

新型航空機の開発と航空産業について

和泉達也
IZUMI, Tatsuya

一般財団法人運輸総合研究所ワシントン国際問題研究所研究員

1903年にライト兄弟が初の有人動力飛行を成功させて以来、航空機技術は絶え間なく進歩し、航空は高速で離れた地点間を結ぶ交通手段として著しい発展を遂げてきた。その結果として、航空は交通・運輸における重要な産業として、世界の各地を結び、今日の世界の発展に大きく貢献をしてきた。

この航空機技術の進化は、航空産業の在り方やビジネスモデルにも大きく影響を与えてきた。1952年に初の旅客用ジェット機デ・ハビランド コメットが商用運航を開始し、その速達性とプロペラ機をはるかに超える航続距離が広く受け入れられ、急速にその存在感を高め、1960年代には大西洋横断においてそれまで主流であった船による航海から旅客輸送量において首位の座を奪うまでに成長した¹⁾。その後、音速を超えるスピードで運航するコンコルドや500人を超える数の旅客を輸送できるジャンボジェットなどが登場し、利用者数は右肩上がりに増加した。その後、機体や翼などの部位に従来の金属に代えて炭素繊維複合材を使用したボーイングの787ドリームライナーの開発等により、運航費用を低く抑えることができ、長距離路線の運航が可能となり、2017年には輸送旅客数が約40億人を数えるまでに成長した²⁾。

これまで航空産業の発展は、新たな航空機の開発に密接に関係してきており、今後もこれは不変であると考えられる。現在、米国においては官民を挙げて、次世代の航空機の開発が進められており、この進展に伴って航空産業も大きく変わっていくものと予測される。本稿では、現在進められている新たな航空機の開発状況のいくつかを紹介し、規制や制度面での課題や今後の航空産業の進む方向性について以下に考察する。

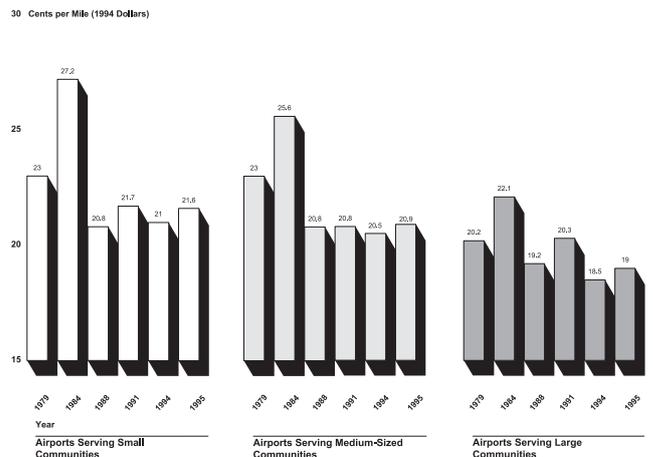
1—— 運航効率の向上と航続距離の延長

1.1 ワイドボディ機

20世紀中盤から民間航空機のジェット化により、迅速な長

距離移動が可能になったものの、1970年代まで各国政府の規制により割高な航空運賃が維持されていたため、なかなか一般市民の利用は進まなかった。その後、1978年にジミー・カーター政権の下、米国で航空規制緩和が行われ、航空会社設立や航空運賃設定に自由が認められるようになった。この規制緩和の効果によって格安航空会社 (Low Cost Carrier; LCC) が勢力を伸ばすなどし、1994年には1979年当時より1マイル1旅客当たり平均航空運賃が、それぞれ大都市に就航する便で8.3%、中規模都市で10.9%、小規模都市で8.5%低下し³⁾、航空利用の一般化が進んできた (図—1)。この航空運賃低減の実現には、規制緩和による競争促進やLCCなどの新事業モデル開発の効果が大きいですが、航空機技術の進化に伴う運航効率向上及び費用低減がこれを裏で支えているものと考えられる。

近年、ボーイング787ドリームライナーを皮切りに主要な航空機部材への軽量かつ十分な強度を有した炭素繊維複合材の使用による軽量化や、翼端形状改良等の抗力軽減による空力特性向上、抽気を廃止して電動化する等によるエンジンの改良が行われ、燃料消費量をそれまでのワイドボディ機と比較し



Note: 1995 data are for the first 6 months of the year.
Source: Illustration based on GAO's analysis of DOT's O&D Survey.

■図—1 空港規模別航空券価格の変化 (米国会計検査院『航空規制緩和～小規模・中規模・大規模都市における航空運賃及びサービス、安全性の変化』³⁾)

て20%低減し⁴⁾、運航効率の向上が図られ、運航費用の低減が飛躍的に進んできている。

この運航効率向上により、過去には事業が成立しなかったような需要の細い中規模（セカンダリー）都市を結ぶ長距離路線の新規開発が進んでいる。ボーイングによると、787型機は就航開始以来、2017年までに累計で378の新規路線に就航した⁵⁾とのことである。特に、ノルウェーの超格安航空会社ノルウェー・エアシャトルは、この787型機を主要機材として採用し、大西洋横断路線を中心とした長距離路線を格安運賃で提供するという事業モデルを展開している。これが顧客からの一定の支持を得て、現在同社は欧州で第3の規模を誇る航空会社にまで成長している。

運航効率の向上の効果は費用の低減に止まらない。より少ない燃料で運航が可能となるということは航続距離の延長という性能向上につながる。実際、787-9型機やエアバスのA350型機では軒並み8,000海里（約15,000km）を超える航続距離を有するバージョンが設定されている。また、A350-900ULR型機は、これまでボーイング777-200LR型機が有していた9,395海里（17,395km）⁶⁾を上回る9,700海里（17,900km）という驚異的な航続距離を備える⁷⁾に至った。

最近、シンガポール航空のシンガポール—ニューアーク路線（2018年末～）⁸⁾やカンタス航空のパーサー—ロンドン路線（2018年3月～）⁹⁾の運航開始など超長距離路線直行便の運航が相次いで発表された。これらの路線には787-9型機やA350-900ULRといった燃費効率の高い、航続距離の非常に長い機材が使用されており、これらの航空機の登場により、これまで直行便の運航や事業性の確保が困難であった東南アジアから北米、豪州から北米や欧州といった地域間の路線の開発が進められている。

1.2 ナローボディ機

通常、通路が2本設置されているワイドボディ機と比較し、ナローボディ機は機体が小さいことから、燃料消費量が少なく、客室乗務員の数も少なく済み、着陸料等の空港使用料も低く抑えられる上に、機体自体も安価である。これらの理由から、ナローボディ機は低いコストでの運航が実現可能であり、これまでLCCの主力機材として広く採用されてきている。

LCCで広く機材として採用されているボーイング737型機やエアバスA320型機などのナローボディ機も、787型機のようなワイドボディ機と同様、機能を刷新した新型機が開発されており、運航効率向上が図られ、航続距離延長が進んでいる。

ボーイング737型機は、737MAX型機の開発により航続距離が前世代機の3,000海里（約5,500km）前後から3,500海里

（約6,500km）¹⁰⁾にまで延長された。エアバスA320型機はA320ceoシリーズで3,300海里（約6,100km）程度¹¹⁾であったものが、A320neoシリーズでは3,400海里（約6,300km）～4,000海里（約7,400km）にまで延長された¹²⁾。A320ファミリーで最大の機体であるA321neo型機では、航続距離を4,000海里にまで伸ばした派生機A321LR型機が開発が進められており、最近、旅客160人と同等の重量を載せた仏トゥールーズからインド洋のセイシェルまでの4,750海里（約8,800km）の試験運航を成功させた¹³⁾。さらに、この航続距離を500海里（900km強）増したA321XLR型機の開発も計画されるなど、ナローボディ機の航続距離延長の流れは勢いを増してきている。

これまで使用機材の航続距離の制約から、LCCの多くは長距離路線を運航してこなかったが、航続距離を延長したナローボディ機の登場に伴い、各社がこれを用いて新たな事業機会を捉えようという動きを見せている。前述のノルウェー・エアシャトルが2017年から737MAX型機で英国やアイルランドの各都市から米国東海岸を結ぶ路線の運航を開始した¹⁴⁾他、A321LR型機の購入について検討している米国のLCCジェットブルーも同機による米国東海岸からのロンドン路線就航の可能性について示唆する¹⁵⁾など、ナローボディ機の航続距離延長の動きに伴い、大西洋路線を中心にLCC各社による中・長距離路線への進出機運が高まってきている。

さらに主力ナローボディ機（737型機やA320型機）より小型の100～150席クラスの航空機に関する開発も活発になってきている。ボーイング及びエアバスの商品群になかったこのクラスのジェット機は、需要が比較的小さな中小規模の都市とハブ空港を結ぶ路線で使用されてきている。

これまで、このクラスのジェット機市場は、ブラジルのエンブラエルとカナダのボンバルディアの2強状態が続いていたが、中国の新興航空機製造会社Comacや日本の三菱航空機も新型機を開発してこの市場への参入に乗り出し、競争が激しさを増している。

このような状況の中、ボンバルディアは、開発に60億ドルを費やし、破綻寸前にまで追い込まれていたCSeriesジェットの開発プログラムの経営主導権をエアバス社に譲渡し、同社の支援を受けてこの開発プログラムの立て直しを図ることを決定した¹⁶⁾。この手続きは2018年7月1日に完了し、この航空機はA220に改称され、エアバス社の商品ラインナップに加えられることとなった。

この航空機は、従来のこのクラスの航空機（エンブラエルE190型機）より座席当たり燃料費で40%、燃料費以外の費用で20%以上の低減が図られる¹⁷⁾とされている。A220-300型機

は3,000海里を超える航続距離を実現しており、このクラスの航空機では不可能であった米大陸横断路線の設定も可能となった。この航空機はこれらの性能を備えることにより受注を増やし、その確定受注数は400機を超えるまでに至っている¹⁸⁾。

この航空機の高い運航効率や長い航続距離により、ハブ空港を介さない地方直行路線の開発が期待されると共に、従来のナローボディ機より安価で初期投資が抑えられることもあり、新規航空会社が低いリスクで市場参入することが可能となることから、新たな航空会社の誕生の促進も期待される。

1.3 中規模市場航空機 (NMA)

前述してきたワイドボディ機の中で最小の787型機とナローボディ機の中で最大のA321neo型機の間には規模のギャップがある。これを埋めるために開発が検討されているのが中規模市場航空機 (New Mid-Market Airplane; NMA) である。

ボーイングが開発を検討している797型機と仮称される通路を2本有したこの航空機は、225席配置で5,000海里(約9,300km)、275席配置で4,500海里(約8,300km)という航続距離になるものと想定されており、ボーイングは2025年の商用運航開始という目標を堅持していると伝えられている¹⁹⁾。

この航空機の開発にあたってボーイングは60社に上る航空会社に意見を聞いており²⁰⁾、バンクオブアメリカからが実施した200を超える航空会社に対する調査によると、82%の航空会社が関心を示している²¹⁾。特に、まだ仕様は固まっていないものの、デルタ航空のエド・バスティアンCEOは同社がこの航空機のローンチカスタマーになる意思を表明している²²⁾。

この航空機が実際に就航した場合には、現在需要がそれほど大きくなく、一定の距離がある中規模都市間の路線の開発に利用されることが考えられる。

2— 超音速旅客機の開発

音速を超えるスピードで運航する商用旅客機は、2003年に全機退役したコンコルド以来存在していない。コンコルドは、運航・整備費用の高さや騒音の大きさ、比較的短い航続距離(3,900海里)といった課題を抱える中、9.11テロ事件以降の航空需要低迷を受けて営業飛行を終了した。

以来、超音速旅客機は民間商用航空から姿を消していたが、近年、日本航空や英ヴァージン・アトランティックなどが後押しするスタートアップ企業のブーム・テクノロジーやボーイングなどによる開発競争が熱を帯びてきている。

ブーム社が開発を検討している超音速旅客機は、55席配置



出典：ブーム社、ボーイング社ウェブサイト

■図一2 超音速旅客機コンセプト ブーム社(左)、ボーイング社(右)

で、6万フィート上空をマッハ2.2 (2,335km/h) で飛行するものとされている。無給油での航続距離は4,500海里とされている。機体には炭素繊維複合材を使用し、アフターバーナーのない中バイパス比ターボファンエンジン3機を搭載するものとしており、既存の航空機技術を転用することにより、1座席1マイル運航当たりの費用は、現行の航空機のビジネスクラスと同等で、コンコルドの運航費用より現在価値に換算して75%低く抑えられるとしている。同社は2018年末までに1/3サイズのモデル機を用いた試験飛行を開始し、2020年以降にフルスケールの機体で試験に入り、2023年以降の商用飛行を目指している。ブーム社は、既にヴァージン・アトランティックからの10機をはじめとして76機の注文を受けている²³⁾。この航空機が実際に運航されれば、ニューヨークーロンドン間が3時間15分、サンフランシスコー東京間が5時間半で飛行できるようになるとのことである²⁴⁾。

ボーイングは、ブーム社の開発を進めているものよりかなり高い高度9万5千フィートを倍以上の速度マッハ5で飛行する旅客機に関する研究を進めている。コンセプト機の発表のみで、詳細はまだ明らかにされてはいないものの、鋭角のデルタ翼の後縁に2枚の垂直尾翼が配され、中央部が前方からせり上がった胴体の形状となっている。エンジンは、マッハ5でタービンが収容されてラムジェットに移行するターボラムジェットを搭載し、離陸時や着陸時の騒音を低減するためにアフターバーナーは採用しないとのことである。デモンストレーターの開発が順調に進めば、最速で2023年もしくは2024年には試験的に飛行が開始できるとのことで、2030年代後半には商用飛行が可能となる可能性がある。

超音速機運航時にはソニックブーム(衝撃音)が発生することから、米国内での超音速機の運航は基本的に禁止されている²⁵⁾。このことから、商用民間超音速機実現に向けて、ソニックブームを低減するための研究が米国航空宇宙局(NASA)主導で行われている。NASAは航空宇宙業界大手のロッキードマーティンと共に、衝撃波低減型デモ機X-59A QueSSTを用いた実証試験を実施することを発表している。発表された研

究計画では、第1段階として2021年度中盤から飛行を開始し、第2段階の音響学的検証を行った後に、2023年度前半から第3段階として複数の実証試験を実施するとされている²⁶⁾。この実証実験の結果は、陸上での民間航空機の超音速飛行を可能とする騒音レベルを基本とした規則制定のための情報として米国及び世界中の規制当局に提供される²⁷⁾。

これらの技術が確立し、必要な規則が整備され、運航の採算性が現実的なレベルに到達すれば、より遠くの都市を短時間で結ぶことが可能となり、新たな市場が生まれることは想像に難くない。また、運航者側の視点として、大洋をまたぐ路線における使用機材の使用率が、従前は1日1運航となっていたものが、往路・復路の2運航となり、より多くの収益を上げて資産活用度の向上が可能となる。

導入により広がる可能性は非常に大きいものの、潜在的な運航者と見られるネットワークキャリアの一部からは懐疑的な意見も聞かれる。前出のデルタ航空バステイアンCEOは、ナショナル・プレス・クラブにおけるインタビューの中で、「超音速での高級旅行より、誰もが航空を利用できるようにすることの方を支持する」と述べ²⁸⁾、現在進められている超音速機開発の在り方に疑問を呈している。

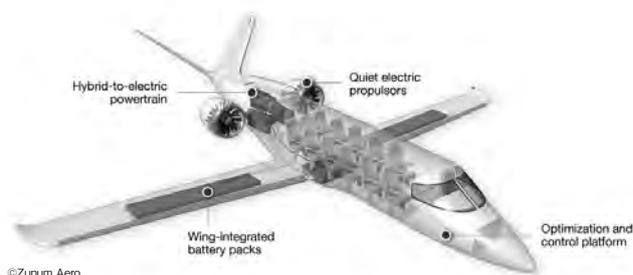
また、環境負荷や燃料消費量の大きさを問題視する研究も発表されている。環境関連のIPOである国際クリーン交通委員会(ICCT)の研究によると、超音速航空機は現行のジェット機と比較して1旅客当たり燃料消費量が5~7倍に達し、窒素酸化物及びCO₂排出量が国際民間航空機関(ICAO)の定める環境基準をそれぞれ67%と38%超過しているとのことである²⁹⁾。

この他にも民間商用運航を実現する上では、混雑を極めて現在の航空管制空域にこの高速の航空機をいかにして組み入れるか、拡張余地の残されていない多くの空港で受け入れられるものにしなくてはならないなど、この航空機の運航を受け入れるインフラに関する課題も残されている。

これらの課題を鑑み、今後の開発においては、市場のニーズと事業化の要件を十分に把握した上で、事業として成立する適切な性能・構造のものとしていく必要があると考えられる。

3—全電動航空機・ハイブリッド航空機の開発

ここまで内燃機関を動力とした航空機の開発とその効率の向上について見てきたが、内燃機関はCO₂や窒素酸化物といった排出物の問題を抱えており、これを低減する手法として乗用車と同様、航空機でも電動化の動きが見られるようになってきている。また、電動機は出力の調整が迅速かつ容易に行えること、内燃機関より構造が簡素で、部品数等が低減できる



©Zunum Aero

出典：Zunum Aero社ウェブサイト

■図一3 Zunum Aero社ハイブリッドリージョナルジェット構造

といった利点もあり、今後開発が大きく進む可能性がある。

電動化に必要な要素としては、エネルギー源となる電力を蓄える電池と電気を動力とした推進機構、これらの機構を効率よく運転するための電子回路などが挙げられる。電気自動車の開発の進展などに伴い、これらを航空機に搭載することが現実的になってきている。

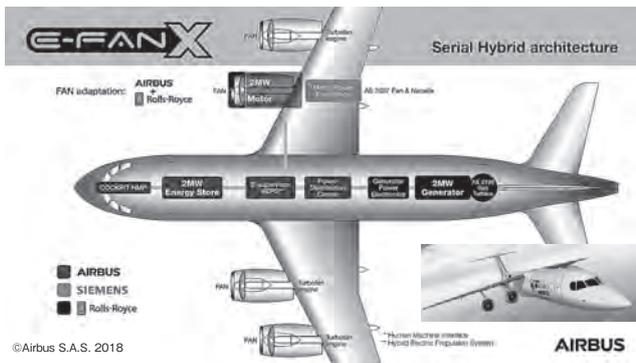
乗用車と同様、商用民間航空の分野においても全電動航空機よりハイブリッド航空機の登場が先になりそうである。スタートアップ企業のZunum Aero社は、現在12人乗りのハイブリッドリージョナルジェット機を開発しており、2019年に試験飛行を開始し、2022年初頭には商用運航を開始することを計画している³⁰⁾(図一3)。

この航空機は機体後部に500kWの永久磁石モーターで駆動する低圧ダクトファン2機を搭載し、これにより推力を得る。このモーターは、機体後部に設置されたガスタービン発電機及び翼に格納された電池から供給される電力で回転する。離陸時は電池から、巡航時には発電機から主に電力が供給されることとされている。この航空機の最高巡航速度は340マイル/h(約550km/h)、航続距離は700マイル(約1,130km)とする計画で、発生する騒音は従来機より75%小さい65EPNdBに低減される³¹⁾とのことである。

同社は、ボーイングやジェットブルーからの出資を受けており、チャーター機運航及びカリフォルニア州とその近郊でプライベートジェット機によるライドシェアリングサービスを展開するジェットスイートがローンチカスタマーとして最大100機を機材として採用する計画を明らかにしている³²⁾。

航空機製造大手エアバスも航空機の電動化に取り組んでいる。エアバスはロールスロイスとシーメンスと提携し、ハイブリッド電動商用航空機のデモ機開発に乗り出した。E-Fan Xと呼ばれるデモ機は、BAe146型機の四つのガスタービンエンジンの内、1機を2MWの電動モーターに置き換えるというもので、地上にて包括的な試験を行った後に2020年に飛行試験を実施する見込みである(図一4)。

この計画では、エアバスが機体と全体システムを受け持ち、



出典：エアバス社ウェブサイト

■図—4 E-Fan Xにおける各社の分担

ロールスロイスが発電機関連、シーメンスがモータと電力管理システムを担当することとなっている。

このデモ機の運航により、高出力推進システムにおける課題や電磁波問題などについて確認を行う。また、ハイブリッド技術の成熟を図り、性能や安全性、信頼性を向上させると共に、将来的な電動航空機の認証に係る要件確立を目指す³³⁾とのことである。

これらのハイブリッド航空機やその後に登場が期待される全電動航空機が実現すれば、化石燃料に頼ることなく、環境にやさしく、静かで効率的な航空機の実現が期待される。しかし、これらの実現には、いかに駐機中に飛行に必要な電力エネルギーを供給するかという課題もある。高速充電もしくは予め充電しておいた電池への積み替えといった手法が考えられるが、空港のような地上インフラでは、これらの航空機の受入れのために電力供給態勢の整備が求められる。ただこれは観点を変えれば、新たな供給事業誕生の可能性を秘めているとも言えよう。

4—新たな空の移動手段の開発

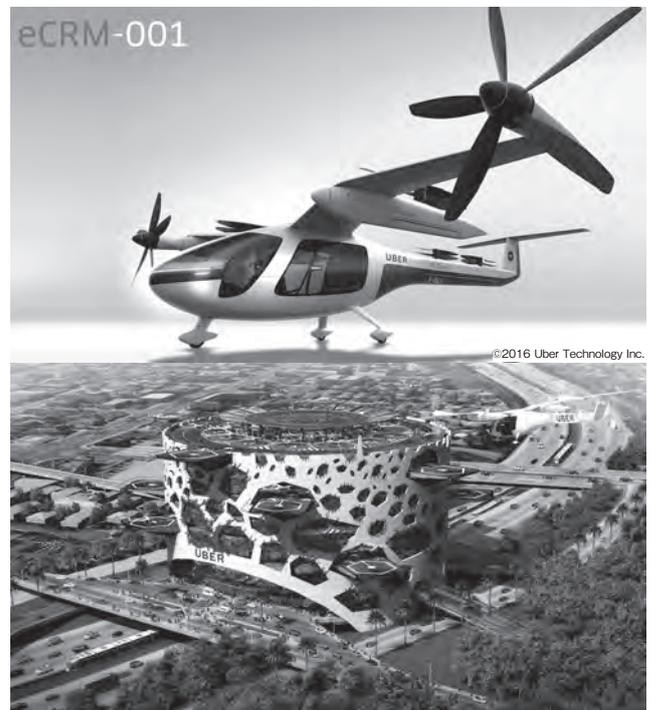
航空機の電動化の流れは、前述してきた従来の航空運送事業用の航空機の他に、無人航空機システム (UAS) の進化という形でも表れてきている。UASでは電動の推進器が用いられる例が多く、深層学習を用いて適切に姿勢を制御したり、障害物を回避したり、GPSと地図情報を統合して自身で目的地まで移動するといった自律運転技術の開発が進んでいる。

UASは過去に存在しなかった新しい交通運輸形態であることもあり、規制が技術進歩の速度に追従できておらず、規則の整備が十分とは言えない状態である。産業界は、小さな荷物の運搬や上空からの撮影に限らず、UASに様々な可能性を見出し、これらを実現して産業の発展を確かなものとするためには、技術の発展のみならずUASに関する体系的な規制・規則の制定が不可欠であり、喫緊の課題となっている。

このような状況を受け、UASの可能性や規制の在り方について検証を進めるために、米国運輸省 (DOT) は3年間のUAS統合パイロットプログラム (UIPP) を開始した。このプログラムでは、UASを統合する中で地域と国としての利害の均衡を図り、既存空域システムに安全にUASを組み入れるための情報を得ることを目指している³⁴⁾。

有人、無人にかかわらず、航空機の安全航行の実現に欠かせないのは、適切な管制システムである。UIPPやその他の民間主導のUASパイロットプログラムでも航空管制に関して研究するとされているが、NASAはUASを含めた航空機の管制システム (UTM) に関する研究を最も精力的に進めている機関の一つである。NASAは、UASを含む航空機の都市部における運航 (Urban Air Mobility, UAM) について、産業界や学界、規制当局と連携し、実現に向けた安全上、運航上の課題を抽出し、解決策を模索するとしている³⁵⁾。

NASAのUAM研究の中でひととき注目を集めているのは、ライドシェアリングサービスを展開するスタートアップ企業のウーバーとの共同プロジェクトである。ウーバーは、電動垂直離着陸機 (eVTOL) を用いた新たな空飛ぶタクシーサービス「ウーバー・エア」のデモ飛行を2020年に開始し、2023年にはダラスとロサンゼルス、そして米国外のもう1都市で商業運航を開始することを計画している³⁶⁾。2018年5月にNASAとウーバーの間で結ばれた第2回航空宇宙契約では、ウーバーの「エレベート」構想を共有して、ダラス・フォートワース空港の空域を



出典：ウーバー・エレベート2018

■図—5 eVTOL共通参考モデルeCRM-001 (上)、ハンフリーズ&パートナーズによるスカイポートコンセプト (下)

飛行するケースについてシミュレーションを行い、混雑空域で新たな航空機システムを取り込む際の安全上の課題を特定する³⁷⁾としている。ウーバーは、この構想実現に向けて複数のeVTOLメーカーやバッテリーパック供給事業者、急速充電事業者等と必要となる技術の開発を進めている³⁸⁾。併せて、複数の建築設計事務所から使用される航空機の離発着施設「スカイポート」に関するコンセプトを募集し、必要なインフラ整備に関する検討も進めている³⁹⁾。

これらの新たな航空機に関する技術の発展により、より迅速に自由に目的地に到達することが可能になると見込まれる。一時的に既存の交通機関や運輸システムの利用が低下する可能性はあるものの、これまで存在しなかった交通モードの誕生により、アクセシビリティや接続性、利便性が向上し、他のモードと組み合わせた新たな移動の形が現れたり、需要が喚起され、新たな産業が創出されることなどが期待される。

5—まとめ

ここまで議論してきたとおり、近年、航空機技術は大きく発展を遂げてきた。まずは既存の産業が求める性能面での改良が図られ、運航費用の低減や航続距離の延長という形で運航者に便益がもたらされた。そして、その結果として、航空企業にとって路線設定の幅が広がり、過去に成立しなかった長距離格安事業モデルも登場し、新しい需要の発掘という成功につながってきている。

既存の航空機の性能向上という方向での技術の発展に続いて、運航速度を飛躍的に向上した航空機の実現に関する見通しが立ってきている。民間商用航空での超音速飛行実現に立ちはだかっていた運航費用や環境への影響といった課題を克服する技術開発が進み、今後数年で現行の2倍以上の速度での運航が実現する可能性がある。これが実現すれば、航空の最大の利点である速達性が高まり、移動手段としての価値が大きく向上する。換言すると、超音速機は新たな需要を開拓し、新規に市場を創出する大きな潜在力を秘めていると言える。

また、高速化と同時に推進力動力源の電化も進んできており、電気と化石燃料のハイブリッド小型航空機が実現の一手手前にまで迫ってきている。この開発が進むことにより、航空機の推力エネルギー源の多様化と環境負荷低減が図られるのに加え、推進器を中心に構造が簡素化され、航空機製造事業への参入障壁が下がるという効果が見込まれる。その結果として、新規参入が増えて競争が促進され、機体価格の低減が実現し、路線網の拡充による選択肢の増加や安価な航空

券価格という形で消費者に還元されることが期待される。

そして、動力の電化や人工知能を用いた制御技術の向上等の産物として、都市上空を小型の航空機で飛行するという新たな交通形態の誕生が現実味を帯びてきた。これは、道路や空港のような大規模インフラを整備することなく、自由に短時間で目的地に到達することを可能にするモビリティであり、航空のみならず、従来の交通の概念を大きく変えるほどのインパクトを持っていると考えられる。例えば、山岳地のように交通網が整備されておらず、整備しても採算の見込みの立たない地域へのアクセスを比較的安価で実現することができる。また、渋滞が多発するなど、需要がインフラ処理容量を超えている地域内の移動を円滑化することにも資すると見られる。さらに、従来の交通モード間をつなぐコネクタとして機能することも期待される。

このように航空機技術は近年、効率面や航続距離のような性能面で改善が図られ、事業運営上の自由度を航空企業にもたらし、顧客の選択肢を増やすことに貢献してきた。これに続く次に想定される技術の進展は、圧倒的なスピードでの移動や、場所を問わない自由なアクセスを実現することとなり、運航者である航空企業とそのサービスを利用する消費者にこれまでの常識を大きく上回る価値をもたらすものとなる。

技術は我々の想像を超えた速度で進展しており、これに合わせて新たな事業が次々と生まれてきている。これらは必ずしも全てが成功に結び付いているわけでもなく、時には後退することもあり得るが、交通政策や規制の在り方、民間企業の事業の方向性といった社会の動向に深く関わってくることに疑いを挟む余地はない。このことから今後も、これらの技術の進展とこれに伴う社会の動向の変化に注目していきたい。

参考文献

- 1) スミソニアン国立アメリカ歴史博物館, http://americanhistory.si.edu/onthewater/exhibition/5_3.html, 最終アクセス2018年7月16日。
- 2) 世界銀行 統計データバンク, <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR?end=2017&start=1970&view=chart>, 最終アクセス日2018年7月16日。
- 3) 米国会計検査院 報告書、『航空規制緩和～小規模・中規模・大規模都市における航空運賃及びサービス、安全性の変化』, <https://www.gao.gov/archive/1996/rc96079.pdf>。
- 4) ボーイング社787型機ウェブサイト, <https://www.boeing.com/commercial/787/>, 最終アクセス日2018年7月17日。
- 5) ボーイング社787型機ウェブサイト, <https://www.boeing.com/commercial/787/>, 最終アクセス日2018年7月17日。
- 6) ボーイング社ウェブサイト, <https://www.boeing.com/history/products/777.page>, 最終アクセス日2018年7月20日。
- 7) エアバス社2018年4月23日 プレスリリース, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/04/ultra-long-range-a350-xwb-completes-first-flight.html>, 最終アクセス日2018年7月20日。
- 8) シンガポール航空2018年5月30日プレスリリース, http://www.singaporeair.com/en_UK/media-centre/press-release/article/?q=en_UK/2018/April-June/2018-180530, 最終アクセス日2018年7月20日。

- 9) カンタス航空2018年3月24日プレスリリース, <https://www.qantasnewsroom.com.au/media-releases/qantas-starts-history-making-flight-direct-to-london/>, 最終アクセス日2018年7月20日.
- 10) ボーイング社737MAX型機ウェブサイト, <https://www.boeing.com/commercial/737max/>, 最終アクセス日2018年7月20日.
- 11) エアバスA320ceo型機ウェブサイト, <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320ceo.html#details>, 最終アクセス日2018年7月20日.
- 12) エアバス社機材カタログ (2018年ファンボロー・エアショー用), <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus-Family-Figures-booklet.pdf>.
- 13) Aviation Week & Space Technology [2018年7月20日], <http://aviationweek.com/commercial-aviation/airbus-moves-ahead-a321xr-definition>.
- 14) Air Transport World [2017年7月18日], <http://atwonline.com/airframes/norwegian-performs-first-transatlantic-737-max-flight>.
- 15) Aviation Daily [2018年4月25日], <http://aviationweek.com/awincommercial/jetblue-mulls-transatlantic-flying>.
- 16) ボンバルディア社プレスリリース [2017年10月16日], <https://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.binc-20171016-airbus-and-bombardier-announce-c-series-partnershi.bombardiercom.html>.
- 17) Aviation Week & Space Technology [2018年7月16日], <http://aviationweek.com/commercial-aviation/airbus-a220-order-boosts-mini-narrowbody-market-0>.
- 18) Aviation Week Network Show News [2018年7月15日], <http://aviationweek.com/farnborough-airshow-2018/airbus-sees-several-hundred-a220-orders-year>.
- 19) Aviation Week & Space Technology [2018年7月11日], <http://aviationweek.com/farnborough-airshow-2018/interview-boeing-ceo-opens-his-playbook>.
- 20) AIN Online [2017年9月26日], <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2017-09-26/boeing-opens-new-office-nma-study>.
- 21) Aviation Daily [2018年7月12日], <http://aviationweek.com/awin-only/airlines-show-high-level-interest-nma-differ-definition>.
- 22) Bloomberg [2018年2月13日], <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-13/delta-ceo-eyes-launch-customer-status-as-boeing-mulls-797-jet>.
- 23) ウォールストリートジャーナル [2018年6月19日], <https://www.wsj.com/articles/the-future-of-flying-flights-could-be-getting-much-shorter-1529425637>.
- 24) ブーム・テクノロジー社ウェブサイト, <https://boomsupersonic.com/>, 最終アクセス日2018年7月20日.
- 25) 米国連邦航空規定14 CFR Section 91.817 – Civil Aircraft Sonic Boom
- 26) Aviation Week BCA [2018年7月20日], <http://aviationweek.com/bca/nasa-use-x-59a-quest-demonstrator-see-acceptance-low-booms>.
- 27) NASAプレスリリース [2018年6月27日], <https://www.nasa.gov/aero/nasa-experimental-supersonic-aircraft-x-59-quest>.
- 28) ナショナル・プレス・クラブでのインタビュー [2018年7月3日], https://archive.org/details/CSPAN2_20180703_130600_Delta_Air_Lines_CEO_Ed_Bastian_at_the_National_Press_Club.
- 29) ICCT 研究報告書 2018-12, *Environmental performance of emerging supersonic transport aircraft* [2018年7月17日発行]. <https://www.theicct.org/publications/environmental-performance-emerging-commercial-supersonic-aircraft>.
- 30) IEEE Spectrum [2018年4月26日], <https://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/zunum-aeros-hybrid-electric-airplane-aims-to-rejuvenate-regional-travel>.
- 31) Zunum Aero社ウェブサイト, <https://zunum.aero/aircraft/>, 最終アクセス日2018年7月23日.
- 32) BlueSky Business Aviation News [2018年5月21日], https://blueskynews.aero/issue_464/JetSuite-becomes-launch-customer-for-Zunum-hybrid-aircraft.htm.
- 33) エアバス社プレスリリース [2017年11月28日], <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus--rolls-royce--and-siemens-team-up-for-electric-future-par.html>.
- 34) 米国連邦航空局UAS統合パイロットプログラムウェブサイト, https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/uas_integration_pilot_program/, 最終アクセス日2018年7月25日.
- 35) NASAプレスリリース [2017年11月7日], <https://www.nasa.gov/aero/nasa-embraces-urban-air-mobility>.
- 36) ウーバー・テクノロジー社「ウーバー・エレバート」構想ウェブサイト, <https://www.uber.com/info/elevate/>, 最終アクセス日2018年7月25日.
- 37) NASAプレスリリース [2018年5月8日], <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-uber-to-explore-safety-efficiency-of-future-urban-airspace>.
- 38) Aviation Week & Space Technology [2018年5月17日], <http://aviationweek.com/future-aerospace/uber-details-path-aerial-ridesharing-massive-scale>.
- 39) Weekly Of Business Aviation [2018年5月10日], <http://aviationweek.com/awinbizav/uber-selects-skyport-finalists>.