

空の移動革命に向けて

— ドローンおよび「空飛ぶクルマ」への期待と課題 —

東京大学未来ビジョン研究センター特任教授 鈴木 真 二

1. はじめに

小型無人航空機はドローンと呼ばれ、2010年以降、様々な分野での活用が広がっている。これまで、航空機が活用できていなかった超低高度を飛行するドローンは、「空の産業革命」を拓くと期待されている。また、ドローンを大型化し、人も運べる機体を電動の垂直離着陸機 (eVTOL: electric Vertical Take-Off and Landing) として世界中で開発がすすめられ、「空の移動革命」として期待されている。ここでは、こうした空の新たな移動手段を展望し、それらへの期待と、実用化に向けた課題を整理したい。

2. ドローンおよび「空飛ぶクルマ」の歴史

ドローンの歴史は古く、1930年代には遠隔操作の標的用無人航空機がターゲット・ドローンとして実用化されている。ドローンという呼び名は、英国において小型飛行機を遠隔操作の標的機として開発されたものが女王蜂 (Queens Bee) と命名され、それを参考に、米国では遠隔操作の模型飛行機を改造した標的機がオス蜂 (Drone) と呼ばれたことに起因する。マリリン・モンローはドローン工場に働いていた写真が陸軍の広報誌で紹介され、モデルそして女優としてデビューしたという逸話も残されている (図-1)¹⁾。

その後、ドローンは偵察機として1990年代に再び注目を集めるようになった。これは、GPS (Global Positioning System) が普及し、自動飛行が可能となり、衛星通信による画像伝送技術が実用化したことも背景にある。こうした軍事利用とは別に、民間利用の分野では日本が大きな役割を果たした。それは、農薬散布のための遠隔操作ヘリコプターが開発され、1990年代から実用化されたことである。農地の狭い日本では、海外のように有人機での農薬散布が適さないことが理由であった。

昨今のドローンのブームは、こうした飛行機やヘリコプタータイプではなく、複数のプロペラを電動で駆動するマルチコプターの登場による。2010年に発売されたフランス製の玩具 (Parrot 社のAR ドローン) がそのきっかけであった。2000年代に普及したりチウムイオン電池でモーターを駆動し、姿勢制御に必要なジャイロや加速度計に半導体セン

サーを用い、通信にはWiFi や Bluetooth を用いることで、高度な機能が安価に提供できるようになったことが大きい。その後、こうしたマルチコプターに空撮用のカメラを搭載した中国 DJI 社のドローンが市場を席捲することになった。国産のドローンは、主に産業用機体として国内で販売されている。

無人機ではなく、人がクルマのように自由に空を飛ぶという発想は古くから存在し、1950年代には、米国で翼を装着した自動車が Aerocar として開発され、試験飛行にも成功している。野心的な開発であったが、想定した注文が集まらず、事業化には至らなかった。現在でも世界各国で飛行可能な自動車の開発は続いているが、自動車が空を飛ぶことのメリットはあまり見いだせず、事業として成功したものはない。「クルマのように自由に空を飛ぶ」というコンセプトを具現化できたものは、小型のヘリコプターといえよう。1970年代に米国で開発された

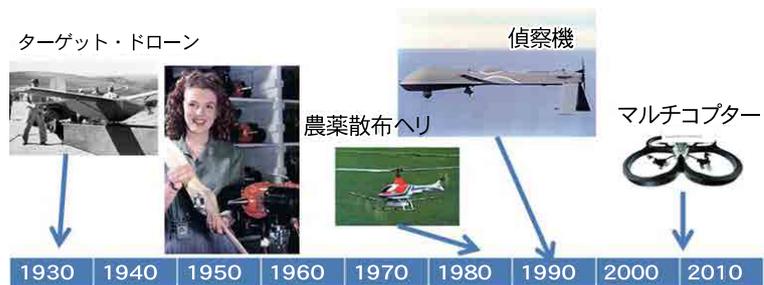


図-1 無人航空機の歴史



図-2 空飛ぶクルマの形態



写真-1 Bell Nexus 4EX (CES2020で筆者撮影)

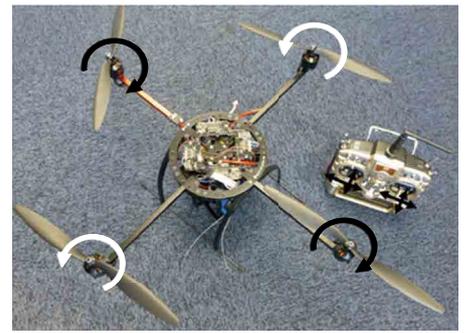


写真-2 ドローンの操縦方法

ロビンソン R22は、レシプロエンジン駆動の二人乗りヘリコプターで、価格も3,000万円程度といわれ、個人用のヘリコプターとして世界中で4,000機程度が販売されわが国にも輸入されている。

現在「空飛ぶクルマ」として開発が進んでいるものは、ドローンを大型化した電動の垂直離着陸機（eVTOL）である。ドイツのボロコプター社はその代表的なスタートアップ企業で、18個のプロペラを電動モーターで駆動する2Xは2013年から開発され、2016年に最初の有人飛行に成功した。2018年には、ドバイで、2019年にはシンガポールで試験飛行を行っている。「空飛ぶクルマ」が大きな注目を集めたのはUber社がeVTOLを用いた都市部での空飛ぶタクシー事業の構想を2016年に発表したことにある²⁾。このUber社の構想に共鳴した大手企業を含む各社が開発の表明をしている。米国のヘリコプター製造会社Bell社もその一つで、写真-1のような大掛かりなeVTOLの開発を表明している。

3. マルチコプターのメカニズム

マルチコプターは数千円のホビー機から、大掛かりなeVTOLまで様々な機種に広がっている。その飛行の原理を簡単に説明したい。マルチコプターは通常のヘリコプターがローターブレードのピッチ角制御で飛行制御を行うのとは異なり、4個以上のプロペラの回転数を制御することによって飛行制御を行う。写真-2のようにプロペラ回転による反トルクをゼロにするために半分のプロペラは反対方向に回転する。全プロペラの回転数を均等に上下すれば、機体は上昇・降下する。対向するプロペラの回転数を総和は一定にして差をつければ、方位を変えずに機体を前後・左右方向に傾けることが



図-3 ドローンの姿勢安定化機構

GPSを利用した自動飛行

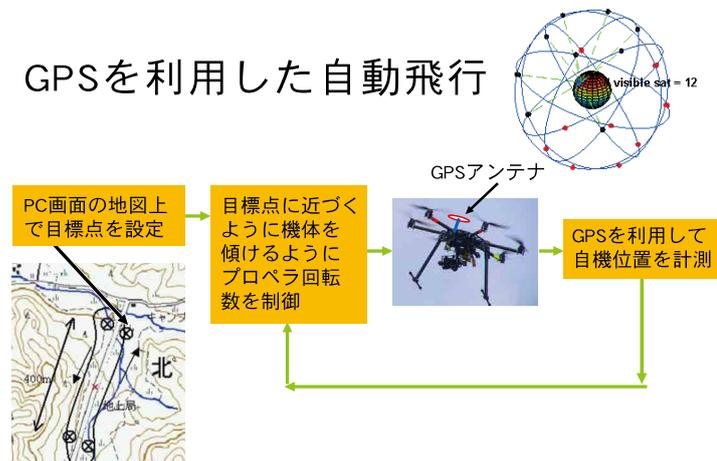


図-4 ドローンの自動飛行メカニズム

でき、これにより前後・左右の移動が可能となる。方位を変えるには、全トルクをゼロではなく値を持たせれば良い。このように、4つの自由度を4個のプロペラの回転数を変更し制御することでマルチコプターは3次元空間を飛行することができる。

ドローンの操縦は、従来の模型飛行機の遠隔操縦装置（写真-2）でのマニュアル操縦が基本となる。左右のジョイスティックによる4自由度の操作（変更は可能であるが、右手がスロットルとエレロン（ロール）、左手がラダー（ヨー）とエレベータ（ピッチ）に設定する）により操縦し、プロペラ回転数の配分は自動的にミキシングされる。ただし、このままでは操縦は容易ではない。ヘリコプターと同様に、マルチコプターは機体固有の安定性を有しないため、フィード

バック制御による安定化する回路が組み込まれている。これは、加速度計やジャイロによって機体の傾きを検知し、傾きを自動的に補正するようにプロペラの回転数を制御するものである（図-3）。こうした自動制御機構は数千円のホビー機にも備わっている。さらに、GPSによる位置検出や、電子コンパスによる方位検出機構と組み合わせれば自動飛行も可能となる。自動飛行は、飛行経路や目標飛行地点（Waypoint）をあらかじめ設定し、そこからの偏差を減らす方向に機体を傾けて運動させることで達成される（図-4）。

「空飛ぶクルマ」に関してもマルチコプタータイプのものは基本的には同じ原理で飛行する。ただし、水平飛行時には機体を傾けることが必要になり、長距離巡行時には効率も悪化する。そのため、

固定翼を付加して巡航時には翼の揚力を利用したり、プロペラの軸を巡航時には傾けるような設計も存在する。写真-1のBellの機体はそうした方式を取り入れている。操縦に関しては、ドローンのように遠隔操作も可能であるが、人を乗せて運ぶ場合には通常の航空機のように機上のパイロットが操縦することが想定されている。

4. ドローンの活用分野

ドローンの利用分野は機能で分類すると以下のように整理できる。

①空撮：上空からの撮影は、報道、番

組、宣伝などで広く利用され、現在は、測量、点検などの産業利用が始まり、警備や捜索でも期待されている。

②輸送：Amazonが2013年12月にドローンが注文された荷物を倉庫から依頼主の玄関に届けるPRビデオを放映して以来、ドローン物流が注目を集め、わが国でも実証実験が進んでいる。アメリカでは連邦航空局（FAA）が、UPSやAmazonにドローン物流事業許可も与えている。災害時の緊急物資輸送も期待される分野である。

③投下：農薬散布は既に実用化されているが、播種（種まき）や消火などへの利用も期待される。

④電波中継：空中のドローンが電波を中継すれば、緊急時の携帯電話基地局や、遠隔操作時の電波中継として利用できる。成層圏を長時間飛行可能な耐空型無人機の開発が各国で検討されている。

⑤サンプリング：空中の物質をサンプリングし計測する機能は、福島での放射線量の計測に利用され、今後は、PM2.5の計測なども可能であろう。

用途によっては、ドローンの種類を使い分けることも必要で、マルチコプター、ヘリコプターおよび固定翼（飛行機）による使い分けの状況を図-5に示す。マルチコプターやヘリコプターは空中での停止が可能であるが、飛行機型に比べると長距離、長時間の飛行には適していない。

ドローンの産業利用は、世界的に指数関数的に拡大している。図-6は2020年にインプレス総合研究所が発表したドローンサービスの売上高データをもとに作成されたもので、現状は農業利用が大きいですが、今後、点検事業ならびに物流事業の拡大が予想されている³⁾。

用途	マルチコプター	ヘリコプター	固定翼機
空撮、測量	狭域 ブルーイノベーション	中域	広域
農薬散布	狭域	中域 ヤマハ	
通信			Google
警備	室内 セコム		国境監視
物流	軽量 Amazon	中規模	長距離

図-5 ドローンの種類と用途の分類

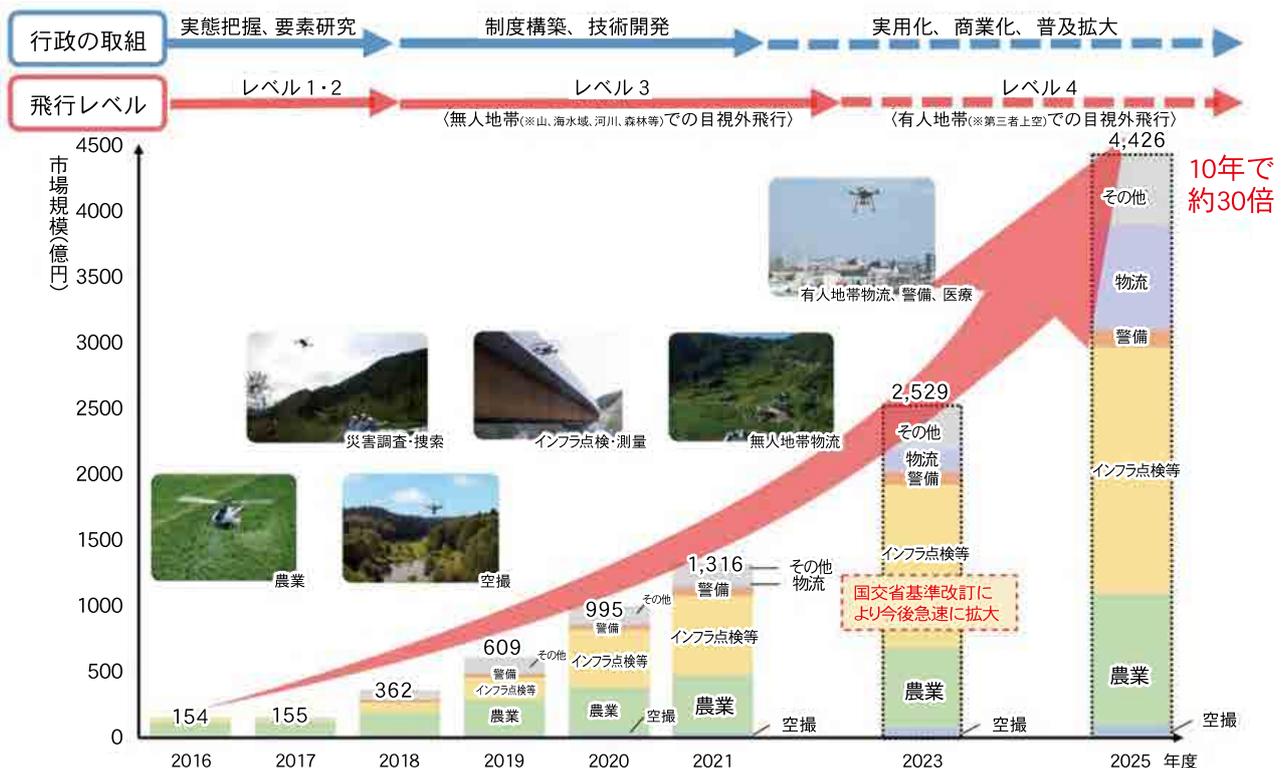


図-6 ドローンサービス市場の現状と今後の見通し³⁾

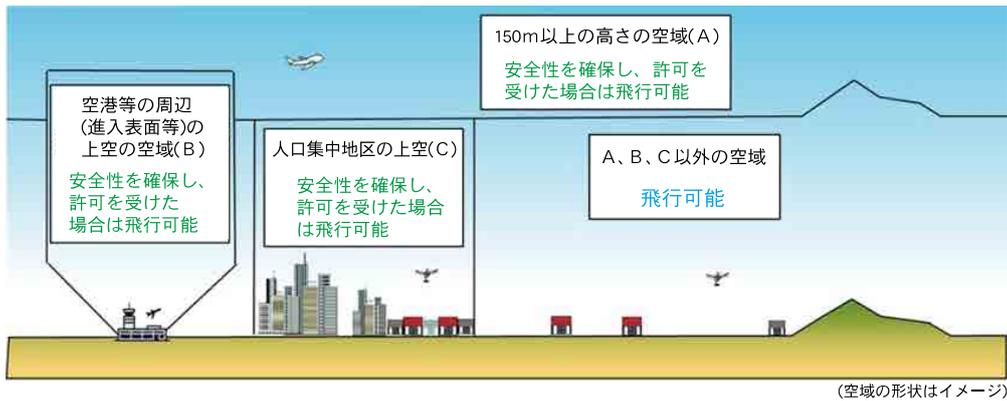


図-7 ドローンが飛行可能な空域⁴⁾

5. ドローンを安全に利用する制度設計

わが国では小型無人航空機（ドローン）に関する制度は、2015年4月に首相官邸の屋上で不審なドローンが発見されたことから具体化した。同年航空法の改定が行われ、200g以上のドローンに対して許可申請が必要な空域と飛ばし方が規定された。図-7は空域の規定で、航空機との衝突が懸念される地上高度150m以上、空港周辺、および落下の危険性が大きい人口集中地区では、飛行時に申請が必要となる。図-8は飛ばし方の規定である。これにより、夜間、目視外、人や物から30m以内、イベント上空、農業散布が該当となる危険物輸送と物件投下時には飛行時に申請が必要となった。

ただし、規制強化だけではなく、政府はドローンの活用策にも積極的で、2015年に「空の産業革命」に向けた官民合同の協議会が設置され、ドローンの利活用に向けた環境整備のための検討がなされている。その際に、ドローンの飛行方法のレベル分けが以下のように設定され、

- ①レベル1：目視内でマニュアルで飛行させる
- ②レベル2：目視内だが、自動で飛行させる
- ③レベル3：目視外まで主に自動で飛行させるが、落下しても危険が無いように過疎地などの無人地帯に飛行を限定する
- ④レベル4：有人地帯での目視外飛行レベル3を2018年度までに達成することが当初のロードマップに記載され、2020年7月に公表された最新のロードマップでは、2022年度を目標にレベル4を可能にすることが目標に掲げられた

<承認が必要となる飛行の方法>

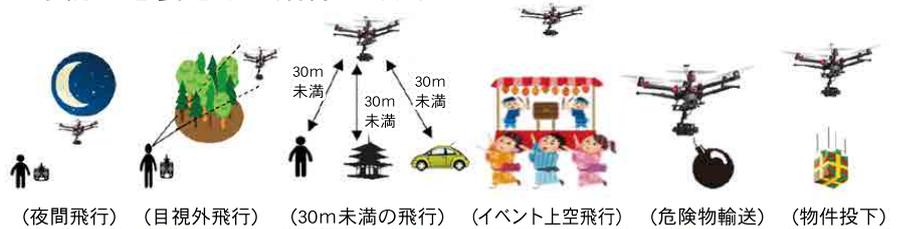


図-8 許可承認が必要な飛行方法⁴⁾

(図-9)。

レベル4の飛行を実現するための制度設計が現在検討されており、①機体の安全性を認証する機体認証制度、②操縦技能・知識を証明する操縦ライセンス制度、③飛行時の管理制度の制定が予定されている。これらが整備されれば、レベル4の飛行の実現とともに、これまで許可承認を個別に必要としていた、例えば都市部での建物の点検などが、より簡便に実施できるようになることが期待できる。

6. 「空飛ぶクルマ」の利用方法と制度設計

ドローンを大型化したeVTOL、いわゆる「空飛ぶクルマ」に関しては、前述のようにUber社が2016年に、都市部の建物屋上のヘリポートを利用した空飛ぶタクシー運航サービスの構想を発表したことで、その開発が加速された。Uberの構想では、写真-3のようにパイロット1名を含む乗員乗客4名の機体を、バッテリーによる電動駆動とし、機体総重量は約2トンで、高度300～600mを時速240～320kmで巡行し、一回の充電で96km飛行することを期待している²⁾。当初の構想では、2020年テスト飛行を開始し、2023年に運用開始と表明している。

Uberの構想を受ける形で、世界中で

eVTOLの開発が行われているが、Uberの想定する機体は、バッテリーの性能が飛躍的に向上することを前提としており、現状、そこまでの性能向上は期待できないのが現実である。現在、世界各地で試験飛行を実施しているドイツの二人乗りのeVOLであるボロコプター2Xを、やはり二人乗りのヘリコプター、ロビンソンR22と、公表されているデータにより比較してみたい(表-1)。

ボロコプター2XはロビンソンR22と同様に二人乗りで機体のサイズはほぼ同じである。R22より機体重量が軽くエンジン出力も多少小さい。バッテリー重量はR22の燃料重量とほぼ同じであるが、飛行時間がR22の約3時間に対して30分以下である。このため、ボロコプター2Xの飛行距離はロビンソンR22の20分の1以下である。こうした性能の違いは、バッテリーの重量あたりのエネルギー密度がガソリンよりはるかに小さいことにある。ボロコプターの発表では価格はロビンソンR22と同程度の3,000万円代とされている。

eVTOLのボロコプターはこのように性能的には小型ヘリに及ばないが電動であるが故に、ヘリコプターよりも機構的に単純で、充電だけで飛行でき、自動操縦も可能であるというメリットを備えてい

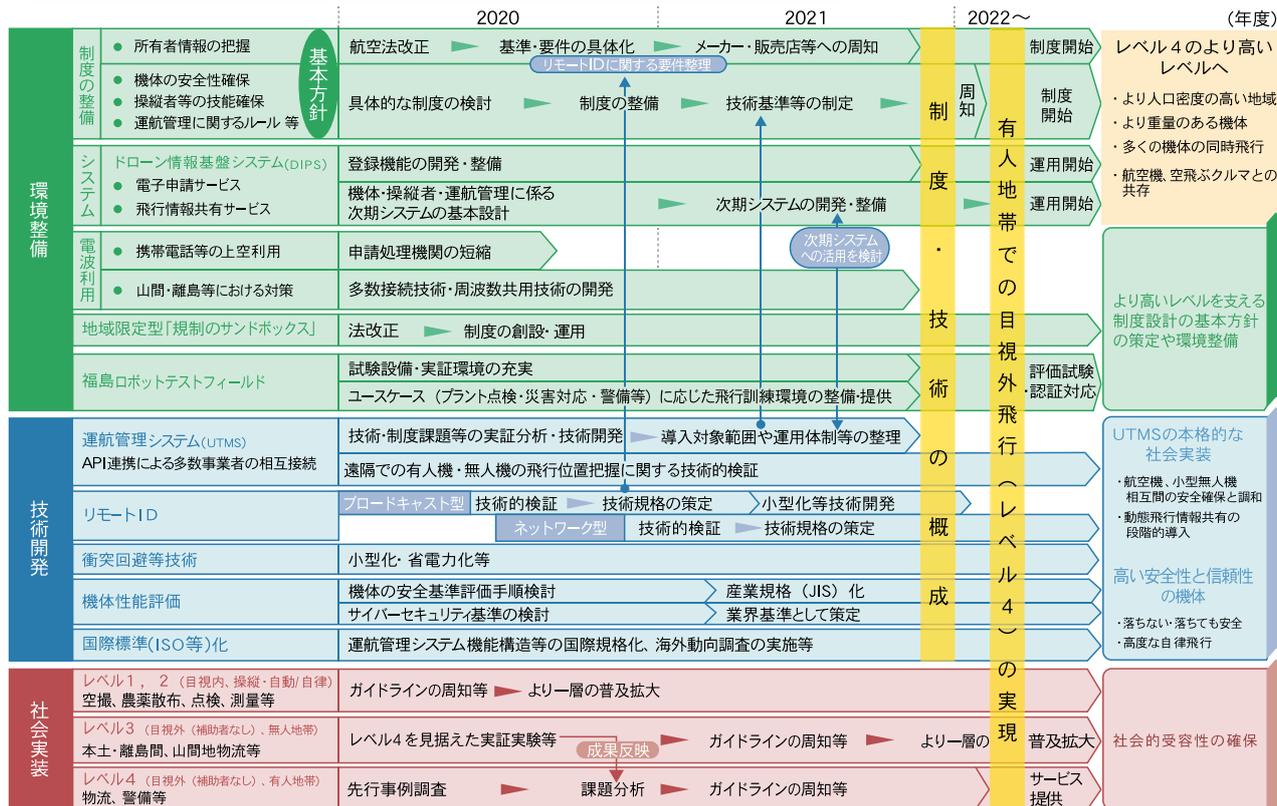


図-9 「空の産業革命」に向けたロードマップ⁵⁾



写真-3 Uberの構想機体 (著者撮影)

表-1 eVTOLとヘリコプターの比較

	Volocopter 2X	Robinson R22
乗員	2	2
最大離陸重量[kg]	450	622
ローター数	18	1
ローター径[m]	1.8	7.67
横幅[m]	7.67	7.67
円板荷重[kg/m ²]	9.8	13.47
エンジンパワー[kw]	75.6	93
燃料	77kg (バッテリー)	75 liters
飛行距離[km]	25.7	556km
最高速度[km/h]	70	178 (巡行)
飛行時間[min]	27	~180

る。今後、写真-1のような4~6人乗りの本格的な機体も飛行試験が計画されている。

こうした世界の動向に対応して、2018年に「空の移動革命に関する官民協議会」が国内で設置された⁶⁾。同協議会では、ボーイングやエアバスを始めとする「空飛ぶクルマ」の製造会社、Uberなど「空飛ぶクルマ」を利用する事業者、関係省庁、有識者による議論が行われ、「事業者による利活用の目標」、「制度や体制の整備」、「機体や技術の開発」の各

要素に関して、達成目標がロードマップとして提示された⁶⁾。そこでは、2019年に試験飛行・実証実験等を開始し、2023年までには、国内で事業を開始する制度や体制を整備し、物の移動から事業を開始し、災害対応、救急、娯楽利用を始めながら、地方での人の移動を2020年代には事業化し、2030年代を目標に都市での人の移動を目指している(図-10)。

eVTOLは低高度での空の単距離移動を実現する魅力的構想ではあるが、有人の

機体は航空機として分類される。機体開発という技術面だけでなく、機体は製造国、運航国から型式証明、耐空証明を取得する必要がある、操縦者は航空機の操縦免許が必要で、事業者は事業認定を受けなければならない。また、民間がこの事業を担うためには、採算が取れるようなビジネスモデルを構築する必要がある。これらを検討する分科会が現在、官民協議会のもとで作られている。

空の移動革命に向けたロードマップ

2018年12月20日 空の移動革命に向けた官民協議会

このロードマップは、いわゆる「空飛ぶクルマ」、電動・垂直離着陸型・無操縦者航空機などによる身近で手軽な空の移動手段の実現が都市や地方における課題の解決につながる可能性に着目し、官民が取り組んでいくべき技術開発や制度整備等についてまとめたものである。
(注)今後、他の輸送機器・機関の開発動向を踏まえ、空の利用に関するグランドデザインが必要になることを留意。

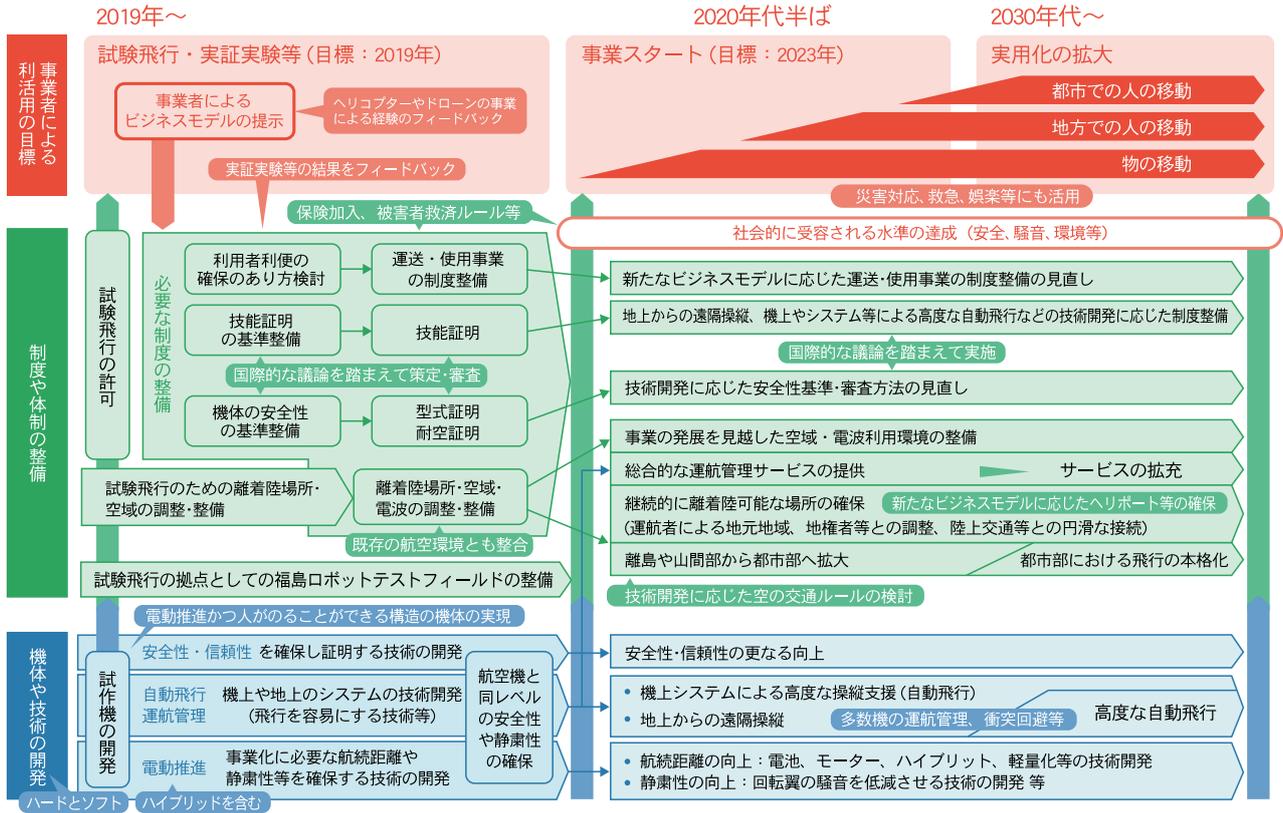


図-10 「空の移動革命」にむけたロードマップ⁶⁾

7. おわりに

マルチコプター型の小型無人航空機はドローンと呼ばれ、ホビー用途から産業用へと急速に利活用が進んでいる。さらなる利用の拡大に向けて、機体認証や操縦ライセンスなどの本格的な制度設計も始まっている。さらには、人が乗れるほどの大型化も進み、電動垂直離着陸型の「空飛ぶクルマ」としての開発が世界で始まっている。特に、新型コロナウイルスの拡大によって、無人化やパーソナルな空の移動に対する期待はさらに高まっており、安全な移動手段として、技術のみならず、制度設計が重要であることがご理解いただければ幸いである。

【参考文献】

- 1) 鈴木真二、ドローンが拓く未来の空：飛行のしぐみを知り安全に利用する、化学同人、2017
- 2) Uber Elevate, Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation, Oct. 27, 2016, <https://www.uber.com/elevate.pdf>
- 3) 内閣官房 小型無人機等対策推進室、「空の産業革命に向けたロードマップ」の改訂について、2020.7.9 https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai14/siryoul.pdf
- 4) 国土交通省、無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#
- 5) 「空の産業革命に向けたロードマップ2020～我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現～」(令和2年7月17日小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定) <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryoul4.pdf>
- 6) 第4回 空の移動革命に向けた官民協議会、「空の移動革命に向けたロードマップ」素案 https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air-mobility/pdf/004_01_00.pdf