

# 第5章 結論

## 5.1 本論文の総括

航空機の離陸時における安全性を高めるため、本論文では離陸時に発生するエンジン故障に対するパイロットの支援の在り方を議論した。パイロットの支援に関して、パイロットと自動化システムの協調形態の観点から主に2種類の方策について検討した。一つの方策は状況適応的な自動化を導入することで離陸安全の向上を目指したものである。もう一つの方策はパイロットが最終的な権限を有し続ける中で離陸安全を向上するために、パイロットの意思決定を支援することである。

第2章の主要な結果は以下の通りである。SAAの導入は人間の誤判断によるオーバーランを防ぎ離陸安全を高める。またSAAの存在によって人間が判断する際の自信を与える。しかしSAAが正しい動作を行っても、人間自身の意図と一致しない場合、SAAに対する依存感が失われてしまう。人間の判断とSAAの介入は1秒くらいのごく短い時間に行われる所以、権限移行に伴うAutomation Surpriseが引き起こされる可能性がある。

第3章の主要な結果は以下の通りである。

人間の特性と尊厳を配慮した状況適応的な自動化<sup>[57, 51, 9]</sup>を人間中心の自動化として考えるべく議論を行った。そこで本章において述べられた実験で、自動化システムの意図を陽に示す「GOING」のメッセージを人間側に提示することにより、自動化システムの意図を透過<sup>[50]</sup>なものにし、権限移行に伴う混乱を緩和することで、自動化システムが人間の信頼を得られることが確かめられた。また離陸可否を短時間で判断しなければならないような逼迫した状況でも、人間が正しく意思決定できるよう、その時取るべき行動を具体的に示す「GO/ABORT」のメッセージを提示した。その結果、人間の正しい意思決定を支援する効果が確かめられた。しかし意思決定支援情報の時間的脆弱性<sup>[68]</sup>から、人間が混乱することが実験から確かめられた。

第4章の主要な結果は以下の通りである。第3章実験から明らかにされた意思決定支援情報の時間的脆弱性を陽に人間に提示することで、情報の時間脆弱性に対する認識を高め、意思決定支援システムに対するTrust, Self-Confidenceの安定性と支援情報への確信を高めることが確かめ

られた。

旅客機に限らず近代的なシステムにおいて、自動化は得られる成果から極めて重要である。もし自動化を技術的に可能だからといって闇雲に導入するのでは人間を含めたシステム全体の安全性が損なわれることを第1章において述べた。しかし S. Norman [54] の言葉を借りるなら、いまや自動化するかしないかが問題なのではなく、どのように自動化するかが議論されるべきである。本論では旅客機で自動化されていない唯一の運航フェーズである離陸について議論をした。離陸は現在でもパイロットの判断・操作により行われるが、それ故に人的エラーは避けられない。旅客機事故における離陸事故の割合の大きさと、旅客機需要の増加を考えると離陸安全を高めることが議論されなければならない。そこで完全自動化は行わずとも状況適応的な自動化を行うことで、ヒューマン・エラーを防止し離陸安全を高められることを実験的に検証した。SAA を導入することで RTO 事故の半数以上を占める  $V_1$  以降の RTO を防止することが可能である。これは現時点における結論である。今後もセンサーや知能システム技術が発展することが予想されるが、離陸の自動化に関して Airbus 社は少なくとも 50 年先の話であるとしている [12]。

第3章において議論したように、人間が常に権限を有するとした従来の人間中心の自動化原理を遵守した場合、オーバーラン事故の発生を SAA 並に下げるることはできなかった。 $V_1$  付近のエンジン故障に対する判断はパイロットにとって困難である。それでもあくまで最終的な操縦権限を人間に残すことが議論されるのは、予期せぬ異常事態へのパイロットに対する期待、すなわち安全の最後の砦であることをパイロットに期待しているからである。この最後の砦への期待感は約 100 年にわたる動力飛行の歴史に由来する。従って SAA を採用するか、あくまでパイロットに権限を有しておくかは本論だけで結論付けられるものではない。パイロットやエア・ライン、旅客機を作るメーカー、利用客の意識、空港周辺の住民意識などのよりマクロな視点からの議論が必要である。本論において示したのは離陸安全のためのいくつかの方策、という可能性である。その可能性を検討し、現実のものとしていくのは今後の課題である。

2000 年 7 月 25 日に仏エールフランス航空の超音速旅客機コンコルドが離陸に失敗して墜落した。フランス運輸省事故調査局の最終報告書は本稿執筆時点ではまだ発表されていないが、CNN (<http://www.cnn.co.jp/>) によると事故の主要因は先発した米コンチネンタル航空の DC10 から滑走路に落下した金属片が離陸滑走中のコンコルドのタイヤを破裂させ、その破片が機体左側の燃料供給系を破壊し、出火したとしている。この出火を管制官が発見し、コンコルド側に報告した。離陸の折、第 2 エンジンの不調であったことから機長は航空機関士に第 2 エンジン停止を命じた。機体は  $V_1$  を越えた状態であったため離陸を継続したが、第 1 エンジンが原因不明のトラブル

ルにより停止した。 $V_1$  以降で離陸継続できるのは 1 基のエンジン故障までである。コンコルドは 4 基のエンジンを装備しているが左側 2 基のエンジンが推力を出せなくなり、推力不均衡による強力な Yawing により機体の制御を失いつつ付近のアパートを直撃した。仮に第 2 エンジンをそのまま稼動していれば離陸継続に成功した可能性も考えられるが、離陸前より第 2 エンジンは不調であったため、稼動を続けた場合、エンジンの停止あるいは爆発も予想される。もし RTO を行ったとしても異常発生時、機速は 300 km/h (約 170 kt) にも達しておりオーバーランし大破するのは確実である。現時点ではパイロット達の置かれた状況から生還するすべがあったのかは分からぬい。パイロットがどのような方策を取るにせよ死傷者が出るのは避けなかつたものと思われる。

離陸時における状況適応的な自動化や意思決定により離陸安全が高められることが期待されるが、様々な形で発生する離陸事故に対処するためには、今後も一層の研究・調査が必要である。

## 5.2 今後の研究課題

本論で得られた結果を受け、今後の研究課題や展開として、以下のことが考えられる。

本論では離陸時におけるエンジン故障に特に着目した。本来、離陸時に発生する異常事態はエンジン故障のほかに、タイヤのバースト、鳥の衝突など様々である。異常の兆候となる情報に対して多様な判断が取り得る場合、意思決定の困難性は高く、パイロットが誤判断を引き起こす原因の一つと考えられる。もし離陸時に最終的な意思決定権を人間に残す場合、多様な情報を統合してパイロットの意思決定を支援することが必要である。その際の証拠理論などを用いた情報の統合や更新の理論 [96, 97, 98] を発展していくと共に、離陸時の意思決定に相応しい情報の提示法が考えられていくべきである。すなわち離陸時における意思決定では、意思決定に用いる情報を十分に得るだけの時間余裕がなく、高ワークロード下に曝されていることから、情報の質について吟味することは困難と思われる。もし情報の質が十分でなく、意思決定に複数の選択が考えられる場合、どのような支援の在り方が相応しいかは定かではない。興味深い試みとして Vicente や Rasmussen らによる生態学的インターフェース (Ecological Interface) [99, 100, 101] が挙げられる。生態学的インターフェースは Gibson の生態主義的認知論 [102] の観点から、表示や操作にアフォーダンス (Affordance) [103] を活用して直感的で使いやすい人間-機械インターフェースを設計することを主張するものである。生態学的インターフェースの設計概念に基づいたインターフェースの実験的取り組みが徐々に行われており [104, 105, 106]、正しい意思決定を行うには過酷な環境下である離陸時における情報提示の在り方として関心がもたれる。

本論文で述べられた実験用シミュレータのセンサーは信頼性の高いものを想定した。しかしぜンサーは機械的制約から誤報や欠報の生起確率を0にすることはできない。初期のGPWSの多発する誤報から適切な意思決定が行われなくなるなど、不信感は人間—機械系に問題を誘発する恐れがある。また逆に機器の信頼性が高いために発生する Complacency などの人間の過信に対する知見を高めていくことが、よりよい人間と機械の関係を築く上で必要である。離陸時に、このような機器の信頼性が人間の Trust にどのような影響を及ぼすのかが、明らかにされるべきである。

離陸時における時間的制約性の強い意思決定問題は、旅客機の運行において他にも見られる。例えば航空機の空中衝突を防止するため、旅客機にはトラフィック警報衝突防止装置 TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) の装備が義務付けられている<sup>[59]</sup>。TCASは空中衝突の危険が高まったと判断した場合に、相手機の位置をレーダー・ディスプレー上に示し、パイロットの目視発見を支援する TA (Traffic Advisory) と、衝突回避のためのアドバイザリ情報 RA (Resolution Advisory) の機能を持つ。もし RA が発出された場合、パイロットは5秒以内に回避操作を行うことが前提とされている<sup>[107]</sup>。しかし空中に存在する物体が TCAS が作動するために必要なトランスポンダを必ずしも所持しているとは限らず、また TA/RA は必ずしも正報を出すとは限らない。従って TA/RA の情報には不確かさが含まれる場合がある。文献 [108] によれば、RA 発生時にパイロットが指示に従わない場合が約 10%ほどあるとしており、警報の信頼性と意思決定の問題が潜在する可能性を示唆している。