

## Drone Swarm 設計のリスク軽減を取り入れた法的設計

関口海良<sup>1</sup> 寺田麻佑<sup>23</sup> 堀浩一<sup>13</sup> 中川裕志<sup>3</sup>

ドローンの利活用が現在様々な産業分野において進められている。中でも、特に、ドローンの活用による物品の配送は、過疎地への物資の輸送や、災害時における輸送の手段としての活用が期待されている。しかし、ドローンを活用した輸送においては、ドローンが落下した際の生命や財産に対する損害のリスクや、カメラを搭載することによる市民のプライバシー侵害のリスク、居住地上空を飛ぶことによる財産権の侵害のリスク等を考えた場合に、ドローンによる輸送が認められるべきかという問題が存在している。この点に関しては、工学および法学の立場から様々な対策が現状でも既に検討されている。例えば、落ちないドローンの研究開発や、ドローンの飛行経路をどのように設計するべきか、ドローンの認定制度をどのように整えるかといった検討がある。ここで重要なことは、技術を扱う工学と制度を扱う法学が双方の主張を勘案して全体のシステムの設計を行うべきであるという主張が双方からされていることである。筆者らも従来からこの様な立場に立って研究開発を進めてきた。本論文においては、工学と法学の間でどの様に双方向的な議論を進めると良いかを、Drone Swarm を具体例として改めて示すこととする。以下、上述の三つのリスクを回避するための方策の一つとして、複数の Drone を Swarm 化して 1 個の荷物（あるいは複数の荷物をまとめて）運ぶことを提案する。そして、Drone Swarm の設計によるリスク低減効果を検討し、その有効性が一定程度認められるという前提のもと、Drone Swarm 設計のリスク軽減を取り入れた法的設計について検討し、提言を行う。以下においては、1) 現状の整理 2) Drone Swarm の説明、3) Drone Swarm におけるリスク軽減の検討 4) Drone Swarm の設計におけるリスク軽減の評価と各国における検討（特許など）5) 4) を踏まえた、Drone Swarm 設計におけるリスク軽減の法的設計への取り入れ方 6) 提案と結論 の順に考察を進めることとしたい。

### Legal Design Incorporating Risk Mitigation Measure of Drone Swarm Design

KAIRA SEKIGUCHI<sup>1</sup> MAYU TERADA<sup>23</sup> KOICHI HORI<sup>13</sup>  
HIROSHI NAKAGAWA<sup>3</sup>

Utilization of Drones is currently being advanced in various industrial fields. Among them, delivery of goods by utilizing drone is expected to be used as a means of transporting goods to de-populated areas and as a means of transportation in the event of a disaster. However, in transporting goods using the drones would cause the risk of damage to life and property. When the drone falls, there will be a risk of infringement of the privacy of the citizen because the drones are normally equipped with cameras. There may be a problem of an infringement of property rights by flying over the residential area as well. Thus, there is a problem of whether transportation by drone should be at first allowed when considering risks as such. Regarding this point, various countermeasures have already been considered from the standpoint of engineering and law. For example, there are studies on research and development of drones that will not fall, designing the Drone Highway (flight path of drone), preparing Drone's accreditation system, etc. The important thing here is that both engineering and legal sides argue that the whole system should be designed dealing with both technology and legal studies taking both arguments into account. The authors have promoted research and development from such a standpoint. In this paper, how to promote interactive discussion between engineering and law is considered and argued with an example of Drone Swarm. In this paper, as one of measures to avoid the above the risks of drone fall, we propose to carry a single package (or several packages together) by swarming multiple Drones. Based on the premise that the effectiveness of Drone Swarm design is evaluated to a certain extent, we study and propose a legal design incorporating risk reduction of Drone Swarm design. In this paper, specifically, 1) the current situation of regulation of Drones, 2) explanation of Drone Swarm, 3) discussion of risk reduction in Drone Swarm 4) evaluation of risk reduction in design of Drone Swarm and examination in each country (patent etc.) 5) how to incorporate risk reduction into legal design based on the Drone Swarm design will be shown. Then, we will conclude with 6) proposal and conclusion.

#### 1. ドローンが有するリスクに対する検討の現状整理

ドローンは、その飛行中の衝突や故障による落下時に、生命や財産に対して損害を与える可能性があるというリスクや、カメラを搭載したドローンによる個人情報を含

む情報が収集されるというリスク、また、ドローンが第三者の土地などの上空を飛ぶ可能性があることによる、財産権の侵害といった利用におけるリスクを包含している[1]。

このようなドローンについては、2015年に改正されるまでの日本の航空法においては、模型航空機の種類とされ、原則として航空機の運航に危険を及ぼす可能性のある空域である、上空250m以上の飛行のみが禁止されていたのみであり、ドローンは飛ばし放題であり、ほぼ規制は「ない」に等しいものであったが、ドローンによる商業

1 東京大学大学院工学系研究科  
School of Engineering, The University of Tokyo  
2 国際基督教大学教養学部  
College of Liberal Arts, International Christian University  
3 理化学研究所革新知能統合研究センター (AIP)  
RIKEN Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

配送などが現実味を帯びるにつれて（もつとも、まだ実際には日本においては検討段階であり、実現はしていない）基本的な規制の必要性が認識されるようになってきたところ、首相官邸ドローン落下事件が生じたこともあり[2]、航空法の一部を改正する法律（平成 27 年法律第 67 号）によって航空法が改正され、ドローンの飛行に関する基本的な規制が 2015 年に整備された[3]。かかるドローンの飛行を整備する航空法の改正は、①無人航空機の飛行にあたって許可を必要とする空域、②無人航空機の飛行方法、③事故や災害救助等の場合の適用除外と罰則（罰金）を定めたものである。

具体的には、飛行の禁止空域として、国土交通大臣が個別に許可する場合を除き、無人航空機（ドローン）の飛行により航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれがあるものとして国土交通省令で定める空域（法 132 条 1 号）と、前号に掲げる空域以外の空域であって、国土交通省令で定める人又は家屋の密集している地域の上空（法 132 条 2 号）となっている。特に、法 132 条 2 号の人家屋密集地域は、国土交通大臣が告示で定める年の国勢調査の結果による人口集中地区[4]が禁止区域とされ、飛行禁止区域を飛行するためには、必ず許可が必要となった。

（図 1）

また、無人航空機の飛行方法としては、あらかじめ国土交通大臣の承認を受ける場合等以外の原則として、①日出から日没までの間の飛行（航空法 132 条の 2 第 1 号）、②目視による常時監視がなされること（航空法 132 条の 2 第 2 号）、③無人航空機と地上または水上の人または物件との間の国土交通省令で定める距離（30 メートル）を保持すること（航空法 132 条の 2 第 3 号）、④多数の者が集まる場所の上空以外の空域での飛行をすること（航空法 132 条の 2 第 4 号）、⑤爆発物等、危険物の輸送をおこなってはならないこと（禁止）（航空法 132 条の 2 第 5 号）[5]、⑥省令で定める場合を除いて、無人機からの物件投下の禁止（航空 132 条の 2 第 6 号）、が定められている。そして、許可が必要な場合等においては、それぞれ申請を行う必要があり、それに対して国土交通大臣が許可・承認をおこなうこととなっている。これらの、実際の許可・承認等の審査にあたっては、細かく審査要領が公表されており、それによれば、特に操縦者の飛行経験・技能等に関し、原則として 10 時間以上の飛行経験が要求されているほか、各種技能試験の結果や民間団体の認証試験等の結果も考慮しながら[6]、実際に事故等を起こさないような技能の保持と体制になっているかが審査されたうえで、許可もしくは承認がなされるようになっている[7]。

この許可および承認については、オンライン申請が可能であり、国土交通省航空局においては、無人航空機の操縦者への講習会等の受講を促し、操縦技能の底上げを図

るために、一定の要件を満たす無人航空機の技能講習を行う民間団体等を航空局のホームページに掲載している。そして、掲載されている団体（随時アップデートされている）の講習の修了者については、飛行許可を受ける際の申請書類の一部を省略することができるとする仕組みが 2017 年 4 月より開始されている[8]。なお、無人航空機の飛行形態に応じた追加基準として、航空法 132 条各号に掲げる空域での飛行及び同法 132 条の 2 各号に掲げる方法によらない飛行を行う場合には、機体への追加の塗色や安全体制の追加のほか、指定された機関への通知等のほか、無人航空機を飛行させる者について、「最新の飛行の経験として、使用する機体について、飛行を行おうとする日からさかのぼって 90 日までの間に、1 時間以上の飛行経験」が要求されている[9]。

また、無人航空機の機能や性能に関して、基準適合確認書を提出する必要がある[10]、審査要領の一部の記載を省略することができるように、ホームページに、国土交通省航空局が認めるいくつかの機体に掲載されている（こちらも、随時アップデートされている）[11]。もつとも、改造している無人航空機等については個別の審査が必要とされている[12]。

なお、このような航空法の規制の緩和も視野に入れて、ドローン特区といった形でドローンをビジネスに利用しようとする地区などにおいては、国家戦略特区制度[13]の活用が考えられているほか（なお、現実に規制緩和はまだ実現していない）、生産性向上特別措置法に基づく規制のサンドボックス制度による実験制度[14]などが考えられている（こちらも具体化はしていない）[15]。

特区制度においてドローンの活用を目指す自治体としては、千葉市、仙台市、東京都多摩地区（あきるの市）、徳島県、グローバル創業・雇用創出特区としての福岡市（後 2 自治体は離島等へのドローン配送を想定している）などがある[16]。

さらに、今後の実用化を目指して、工学および法学の立場から、様々な対策も検討されている。例えば、落ちないドローンに関する研究開発として、株式会社 VENE と東大の航空宇宙工学専攻を母体とした本郷飛行機株式会社の「落ちないドローン」（特許あり）を挙げることができる[17]。

また、ドローンハイウェイ及びドローンポートの技術面・制度面の検討も行われている。日本におけるドローンハイウェイの提案は、2017 年 3 月に、東京電力とゼンリンによってなされている。すなわち、東京電力が有する電力ネットワークを「空から見える道しるべ」として活用し、それによって、電力設備との衝突を避けつつ、地上に張り巡らされた目的地まで中長距離の安全・安心な自律飛行を支える空域「ドローンハイウェイ」を実現する制度が提案された。そのために、地図等の高度なデ

ータ化の可能なゼンリンによって、送電鉄塔・架空送電線といったドローンの飛行における障害物となるインフラ設備の3次元データベースが整備・提供され、設備点検場所までドローンを誘導する技術が共同開発される予定とされた[18].

また、同時に、ドローンの充電切れを避けるために、機体の充電や点検・整備・修理サービスを提供する、「ドローンハイウェイ」に付帯する「ドローンポート」を整備するということが検討されていた。これらの提案については、ドローンの飛行に適したミニ飛行場を設置し、その飛行場にドローンポートなどを設置する可能性のほか、ドローン専用の飛行場などを大型機も発着する飛行場に敷設することも考えられよう。しかし、滑走路が基本的に必要とならないドローン発着場所については、飛行場に敷設した場合、飛行機との衝突の危険性が増すことも考えられるため、今後のさらなる検討が必要である。

ドローンの飛行に関しては、現在国土交通省によって行われているドローン飛行に際しての許可や承認の制度のほか、ドローンの免許制や登録制の可能性を考慮することができる。もっとも、機体の登録制の可能性も含めてまだ検討段階であり、さらに、規制緩和が期待される特区でどのようにするか考えていかなければならない段階にあるものといえる。たとえば、アメリカにおいてはドローンの機体は登録制である[19].

免許制度の採用については、すでに国土交通省が審査の際に利用している民間資格などを提供できる認定団体・企業や、それら団体・企業のコンソーシアムなど、自主的に作成してきた基準等で評価できるような仕組みを検討する可能性もあると考えられる。また、機体の登録制を採用することだけで、ドローンの運航の安全性が保たれるかは今後も慎重に検討する必要がある。

ここで重要なことは、技術を扱う工学と制度を扱う法学が密に連携して有べきシステム全体の設計が行われていることであり、筆者らもこの立場に立っている。

そこで本論文では、これまでの制度設計における盲点として、Drone Swarmの扱いがあることを指摘した上で、技術と制度の両面からこれを扱い、新たな課題と解決策を提示する。

## 2. Drone Swarmの説明

Drone Swarmとは、ネットワーク化された複数のドローンからなり、群れとして有機的にひとつのタスクを遂行するものである。例えば、米の国立航空宇宙博物館が発行しているAir and Space magazineの記事では下記の様に説明している。

Technically, a “swarm” is a group of UAV aircraft driven by artificial intelligence. Swarming drones communicate with each other while in flight, and can

respond to changing conditions autonomously. A good analogy would be a dense flock of starlings reacting to a sudden threat like a hawk. The entire flock maneuvers like a single organism[20].

Drone Swarmはその性質から軍事利用の文脈で扱われることが多い。例えば、自立型致死兵器システム(LAWS)として国連特定通常兵器使用禁止制限条約(CCW)の対象とすべきか等の議論が行われている。本論文では、その性質を利用することで、単体の大型のドローンよりも安全性が高く、さらにプライバシーへの配慮等の効果も期待できる運送手段としてDrone Swarmを用いることにする。

## 3. Drone Swarmにおけるリスク低減の検討

以下、本論文ではDroneをSwarm化してひとつの1個の荷物(あるいは複数の荷物をまとめて)運ぶことを提案する。筆者らは、前述のDrone Swarmの特徴を活かすことで、運送をはじめとしたビジネスにおいてもSwarm化が重要になってくると考えている。

例えば、Swarmとしてタスクを実行することによるロバスト性の向上を挙げることができる。具体的には、一部が故障しても切り離す、ないし補助することでタスクの継続が可能である。さらに、Drone Swarmを小型の機体から構成することで、一機あたりの落下時の衝撃の低減を実現できるものとする。

さらに、モジュール化した機体を用いてミッションを行うことの利点は東大中須賀真一先生のPETSATの研究を参照することができる。中須賀からは、モジュール化することで量産が可能になり、1機あたりの信頼性が向上し、さらに、モジュールの組み合わせ方により様々なミッションへの対応が可能になる等の効果を挙げている[21].

同様に、Swarmの編成を動的に行うことで様々な課題への対応の柔軟性の確保することが可能である。例えば、カメラを搭載するドローンは人の認証ができない空域でのみ飛行可能にすることによる心理的負荷の低減することができる。これは、実際には顔認証をしても画像利用後に即消去すればプライバシー保護的には問題がないため、技術的な解決というよりは安心感が増すことによって市民から受け入れられ易くするための仕組みと言えるだろう。上記リスク低減に基づくことで、財産権の侵害に対する受忍限度における市民からの譲歩も期待される。

## 4. Drone Swarmの設計におけるリスク低減の評価と各国における検討

### 4.1 各刻における検討状況

日本ではDrone(無人航空機)として航空法上の規制が

かかる要件の一つとして 200g 以上の機体であることが航空法施行規則 5 条の 2 によって明示されている。200g 以上の機体は飛行のリスクが高まると考えられ、人口集中地区の上空の飛行等、一定の条件を満たす飛行を行う場合には事前の申請が必要となる。

そのため、リスクを低減しつつ、運送等のための定期的な飛行を可能とするため、現状では Drone Highway の実現が提案されている。

- Drone Highway によって特定の輸送地点 (Drone Port) までの飛行の安全性を向上させる。
- Drone Highway の下には人が歩行できない様にする。
- Drone Highway の下には壊れやすいものは置かない様にする。

一方、Drone Port から先の輸送については、現状ではリスクの低減が引き続き課題となっており、既存の輸送手段に委ねることや、過疎地域からサービスの提供を開始することが検討されている。

アメリカでは、FAA が 0.55lb~55lb (約 250g~25kg) のドローンの登録を義務付けている[22]。日本も現状の制度を整える際にはこの計算方法に言及しており[23]、この考え方の重要性は専門家もその著書の中で指摘している[24]。

この際、安全性の根拠として計算しているのは、ドローンの 1 回の飛行時間あたりの致死人数 ( $p$  と書くことにする) の期待値であり、下記の式で求められる。

$$p = \text{飛行時間あたりの故障率} \times \text{落下エリアの人口密度} \times \text{暴露確率} \times \text{致死率} \times \text{投影面積}$$

ここで致死率は、重力と落下時の空気抵抗が釣り合った際の運動エネルギーからグラフを用いて求めることになる[23]。以下、ドローンの安全性を評価する際には、現状日本において規制の対象となるかどうかの分岐点である 200g のドローンの安全性をベンチマークとして考えることにする。

#### 4.2 リスク低減の評価に向けたシミュレーションの設定

以下、安全性のシミュレーションを実施して、Drone を Swarm 化することで高い安全性が保証できる可能性があることを示す。今回は、Drone Swarm を構成することにより、現状の制度では十分に安全であると考えられているドローンの安全性、つまり、規制の対象から外されている 200g よりも、Swarm の総重量が大きい場合でも、200g のドローンと同等程度かそれより高い安全性を実現できることを示す。

従って、本提案は Drone Highway の設計と合わせて、最終配達地点までの安全性を確保するための仕組みとして

位置付けられる。

Drone Swarm はその重要な要件のひとつが「Swarming drones communicate with each other while in flight」であると認識されていることから、飛行中の構成機体同士の衝突は非常に低いものと考えられることができる。従って、今回はこの衝突の発生確率は無視できるものと近似して、各機体に故障が生じる状況のみを想定する。

以下、Drone を Swarm 化して高い安全性を実現するための方法として、1) 故障した機体を切り離す方法と、2) 当該機体を補助して飛行を続ける方法について、前述の算出式に基づき、期待値  $p$  の低減効果を定量的に見積もることとする。

本シミュレーションにおける、Drone Swarm 全体の設定は下記の通り。

- 重量: 1.0kg (最小サイズのドローン=200g の 5 倍)
- 投影面積: 0.10m<sup>2</sup>
- Drone Swarm の構成機体数を 2~1000 機でパラメタ化し、各機体に構成機体数によって重量と投影面積を当分する。(例えば、Drone Swarm を 5 機で構成する場合には、1 機の重量は 200g で、投影面積は 0.02m<sup>2</sup> となる。今回は、Swarm 化した際に安全性の変化の傾向を確認するため、機体数を 1000 機までと極端に多くした場合を想定し、収束する水準等も合わせて確認することにする。)

ドローンを Swarm 化するには、構成機体 1 機あたりの運送可能荷重が定められているものとして、荷物の重量が増えるに従い構成機体数を増やす運用が行われるものと考えられる[25]。今回は簡単のため、Swarm 化しない場合と全体の合計重量を合わせて、両者は同じ重量の荷物を運ぶことができると想定し、両者の安全性の違いを比較することとする。

また、切り離し、ないし補助による継続飛行が可能な確率 (以下「回避確率」と呼ぶ) をパラメタ化する。

上記 1 の場合、切り離しが成功する場合は 1 機のみが墜落するものと想定。切り離しが失敗する場合は Drone Swarm 全体が墜落するものと想定する。この際の致死人数の期待値は、回避確率に基づく両者の合成により算出する。計算式は下記である。

$$p = \{1 - (1 - \text{飛行時間あたりの故障率})^{\text{機体数}}\} \times \text{落下エリアの人口密度} \times \text{暴露確率} \times \{ \text{一機での致死率} \times \text{一機での投影面積} \times \text{回避確率} + \text{全機での致死率} \times \text{全機での投影面積} \times (1 - \text{回避確率}) \}$$

上記 2 の場合、補助による継続飛行が可能な場合には墜落はしないので致死人数は 0 と想定する。補助が失敗した場合は、Drone Swarm 全体が墜落するものとして致死人数

の期待値を算出する。計算式は下記である。

$$p = \{1 - (1 - \text{飛行時間あたりの故障率})^{\text{機体数}}\} \times \text{落下エリアの人口密度} \times \text{暴露確率} \times \text{全機での致死率} \times \text{全機での投影面積} \times (1 - \text{回避確率})$$

その他の条件は、上述の資料[22,23,24]に基づく。

### 4.3 シミュレーションの結果

以上の条件の下、現状安全性が認められている 200g の機体での単独飛行と同等の安全性となる構成機体数と回避確率の関係を求める。

シミュレーションの結果、上記1の「故障した機体を切り離す方法」の構成機体数と致死率の関係は図2の様になった。例えば、切り離しの成功確率が99.9%の場合は、Drone Swarmを10機の100gの機体から構成するようにすれば、200gの機体の単独飛行と安全性が同程度となる。上記2の「故障した期待を補助する方法」の場合には、結果は図3の様になった。例えば、回避確率が99.9%以上とできれば、30機以内での構成とすれば200gの単独飛行と同程度の安全性が実現可能となる。

### 4.4 Drone Swarm の設計の例

以上の実験より、Drone Swarmの安全性については、下記の構成により単独飛行の場合よりも高い安全性を実現できる可能性が高いと考えられる。

- Drone Swarmの任意の機体が故障した場合は、他のドローンが補助することで飛行を継続。
  - ミッションの継続が可能であれば継続。
  - ミッションの継続が不可能であれば安全な場所に着陸。
- 補助しての継続飛行が不可能となり、Swarm全体が墜落する可能性が高い場合には、当該故障機体を切り離す。

例えば、「100gの機体 × 10機」は可能な解である。重要な点は、構成する機体数と必要な回避確率の制度には関連があるので、構成する際には注意が必要なことである。Drone Swarmによる運送については、アメリカで特許が取得されている。もっとも、当該特許は運送可能な荷重の増加と、航続距離の延長のためにSwarm化が行われており、安全性については下記の記載があるのみである。

Using the networked drone system may be safer than a single heavier drone with equivalent cargo capacity, such as due to potential failure or orientation errors in the single heavier drone[25].

また、現状の制度設計ではこのような評価は想定外であったことも指摘できる。そのため、筆者らの様に、安全性やプライバシーへの配慮を目的としたDrone Swarmのシステム設計や、その定量的な評価、工学と法学との双方向的な検討には新規性が認められるものと考えられる。

## 5. Drone Swarm 設計におけるリスク低減の法的設計への取り入れ方

現状、Drone Swarmを制度的に扱う場合は、Swarm全体の重量が200gを超えているかでないかによって、制度の対象とするかを判断するものと考えられる。これは、現状の制度設計ではDrone Swarmを想定していないためである。しかし、DroneをSwarm化することで単体の機体で飛行するよりも高い安全性を実現できる可能性があることは上述の通りであり、工学的に挑戦する価値のある課題である。さらに、本考察がそもそも運送へのアプリケーションから検討が始まった様に、Drone Swarmを用いて高い安全性やプライバシーへの配慮を実現することは、ビジネスの文脈においても重要となる。

従って、Drone Swarmを制度的にその特徴を保持したまま扱う場合には、Swarm全体としての安全性を、全体の重量で扱うのではなく、確率的に扱うべきである。基本的には、上述の様な安全性の計算が制度における評価時にも必要になると考えられる。さらに、安全性の計算を飛行のたびに行うのではなく、システムとして事前の審査で保証できるようにすることで、運送をはじめとしたサービスでの利用がしやすくなる。具体的には、下記の二つの認定が必要と考えられる。

- 構成機体の性能（重量や故障確率）の認定
- 回避確率（切り離し or 補助による継続飛行）の認定

また、これらを第三者機関が認証することによって容易に、かつ信頼性高く実施できるものと考えられる。

## 6. 提案と結論

新たなサービスの設計においては、工学による研究開発のみや、あるいは法学による制度設計のみでの検討では不十分である。両者はいずれも共通の課題を解決するための設計解であり、並列の関係として捉えることができる。従って、両者が密に連携しながら設計を進めていくことが重要であり、本論文ではこの点を具体例に基づき改めて示した。

具体例としてはDrone Swarmによる運送を扱い、現状の制度設計がSwarm化を想定していないことを指摘した上で、当該技術の安全性の評価は既存のGrossの機体重量による判断に基づくのではなく、落下重量に関しても確率的に行われるべきであることを提案した。

また、これをさらに扱いやすくするためには、Drone Swarmの性能を構成機体ごとの品質認定、およびSwarm化した際の回避確率の品質認定が重要となり、第三者機関による実施が求められることを指摘した。

### 謝辞

本研究はJSPS科研費JP18K18434の助成を受けたものです。

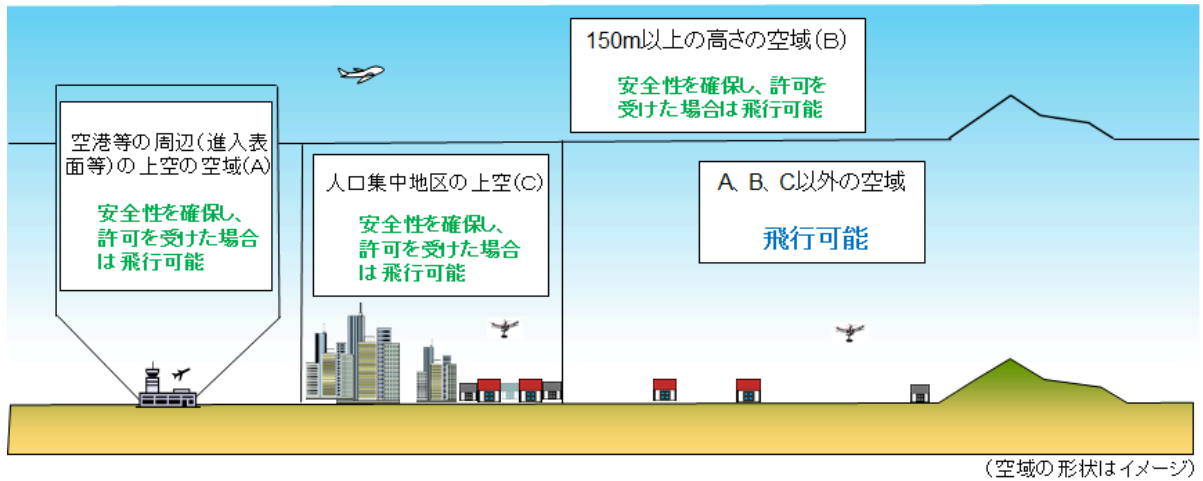


図 1.国土交通省ホームページを参照. [http://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_fr10\\_000041.html](http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html)

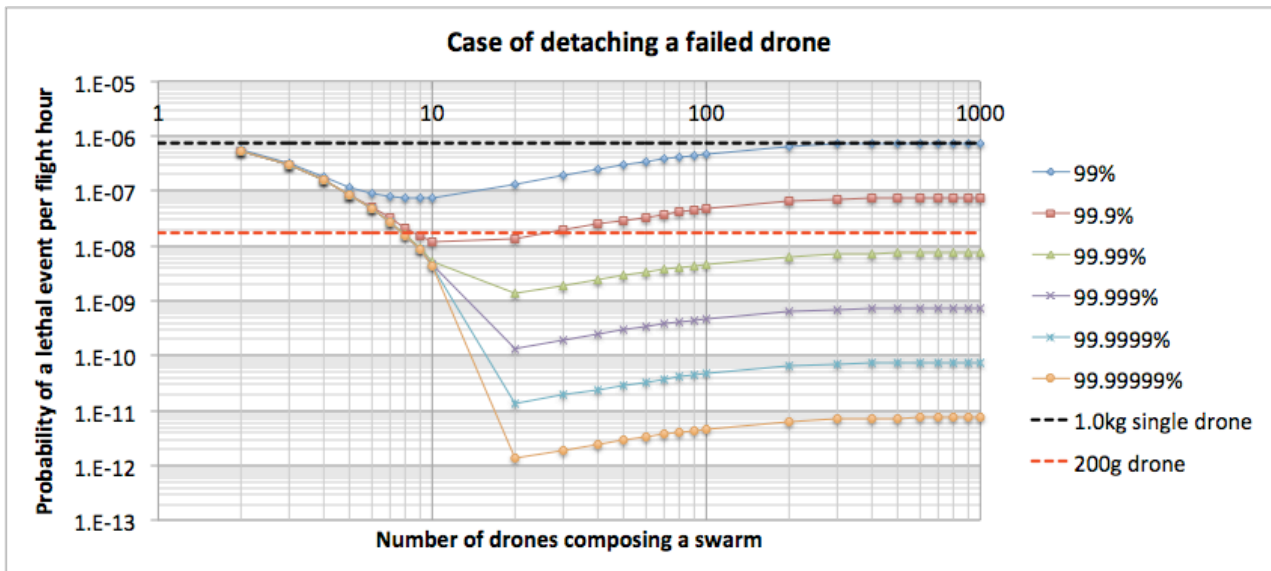


図 2. 故障機体を切り離して飛行継続を試みる場合の構成機体数と致死率の関係

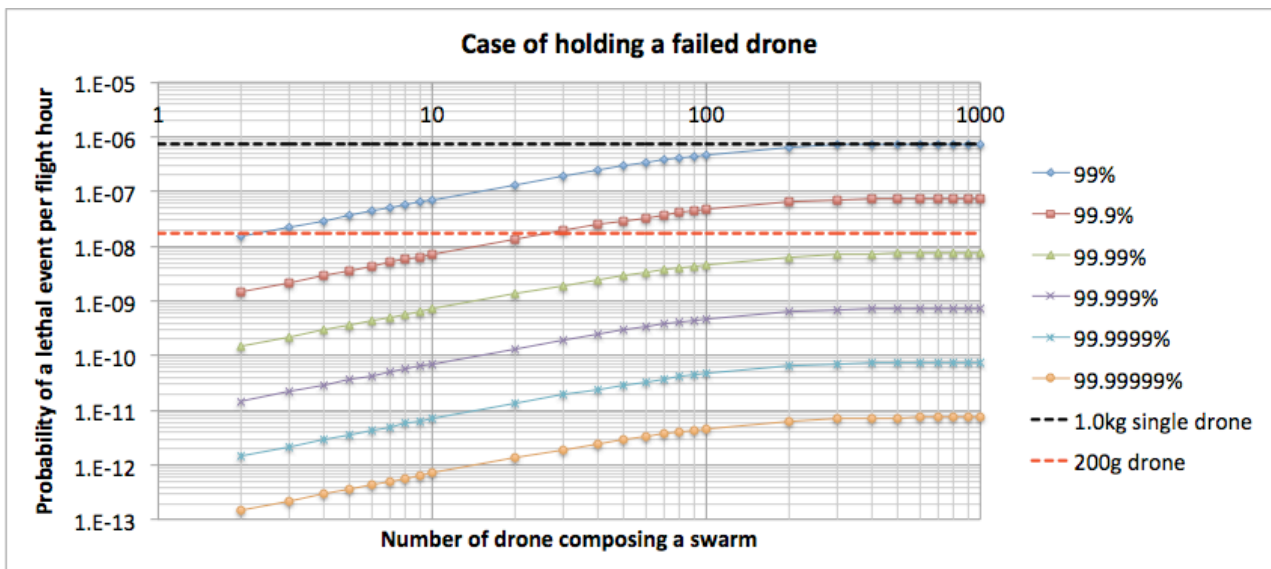


図 3. 故障機体を補助したまま飛行継続を試みる場合の構成機体数と致死率の関係

## 参考文献

- [1] 寺田麻佑「ドローンに関する法的規制の現状と課題—各国との比較を中心に—」『情報ネットワークレビュー』15号(2017年11月), 138-153頁
- [2] 首相官邸の屋上において微量の放射性物質を積んだドローンが発見され、大きく報道された。「ドローンから放射線」官邸屋上 搭載容器に液体」朝日新聞朝刊東京本社版 2015年4月23日, 1面.
- [3] 2015年9月4日に、無人航空機「ドローン」の飛行を規制する航空法が成立、同年12月10日に施行された
- [4] 2017年6月24日からは、平成27年の国勢調査の結果による人口集中地区が採用されるようになっている..
- [5] 輸送禁止物件については、火薬類、高圧ガス、凶器など、航空機の場合に輸送を禁止している物件(航空法施行規則194条1項)と同様の物件が定められている.
- [6] 2018年5月にドローン講習に関するホームページの掲載情報が更新されており、一定の要件を満たした技能認証を得るための講習を実施する「講習団体」は2018年5月時点において177組であり、そのうち、2つ以上の技能認証を提供する団体が8組あるため、実質169団体が講習サービスを提供する掲載団体として存在している.  
<http://www.mlit.go.jp/common/001228631.pdf>  
申請書の修正が必要な箇所などはメールのやり取りで教示がなされる. 国土省航空局は5月1日付で、ドローン講習に関するホームページの掲載情報を更新した. 一定の要件を満たした技能認証を得るための講習を実施する「講習団体」は177組と公表.
- なお、講習団体を管理する「管理団体も15組あり、こちらも国土交通省ホームページに掲載されている.
- [7] 国土交通省航空局航空局長「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」平成27年11月17日制定, 平成29年3月31日一部改正 (<http://www.mlit.go.jp/common/001110202.pdf>).
- [8] 2017年4月以前も、民間団体の講習会の修了証明書等は添付可能であった. もっとも、国土交通省のホームページにおいて、国土交通省が当該講習等を認める形で該当する講習会等を開催している民間団体等の一覧を公表する仕組みを始めたのは2017年4月である. 国土交通省航空局安全部運航安全課「無人航空機の講習団体及び管理団体の航空局HPに掲載について」(<https://www.mlit.go.jp/common/001188328.pdf>). 現在、国土交通省航空局の定めた所要の要件を満たすことが確認できた「無人航空機の操縦技能講習を行う民間講習団体(43団体)」及び「講習団体を指導し管理する団体(4団体)」が国土交通省航空局ホームページに掲載されている  
(<http://www.mlit.go.jp/common/001187203.pdf>).
- [9] 審査要領18頁, 22頁.
- [10] 同上, 審査要領32頁.
- [11] 国土交通省航空局「資料の一部を省略することができる無人航空機」<http://www.mlit.go.jp/common/001188887.pdf>.  
国土交通省航空局安全部航空機安全課長「量産無人航空機の実機確認要領」平成29年3月31日制定(国空機第9836号)3頁において、「機体のホームページへの掲載等については、適合性が確認された機体については、資料の一部を省略することが出来る無人航空機の一覧(様式2)により航空局ホームページに掲載することとする。」とされており、同実機確認要領に従って、掲載を希望する者が手続きを行うこととされている.
- [12] 審査要領32頁.
- [13] 平成26年2月26日閣議決定資料「国家戦略特別区域基本方針」1頁.
- [14] 経済産業省プレスリリース「「生産性向上特別措置法案」及び「産業競争力強化法等の一部を改正する法律案」が閣議決定されました。」  
<http://www.meti.go.jp/press/2017/02/20180209001/20180209001.html>
- [15] そのほか、グレーゾーン解消制度—企業が、現行の規制の適用範囲が不明確な分野においてあらかじめ、規制の適用の有無を確認できる制度、新事業特例制度—企業自らが、規制が求める安全性等を確保する措置を講ずることを前提に、企業単位で規制の特例措置を適用する制度が生産性向上特別措置法の柱となっている.
- [16] 千葉市は、そのなかでもとくにドローンの商業宅配に力を入れており、実際に、ドローン宅配を進めるための実証実験を何度も行っている.
- [17] 「【PR】 VENE 特許を取得した“落ちないドローン” 試作品1号機飛行実験実施!」Business Journal, 2016年3月24日
- [18] TEPCO「ドローン社会実現のための安全飛行インフラ構築に向けた業務提携について～「ドローンハイウェイ構想」の実現に向けて～」  
<http://www.tepco.co.jp/press/release/2017/pdf/170329j0101.pdf>  
[19] <https://registermyuas.faa.gov/>.
- [20] T. Wright, When is a Drone Swarm Not Swarm?, Air & Space Magazine, January 12, 2018.  
<https://www.airspacemag.com/daily-planet/when-drone-swarm-not-swarm-180967820/>
- [21] Y. Sugawara, S. Nakasuka, K. Higashi, C. Kobayashi, K. Koyama and T. Okada, Structure and thermal control of panel extension satellite (PETSAT), Acta Astronautica, Volume 65 (2009), pp. 958–966.
- [22] Unmanned Aircraft Systems (UAS) Registration Task Force (RTF) Aviation Rulemaking Committee (ARC), Task Force Recommendations Final Report, November 21, 2015, pp.6–10  
[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/rulemaking/committees/documents/media/UASRTFARC-102015.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/UASRTFARC-102015.pdf)
- [23] 資料3- リスクに応じた規制の 区別の考え方について(民間側構成資料), 小型無人機の更なる安全確保のための制度設計に関する分科会(第2回), 首相官邸, 2016年2月16日  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho\\_dai2/sryou3.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho_dai2/sryou3.pdf)
- [24] 鈴木真司著『ドローンが拓く未来 飛行のしくみを知り安全に利用する』化学同人(2017) pp.125–126
- [25] M. Jassowski et al, Drone Swarm for Increased Cargo Capacity, Patent Application Publication, Jul. 5, 2008.  
<http://www.freepatentsonline.com/y2018/0188724.html>