

「空の産業革命に向けたロードマップ 2018 ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」 補足資料

1. 概要

小型無人機による「空の産業革命」に向けて、2018 年頃から無人地帯での目視外飛行（レベル3）、2020 年代前半から有人地帯（第三者上空）での目視外飛行（レベル4）による小型無人機の利活用を本格化させる。それらの目標を達成するために必要となる技術開発と環境整備を、国際的にも連携しながら、官民が一体となって進めていく。

2. 利活用

本ロードマップでは、小型無人機の飛行レベルを表1のとおり定義する。現在はレベル1、2の飛行による利活用が主流となっており、レベル3、4の飛行も技術的かつ制度的に不可能ではないものの本格的な利活用には至っていない。そのため本ロードマップでは、2018 年頃からレベル3の飛行による利活用、2020 年代前半からレベル4の飛行による利活用を本格化させることを目標とする。レベル4の本格化に向けては、2020 年代前半から有人地帯での目視外飛行による利活用を始め、順次、高いレベル（機体の重量が大きい、飛行させる地域の人口密度が高い、多くの機体を飛行させる等）へと拡大させていく。

表1 小型無人機の飛行レベル

レベル1	目視内での操縦飛行
レベル2	目視内での自動・自律飛行
レベル3	無人地帯※での目視外飛行（補助者の配置なし） ※ 第三者が立ち入る可能性の低い場所（山、海水域、河川・湖沼、森林等）
レベル4	有人地帯（第三者上空）での目視外飛行（補助者の配置なし）

なお、本ロードマップの目標はレベル3、4の飛行による利活用の本格化であって、2018 年頃までは目視外飛行による利活用が認められなかったり、2020 年代頃までは第三者上空飛行が認められなかったりするわけではなく、現行でも飛行の経路及びその直下に第三者が存在している蓋然性が低いと認められるような場所を飛行することは可能となっている。また、本ロードマップにおいて小型無人機については、基本的に 150m 未満の高さの空域を飛行するものとして記述する。

各レベルの飛行による利活用としては、例えば、表2のようなものが挙げられる。

表2 各レベルの飛行による利活用の具体例

レベル1	レベル2
<ul style="list-style-type: none"> ・ 農薬散布 ・ 映像コンテンツのための空撮 ・ 橋梁、送電線等のインフラ点検 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空中写真測量 ・ ソーラーパネル等の設備の点検 等
レベル3	レベル4
<ul style="list-style-type: none"> ・ 離島や山間部への荷物配送 ・ 被災状況の調査、行方不明者の搜索 ・ 長大なインフラの点検 ・ 河川測量 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市の物流、警備 ・ 発災直後の救助、避難誘導、消火活動の支援 ・ 都市部のインフラ点検 等

(1) 空の産業革命

「空の産業革命」とは、小型無人機の飛行する領域がレベル1、2からレベル3、4へと広がり、多様な産業分野の幅広い用途に小型無人機が利用されるようになることで、小型無人機による空の活用を通じて、産業、経済、社会に変革をもたらすことと考えられる。将来的には、多数の自律飛行する小型無人機が空を飛び交って、都市における物流などの様々なサービスを提供する社会が実現することも想定される。

(2) レベル1、2

目視内飛行については、趣味用のみならず産業用にも利活用が広がってきている。今後は、各分野における課題に対応していくとともに、国及び地方公共団体による積極的な活用を通じて官公需の面からも市場を拡大させていく必要がある。

(3) レベル3、4

目視外飛行を行うには、航空法に基づく国土交通大臣の承認を受ける必要があり、その承認に当たっては、補助者の配置が原則となっている。また、第三者上空での飛行は「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」において原則として認められていない。

今後、目視外及び第三者上空での飛行による利活用を推進するためには、それらの飛行を安全に行えるようにするための技術開発を進めるとともに、それと並行して、そのような技術等によって安全が十分に確保されることを要件として目視外及び第三者上空での飛行を可能とするための環境整備を進める必要がある。また、小型無人機の飛行の安全性は、機体自体の安全性に加えて、それを飛行させる者や体制等の運用面からの安全対策の組合せによって実現されるものであるため、それらの要件は総合的に検討

し、飛行のリスクを総合的に評価して、そのリスクを社会的に許容される水準に抑えるための技術開発や運用方法の確立等に向けた取組を進める必要がある。また、有人航空機との衝突リスクも、その飛行リスクに含まれ、飛行のレベルによらず同様に安全性を確保することが必要となる。

なお、有人地帯（第三者上空）の飛行に当たっては、安全性のみならず、騒音やプライバシー等の生活環境への配慮のための技術開発や環境整備も必要になってくるものと考えられる。

3. 技術開発

(1) レベル3、4に向けた技術開発

レベル3、4の飛行による利活用の本格化に向けては、目視を代替する機能の実現（Ⅰ）及び第三者に対する安全性の確保（Ⅱ）といった小型無人機の機能や性能を実現するための技術開発に取り組む必要がある。

補助者を配置しない目視外飛行を行うためにはⅠに加えて、第三者上空を飛行しない場合でも適切な水準でのⅡの達成に向けた技術開発が求められる。また、第三者上空を飛行する場合には、より高い水準でのⅠ及びⅡの達成に向けた技術開発が求められる。ただし、それぞれの機能及び性能について、どのような水準のものが求められるかは、実際に小型無人機を飛行させる空域や方法によることに留意する必要がある。

2020年を目標にこれらの技術開発を進めるとともに、その成果をレベル4の要件や基準の明確化にもつなげていく。

I 目視を代替する機能の実現

操縦者又は補助者による目視を代替し同等の安全性を確保するための機能として、次のi、iiの機能を実現する必要がある。また、それらの実現には電波の利用技術も必要となる。

i 機体状態の把握と対応

目視に代わり自機の状態（位置、進路、姿勢、高度、速度、異常の有無等）を把握し安全に飛行するよう制御する。

ii 周辺環境の把握と対応

目視に代わり空中及び地上の物件等（航空機、小型無人機、地形、樹木、構造物及び人等）の存在を把握し衝突を防止するとともに、周囲の気象（風、雨及び雲等）等の状況の変化を把握し運用制限からの逸脱を防止する。

<ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト>

これら i、ii の機能は、例えば、機体状態の情報伝送と周辺環境の画像伝送等による遠隔監視や、機体及び地上装置が備える機能と運航管理の組合せ等によって実現するといった方法が考えられる。

経済産業省及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）では、2017 年度から 2019 年度までの 3 年間で、次のような運航管理システム（UTMS: UAS Traffic Management System）と衝突回避技術の開発に取り組んでいる。

A. 運航管理システム（UTMS）

運航管理の対象とする空域及びその空域内を飛行する無人航空機の情報を集約し、地図情報や気象情報等も参照しながら、対象の無人航空機の運航を管理及び支援することで、複数の機体による空域や電波の共用を安全かつ効率的に行うためのシステムを、運航管理（UTM）の全体設計、ルール、インターフェース及びデータフォーマット等の検討も行いながら開発する。

また、福島ロボットテストフィールド等を活用し、段階的な実証を行いながら、当該システムを中核とした無人航空機の運航管理手法を確立する。

さらに、2017 年度に 4 機体制となった準天頂衛星システム「みちびき」の高精度測位情報を活用することで、一定の空域内における多数の飛行経路を設定した高密度運航を実現する技術の開発も進めている。

B. 衝突回避技術

操縦者等の目視に代わり、無人航空機が地上及び空中の物件等（有人航空機、無人航空機、地形、樹木、建造物等）を検知し、適切な行動により衝突等を回避する技術を開発する。

2020 年を目標にこれらの技術開発を進めるとともに、機体の自律化・知能化や電波利用技術の高度化等も踏まえた運航管理の高度化・知能化等に取り組む必要がある。また、航空機と無人航空機相互間の安全確保と調和のためドローン情報基盤システム（後述）の飛行情報共有機能と運航管理システムの連携を検討する。

<遠隔からの機体識別と飛行位置把握>

遠隔からの機体識別と飛行位置把握に用いる無線システムの実証・検証を通じ、比較・評価し、それらの結果を踏まえて国際的協調、国際標準化及び国内規格化等利用環境の整備を推進する。また、このシステムで使用されるデータは、運航管理システムや衝突回避技術等にも活用できるように配慮する。

II 第三者に対する安全性の確保

第三者に対する安全性を確保するため、小型無人機の飛行に異常を発生させないよう信頼性を確保するとともに、仮に異常が発生したとしても第三者への危害を抑制する機能及び性能を有することで、そのような技術面に加えて運用面の安全対策も含め飛行のリスクを評価して第三者に対する安全性を有人航空機並みとするなど社会的に許容される水準以下に抑える必要がある。高い安全性と信頼性を有する機体（いわば「落ちない・落ちても安全」な機体）が求められる。

i 信頼性の確保

小型無人機が正常に飛行し、異常が発生しないようにする。

① 機体や装備品の信頼性の確保

機体や装備品の故障を抑制する。

② 通信の信頼性の確保

機体と地上装置の間の通信の信頼性を向上させるため、干渉、妨害及び乗っ取り等への対策を講じる。

③ 耐環境性の確保

風雨やその他の環境（雪、氷、雷、砂じん、温度、湿度、気圧及び電波雑音等）に耐え、認められた運用環境下での正常な飛行（空域及び航空路の保持等）を確保する。

ii 危害の抑制

異常が発生したときの第三者への危害を抑制する。

① 異常発生時の飛行継続

異常発生時にも安全に飛行を継続する。

② 異常発生時の飛行中断

異常発生時に安全に飛行を中断（安全な場所への緊急着陸等）し、予定した領域からの逸脱を防止する。

③ 落下及び衝突時の危害抑制

安全な飛行の継続又は中断ができない場合に危害を抑制する。小型無人機の安全設計や緩衝機能によって、十分な衝突安全性を有することが求められる。

(2) その他の技術開発

小型無人機の利活用の拡大に向けては、安全性を確保するための技術開発のみならず、例えば、軽量かつ高容量（高エネルギー密度）なバッテリーや軽量かつ高性能なモーター等の技術開発による航続距離、航続時間及び最大積載重量（ペイロード）の向上や機体の大型化、非 GPS 環境下での飛行制御、機体及びデータ利用の知能化、自動離着

陸及び充電技術などの技術開発にも取り組んでいくことが重要である。

4. 環境整備

レベル3、4の飛行による利活用の本格化に向けて、小型無人機の更なる安全確保に向けた制度設計の方向性（2016年7月29日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 決定）を踏まえつつ、以下のような制度整備や実証環境の整備等に取り組む。

（1）空の産業革命に向けた総合的な検討

レベル3、4の飛行による利活用が本格化する社会に向けて、ドローンが飛行する2020年代の空の在り方や必要な技術や制度等の検討を進める。機体の登録と識別、事故の調査と分析、被害者救済（自動飛行する小型無人機の事故責任と保険）、小型無人機の飛行と土地の所有権の関係、プライバシーの保護、サイバーセキュリティ、いわゆるドローンハイウェイ構想等の論点整理を行う。その後、国際的な動向を把握し連携しつつ、各論について検討する。

（2）目視外、第三者上空飛行等の要件に関する検討

2017年9月より、国土交通省と経済産業省による合同の検討会において、目視外及び第三者上空での飛行に求められる機体の性能、飛行させる者及び安全を確保するための体制に求められる要件等について関係省庁と連携し検討を行い、2018年3月、「無人航空機の目視外飛行に関する要件」についてとりまとめた。

とりまとめた要件に基づき「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」を改訂する。その後、目視外飛行の運用実績やその他の飛行も含めた事故情報の収集・分析、技術開発や運用方法の進展等を踏まえ、更なる利活用に向けた環境整備を検討・実施する。第三者上空飛行についても、まずは論点整理から着手し、技術開発に応じて制度設計の方向性の検討、要件の検討へと段階的に進めていくとともに、必要に応じて順次ルールを明確化する。

（3）機体の性能評価基準の策定

（2）の検討会において、経済産業省及びNEDOでは、物流や災害対応、インフラ点検に用いられる機体の性能評価基準を検討及び策定し、団体等による機体の認証や国際標準化につなげる。2018年度からは、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするため、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法に加えて無人航空機の騒音対策に資する性能評価基準を研究開発する。

(4) 無人航空機 JIS の策定

目視外及び第三者上空での飛行に求められる機体の機能及び性能に関する要件を実現するための設計基準などを、既存の国内業界団体の自主基準を拡張して整備し、JIS の策定に取り組むとともに ISO 等における国際標準化を推進する。

(5) 操縦・運航管理に係る人材等の育成

国土交通省では、無人機操縦者に対し講習の受講を促し操縦技量のレベルアップを図るため、操縦技能に係る講習を行う団体等を航空局HPに掲載し受講を奨励している。また、運航管理について、民間団体等の自主的取組等を通じて、安全な運航を確保できる人材や、機体、制御及びシステムの開発を担う技術者等の人材の育成にも取り組んでいく。

(6) 航空機、無人航空機相互間の安全確保と調和

航空機、無人航空機相互間の安全確保と調和に向けた検討会（2018年3月20日）においてとりまとめられた飛行情報共有機能のあり方を踏まえ、2018年度は詳細設計、機能構築、試験運用を行い、2019年度飛行情報共有機能の運用開始を目指す。

(7) ドローン情報基盤システム

国土交通省では、無人航空機の飛行に関する許可・承認の円滑化に向け、ドローン情報基盤システム（DIPS: Drone/UAS Information Platform System）の開発に取り組み、2018年度から電子申請サービスを開始している。今後、民間企業が提供するアプリケーションとも接続できるようにするためのインターフェースを整備するなど更なる利便性の向上や高度化にも取り組んでいく。

(8) 福島ロボットテストフィールドの整備・活用

福島イノベーション・コースト構想の下、福島県南相馬市及び浪江町において、無人航空機や災害対応ロボット等の実証実験拠点である「福島ロボットテストフィールド」を2018年7月に一部開所させる。

当該拠点は、「無人航空機の目視外飛行に関する要件（2018年3月29日 国土交通省・経済産業省 同時発表）」が定める要件について、地上設備の充実（広域をカバーするアンテナ、気象レーダー、対物レーダー、UTMなど）と地域住民の高い理解によって満たし、レベル3の目視外飛行を日常的に行うことのできる拠点として運用する。また、福島県は、2018年3月に民間団体との間で目視外飛行に関する協定を締結しており、2018年度中には、目視外飛行を実現するための機体、操縦、運用、運航管理などの認証手法、認定・検定手法のあり方を、民間団体と協力して具体化・公開する。加えて、当該拠点の敷地外には10km以上の長距離飛行実証フィールドを設定する予定であり、

当該フィールドの周辺住民等に十分事前説明を行うことで、レベル4に向けた陸上での飛行実証試験も行い、その成果が第三者上空飛行等に求める要件の検討にも資するようになる。

また、2019年度には無人航空機の物流、インフラ点検、災害対応分野での性能評価基準に基づく試験に用いることのできる風洞、インフラ構造物などを開所し、さらに拠点の機能を拡充していく。

(9) 国家戦略特区制度による「規制のサンドボックス」制度の創設

国家戦略特区において、地域限定型「規制のサンドボックス」制度を創設し、高度で革新的な近未来技術に関連する過去に類例のない実証実験を迅速かつ円滑に実現できるようにする。

また、実証実験を実施する民間事業者に対し、各種相談や情報提供、手続の代行等を行う「ドローン実証ワンストップセンター」の拡充などを図る。

(10) 電波利用の環境整備

2016年度に改正した制度の運用を推進するとともに、目視外飛行の実現に向けた電波利用の在り方について、小型無人機の運航ルール・技術開発の進展や国際動向も踏まえて、調査・検討を進める。また、小型無人機による携帯電話等の上空利用については、その性能評価や国際標準化に対応し、国内制度等の整備と新制度の運用につなげる。

5. 国際動向

我が国における小型無人機の技術開発や環境整備に当たり、その動向を把握し連携を図っていくべき国際的な取組として、例えば、以下のようなものが挙げられる。

(1) ICAO

国際的に IFR（計器飛行方式：航空機の飛行経路や飛行の方法について常時航空交通管制の指示を受けつつ飛行する方式）で運航する遠隔操縦航空機に関する国際規則等について議論するため、RPASP (Remotely Piloted Aircraft System Panel)が発足し、2020年代には可能なところから遠隔操縦航空機と有人の航空機が同一空域で運航を開始できるよう、2022年以降、順次国際民間航空条約の附属書改訂の適用が見込まれている。

(2) JARUS

有志国の航空当局により無人機システムに関する規制の国際標準化について議論するために発足し、分野ごとに7つのWG（運航、組織承認、耐空性、検知・衝突回避、通信、無人機システム安全評価、カテゴリー）を設置し、規則の検討を進めている。

(3) ISO

国際標準化の検討は ISO/TC20/SC16（無人航空機システム）において米欧中リードのもと行われている状況。我が国は、国際標準に日本の意見を反映するため、また、国内の検討、研究成果を国際標準として提案するために、関係省庁、業界団体及び研究機関等から構成される国内審議体制を構築し、対応している。

(4) ITU

ITUにおける無人航空機の無線システムに係る標準化動向を注視し、国際的な周波数分配と協調を図ることで、我が国の電波利用技術の国際標準化に寄与する。

(5) 3GPP

携帯電話ネットワークを用いてドローン等で上空利用した際に干渉を緩和するための出力調整に係る技術の標準化が検討されている。

(6) NASA UTM

低高度非管制空域を中心に、無人航空機の安全な運用の仕組みを研究するアメリカ航空宇宙局（NASA）のプロジェクト、およびプロジェクトが考える無人航空機運航管理システム（UTM）。無人航空機飛行試験場、大学、製造事業主等の複数のパートナーと協力し、UTMの概念設計、システムのアーキテクチャー等の議論の他、複数機体を利用した実験を行っている。具体的には、連邦航空局（FAA）の管轄の下、複数の民間のサービスサプライヤーが、無人航空機オペレーターに対して、オペレーターが運用希望する空域における安全な飛行に必要な動的および静的な情報（他機の位置情報、気象情報、空域制限情報等）の提供や、運用に関する制限や要求の指示などを、クラウドベースのシステム下で行う構造が検討されている。

(7) Global UTM Association

世界の無人航空機事業に関わる企業（製造、サービス、システム）や研究機関（主に航空管制に関する各国機関）等が集まって2016年6月に設立された、無人航空機の運航管理システム（UTM）に関する技術やシステムの標準化を目指す組織。また3つのワーキンググループが開催されており、UTMの構造、データエクスチェンジ、登録とアイデンティフィケーションそれぞれのテーマに対し、国や業種を超えたメンバー間で議論が行われている。

6. 個別分野

個別分野のロードマップについて、その概要は以下のとおり。

(1) 物流

離島や山間部への荷物配送を、2018年頃に本格化させる仕組みを導入するため、2017年度に物流用ドローンポートの開発等、目視外飛行における安全性確保のための技術開発や性能評価基準の策定を行うとともに、2017年度から同ポートを使用した運用指針の検討などを行っている。

また、都市部等における荷物配送を、2020年代頃に本格運用するため、第三者上空飛行における安全性の確保を行うとともに、離島や山間部における実証や技術開発等を踏まえた運用指針の拡充・見直しを行う。

さらに、民間における取組として、小型無人機を活用して荷物を安全に届けることのできる人材を育成するための環境整備、ドローンを飛行させる者（運航管理者等）の資格認定を行うとともに、物流に用いる小型無人機や装置の安全認証、飛行可能距離・時間・最大積載量・耐候性等の機体性能の向上（例えば、機体の大型化による輸送効率向上等）や更なる安全性の向上（例えば、積載物の落下防止、受取時の安全確保等）のための技術開発等を行う。

(2) 災害対応

現在は地震や豪雨、火災等の災害現場の情報収集に小型無人機が活用され、将来起こり得る自然災害への対応にも小型無人機を効率的に活用できるよう備えるための取組が地方自治体等において進められている。今後は、各取組の連携を図るとともに、国としても小型無人機を活用して、人の立入りが困難な危険箇所における防災・災害対応への活用を継続的に実施する。具体的には、災害現場において小型無人機による被災状況の把握を行い、撮影した空中写真や動画の情報を関係機関に直ちに提供するとともに、地理院地図で迅速に情報の公表を行う。併せて、無人地帯での目視外飛行による状況把握の実現に向け訓練を行う。

また、災害現場における捜索・救助の支援や、複数の機体が連携した効率的な活動を可能とするため、災害現場で活動できる機体、UTMや通信インフラの高度化（衛星、高高度無人機、LTE等）に関する技術開発、性能評価基準の策定等の環境整備に取り組む。

さらに、民間における取組として、災害時の特殊環境において安全に小型無人機を運用できる人材を育成するための環境整備、操縦者や運航管理者の資格認定、災害対応ネットワークの構築、運用ガイドラインの整備を行うとともに、災害対応に用いる小型無人機や装置の安全認証を行う。

(3) インフラ維持管理

現在は橋梁や送電線等のインフラ点検に小型無人機を活用するべく官民による取組が進められている。今後、目視外飛行が可能となれば、長大なインフラの点検も効率的に行えるようになり、有人地帯での飛行が可能となれば、都市部のインフラ点検にも小型無人機を活用できるようになる。インフラ点検に利用する小型無人機としては、点検箇所の状態を高精細な画像として取得し異常等を検出する技術や、風雨等の環境下でも安定飛行する技術等を備えている必要があり、そのような技術開発や性能評価基準の策定等の環境整備に取り組む。また、民間における取組として、インフラ点検のため安全に小型無人機を運用できる人材を育成するための環境整備、操縦者や運航管理者の資格認定を行う。

(4) 測量

国土交通省では、建設現場における生産性を向上させるため「i-Construction」を推進。その取組みの1つとして、UAV等を用いた公共測量や起工測量、出来形の管理を行うこととしており、2016年3月に「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」等の基準類を整備し、順次導入を図るとともに、UAVで取得された3次元地形データの利活用を進めているところ。引き続き、公共測量、工事測量での活用の順次拡大を図るため、必要な基準類の改訂やマニュアルの策定を実施予定。具体的には、UAV搭載レーザ測量のマニュアルについて、実証を踏まえて内容を精査する予定。

また、利活用の形態としては、現在主流となっている空中写真を用いた三次元点群データ作成による測量に加えて、レーザスキャナー等による測量によるリアルタイム測量、点群データと写真のハイブリッド化、ハイパースペクトルカメラ等による点群以外の新たなGIS属性情報取得など、高付加価値測量への展開が期待される。さらに、測量に利用する小型無人機としては、地面の情報を取得するセンサが高精度であることに加えて、機体やマーカの位置測定が高精度である必要があり、経済産業省及びNEDOでは、準天頂衛星システム対応GNSS受信機の小型・軽量化及び省電力化の技術開発を支援し推進する。また、民間における取組として、測量のため安全に小型無人機を運用できる人材を育成するための環境整備、操縦者や運航管理者の資格認定を行う。

(5) 農林水産業

無人航空機による農薬等の空中散布については、人畜、農林水産物、周辺環境等への安全性を確保しつつ、適正に行うためのガイドラインを定め、小型無人機(ドローン)を用いた農薬散布が2016年7月より行われている。自動・自律ドローンの導入に向け、本年3月30日ガイドラインを改正した。現在、2018年度以降の無人航空機の肥料散布、播種への利用や運航アシストシステム等の導入に向け、安全性の検証等の技術開発を進めており、技術進展を踏まえたガイドラインの改正を順次進める。

また、センシング機能を搭載した小型無人機を活用し、圃場と作物の現状の把握によ

る栽培管理の最適化等に関する研究開発や導入実証等に取り組んでおり、引き続き社会実装に向けた取組を推進する。

7. フォローアップ・改訂

利活用・技術開発の動向や諸外国の制度設計に関する検討状況等は、今後も常に変化していくことが予想される。そのため、技術の進展等により安全性が担保されることを前提として、国際標準化の動きにも主導的に対応できるよう、引き続き、本ロードマップの達成状況を含めた情報収集とフォローアップに努め、適宜、見直しを行っていく。また、特に個々の地域レベルでの実証や実験は、全国レベルの運用にも遺漏なく対応できるようにする。

以上