

ドローンの安全を診る

～遠隔操縦～

筑波大学 教授

伊藤 誠 Makoto Itoh

労働安全衛生総合研究所 主任研究員

岡部 康平 Kohei Okabe

1. はじめに

ドローンに関して、いわゆるレベル4の飛行¹⁾の実現に向けて現在様々な取り組みが進められている。レベル4の飛行とは、都市部などの有人エリアを、操作者や補助者の直接目視の確認なしにドローンを飛行させるものであり、これまでは認められてこなかった方式である。しかし、物流などの分野において、比較的長距離を飛行させることを考える場合、レベル4の飛行は重要になってくる。

レベル4の飛行は、必然的に遠隔操縦である。本稿では、とくにレベル4を想定した、ドローンの遠隔操縦にかかわる安全の問題について考察する。

2. レベル4飛行におけるオペレータの役割

ドローンのレベル4の飛行を想定する場合、遠隔「操縦」といっても、文字どおりオペレータが手動で操縦するとは限らない。直観的に明らかだが、レベル4のドローンの飛行を完全手動で行うのはかなり困難であると想定される。

レベル4の飛行に供されるドローンがどのような機能・性能を有することになるかはまだ完全には明確になっていないが、オペレー

タに提供される情報は限定的にならざるを得ない。基本的に、得られるカメラ画像は一人称画像（First Person View：FPV）であり、簡単に言えば、ドローンから見た視点のことで、このFPVを行うことで、操縦者はドローンから見える景色を見ることができるようになる。画角も限定的であることから周辺の障害物や他の飛行物体を視覚画像から認識するのは容易ではない。もちろん、360度カメラの画像をヘッドマウントディスプレイなどで提示することによって視覚情報を強化することは可能である。また、リモートセンシング技術の1つで、パルス状に発光するレーザー照射に対する錯乱光を測定し、遠距離にある対象までの距離などを分析するライダーや、ソナーの情報を視覚化することによって周辺認識を支援することは可能である。しかし、そうした方式によって安全に飛行させることができるかどうかはまだ十分に立証されていない。

たとえば、筆者らは、離着陸に着目して、ヘッドマウントディスプレイで周辺環境のカメラ画像を提供する方式について、シミュレータでの評価実験を行っている²⁾。図1に示すように、ヘッドマウントディスプレイを用いた飛行シミュレーション実験では、VRゴーグルをかけた参加者には、ディスプレイ左にみえるFPVカメラ画像が提示される。

図1 ヘッドマウントディスプレイを用いた飛行シミュレーション実験



筆者らの実験では、周辺の状況を認識するのにヘッドマウントディスプレイは効果的であったが、提示される映像が大きく動くことによる酔い（いわゆるVR酔い）が発生するケースが多く確認されている。十分に訓練されたオペレータであれば酔いは起こらないということもありうるが、習熟するまでの訓練を切り抜けることができるかも課題であり、360度カメラとヘッドマウントディスプレイを組み合わせればそれだけでうまくいくという単純なものではない。

また、そもそも、一人のオペレータが一機の遠隔操縦ドローンだけを取り扱うのでは、持続可能な事業としては成立しづらいとも考えられる。実際に、一人のオペレータで複数機を同時にコントロールする方式についても検討が進められている。

したがって、レベル4の飛行を行うことを考えるならば、システムによる自律飛行が基本となると考えておくべきであろう。

しかるに、レベル4の飛行をさせる場合、一等無人航空機操縦士という資格を持ったオペレータが運用するように航空法が改正されたところである。「無人航空機の飛行の安全に関する教則」³⁾によると、一等の資格を有

するオペレータの役割は自律飛行の監視だけでなく、緊急時の手動操作による安全確保なども想定されている。

しかし、遠隔での手動操縦が困難であるからこそ自律飛行が想定されるレベル4の飛行において、緊急時にオペレータに求められる真の役割はどのようなものだろうか。事故が発生したらオペレータが責任を負わないといけなかった場合に、その責任を果たすために安全を確保するための手段や時間、リソースがどの程度利用できるのだろうか。

3. 人間中心のシステムデザイン

旅客機分野では、自動化に伴う様々な問題への反省から、人間中心の自動化（human-centered automation）⁴⁾の考え方が早くから確立されてきた。人間中心の自動化とは、人間（この場合パイロットのこと）が運航安全の最終的な責任を有することを大前提とし、この責任を果たすための権限を人間が持つべきであり、権限を全うするためのリソースを適切にシステムが提供しようという考え方である。人間中心の自動化についての詳細は、

稲垣の著書⁵⁾などを参照されたい。

ドローンのレベル4飛行においても、原則として、人間中心の自動化の考え方を適用すべきであると筆者らは考える。もちろん、旅客機とドローンとでは、機体の特性や事故時の被害の大きさなどに顕著な差異があり、旅客機の人間中心の自動化の考え方をそのまま適用できるとは限らない。例えば、一人のオペレータで複数機を同時に運航させるという業務形態もありうることから、人間(オペレータ)がすべての機体の運航状況を常に把握し続けることは困難でありうる。

しかし、「いざというときに人間が責任を負う必要があるのならば、その責任を全うできるためのリソースを人間が適切に持つべきである」という点では、旅客機でもドローンでも同一であるべきである。

4. システムと人間の役割

検討すべき問題の一つは、人間(オペレータ)がどのような場面・状況で運航の判断や操縦に直接介入する必要があるのかということにある。「責任は負わされるが、責任を全うすべく介入しようと思っても、もはやなす

べがない」のでは困るのである。ここにレベル4飛行を行うドローンのむずかしさがある。

旅客機の場合、「自動制御系に不具合が生じたとしても、いざとなったら、手遅れにならないうちに手動操縦の飛行に戻せばよい」というのが一つの考え方である。もちろん、自動操縦の常時使用によるパイロットのスキル低下の問題などはあるが、適切に訓練を行ったり、通常時のオペレーションにおいて手動操縦を時々行うなどによってスキルを維持する手立てはある。このようなことが可能なのは、旅客機は管制によって他の航空機や建物などとの間隔を十分確保されているほか、地上から数kmにも及ぶ高度を飛行するため墜落しそうになったとしても手動でなんとか対処する余裕が残されていることが多いからといえる。

他方、レベル4飛行を行うドローンは、高度150m以下の低い領域でしか飛行が想定されておらず、建物などともごく近い領域を飛行することが考えられ、異常事態が発生した場合にオペレータに与えられる余裕は少ないとみておくべきである。異常時といっても機体の故障だけではなく、鳥の群れに遭遇するというような事態もある(図2)。重量物

図2 有人エリア飛行中に鳥の群れに遭遇するシーンのシミュレーション



を運搬中に鳥の群れに襲われたら回避が困難な事態も十分起こりうる。

したがって、「何かあったらオペレータが介入して安全を確保する」ということは、実はかなり困難なことであると想定される。そこで、安全確保の観点からは、オペレータに頼ることなく、システムが自己完結して安全状態を達成する機能安全の仕組みを持つことが必要であるように思われる。このことは、自動車の自動運転を思い出させる考察である。自動車のレベル3の自動運転の場合、自動制御が継続できないときには運転介入要請 (Request to intervene : RtI) を発出するが、システムの安全上の要件として、RtI にドライバが対応をしない場合には、システムが自律的に安全を確保する (いわゆるミニマル・リスク・マヌーバー (MRM) を実行する) ことが規定されている⁶⁾。

では、レベル4飛行のドローンの場合、オペレータに求められる真の役割とは、いかなる場面でいかなる対処をすることなのであるか。実はこの問いに対する答えは、まだ明確になっていないように筆者らは考えている。この問いに答えるためには、システムがどれだけの安全確保の機能を有するかに依存するが、他方どれだけの安全機能を持たせるかは人間にどこまで頼ることができるのかにも依存している。この問題は、「ニワトリとタマゴ」の構造をなしており、ドローンの機体の技術開発の動向も踏まえつつ検討を進めていくことが重要であると考えている。

5. SF 思考

レベル4飛行のドローンにおいて、システムに実際にどのような不具合が発生し、オペレーターに介入を求めるべき場面がどのようなものであるか。

このことを検討するにあたり、一つの有用

な考え方が「SF 思考」⁷⁾ である。システムに起こりうる異常や緊急事態を考える方法論としては、FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) や、HAZOP 法 (HAZard and Operability study)、STAMP/STPA などが利用可能ではあるが、これらはいずれも、大まかにでも一つシステムを特定し、その機能や実現法を具体的に想定しないと適用が困難である。現在考察しているような、「レベル4飛行を行うドローン」という一般的な検討では、これらとは異なるアプローチをとることも有用ではないか。

筆者らは、東京大学五十嵐広希氏から SF 思考の考え方を紹介され、この考え方に基いてドローンに起こりうる不具合を検討することに取り組み始めている。SF 思考とは、ごく簡単には「未来の言葉やキャラクターから、こうありたい社会を考え、バックキャストで新産業や、開発技術や制度を紐解いていく方法」⁷⁾ と説明されている。バックキャストを行うという意味では、関連する手法はほかにも見られる (たとえば文献⁸⁾) が、想像の翼を大きく羽ばたかせるという点で、SF に明示的に言及するというアプローチは興味深い。詳細は文献⁷⁾ を参照されたい。

筆者らのアプローチは、SF 的な思考によって、人間とレベル4飛行を行うドローンの関係を考え、そこにおいて求められる人間の役割を検討してみようというものである。手始めに、SF 映画を中心にドローンを取り扱っているタイトルの内容を分析するという試みを行っている。しかし、これまで筆者らの分析の結果では、ドローンに生じた不具合を人間が対応するというケースを扱ったタイトルは少ないことがわかってきた。こうした後ろ向きの分析ではなく、むしろ、SF を作り出す前向きなアプローチも必要だと考えている。

6. まとめ

レベル4飛行実現のための社会制度の枠組みはできつつある。将来的には、東京や大阪などの大都市、とくに歩行者が多数存在するエリアで重量物を積んでドローンが飛び交うという状況が現実になると見越し、人間の果たすべき役割を人間が適切に果たせるようにシステムがデザインされるようになることを望む。そのために、人間にどのようなリソースが提供されれば人間がどこまでを担当できるのか、そのうえでシステムデザインはどのようなものでなければならないかを明確にしていく必要がある。筆者らの見る限り、レベル4飛行においてこうした人間の問題を扱っている研究開発は少ないことから、今後ドローンにおけるヒューマンファクター研究の活性化が求められる。

謝辞

SF 思考のアイデアを提供いただいた、東京大学五十嵐広希氏に謝意を表します。また、SF 映画を頑張って視聴してくれた、筑波大学孟成柱、涂念之、藤野光希、の各位、シミュレータの改善に尽力してくれた Raymond Maxim 君に感謝します。

参考文献

- 1) 官民協議会：小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ、飛行レベルの整理、2016。 <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/shiryoku6.pdf>
- 2) 伊藤誠：産業用ドローンの安全性：現状と課題、ドローンの緊急操作の技能評価に向けて、Jitsu-Ten (実務 & 展望)、ボイラ・クレーン安全協会、No. 329、24-27、2022。
- 3) 国土交通省：無人航空機の飛行の安全に関する教則、2022。 <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001520517.pdf>
- 4) C. Billings : Aviation Automation : The Search for A Human-centered Approach, LEA, 1996.
- 5) 稲垣敏之：人と機械の共生のデザイン、朝倉書店、2012。
- 6) 国土交通省自動車局：自動運転車の安全技術ガイドライン、2018。 <https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>
- 7) 藤本敦也、宮本道人、関根秀貢（編著）：SF 思考、ダイヤモンド社、2021。
- 8) 渡邊英徳：第5部：「新しい本」のつくりかた～ボトムアップとバックキャストिंग～、デジタルアーカイブ学会誌、6 (3)、138-142、2022。

いとう●まこ

筑波大学助手、電気通信大学助手、筑波大学講師、准教授を経て、2013年より筑波大学システム情報系教授、現在に至る。自動化システムに対するヒューマンファクターの研究などに従事。博士（工学）。

おかべ●こうへい

2004年産業技術総合研究所、2006年東京大学 IRT 研究機構を経て、2010年から労働安全衛生総合研究所、現在に至る。次世代型産業機械の安全設計・安全管理の研究に従事。情報学博士。