	1	0	0	0	
5	Hear "Takeoff"	999	Hear "Takeoff"	PF3	5	14.2	14.6	0	4.9	3.7	1	
6	Monitor Thrust@EICAS	6	Monitor Thrust@EICAS	PNF6	5	14.7	15.7	5.9	0	1	0	
7	Callout "Eighty"	7	Callout "Eighty"	PNF7	5	29.3	29.6	0	4.9	3.7	1	
8	Callout "V1"	8	Callout "V1"	PNF8	5	39.4	39.7	0	4.9	3.7	1	
9	Callout "Rotation"	9	Callout "Rotation"	PNF9	5	41.9	42.2	0	4.9	3.7	1	
10	Monitor Airspeed@RightPFD	10	Monitor Airspeed@RightPFD	PNF10	5	44.8	45.8	5.9	0	1	0	
11	Callout "V2"	11	Callout "V2"	PNF11	5	44.8	45.1	0	4.9	3.7	1	
12	Hear "Gear Up"	12	Hear "Gear Up"	PF15	5	49.7	50.4	0	4.9	3.7	1	
13	Check RateOfClimb@RightPFD	13	Check RateOfClimb@RightPFD	PNF13	5	50.5	51.5	5.9	0	1	0	
14	Readback "Gear Up"	14	Readback "Gear Up"	PNF14	5	51.6	52.3	0	4.9	3.7	1	
15	Set GearLever	15	Set GearLever	PNF15	5	52.5	55.2	5	0	3.7	5.8	
16	Check LNAV@	16	Check LNAV@RightPFD	PNF16	5	55.4	56.4	5.9	0	1	0	
17	Check Thrust@EICAS	17	Check Thrust@EICAS	PNF17	5	56.7	57.7	5.9	0	1	0	
18	Hear "Flaps 15"	18	Hear "Flaps 15"	PF19	5	62.3	63.0	0	4.9	3.7	1	
19	Readback "Flaps 15"	19	Readback "Flaps 15"	PNF19	5	63.2	63.9	0	4.9	3.7	1	
20	Set FlapLever	20	Set FlapLever	PNF20	5	64.1	66.6	5	0	3.7	5.8	
20	Set FlapLever	20	Check FlapLever	PNF20	5	66.7	67.1	1	0	0	0	
21	Hear "AFTER TAKEOFF"	21	Hear "AFTER TAKEOFF CHECKLIST"	PF21	5	74.6	75.7	0	4.9	3.7	1	
22	Pick Checklist	22	Pick Checklist	PNF22	5	75.9	76.3	5.9	0	4.6	0	
22	Pick Checklist	22	Check Checklist	PNF22	5	76.4	76.7	1	0	0	0	
23	Say "LANDING GEAR"	23	Say "LANDING GEAR"	PNF23	5	76.8	77.5	0	4.9	3.7	1	
24	Hear "UP"	24	Hear "UP"	PF24	5	79.0	79.4	0	4.9	3.7	1	
25	Say "FLAPS"	25	Say "FLAPS"	PNF25	5	79.6	79.9	0	4.9	3.7	1	
26	Say "Checklist is completed"	26	Say "Checklist is completed"	PNF26	5	80.9	81.9	0	4.9	3.7	1	
27	Hear "Checklist is completed"	999	Hear "Checklist is completed"	PF28	5	82.5	83.6	0	4.9	3.7	1	

Figure No.	2.5	Takeoff (Task Detail, PNF)	Note.
Aircraft	Revision	Rev. Date	Scenario Files
F100-JAXA	1.00.00	12/10/2007	Takeoff.dat, Takeoff.prc, Cockpit.cpt
			Prepared by
			T. Miyata

付図5 行動シミュレーション結果 (PNFタスク実施履歴)