

フロンティア・テクノロジーの 社会実装に向けて

株式会社三菱総合研究所
フロンティア・テクノロジー本部

はじめに ～先進技術に関するわが国の危機～

わが国には、自他ともに技術立国と認める時代が確かにあった。戦後の高度経済成長期にわが国の製造業はめざましい成長を遂げ、「メイド・イン・ジャパン」が高品質な製品の代名詞となった。

その後、バブル崩壊、リーマンショック等の社会経済環境の変化、インターネットの爆発的な普及によるビジネス環境のグローバルレベルでの変質、気候変動への対応重視など企業に求められる価値の転換といったそれまでにない波の到来に、わが国はうまく適応しきれていない。それは「失われた 30 年」のような言葉に凝縮されている。

先進技術を生み出し、高品質な「モノ」として世に出し続けていたかつての技術立国は、現在、グローバルな競争力を失いつつあると言わざるを得ない。競争力の低下は、外貨獲得力の低下ひいては国力低下に繋がる。この危機を脱し、ふたたび先進技術立国の称号を取り戻すことは、政府、産業界、学术界、そしてわが国市民の希望であろう。

では、わが国に不足しているものは何か。それは技術の「社会実装力」ではないか、と私たちは考える。新たな技術を開発する力、高品質化を追求する力、は競争力を維持できているが、それをモノやサービスとしていかに社会や一般市民に持続的に利用されるように仕立てていくか、という観点で、グローバルな競争相手に劣後していると見る。高品質なモノを生産すれば売れる時代は過ぎ去り、ユーザーである市民の細かいニーズ、安心・安全の重視、ライフスタイルの変化、などに対応する「社会受容性」への着意が重要になっている。

わが国の内情を見たときの危機も認識する必要がある。わが国の労働力人口は減少の一途をたどり、これまで人手に頼っていたサービス維持が困難になる。こうした危機を回避するために先進技術の力が必要である。人手に代わる、または補完するサービス形態を実現する技術、逆に、先進技術を応用することで新たなサービス形態を生み出す、そうした工夫や狙いが必要になる。

このレポートでは、わが国の社会課題に対する現状を踏まえ、先進技術の社会実装に係る海外事例研究を行い、先進技術の「社会実装力」を高めるための考察を行った。中でも、今後私たちが力を入れて取り組んでいく空・海・宇宙といった未踏領域(これを私たちは「フロンティア領域」と呼ぶ)の開発・利用を進めることによりワクワクする豊かな未来社会の創造に貢献し、ユーザーが直に(リアルに)その恩恵に触れることができるハードウェア技術(これを私たちは「フロンティア・テクノロジー」と呼ぶ)に焦点を当てる。フロンティア・テクノロジーは、AI 等のデジタル/ソフトウェア技術と相補的な関係にあるが、社会実装までのリードタイムが必要であ

るとともに、社会受容性をより意識した技術開発・導入が重要であり、社会実装に向けた戦略的な仕掛けが必要である。私たちは、フロンティア・テクノロジーの社会実装を推進することにより、ワクワクする豊かな未来社会の創造に貢献する想いをもち、このレポートをとりまとめた。

株式会社三菱総合研究所
フロンティア・テクノロジー本部
2021年9月

MRI

目次

1. わが国の現状	5
2. フロンティア領域の利活用	12
3. 海外事例（社会実装の成功と失敗）	17
4. フロンティア・テクノロジーにとっての重要な視点	46
5. 社会実装力向上のためのキーファクター	60

1.

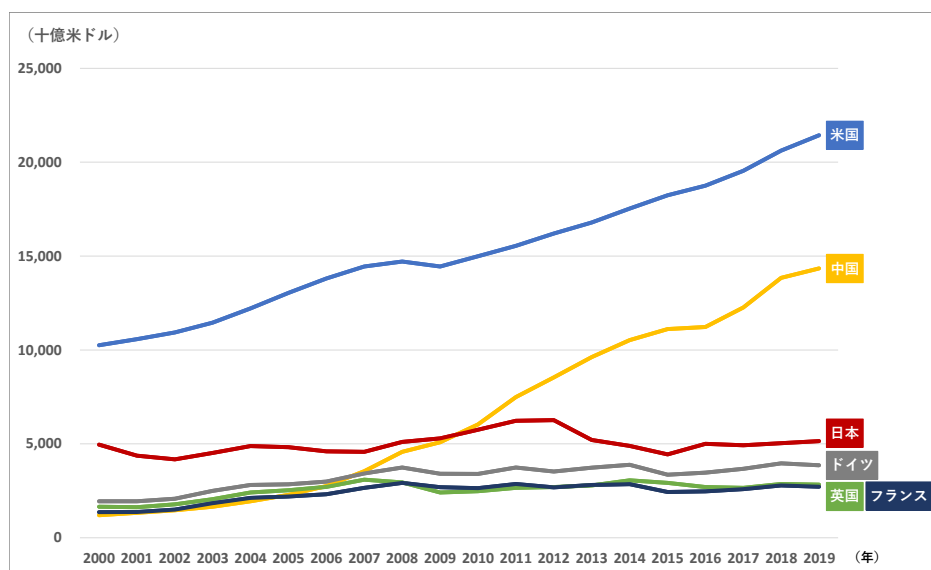
わが国の現状

社会経済環境の変化

グローバルマーケットにおける地位

第二次世界大戦以降、わが国では戦後復興、高度経済成長、バブル景気と、1990年代までは、経済的にも飛躍的な発展を続けてきた。この間、わが国の製造業は、高品質・低価格を武器に、国際的に高い競争力を維持していた。

ところが、バブル景気の終焉以降、新興勢力の台頭とも相まって、グローバルマーケットにおけるわが国の立場が大きく変わってきた。主要国の GDP の推移(下図表)を見ると、2000年にはわが国は米国について第2位の規模であったが、2009年に中国に抜かれて以降、第3位である。そればかりか、中国の急速な成長や米国の堅調な成長に比較し、経済の停滞が如実に表れている。英国のシンクタンクである Centre for Economics and Business Research は、中国は2028年までに米国を抜いて世界最大の経済大国になり、わが国は2030年までにインドに抜かれ世界第4位に転落すると予測している¹。

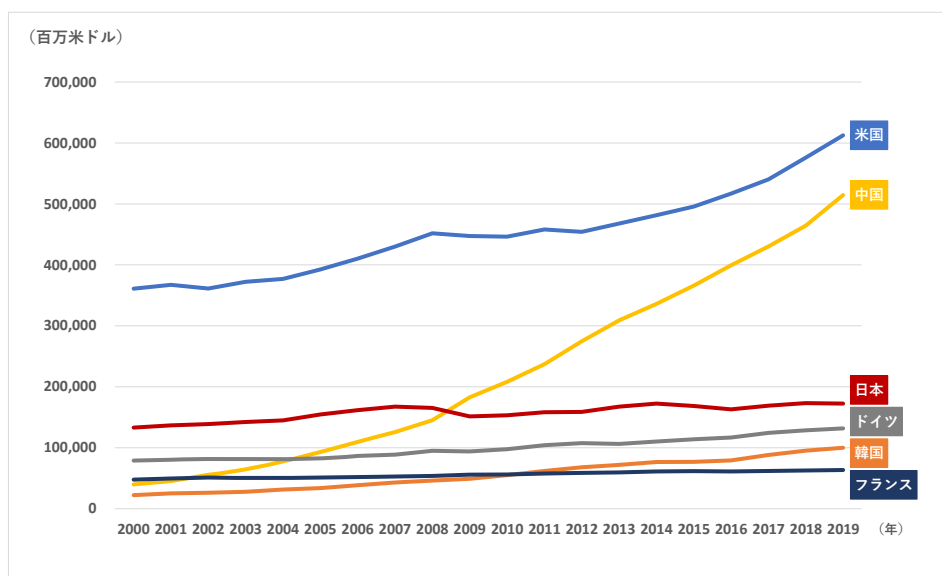


図表 主要国の GDP の推移²

さらに、わが国の研究開発費総額は、2008年までは米国について第2位であったが、2009年に中国に抜かれ第3位となった(下図表)。

¹ Centre for Economics and Business Research, “World Economic League Table 2021”, <https://cebr.com/wp-content/uploads/2020/12/WELT-2021-final-23.12.pdf> (以降、ウェブサイトの閲覧日はすべて2021年8月12日)

² IMF, “World Economic Outlook Database (Apr.2021)”よりMRI作成



図表 主要国の研究開発費総額³

特に米国、中国、日本について見てみると、GDP の推移と研究開発費総額の推移には強い相関関係があることが見て取れる。研究開発費のレベルが技術開発力を示すものと考えれば、技術開発力はそのまま GDP としての国力に直結していると言え、先進技術への投資を有効に行っていくことが今後ますます重要になることを示唆している。

また、OECD が高度人材(博士、修士の学位を有する労働者)、起業家、大学生にとって、各国の労働市場としての魅力を調査したところ⁴、高度人材にとって、能力にふさわしいチャンスが与えられるかどうかについては日本が最下位であった。一方で、大学生にとって良い教育が受けられるチャンスと高度人材にとって良い研究環境が与えられているかについては上位であり、日本で教育を受け研究経験を積んだ優秀な研究者が国外流出していることが推察される。

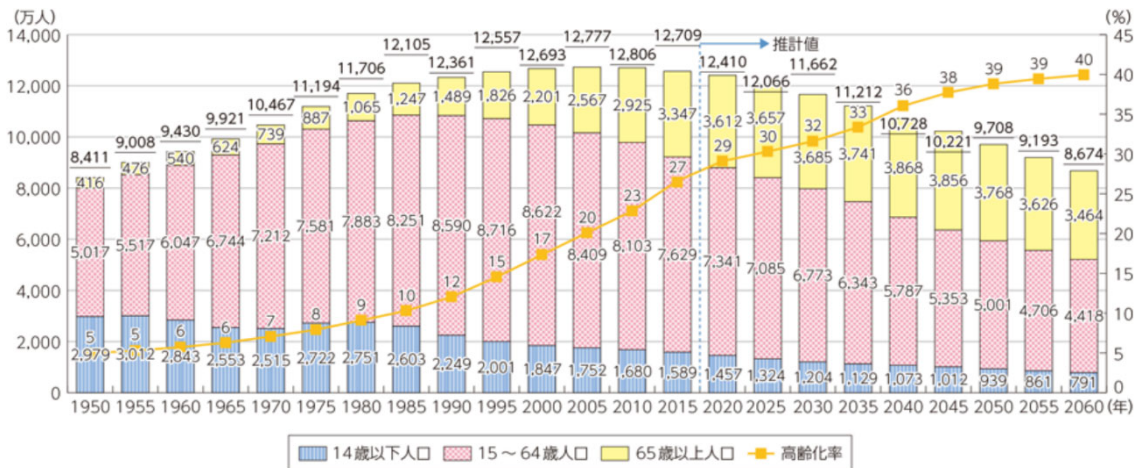
先進技術立国の復権を目指すわが国は、こうした現状を認識のうえ、特に科学技術に関するグローバルマーケットにおける競争力を確保する施策を打つとともに、技術開発の先にある社会実装を強く意識した仕組み・工夫を講じていくことが必要である。

人口構造

わが国の総人口は、2008 年をピークに減少している(下図表)。生産年齢人口(15 歳から 64 歳)は 1995 年にピークを迎えその後減少の一途を辿っている。高齢化率は 1950 年代から一貫して上昇傾向にあり、2060 年には 40%に達すると予測されている。

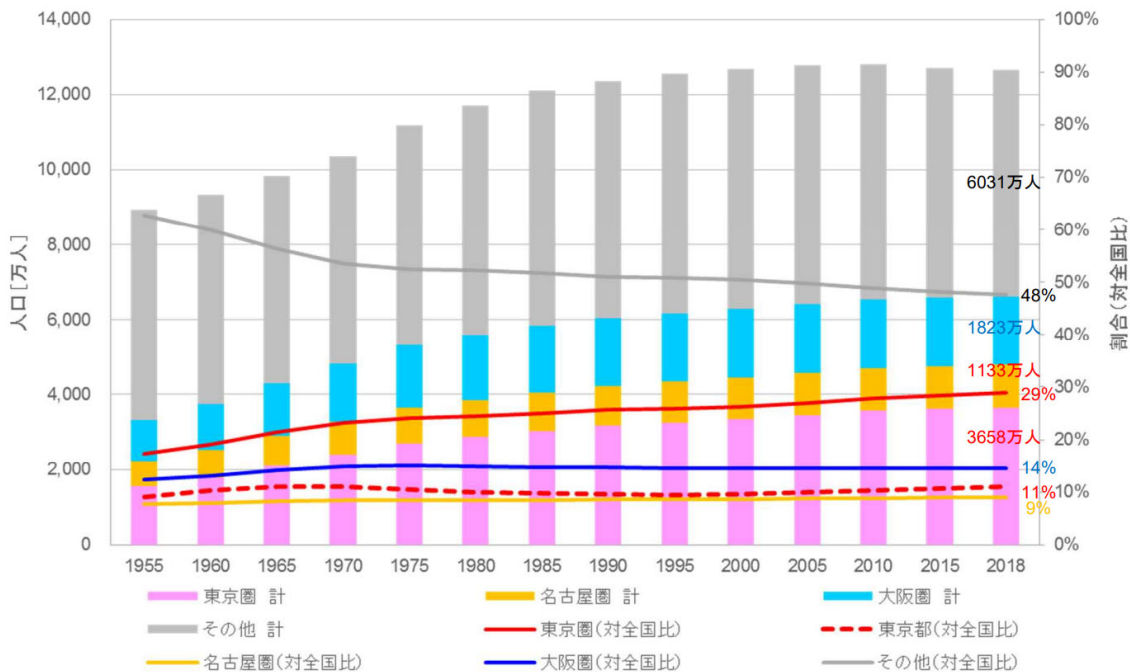
³ OECD, “OECD Data”より MRI 作成

⁴ OECD, “Talent Attractiveness”, <https://www.oecd.org/migration/talent-attractiveness/how-does-your-country-compare-in-each-dimension.htm>



図表 日本の人口の推移⁵

人口減少・高齢化に加え、都市部への一極集中も進んでいる。圏域別の人口推移(下図表)を見ると、東京圏(埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)のみが増加傾向にあり、東京圏、名古屋圏(岐阜県、愛知県、三重県)、大阪圏(兵庫県、京都府、大阪府、奈良県)を除く地方圏では減少傾向となっている。今後、地方圏では過疎化・高齢化・活動量低下がさらに進み、利用者の減少に伴う公共交通機関等の維持が困難な状況が益々顕在化してくると考えられる。



図表 圏域別の人口推移⁶

⁵ 総務省, “我が国の人口の推移”, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc135230.html>

⁶ 国土交通省, “東京一極集中の現状と課題”, <https://www1.mlit.go.jp/kokudoseisaku/content/001390443.pdf>

労働人口の減少は人手によるサービス維持が困難になることを意味し、特に地方圏では基本的な生活インフラをいかに効率的に維持していくかが課題となる。こうした課題の解決には先進技術の適用が欠かせない。無人化・自動化・自律化を実現するテクノロジーを基盤としたソリューションを社会インフラとして導入し、安心・安全を確保した運用を定着させていくことが今後ますます重要になる。

価値観の多様化

経済成長の鈍化に加え、地球環境への配慮を重視する経済活動が求められるようになるなど、企業行動にも変容の波が押し寄せている。また、多様なライフスタイル、ワークスタイルが求められるようになり、市民一人一人の価値観も多様化し、結果として産業や製品に求められるニーズも多様化している。

2015年に国連でSDGsが採択されて以降、自治体や民間企業、投資家、消費者の間では、単純に経済成長を求めるのではなく、持続可能性を重視した「責任ある消費と生産」の志向が高まっている。下図表は、地域別の ESG 投資額を示したものであるが、いずれの地域においても ESG 投資額は軒並み増加している。ヨーロッパでは最も先進的に持続的な社会の実現への取組みが進められているのをはじめ、持続可能性の強化に向け、世界的に機運が高まっている。

産業界には多様化するニーズに対応した製品を、持続可能性を有する方法で開発していくことが求められている状況である。

Region	2016	2018
Europe	\$ 12,040	\$ 14,075
United States	\$ 8,723	\$ 11,995
Japan	\$ 474	\$ 2,180
Canada	\$ 1,086	\$ 1,699
Australia/New Zealand	\$ 516	\$ 734
TOTAL	\$ 22,890	\$ 30,683

図表 地域別の ESG 投資額(十億米ドル)⁷

自然環境の変化に伴う災害の激甚化

近年、地球温暖化等に起因する気候変動問題に注目が集まっている。わが国においては、世界平均よりも速いペースで気温が上昇しており、真夏日・猛暑日や、地域に被害を及ぼす規模の豪雨が増加している。今後、気候変動のさらなる影響として、河川の流量増加による水害・

⁷ Global Sustainable Investment Alliance, “2018 Global Sustainable Investment Review”, http://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2019/03/GSIR_Review2018.3.28.pdf

土砂災害や、台風の大型化による高潮等が予測⁸されており、従来の災害対策から、さらに体制を強化する必要性が生じている。

また、複数のプレートの境界に位置しているわが国では、大型の地震災害の危険性が叫ばれて久しい。特に、太平洋側の広範囲への津波を伴うと予想される南海トラフ巨大地震及び人口や建造物が密集している首都圏での発生が予想される首都直下地震については国家的な危機となるとみられており、国民生活及び経済活動への深刻な影響が懸念される。

激甚さを増すこうした自然災害に対しても、先進技術は積極的な貢献を行っていくべきでありそのポテンシャルを有している。例えば、建物の火災や倒壊の状態やそれによって寸断された道路の状況を素早く正確に把握するために、ドローンを活用した上空からの動画・画像の撮影は大きな効力を発揮する。無人化・省人化が可能な価値提供ソリューションである点も、わが国が直面する社会課題に対応するものである。

⁸ 環境省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 気象庁, “気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～”, http://www.env.go.jp/earth/tekiou/report2018_full.pdf

フロンティア・テクノロジーが貢献する社会変革

社会経済環境の変化に加えて、新型コロナウイルス(COVID-19)の世界的な感染拡大は、人々の生活、企業活動を大きく変えるものとなった。これに伴い、人や企業の価値観にも変化が生まれ、今後目指すべき方向性のパラダイムシフトが起こりつつある。

物流・人流は、大量輸送という手法により効率性を確保していたが、密となる集団での移動を回避する目的などから、今後はよりパーソナル化したニーズに応える手段に価値が見出されると考えられる。空飛ぶクルマなど次世代のエアモビリティを実現するテクノロジーはそのカギを握るものとなる。

また、決められたタイムテーブルでの移動に対して、センシングや無線通信の技術によってリアルタイムで需要と供給のバランスを最適化し、サービスの生産性を高めるような指向にも需要が高まると考えられる。需要側のリアルタイムな個別ニーズに対応して、供給側はサービス全体の状態を逐次調整していくが、これを無駄なく効率的に行うためには、無人化・自動化・自律化の技術の活用と併せて、センシング技術により自身の三次元的位置、速度、加速度、周囲のサービス主体との相対的位置関係等を正確に把握し、高速かつ大容量の無線通信技術により必要な情報を伝達することが必要となる。センシングや無線通信の技術は、フロンティア・テクノロジーを有効に活用していくための基盤となる重要な要素技術と位置付けられる。

さらには、これまでなにごとにも非効率性は受容されにくかったが、敢えて非効率性を受容しても安心・安全であることを選択する価値観が定着してきており、モノやサービスを提供する側であるテクノロジーの観点でも、安心・安全の価値は格段に向上すると想定される。フロンティア・テクノロジーの社会実装、社会定着を進めていくうえでは、特に重要な着意になる。

人類の活動空間の観点での大きなパラダイムシフトとして、フロンティア・テクノロジーは、陸上、海上、航空をボーダレスに繋ぐとともに、宇宙空間や深海領域へも活動空間を拡張していくことができる。例えば宇宙空間は、これまで科学研究の対象であり、また国威を示すための象徴的な対象であったが、未来の居住空間、経済活動のための空間として開発・利用がなされていくであろう。

フロンティア・テクノロジーは、現状の社会課題を解決するための手段であると同時に、未来社会に向けた社会変革、未来社会の創造を実現するための推進力ともなる。パラダイムシフトを起こし、社会を変革し、人の価値観を変容させていく力を、フロンティア・テクノロジー自体が有していると私たちは考えている。

2.

フロンティア領域の利活用

前述のように、フロンティア・テクノロジーは、「空」「海」「宇宙」といったフロンティア領域に適用していく技術であり、ユーザーが直に(リアルに)触れることができワクワクする豊かな未来社会を感じることができるハードウェア技術であると私たちは定義した。

本章では、「空」「海」「宇宙」の各々の領域について、これまでの利活用の状況と、今後フロンティア・テクノロジーが貢献しうる期待役割について述べる。

空

空の利活用については、1903年にアメリカのライト兄弟が世界初の動力飛行を成し遂げて以来、欧米を中心に航空機の開発が進められ、安全性の向上とともに、現在では旅客や荷物の効率的な長距離輸送手段として世界中の空を飛行している。航空機の飛行高度については、航空法において最低安全高度が定められ、都市部等では建物等の上端から300m、それ以外のエリアでは地表面・水面から150m等の高度が規定されている。通常の旅客機は、空港周辺の空域で離着陸のために上昇・下降する以外は、10,000m程度の高度を巡航している。その他、空港周辺以外の比較的低高度(数百～数千 m)の空域においては、救命救急や消防防災、その他作業用のヘリコプターが運用されている。

こうした従来の空の利活用に対し、高度150m未満の高度を含めた低高度の空域をより効率的・効果的に活用するための新たな技術として、ドローンや空飛ぶクルマの検討が進められており、空のフロンティア・テクノロジーとして、社会実装の推進が期待される。私たちは、次世代のエアモビリティとして期待されるドローンや空飛ぶクルマの社会実装を、安全かつ円滑に推進することに貢献していくことを指向している。

電動・マルチロータ型のドローンは、手軽に安定した飛行が可能であるという特長から、2010年代半ば以降、ホビー用として爆発的に普及するとともに、産業用としても空撮や農薬散布等への適用が検討され、普及しつつある。一方で、ドローンの活用により高い価値を見出すためには、操縦者から目視可能な範囲を超える飛行(目視外飛行)や、人の判断を介さない制御(自律制御)の実現が不可欠である。これにより、物流、警備、農業、建設、インフラ等、幅広い事業分野における業務プロセスの一部を担い、作業効率化や省人化・無人化を実現し、少子高齢化に伴う労働力減少の影響軽減が期待される。

また、電動で垂直離着陸が可能な新たな航空機である空飛ぶクルマは、従来の航空機に比べて騒音が小さく、離着陸のための滑走路が不要であることから、身近な場所で利用可能な空の移動手段としての実装が期待されている。諸外国では、2016年10月に発表されたUber Elevateに代表される、地上の交通渋滞を回避することで短時間の移動を実現する新たな都市の交通手段(Urban Air Mobility:UAM)や、より長距離飛行が求められる都市間を結ぶ交通手段への適用が検討され、2～7人乗り程度の機体開発が進められている。我が国でも、スタートアップ企業であるSkyDrive社が2人乗りの機体開発を進めるなど、多くの企

業が空飛ぶクルマを用いた旅客輸送の事業化を目指している。既に、2025年に大阪・関西万博が開催される大阪エリアや、県独自のロードマップを策定する三重県などが、空飛ぶクルマの導入に向け積極的に取り組んでおり、都市から空港や観光地への輸送、災害や救命救急など緊急時の輸送等への適用等が検討されている。

海

海は地球上の表面積の約7割を占める。古より、食料の調達先として、移動・輸送ルートとして、憩いの場として、人類はその多大なる恩恵を受けてきた。同時に、高潮・高波などの気象災害をはじめ、津波など、海の持つ負の側面にもさらされてきた。

近年は、漁業や海上輸送のみならず、洋上風力発電など海洋エネルギーの利用、さらには希少金属に富む海底鉱物資源、海洋深層水まで、海の利活用シーンは広がりを見せている。同時に、気候変動による海面上昇や気象災害の激甚化などにより、海洋の脅威を管理する必要性も高まっている。海のフロンティア・テクノロジーとは、そのような「近くて遠い海」をより身近に、より有効に使うための技術と言ってもよいだろう。

特に私たちが注目している技術が、無人運航船及び AUV (Autonomous Underwater Vehicle; 自律型無人潜水機) / ROV (Remotely Operated Vehicle; 遠隔操作型の無人潜水機) 等の次世代海洋モビリティである。わが国の内航海運が抱える船員不足の解消や外航も含めたさらなる安全運航の実現、離島物流の活性化、モーダルシフトへの持続可能な物流・人流への貢献として期待されるほか、漁船の無人化や養殖業の監視・管理による持続可能な漁業への貢献、海洋プラスチックごみの自動回収による豊かな海洋環境実現への貢献も期待できる。渡船や水上タクシーのオンデマンド輸送などの都市インフラとしての利用、その他災害対応、医療支援目的での利用、海洋の脅威にも対応するための気象海象観測プラットフォームとしての利用も考えられるだろう。さらには、洋上風力発電アクセス船 (Crew Transfer Vessel: CTV) の無人化等、洋上インフラへのアクセスも容易になることから、海洋エネルギーの利活用を促進可能性がある。

機械による操船や遠隔地からの操船は現行の法制度では認められていないものの、国際海事機関 (IMO) でも自動運航船のルールに関する議論が進んでいるほか、国内でも 2020 年 12 月に「自動運航船の安全設計ガイドライン」が国土交通省より公表されている。日本財団も 2025 年での無人運航船の実現を目指して、5 つのコンソーシアムへの技術開発助成を実施している等、制度設計や技術開発が加速している状況である。Local5G、Beyond5G など沿岸域の通信環境がますます充実していくこと、ShipDC (シップデータセンター) など船舶・海洋のデータのオープン化の流れなども踏まえ、様々なユースケースを提示し、社会実装に繋げることが求められている。

宇宙

宇宙は人類最後のフロンティアである。かつて宇宙は国家の威信をかけた開発競争が行われてきた。しかしながら現在では少し様相が変わってきている。米国の SpaceX 社の創始者である Elon Musk 氏をはじめ、民間による宇宙開発を目指すものも出始めている。

宇宙領域でのフロンティア・テクノロジーとそれによるわが国の課題解決策について、いくつかの事例を交えて整理する。

通信衛星、特に非静止衛星コンステレーション

1963 年のケネディ大統領暗殺を伝えたのは静止軌道上に打ち上げられた人工衛星であった。このような静止軌道上の通信衛星は増加し、静止軌道がかなり混雑した状態である。静止軌道上の通信衛星以外により低い軌道を使って通信を行う通信衛星が導入され始めている。これらは数百～数千機の通信衛星を高度数千キロに配置(このため「コンステレーション」(星座)と呼ばれている)したシステムである。

現代社会では、通信はライフラインの一つと考えられている。今後、人口の都市部への一極集中などにより、地方における地上通信インフラの新規敷設及び保守が困難になってくることが予想されるが、非静止コンステレーションシステムは面積カバー率 100%の通信インフラを提供することが可能となる。

観測衛星

かつて一部の専門家しか見ることができなかった宇宙からの画像は、Google Earth などにより身近なものになってきた。現在では様々な観測衛星が、官民間問わず打ち上げられ、広範囲の画像を高い頻度で取得することが可能となってきた。取得された画像をもとに人工知能よりいろいろな情報を取得することができる。例えば老朽化した地上インフラや激甚化する自然災害に対しても、宇宙からの画像をもとに早期発見、対策が可能となる。

ロケット推進による長距離移動

米ソ冷戦時代、各国は宇宙へのアクセス手段を確保すべく、高性能、高信頼性のロケットを開発した。しかし現在では Space X 社は従来より安価なロケットを提供しており、一般の人への宇宙旅行を提供しようとしている。この技術の応用例が短時間での長距離移動である。かつて超音速旅客機コンコルドはニューヨーク・ロンドン間を約 3 時間で飛行した。もしロケット推進による長距離移動が実現すれば地球上どこへでも 2～3 時間で行けるようになる。このためのスペースポートの建設が各国で検討されている。

月・火星開発

1969年、アポロ11号により人類は初めて月面に降り立った。その後米国は数度人類を月に送った後、既に半世紀以上が経過した。しかし近年、人類は再度月を、さらには火星を目指すべく、米国をはじめ複数の国で計画が検討されている。これらの月・火星開発で開発される技術は我々の社会課題を解決してくれる可能性がある。

例えば宇宙で食料を供給するためには植物工場を作る必要がある。この技術は地上にも応用でき、労働人口の減少、食糧不足に寄与することが可能である。

月基地や火星基地は人による建設は難しい。遠隔操作される重機やロボットが用いられる。月と地球は38万km以上の距離があり、光の速度でも往復2秒以上かかる。この時間遅延を解消するためには重機やロボットに自律機能を持たせないといけない。自律機能を持った重機やロボットは、建設現場、介護現場などに応用可能で、労働人口の減少、高齢化社会といった社会課題解決に役立てることが可能である。

3.

海外事例(社会実装の成功と失敗)

本章では、研究開発や実証事業の成果を社会実装につなげる有効な仕組みを探ることを目的として、海外の先行事例を研究する。この目的から、フロンティア・テクノロジーに限らず、広く先進技術に係る海外事例を採り上げる。

先進技術が社会で広く利用され、その製品の導入以前にはなかった新しい価値が社会にもたらされたような事例(成功事例)とともに、先進技術を適用した新しい製品が導入されようとしたものの、社会で広く利用されるには至らなかった事例(失敗事例)もあわせて紹介する。

産官学を巻き込んだイノベーション・エコシステムの立役者 米国防高等研究計画局(DARPA)

米国防総省(Department of Defense)に属する国防高等研究計画局(Defense Advanced Research Projects Agency:DARPA)は、1958年の設立以来、米国における長期的かつ高リスクの技術開発を支援し、イノベーションの実現を推進する“イネーブラー(enabler)”として確固たる地位を築いてきた。DARPAにおける研究開発プロジェクトからインターネットや全地球測位システム(Global Positioning System:GPS)など数々の先端技術が社会に送り込まれてきたことは世界に広く知られている。その成功の背景には①柔軟にプログラムを進行させるための裁量がプログラスマネージャーに与えられていること、②迅速かつ簡素化された資金調達プロセスの採用が可能であることなどが挙げられ、これらの要素が同局の先進技術分野における推進力の強さにつながっている。

起業家としてリスクも取るプログラスマネージャー(PM)

DARPAにおけるイノベーション支援の中心は、研究テーマやプロジェクトの選定を自由に選択することができる独立したプログラスマネージャー(PM)である。PMは、政府の役人というよりは、リスクを取ってアイデアを出し、先端技術開発を推進する起業家として機能する。なお、PMが新規プロジェクトを提案する際には以下の「ハイルマイヤー問答(Heilmeier's Catechism)⁹」と呼ばれる一連の質問が評価ツールとして用いられる¹⁰。

- What are you trying to do? Articulate your objectives using absolutely no jargon.
(何をしようとしているのか? 業界用語を一切使わず目的を明確に説明せよ)
- How is it done today, and what are the limits of current practice?
(現在、どのように行われており、何が限界なのか)
- What's new in your approach and why do you think it will be successful?
(当該アプローチの何が新しいのか、なぜ成功すると考えるのか)

⁹ 1975~1977年にDARPA長官を務めたGeorge H. Heilmeier氏が提唱

¹⁰ DARPA, “Innovation at DARPA”, https://www.darpa.mil/attachments/DARPA_Innovation_2016.pdf

- Who cares? If you're successful, what difference will it make? (誰のためか、成功した場合どんな変化があるのか)
- What are the risks and the payoffs? (リスクとリターンは何か)
- How much will it cost? (コストはどのくらいか)
- What are the midterm and final "exams" to check for success? (成功を確認するための「中間試験」と「期末試験」は何か)

通常 PM 自身は主任研究員とならず、特定のコンセプトや技術的なアプローチについて、将来に向けた考えを持つ研究者や運用専門家のコミュニティを構築し、コンセプト実現への取り組みを推進することが主要任務とされる。これらの PM は、学术界や産業界、あるいは政府内の技術職から DARPA に採用されるのが一般的である。PM は、技術プログラムの計画から実行までの間、当該プログラムの総責任者として機能し、3 年から 5 年の任期を終えた後は、DARPA の外の仕事に戻るのが慣行である。

DARPA は優秀な人材を迅速に、より競争力のある給与条件で確保するため、連邦政府職員や契約業者を雇用する際の一般的な要件にとらわれることなく PM を雇用することができる。また、PM が定期的に交代することにより、新しいアイデアが定期的に注入される。優秀な研究者にとっては、DARPA の PM ポジションは科学技術分野における一流の指導者となるためのステップとしての魅力があり、採用は狭き門となっている。

資金調達のスปีドと競争原理

技術開発のペースが加速化する中、DARPA には、有望な研究を見極めて支援するための迅速かつ俊敏な動きが求められている。そこで、DARPA では特別な資金調達手段を整えることで PM による俊敏な動きを支援している。例えば、OTA (Other Transaction Agreements) は、そのような重要なメカニズムの一つで、通常の連邦調達法や規制の対象とならないため、通常の長期にわたる予算取得や調達プロセスを回避し、ほぼ即座にプロジェクトに資金を提供できる柔軟性を備えている。

このような独特な体制により迅速な資金提供を行うと同時に、重要な研究への注目を集め、優れたアイデアを多方面から募る方法として、DARPA では早期から競争原理も広く導入してきた。DARPA は国防総省の軍事的任務の遂行に応用できる可能性のある基礎・先端・応用研究、技術開発、試作品開発の優れた成果を表彰する権限を与えられており、大学や民間企業のチームが困難な技術的課題に取り組むためのコンペを定期的に開催する。コンペには誰でも参加でき、優勝や成績上位などの条件に従い賞金¹¹を受け取ることができる。

¹¹ 賞金額は毎回異なるが、最大で 1,000 万ドルを超えることもある。

DARPA による先進技術開発支援の成功例

DARPA の長期的、ハイリスクの投資には、高い確率で失敗も含まれているが、以下のような成功例が社会にもたらす大規模な変革のインパクトは、数々の失敗から累積されるダメージをはるかに上回るといえる。

CubeSat

従来の衛星の場合、様々な機器をペイロードとして搭載するため衛星の総重量は 1,000～5,000kg とされ、初期投資が膨大となる。一方、CubeSat は一辺が 10cm(1U と呼ばれる)、重量が 1～5kg の衛星と定義されている。モジュールとして従来の衛星に搭載され、衛星が軌道に到達すると、CubeSat が解放され軌道に入る。

CubeSat の初期の開発は、DARPA からの資金提供によって実現した。1990 年代、スタンフォード大学の航空宇宙工学科の教員と学生による「非常に小さく低コストの衛星を設計する」という発想に対し、DARPA の PM は、宇宙科学をより安価で身近なものにする可能性を見出し、概念実証(proof of concept)実験への資金提供を決定した。DARPA は、2000 年に米空軍のロケットに同衛星を搭載した初期ペイロードに資金を提供し、これにより小型衛星が効果的にデータを収集・送信できることが証明された。この成功をもとに、スタンフォード大学の研究者は他の機関と協力して CubeSat 規格を開発し、世界中で採用されるに至った。現在、100 近い大学や企業が、データ収集のための CubeSat の開発・打ち上げを行っている。それまで社会に存在しなかった新たな構想に対し PM の独裁量により投資が決定され、後に広く社会に普及した好例であるといえる。

自動運転車

米国では少なくとも 1980 年代初頭から自動運転車の開発が進められており、1990 年代初頭からは運輸省(Department of Transportation)が高速道路走行用の高度道路交通システム(Intelligent Transport System)全体の構築を支援してきた。DARPA は 1990 年代半ばに、AI による制御を活用した自動運転車の初期研究に資金を提供し、1990 年代後半には、NIST が機械学習の新しいモデルを用いて、自動運転のナビゲーションや交通量検知の新しい技術を開発した。しかし、これらの技術革新は自律制御のための構成要素とはなかったが、諸要素を完全な自動運転車に統合するまでには至らなかった。

転機となったのは、2004 年に DARPA が導入した「グランドチャレンジ(Grand Challenge)」というコンペである。グランドチャレンジは、150 マイルのコースを 10 時間以内に完走できる自動運転車を開発したチームを表彰する競技大会のようなイベントで、研究者、エンジニア、学生、愛好者などで構成されるチームが参加した。DARPA は同イベントを積極的に宣伝し、知名度や影響力の大きい DARPA のコンペにおいて勝利し大きな名声と宣伝効果

を得るべく、多くの大学チームは企業からスポンサーを募って出場した(DARPA からコンペ出場のための開発資金は支給されず、出場者は競技大会に出場させる自動運転車の開発を自己資金で賄う必要がある)。

ところが、2004 年に開催された第 1 回グランドチャレンジは大失敗に終わった。当初応募した 106 チームから書類選考や技術デモンストレーションを経て最終的に選出された 15 チームが参加したものの、15 台のうちほとんどの車両はスタート直後に走行不能となり、最も優れた車両でもわずか 7 マイルしか走行できなかった。しかし、このレースの盛り上がりにより自動運転車研究への後続投資が活発化し、翌年の 2005 年のグランドチャレンジでは、195 チームが応募、選考を経て 23 チームが参加、5 台が完走し、スタンフォード大学が率いるチームが 200 万ドルの賞金を獲得した。2006 年、DARPA は同様の競技を都市の路上で行う「DARPA アーバンチャレンジ(DARPA Urban Challenge)」と名付けて開催した。アーバンチャレンジでは、グランドチャレンジで準優勝したカーネギーメロン大学のチームが、賞金 200 万ドルを獲得した。これらのイベントを通し、大学と民間企業の研究者が連携して AI、コンピュータビジョン、LiDAR(Light Detection and Ranging、光検出及び測距)センシングなどの高度な技術を統合し、自律走行技術の革命的な向上が達成された。また、コンペの成功をうけ、Google、Uber、Tesla などのハイテク企業が自動運転車の開発に多額の投資を行い、さらなる開発のために優勝した研究者の一部を自社に採用した。



1U サイズの CubeSat
出所:NASA¹²



2007 年 DARPA アーバンチャレンジ
出所:カーネギーメロン大学¹³

¹² NASA, “NASA’s Science Mission Directorate Cubesat Initiative”, <https://www.nasa.gov/content/goddard/nasascience-mission-directorate-cubesat-initiative>

¹³ Carnegie Mellon University, “Carnegie Mellon Tartan Racing Wins \$2 Million DARPA Urban Challenge”, https://www.cmu.edu/news/archive/2007/November/nov4_tartanracingwins.shtml

優秀な人材とイノベーション・エコシステムを活用した社会的インパクトの追求

先進技術の実現を推進し続けてきた DARPA の特徴は、精鋭の研究者に PM として大きな裁量を与え、リスクを許容しながら柔軟なプロジェクト採用と実施をサポートすること、また官僚機構ゆえの弊害がこのプロセスを邪魔することがないように、特別な調達メカニズムを用意するなどしてイノベーションの流れが失速しないよう配慮していることなどがあげられる。さらに、多方面からアイデアを集め、研究や技術に対する注目を集める方法としてコンペも行うなど、競争原理を取り入れながら、米国技術が先進分野の最前線をリードし続けるため産官学を巻き込んだエコシステムを構築している。もちろん科学者の立場から技術的な卓越性のみを追求するのではなく、ハイルマイヤー問答からも明確なように国防や社会へのインパクトが常に念頭に置かれていることも特徴的である。

英国におけるコネクテッド自動運転車(CAV) 実用化への取り組み

英国政府は、人為的ミスを防止し交通安全を向上するなどの効果が期待できる「自動運転車革命」が、世界市場における自国の地位を向上させ、社会的、経済的に様々な利益をもたらす機会であると認識している。そこで「自動運転車の普及の可能性を高めるためには人々が信頼できる形での技術開発が必要である」との理解に基づき、英国の産業戦略の一環である「交通の未来(Future of Transport)」プログラムにおいて公的機関、民間企業、非営利団体の関係者が参加し、以下を骨子とする多面的な取り組みが行われている¹⁴。

1. 自動運転車に関する一般市民のニーズや懸念を理解するための幅広い世論調査を実施する。
2. より詳細な議論を行うため、自動運転車に関するパブリック・エンゲージメント(public engagement、市民関与)¹⁵の場を設ける。
3. 自動運転車技術の完成度を高め、消費者の目に触れるようにするためのトライアルを促進する。

この「交通の未来」プログラムは、イノベーション創造に関与するあらゆるステークホルダーが一般市民のニーズに応え、信頼を得ることができるような形で自動運転車を設計し、プロジェクトを構築することを目標として掲げている。その一環として重視されているパブリック・エンゲージメントでは、人々が自動運転車の潜在的な利点について知り、懸念などについて専門家の説明を受けられる機会を提供する。つまり、社会的ニーズに対応した技術開発を行いながら、社会がその技術を受容できるような環境や共通理解の構築が図られている点が特徴的である。以下に上記3点の骨子の概要を紹介する。

世論調査の実施

2017年、運輸省(Department for Transport:DfT)は交通に関連する英国国民の意識や行動を追跡する調査を実施した。具体的には本調査事業を受託した市場調査会社の

¹⁴ UK government, “Future of Transport Programme“, <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-transport-programme>

¹⁵ 公共の問題について、高等教育機関や専門的機関だけでなく、一般市民も積極的に関与することを意味する。ただし、特定の主義主張に偏った運動ではなく、公共的な問題に、いかに一般市民にも考えて関与してもらうか、その仕組みをいかに作るかを考える概念。

参考：UK Research and Innovation, “UKRI Vision for Public Engagement“, <https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2020/10/UKRI-1610202-Vision-for-public-engagement.pdf>

Kantar 社が 2017 年 12 月から 2020 年 9 月にかけて「交通及び交通に関する技術:国民意識の追跡調査 (Transport and transport technology: Public Attitudes Tracker)」と呼ばれる 6 回の調査を行い、主に自動運転車に対する国民の意識の調査を目的としており、以下のような質問が含まれた。

- 完全な無人運転車や自動運転車のメリットがあるとすれば、何だと思いますか？
- 完全な無人運転車や自動運転車のデメリットがあるとすれば、何だと思いますか？
- 完全な無人運転車や自動運転車はまだ日常的に使用することはできませんが、あなたは自動運転車に対する知識をどの程度持っていると思いますか？
- 完全な無人運転車や自動運転車はまだ日常的に使用することはできませんが、現在販売されている車の中には自動運転機能を備えたものがあります。あなたの車にこれらの機能が搭載されていれば、どの機能ですか？また、どの機能を使用したことがありますか？

このような世論調査を経て、当時の一般市民の自動運転車に対する意識や期待・不安等を把握することができたとされる。

「市民対話(public dialogue)」を経た社会受容性確保の試み

上述のような世論調査や車両試験は他国でも散見されるが、自動運転車に関する一般市民との対話を特別に設計し実施する例は英国独自の特徴的な取組みであるといえる。

■ 概要

2019 年、運輸省は科学技術に特化したパブリック・エンゲージメントプログラムである Sciencewise(後述)と共同で、調査・コンサルティング会社の Traverse に委託しコネクテッド自動運転車(connected autonomous vehicles:CAV)に対する意識に関する一連の「市民対話(public dialogue)」を実施した¹⁶。この「市民対話」は、CAV 技術に対する社会受容性を検討すべく一般市民の理解や見解を把握し、運輸省による今後の CAV 政策策定や将来のパブリック・エンゲージメントの企画、また産業界における技術開発に活用する目的で、主催側からの情報提供や市民との対話を行うワークショップという形式で設計され¹⁷、英国内の 5 つの地点で合計 15 回の対話ワークショップが開催された(1 地点につき 3 件開催)。

■ 参加者

¹⁶ UCL Transport Institute, “Social and behavioural questions associated with Automated Vehicles -A Literature Review” https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/585732/social-and-behavioural-questions-associated-with-automated-vehicles-literature-review.pdf

¹⁷ Sciencewise, “What do the public think about connected and autonomous vehicles?”, <https://sciencewise.org.uk/2018/10/what-do-the-public-think-about-connected-and-autonomous-vehicles/>

この活動では合計 158 名の参加者が集められ、2018 年 10 月から 12 月に各参加者が 2 件以上のワークショップに参加することが求められた。参加者の構成は年齢、性別、人種、社会経済的グループにおいて英国の人口分布を反映し、一般市民のサンプルとなるように設定されたほか、技術に対する意識、居住地(都市／郊外／地方の区分)や運転の習慣、自動車の所有率などにおいても多様性が得られるよう設定された。また、各対話の参加者には運輸省等の政府関係者のほか、CAV に関する幅広い経験と関心を持つ産業界、学術界の専門家、その他の関連団体らが含まれた。例えば、以下の民間企業及び業界団体が参加した。

- Ford
- 自動車製造販売協会(Society of Motor Manufacturers and Traders)
- Five AI、Meridian Mobility(CAV ソフトウェア企業)
- Bosch

■ 市民対話ワークショップの開催

3 回のワークショップはそれぞれ異なるテーマを設定して行われた。2 回目、3 回目のワークショップに先立っては、参加者は CAV についての考えや友人や家族との会話、ニュース記事、メディアで見た情報などについて記録することが求められた。

	時間	焦点
第 1 回	3 時間	情報提供、CAV に対する初期の見解や反応
第 2 回	6 時間	将来のシナリオ、トレードオフ、各種条件の説明
第 3 回	4 時間	意見共有と指針の策定

このような対話ワークショップの開催の目的は以下の通りである。

- CAV に関連した政府の戦略と規制の策定に向けた資料とする。
- CAV のメリット(交通安全の向上等)を実現し、潜在的な懸念やデメリット(サイバーセキュリティへの懸念等)を軽減するための技術そのものの開発に向けた資料とする。
- 今後どのように、一般の人々に馴染みのある語彙を用いて CAV に関する市民関与や意識向上を図るかについての資料とする。

また、上記の目的を達成すべく、具体的には以下の点について把握することが目指された。

- 技術に関する参加者の現在の知識
- 自動車の開発と使用に関する参加者の認識、願望、懸念、及びテクノロジーがどのように展開され、完全自動運転の実現に至るまでの様々な潜在的シナリオに対する参加者の反応。
- CAV に関する参加者の願望や懸念をどのように、どのような状況で解決するか。

- どのような状況であれば、人々はライドシェアに寛容になれるのか、あるいはなれないのか。

■ 市民対話の効果

一連のワークショップから、CAV に対する参加者の意識を支える 4 つのテーマが特定された。

1. 安心・安全(技術の信頼性、データの安全性、交通安全、車両試験、個人の安全など)
2. 移動の自由(交通サービス及び長距離移動の管理、信頼性など)
3. 公平性(障害とモビリティ、手頃な価格、利用に対するその他の障壁の克服など)
4. 説明責任(司法、保険、ライセンス発行、過失の確立、説明責任の所在など)

このような市民対話から得られた理解や示唆は様々な方面での活用が考えられている。例えば、ビジネス・エネルギー・産業戦略省と運輸省の共同事業として CAV に関する規制の策定や技術投資、市民関与を促進するためのコネクテッド自律運転車センター(Centre for Connected and Autonomous Vehicles: CCAV、後述)では、同対話から得られた知見が、今後の戦略策定、特に CCAV による CAV 技術に関するコミュニケーション方法の検討や、政府の包括的歳出見直し(Comprehensive Spending Review: CSR)による資金調達(CCAV がビジネス・ケースを策定する際のエビデンスとして)、CAV 技術に関する、今後のさらなるパブリック・エンゲージメントプロジェクトの開発に活用できると見込まれている。

このように技術開発の早期段階から、市民との対話を通じて一般大衆の意識や懸念に関する情報を政府側が把握することで、市民からの理解を得やすく、一般社会のニーズとの関連性が高い政策や技術開発に関する方針を打ち出すことが可能になっていると考えられる。

トライアル促進による技術の実証と国民との信頼関係の構築

自動運転車のトライアルは、同技術の社会実装において、技術検討や実証を行う目的のほか、市民や保険会社など様々なステークホルダーによる新技術に対する受容性を高め、信頼関係を構築するために重要な要素であり、英国でもロンドンをはじめとして数々のトライアル・プロジェクトが実施されている。

■ 産官学連携によるトライアル・プロジェクトの例

2017 年から 2019 年の 30 カ月間、政府出資を含む 1,360 万ポンド(約 20 億円)を投じた「DRIVEN」プロジェクトが行われた。保険やサイバーセキュリティ、データプライバシーの問題など自動運転車の実社会における商業利用に対する主要な障壁を取り除くことを目的とし、オックスフォードを拠点とする AI 企業 Oxbotica、オックスフォード大学の Oxford Robotics Institute、移動通信事業者 Telefonica O2、オックスフォードシャー州議会、ロ

ンドン交通局(Transport for London)などからなる産官学コンソーシアムにより実施された同プロジェクトの完了により、ロンドン及びオックスフォードでの複雑な都市環境下の公道において自動運転車がスムーズかつ安全に、また、運輸省及びロンドン交通局のトライアルに関する規則やガイダンスを完全に守って合法に走行できることが確認された¹⁸。

また、同じく英国政府の支援を受け、都市部で自動車通勤に代わる、自動運転によるパーソナルモビリティを実現するための技術や安全性の実証方法、保険及びサービスモデルのデモンストレーションを目的として、2019年10月から「StreetWise」プロジェクトがロンドンの公道で行われた¹⁹。自律走行ソフトウェア企業 Five、F1 チーム McLaren のイノベーション部門 McLaren Applied Technologies、英国の自動車個人保険大手 Direct Line Group、公共交通サービス大手 Arriva、オックスフォード大学、ロンドン交通局などのコンソーシアムにより行われた同プロジェクトでは、消費者を自動運転車に乗車させ、事前の期待と実際の体験を評価してもらうことで、消費者の懸念を克服できるかどうか、またどのように克服すれば自動運転車の受容性が高められるかについての知見が得られた。Five の CEO によれば、自動運転車に対する消費者の不信感は、技術そのものに対する本質的な懸念ではなく、同技術の体験が不足している点に起因していることが同プロジェクトから明らかになった。自動運転技術に対する信頼を得るには、より直接的な体験を提供することで新技術を身近に感じてもらうことが必要であり、上記の取組みはこのような一例であるといえる。



市民対話ワークショップ(自動運転車試乗体験)
出所: Traverse²⁰



Oxford 市街を走る Oxbotica 社の車両
出所: GOV.UK²¹

¹⁸ DRIVEN, “Driverless cars take a step forward by showing how they can operate safely in London”, <https://drivenby.ai/2019/10/02/driverless-cars-take-a-step-forward-by-showing-how-they-can-operate-safely-in-london/>

¹⁹ UK Research and Innovation, “StreetWise”, <https://gtr.ukri.org/projects?ref=103700>

²⁰ Traverse, “Department for Transport (DfT): Public Dialogue – Connected and Autonomous Vehicles”, <https://traverse.ltd/recent-work/case-studies/department-transport-dft-public-dialogue-connected-and-autonomous-vehicles>

²¹ UK government, “Oxbotica: AI firm develops ‘brain’ for autonomous vehicles”, <https://www.gov.uk/government/case-studies/oxbotica-ai-firm-develops-brain-for-autonomous-vehicles>

社会に受け入れられる技術革命に向けて

英国における自動運転車、CAV の社会実装及び普及の取組みは「人々が信頼できる形での技術開発」を目標とした上で市民との対話が重視されている。これらの活動では市民側の需要や意識といった情報の収集だけでなく、技術についての説明を行ったり、市民が持っている不安について会話を行うという双方向の関与が行われている。また、トライアル実施においても、技術を実証するだけでなく消費者の評価を知ることや、技術を体験させる場を提供し、消費者の懸念を克服しながら認知や可視性を高めていくことが意図されている。

市民との対話や試乗等を含むトライアルの取組みは、Sciencewise や CCAV のような政府機関が主導しつつも、産官学のステークホルダーを巻き込んだ形でプログラムが設計されている。いかに優れた技術でも、消費者である市民に受け入れられなければ製品や事業として成立しないことを認識した上で、社会における受容性を意識した政府による取組みが注目される。

(参考) Sciencewise

Sciencewise プログラムは、ビジネス・エネルギー・産業戦略省、UK Research and Innovation (UKRI、ビジネス・エネルギー・産業戦略省の科学予算から出資を受け研究・イノベーションへの資金提供を指揮する公的機関)、パブリック・エンゲージメントを専門とする慈善団体 Involve のパートナーシップにより運営される。

Sciencewise の使命は、国民の期待や懸念に応える戦略策定のため、政策立案者が特に科学技術に重点を置きながら、社会的情報に基づいた政策を立案できるようにすることである。そのための主な方法として、他の政府省庁(運輸省、保健省など)と協力し、最先端の技術等について、一般市民との対話の場(前述の「市民対話」)の設定を行っている。2004年に同プログラムが創設されて以来、サイエンスワイズは CAV、ドローン、データサイエンスの倫理など様々な分野で対話プロジェクトを支援してきた。また、研究開発政策と資金調達を含む英国の産業戦略にも貢献している。

ドローンに関するワークショップ(2015年)の場合、政府はその結果を用いてドローンの安全性に関する新たな規制を策定した。また、民間のステークホルダーも「市民対話」から恩恵を受ける可能性がある。例えば、同ワークショップではすべての事業者が現行の規制要件とトレーニング要件を遵守する必要があるということが主な発見事項であったため、その後、各企業がこれらのへ取組みを強化したなどの経緯がある。

この「市民対話」は、消費者が新しい技術に親しみを持ち、安心して利用するための機会を提供するという間接的な効果も考えられる。例えば、CAVに関する対話では、市民がシミュレーターや自動運転ポッド、高度に自動化された車に試乗し、自動運転技術を体験する機会も設けられた。

コネクテッド自律運転車センター(Centre for Connected and Autonomous Vehicles:CCAV)

ビジネス・エネルギー・産業戦略省と運輸省の共同事業ユニットとして 2015 年に設立され、CAV に関する規制の策定、技術革新とスキルへの投資、一般市民への働きかけを行うことで、新しい交通技術の実現を目指している。官民学の各セクターから専門知識を結集し、新技術やビジネスモデルのためにイノベーション、安全性、規制が一体となって提供される環境を英国内に構築しており、官民合わせて 4 億 4,000 万ポンド(約 210 億円)の投資を実現している。

“パーソナルモビリティ革命”成らず セグウェイの失敗

セグウェイ・パーソナル・トランスポーター(Segway Personal Transporter、以下セグウェイ)は、2001年に発売された電動立ち乗り二輪車である。大型施設や企業・大学構内での利用や観光と乗車体験を兼ねたセグウェイツアーなどで発売当時は世界的な注目を集めたが、最終的に販売台数はそれほど伸びなかった。発売元の Segway 社は、2013年に投資会社 Summit Strategic Investments に買収された後 2015年には中国の Ninebot(九号公司、電動バイクなどを製造)に売却され、Ninebot は 2020年7月15日をもってセグウェイの生産を終了することを発表した。

シリコンバレーが注目したパーソナルモビリティ

2000年、シリコンバレーでは、コードネーム「Ginger」と呼ばれる革新的なパーソナルモビリティ製品の噂が流れていた。後にセグウェイとして登場した同製品を開発したのは著名な発明家であり起業家でもある Dean Kamen 氏の研究開発会社 DEKA で、大手ベンチャーキャピタルのパートナーである John Doerr 氏が 3,800 万ドルを出資したことで注目を集めた。Doerr 氏は、Yahoo!、Netscape、Google、Amazon など、第一世代のインターネット・スタートアップ企業の多くに出資しており、Ginger が都市設計に変革をもたらし、導入後数年で年間 10 億ドルの売上高を達成すると予測していた。Kamen 氏はそれまでの発明製品については当該市場で既に実績がある企業に技術ライセンスを供与して自身は発明に専念してきたいわゆる「発明家」であったが、セグウェイの製造・販売については自ら新会社を設立するという異例の行動に出た。

セグウェイは電動キックボードの一種だが、2つの平行な車輪がプラットフォームを支え、DEKA 社の「ダイナミックスタビライゼーション」と呼ばれるシステムでバランスを保つ。セグウェイに乗れば時速 30~40 キロで移動することができ、オフィスビルの廊下のような非常に狭い場所でも操作することができる。セグウェイには、ダイナミックスタビライザーや、トレーニングを必要としない直感的な操縦方法など、非常に革新的な機能が搭載されていた。また、電気エンジンを搭載しているため音が静かで、耐久性があり、コンパクトである。

発売当初、セグウェイは配送センター(FedEx や米国郵政公社)、国立公園などの屋外施設、ショッピングモールや企業のキャンパスビルなどの屋内空間など、混雑した狭い場所で従業員が迅速に移動できる機能を必要とする企業に非常に人気があった。そのため、初期には大企業が顧客となりまとまった台数を購入したが、Kamen 氏はセグウェイの一般消費者への販売

も早期に実現したいと考えていた。

企業向けも消費者向けも販売台数は伸びず

しかし、セグウェイの販売はすぐに予想を下回った。2000年に起きたITバブル崩壊の影響で、顧客企業が予算を削減し、注文を減らしたためである。さらに、小売価格は5,000ドル近くと、一般消費者が500ドル以下の自転車の代替ともいえる商品に支払う金額としては許容範囲をはるかに超えていた。

結局セグウェイの販売台数は伸びず、Kamen氏は2009年に英国の富豪James Heselden氏にSegway社を売却した(この数カ月後、Heselden氏はセグウェイの運転中に崖から転落して死亡)。最終的にセグウェイは、2015年に電動バイクなどを製造する中国企業のNinebotに買収された。そして同社は2020年にセグウェイの生産終了を発表した。

斬新な発明だったが社会的インパクトにつながらず

セグウェイは個人投資家が有望なコンセプトに数百万～数千万ドルを注ぎ込んで成果が上がらなかったという米国では珍しくないイノベーションの失敗例である。前述のスタートアップ投資家Dorr氏をはじめ、Kamen氏自身も週1万台という販売台数を見込んでいたものの、結局セグウェイの販売台数は20年の累計で約14万台にとどまった²²。発売当時、地域によっては自転車専用レーンさえ整備されていない状態であったことから、公道におけるセグウェイの走行を危険視しこれを規制する都市もあり、DEKA社が手をこまねく中、利用シーンが制限されるという逆風にも遭遇した。また、簡単な操縦方法を売りとしていたものの、バランスを取るのが難しいという声もあった。2003年にはセグウェイに乗った当時のブッシュ米大統領が転倒する姿も報道されて話題となった。セグウェイが斬新な発明であったものの社会的インパクトにつながらなかった理由として、発明者であるDean Kamen氏が、経験豊富な自動車メーカーにライセンスを供与せず、自社で生産を続けたことが指摘されることが多い。同氏は企業経営者としての経験は乏しく、Segway社の設立当初から経営上の問題に悩まされることとなった。量産経験のあるメーカーとのライセンス契約を経ていれば、異なるビジネスモデルを構築できていたかもしれない。

このビジネスモデルとも関連して、セグウェイの最大の問題のひとつは販売価格であったとされる。Kamen氏は公共交通機関の駅から最終目的地までのラストワンマイルに利用されるパーソナルモビリティとしてセグウェイが革命を起こすというビジョンを描いていたものの、1台5,000ドル(50万円前後)という価格はすべての消費者が気軽に購入できる価格ではなかった。

²² Bloomberg, "Lessons from the Awkward Life and Death of the Segway",

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-07-15/rip-segway-the-dorky-grandfather-of-micromobility>

セグウェイは一人の発明家・起業家の着想から製品化までは実現したものの、目新しい乗り物の域を超えて日常の移動手段としてパーソナルモビリティに革命を起こすことはなかった。

“パーソナルモビリティ革命”の有力候補 電動キックボード

専用のステーションを持たず乗り捨てが可能なドックレス電動キックボード(以下、キックボード)のシェアリング事業は2017年9月にカリフォルニア州サンタモニカで創業されたBird社が起源であるとされる。同社によれば、創業から1年以内に米国の100都市で事業を展開し、ユーザー数は200万人以上に達したという。2019年2月には、Spin(後にFord Motorが買収)とLimeという2つのスタートアップが同様のサービスを開始した。このビジネスにはライドシェアリングサービスの大手2社であるUberとLyftも注目し、後に両社ともに自社サービスを開始している。2018年末までに、BirdとLimeは合わせて10億ドル以上の投資を受けそれぞれの評価額は20億ドルを超えた。

自転車シェアリングが道を開く

キックボードのシェアリング事業の発展は、シェアードモビリティの先行者、つまり自転車シェアリングの成功の基に成り立ったといえる。米国では、交通の合理化、体力の向上、排出ガスの削減などを目的に、自治体が自転車通勤を推進する動きがあった。1990年代後半に欧州で始まった自転車シェアリングサービスは、2005年になってようやく本格的に普及し始め、米国では2007年にオクラホマ州タルサ市で初めて専用駐輪スペースを拠点とするドック型の自転車シェアリングプログラムが導入された。その後、2010年頃から急成長し、2019年には60のプログラムが運営されている。

新しいビジネスモデルでユーザーと事業者双方の利便性を実現

電動キックボードのレンタルは、スマートフォン技術、デジタル決済、位置情報サービスを利用して、ユーザーが必要に応じて低価格で借りることができるという点で自転車シェアサービスと類似している。しかし、製品の特徴としてはいくつかの重要な違いがある。キックボードは使用後に歩道などの公共スペースに乗り捨てすることが前提とされており、キックボードサービス事業者は、サービスエリア周辺に住む個人に報酬を支払い、夜間にキックボードを回収、充電し、翌朝までに適切な場所に再配置させている。使いやすく便利で低価格であることから、アメリカでは爆発的に普及し、現在では他の国にも広がっている。例えば、公共交通機関の駅からのラストマイルの移動だけではなく、後述のイスラエル・テルアビブのように公共交通機関の運休日に代替として利用されたり、またフランス・パリでは公共交通機関のストライキが発生した際にキックボードの利用が増えたという。

規制が追いつく前に素早く展開

Bird や Lime などのキックボードサービスが米国で成功している要因としては、社会システムの側面での 2 つの重要な特徴が考えられる。第一に、キックボードの事例は「パーミッションレス・イノベーション(permissionless innovation)」のケースに該当する。これはこのようなサービスを禁止したり制約したりする規制がなかったため、起業家たちが素早くスタートアップを作り、政府当局の許可を待たずに事業を開始することでイノベーションが促進されたという事例である。これは、Uber や AirBnb が採用した手法と同じである。これらの「シェアリングエコノミー」企業は、法律の曖昧さを利用して、私有財産(住宅、自動車、スクーター)の所有者に、需要に応じてその財産を貸す権利を与えたのである。そしてサービスが利用されるようになった今、規制が追いつき始めている。例えば、サンフランシスコでは、キックボードサービスの運営には市の許可が必要とされており、他の都市もこれに追随している。一方で慎重な姿勢をとっている都市もあり、カナダ・トロントでは 2021 年 4 月、オンタリオ州の 5 年計画の一部として提案されていたキックボード導入のパイロットプロジェクト実施が市議会において否決されている。市議会は、プロジェクト実施の再検討の条件として、カナダ運輸省(Transport Canada)に対しマイクロモビリティの安全性、試験、アクセシビリティに対する基準の整備を要求している。また、デンマーク・コペンハーゲンのように、充電ドックが公共スペースに与える影響などを懸念し市街中心部ではシェアキックボードの利用を禁止している都市もある。また中国では基本的に私有地内でしか使用できないなど、世界的には規制の状況は多様である。

シェアリングエコノミーの潮流に乗る

第二に、社会変革を巻き起こす可能性を秘めているシェアリングエコノミーのビジネスモデルがキックボード企業に大量の民間資金を呼び込み、事業拡大を後押しした点である。大量の投資資金が流入したことで、Bird や Lime は、すぐに利益を出さなくても急速にサービスを拡大することができた。ただし、目新しいビジネスに膨大な資金が集まったとしてもこの投資が回収できるかは予測不可能である(前述のセグウェイの事例参照)。今回のケースでも、新型コロナウイルス感染症の影響で、多くの大都市で外出規制が実施され、通勤や近距離の移動が大幅に減少したことから、キックボードの需要も減少した。これによりサービス提供企業が破綻すれば投資家は数億ドルの損失を被る可能性がある。

上述の通り、米国の多くの都市では自治体からの許可が義務付けられたり、規制環境が整っていないこと、公共スペースへの悪影響が懸念されることなどの理由からキックボードを全面的に禁止したりするところも出てきている状況である。一方で、キックボードが世界各地で導入される中、特にイスラエルでの導入は広く普及していることで知られている。以下にその成功要因を探る。

テルアビブでの電動キックボードの普及

イスラエル・テルアビブでは、2018 年頃から電動キックボードのシェアリングサービスが普及し始めた。現在 Lime、Wind、Bird の 3 つのサービス事業者が約 8,000 台のシェア電動キックボードを運営しており、1 日あたりの利用数は約 24,000 回とされる。2018 年 8 月から 2020 年の間に、テルアビブでは Bird の電動キックボードだけでも利用数が 550 万回に達している。

キックボード普及に適した様々な環境要因

テルアビブは、Bird が米国以外で事業展開対象として最初に選んだ都市のひとつであり、電動キックボードの成功につながる要素を多く有しているとされる。「技術国家」としても知られるイスラエルの商業都市であるテルアビブは技術的に発展している都市であり、人々は新しいトレンドにいち早く適応する。また、平坦な地形、1 年中温暖な気候や、交通量が多く駐車場が少なく公共交通機関の効率が悪いという環境が電動キックボードのようなマイクロモビリティの利用を促進する要因となっている。また、テルアビブの特徴としてユダヤ教の安息日(土曜日)に公共交通機関が運行しないことも代替的なモビリティが普及する機会をさらに広げていると考えられる。

政府・自治体による施策

このような環境的な要因に加え、政府や地方自治体の先進的取組みも同市におけるキックボードの普及に寄与していると考えられる。例えば、テルアビブ市はマイクロモビリティのハブとして都市の魅力を高めるべく、Bird などの民間企業と協力したり公共リソースを活用したりする取組みを行っている。この一環として、同市では 2025 年までに自転車と電動キックボード向けのインフラ規模を 140km から 300km へと倍以上に引き上げる計画により、マイクロモビリティを利用した通勤者数を 11%から 25%に増やし、自動車での通勤者数を 56%から 25%に減らすという目標を設定している。新しいインフラへの投資はイノベーションに長けた民間企業を誘致する要因になるとも考えられている。

Bird のテルアビブ進出後間もなく、市の当局は、自家用車の保有台数の削減や脱自動車社会への移行など、同市の重要な目標達成に役立つ可能性があるとして電動キックボードに着目し、米国のいくつかの都市に見られるような禁止令や規制を打ち出すのではなく、まず事業者とコミュニケーションをとるという前例を作った。交通担当副市長は事業者に対して「市内全域をカバーすること」「市とデータを共有すること」「指定の駐車場を守ること」などの明確な条件を提示し、事業者はこれを順守した。この協力的なアプローチが継続され、他の都市では市側と民間事業者が敵対的な関係になる一方、テルアビブでは官民の良好な関係を維持することができた。

その後、一部に懸念視されていたキックボードの安全性を担保することを目的に、イスラエル国家道路安全局(National Road Safety Authority:NRSA)はテルアビブ市と協力して、市内の電動キックボードサービスを調査し、課題を洗い出し、その結果を各社に伝えた。これを受け、各社は利用規約の更新などを行った。また、同市では、電動キックボードを識別するためのナンバープレートの装着や、ヘルメットの着用が義務付けられているほか、人口密集地では速度制限が設けられているなど、新しい法律も導入されており、官民の協力により市民の懸念や安全性にも配慮することで着実に新たなモビリティ手段の導入が進められている。



イスラエル・テルアビブの電動キックボード
出所:Gov.il²³



2021年5月に発表された Bird の
第三世代キックボード Bird Three
出所:Bird²⁴

²³ Israel National Road Safety Authority, “Significant Improvements in Tel Aviv's E-Scooter Sharing Apps Expected to Increase Road Safety Worldwide”, https://www.gov.il/en/departments/news/20201206_micromobility

²⁴ Bird, “The New Bird Three Is Built to Be the World’s Most Eco-Conscious Scooter”, <https://www.bird.co/blog/new-bird-three-worlds-most-eco-conscious-scooter/>

“中国のシリコンバレー”深圳発 民生用ドローン市場の覇者 DJI

米国などで当初は軍事用に開発されたドローンは、農業、配送、空撮業務といった産業用途のほかに、2010年代には消費者向けの開発が進んだ。現在この民生用ドローン分野で世界シェア 7 割超を有するといわれる最大手が、中国広東省・深圳市を拠点とする SZ DJI Technology(以下 DJI)である。DJI は、2012 年に最初のドローン製品 Phantom 1 を発表して以来、Phantom シリーズをアップグレードしながら、その他の革新的な製品を驚くべき速さで発表してきた。DJI が迅速かつ一貫したイノベーションを実現し世界市場で成功した背景には、本社の位置する深圳市の環境に加えて、同社独自の研究開発に対する強固な基盤や知財戦略があるといえる。

深圳という地理的な利点

2006 年に香港科技大学(Hong Kong University of Science and Technology)を卒業した Frank Wang 氏が創立した DJI は、世界の電子機器製造の中心地と呼ばれる広東省深圳市を本拠地としてきた。2017 年の報道によれば同社の幹部は「DJI は深圳でしか実現できない」という。同市には「才能、リソース、コネクティビティの合流点」があり、ここを本拠地とすることで DJI は同業界のいかなる競合他社よりも迅速に機器を設計・製造することができる²⁵。

同年、当時の副社長であった Huabin Xu 氏も、インタビューにおいて DJI の成長と、Huawei、ZTE、Tencent といった中国の大手テクノロジー企業の本拠地である深圳市との関係に言及している。

Xu 氏によれば、企業が技術革新を実現し、新製品を迅速に発売するためには、強固なサプライチェーンへのアクセスが不可欠である。同市はイノベーションを醸成するための自由で柔軟なエコシステムを提供し、経験豊富なメーカーが多数存在することから安定したサプライチェーンにも恵まれた環境である。また深圳市政府は、2013 年に発表した「航空宇宙産業発展計画(2013-2020)」の中で、ドローン産業を重点分野の一つとして掲げており、その中で DJI は、飛行制御や空撮の分野で中国のトップ企業の一つとして言及されている。同計画によれば、ドローン産業の重点は、UAV 産業基地の建設支援、UAV の研究開発・製造企業、部品・航空宇宙材料のサプライヤーなどの企業支援、各種試験やスカイスポーツ競技などの専門サービスを

²⁵ Drone Business Center, “The Real DJI Miracle”, <http://dronebusiness.center/the-dji-miracle-11547/>

提供する UAV 試験飛行基地の設立支援、企業の積極的な国内外市場の拡大などであり、組織的支援(専門委員会の設置)、政策的支援、財政的支援、空間的支援(航空宇宙産業のニーズに合わせた土地利用の最適化)が施策として挙げられている。

強固な研究開発基盤を活用した自社開発のフライトコントローラー

2006 年の創業から 2012 年に Phantom を発表するまでの 6 年間、DJI は独自のフライトコントロールシステムを開発していた。DJI の開発者が言うところの UAV の頭脳であるフライトコントローラーは、信頼性の高い安定した飛行性能を実現するために必要な部分である。当時、フライトコントローラーは組み立て過程すべてを熟練者が行う必要があったが、DJI は、より多くの人々が UAV を利用できるよう、既製品として組み立て不要な DJI XP フライトコントローラーを開発し脚光を浴びた²⁶。

フライトコントローラーを内製しているため、DJI はソフトウェアのソースコードとプログラムを保持し、自ら更改し続けることができる。このような体制は、フライトコントローラーの開発を外部委託するメーカーのようにシステムのエラーを外部ベンダーが修正したり、次世代でのアップデートを待たたりする必要がないことを意味し、機能改善のための変更をタイムリーに行うことができるという点で大きな強みとなっている。

ユーザーフレンドリーなイノベーションの模範例

2012 年に発表された DJI 初のドローン製品で、組み立て不要、当時の一般的なドローンと異なり配線などが露出していない洗練されたデザインの Phantom 1 は、ユーザーフレンドリーなイノベーションの例として注目された。しかしこの時点では、カメラについて以下の 2 つの大きな技術的な課題があった。

1. 小型カメラがフライトシステムに組み込まれておらず、機体とカメラを個別に操作しなければならないこと、
2. ドローンに搭載されたカメラがドローンの動きに追従するため、ドローンが飛行中に傾いたり風などで揺れると、撮影画像もぶれてしまうこと

そこで DJI は、まずプロ用のカメラスタビライザーとして Zenmuse を生み出した。同製品は、デジタルカメラを取り付けるジンバルで、ピッチ、ヨー軸で 360°、ロール軸で 40°の 3 軸電動回転が可能というソリューションであった。この新製品により、それまでヘリコプターに乗ったカメラマンでしか実現できなかったスムーズな空撮が可能となった。Zenmuse に続き、当時他社がいずれも扱っていなかった一般ユーザー向けジンバルも開発した。2014 年に発

²⁶ DJI, “DJI Developers Share the Secret of Our Success”, <https://content.dji.com/startup-mentality-the-secret-of-dji-success/>

売された Phantom 2 Vision+では、3 軸ジンバルを Phantom 向けに小型化、低コスト化し、自社開発のオンボードカメラを搭載することで、理想的なドローンをすべての人々に、という同社の目標が真に達成された。同製品ではまた、DJI 独自のモバイルアプリで映像のライブフィードを見ながら、一般ユーザーがプロ品質の空撮映像を制作することが可能となった。

知的財産戦略の重視

DJI は知財戦略を非常に重視している。最初のドローン製品を発売する 3 年前の 2009 年に知的財産専門部署を設置し、グローバルな知的財産権ポートフォリオの構築を開始した。同社によれば、2020 年 5 月時点で 4,260 件の国際 PCT 出願を含む 12,900 件以上の特許出願を提出しており、世界 57 の国と地域で 1,500 件以上の商標を登録している。同社の主要市場である米国では、2021 年 4 月時点で 600 件以上の特許を有している(これとは対照的に 2018 年から 2020 年にかけて DJI との特許紛争に巻き込まれた米国の競合企業である Autel Robotics(本社:ワシントン州ボセル市)では 80 件のみ)。

このような他社に抜きこんでた特許出願・取得件数に加えて、DJI は訴訟コストが膨大である米国で度重なる法廷闘争も繰り広げている。このことから同社が知的財産戦略にどれだけのリソースを割いているかが示唆される。DJI は、中国の競合会社 Yuneec International Co., Ltd.と Yuneec USA に対し 2016 年に米国で特許侵害訴訟を提起した際、「われわれは競争を歓迎するが、知的財産の保護に努めている。(UAV の研究開発に対し約 10 年にわたって行ってきた我が社のこれまでの)投資や顧客との関係を守り、この有望な分野における真のイノベーションを促進していく」と述べている²⁷。

ユーザーによるイノベーションを促す SDK 戦略

DJI は、フライトコントローラーからハードウェアまでを自社で扱うクローズド型の開発戦略をとっているが、アプリケーション部分については様々なソフトウェア開発キット(SDK)をリリースし、開発者による創作を可能としている。例えば、Mobile SDK ではカメラやジンバルの制御、カメラからのライブ映像やセンサーデータの取得、ミッションの事前設定など、カスタマイズされた機能を持つモバイルアプリケーションを作成できる。DJI SDK を利用して開発され、人気のあるサードパーティアプリケーションとしては、ロンドンのソフトウェアスタートアップ VC Technology が 2015 年頃にリリースした、自律飛行のためのミッションプランナー機能を備えた Litchi がある。2019 年にアップデートされる前の DJI ドローンのデフォルトアプリ「DJI Go」では、「ミッション」と呼ばれる自律飛行のためのルート(はドローンを飛行させて「ウェイポイント」を設定して引き返すことでしか設定できなかった(安全上の懸念が理由とみられる)。Litchi では、PC 上でウェイポイント付きのミッションが設定でき、ユーザーのすべ

²⁷ DJI, “DJI Files U.S. Patent Infringement Lawsuit Against Yuneec”, <https://www.dji.com/newsroom/news/dji-files-us-patent-infringement-lawsuit-against-yuneec>

でのデバイスで同期される。DJI は開発者や研究者向けのドローンとして、DJI SDK を利用して完全にプログラマブル、カスタマイズ可能な「Matrice 100」を発売した。このような SDK 戦略により、世界の開発者コミュニティが、DJI のハードウェアと互換性のあるアップグレードやアプリケーションを開発することができ、外部のイノベーションにより自社製品の人気をさらに高め、それにより、さらに多くの開発者を魅了し優れたアプリの開発を促進するという、好循環を生み出すことに成功した。2018 年には DJI ドローンへの AI と機械学習機能の導入などを目的としてマイクロソフトと戦略的パートナーシップを締結し、Windows 開発者コミュニティ向けに様々な産業用途のために DJI ドローンをカスタマイズして制御できる Windows SDK もリリースしている²⁸。

競合他社の後退と DJI の勢力拡大

かつて民生用ドローン市場は、中国の Zerotech と米国の 3D Robotics が DJI の競合他社として強力だったが、両社の事業は 2016 年頃に衰退した。一方、DJI はこれらの競合他社の事業不振を横目に、革新的な製品を次々と、比較的低価格で発売し続けた。3D Robotics は、製品の故障などによる販売不振に加え、年末商戦における販売予測を強気に設定した結果、売れ残りの在庫が大量に発生、人員削減を余儀なくされた結果、事業は急速に低迷した。Zerotech は、2016 年に消費者向けドローンを発売したものの、結局 DJI が支配する市場から商業・産業分野に重点を移した。

また、アクションカメラ大手の GoPro は「極めて競争の激しい」市場で利益を上げることが困難であることを理由に 2018 年にドローン事業から完全に撤退した。同社は Karma と呼ばれる消費者向け空撮用ドローンを 2016 年に発売したが、電源不具合によりすぐにリコールとなり、レビューでも DJI などのライバル機と比較され不評を買った²⁹。

技術と戦略をともに制覇した独り勝ち

DJI は、その技術力及びイノベーションに有利な深圳の環境を生かしてこれまでの問題(一般ユーザーが簡単に取り扱い可能で高品質が楽しめるドローンの不在)へのソリューションとして画期的な製品を生み出すだけでなく、知財・ソフトウェア・価格などあらゆる側面において周到な事業戦略を確立し、製品を社会に送り出してきた。競合他社の事業が製品の問題や規制の懸念から縮小していくなか DJI が民生用ドローン市場を制するに至った経緯からは、技術の社会実装において「売れる商品を作り、売れる戦略を策定する」という基本的な商業上の努

²⁸ Microsoft, “DJI and Microsoft partner to bring advanced drone technology to the enterprise”, <https://news.microsoft.com/2018/05/07/dji-and-microsoft-partner-to-bring-advanced-drone-technology-to-the-enterprise/>

²⁹ The Verge, “GoPro quits the drone business”, <https://www.theverge.com/2018/1/8/16862680/gopro-drones-business-stopped-layoffs-exit>

力を軽視できないことが示唆されよう。



Phantom 2 Vision+

内蔵カメラ、画期的な 3 軸ジンバルを搭載

出所: DJI³⁰



DJI Air 2S(2021 年 4 月発売)

すぐれた携帯性、撮影性能、飛行性能を持つ
コンシューマー向け製品として高い評価

出所: DJI³¹

³⁰ DJI, “PHANTOM-2 Vision+”, <https://www.dji.com/phantom-2-vision-plus>

³¹ DJI, “DJI Air 2S”, <https://www.dji.com/air-2s>

仏政府が共同開発、“現代工学の傑作” コンコルドの失敗

Concorde(以下コンコルド)は、イギリスとフランスが1962年に開始した共同開発により誕生した超音速旅客機で、1976年から商業飛行を行った。最高時速2,179km(音速の2倍)、ロンドン・ニューヨーク間を3時間以内(現在の平均は8時間以内)で飛行し、今でも現代工学の傑作と考えられているが、25年あまりの紆余曲折を経て2003年に運航を停止した。英仏政府は欧州の威信にかけて多額の費用を投入したがプロジェクトは商業的には失敗に終わり真の社会実装とはならなかった。

失敗の要因① 持続不可能なビジネスモデル

■ 一時は黒字化するも莫大な開発費は回収不能

当初400万ドル以下とみられていたコンコルドの開発費は、結局20億ドルにまで暴走した。1960年代には、16の国際航空会社が70機以上のコンコルドを予備発注(法的拘束力なし)したが、そのほとんどが購入前に契約を解消し、最終的には2社(国営のBritish AirwaysとAir France)が14機を購入し1976年から商業運航を開始した。

British Airwaysでは、コンコルドの運航初期には多大な損失を計上し、1982年に初めて同事業が黒字化した。その後2000年までの好況期には年平均3,000万~5,000万ポンドの利益を上げ、全体では約10億ポンドの運用コストに対し、17億5,000万ポンドの収入を得たと報道されている。黒字化の要因は、独立したチェックイン施設の設置、質の高い客室乗務員によるサービス、豪華な機内食など、他のハイクラス航空会社とは一線を画したことであったとされる。しかし、後述のように競争力が弱く、社会的ニーズが小さく、環境問題への対応の遅れ等により社会受容性も得られなかったため需要が縮小していき、英仏両政府は回収できない開発費を吸収せざるを得なくなった。

■ 燃費の悪さ、オイルショックでほとんどの航空会社が購入予約を解約

多くの航空会社がコンコルドを発注しながら結局購入を取りやめた要因は、同時期に開発された新興の代替機と比べ運用費も含む価格競争力が低かったことである。特に、1969年に初飛行したBoeing 747はコンコルドの最大のライバルとなった。例えば、1973年、当時の米航空会社Pan American World Airways(通称Pan Am)は「ジャンボジェット機に比べて、航続距離、搭載量、コストのいずれもが著しく劣る」という理由で、コンコルド7機の予備発注をキャンセルした。コンコルドの乗客数は約100人のみ(ジャンボジェットは約400人)ながら、他の大西洋横断機より多くの燃料を消費した。そして1960年代後半から1970年

代前半にかけて、懸念されていた石油埋蔵量の減少による燃料価格の高騰が、1973年に始まった OPEC 危機(石油価格が 4 倍に高騰)で現実のものとなり、燃費の悪いコンコルドの競争力がさらに弱まった。コンコルドがオイルショック前に登場していれば、より多くの航空会社が確定注文をしていたかもしれないとみる声もある。

失敗の要因② 「高速」だけが売りの限定的な訴求効果

コンコルドは開発当初から固定費や運用費が高いことは知られていたが、富裕層の乗客が豪華なサービスや世界の一流機に乗る栄誉に対価(ロンドン・ニューヨーク間往復で 12,000 米ドル)を払うものと期待されていた。しかし、実際コンコルドの運航が始まってみると、内装はそれほど豪華でもなければ快適でもなかった。利用者からは「飛行中の爆音が不快」「狭く座り心地の悪い一般的なエコノミークラス相当の座席」「非常に小さな窓」などと酷評され、また、リクライニングシートや広々とした空間など、他のファーストクラスで味わえる特典が提供されなかった。コンコルドの運航初期には、多くのフライトが搭乗率わずか 40%で運航されていた。好況期の 1990 年代には、熱心なリピーターを囲い込むことができたほか、多くの著名人が利用したが、コンコルドの明確な利点はただひとつ「高速」だけだった。搭乗率が振るわない状況でも、高価格(通常、同路線のファーストクラス料金の 20%増)により利益を上げることができた場合もしばしばあったとされるが、打ち切りが近づく 2003 年頃には平均搭乗率はわずか 3 割程度であったとされ、コンコルドの技術的な卓越性が経済的な制約を克服できなかったとみる声が多い。

失敗の要因③ 後手にまわった環境問題等、市民や社会からの懸念への対応

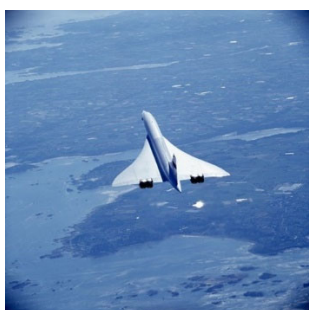
1966年に始まった「アンチ・コンコルド・プロジェクト」を筆頭に、コンコルドに対する反対運動が起こり、コンコルドの商業的可能性は失われた。その背景には、コンコルドのソニックブーム(衝撃波)によるインフラ損害の恐れや、飛行経路上の住民の許容範囲を超える騒音への懸念があった。1970年、アメリカ政府は、主に騒音公害とソニックブームの影響を抑えるために、アメリカ国内での超音速飛行を禁止する規則を導入し、かろうじてニューヨークの JFK 国際空港とワシントン D.C.のダレス国際空港への乗り入れのみが認められた。一方で、スウェーデン、ノルウェー、オランダ、旧西ドイツ、アイルランド、スイスなど欧州の多くの国々は自国の領土での超音速飛行を許可しない意向を表明していた。そのためコンコルドは、アフリカやオーストラリアの原住民が住む地域など、反対運動の少ない人口の少ない地域の上空を飛行する計画を立てざるを得なかった。さらに、コンコルドの航続距離では太平洋横断飛行は不可能であった等の理由もあり、コンコルドの定期便はロンドン・パリ間、ロンドン・ニューヨーク間が中心となった。

失敗の要因(その他) 事故によるイメージダウンや旅行業の冷え込み

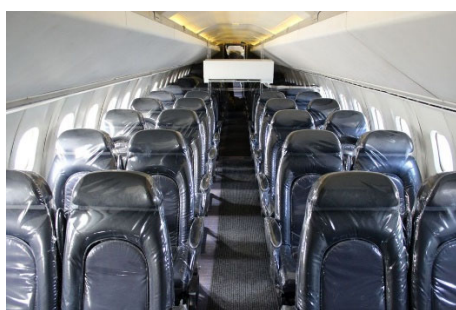
2000年7月、パリを離陸した数分後にエールフランスのコンコルドが墜落し、乗客・乗務員

109 名全員と地上にいた 4 名が死亡するという事故が世界を震撼させ、コンコルドの需要はさらに冷え込んだ。また、折しも翌年には 9.11 同時多発テロも発生し富裕層を含む旅行ニーズは急激に減退、コンコルドの存続を大きく揺るがした。

以上のように、「現代工学の傑作」とまで呼ばれるコンコルドが事業としては失敗し社会実装が成り立たなかった理由は、外的要因(ボーイングジャンボジェット機と同じ市場投入時期、オイルショック、墜落事故や 9.11 同時多発テロの発生)や需要の創出・維持に失敗し、持続可能なビジネスモデルを構築できなかったこと、また、環境保護の気運が高まる中、消費者心理や社会受容性に対する十分な考慮と対処が欠け、反対運動を抑えられなかったことなどが考えられる。



Air France のコンコルド
出所:Air France³²



コンコルドのキャビン(客室)の例
出所:Executive Traveller³³

(参考)米国はなぜ超音速旅客機を開発しなかったのか？

コンコルドが発表される前から、米国の航空機メーカーも超音速旅客機の実現を真剣に検討していた。英米政府がコンコルド計画を発表した直後の 1963 年、米国政府は連邦航空局 (Federal Aviation Administration:FAA)の下で国家超音速輸送(National Supersonic Transport:SST)プログラムを発表し、超音速旅客機を開発する国内企業に資金援助を行うことを決定していた。

当初、政府は Lockheed Martin と Boeing に機体の開発を、その他の企業にエンジンの開発を発注した。Lockheed の設計した機種(Lockheed L-2000)は、270 人の乗客を搭乗させコンコルドの速度を超える時速 3,704 キロで飛行することを想定し、Boeing 機 (Boeing 2707)は同程度の容量で時速 3,334 キロで飛行、航続距離は 6,759 キロ以上とされていた。1967 年、Boeing が Lockheed を破り、General Electric 製のエンジン

³² Air France, “AIR FRANCE IN NEW YORK: 75 YEARS OF UNRIVALLED HISTORY”,
<https://corporate.airfrance.com/en/news/air-france-new-york-75-years-unrivalled-history>

³³ Executive Traveller, “A supersonic blast from the past: revisiting British Airways' Concorde”,
<https://www.executivetraveller.com/a-supersonic-blast-from-the-past-revisiting-british-airways-concorde>

を使用して飛行試作機を製作するための継続的な資金を確保した。この試作機の総コストは11億ドルと見積もられ、そのうち政府が83%、メーカーが13%、一部の航空会社が4%を負担することになっていた。

当時のプロジェクト関係者によると、コンコルドを上回る速度を目指したBoeingは、あまりにも野心的すぎたという。コンコルドと同様に、米国の上記プログラムは、航空機の潜在的な収益性、国内の反対、ジャンボ機に代表される競合の機体の存在などの問題を抱えていた。さらに、1969年7月に月面着陸を果たしたことで、莫大な費用を要する航空宇宙分野での成果を求める声が小さくなったとも言われている。1971年、民主党政権下の新議会は、共和党のニクソン大統領の意向に反して、次年度の2億ドル以上の予算を中止することを決議した。前述の環境問題に加え、資金面での懸念が理由としてあげられた。SSTプログラムの反対派は、超音速飛行の商業的見通しが良好なのであれば、政府に多額の支援を要求すべきではないと指摘していた。ニクソン大統領の予算要求に対して、ある反対派はこう述べている。

「今年度、2億9,000万ドルが国民の0.5%の富裕層が海外に飛ぶための交通手段向けの予算として要求されている。一方で数百万人もの人々の通勤のための都市公共交通向け予算が2億400万ドルとは理にかなっているのか。」

このような政府からの多額の資金援助の妥当性が疑問視されたことから、Boeing 2707は実現せず、同社は航空会社からの予備発注120件のキャンセルに追い込まれた。この失敗により航空会社は超音速機を益々敬遠するようになり、コンコルド購入を検討していた航空会社も二の足を踏むようになったとされる。

4.

フロンティア・テクノロジーにとっての重要な視点

本章では、フロンティア領域として定義した「空」「海」「宇宙」のそれぞれにおいて、これから社会実装に取り組んでいこうとする先進技術や、今まさに社会実装に向けた過渡期にある先進技術が、広く社会で利用されていくために今後必要となる重要な視点を整理する。

空

ドローン

ドローンは、最も身近な「空」のフロンティア・テクノロジーであろう。2010年代半ば以降、ドローンは上空から画期的な画像を撮ることができる新たなツールとして爆発的に普及した。当初はホビー用であったが、放送素材の撮影、測量、インフラ点検、農薬散布といった業務用としての利用も進み、2015年の新語・流行語大賞として「ドローン」がトップ 10 入りを果たした。一方で、同じ 2015 年の 4 月には、首相官邸の屋上で落下したドローンが発見された事案を契機に、ドローンを安全に飛行させるためのルール作りの機運が高まり、2015年12月には、ドローン(無人航空機)の飛行ルールを定めた改正航空法が施行された。

以降、わが国では、現在に至るまでドローンの技術開発と制度整備はまさに両輪となって進められてきた。

技術開発については、機体の開発と安全運航のためのインフラ開発がある。機体については、スタイリッシュで小型、安価かつ操作性に優れた海外製品が市場を席卷する中、わが国では産業用、特に農薬散布やインフラ点検といった個々のアプリケーションに特化した機体開発が行われるとともに、数 10kg 程度の積載量、数 10km 程度の長距離飛行が実現されている。最近では、都市部を含めた飛行を見据えた安全性の高い機体開発や、自律性向上の取り組みが進んでいる。インフラに関しては、今後、多数の機体が飛び交う世界を見据え、飛行ルートの事前調整、飛行中の位置や状態把握、他の機体との衝突防止等を実現する UTM(Unmanned Aerial System Traffic Management:ドローン運航管理)の開発が進む。加えて、携帯電話網を用いてどこでもドローンとの通信を可能とする技術の開発や、自動的な離着陸や輸送した荷物の受け渡しを行うためのドローンポートの開発などが進められている。

制度整備の観点では、目視外飛行(操縦者から目視できない範囲での飛行)の実現に向けた検討が進められ、2018年には無人地帯での目視外飛行(レベル 3)が可能となり、現在は2022年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検討が目下進められている。レベル 4の実現に向けては、安全性の確保が重視され、機体の耐空性を担保するための認証制度や、操縦者の技能を証明するライセンス制度が導入される。

こうした取り組みを経て、物流や建設、農業、インフラ維持管理、警備、災害対策と言った様々な分野において、自律飛行、長距離飛行を前提とした高度なドローン活用が検討されつつあり、地方の労働力不足等の軽減につながるるとともに、特に都市部において、ユーザーの必要

な時、必要な場所に必要なモノを届けるといった消費者の多様なニーズに応えていくことが期待される。

このような社会を実現する上では、やはり社会受容性の醸成が課題である。ドローンが身近な存在として受け入れられるためには、ドローンの安全性を技術・制度の観点から担保するとともに、ドローンによってもたらされる便益と合わせて、ユーザーを含めた住民に理解される必要がある。課題解決に当たっては、ドローンの安全性と便益を実際に体験する場が有効であり、技術開発や制度整備とともに、現在進められている全国各地での実証試験の取組みは、社会受容性の向上に大きく寄与すると考えられる。

レベル 4 の実現の目標は、2022 年に設定されている。制度整備と技術開発、社会受容性の調和が、2022 年の目標達成のポイントとなる。



物流用途のドローン

出所:ACSL³⁴

空飛ぶクルマ

空飛ぶクルマは、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と定義される、最近注目されつつある空のフロンティア・テクノロジーである。諸外国では、特に都市部における自動車の渋滞や排ガス等の問題を緩和する手段として、空飛ぶクルマを用いた交通サービスの導入に関心が高く、欧米や中国において機体開発が先行する。わが国においても、複数の企業が空飛ぶクルマに関わる事業への参入を表明しており、都市部における移動時間の短縮や離島・山間部での利便性の向上、緊急時の迅速な移動の実現が期待される。

わが国における空飛ぶクルマの開発は、スタートアップである SkyDrive 社が 2 人乗りの機体開発を進めており、2020 年に 1 人乗りの実証モデルで初の有人飛行試験に成功、その後 2 人乗りのモデルを用いた飛行試験を重ね、大阪でのサービス開始を目指している。加えて、航空会社やヘリコプター運航会社により、海外製の機体を用いた旅客輸送サービスも検討されている。実用化のターゲットは 2025 年。大阪・関西万博での運航を皮切りに、三重県な

³⁴ ACSL, <https://www.acsl.co.jp/solutions/delivery-logistics-mail/>

ど、複数地域での実装が開始される見込みだ。

並行して、制度整備の検討も進んでいる。2018年8月に、空飛ぶクルマに関する官民の関係者が一堂に会する「空の移動革命に向けた官民協議会」が設置され、同年12月には、空飛ぶクルマの実現に向けて取り組むべき技術開発や制度整備等をまとめた「空の移動革命に向けたロードマップ」が取りまとめられた。以降、具体的なユースケースや機体、操縦者、運航管理、離着陸場、事業等の制度の方向性が具体的に検討されている。

空飛ぶクルマの社会実装の課題は多岐に渡る。機体については、まずは航空機としての認証(型式証明)の取得が不可欠だ。欧米で先行する機体は、2023~2024年頃の認証所得を目指す。インフラ面では、離着陸場の整備も課題となる。需要の多い都市部等にどのように離着陸場を整備するか、その際の規制のあり方等、検討すべき課題は多い。また、ビジネスモデルの面では、既存のモビリティに対し、空飛ぶクルマの特長を踏まえたルート設定や、既存モビリティとの接続性が重要となろう。

社会受容性の面では、私たちが2020年8月に独自に実施したアンケート調査の結果、国内では多くの方が、住まいの近隣上空を空飛ぶクルマが通過することに対し不安や懸念を抱いていることが明らかになり、不安の要因としては、安全性への懸念が挙げられた。その背景としては、空飛ぶクルマの認知度の低さが挙げられ、認知度の向上、特に安全性のPRが社会受容性の向上に有効と考えられる。

ドローンと同様、技術開発や制度整備とともに、飛行試験やサービス実証を進めつつ、安全性や利便性に対する住民理解を深めることが必要とされる。



SkyDrive の空飛ぶクルマ

出所: SkyDrive³⁵

HAPS

高度 20km 程度の成層圏を長時間滞空する HAPS(高高度擬似衛星)も、注目すべき空のフロンティア・テクノロジーの一つである。成層圏に数週間から数か月間滞空し、無線通信カバレッジの提供や、各種センサーによる観測などを行うことが想定されており、擬似的な人工衛

³⁵ SkyDrive, <https://skydrive2020.com/air-mobility>

星とみなすことができることから上記のように呼称されている。

HAPS の利用形態として主眼が置かれているのが無線通信カバレッジの提供であり、5G 以降の Beyond 5G や 6G におけるカバレッジ拡張の手段として、非地上型ネットワーク (NTN) を構築する要素の一つとして HAPS が位置付けられている。

無線局としての HAPS の利活用は国際的にも注目されており、HAPS に使用可能な無線周波数が国際的に特定されている。また、過去数年間機体の開発も急速に進展しており、世界的に長期間滞空の実証試験等が行われている状況である。さらに、HAPS の飛行ルール制定に関しても、国際会合や各国において制度化に向けた議論が開始されようとしている。

HAPS による無線通信カバレッジの提供は人工衛星と地上ネットワークの特徴をバランスよく有しており、通信の伝送遅延を抑えつつ、多くの地上局を設置せずに広範囲のカバレッジを提供することが可能になる。そのため、地上ネットワークが経済的に成立しないエリアや、山間部・空中・海上といったこれまでカバレッジ範囲外であった領域に対し、3 次元的なカバレッジを提供することが可能になる。

国際的にはこの特性を活用し、デジタルデバイドの課題解決に向けた HAPS の活用が目指されてきた事例がある。例えば、米国 Alphabet 傘下の Loon は多数の高層気球に搭載した無線局により、地上ネットワークが整備されていないアフリカ各国においてインターネット環境の提供を行うプロジェクトを推進していた。しかしながら、持続的に事業を可能にすることが困難であるという理由をもとに 2021 年初旬に当該プロジェクトの終了が公表された。

HAPS の製造・整備・運用に伴うコストはまだ高く、Loon の事例を踏まえるとデジタルデバイドの解消という非常に大きな訴求効果はあるものの、コストに見合ったアプリケーションや持続可能なビジネスモデルの構築が課題であると言える。



飛行船タイプの HAPS のイメージ
出所:ITU³⁶



大型翼タイプの HAPS のイメージ
出所:ソフトバンク³⁷

³⁶ ITU, “HAPS – High-altitude platform systems “, <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx>

³⁷ Softbank, “ソフトバンク、成層圏から通信ネットワークを提供する航空機を開発”, https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2019/20190425_02/

海

自動運航船

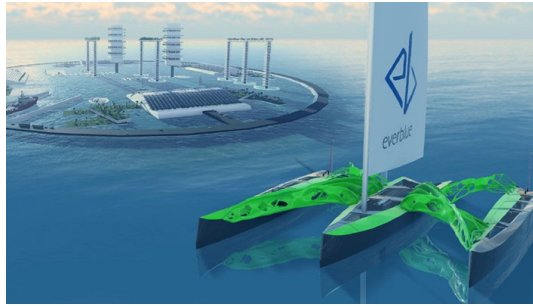
自動運航技術の実装が進めば、船員不足の解消及び船員の労働環境改善、ひいては海上安全にも寄与するが、それだけでは主に海運事業者のメリットにとどまる。広く社会に普及するためには、自動運航船のユースケースを具体化するとともに、ステークホルダーを積極的に巻き込むことが必要である。例えば、無人運航が実現すれば、船員確保の前提がなくなるとともに運航コストが削減されることで、今まで想定していなかったケースでの利用が可能になる可能性があり、こうした新たなユースケースを深掘してステークホルダーに訴求していく活動が重要となる。

例えば、陸上で交通量が多い橋梁道路(東京湾アクアライン等)に、自動運航船によるフェリーを高頻度で運航することにより、渋滞の軽減及び観光地への移動量増加につなげることができる。ビジネス化に向けてキーとなるのは、フェリーへの乗入にかかる時間の短縮と港湾への確実な導線の確保だろう。そのためには、自治体や港湾事業者、さらには住民との調整が必須である。また水路の利用には、海上保安庁や漁業者等との調整も必須である。

このようなステークホルダーとの合意形成には、マルチユースでの活用可能性が一つの訴求ポイントと考えられる。例えば、自治体には、非常時の物資輸送等への活用可能性をアピールすることが有効に働く。そのためには、用途の明確化は勿論、それによる社会経済効果の見積が必要と思われる。社会経済効果のためには、例えば、観光地の需要増、モーダルシフトによるCO2削減等の直接的なアウトプットだけではなく、交通渋滞緩和や水辺の賑わいによる住環境向上等の間接効果も含めたアウトカムを、ロジックモデル等で可視化することが重要と考える。

【参考】自動運航と環境性能向上の組み合わせ

エバーブルーテクノロジーズが開発している自動船の最大積載量は 100 キロ超で、離島間の無人貨物運搬や非常時の救援物資輸送などさまざまな用途に対応できる実証機として開発している。エンジンは搭載せず、モーター制御のセールとラダーで純粋に風の力だけで航行する。この事例以外にも、国内外問わず、自動運航の実証は、風力推進や電気推進など、環境への影響を緩和する方向での実証が多くなりつつある。自動運航・自律運航であること自体のユースケースが示しづらいことも背景としてうかがえるだろう。



エバーブルーテクノロジーズ
Type X(無人海上貨物船)イメージ
出所:エバーブルーテクノロジーズ³⁸

水中ロボット

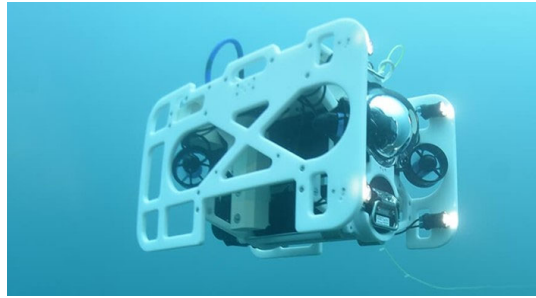
産業用水中ドローンのビジネス展開をしている代表的なベンチャー企業のひとつに FullDepth がある。

当初は CEO の「自分で作ったロボットで深海魚を見に行きたい」という夢を実現するためにスタートしたとのことだが、このようなフロンティアを知りたいというモチベーション、ワクワクするビジョンこそが、投資家やステークホルダーを動かす原動力になっていると思われる。ビジョンを語るだけではなく、同時にダムや港湾のメンテナンス、海洋調査や養殖事業など、多くの業界に水中を見たいというニーズがあることもリサーチし、カメラ、センサー等のベースとなる機能にフォーカスした設計とした点も重要である。ものを売るのではなく、サブスクリプションサービスとして展開することで、安価にかつ操作ノウハウも合わせて提供するというビジネスモデルを構築している。

また、数少ない国産の水中ロボットであることを生かし、修理やバージョンアップ時の迅速な対応も強みにしていることも、利用者のニーズを捉えている。ユーザーとの距離を詰め、新たな機能の共同開発等の可能性に対応する方針も、ビジネスの持続可能性を担保する上で重要だろう。

このような海洋ロボットの普及によるさらなる海洋環境や各種資源量の見える化、海上構造物のメンテナンス支援、それに伴う海洋環境の活用増加が望まれる。

³⁸ エバーブルーテクノロジーズ, <https://www.everblue.tech/projects>



FullDepth
産業用水中ドローン(DiveUnit 300)
出所:FullDepth³⁹

【参考】海・空・宇宙の技術を駆使した海ゴミの削減

リバネス、日本財団、JASTO の共同事業「プロジェクト・イッカク」が、官公庁や自治体、事業会社等を対象とした海ごみの削減に資する技術サービスを提供開始した。大きく、以下のようなサービスを提供している。

- 海洋プラスチックごみのアップサイクルコンサルテーション
- サステイナブルな社会を実現する分散自立型エネルギーシステム
- 衛星画像解析による海ごみモニタリングサービス
- ドローン空撮による海岸域スポット解析サービス

これは、衛星やドローン等、フロンティア領域を多方面から活用してサービス提供にこぎつけている事例である。具体のビジネスモデルに関しては今後の検討事項と思われるが、環境保護やサーキュラーエコノミーにも寄与するテーマであり、市民へのアピールもしやすい。海だけではなく、空や宇宙のフロンティア・テクノロジーと組み合わせることで実現できるユースケースも多くあるだろう。複数のニーズにとどまらず、複数のシーズを組み合わせるといった観点も重要である。

³⁹ Full Depth, <https://fulldepth.co.jp/>



「プロジェクト・イッカク」ドローン空撮による海岸域スポット解析サービス

出所:プロジェクト・イッカク⁴⁰

海洋データ活用

海上利用が進まない一因に、海洋環境の不確実性が挙げられる。陸上と比較し波やうねり等の要素を考慮する必要があるほか、観測密度・頻度も極端に少ない。このような環境においては、実例の乏しい先進技術を活用したサービスの提供にはビジネスリスクが大きい。このような課題を解決するには、数少ない海洋のデータを共有し、見える化を促進する取り組みも必要になる。

海上保安庁「海しる(海洋状況表示システム)」は、データ共有ソリューションの一例である。さまざまな海洋情報を集約し、地図上で重ね合わせて表示することで、衛星情報を含む広域の情報や気象・海象をはじめとするリアルタイム情報を一元的に活用することができる。海洋に限らないが、「DIAS(データ統合・解析システム)」も同様に、地球規模／各地域の観測で得られたデータを収集、蓄積、統合、解析するとともに、社会経済情報などとの融合を行い、地球規模の環境問題や大規模自然災害等の脅威に対する危機管理に有益な情報へ変換し、国内外に提供するものである。

異業種間のデータ共有の仕組みも重要である。JAFIC(一般社団法人漁業情報サービスセンター)は海事業界のデータ流通基盤である IoS-OP(Internet of Ships Open Platform)に登録されている船舶運航データに含まれる海水温データに着目し、当データを利用することで漁場形成や漁海況の現況把握と予測の精度向上を図る取り組みを開始した⁴¹。本取組は始まったばかりであるが、これまで考えられてこなかった異業種間のデータ活用の可能性を探る好例である。業界内外双方にオープンなデータプラットフォームの構築と、そのた

⁴⁰ プロジェクト・イッカク, “海ごみの削減に向けた戦略的技術サービスを提供開始”,

<https://ikkaku.lne.st/2021/07/00047.html>

⁴¹ ShipDC, “Society 5.0 の実例となる船舶運航データの異業種連携の開始 ～船舶運航データを漁海況の予測に活用～”,

<https://www.shipdatacenter.com/notice/news/20210430.html>

めのデータ利用ポリシー等のルール形成が必須である。

【参考】洋上風力発電を踏まえた情報公開の重要性

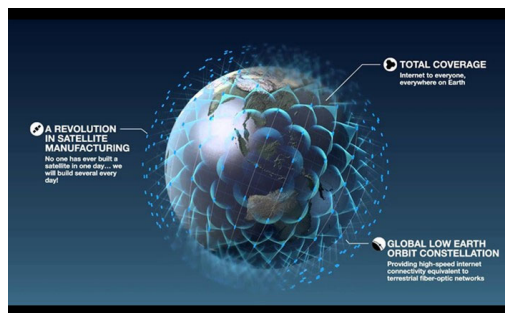
米国マサチューセッツ州における洋上風力発電施設の設置計画の策定に関する合意形成の事案においては、事業者が開発海域を選定し、利害関係者の参画が不十分な状況で策定された計画案に対し、多数の訴訟が提起された。一方、米国ロードアイランド州における洋上風力発電施設の設置区域の策定に関する合意形成の事案については、行政や事業者が利害関係者の範囲を決定するのではなく、情報の公表を通じて、自身が利害関係者であると捉えている団体や個人が合意形成プロセスに参画している⁴²。海洋利用に限ったことではないが、一般市民や関連ステークホルダーの意見の把握の際には、情報の公表とステークホルダーの巻き込みが非常に重要である。データのオープン化と共有は事業者のみならず、合意形成のためにも重要である。

⁴² 東京大学海洋アライアンス, “海洋利用に関する合意形成プロセスに係るガイドライン”, <https://www.oa-u-tokyo.ac.jp/program/images/cbm.guideline.pdf>

宇宙

衛星コンステレーション

Oneweb、StarLink など低高度周回軌道に多数の衛星を打ち上げ、世界中どこでも高速インターネットサービスを受けることが可能となりつつある。これらの実現に関し重要な視点を整理する。



Oneweb

衛星コンステレーションのイメージ

出所:SSPI⁴³

1. 国際調整

衛星通信網を構築する際の一番のハードルは、周波数確保に関する国際調整である。静止軌道ではなく低高度周回軌道を使う衛星コンステレーションの場合、軌道の確保に関してはそれほどハードルは高くない。ただし、周回軌道の場合、利用する周波数を全世界で調整する必要があるが、周波数調整は国家間調整であるため、利用したい企業が直接交渉の場につくことはできない。政府を動かすために、必要性、実現可能性等を明確化する必要がある。

2. ビジネスモデル

低高度周回軌道の衛星コンステレーションの場合、全世界をカバレッジ範囲におさめようとすると、数十機から数千機、高度によっては数万機を打ち上げる必要がある。静止軌道に打ち上げるような衛星と比較して衛星1基当たりは安価であるものの、システム全体では非常に高額になる。市場は全世界が対象になるが、地上ネットワークが十分に整備されていない地域への高速インターネットサービスの提供が主要な訴求対象となるため、運用を含めた持続的なビジネスモデルを綿密に検討する必要がある。

⁴³ Space & Satellite Professionals International, “OneWeb Satellites”, <https://www.sspi.org/companies/oneweb-satellites>

3. 社会的受容性

多数の衛星を低軌道に投入する衛星コンステレーションでは衛星が夜間太陽光を反射し、天文観測に支障を与えていると言われている。衛星コンステレーション側も衛星を黒く塗ることで反射を抑える工夫をしている。その他故障した衛星がデブリになる可能性もあり、宇宙空間の安全性確保のための方策も求められる。

超高速移動

ヴァージン・ギャラクティック、ブルーオリジンと相次いで有人飛行に成功し、宇宙旅行が現実味を帯びてきた。これらはロケットにより 90~100km の高度に打ち上げられ、弾道飛行中に無重力状態が体感できる。また、この応用として、地球上のどの地点にも 2 時間以内に移動できる超高速移動がある。ロケットによる高速移動手段を社会実装する際の重要な視点を整理する。



ブルーオリジン打ち上げ
出所:BLUE ORIGIN⁴⁴

1. 安全性

ロケット打ち上げの成功率は 9 割以上であるが、残念ながら航空機の安全性のレベルに達していない。研究開発が進むことにより安全性は向上するが、初期段階で発生する可能性がある事故に対してどう担保するかが重要である。初期の事故により可能性の芽が摘まれないような措置が必要である。

2. ビジネスモデル

宇宙旅行に関してはどれほどの市場があるかの試算はいくつか出されている。しかしながら高速移動に関してはどの程度の市場になるかは不明である。また、高速移動という付加価値だけでは、それにかかる費用を負担することは一般市民には非常に難しい。そのため、高速移動以外の付加価値、例えばアマゾンのジェフ・ベゾス元 CEO が「月へ配送サービス」を NASA

⁴⁴ BLUE ORIGIN, <https://www.blueorigin.com/news/gallery>

に提案しているように、同様のシステムの他サービスへの転用などを検討し、ビジネスが成り立つよう検討が必要である。

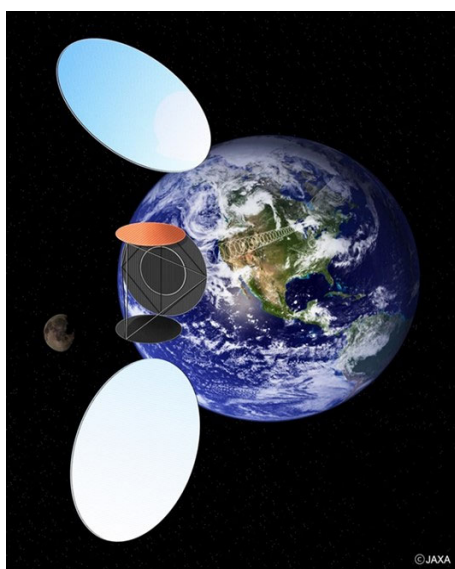
3. 社会的受容性

安全性に含まれるが、ロケットは飛行機と比べ搭載しているエネルギーは格段に大きい。そのため、打ち上げの失敗に伴う被害は甚大なものになる。また、ロケット打ち上げの安全性を確保するため、広範囲にわたり進入禁止地域が設定される。これは漁業関係者との調整が必要となる。

宇宙太陽発電システム

宇宙太陽光発電システムは、再生可能エネルギーであり、しかも出力が安定した大規模発電システムである。そのコンセプトは 1960 年代に発表され、米国 NASA や日本でも盛んに研究が行われてきた。最近では中国が関心を示しており、2050 年ごろに商用システムを実現させるというロードマップを示している。

地球温暖化対策の一解決手段でもあり、潜在的な関心も高い宇宙太陽発電システムであるが、なぜ実現のめどが立っていないかについて整理する。



100 万 kW 級宇宙太陽発電システムの
イメージ

出所:JAXA⁴⁵

⁴⁵ JAXA, “宇宙太陽光発電システム (SSPS) の研究”, <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/ssps/img/ssps-01.jpg>

1. 費用

JAXA などの試算では、100 万キロワット級の宇宙太陽発電システムを実現するためには 2 兆円以上の建設費が必要とされている。この額は地上の発電システムと比べ非常に高額であるものの、燃料費が不要、発電時間が長い(宇宙では気象の影響を受けず、ほぼ 24 時間発電可能)ため、発電コスト(kWh/円)は地上の発電システムと同程度になると試算されている。建設コストを抑えるためにもっと小型のシステムにしたらどうかという意見もあるが、発電した電力をマイクロ波に変換して地球に送るため、マイクロ波送電に用いるアンテナの大きさは、送電する電力によらず一定の大きさが必要となる。

宇宙太陽発電システムでは、回収の見込みはあるものの初期投資費用が高いことが実現の妨げとなっている。

2. 推進力

宇宙太陽光発電システムの主な推進組織としては、宇宙太陽発電学会、宇宙エネルギー利用推進議員連盟があげられる。JAXA が行った成人に対するアンケート調査では、宇宙太陽発電システムの認知度は 2 割程度と低いものの、その実現を希望する人は 8 割にも上る。宇宙太陽発電システムを実現するためにはこの認知度と要望のギャップを埋めるよう、ユーザーとなる国民の関心を高めることが必要となる。

3. 社会的受容性

宇宙太陽発電システムに関して、「送電ビームの中に鳥が入ると焼き鳥にならないか」、「宇宙で発電した電力を地上で使うことで地球温暖化が進まないか」などの質問が多く寄せられる。いずれも宇宙太陽発電システムという新しいシステムを社会に導入することに対する不安を表している。これらの質問に対しては科学的に安全性が証明できるが、それを市民が受け入れるかどうかの問題である。良い点だけを強調するのではなく、市民が不安に思う点について丁寧に、わかりやすく説明していく必要がある。

5.

社会実装力向上のためのキーファクター

社会実装成功のための5つの要素

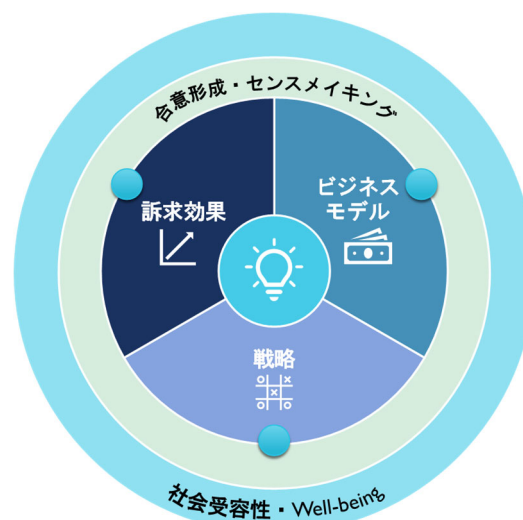
これまでに、海外における先進技術の社会実装の成功事例と失敗事例を研究し、その後、フロンティア領域として定義した「空」「海」「宇宙」のそれぞれにおいて、これから社会実装に取り組んでいこうとする先進技術や、今まさに社会実装に向けた過渡期にある先進技術が、広く社会で利用されていくために今後必要となる重要な視点を整理した。

これらを踏まえて考察すると、フロンティア・テクノロジーを、技術開発や技術実証の段階から広く社会で利用される製品やサービスの姿にうまく転換させていくための要因、つまりフロンティア・テクノロジーの社会実装を成功させるための重要な要因が浮き彫りになってくる。私たちは、ここまでの分析・整理を通じて、フロンティア・テクノロジーの社会実装の成否のカギを握る5つのキーファクターを導き出した。

1. **ビジネスモデル**:利益を確保できるか、また、それが持続的か。
2. **戦略**:自前主義にとらわれずパートナーとの座組ができているか。知的財産戦略は周到か。
3. **訴求効果**:それまでに無かった新しい価値を提供できるか。
4. **合意形成・センスメイキング**:ユーザーの合意を形成するための制度・ルールが作れるか。
5. **社会受容性・Well-being**:安心・安全が確保され、人生をより豊かにすることができるか。

「ビジネスモデル」「戦略」「訴求効果」は、いわば成功のための事前準備である。供給側は、これらそれぞれの観点で、世に出そうとする自らの製品やサービスを客観的に点検する。

「合意形成・センスメイキング」「社会受容性・Well-being」は視点を需要側に移した時の成功要因であり、同時にフロンティア・テクノロジーの社会実装の成否を決める基盤ともいえる。



図表 フロンティア・テクノロジーの社会実装成功のための5つのキーファクター(出所: MRI)

1. ビジネスモデル

コンコルドやセグウェイは技術としては完成したが、市場で成功する技術的競争力やビジネスモデルが欠如していたと言える。コンコルドの場合は、高すぎる価格設定や燃費の悪さ、航続距離の限界などにより運航ルートが限られたこと、セグウェイの場合も一般消費者層の手の届きにくい価格設定や、走行可能な場所が曖昧であったり都市によっては公道における利用が制限されるといった問題から、長期的な事業として社会に浸透し、新しい価値をもたらす技術製品となることはなかった。一方、電動キックボードは低価格のシェアリング制、地域の一般市民に回収・充電を委託するといったユーザー、事業者の双方にとって利便性が高く運営を継続しやすいビジネスモデルを採用している。DJI も他社が実現していない技術の開発に加え、適切な価格設定やサプライチェーン面などで有利な立地を生かし、優れた製品の生産・販売を続けられる体制を整えビジネス的持続可能性を確保している。

社会における流行をとらえて一時の利益獲得を目論むだけなら、一過性の取組みでも構わない。しかし、今、私たちが考えているのは一過性のビジネスでは到底実現することのできないフロンティア・テクノロジーの社会実装であり、その背景にある社会課題の解決である。社会実装と言うからには、新しく生み出した製品やサービスが世の中に広く浸透し、価値を提供し続ける状態を目指す必要があり、それを可能にする持続的なビジネスモデルの設計が必要になる。

2. 戦略

DJI の成功は技術開発力の高さに加え、知財・ソフトウェア・価格といった多方面において優れた事業戦略が練られていることが、その背景として挙げられる。フライトコントローラーからハードウェアを自社で開発するクローズド型の開発を採用し、徹底した知的財産戦略により自社の技術を守りつつ、SDK によりアプリケーション開発を解放して外部イノベーションによる自社製品の付加価値向上を可能とした。このようなメカニズムを経て高品質かつ価格競争力のある製品を市場に投入し続けることができている。一方セグウェイの例では、経営手腕のない発明者が自社生産にこだわったことが失敗の原因の一つと指摘されている。経験のあるメーカーとのライセンス契約を経ていれば、企業経営の経験に乏しいという弱みが補完できていたかもしれない。

先進的な技術開発を追い求め、自社製品の競争力を高め、高品質な製品を世に送り出すことが成功に直結する時代は確かにあった。しかし、技術的利便性が成熟期を迎え、一方で社会課題が複雑化している現代においては、自前主義で愚直な高品質追求はもはや成功要因とはならない。有効なビジネス・パートナー戦略や周到な知的財産戦略により、社会実装を一つの事業として捉えるならばその事業ポートフォリオをいかに組むことができるか、が成功要因の一つになると考えられる。

3. 訴求効果

キックボードは操作が簡単である点やシェアリングモデルにより乗り捨てができる利便性で人気が出た。DJI のユーザーフレンドリーな民生用ドローンもそれまでに欠如していた機能を提供しユーザーを魅了した。一方、セグウェイはキックボードと同様にラストマイルの移動手段や公共交通機関の代替としてユーザーからの需要そのものは存在していたものの、高価格であったり宣伝されているよりも操作が難しいという点でユーザーの取り込みに失敗した。また、コンコルドは時間を惜しむ富裕層らに短時間での大西洋横断手段を与えたという意味ではユーザー需要に応えたが、機体の設計や内装において快適性を軽視したことから、富裕層中心の顧客への十分な訴求効果を発揮することができなかった。

優れた技術を適用し新しい「製品」を生み出すことができたとしても、ユーザーにとって、それが自分たちの求めている「価値」を提供してくれるものであると感じられるものでなければ、社会に浸透し持続的に利用され続けることはできない。フロンティア・テクノロジーには夢があり、ワクワクする未来を想起させる力がある。その力を無駄にしないためにも、フロンティア・テクノロジーを適用して生み出す製品やそれを活用したサービスには、ユーザーにとっての新しい「価値」に対する訴求効果が求められる。

4. 合意形成・センスメイキング

画期的な新技術であっても、安全性に対する印象や環境保護等、市民の支持を得ていなければ社会実装が阻まれる可能性がある。キックボードに関しても歩行者や自動車との関係から安全面での懸念や乗り捨てによる公共空間の秩序の混乱といった問題が発生している都市もある。そのような中、イスラエル・テルアビブの当局によるキックボードに対するルールや法律の整備や、企業側が早期段階からこれらに配慮しながら適切な制度設計に寄与するといった取組みが、市民の合意形成や前向きな感覚の醸成につながっているといえる。また、英国政府による自動運転車の社会導入においても、パブリック・エンゲージメントを重視し、市民との対立の防止に早期から取り組むことで、将来的に発生しうる逆風を事前に探知しこれに対処していこうとする姿勢がみられる。

フロンティア・テクノロジーのように、これまでになかった新たな技術を適用する製品やサービスを適正な形で社会に浸透させるためには、これを利用するための新たな制度やルールの形成が必要となることが多い。一方で、製品やサービスの社会への浸透は、それらのユーザーが存在すると同時にユーザーが利便性や新たな価値を享受できてはじめて実現するものである。従って、必要な制度やルールを設定しようとする際は、行政や事業者の視点だけの議論にならぬよう、ユーザーである市民を積極的に巻き込み、互いに合意形成を図っていくことが求められる。

5. 社会受容性・Well-being

社会的ニーズだけで技術の実装が成功するとは言えないが、環境保護や交通政策など安

心・安全の観点から社会全体において技術的変革が求められている場合には、これが技術の実装の追い風となる。例えば、電動モビリティであるキックボード(とセグウェイ)は、環境保護といった社会的ニーズと関係している。また、英国が自動運転車の普及に取り組んでいる主な理由も、現在交通事故の原因の大半を占める人為的ミスを防止することで交通安全を向上することとされ、これも社会的なニーズであると言える。一方で、コンコルドのように開発・運用コストが非常に高く、一部の富裕層しかメリットを享受できず、同時に環境やインフラへの悪影響をもたらす恐れもある製品は、革新的な輸送手段といえども社会全体に大きな利益をもたらすものにはなり得なかった。

前言のように、フロンティア・テクノロジーには夢があり、ワクワクする未来を想起させる力がある。この側面はフロンティア・テクノロジーにこそ備わるものであり、技術開発・製品開発の推進力となるものであることは間違いない。一方、新たな技術であればこそ、それを受容するユーザーにとって安心・安全は譲ることのできない要求であることを十分に理解することが必要である。安心・安全をしっかりと踏まえ、ユーザー個々人の生活や行動の変容を促し、トータルとして人生を豊かにできる価値を提供してこそ、真のフロンティア・テクノロジーの社会実装が達成されるのである。

政府、産業界、学术界への提言

前述の 5 つのキーファクターは、フロンティア・テクノロジーの社会実装の成功にとって、すべてが完全に達成されることが条件ではない。ただし、いずれか 1 つの要素でも明らかな失敗が存在すれば、社会実装は成功には繋がらないと考えるべきものである。

わが国は、高い技術開発力を有しながらもその社会実装、社会導入が円滑に進みにくい。技術実証の取り組みは、各中央省庁や自治体等の予算化のもとに盛んに行われているものの、実証の段階から社会実装の段階に移行するのが苦手、あるいは、海外のスピード感と比較して劣後している、というのが現実であろう。この社会課題の背景には、行政の縦割り構造が推進力やスピード感の発揮に悪影響を及ぼしていること、製造業が過去の成功体験から脱却しきれていないこと、などが根本にある。特にフロンティア・テクノロジーは、これまでの延長線上にはない新たな価値を提供する性質を有することから、この社会課題に風穴を開けることこそが、5つのキーファクターを達成していくための前提条件になる。

この観点に立ち、フロンティア・テクノロジーの社会実装をより円滑にそして加速化するための提言を以下に整理する。フロンティア・テクノロジーを活用した製品・サービスを供給していく側である「政府」「産業界」「学术界」に対する提言と、製品・サービスを利用する需要側である「市民」と各提供主体が関連し合うことで効果を発揮するための仕組みを整理する。

政府に対する提言

米国 DARPA の例に見られるような、社会実装を明確に指向した技術プログラムを開設する。

わが国においては、例えば先進技術の社会実装を目指した政府プログラムである戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)が運用されている。しかし先進技術の開発・高度化に焦点が当たっているのが実情であり、社会実装に対する課題解決への訴求力は弱い。

まず必要なのは、技術実証の要素と並行してビジネス実証の要素を必ず取り入れることである。ビジネス性の検証には先の5つのキーファクターが役立つ。

また、プログラムディレクター(PD)には、より大きな裁量権を与えると同時に、迅速かつシンプルな資金調達プロセスを確保する。さらに、優れた成果を表彰するためのコンペを開催し賞金を出す。これらにより競争原理を創出し、社会実装というゴールにスピード感を持って到達するための仕組みを構築する。

産業界に対する提言

上記の政府による技術プログラムに積極参加するとともに、技術プログラムの成果を活用することで、新たな技術やビジネスの立ち上げリスクを局限すると同時に、これらの開発スピードをアップさせる。

また、高度経済成長期の成功モデルから脱却し、自前主義に陥る縦割り業界構造を打破するため、失敗を許容し合う産業界の土壌の形成も大切である。新たな時代を指向する産業界は自らの行動変容を貪欲に進める必要がある。

さらに、サービス提供側の産業界は、サービス利用側の市民との距離を縮めた上で製品・サービスの開発を行うことが有効であり、このために、産業界主導でのパブリック・エンゲージメントに取り組むことが有効である。パブリック・エンゲージメントは英国の事例でも紹介しているが、例えば、社会実装のための市民参加のトライアルを産業界自らが実施することは、パブリック・エンゲージメントを図る有効な手段である。改めて、パブリック・エンゲージメントを簡潔に言い表すと以下ようになる。

一般には専門家ではない市民が、公共的な問題に対して、政府、企業、大学等の高等研究機関等の専門家と協働し、ともに問題解決に対して積極的に取り組んでいくための仕組み

学術界に対する提言

現状の内閣府 SIP に対し、学術界から PD としての参画が見られる。しかしながら、それは大学等における研究者・教育者の役割を維持しながらのものである。

フロンティア・テクノロジーの社会実装の推進力を高めるには学術界の知見が必要であるが、政府の技術プログラムに対して、掛け持ちではなく PD 専属として数年間プログラム牽引に専

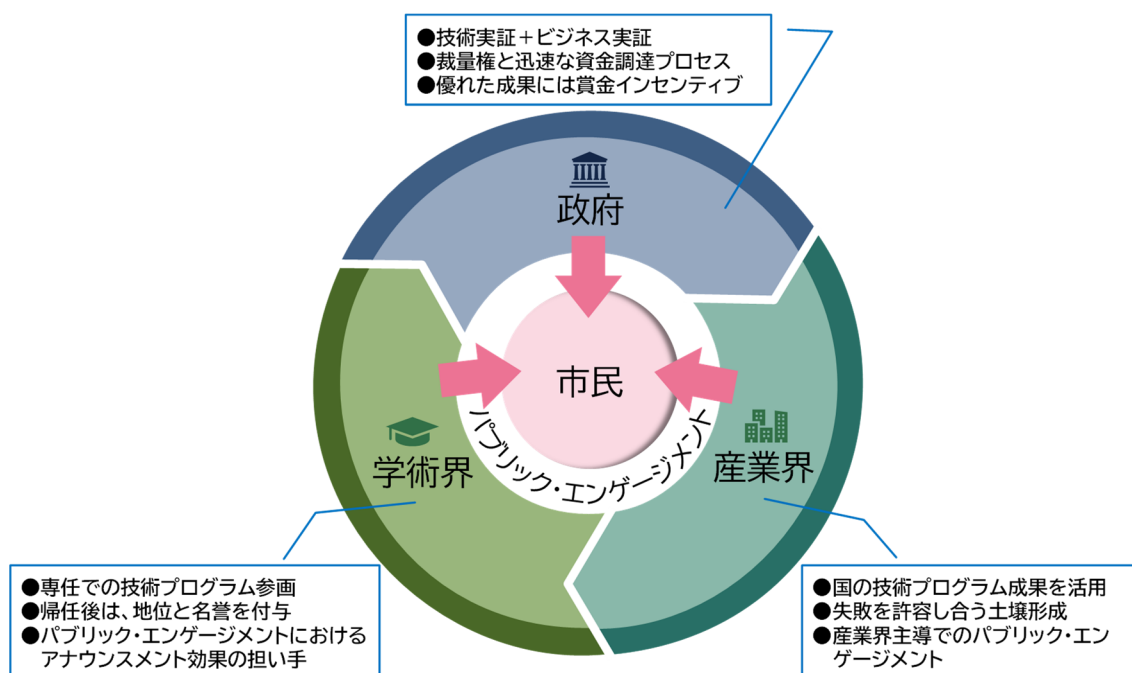
念するメリハリの利いた機能集中が望まれる。なお、政府の技術プログラムとしての採用及び牽引は、特に実業上優秀な研究者の証左と位置づけ、帰任後は相応の地位と名誉を付与することで身分保証とする。

また、パブリック・エンゲージメントにも積極的に関与し、市民に対するアナウンスメント効果の担い手となることが有効である。

フロンティア・テクノロジーの社会実装を効果的に進めるためには、「政府」「産業界」「学术界」のそれぞれの主体が、上述のように相互に関わり合いを持ちながら各々の役割を果たしていくことが重要である。そのうえでさらに重要な着意は、製品・サービスを利用する「市民」とより近い関係を保持して社会実装に向かうことである。

そのための考え方・仕組みとして、パブリック・エンゲージメントを活用することが有効に働くと考えられる。特にフロンティア・テクノロジーのように、これまでの延長線上にはない新たな価値を市民がスムーズに受容していくためには、パブリック・エンゲージメントを戦略的に活用することは効果的であり、市民もこれに積極参加し、供給側と協力のうえで社会導入が進む形を創ることが重要となる。市民の立場からしても、受容できるための条件が早期に明確化できるメリットがある。

パブリック・エンゲージメントを通じた「政府」「産業界」「学术界」そして「市民」の協力体制により、「社会実装力」を飛躍的に向上させる取り組みが、今後ますます求められる。



図表 社会実装力向上のための政府・産業界・学术界・市民のつながりと役割(出所:MRI)