

2.2.5 モビリティロボット（空中ロボット、空飛ぶクルマ）

（1）研究開発領域の定義

遠隔飛行、自動飛行、自律飛行により空中を飛行し、ミッションを遂行できる空中ロボットに関して、飛行体としての機体本体、飛行制御システム、遠隔操作やデータ送信のための通信システム、複数の飛行体の安全で効率的な飛行を可能とする運航管理システムを包括した領域を研究開発領域として定義する。無人航空機システム（UAS：Unmanned Aircraft System）と呼ばれることもあるが、機体が大型し、人を運ぶことができるほどのペイロード能力を持つ機体「空飛ぶクルマ」と呼ばれることもある。「空飛ぶクルマ」に関しては操縦士が搭乗する場合は、航空機の扱いとなるため、ここでは、UASと同様に、操縦士は遠隔で操作、または自動・自律操縦するものを対象とする。

（2）キーワード

無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）、無人航空機システム（UAS：Unmanned Aircraft System）、垂直離着陸機（VTOL：Vertical Take-Off and Landing aircraft）、アーバンエアモビリティ（UAM：Urban Air Mobility）、ドローン、空飛ぶクルマ、空中ロボット、遠隔操作、自動飛行、自律飛行、管制航法誘導、無線システム、衛星航法、慣性航法

（3）研究開発領域の概要

歴史

無人航空機の歴史は古く、イギリスのデ・ハビランド社製の練習機 DH.82 タイガー・モス（de Havilland DH.82 Tiger Moth）に無線操縦装置を取り付けた無人航空機の Queen Bee（女王蜂）が標的機として 1935 年ごろに開発された。米国でも模型飛行機を改造した標的機が第二次世界大戦中に使用され、オス蜂を意味するドローンと命名され標的機はターゲットドローンと呼ばれるようになった¹⁾。

軍事利用のドローンは標的機以外に偵察機としての開発も行われ、1990 年代には、衛星航法、衛星通信を利用した目視外への遠隔自動飛行も実用化された。1995 年のボスニア・ヘルツェゴビナ紛争において中高度滞空型（MALE：Middle Altitude Long Endurance）の無人偵察機が実戦で使用された²⁾。無人偵察機はその後、高高度滞空型（HALE：High Altitude Long Endurance）や電動小型機なども実用化されている。

民間での産業用無人航空機としては、遠隔操作の無人ヘリコプターによる農薬散布の研究が日本において 1980 年代から開始され、1990 年代には実用化された¹⁾。現在普及しているドローンは、複数の電動プロペラの回転数制御で飛行するマルチコプター（マルチローターとも呼ばれる）タイプであり、1980 年代に国内メーカーによりホビー機として市販されたものが世界初の市販マルチコプターといわれている。マルチコプターは 1990 年代から研究用に使われていたが、近年のブームは空撮利用に適したホビー用のマルチコプターが 2010 年以降市販されたことによる。その背景として、リチウムイオンバッテリー、ジャイロや加速度計などの半導体センサー技術、Wi-Fi や Bluetooth などのデジタル通信技術などが携帯型 PC、タブレット、スマートフォンなどの普及により急速に進歩し、安価に提供されるようになったことが挙げられる。

マルチコプターは、空撮のみならず、測量、監視、農薬散布などにすでに実用化されている。今後は、通信、物流などへ用途が広がると考えられ、その産業規模は指数関数的に拡大している。マルチコプターの大型化も進み、2010 年代後半には、人を乗せることができるほどのペイロード能力を備えたものも出現し、人が操

縦する機体の飛行試験にも成功している。こうした大型マルチコプターは「空飛ぶクルマ」とも呼ばれている³⁾。

機体の分類

ドローンなどの空中ロボットは無人航空機であり、広い意味では航空機の一種である。航空機は日本では航空法により、「人が乗って航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船その他政令で定める航空の用に供することができる機器」(航空法2条1項)とされ、いわゆる無人機は航空機に含まれなかったが、平成15年12月から施行された改正航空法により、無人航空機は、「航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船その他政令で定める機器であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦(プログラムにより自動的に操縦を行うことをいう。)により飛行させることができるもの」(航空法2条22項)と新たに規定された⁴⁾。

航空機は日本の法規では、空気よりも軽い軽飛行機、すなわち飛行船と、空気よりも重い重飛行機に分類される。重飛行機は回転翼航空機(ヘリコプターなど)と、固定翼航空機に分類され、固定翼航空機は滑空機と飛行機に分類される。無人航空機も同様に、遠隔操作、または自動操縦が可能な、飛行船、回転翼機、滑空機、飛行機に分類することができる。現状普及している小型無人航空機は4つ以上のプロペラを利用したマルチコプターであるが、単独のプロペラをもつヘリコプタータイプ、固定翼の飛行機タイプの無人機も存在し、最近では、固定翼を備えたマルチコプタータイプ(ハイブリッド機とも呼ばれる)、ローターの回転軸を変更できる機体も開発されている。

「空飛ぶクルマ」は人が操縦するものは航空機に分類されるが、操縦者が同乗しないものは日本の航空法では、無操縦者航空機(航空法第八十七条)として解釈され、大型の無人機もその解釈をされる(ただし、定義は明確ではない)。

(4) 注目動向

機体認証

民間航空機は国連の専門機関ICAO(国際民間航空機関)による国際法(シカゴ条約)で飛行安全を維持するためのルールが付属書(ANNEX)で定められ、各国航空当局(アメリカでは連邦航空局FAA、欧州では欧州航空安全機構EASA、日本では国土交通省航空局)はシカゴ条約の批准の下で国内法を制定している⁵⁾。無人航空機に関しては、小型のものは、国際運航は無いという解釈により各国で独自のルールが導入されているが、RPASと呼ばれる大型の無人機に関してはICAOで国際ルールが検討されている⁶⁾。RPASとはRemotely Piloted Aircraft Systems(遠隔操縦航空機システム)の略で、民間航空機が計器飛行で運航する空域を遠隔操縦の無人機が運行するシステムを想定している。現在、有人機のANNEXの該当する部分を無人機用に改定する作業が進んでおり、2020年半ばにはICAOで承認される計画である。有人機に匹敵する安全性を有することと、有人機と同様に管制からの飛行指示に従うことと、有人機なみの衝突防止装置を装着することが義務づけられると想定される。その意味では、空中ロボットというよりも現状の航空機を遠隔操作で飛行させるイメージで、利用用途は主に貨物輸送である。機体認証に関しては、有人機と同等な耐空性の要求と、量産機に関しては型式証明が導入される見込みである。

小型の無人機に関しては、RPASのような統一的な機体認証ルールはなく、機体個別の安全認証であるが、欧州ではEASAが各国のルールを統合する動きがある⁷⁾。わが国でも、現状は機体個別の認証をベースにしているが、2022年度から機体認証制を立ち上げる動きにある⁸⁾。

「空飛ぶクルマ」に関しては、大型ではあるが国際運航は想定しておらず、RPASと小型無人機の間位

置するといえる。操縦士が同乗するものに関しては、有人機の機体認証となり、試作機や自作機の場合は、FAAではExperimental Aircraft、ウルトラライト機（Part103）、小型スポーツ機（FAA Order 8130.2J）などの認証を受けるが、日本では航空法11条ただし書による耐空性の個別審査となる。量産機に関しては、FAAでは小型機（Part23）、小型ヘリ（Part27）、業務ヘリ（Part29）などの認証を、わが国でもN類、T類などの認証をうけることになる。無人機としての「空飛ぶクルマ」に関しては、その機体認証制度は現時点では国際的にも明確ではない⁹⁾。

飛行許可

無人機に関する飛行許可は、機体特性、飛行領域のエアリスク（無人機同士、有人機無人機の空中衝突など）および地上リスク（墜落時の被害など）、操縦者の技能などを考慮してトータルなリスクを評価し、許容レベルに抑制できる対策が講じられているかどうかを総合的に判断するSORA（Specific Operations Risk Assessment）と命名された手法が、各国の航空当局による無人機のルール形成に関するコンソシアムJURAS（Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems）を中心に開発されている¹⁰⁾。

上記のような動向があるものの、現状では各国とも無人機に関しては、当局が申請を審査して飛行許可を与える状況にある。米国では、CFR part 107（Operation and Certification of Small Unmanned Aircraft Systems）において、25kg未満の小型無人機の飛行ルールが規定され、目視外飛行などでは個別審査による免除（Waiver）が与えられ、25kg以上の無人機ではFAA Modernization and Reform Act of 2012におけるSection 333による飛行許可を個別に取得する。多くの無人航空機が登録され、活用されている状況から、運航者や無人航空機が一定の条件を満たす場合、Part107のウェーバー申請をしなくとも飛行が出来る新しいルールが提案されている（NPRM（Notice of Proposed Rulemaking））¹¹⁾。

わが国では、2015年の航空法改正により、小型無人航空機の飛行可能領域と、飛行方法が制定され、夜間飛行や目視外飛行を行うには、航空局に飛行申請して許可を得る必要がある¹²⁾。申請件数が急増する状況において、2022年度を目途に、機体の承認制度、操縦免許制度、標準飛行マニュアルを整備し、個別審査以外に、資格審査により飛行許可を発行できるような制度を設定することが、「空の産業革命にむけた官民協議会」において合意された¹³⁾。この官民協議会は、関係省庁と民間により設置され、小型無人航空機の環境整備に向けたロードマップが2016年以降、毎年公表されている¹⁴⁾。

空飛ぶクルマに関しては、関係省庁と民間により「空の移動革命に向けた官民協議会」が2018年に設置され、2023年度を目途に、空飛ぶクルマの事業化を可能にすることを目標に、制度設計、技術開発、実用化のロードマップが策定されている¹⁵⁾。このなかで、制度や体制の整備に関しては、

- ・ 運送・使用事業制度の整備
- ・ 操縦に関する技能証明制度の整備
- ・ 機体に関する型式証明・耐空証明の整備
- ・ 離発着場、飛行空域、使用電波の整備
- ・ 飛行試験拠点の整備

がリストアップされ、機体や技術の開発に関しては

- ・ 安全性・信頼性を確保し、証明する技術開発
- ・ 自動飛行や運航管理技術
- ・ ハイブリッドを含む電動推力技術

が列挙され、整備目標、開発目標が共有されている。

電波利用

無人航空機において、遠隔操作、飛行状況のモニター、画像情報などの伝送において電波利用が必須である。ラジコン用の電波は、従来から存在し、アナログの電波帯が存在するほか、WiFiも利用するISMバンド（産業科学医療用バンド）も利用され、市販のドローンは、無線局免許が不要な2.4GHz帯のISMバンドの使用が主流となっている¹⁶⁾。

この中で、無人移動体画像伝送システムには2016年に総務省から高出力の画像伝送用周波数帯の使用許可が与えられたが、免許の取得と使用者間の調整が必要である¹⁷⁾。

より簡単な携帯電話用無線（LTE）のドローン利用に関しては、試験的利用が2016年より開始され、2020年度中には一般的利用が開始の見込みである¹⁷⁾。LTEは、携帯電話の利用と同様に携帯電話基地局を自動的に切り替えることで、長距離で自営の無線局からの電波が届かない場合の交信も可能である。ただし、携帯電話基地局の存在しない山間部や洋上での利用は不可能であるため、その場合には衛星通信が利用されている。

RPASのような大型無人機では通常の航空機と同様に民間用VHF無線、洋上管制用HF無線、衛星通信が使われることが想定されている。「空飛ぶクルマ」に関しては、航空用無線が使用されると考えられるが、近距離の場合は、小型無人機に近い無線の使用も想定される。

運航管理

有人機は空中衝突を避けるために、旅客機などは常に管制官の指示に従って飛行する計器飛行方式が採用され、飛行空域も規定されている。小型機やヘリコプターなどは、空港周辺以外はパイロットの目視により安全確認による有視界飛行方式を採用している。小型無人航空機は基本的には、操縦者の目視で安全を確保するが、飛行密度が高い状態や、目視外の飛行のために、無人機用運航管理システム（UTM）が開発されている。これは、ドローンの位置情報を地上局で監視するものであるが、複数のUTMが関係する場合には、

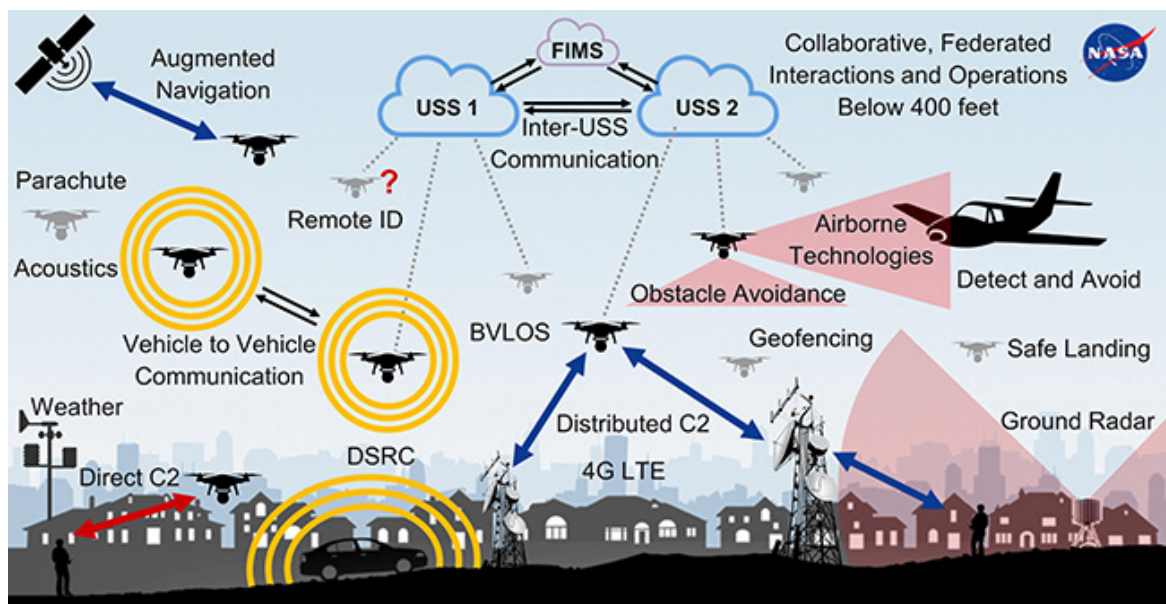


図 2-2-3 NASAのUTM構想

UTM間での調整機能も必要であり、各国で研究開発がなされている。わが国ではNEDOのプロジェクトで統合的なUTMの研究開発がなされている¹⁸⁾。米国では最終的に無人機の飛行を米国国家空域システムに統合することを目的にUTMの研究開発、実証実験を行い(図2-2-3)、空港周辺などではUTMに接続した飛行が義務付けられている。欧州でも空域統合に向けたロードマップが発表されている^{11), 19)}。

こうした本格的な管制システムとは別に、飛行中のドローンの所有者が確定できるようなシステムが欧米で義務付けられる予定である。このシステムはリモートIDと総称され、機体から常時電波を発信し、受信者が機体IDや所有者などの情報を得ることができるものである。わが国で、ドローンの登録開始が予定されており、リモートIDも導入される計画である。

(5) 科学技術的課題

特許庁の調査報告書²⁰⁾によれば、小型無人航空機の技術は機体構造技術と飛行運航技術に分類され、機体構造は

- ・ 構造部
- ・ 揚力・推力機構
- ・ 動力機構
- ・ エネルギー源 (バッテリー、優先給電、無線給電など)
- ・ 取付構造
- ・ ペイロード (カメラ、ミッション機器など)
- ・ 安全機構 (エアバッグ、パラシュート、ローターガード、衝撃吸収機構)

に分類される。

飛行運航技術に関しては

- ・ 機体技術として、センサー、アクチュエーター、フライトコントローラー、故障診断・衝突防止などの安全技術
- ・ 無線システム
- ・ 無人機管制
- ・ 飛行支援装置 (ドローンポート)

に分類される (図2-2-4)。

課題としては、

- ・ 飛行性能の向上
- ・ 制御の高度化
- ・ 耐環境性
- ・ 異常対応
- ・ 衝突安全性
- ・ 衝突回避
- ・ 不正利用防止
- ・ 低コスト化

などが項目として列挙できる (表2-2-1)。

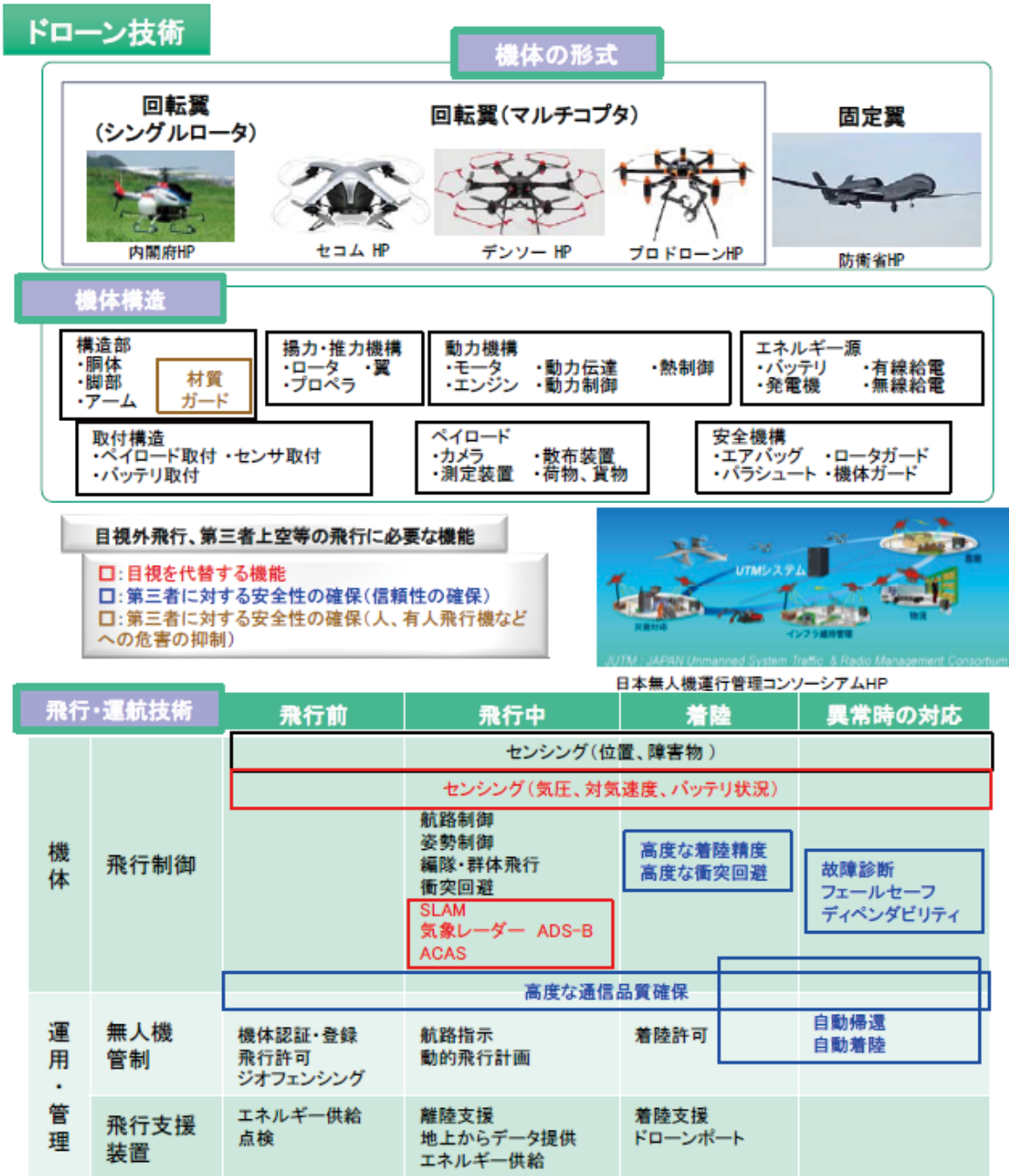


表 2-2-1 技術区分に対する技術課題

		飛行性能の向上	制御の高度化	耐環境性	異常対応	衝突安全性	衝突回避	不正利用防止	低コスト化	その他
機体構造	構造部	・軽量化（CFRP, マグネシウム合金）	・モーフィング	・耐雷性能	・損傷検知 ・自動損傷修復	・衝撃吸収機構			・製造技術 ・リサイクル技術	リサイクル
	揚力・推力機構	・効率化（プロペラのCFD） ・低騒音化 ・可変ピッチプロペラによる応答性向上	・Active騒音低減技術	・耐雷性能		・プロペラガード				
	動力機構	・高性能モーター・ハイブリッド用発電機	・応答性の向上	・低温、高温性能	・異常検知					
	エネルギー部	・高性能バッテリー ・ハイブリッド化による長時間飛行	・インテリジェント化（充電の管理）	・急速充電	・低温、高温性能	・異常検知	・衝突時の発火防止			
	ペイロード	・高性能カメラ（可視、赤外、望遠・ステレオ）		・環境センサー						
	安全機構					・墜落時の衝撃吸収機構		・機体電子登録 ・リモートID		
飛行運航技術	機体技術	・非GPS環境での自動飛行（画像センサー、ライダーなどでの環境同定と位置把握）	・自立化機能 ・自動編隊飛行		・故障検知 ・耐故障制御技術	・衝突検知技術	・飛行経路自動変更	・不正利用検知技術		
	無人機管制		・自動管制	・環境情報通知	・故障検知	・衝突回避指令	・緊急着陸管制	・不正利用防止		・有人管制との統合
	飛行試験	・強度試験 ・疲労試験	・システム検証試験装置	・環境試験装置		・衝撃試験	・シミュレーション環境			
	離着陸場	・機体固定	・自動誘導 ・GPS誤差補正	・環境計測	・飛行前の自動モニタリング	・複数機の誘導		・人の侵入検知		
	通信技術	・遅延の低減（5Gの利用）	・複数機同時接続（5G利用）	・中継技術（直接通信の困難な場合）	・複数通信（衛星通信）		・衝突防止装置	・通信性セキュリティ（暗号化など）		
	ヒューマンインターフェース	・地上局レイアウト	・複数機の同時操作		・ヒューマンエラー検知 ・疲労検知		・衝突回避アドバイザー機能	・不正使用防止		

大型無人機でもほぼ同じ技術課題を列挙できるが、有人機と同一の空域を飛行するケースが多いことから、

- ・有人機と無人機の統合的な管制技術
- ・衝突防止技術

がより重要となる。また、機体が大型化することから墜落時の被害が深刻となるため

- ・機体の信頼性・安全性を保障する設計技術、評価技術、試験技術
- ・非常時の自律的緊急着陸技術
- ・遠隔操作・飛行モニターにおけるヒューマンエラーの排除技術

などがより重要となる。なお、機体そのものに関しては、大型化にともない

- ・機体の軽量化技術
- ・燃料電池、ハイブリッドなど長時間飛行を可能とする推進技術

も必須となる。

空飛ぶクルマに関しては、大型無人機の方に加え、人を運ぶ場合には

- ・より高度な信頼性・安全性の保証
- ・墜落時の乗員の保護に関する衝撃吸収技術
- ・汎用的な空港インフラ技術

も要求されることになる。

無人航空機は遠隔操作で操縦または自動飛行が行われるため、通常は機上の乗員が行う安全関連の認識・判断・操作に遅れが生じかねない。いわゆる人工知能機能はこうした分野への活用が期待される。NEDOでの「サイバー・フィジカル研究拠点間連携による革新的ドローンAI技術の研究開発」(2018～2023)では

- ・物体認識の枠組みによる人・車両の認識により安全を確保する「自律運航AI技術」
- ・機器故障に起因する異常を検知・判断する「故障診断AI技術」
- ・機器故障時に環境認識により無人地帯を選択して安全着陸する「緊急着陸AI技術」

の研究開発が取り組まれている²¹⁾。

また、NEDOについては「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」(2017～2021)にて、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施している。

こうしたAI技術を無人航空機に組みこむためには、

- ・信頼性の評価技術
- ・学習データの妥当性に関する基準
- ・判断の妥当性を監視するスーパーバイザリー技術

などの研究開発も同時に必要となる²²⁾。

航空機に関しては、地球温暖化ガスの排出規制が国際運航に関して国連の専門機関ICAOにおいて削減目標が設定され、機体軽量化、空気抵抗削減、排出ガスの削減、運航効率の改善、低炭素燃料の利用などすべての局面における対策が進んでいる。無人航空機においても

そうした要求は今後厳しくなり、電気推進、電気・内燃機関ハイブリッド、水素燃料利用などの研究が求められると考えられる²³⁾。

(6) その他の課題

社会受容性

無人航空機は社会的な実装がこれから進められる技術であるため、機体、操縦者、使用に関する法制度の整備が求められるほか、社会的受容性の課題も克服しなければならない。社会的受容性は

- ・騒音に関する受容性（騒音基準値の設定）
- ・上空利用に関する受容性
- ・プライバシー保護に関する課題（カメラ利用時など）
- ・不正利用の監視、防御

などが主な課題となる。

ビジネス利用に関しては、新しい技術であるために収益性における課題を克服する必要があり、その普及促進に向けては、社会的ニーズを踏まえた公的支援策（経済試験、制度の緩和）が必要と考えられる。

知財戦略

特許庁の調査²⁰⁾では以下の5項目を日本の研究開発方針として示している。

- 1) 日本国籍の特許件数は少なく、世界を追いかけるだけでなく、有人地帯目視外飛行のような高度な安全性に特化した研究開発を進めるべき。
- 2) 日本が強みとする高性能で、高信頼なデバイスを活用した産業用ドローン機体の早期開発を目指すべき。
- 3) インフラ点検や防災などの産業応用を早期に実現すべき。
- 4) 産学官の連携推進や小規模事業者への特許支援を強化。
- 5) 国際標準化とリモートIDなどの基盤技術開発を強化。

空飛ぶクルマに関しては、2023年の事業化を各国が目指している。図2-2-5はAviation Weekがまとめた分類図²⁶⁾で、コンセプトレベルの機体が多い中、中国のEHangと、米国のOpener社のBlackFlyが最も進んでいるとしている。いずれもパーソナルな小型eVTOLであり、本格的な機体の開発はこれからである。人が乗る場合には有人機としての認証を取得する必要があるが、そのような機体はまだ出現しておらず、米国FAA、欧州EASAが中心となり認証基準および認証手法を民間と協力して検討している段階である⁹⁾。日本でも、スタートアップ企業を中心に開発が進むなかで、認証方法の国際的な動向と歩調を合わせて、認証技術を開発する必要がある。また、試験環境の開発も重要である。官民協議会のロードマップでは福島ロボットテストフィールドがドローンのための飛行試験環境としてリストアップされているが、さらに、大型の無人機、空飛ぶクルマの飛行試験環境の整備が求められる⁴⁶⁾。

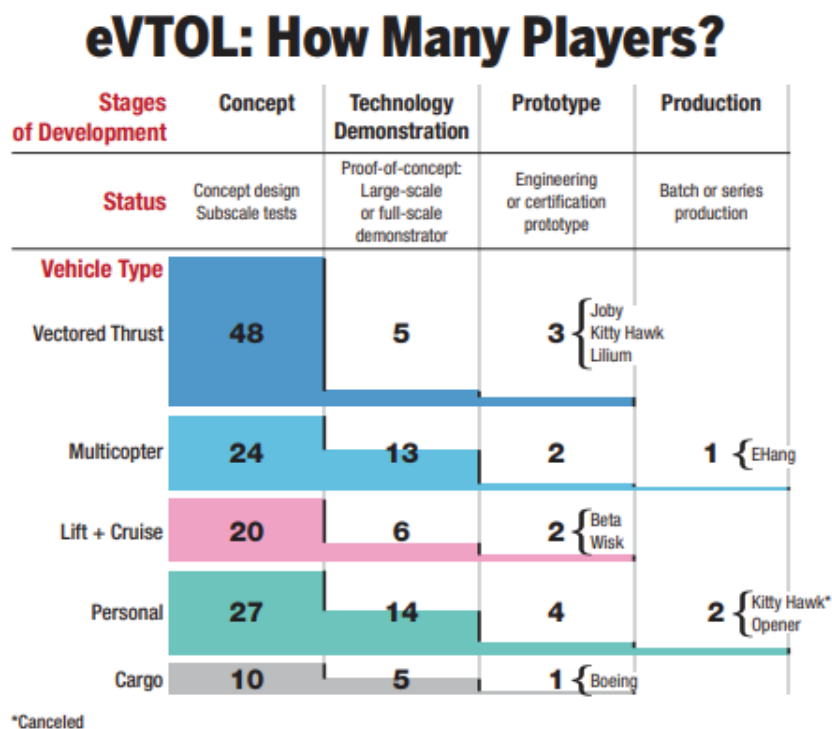


図2-2-5 空飛ぶクルマの動向²⁶⁾

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↘	ImPACTにおける「タフ・ロボティクス・チャレンジ」においてドローンの基盤研究が実施され、空中ロボットの研究も推進された（H26より5年間）。そこでは、ロボットアーム、可変ピッチプロペラ、無線中継、ロバスト制御などで成果が得られた ²⁶⁾ 。NEDOでの「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」プロジェクトでドローンの研究開発が2016年から6年計画で進められ、運航管理（UTM）、衝突回避、性能評価に関する研究が基盤研究として成果を出している ²⁵⁾ 。研究論文は制御分野などで活発であるが、世界的にみると比率は小さく（論文数は世界の2.5%）、飛行管理や安全性向上に関する国家プロジェクトが求められる ²⁰⁾ 。空飛ぶクルマに関しては、メーカーでの研究開発がスタートしているが、欧米に比較すると規模は小さい ²⁶⁾ 。
	応用研究・開発	○	→	SIP第一期におけるインフラ維持管理・更新・マネジメント技術において、ドローンによる橋梁などのインフラ点検による研究が行われた（2014～2017） ²⁷⁾ 。ドローンの離発着場（ドローンポート）の研究開発が、交通運輸技術開発推進制度（2016～2017年度研究課題）により実施され実証実験も行われた ²⁸⁾ 。ドローンの飛行安全向上に向けたAI技術応用に関する研究がNEDOにおいて実施中（2019～2023）である ²⁹⁾ 。NEDO DRESSプロジェクトにおけるリモートIDの研究開発が2019年度より開始された ²⁵⁾ 。このように活発な応用研究が推進され、ISO国際標準化活動も活発であるが ³⁰⁾ 、特許件数でみると中国、欧米とは大きな差が開いている（出願件数で6.2%） ²⁰⁾ 。空飛ぶクルマに関しては、東京都が3年間で最大5億円の助成を2019年度から開始したが ³¹⁾ 、欧米に比べるとその規模は小さい ²⁶⁾ 。
米国	基礎研究	◎	→	米国は2007年から10年間のドローン関連の論文件数で、世界の24.9%を占め、欧米、中国とともに3強である ²⁰⁾ 。内容的にはセンシング、通信、無人管制分野が多く、米国の防衛企業、通信企業、IT企業から多くの特許が出されている ²⁰⁾ 。NASAにおいては、UTM（運航管理）に関する産学プロジェクトが2015年以降活発になされ、有人機との運行管理との統合化を目指している ³²⁾ 。NASAの無人航空機プロジェクトでは固定翼無人機が大きな割合を占めている ²⁰⁾ 、 ³³⁾ 。FAAは、ミシシッピ州立大学を中心とした23の研究機関の共同体（ASSURE）を、UASに関する高度な研究・開発活動を行い、人材及び産業の創出・育成の中核となる研究拠点（COE：Center of Excellence）として2015年に認定した。ASSUREでは、安全性に係る研究・教育・訓練及び無人航空機の空域統合に資する研究開発に焦点を当てた活動が行われている ³⁴⁾ 、 ³⁵⁾ 。DAPAでは複数のドローンを制御するSwarm Programを積極的に推進しているが、目的は軍用である ³⁶⁾ 。
	応用研究・開発	○	↗	ドローン関係の特許においても米国は世界の25.2%を占め、中国に次いで多い。特許の内容は「機体性能向上」、「制御の高度化」、「衝突回避」関係が多く、用途は軍用が多い ²⁰⁾ 。ドローンの応用に関しては、2018年にDOTが発表したUAS統合パイロット・プログラム（IPP、UAS Integration Pilot Program）により米国10カ所で実証プログラムが行われ、様々なユースケースを想定した実証実験が行われている ³⁷⁾ 。また、UTMの普及を推進するために、空港周辺での無人機のための運航承認の仕組み（Low Altitude Authorization and Notification Capability（LAANC））を導入している ³⁸⁾ 。空飛ぶクルマに関しては、民間のベンチャー企業が、ボーイングやエアバスと連携して開発を進めてきたが、2020年になり、米空軍は空飛ぶクルマに関する資金援助と各種実証実験をサポートすると発表し ³⁹⁾ 、COVID-19で疲弊する産業化の支援に乗り出した。

欧州	基礎研究	◎	→	欧州は、ドローン関係の論文の27.1%を発表し、アメリカと中国を抜いている。研究者の所属は Cranfield 大 (英国)、セルビア大学 (スペイン) がベスト20に入り、その他、政府研究機関による発表数も多く、全体として世界一になっている ²⁰⁾ 。Horizon 2020にドローン関係のテーマが多く見られることも論文が多い要因と考えられる ⁴⁰⁾ 。Horizon 2020ではトップダウン式に研究テーマを提示し、EU内の多国籍な産学官の研究コンソーシアムで応募するスキームがあり、効果的な研究開発が実施されている。目的としては「精密農業」、「地図情報収集」、「環境モニタリング」が多い。空飛ぶクルマ関係では、電気推進、ハイブリッド推進、水素燃料など推進系の研究開発が欧州では活発であり ⁴¹⁾ 、無人機の管制システムに関する研究プロジェクト U-space もスタートしている ^{42), 43)} 。
	応用研究・開発	○	→	欧州からの特許出願は12.4%で、論文に比べると特許件数は少ないといえる ²⁰⁾ 。ドローン製造業はドイツやフランスで2000年代から始まっているが、中国、米国に追い越された感がある。運航管理に関しては、U-spaceでは欧州全域で統一したロードマップを掲げ、着実な研究がなされている。実践的な早期導入を目指す米国とは対照的である ⁴³⁾ 。空飛ぶクルマでは、ドイツのベンチャー企業 VOLOCOPTER が世界に先駆け開発を行い、英国、イタリアでも開発が始まっている ²⁶⁾ 。
中国	基礎研究	◎	→	中国はドローン関係論文数で世界の21.9%と、欧州、米国に次いでいる ²⁰⁾ 。用途は軍用が多いことが特徴である。所属機関のランキングでは、北京航空航天大学、南京航空航天大学、国防科技大学が上位4位を占めている ²⁰⁾ 。
	応用研究・開発	◎	→	中国はドローン関係出願数で世界の42.4%と際立っている。ドローンの機数では中国製が世界の7割を占めていることが背景にある ²⁰⁾ 。他国との差は、「低コスト化」の出願が多いことである。用途に関しては、「空撮」、「公共」、「農林水産業」が上位にあり、民生用の特許が多い ²⁰⁾ 。空飛ぶクルマに関しては Ehang が機体開発で世界をリードしていると評価され、既に多くの国に輸出されているのも驚異的である ²⁶⁾ 。
韓国	基礎研究	○	→	韓国はドローン関係論文数で世界の3.8%であり、日本の2.5%よりも多い。所属機関ランキングでも KIST が8位、ソウル大学が15位と上位にある ²⁰⁾ 。韓国では軍用ドローンの開発も行われており、論文数の多さに寄与していると考えられる。
	応用研究・開発	○	→	韓国はドローン関係論文数で世界の10.38%であり、日本の6.2%をしのいでいる。特許の目的には軍用が多いのが特徴である ²⁰⁾ 。
イスラエル	基礎研究	○	→	イスラエルは軍用固定翼ドローンの開発が早期に開始されたこともあり論文件数は0.5%である ²⁰⁾ 。
	応用研究・開発	○	→	イスラエルにはドローン産業もあり、特許出願は0.8%であり軍用関係が多い ²⁰⁾ 。ドローン兵器からの攻撃に対処するシステムに関する高度な技術を有している ⁴⁴⁾ 。

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

参考文献

- 1) 鈴木真二、ドローンが拓く未来の空：飛行のしくみを知り安全に利用する、化学同人、2017
- 2) Ricard Whittle, Predator : The Secret Origins of the Drone Revolution, Henry Holt & Co (2014/9/16)
- 3) 鈴木真二、「空の移動革命」に向けた技術的・政策的課題と展望、研究開発リーダー、2019.2 (No155)、pp.5-8
- 4) 鈴木真二、小型無人航空機に関する法律・規制関連の現状と今後、計測と制御：56 (1) , 24-27, 2017-01
- 5) Airworthiness of Aircraft, Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation, <https://store.icao.int/en/annex-8-airworthiness-of-aircraft> (Accessed on 2020-12-23)
- 6) Remotely Piloted Aircraft Systems Panel (RPASP) , [https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Remotely-Piloted-Aircraft-Systems-Panel-\(RPASP\).aspx](https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Remotely-Piloted-Aircraft-Systems-Panel-(RPASP).aspx) (Accessed on 2020-12-23)
- 7) Drones - regulatory framework background, <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas/drones-regulatory-framework-background> (Accessed on 2020-12-23)
- 8) 国土交通省航空局安全部安全企画課、無人航空機のレベル4実現に向けた国土交通省の取組について、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 (第14回) ,2020.7.9, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyoudai14/siryou3.pdf>
- 9) 鈴木真二、中村裕子、第5章 機体安全認証 (耐久証明、型式証明)、空飛ぶクルマ、空のモビリティ革命に向けた開発最前線、中野冠監修、NTS、2020.10.12
- 10) Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
- 11) 山田 伸一、米国における無人航空機に関する新しい取組, <https://www.jttri.or.jp/document/2019/yamada.pdf> (Accessed on 2020-12-23)
- 12) 無人航空機 (ドローン・ラジコン機等) の飛行ルール (国土交通省) https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html (Accessed on 2020-12-23)
- 13) 小型無人機の有人地帯での目視外飛行 (レベル4) の実現に向けた制度設計, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyoudai13/siryou1.pdf> (Accessed on 2020-12-23)
- 14) 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html> (Accessed on 2020-12-23)
- 15) https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181220007/20181220007_01.pdf (Accessed on 2020-12-23)
- 16) <https://www.mlit.go.jp/common/001154535.pdf> (Accessed on 2020-12-23)
- 17) ドローン等に用いられる無線設備について <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/> (Accessed on 2020-12-23)
- 18) Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM) , <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml> (Accessed on 2020-12-23)
- 19) 鈴木 真二, 中村 裕子, 秋本 修、空中ドローンと有人航空機の連携を想定した運航システムの将来動向、計測と制御、2020 年 59 巻 7 号 p. 471-475
- 20) 平成30年度 特許出願技術動向調査報告書 - 特許庁、https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/30_05.pdf (Accessed on 2020-12-23)

- 21) NEDO, サイバー・フィジカル研究拠点間連携による革新的ドローンAI技術の研究開発、https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201906/20190000000328.html
- 22) 中村 裕子, 鈴木 真二、「空の産業革命」「空の移動革命」のキーワード“自動化”“自律化”の認証の壁と実現に向けた世界の取り組み、航空宇宙学会誌、2020 年 68 巻 1 号 p. 8-14
- 23) 中村裕子, 鈴木真二「ICAOの航空機CO2排出基準」日本航空宇宙学会誌, 66 (5), 130-134, 2018.
- 24) タフロボットチャレンジ研究開発成果H26～29, <https://www.jst.go.jp/impact/report/07.html#3> (Accessed on 2020-12-23)
- 25) 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, 2016～2021, <https://nedo-dress.jp/> (Accessed on 2020-12-23)
- 26) urban Air Mobility Getting Real 2020.8, https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-08/AWST_200817.pdf (Accessed on 2020-12-23)
- 27) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) /インフラ維持管理・更新・マネジメント技術, 2014～2018, https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100089.html (Accessed on 2020-12-23)
- 28) 物流用ドローンポートシステムの研究開発 (交通運輸技術開発推進制度), H28～29, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai7/s1-6.pdf (Accessed on 2020-12-23)
- 29) サイバー・フィジカル研究拠点間連携による革新的ドローンAI技術の研究開発, 2019～2023, https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201906/20190000000328.html (Accessed on 2020-12-23)
- 30) ISO/TC 20/SC 16 (無人航空機システム), 2020, https://webdesk.jsa.or.jp/common/W10K0500/index/dev/isotc_20sc16/ (Accessed on 2020-12-23)
- 31) 1PRTIMES 2019.2 [https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000004.000038857.html](https://prt看mes.jp/main/html/rd/p/000000004.000038857.html) (Accessed on 2020-12-23)
- 32) NASA, Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM), 2015～, <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml> (Accessed on 2020-12-23)
- 33) UAS in the NAS | NASA, 2020, https://www.nasa.gov/centers/armstrong/programs_projects/UAS_in_the_NAS/index.html (Accessed on 2020-12-23)
- 34) "山田伸一、米国における無人航空機 (UAS) のルール策定に向けた技術開発等の取組", 2019, https://www.jttri.or.jp/members/journal/assets/no77_overseas-com04.pdf (Accessed on 2020-12-23)
- 35) "Mississippi State University, The FAA's Center of Excellence for UAS Research, ASSURE", <https://www.assureuas.org/> (Accessed on 2020-12-23)
- 36) News from DARPA, 2020, <https://www.unmannedsystemstechnology.com/tag/darpa/> (Accessed on 2020-12-23)
- 37) UAS Integration Pilot Program,

https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/integration_pilot_program/ (Accessed on 2020-12-23)

- 38) UAS Data Exchange (LAANC) ,
https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/data_exchange/
- 39) Agility Prime, <https://agilityprime.com/#/>
- 40) Innovative applications of drones for ensuring safety in transport, 2019,
https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_MG-2-8-2019
- 41) AviationWire「エアバス、ハイブリッド電気飛行機を共同開発へ 20年初飛行」,2017, <https://www.aviationwire.jp/archives/135254>
- 42) SEAR「U-space」, <https://www.sesarju.eu/U-space>
- 43) 鈴木 真二, 中村 裕子, 秋本 修、空中ドローンと有人航空機の連携を想定した運航システムの将来動向、計測と制御、2020 年 59 巻 7 号 p. 471-475
- 44) ドローン兵器の衝撃～新たなテロの時代～ - NHK クローズ アップ現代, 2019.10.24, <https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4345/index.html>
- 45) Top 5 Best Electric VTOL Personal Aircraft, Passenger Drones and Flying Cars (2020年7月1日)
<https://www.youtube.com/watch?v=UDZheUq3xaQ>
- 46) 空の移動革命に向けた官民協議会 https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air_mobility/index.html

2.2

俯瞰区分と研究開発領域 ロボティクス