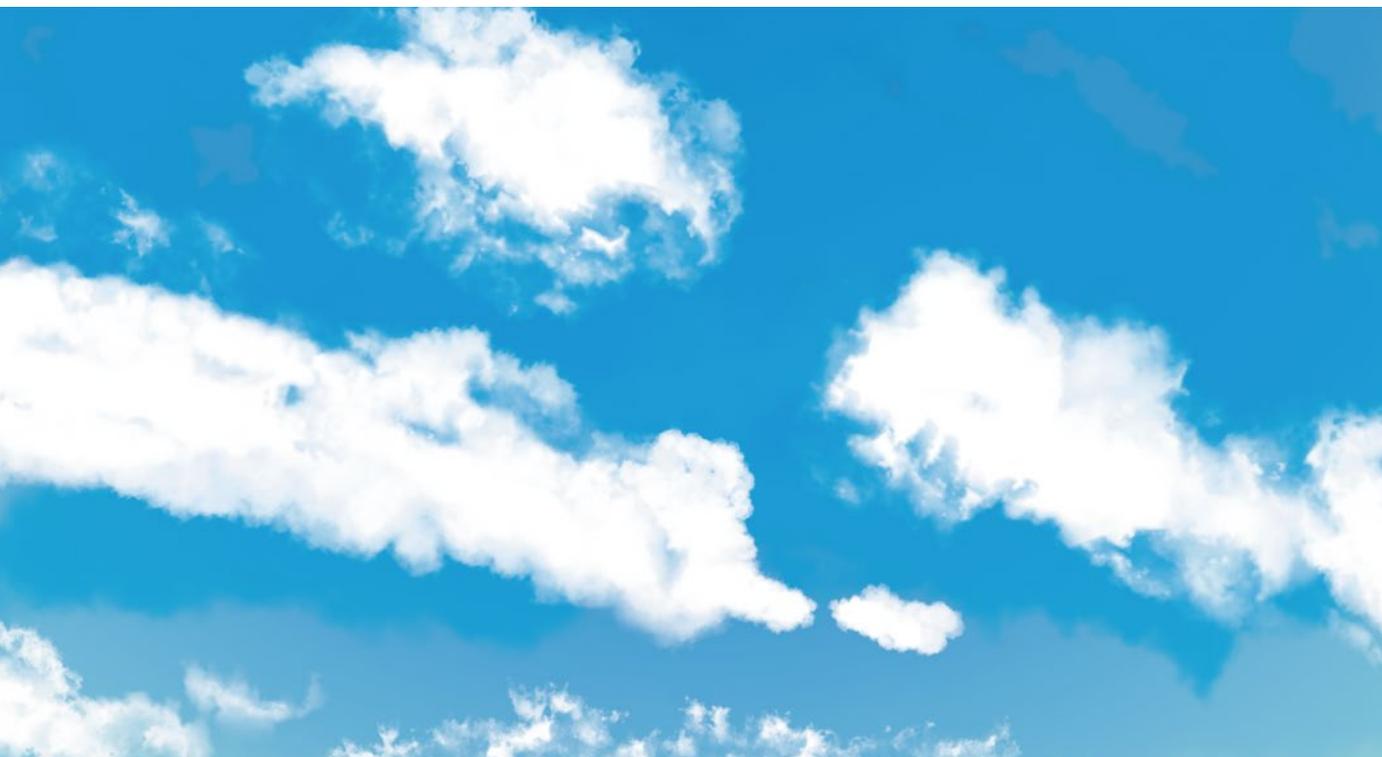


Technical Journal of Advanced Mobility

次世代移動体技術誌



- ドローン利活用における安全運航スキルと人材育成
～CRM（クルー・リソース・マネジメント）の観点から～
大原 大

ドローン利活用における 安全運航スキルと人材育成 ～CRM (クルー・リソース・マネジメント) の観点から～

大原 大^{*1, *2}

EVA Airways (B777 Fleet, Flight Management Department, Flight Operations Division)^{*1}

Five Star Group Inc.^{*2}

2022年、ドローンは有人地帯における目視外飛行 (BVLOS) が可能となり、貨物輸送などを含めてチームでの利活用を行う場面が増えることが想定される。有人航空機では、複数人によるチームでヒューマンエラーを防止し安全運航を行うための手法として、CRM (Crew Resource Management) と呼ばれるスキルがあり、運航に携わる者は定期的な訓練でスキルを維持することが求められている。航空機事故は約6-8割が人的要因によるものと指摘されているため、ドローン関連人材の育成においてもCRMを有効活用することで事故防止に貢献できると期待される。

Keywords: クルー・リソース・マネジメント (CRM), ヒューマンエラー, 安全, 人材育成, 国際民間航空機関 (ICAO), 無人航空機

Safety Management Skills and Human Resource Development for Utilizing UAS — In the View of Crew Resource Management (CRM) —

Dai Ohhara^{*1, *2}

EVA Airways (B777 Fleet, Flight Management Department, Flight Operations Division)^{*1}

Five Star Group Inc.^{*2}

In 2022, UAS in Japan will enter the new era, which includes out-of-sight flight (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) in populated areas. As represented by freight transportation by drone, there will be more situations that require safe operations by multiple people. In the case of manned aircraft, there is a skill called CRM (Crew Resource Management) as a method for preventing human error and performing safe operation in a team of multiple people. Those involved in the flight are required to maintain their skills through regular training. Since it has been pointed out that about 60-80% of aircraft accidents are caused by human factors, thus, it is expected that effective application of CRM in the development of UAS-related human resources will contribute to accident prevention.

Keywords: Crew Resource Management (CRM), human error, safety, human resource development, ICAO, Unmanned Aircraft Systems (UAS)

1. 2022年からのドローン運航：BVLOS時代に向けて

航空法の改正に伴い、2022年、日本では有人地帯での目視外飛行 (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS) を含むドローンの運航が可能となる。

ドローンは、有人航空機が飛行する高高度と地上との間の空域を活用して飛行することができ、インフラを大きく変革することが予想されている。特に、今後広がり期待されているドローン配送は、地域の拠点からの「ラストワンマイル」を担うことにより、過疎地域をはじめとする人手不足への対処の新たな基盤となりうる。

世界のドローン市場の規模は2020年までに約225億ドルまで成長しており、2025年には428億ドルを超えると試算されている[1]。これまでも個人の趣味など撮影分野での利用や、AED搬送などヘルスケア・社会的支援、産業プラントや倉庫・物流、修理・点検、災害時の状況把握などに活用されてきたが、ハードウェア、ソフトウェア、サービス含めて市場はさらに大きく成長すると予測されている。

一方、機体そのものや利活用頻度の増加、利用範囲の広がりに伴い、さまざまな事故も想定される。中には人の生死に直結することや、誰かの財産を脅かすことが起きる可能性もある。課題として、配送業務、点検業務、農業利用など幅広い分野において、ドローンのオペレーションシステムが複雑化することにより、関係者がチームとして安全運航を担わなければならない部分が増えてくることが挙げられる。

人類の歴史に航空機が登場したとき、その航法や法律、安全対策のあり方は、同じように人や物を輸送するための乗り物であった船舶から学んだ。例えば、船が左舷から接岸するように、飛行機でも乗降は左側からとなっている。「クルー」「キャプテン」「ボーディングブリッジ」という呼称や、距離の単位（マイル）、左右のライトの色、制服の肩章などもすべて船に由来している。

同じように、人類の歴史に新しく登場したドローンも、似た機能を持つ有人航空機のシステムが参考になる部分は大きい。世界的にもドローン関連業務に携わる人が増加する中、安全対策のあり方についての議論が深められている。

国際民間航空機関（ICAO）は、国際的に無人航空機（ドローン）の利用が活発となることを踏まえ、2016年から無人航空機のアドバイザリーグループ（ICAO UAS Advisory Group）を設置し、無人航空機利用の国際的協調と、運航マネジメントに関する指針（Guidance）の構築などを行ってきた。遠隔操作航空機における訓練や人材育成のあり方を含むマニュアルの最新版が近く公開される予定となっている[2]。特に、ドローンパイロットの資格を想定した“Remote Pilot License”保持者に、安全への脅威に対処するための能力（Competency）を身につけることを求めている。ここでは、その脅威の一つであるヒューマンエラーに対処するために習得すべきスキルが特に重要視されている。

2. ヒューマンエラーの低減：チームによる意思決定の重要性

2-1 ヒューマンエラーとは

イギリスの詩人Popeの「批評論」（1711）に、“To err is human（過つは人の常）”という一節がある。現代でもことわざとして使われ、1999年の米国医学研究所によって発行された医療安全に向けた報告書「To Err is Human: Building a Safer Health System」[3]のタイトルとしてより広く知られるようになった。人間の特性として、誰でも間違えることがあり、それはいつの世の中も変わらない。ゼロにすることはできない。

JIS Z8115:2019によると、「ヒューマンエラー（human error）」とは、「人間が実施する又は省略する行為と、意図される又は要求される行為との相違」（192-03-14）と定義され[4]、ヒューマンエラーに至る過程は、心理的、生理的、物理的、化学的、論理的又はそれらの組み合わせの場合がある（192J-03-101）。また、ヒューマンエラーが発生する様相は、特に人の行動（行動の反復、とり違え、混入および省略）に着目して定義され（192J-03-102）、例えば、ボタンの“押しすぎ”“押し間違い”“むだ押し”“押し忘れ”などの行動が挙げられる。認知心理学的には、“見間違い”“記憶違い”“計算違い”“つかみ損ない”“正しくない操作”“必要な操作の欠落”などが例として挙げられている。

NASA（アメリカ航空宇宙局）のヒューマンエラー研究を行うプロジェクトのデータによると、ヒューマ

ンエラーの元となる「安全でない行動」は「意図的でない行動（うっかり，または過失）」と「意図的な行動（誤り，または違反）」の二つに分けられる。それらはさらに複数の要因からなり，こうした要因に対応した対策を取ることが，ヒューマンエラーの防止につながるとされている[5]（表1を参照）。

表1 ヒューマンエラーの性質と要因

▼意図的でない行動	
Slip（うっかり）	—注意の欠如（範囲の逸脱，順序間違い，行動の省略，行動の逆転，タイミングのミス）
Lapse（過失）	—記憶の誤り（省略の連続，間違いの反復，意図の欠如）
▼意図的な行動	
Mistake（誤り）	—ルールに関連した誤り（良いルールの悪用，悪いルールの適用）
	—知識に関連した誤り（先入観に基づいた確認，選択の偏り，あてにならない予測）
Violation（違反）	—習慣化した違反
	—例外的な違反
	—妨害行為

なお，上記の要因以外にも，ヒューマンエラーを誘発するファクターとして，睡眠不足，疲労，疾病，飲酒，緊急時の慌てやパニックなどが指摘されている[6]。

2-2 ヒューマンエラーが事故を引き起こすまで

ヒューマンエラーがどのようにして起こるかの概念モデルに，1975年にKLMオランダ航空のフランク・H・ホーキンス機長が提唱した「SHELLモデル」と呼ばれるものがある[7]（図1を参照）。SHELLの各文字は「S：Software（ソフトウェア：法律，規則，手順書など）」，「H：Hardware（ハードウェア：機器，機材，設備，システムなど）」，「E：Environment（環境：作業環境，気象，状況など）」，「L：Liveware（人：真ん中のLは当事者，下のLは当事者が接する周囲の人）」を表しており，それぞれの要素を示すブロックは直線ではなく不定形の波線で接していて，その接点に隙間（ミスマッチ）ができるとヒューマンエラーが起こるといえるものである。人間はいろいろな要素と影響を及ぼしあいながら生きており，柔軟性があるながらも不安定な存在であることを意味している。航空機運航においてはそのシステムが人間によって運用されていることから，航空機の設計・製造，整備，管制などを含むすべての分野にわたって上記の要素を考える必要があるとされている[8]。

ヒューマンエラーが引き起こす事故に関する経験則の一例として，「ハインリッヒの法則」が挙げられる。「1件の重大事故の背後には29件の軽微な事故があり，さらにその背後には300件のヒヤリハット事例がある」というものである[9]。この比率については世界的に議論されているが，多くの業界の人が同様のヒューマンエラーに基づくヒヤリハットを経験しており，法則を提唱したH. W. ハインリッヒは，適切な安全対策を講じることで事故は削減しうることを述べている。

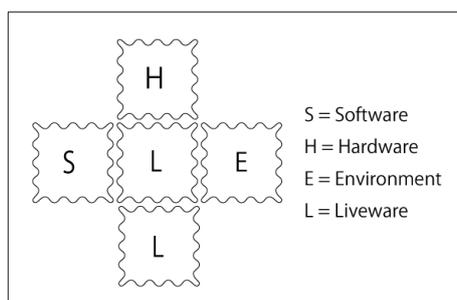


図1 SHELLモデル（1975）

2-3 人的要因による航空機事故

航空機においては、NASAをはじめとした研究機関等による分析で、事故の原因として、運航乗務員が関与している人的要素が実に60～80%に達しているとされてきた。Helmreichらによると、1959年から1989年の間に世界の民間航空機で起きた機体損失事故の70%以上が、運航乗務員の行動によるものと指摘されている[10]。

国内でも、平成19年から30年までに発生したヘリコプター事故73件のうち、8割以上が「人的要因、または人的要因が関連する複合要因」と分析されており、その人的要因のうち「行動エラー（注意不足、確認省略、粗雑な作業）」が最多で約4割（43.6%）を占め、次いで、複数の人的要因が重なった「複合型」（18.2%）、「判断エラー（憶測、判断ミス）」（12.7%）、「不安全行動（注意灯や注意事項を軽視するなど）」（9.1%）となっている[11]。運航目的別では「物資輸送」が28.6%で最も多く、運航段階別では、「航行中」60.3%、「着陸時」25.4%、「離陸時」12.7%となっている。

航空機誕生以来の歴史では、初期はパイロット業務を一人で行う“シングルパイロット”体制が慣例であった。その後、航空機の複雑化に伴い、一人当たりの業務負荷を減らしヒューマンエラーを回避する対策として補佐役のパイロットが同乗するようになった。現在では運航乗務員（パイロット）、客室乗務員、運航管理者、整備士、航空交通管制官などがチームとして運航を行い、問題に対処する体制となっている。

特に日本では、1985年、乗客乗員520名が犠牲となった日本航空123便の御巣鷹山墜落事故以降、航空機の運航乗務員の安全教育が特に重視され、それから現在に至るまで、飛行機事故による死亡者ゼロが続いている。こうした安全教育を支えているのが、事故を起こしやすい要因を洗い出し、それらを排除したり軽減したりする措置をとるTEM（Threat and Error Management）であり、TEMを実行するためのスキルとしてCRM（Crew Resource Management）と呼ばれる手法がある。関わっている人全員でエラーの回避に努め、チームの力を高めて事故を防止しようというものである。

2-4 ドローンにおけるTEM（Threat and Error Management）の例

TEM（Threat and Error Management）とは、事故につながりやすい外的要因（Threat）と、ヒューマンエラーなどの内的要因（Error）への対策を講じ、航空機が望ましくない状態に陥ることを防止する行動のことである。

航空機において、事故につながりやすい外的要因（Threat）とは、以下のような事象をいう。

1. 乗員（操作者）が関与しないところで発生し、
2. 運航をさらに複雑にし、
3. 安全マージンを維持するために乗員に注意や対処を要求するもの

Threatのマネジメントとは、Threatに誘発されて操作者がエラーをしたり、機体が操縦不能状態になったりする可能性を低減するために対策を講じることである。

たとえば、車を運転している場合を想定すると、1. 道路脇で落石が発生したため、2. 前方の車が急停車したので、3. 車線変更し安全な車間距離を確保した、といったことになる。

ドローンでいえば、Threatは、ドローンパイロットが適切に対処しなかった場合に、パイロットのエラーを誘発する可能性がある要因であり、例えば、悪天候（強風・雨）、複雑な地形、発着場の状況、トラフィック（他のドローンによる飛行）の混雑度、無線の混信、似た機体の同時飛行（視認が難しい）、機器の故障、タイムプレッシャー、パイロット以外の顧客や関係者による予期せぬトラブル、などが考えられる。

一方、航空機におけるヒューマンエラーなどの内的要因（Error）とは、乗員（操作者）の以下のような行動、あるいは行動しないことをいう。

1. 乗員自身、または組織の意図や期待から逸脱し、
2. 安全マージンを減少させ、

3. 運航を悪化させる事態が発生する可能性を高めるもの

逸脱とは、「してはならない」とされている行為を行ったり、「する」とされている行為を「しなかった」り、「正しく行わなかった」ことを意味している。

Error のマネジメントとは、ある操作者のエラーが、さらなる関係者のエラーや、操作している機体のトラブルに発展しないように対策を講じることである。

意図的な行動を除き、ヒューマンエラーは、特に意識が一点に集中しているときや、時間的に余裕がないときに起きやすい。

一つの情報によって判断する習慣がついてしまうと、その情報が間違っていたときに、誤った判断や行動に結びついてしまう。そのため、常に二つ以上の情報をもとに判断することが大切である。同時に、一人ではなく複数の人の目で確認することが更なる安全につながる。

また、時間的に余裕がなく「急いでいる」状態は、心理的にも焦りを生じさせる。特に、時間に追われるあまり注意力が散漫になったりストレスが溜まりやすくなったりすることを「ハリーアップ症候群」といい、航空業界では特にパイロットが発症すると大規模な事故につながるがあるとされている。このような、焦りのある状態に陥ると、複数の情報や人の目によって確認する機会が奪われてしまう。たとえ数秒間であっても、余裕としての「間」を持つことによって、新たな情報を取り入れ、誤った判断や行動を防ぐことが可能である。

国内で既に報告されているドローン関連事故およびトラブルの原因の中には、ドローンパイロットの「目測の誤り」「危険箇所の確認不足」「各種規定の理解不足および遵守不足」など、ヒューマンエラーに起因すると考えられるものが少なくない[12]。また、今後ドローンパイロットはあらゆる年代、職種の人になる可能性があり、利用される範囲も裾野が広い。関わる人が増えていくほど、潜在的なヒューマンエラーの数は増え、それを未然に防ぐことが急務である。

3. 安全運航を支える CRM スキル

3-1 CRM (Crew Resource Management) とは

CRM (Crew Resource Management) とは、「安全で効率的な運航を達成するために、すべての利用可能な人的リソース、ハードウェアおよび情報を効果的に活用すること」である[13]。

この CRM のための訓練として身につけるノンテクニカルスキルが、CRM スキルであり、TEM を実行するために必要な技能とされている。

CRM 訓練は、1977 年スペイン領カナリア諸島テネリフェ島の空港で、目的地を変更して到着していた 2 機の B747 型機が離陸前に滑走路上で衝突し乗客乗員 583 人が死亡したテネリフェ事故などをきっかけに構築され、1980 年代頃から世界の航空会社で導入されてきた。

テネリフェ事故では、通常とは異なる空港の運用や、管制官の忙しさ、遅れによるコックピットのタイムプレッシャー、乗員の権威勾配、悪天候、空港のレーダー不装備、無線の混信、機長の思い込み、管制官との言語の壁、確認の不存在など、数多くの Threat と Error が連なった事象 (Chain of event) が史上最悪の航空機事故を引き起こした (詳細は資料 1 を参照)。どこかで連鎖が断たれていれば事故を防げたはずだった。この事故をきっかけに CRM が重要視されるようになり、権威主義的だったクルー間の権威勾配が緩やかになり、合意による意思決定が強められた。航空無線用語も聞き間違いが起りにくい用語に修正された。

安全対策の考え方に「スイスチーズモデル」というものがある。イギリスの心理学者ジェームズ・リーズンが提唱したもので、スイスチーズには大小の穴がいくつも空いていることから、チーズの層を安全対策、穴を脆弱な部分 (リスク) にたとえ、ヒューマンエラーがすべての穴を通り抜けたときに事故やトラブルが起きる、としたものである。穴の空き方が異なるチーズがいくつも並んでいけば、ヒューマンエラーがすべ

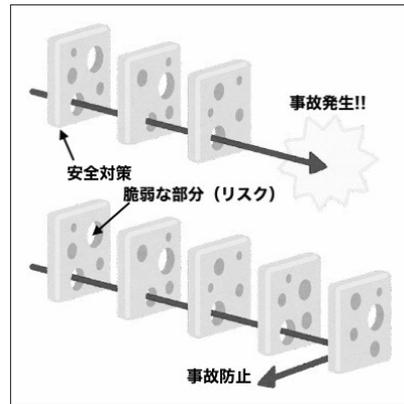


図2 スイスチーズモデル

てを通り抜けることは難しくなる。CRM では、あらゆるリソースを防護壁として用い、ヒューマンエラーがいくつもの穴を通り抜けるのを防止することを目指している（図2）。

CRM というリソースとは、運航乗務員、客室乗務員、運航管理者、整備士、航空交通管制官など関係者全員の人的資源と、機器・計器などのハードウェア、および、得られるすべての情報を指す。

日本では、路線を定めて旅客運送を行う航空会社の運航乗務員は、原則として1年ごとにCRM 訓練を受けることが義務付けられている[14]。

下記は、国内の複数の航空会社、および既に公開されているJAXA（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構）のCRM スキルのリストの要点をまとめたものである。5つの分野に、それぞれ3つ前後の項目が設定されている。各会社・組織によって解釈や分野・項目の個数、順番、内容は異なるが、概ね共通している内容を表2に示す。

無人航空機領域においても、機体の墜落・衝突、運搬物の落下等は、生死に関わる事故となるおそれがある。ドローンパイロットを含む関係者がチームとして即時に情報を共有し、リスクを排除・低減するための対策を取らなければならない。現状、ドローンは趣味飛行を中心としてシングルパイロットで行うケースが少なくないが、有人地帯での目視外飛行が可能となる時期を迎え、街のいたるところでドローンが飛行する社会が目前に迫る中、チームや組織での飛行が不可欠なシーンが増えることが予想される。そのため、チームや組織でドローンを利活用する場合は安全運航のためのスキルを身につけるチーム・トレーニングが必須であるとともに、個人で利活用する人にとっても、他のチームと何らかの接触を持つ可能性が増えてくるため、同じようにスキルを身につけておくことが求められる。

3-2 CRM による安全運航管理で特に大切なこと

3-2-1 「安全への主張 (Assertion)」をしやすいチームづくり

CRM の中で特に重要なのは、表2の最後に記したコミュニケーション分野の「安全への主張 (Assertion)」項目である。日本人はここが苦手な傾向にある。

多くの日本人に共通する意識として、「先輩・後輩」「上司と部下」といった上下関係（権威勾配）があり、経験の多い少ないで権威的な勾配ができやすい風潮がある。後輩や部下は、先輩や上司に気を遣って、ものを言い出しにくいという場面が少なくない。

一方、CRM の概念は、経験の多少にかかわらず、複数の目によるフィルターを通すことによって安全を確保する方法である。遠慮して自分が気づいたことを言わなかったり、言うのが遅れたりすると、「安全への主張 (Assertion)」が行われなかったり、適切なタイミングに遅れてしまったりすることになる。

CRM スキルの中には、こうしたことを防止するためのチームづくりが重要な分野の一つとして確立されている[15]。それぞれが担当する分野を、責任を持って実行することが基本であり、他のメンバーの担って

表2 国内航空会社・JAXAが採用しているCRMスキルの要点

状況認識 (Situational Awareness)	意思決定 (Decision Making)
<ul style="list-style-type: none"> ・状況の把握と認識の共有 (Monitor and Recognize) <ul style="list-style-type: none"> — 機器やメンバーの状況, 周囲の環境をモニターし, 情報を共有する — 操作を行ったときや, 操作を変更するときにはメンバーに伝える — リスクや異常を認知した場合は速やかに共有し評価する ・警戒 (Vigilance) <ul style="list-style-type: none"> — 「一点集中」に陥らないように注意する — 慣れていても問題意識を持って確認をする — 何かおかしいと思ったら注意を促す ・状況の予測と問題点の分析 (Anticipation and Analysis) <ul style="list-style-type: none"> — より多くのリソースを活用して情報を集める — 現在の状況から今後どう変化するか分析する — 情報分析から潜在的な危険性を発見する 	<ul style="list-style-type: none"> ・解決策の選択 (Decision) <ul style="list-style-type: none"> — 安全確保のため譲ることのできない最低ラインを確立する — 自分の意見を出し他のメンバーにも意見を求める — 意思決定のリソースが自分の把握している以外にもあるか確認する ・実行 (Action) <ul style="list-style-type: none"> — 決定をメンバーに伝え, 伝えられた側は理解したことを伝える — 自らの役割を理解し実行する — 冷静に行動し, 実行しながらも行動が最良であるか検討を続ける ・決定・行動のレビュー (Critique) <ul style="list-style-type: none"> — 決定直後に, その決定が正しいかどうかを見直す — 行動した結果に決定の効果が現れているか評価する — 誤りを指摘された場合には受け止めて修正する
チームの形成 (Team Building)	業務負荷 (ワークロード) マネジメント (Workload Management)
<ul style="list-style-type: none"> ・リーダーシップ (Leadership) <ul style="list-style-type: none"> — 自分の意図を明確に示す — 常に先を考えて業務をサポートする — 他のメンバーが納得して行動できるようにする ・チームに適した雰囲気づくり (Climate) <ul style="list-style-type: none"> — メンバーを信頼していることを示す — チームのパフォーマンスをモニターし, 望ましい環境を維持する — どんな疑問や提案もチームとして取り上げ, 検討する ・意見の相違の解決 (Conflict Resolution) <ul style="list-style-type: none"> — 意見の相違を感情の対立に発展させない — 「誰が」ではなく「何が」正しいかを念頭に, 集めた情報を分析する — 自分の主張を変えるときは客観的に分析した上で行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画と時間管理 (Planning and Time Management) <ul style="list-style-type: none"> — 業務負荷が高くなる (状況が悪化する) 場合に備えて計画する — 状況の変化に応じて計画しなおす — タスクを行うために十分な時間をとる (時間が足りなければ, 時間を作り出すことも考慮する) ・優先順位付け (Prioritizing) <ul style="list-style-type: none"> — コントロール (Control), ナビゲーション (Navigation), コミュニケーション (Communication) の順に優先順位を決定する — <状況制御, 誘導, 意思疎通> — 時間制限とタスクの緊急度を考慮して決定する — 優先順位とその変更はメンバー間で共有する ・タスクの配分 (Distribution) <ul style="list-style-type: none"> — 全員が自分のタスクを確実にこなせるように配分する — 特定の問題対処のみに集中しないように, 自分自身や他のメンバーをモニターする — タスクを適切に配分する手段として自動操縦システムを有効活用する
コミュニケーション (Communication)	
<ul style="list-style-type: none"> ・情報の双方向での確認 (2Way communication) <ul style="list-style-type: none"> — 情報は省略せず正確に伝える — 標準的な用語を用いる — タイミングよく伝える — 相手の話を聴く — 情報の確認を行う ・安全への主張 (Assertion) <ul style="list-style-type: none"> — 疑問に思ったことは躊躇せずに口に出す (時期を逸さない) — 危険であると感じたときは自己主張の程度を強める — 意見の表明を受けた場合は, その疑問やアドバイスを積極的に応える 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブリーフィング (Briefing) <ul style="list-style-type: none"> — ブリーフィングのための場を設定する — 情報共有に十分な時間をとる — 互いに質問・情報提供することの重要性を認識する — 相互の連絡方法や問題への対処方法を確認する — ブリーフィングに積極的に参加する

いる役割を尊重することで、各自が独立した意見を言いやすい空気を保てるようになっている。有人航空機も無人航空機も、空中を飛行するため速度がはやく、一瞬の判断が重大な事故につながるリスクを常に抱えている。そのため、危険を察知したら即座に伝えられることが極めて重要である。

3-2-2 「指差し確認」に頼りすぎない

日本では、機器や乗り物などを取り扱う業種では頻繁に「指差し確認」が行われるが、ここにも落とし穴がある。「指差し確認」は通常、一人で業務を行う場合に、一人が声を出し指差しながら安全に関わる確認をする行為である。しかしこの「指差し確認」を複数人のチームでの業務で導入した場合、一人が行った指差し行為の先に他のメンバーも集中してしまい、せっかくある複数の目が一点に集まって、実際その場に他の潜在的なリスクが存在しても気がつかない可能性がある。そのため、現在、複数人のクルーを必要とする有人航空機、特に民間のエアラインのコックピットでは、指差し確認は行われていない。

業種によって指差し確認を行う場合は、指を差しながら「安全確認よし！」と言ったときに、何が安全なのか、どこにもリスクがないのか、何を確認すべきだったのかを忘れないようにしなければならない。元々はリスクを認識するための手順として構築された行為だが、その様式や形式を実行することにとらわれてしまわないよう、常に複数のリソースまたは複数の目でフィルターを通すことを意識する必要がある。

3-2-3 意思決定力を高める人間関係

歴史的に、組織には何らかの権威勾配がある。昔の飛行機は機長の意見が絶対的だった。近年は、CRMの概念が導入され、機長の仕事、副操縦士の仕事は分かれている。それぞれが持ち場に責任を持ち、互いに介入することは少ない。役割分担が明確になり、リーダーの仕事は皆が円滑に業務を遂行できる環境を整えることが主要になった。

CRM 訓練の概念は医療分野でのヒューマンエラー防止にも応用されている。Sexton らが 2000 年に行った、医療従事者（麻酔科・外科・集中治療領域で勤務する専門医、レジデント、看護師、計約 850 人）と航空会社の運航乗務員（25 か国 40 社に所属する機長、第一副操縦士、第二副操縦士、計約 7,500 人）とで業務上の意思決定に及ぼす要因を比較検討したアンケート調査による研究[16]では、「若いチームメンバーは年長者の決定に口を挟むべきではない」という項目に対し、パイロットでは 97%が「反対」と回答。同じ項目に、外科領域の専門医は「賛成」が 24%、「反対」が 55%、「どちらでもない」が 21%であった。集中治療領域では、看護師も専門医も 94%が「反対」と回答した。一方、同調査では、「疲労している時に、予断を許さない状況で確実に業務を遂行できるか」について尋ねたところ、パイロットでは 24%が「はい」、10%が「どちらでもない」、64%が「いいえ」と答えたのに対し、外科領域の専門医では 70%が「はい」、12%が「どちらでもない」、18%が「いいえ」と回答した。こうした、権威勾配や意思決定に及ぼす要因について、職種による考え方の違いがあることについても考慮する必要がある。

4. 無人航空機領域における CRM の応用と人材育成の課題

4-1 業務範囲の広さとドローンパイロットの質

ドローン利活用の方法は裾野が広い。運送、点検、農業、撮影、防災…と現在想定されている以上に、産業革命につながるような様々なシーンでの活躍が期待されている。そのため、あらゆる職種の人にドローンパイロットとしての門戸が開かれているが、その分、当該業務を安全に行うためのパイロットの質の担保が不可欠である。

各パイロットにおいては、街中を飛ぶドローンが様々な任務を負いながら縦横無尽に駆け巡る世界が来たときに、他のドローン利用者がどのような使い方をしているか、そこから発生する潜在的なリスクにはどのようなものがあるかなどを、想像できることが大切である。

また、人が乗ることを想定した有人ドローンや水中を移動するドローンの開発も進んでおり、管制官のよ

うな運航管理（オペレーション）を担う人材も必要性が増してくることが予想される。機器の種類や目的によっては、一人のパイロットが複数機の運航/運用を担う、シングルパイロット・マルチタスク体制も想定される。

有人航空機の航法や法律は船舶を参考に構築されてきたため、船長（キャプテン）は舵を取るパイロット PIC（Pilot in command）が担うという考え方があったが、ドローンの場合、パイロットや運航管理者、または管制官のような役割を担う人など、どの担当者がリーダーシップを取るのかについては国際的に議論を深める必要があり、どのような場合においても人材育成が急務である。

4-2 今後の人材育成に向けて

日本では有人航空機の運航乗務員は、年1回の CRM 訓練が義務付けられているため、グループワークやケーススタディ、資料の確認・更新を通じてスキルの維持に努めている。また、国際民間航空機関（ICAO）では、パイロットの技能証明の発行要件に TEM の知識と技量を求めているため、世界の航空会社でも CRM スキルの訓練が行われている。

無人航空機に関しても同様に、ICAO では 2020 年に発表した ICAO Doc 9869 “Procedures for Air Navigation Services – Training” において、ドローン等の遠隔操縦者（Remote Pilot）のコンピテンシーベース訓練に TEM が含まれるべきだと記している[17]。

一方、国内のドローンパイロットを養成している各団体・スクールでは、個別にプログラムが組まれているが、多くが資格取得に向けた一度きりの講座形式であり、それ以上の安全運航に関連した学習の機会あまり設けられていない。今後の教育のあり方については、ドローンパイロットの国家資格化に関する法整備との兼ね合いがあるが、現状のままでもドローンパイロットが自主的に学習できる案として、CRM 訓練の内容を応用して実施する方法がある。

ICAO は、“安全”の定義について、「安全とは、危険要因の特定およびリスクの管理を継続して行うことによって、人への危害あるいは財産への損害のリスクが、受容可能なレベルまで低減され、かつ受容レベル以下に維持されている状態」としている。今後は国際的に、ドローン利活用におけるリスクの「受容可能なレベル」を様々なシーンで検討する段階になってくるが、ドローンパイロットにおいても、安全運航管理に関連する共通プログラムに CRM スキルに準じたスキル（Competency）の習得を加え、定期的にそのスキルの維持・発展のための学習機会を設けることができれば望ましいのではないだろうか。

資料1 テネリフェ事故の概要

<p>・1977年3月27日、アフリカ北西沖にある大西洋のリゾート地、グラン・カナリア島ラス・パルマスのグラン・カナリア空港が爆弾テロの予告電話を受け、多数の航空機が代替空港としてテネリフェ空港にダイバートした。</p>
<p>・テネリフェ空港は滑走路と誘導路が1本ずつしかない小さな地方空港だったが、多くの航空機を受け入れ、管制官はかつてない忙しさに襲われていた。着陸した航空機をできるだけ早く安全に離陸させなければならないが、駐機場に入りきれず溢れた航空機が誘導路上にも駐機していた。離陸時には誘導路を通らず滑走路を逆走して末端まで行き、180度ターンして待機、滑走するという、通常の運用ルールにはない指示を出していた。</p>
<p>・パンアメリカン航空1736便（PAA機）はロサンゼルスからニューヨーク経由で到着し、乗客を降ろさずに乗せたまま待機。離陸準備ができていた。KLM オランダ航空4805便（KLM機）は、いったん乗客を降ろし、給油をすることを決めた。その間にグラン・カナリア空港のテロ予告が虚偽であったことがわかり、空港再開の知らせが入った。</p>
<p>・PAA機が駐機していた場所はKLM機の後方で、給油中のKLM機をすり抜けて誘導路に出ることはできず、給油が終わるのを待っていた。PAA機の機長はベテラン、副操縦士は39歳の中堅。機長は一流航空会社の自負もあった。KLM機に、給油にどのくらい時間がかかるのか尋ねると、あと45分ほどと回答され、イライラしていた。PAA機の378人の乗客はロサンゼルスからの飛行で12時間以上、機内に閉じ込められていた。コックピットにはあと何時間遅れるのかわからないプレッシャーがあった。</p>

<p>・ KLM 機の給油が終わると、PAA 機も準備ができていると管制官に伝えた。管制官からの指示により、PAA 機も移動の許可が出て、その旨を乗客に伝えた。</p>
<p>・管制官は、多数の航空機をさばくため KLM 機と PAA 機を早く出発させようとして、2 機を同時に走行させ、滑走路の待機場所につけさせようとした。KLM 機は指示に沿って滑走路を逆走し、端で 180 度ターン。PAA 機はその後に続いていて、途中で滑走路から誘導路に出て KLM 機を避ける予定だった。</p>
<p>・テネリフェ島は火山島で、天気が変わりやすい。急に濃い霧がかかり、視程が落ちてきた。管制官は 2 機とも視認できない。テネリフェ空港は地上レーダーが装備されていない空港だったため、管制官は航空機の位置が確認できず、無線でのやり取りで、誘導路へ続く道路をいくつ通り過ぎたかななどの口頭の情報に頼っていた。</p>
<p>・PAA 機は管制官からの指示で、滑走路から誘導路に出る道路の番号を指示されたが、機長は道路の曲がる角度が鋭角のため物理的に難しいと判断し、指示に従わずその番号の道路を通り過ぎてそのまま滑走路を進んだ。副操縦士はこの空港に不慣れで、機長の判断に従った。</p>
<p>・KLM 機の機長もベテランであったが、オランダではパイロットの労働時間が規制されたばかりで、乗務時間のリミットが近づいているのを心配していた。乗務時間を超過すると免許取り消しの可能性もある上、フライトがキャンセルされ、乗客のホテル代や食事代を航空会社が負担しなければならなかった。</p>
<p>・KLM 機は次に離陸する順番になった。滑走路の末端で 180 度旋回した。霧により、PAA 機が進んできているのは見えなかった。副操縦士が、飛行後の経路や高度に関する飛行計画の管制承認を求め、管制官は、「離陸後の経路は…」と口頭で経路や高度を確認しながら承認。ただし離陸はスタンバイするように伝えた。一方、機長は管制官が発した「離陸」という単語を聞いて、離陸の許可が出たと思ひ込み滑走を開始。同乗していた航空機関士は「PAA 機がまだ滑走路にいないのではないか」との疑問を機長に伝えたが、機長は滑走路上にはいないと判断して却下し、加速を続けた。</p>
<p>・管制官は母語がスペイン語で、KLM 機のパイロットはオランダ語。ともに英語でのやり取りで、互いに伝わらない部分は再確認をしていた。KLM 機も PAA 機も無線は同じ周波数を使っていたため、同時に話していた数秒間に雑音が発生し、「スタンバイ」など重要な単語が伝わっていなかった。</p>
<p>・まだ誘導路には出ずに滑走路を進んでいた PAA 機は、加速して滑走路を進んでくる KLM 機の存在に気づき、避けようとして急いでハンドルを左に切った。KLM 機も PAA 機の存在に気づき、機首の引き上げ操作をしたが、機体尾部を引きずり、わずかに浮かび上がったところで PAA 機に覆いかぶさるように衝突。その先で墜落して爆発炎上した。PAA 機は機体上部が削り取られるように損傷し、その後爆発炎上した。KLM 機は乗客乗員全員の 248 人が死亡。PAA 機は 396 人のうち 335 人が死亡した。</p>

※ [18] [19] [20] をもとに著者作成

投稿受付：2022 年 1 月 7 日

採録決定：2022 年 2 月 4 日

文 献

- [1] Drone Industry Insights : “Commercial & Private Drone Market”, in *The Drone Market Report (2020–2025)*, 2020.
- [2] International Civil Aviation Organization (ICAO) UAS Advisory Group : “RPAS Manual”, in *Training and Education General Recommendations*. <https://www.icao.int/safety/UA/UASToolkit/Pages/Narrative-Training.aspx> (accessed on December 22, 2021).
- [3] Institute of Medicine (US) Committee on Quality Health Care in America : *To Err is Human: Building a Safer Health System*, National Academy Press (US), 1999. DOI: 10.17226/9728.
- [4] 日本産業標準調査会 (JISC) : JIS 規格 Z8115:2019, pp. 20–22, 2019.
- [5] Alexander TM : “Generic Error Model System – GEMS (Reason, 1990)”, in *Human error assessment and reduction technique (HEART) and human factors analysis and classification system (HFACS)*, International Association for the Advancement of Space Safety, 2017.
- [6] 小林宏之 : 航空安全とパイロットの危機管理, 成山堂書店, 2021, pp. 106–107.
- [7] ICAO : SHELL Model (2.2.5–2.2.7) described in Chapter 2 “Safety Management Fundamentals” in Doc 9859, *Safety*

Management Manual, Fourth Edition, 2018.

- [8] 日本航空機操縦士協会：Aeronautical Information Manual Japan (AIM-J), effective for January 1–June 30, topic 910, 2022.
- [9] Heinrich HW *et al.* (総合安全工学研究所 訳)：ハイブリッド産業災害防止論，海文堂出版，1982.
- [10] Helmreich RL and Foushee HC：“Why CRM? Empirical and Theoretical Bases of Human Factors Training”，in *Crew Resource Management*, edited by Kanki BG *et al.*, Elsevier, 2010, pp. 5–20.
- [11] 国土交通省運輸安全委員会：“ヘリコプター事故等の傾向について”，運輸安全委員会ダイジェスト，第30号，pp. 2–8, 2018.
- [12] 国土交通省：令和3年度無人航空機に係る事故トラブル等の一覧。 https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_ua_houkoku.html (accessed on January 25, 2022).
- [13] Lauber JK：“Resource management in the cockpit”，*Air Line Pilot*, Vol.53, pp. 20–23, 1984.
- [14] 日本航空機操縦士協会：Aeronautical Information Manual Japan (AIM-J), effective for January 1–June 30, topic 911–913, 2022.
- [15] Kanki BG：“Communication and Crew Resource Management”，in *Crew Resource Management*, edited by Kanki BG *et al.*, Elsevier, 2010, pp. 111–145.
- [16] Sexton JB, Thomas EJ and Helmreich RL：“Error, stress, and teamwork in medicine and aviation: cross sectional surveys”，*BMJ*, Vol. 320, pp. 745–749, 2000.
- [17] ICAO：Doc 9868 “Procedures for Air Navigation Services – Training” Third Edition, 2020.
- [18] Subsecretaria de Aviacion Civil, Spain. Part One of the Spanish Report on KLM, B-747, PH-BUF and Pan Am B-747 N736 collision at Tenerife Airport Spain on 27 March 1977. (English), Chapter 2.2: Conclusions, October 1978. http://www.project-tenerife.com/engels/PDF/Spanish_report.PDF (accessed on January 25, 2022).
- [19] Subsecretaria de Aviacion Civil, Spain. Part Two of the Spanish Report on KLM, B-747, PH-BUF and Pan Am B-747 N736 collision at Tenerife Airport Spain on 27 March 1977. (English), Chapter 1.16: Human factors, October 1978. http://www.project-tenerife.com/engels/PDF/Spanish_report2.PDF (accessed on January 25, 2022).
- [20] Netherlands Aviation Safety Board. Final report and comments of the Netherlands aviation safety board of the investigation into the accident with the collision of KLM flight 4805, Boeing 747-206B, PH-BUF and Pan American flight 1736, Boeing 747-121, N736PA at Tenerife airport, Spain on 27 March 1977. <http://www.project-tenerife.com/nederlands/PDF/finaldutchreport.pdf> (accessed on January 25, 2022).



大原 大

エバー航空 運航乗員部 ボーイング777
型機操縦士/国際線航路機長として主に
北米、欧州、東南アジア路線を担当。
Five Star Group Inc. 代表取締役。JUIDA
認定講師。2006年 International Aviation

Academy of New Zealand を卒業後、JALグループ、スタア
フライヤーで運航乗務員を経て現職。

E-mail：ohara@five-star-group.com

一般社団法人 日本 UAS 産業振興協議会 (JUIDA)

JUIDA は、日本の無人航空機システム (UAS) の、民生分野における積極的な利活用を推進し、UAS 関係の新たな産業・市場の創造を行うとともに、UAS の健全な発展に寄与することを目的とした中立、非営利法人として、2014 年 7 月に設立されました。

国内外の研究機関、団体、関係企業と広く連携を図り、UAS に関する最新情報を提供するとともに、さまざまな民生分野に最適な UAS を開発できるような支援を行っています。同時に、UAS が安全で、社会的に許容される利用を実現するために、操縦技術、機体技術、管理体制、運用ルール等の研究を行うとともに政策提言を行っています。

Technical Journal of Advanced Mobility

次世代移動体技術誌

第 3 号

発行日 : 2022 年 3 月 15 日

編集・発行 : 一般社団法人日本 UAS 産業振興協議会
東京都文京区本郷 5-33-10
いちご本郷ビル 4F

URL : <https://uas-japan.org/>

email : journal@uas-japan.org

当会および投稿者からの許可なく掲載内容の一部およびすべてを複製・転載・配布することを固く禁じます。

ISSN 2435-5453