

航空管制における混合進入方式の安全性評価のための ヒューマンエラー確率の推定法

松岡 猛[†] 天井 治[†]

[†] 電子航法研究所 〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 7-42-23

E-mail: [†] {mats, [amai](mailto:amai@enri.go.jp)}@enri.go.jp

あらまし 従来から利用されている ILS(Instrument Landing System)進入方式と RNP-AR(Required Navigation Performance – Authorization Required)に代表される先進的な飛行方式が混在した混合進入方式の安全性評価のために必要となるヒューマンエラー確率を推定する手順を整備した。各種データより得られた人間行動の過誤確率, PSF (Performance Shaping Factors) 値, エラー発生原因のリストを表により示した。

キーワード 航空交通管制, 混合進入方式, 安全性評価, ヒューマンエラー確率

Estimation Method of Human Error Probability for the Safety Assessment of Mixed Approach Procedure in Air Traffic Control

Takeshi MATSUOKA[†] and Osamu AMAI[†]

[†] Electronic Navigation Research Institute 7-42-23 Jindaiji-higashi, Chofu, Tokyo, 182-0012 Japan

E-mail: [†] {mats, amai}@enri.go.jp

Abstract Estimation method of human error probability is investigated for the safety assessment of mixed approach procedure in air traffic control. Human error probabilities are shown, which are collected from various literatures and documents. The values of PSF and error producing conditions are also listed up.

Keyword Air Traffic Control, Mixed Approach Procedure, Safety Assessment, Human Error Probability.

1. はじめに

航空機の進入方式とは、着陸機が空港付近の地点から滑走路に至るまでの飛行の手順を定めたものである。

従来から利用されている ILS (Instrument Landing System)[1]進入方式では、空港から指向性のある電波を発射し、その電波を利用して航空機は着陸する。この方式では、滑走路に着陸するまでに比較的長い距離の直線飛行を余儀なくされる。ILS 進入方式を採用する限り、この直線飛行部をなくすわけにはいかず、この部分に山岳や住宅地など騒音に敏感な地域などがあった場合、ILS 進入方式は使えない。

一方、先進的な飛行方式である RNP-AR (Required Navigation Performance – Authorization Required)[2] , [3]進入方式では、曲線進入と呼ばれる旋回しながら滑走路に近づく進入を行うことが出来る。そのため、従来の進入方式より飛行距離の短い進入路による消費燃料の軽減、住宅地を迂回し騒音の軽減に役立てたり出来る。ただし、訓練を受けた操縦士により操縦された、特定の要件を満たす航空機でなければ、RNP-AR 進入方式を実施することは許されない。

使用できる進入方式を各航空機が自由に選択して進入する運用形態を、ここでは混合進入と呼ぶ。

現在の航空交通管制においては、可能な限り混合進入は避けるような運用が実施されており、混合進入方式の設計基準や管制手順は存在しない。実際に、混合進入方式を適用することになると、安全性の観点からその適用可能性に関する検討が行われなくてはならない。

現状のままで混合進入方式を実施した場合、安全性が担保出来ないのであれば、どのような追加要件を加えれば混合進入方式が可能となるかの検討を、電子航法研究所では進めている。検討の最終段階で、追加要件が盛り込まれた混合進入方式案のハザード同定・リスク評価を実施する予定である。

このハザード同定・リスク評価には標準的な手順をフローチャートなどで表し、それからの逸脱を考慮する HAZOP[4]を用いることとしている。HAZOP 実施においてはリスクの主要要因となるヒューマンエラーを適切に評価する必要がある。

そこで、航空分野におけるヒューマンエラーに関する

るデータを網羅的に調査し、航空管制分野におけるヒューマンエラー確率の定量的な値を推定する手順を整備した。併せてヒューマンエラーを引き起こす可能性のある原因・背後要因のリストも整備した。

2. 人間信頼性解析

人間信頼性解析は次の3ステップに分けて考えられている。まず、人間の連続の行動を解析対象となり得る要素に分解することである。次にヒューマンエラーに影響を及ぼす可能性のある要因 PSF (Performance Shaping Factors) を選定する。最後にヒューマンエラー確率を計算する。この値の定量化には種々の手法がある。それらには専門家判断、ベイズ推定法、シミュレーションも含まれる。このエラー発生確率の値としては 10^{-5} ~1.0, 訓練された行動については 10^{-3} ~ 10^{-2} の値が通常与えられている[5]。

最初の定式化された人間信頼性解析は 1962 年の米国ヒューマンファクター学会年会において Swain による THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)原型の発表に始まる。その後原子力分野への応用として原子炉安全性研究(ラスムッセン報告)[6]で活用され、1983 年にこの分野の転機となる最終報告書[7]が刊行された。

THERP 以降、洗練され使用性に優れた種々の人間信頼性解析手法が開発[8]されてきているが、全て THERP に基礎を置いていると言って良い。それらは第1世代から第3世代に分類されている。第1世代では PSF に人間の認知プロセスを考慮しておらず SPAR-H[9]等がこれに分類される。第2世代では認知プロセスを考慮して PSF をモデル化している。CREAM[10], ATHENA [11]等がこれに属している。第2世代はさらにエラー発生状況(Context)をも考慮したモデルとなっている。

近年、実際のシナリオ・環境を再現し、人間行動を模擬するシミュレーション解析手法が用いられる様になった。これが第3世代である。第3世代では人間の意志決定、行動の動的モデリングが可能な点で第2世代までの解析と異なっている。Micro Saint シミュレーションソフト等を使って解析が行われている。

3. 航空分野における人間信頼性解析

前述の THERP[7]では各種行動(Task)についてのエラー確率および PSF の値が与えられている。THERP 以降最も充実したヒューマンエラー確率のデータとして、米国の各原子力発電所でのヒューマンエラーのデータが報告されている[12]。

米国における航空分野の人間信頼性解析としては HFACS[13]が知られている。これは、航空分野のエラーカテゴリーに関する研究で、発生した事故分析に活

用されているが、具体的なエラー確率の値はない。

欧州では英国バーミンガム大学が中心となり航空分野におけるデータベース Computerized Operator Reliability and Error Database (CORE-DATA)の整備が行われている。各種文献に CORE-DATA の引用が出ているが、メンバーのみアクセスが可能で、部外者は発表文献で一部を見ることが出来る程度である。英国安全衛生庁(Health and Safety Executive(HSE))[14]や EUROCONTROL の Kirwan [15]も CORE-DATA に深く関与している。

デンマーク工科大学(DTU)では、CORE-DATA を引用し比較検討を行っている。カテゴリー毎の HEP(Human Error Probability) の推定値、PSF の検討、詳しいデータの記載がある[16]。

Kirwan は航空管制分野のヒューマンエラー発生の原因を列挙している[17]。オランダの National Aerospace Laboratory (NLR)では航空管制におけるハザード原因の網羅的なリストを作成している[18]。さらに、Human Error Reduction in ATM (HERA)プロジェクトでも航空管制に特化したヒューマンエラーの分析を実施しており、ここにもエラータイプの網羅的なリストがある[19]。

4. 航空管制分野におけるヒューマンエラー確率の推定

航空管制分野におけるヒューマンエラー確率の定量的な値の推定手順を文献調査結果に基づいて整備した。以下、項目毎に概要を述べ関連データを掲載する。

4.1. 行動の分類及びエラー確率の推定

人間行動を大きく 11 種類に分類しそれぞれに対する標準の過誤確率を表1の様にとまとめた。航空管制官の行動をリスト中のどれかに対応させ、エラー確率を推定していく。表中参考文献は根拠とした出所を記す。

4.2. PSF

表1に示したエラー確率はあくまでも標準的な数値であり、種々の要因がエラー確率に影響を及ぼす。この程度を定量的に表現したのが PSF (Performance Shaping Factors) である。表2に PSF の代表的な値を示す。航空管制の作業の状況を勘案し、表1より推定したエラー確率に表2の PSF 値を掛けることによりそれぞれの状況におけるエラー確率が得られる。

4.3. エラーモードの決定

航空管制官作業のそれぞれのエラーについて CORE-DATA[14]での分類に従いエラーモードを決める。大分類は Psychological Error Mechanism (PEM), Internal Error Modes (IEM), External Error Mode (EEM)の三種となっている。それぞれには 10 から 40 の具体的エラーモードがリストアップされている。エラーモードを

表1 人間行動の過誤確率

項目	記述	過誤確率	参考文献
人間行動	最大信頼度 (最小の過誤確率)	1E-4(個人) 1E-5(チーム)	[20]
日常手順	単純・頻繁 (スキルベース, ルールベースを含む)	4E-4 (1.4E-4~9E-4)	[21]
	脱落(omission)	1E-3 3E-3	[7] [6]
	判断間違い 運転員誤解釈	1E-4	[6]
非日常的作業	やや頻繁な作業, 知識ベース判断, 予定から逸脱した作業	1.6E-2 (1.2E-2~2.8E-2)	[21]
日常的な伝達	見慣れた内容, 雛形あり	6E-3	[17]
非日常的の伝達	新奇・不測の内容, 雛形なし	3E-2	[20]
非常時-既知シナリオ	情報, 対応手順あり	1E-1	[20]
非常時-未知シナリオ	不確実情報, 明確な手順書なし	3E-1	[20]
認知エラー		2E-4	
誤解釈・診断誤り	状況認識したが誤解釈, 初期診断	2E-2 (4.2E-3~1E-1)	[22]
		2.1E-2 2E-1	[12]
		9.2E-2 (2.9E-2~2.9E-1)	[22]
判断誤り	過剰作業量	4.1E-3 2.5E-3	[12] [23]
没頭・注意散漫	脱落が発生すると考える.	4.8E-2	[12]
規則違反	意図しての手順書違反	8.7E-3 (1.6E-3~4.7E-2)	[22]

*過誤確率欄中のカッコ内の数値は直上に示した過誤確率についての下限値, 上限値を示す.

明確にしておくことにより, 検討対象から抜け落ちた管制作業の有無のチェック, エラー確率値の妥当性のチェック等が効果的に行える.

4.4. HFACS によるエラーモード分類

米国におけるヒューマンエラー分類 HFACS[13]では大きく 4 種類 (Skill-based error, Decision error, Perceptual error, Violation) に区別している. この分類も各管制官作業エラーに対して与える.

4.5. エラー発生原因の割り当て

CARA(Controllor Action Reliability Assessment) [17]ではヒューマンエラーを引き起こす原因として 22 の項目を表 3 の様にリストアップしている.

各種管制官作業エラーに対しても発生原因を対応させておく. これにより, ハザード同定・リスク評価後の有効な安全対策実施のための情報が得られる.

表2 各種 PSF の値

項目	PSF 値	参考文献
警報なし	50	[7]
人間工学的設計(不適)	2~10	[7]
MMI (マンマシンインターフェース) 設計(不適)	2~10	[7]
MMI のフィードバック(不適)	5.5	[24]
ラベルなし	10	[7]
チェックなし/監督者なし	2	[7]
手順書なし	3	[7]
復習訓練なし	2	[7]
低ストレス	2	[7]
困難作業(順次)	2	[7]
困難作業(動的)	5	[7]
極度に困難な作業(順次)	5	[7]
極度に困難な作業(動的)	0.25 (HE prob.)	[7]
複雑作業	2	[16]
切迫対応	5	[16]
新規作業	3~5	[16]
仕事量過多	5	[7]
時間的余裕 ~1分	1.0(HE prob.)	[7]
~5分	0.9(HE prob.)	[7]
~10分	0.6(HE prob.)	[7]
~30分	0.1(HE prob.)	[7]
~120分	0.01 (HE prob.)	[7]

*HE prob. は過誤確率値そのものを示す.

表3 エラー発生原因 (CARA)

番号	原因
1	習得した技術から離れ, それに反する原理に従った技術を適用する必要がある場合
2	不慣れ; 稀, あるいは初めての重大な局面
3	時間的切迫
4	航路の複雑さ. 認知負荷の増大を誘発
5	ハンドオーバーの実践不十分による困難さ
6	チーム連携問題, メンバー間の軋轢
7	管制官室の騒音/照明, コックピットの煙
8	天候
9	OJT (On the Job Training)
10	複数の非冗長情報の提示等の認知負荷過多
11	劣悪, 曖昧, 不適合なシステムフィードバック
12	手順書で伝えられる情報の低品質
13	注意力低下, 疲労
14	管制官作業の予測された対応から要求への対応へのシフト
15	リスク指向
16	過度の感情的ストレス, 不健康状態
17	従業員モラル低, 有害職場環境
18	コミュニケーション品質
19	システム, 自動化への過度あるいは低い信頼
20	機器使用不可, 機能劣化
21	独立なチェックの不足
22	信頼できない機器, 道具

4.6. 背景要因の推定

オランダ国立航空宇宙研究所(NLR)の MAREA (Mathematical Approach towards Resilience Engineering in ATM)プロジェクトでは、航空管制システム、パイロット、管制官の操作・活動におけるハザードに関連した具体的な 525 項目のリストを与えている[18]。このリストに HFACS[13], HERA[19] で取り上げられている項目を付加してエラー項目, エラー種類, 背後要因・条件の膨大なリストを作成した。

各種管制官作業エラーに対する背後要因もこのリストを参照して同定しておく。これは安全対策の検討において貴重な情報として活用できる。

5. 結論

混合進入方式案のハザード同定・リスク評価を実施するためのヒューマンエラー確率の推定法を検討した。航空管制における基本的な活動に対するヒューマンエラー確率の数値, PSF 値を与えるとともに, エラーモード, エラー原因, 背後要因のリストも整備した。

ここで整備したヒューマンエラー関連のデータは航空管制以外の種々の分野における人間信頼性解析においても活用可能である。

文 献

- [1] 藤井弥平, 電子航法のはなし—航空と航海を支える情報技術—, 成山堂書店, 1995.
- [2] ICAO, Performance based navigation manual, Doc.9613, 2008.
- [3] ICAO, Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual, Doc. 9905, 2009.
- [4] British Standard BS: IEC61882:2002 Hazard and operability studies (HAZOP studies) -Application Guide, 2002.
- [5] R. L. Boring, Fifty Years of THERP and Human Reliability Analysis, In PSAM11/ERREL2012 Conference, Helsinki, Finland, June 25–29, 2012
- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400, NUREG-75/014, 1975.
- [7] A.D. Swain & H.E. Guttman, Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications, Final report, NUREG/CR-1278, 1983
- [8] J. Bell & J. Holroyd, Review of human reliability assessment methods. RR679. Buxton, UK: Health and Safety Executive, 2009.
- [9] D. Gertman, H. Blackman, J. Marble, J. Byers & C. Smith, The SPAR-H Human Reliability Analysis Method, NUREG/CR-6883, 2005.
- [10] E. Hollnagel, Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), Oxford: Elsevier 1998.
- [11] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis (ATHEANA), NUREG-1624, Rev. 1, 2000.
- [12] NUREG/CR-4639 EGG-2458 Vol.5, Revision 4, Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) Part 2: Human Error Probability (HEP) Data, 1994.
- [13] DOT/FAA/AM-00/7, The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS, February 2000.
- [14] W. H. Gibson and T. D. Megaw, The implementation of CORE-DATA, a computerized human error probability database, HSE Contracted research report 245/1999, 1999.
- [15] B. Kirwan, Feasibility study into the collection of human error probability data, EEC Note No. 02/06, 2006.
- [16] J. Thommesen and H. B. Andersen, Human Error Probabilities (HEPs) for generic tasks and Performance Shaping Factors (PSFs) selected for railway operations, DTU Report 3.2012, 2012
- [17] B. Kirwan and H. Gibson, CARA: A Human Reliability Assessment Tool for Air Traffic Safety Management -Technical Basis and Preliminary Architecture, The Safety of Systems, pp.197-214, 2007.
- [18] National Aerospace Laboratory, Hazards in ATM: model constructs, coverage and human responses, E.02.10-MAREA-D1.2, 2011.
- [19] A. Isaac, S.T. Shorrock, R. Kennedy, B. Kirwan, H. Andersen and T. Bove, The Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS), EUROCONTROL HRS/HSP-002-REP-03, 2003.
- [20] B. Kirwan, A guide to practical human reliability assessment, Taylor and Francis, London, 1994
- [21] N. Hickling, An Independent Review of a Rail-specific Human Reliability Assessment Technique for Driving Tasks, Report T270, Rail Safety and Standard Board, UK, 2007.
- [22] D. I. Gertman, H. S. Blackman, L. N. Haney, K. S. Seidler and H. A. Hahn, "INTENT: a method for estimating human error probabilities for decision based errors", Reliability Engineering and System Safety, 35, pp.127-136, 1992
- [23] P. Liu and Z. Li, Human Error Data Collection and Comparison with Predictions by SPAR-H, Risk Analysis, 34, No. 9, pp.1706-1719, 2014.
- [24] J.C. Williams, HEART: a human performance model-based technique utilizing some standard probabilities -A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance, IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants, pp.436-450, 1988.