

官民連携による 包括的小型衛星ビジネス

文責 杵山竜ノ介 若林拓未 白井颯太 江頭龍士郎

目次

はじめに

第1章 日本の宇宙分野の現状

第2章 日本の宇宙分野の問題

第3章 小型衛星の需要

第4章 日本がとるべきビジネスモデル

結言

参考

参考文献

【要約】

国にとって、宇宙分野は安全保障に大きく関わる。その宇宙分野に、小型衛星の発展により、多くの海外の民間企業が入り込んでいる。しかし、日本の宇宙分野の企業は未だ官需依存であり、宇宙開発が遅れている。これは、安全保障の弱体化を意味する。そこで、こうした事態に対処し、安全保障を盤石のものとするためには、国が主導する官民連携による包括的な企業が必要ではないかと考え、検証した。結論として、国による出資、JAXAによる技術提供、民間企業による技術連携と出資、からなる官民連携企業を作り、国が主導して包括的小型衛星ビジネスを行うことを提言する。このビジネスモデルでは、IoTや3Dプリンター・民生品の活用、アフターサービスの実施などにより、国にとっては国産の安価な小型衛星を得られ、安全保障面を強化する。民間にとっては経済的な利益を見込むことができる。JAXAとしても、その利益を活用してさらなる開発に励むことができ、日本の宇宙産業全体を盛り上げることに繋がる。

キーワード：日本の宇宙産業、安全保障、官需依存、国主導、官民連携

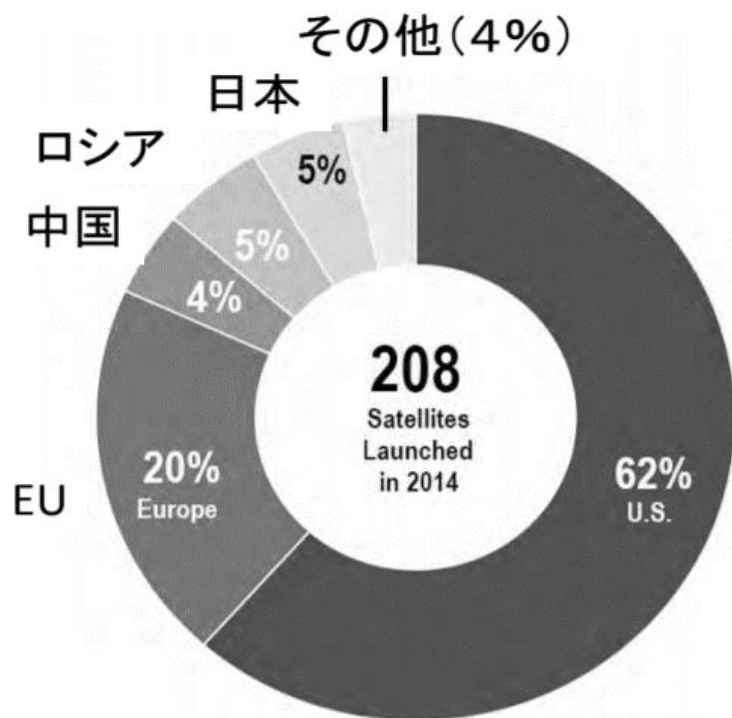
はじめに

令和の現代は、宇宙に注目が集まる時代である。日用品の多くが宇宙産業と密接するようになり、現代ではスマートフォンやカーナビ、近い将来には自動運転や5Gの導入が見込まれている。宇宙開発自体は米ソ2国が冷戦期から躍起になり、現在でもフロンティアとして活躍する。しかし、日本の宇宙産業は官需依存が主であり、民間向けの商売ができていない。すると、官民連携を実現することが一つの解決策になる。だが、民間企業としては、宇宙産業への進出は莫大なコストがかかる。経済面での利益を明確に見込めないと、宇宙開発を進めることが難しいのだが、官需依存では利益に乏しい。したがって、宇宙開発においては国が主導して官民連携の開発を行っていくべきである。国には民間と異なり、経済面の利益だけでなく安全保障面での利益を大いに享受したいという欲求がある。よって、安全保障面での利益を充分にし、付随的に経済面でも利益のある「官民連携のビジネスモデル」が存在すれば、国が事業を主導しやすくなり、日本の宇宙産業が活発化されるのではなかろうか。以上を踏まえて本論文では、日本の現状の宇宙産業を分析し、国の視点から「日本が取るべきビジネスモデル」を示すことを目的とする。

第1章 日本の宇宙分野の現状

本章では、日本の宇宙分野の現状について分析する。

日本の宇宙機器産業は国内官需が約9割を占め(後述)、事業規模も米欧に比べ小さく(第1図)、先行する海外企業に比べて必ずしも十分な国際競争力を有していない。アメリカの宇宙予算はおよそ4兆円の規模であり、次ぐ欧州・ロシアの宇宙予算は1兆円程度である。これに対し、日本の予算規模は3000~4000億円程度である(第2図)。



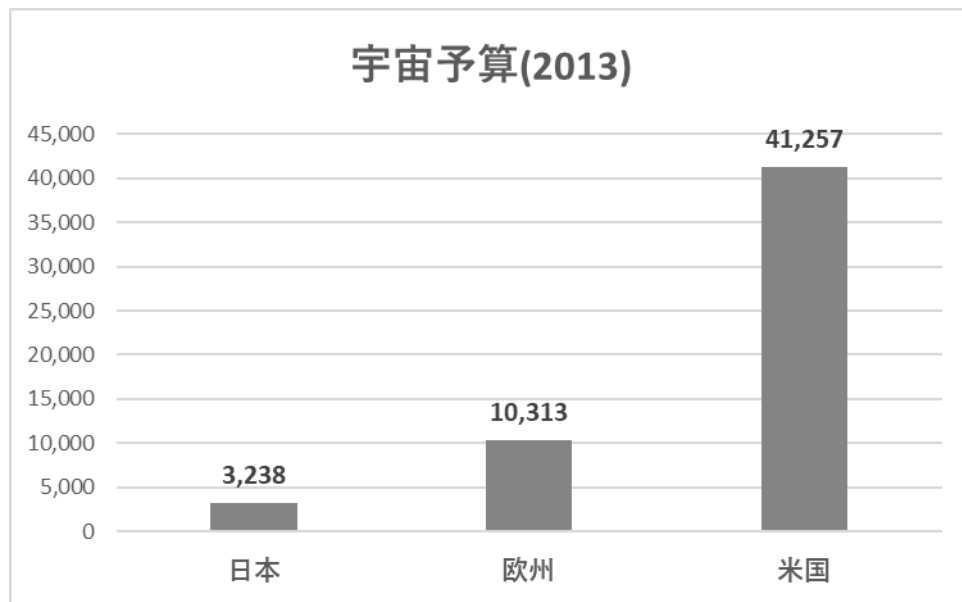
各国の衛星製造メーカーの売上シェア(2014年)

(第 1 図)

各国の衛星製造メーカーの売り上げシェア(2014 年)

出典：SIA “State of the Satellite Industry Report” 2015 p.19

売り上げシェアはアメリカ一国で 6 割を占める。



(第 2 図)日欧米の宇宙予算(2013)

日本航空宇宙工業会『平成 25 年度宇宙産業データブック』を参考に筆者作成

縦軸は予算額、単位は億円

しかし、アメリカの10分の1以下の予算規模でありながらも、はやぶさのような世界初の人工衛星による他天体からのサンプルリターンに成功するなど、技術力において、アメリカ・欧州・ロシアなどの宇宙先進国と肩を並べている。基幹ロケットである H-IIA/B の打上げ成功率は 97%を超え、オンタイム打上げ率(規定の日時に打上げる割合)は 95%である(海外の大型ロケット打上げサービスのオンタイム打上げ率が概ね 65~75%前後である)。また、日本は三菱グループのような衛星製造からロケット製造・打上げサービスまで、フルセットで宇宙産業を抱えている世界的に見ても数少ない国である。

加えて、宇宙産業の変化のスピードが速まる中、技術開発の中心的な役割を担ってきた JAXA においても、技術開発の段階から産業化を見据え、双方を並行して進める取組も始まっている。

第2章 日本の宇宙分野の問題

本章では、日本の宇宙分野の問題について、安全保障面・法律面・産業面からそれぞれ示す。

① 安全保障面

日本の宇宙分野での安全保障としては、気象衛星、A) 動静把握(画像・電波情報・早期警戒・飛翔物体探知・衛星通信)、B) スペースデブリ観測、C) 測位衛星¹(GPS など)に関するものがある。そのうち、気象衛星は現在使われているひまわり9号²が純国産であり、運営も日本が行っているため、有事の際の懸念がない。目下の問題としては、残る「動静把握」「スペースデブリ観測」「測位衛星」に関するものであり、それぞれを詳述する。

A) 動静把握

日本は6機の情報収集衛星を保有し、地上のどこでも一日に一回観測可能である。また将来的には、10機を保有し、半日に一回の観測を目指している。

だが、それだけでは不十分だ。たとえば、北朝鮮の保有する固体燃料ミサイルの北極星シリーズは、格納庫(宇宙からの発見は難しい)から発射場に搬入して20分で発射可能といわれるため、日本の情報収集衛星だけでの発射兆候の確認は難しい。

¹ 位置情報をリアルタイムに提供し、測位やナビゲーションのみならず、搭載されている原子時計機能が電子決済に利用される。

² 2016年10月に運用を開始。かつては日本の気象衛星も海外産であった。例えば、ひまわり5号までの「ひまわりシリーズ」は、アメリカのヒューズ社の類似衛星だった。

これを解消する策として、小型衛星を大量生産して、ある地点の観測スパンを短くすることが挙げられる。この点は第3章で詳述する。

B) スペースデブリ観測

スペースデブリとは、「故障した人工衛星や打ち上げロケットの上段等が、爆発・衝突し発生した破片等の総称」をいう。よって、とりわけ小型衛星が大量に打ち上げられたときに問題となる。衛星とスペースデブリの衝突は、衛星の破損などの問題を引き起こす。2009年にはイリジウム衛星にスペースデブリが衝突する事案が発生する例もあり、そのリスクを無視することは不可能である。そのため、日本は2016年に「宇宙活動法」を制定し、スペースデブリ観測に関して具体的に規定した。ただ、世界中でこの問題は発展途上であり、現段階でスペースデブリを完璧に克服する具体的かつ有効なシステム・取組は存在していない。

日本では、複数の民間企業がスペースデブリ観測への事業に取り組んでいる。川崎重工の例があるので、それを第4章④で示す。

C) 測位航行

日本は測位航行においてアメリカのGPS衛星システムを主に運用している。しかし、衛星測位において、利用者の受信機の位置を測定するためには、4機以上の人工衛星から信号を受信することが必要であり、高精度な測位には、8機以上必要とされるが、GPS衛星だけではその条件を満たすことができない。そのため、日本は、独自に太平洋地域向けの衛星航法システムである準天頂衛星システムをGPS衛星システムの補完となるべく構築をしている。ただ、GPS衛星システムはアメリカ空軍が運営しており、有事の際の精度保証を行ってない。そのため、GPS衛星が使えなくなった場合、日本は全世界での衛星測位が使えなくなるといった問題がある。また、日本国内での測位の精度も大きく落ちる。それは、今後の我々の生活に必須なインフラである、自動運転や5Gが使えなくなる可能性をはらんでいる。このような事態に対応するため、ロシアはGLONASS、中国はBeiDou（北斗）と呼ばれるGPS衛星に頼らずに世界を覆う独自の測位航行システムを構築している。

したがって、日本は自前の人工衛星を製造・運営する必要がある。衛星の国産化に関しては、第4章全体で具体的な方針を含めて示す。

② 法律面

法律面においては、国視点で考える以上、国内法³については臨機応変に改正すれば

³ 現在の日本では、「宇宙基本法」、「宇宙活動法」と「衛星リモセン法」が定められており、それらによって「宇宙開発戦略本部の設置」「スペースデブリ軽減措置の規定」「リモートセンシング記録流通規制」などが実現している。これらは日本の官民が宇宙産業を行う上での安全を保障するものである。よって、宇宙関連の国内法

問題ない。しかし、次の例は外交が絡むために「国内で」「早急に」解決するのが困難であり、懸念するべきものである。

日米衛星調達合意

日米衛星調達合意とは、政府や政府の管轄下による機関が非研究開発衛星を調達するにあたって、国際競争入札の原則⁴とすることを決定したものである。厳密な国際約束ではないが、日米政府間で合意されたある種のルールである。背景として、1980年代の日米貿易不均衡が拡大する中で、米通商代表部(USTR)に日本側が譲歩する形で合意決着を見た。1990年以降計15機の非研究開発衛星の調達を国際競争入札にした結果、12機(80%)が米衛星メーカーに落札された。少量生産であるために高価格の日本衛星メーカー製の衛星は太刀打ちできず、アメリカ側の思惑通りとなった。その結果、日本の衛星は完全国産化ができなくなった。

前述したように、この合意を早急に解消することは容易ではないだろう。したがって、日本は国際競争入札に勝利する必要がある。そのため、安価かつ高性能な人工衛星の開発が望まれるが、その点に関しては第4章の主に①で詳述する。

③ 産業面

A) 日本の官需依存

これまでは宇宙機器メーカーの顧客は国しか存在しなかったため、国の宇宙にかける予算の規模によって、その国の宇宙産業の規模は決まっていた。しかし、現在では民間の宇宙への進出もあり、宇宙機器メーカーの売り上げに占める官需の割合は国際的に減りつつある。しかし、日本の宇宙産業は技術を高めることを主眼として、コストを削減することを軽視してきたため、現在でも民需の割合が低く官需の割合が比較的高い(第3図)。

に関して後述のビジネスモデルへの障害となるような懸念材料はない。

⁴透明、公開、かつ無差別な競争手続き。したがって、安価で高性能な衛星が落札される。

	予算	官需依存割合
日本	約2,697億円	91%
欧州	約7,094億円	51%

(第3図)日本と欧州の需要先別売上高(2009)

欧州は軍需(6%)を含む。

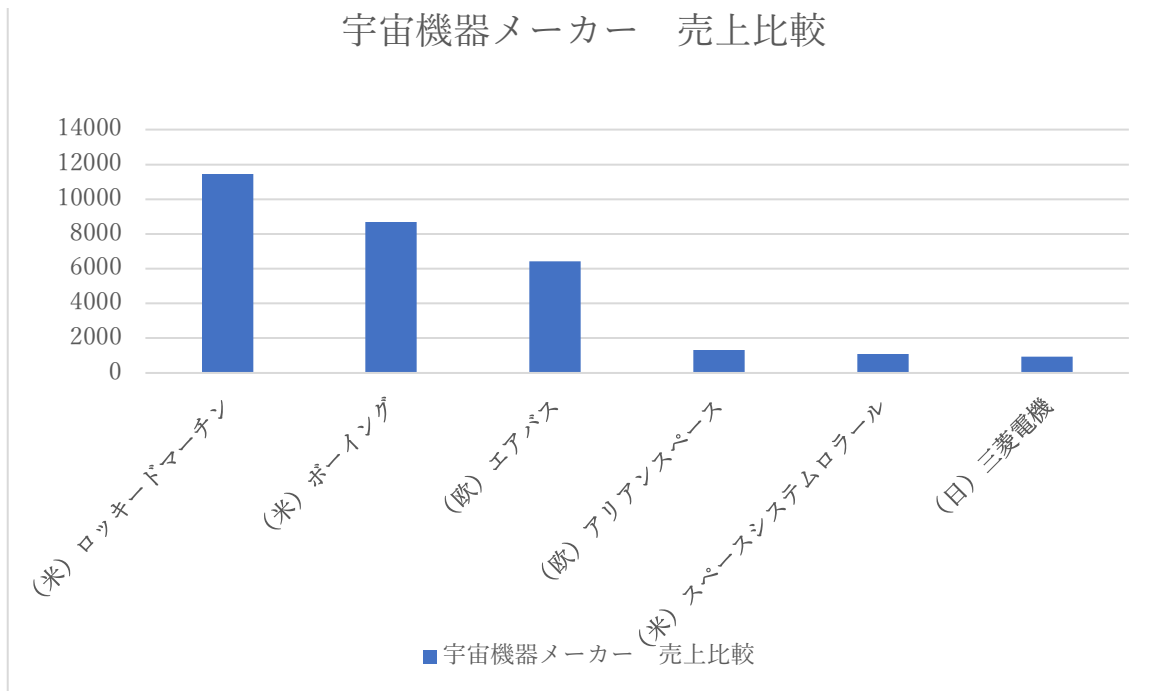
経済産業省資料を参考に筆者作成。

官需に依存していると、競争が生まれず、宇宙産業が発展しない上に、採算も取れない(Bで詳述する)。

したがって、日本は官需依存ではなく、官民連携で宇宙産業に進出することが必要である。そのためには、繰り返しになるが、有効な官民連携のビジネスモデルを提示する必要がある。

B) 日本の民間企業の停滞

世界の宇宙機器メーカーの売り上げでは、最大の市場を有するアメリカ企業が上位を占め、続いて欧州企業が並んでいる。それに対し、日本の企業では三菱電機の19位が最高位である。



(第4図) 主要宇宙機器メーカーの売上比較 (縦軸単位は、100 万米ドル)

経済産業省資料を参考に筆者作成

1位ロッキードマーチン、2位ボーイング、3位エアバス

商業打ち上げ市場トップのアリアンスペースは15位、

商業衛星市場トップのスペースシステムロラールは16位、

我が国の宇宙機器企業は、欧米の主要宇宙機器企業に比べ事業規模が小さいため、研究開発投資等の規模も小さくなり、結果として競争力強化への取組も不十分なものとなっている。また、日本の宇宙機器メーカーの多くは宇宙事業を専業としておらず、宇宙部門は概ね赤字不採算事業とされてきた。加えて、第4章④でも述べているが、衛星やロケットが大変高価な代物でありながら、もしも事故が起こってしまうと、大きく報道されるため、株価や企業ブランドにも悪影響が及ぶ。そのため宇宙機器メーカーの経営陣にとって、宇宙部門は事業リスク、収益性、安定性等のいずれの点でも有望事業ではない。近年では株主説明責任が重視され、撤退も現実的な選択肢となっている。例えば、宇宙産業と同様に収益性が低く・企業全体収益に占める割合が低い防衛産業では、自衛隊車両開発の大手コマツが採算性の観点から、次期機動車の開発を中止している。このような状況では思い切った投資は行いづらく、国からの受注で何とか製造ラインを維持している状況である。

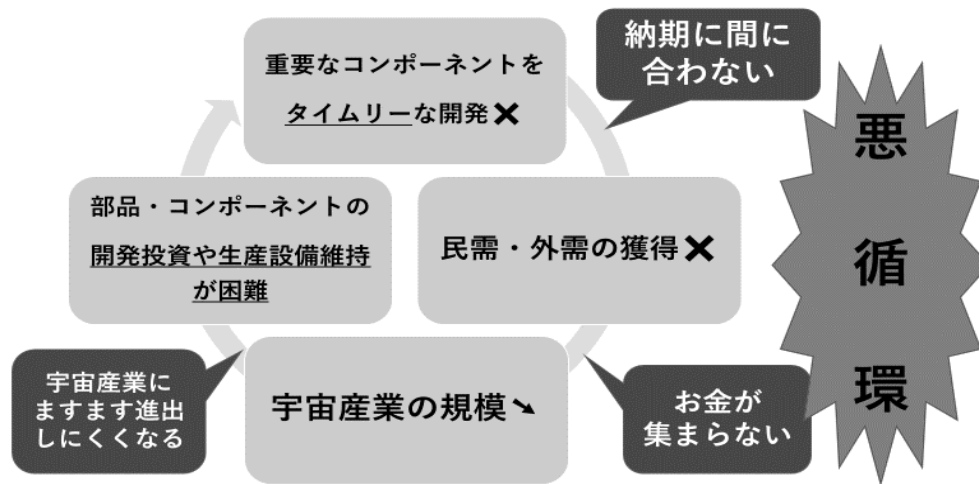
さらには、その市場に複数の事業者が存在することもあり、設備投資や研究開発投資が各社ごとに分散し、国全体としては規模のメリットの面で非効率が生じ、国際競争力においても悪影響が生じている。

このように、官需依存→民間停滞の轍を踏み続けているのが今の日本であり、民

間の立場からすると、宇宙市場を活性化する国の支援が必要である。したがって、国は主体的に民間と連携していかなければならない。

C) 部品・コンポーネントの海外依存

人工衛星用部品・コンポーネント⁵の 4 割を日本は海外に依存している。こうした部品・コンポーネントの高い海外依存は、今までの日本の人工衛星が少量生産であったため、企業は多額の研究費を使って部品・コンポーネントを独自開発しても採算性が取れないと判断し、輸入に頼ってきたことに由来する。部品・コンポーネントを海外に依存すると、有事の際に輸入が滞り、安全保障面に影響が出る。また、人工衛星の開発はコンポーネントとのすり合わせが必要となることが多いため、国内に競争力のあるコンポーネント製造産業が存在することは、人工衛星の技術革新において重要である。加えて、人工衛星の競争力の重要な要素である納期の観点からも、部品・コンポーネントのサプライチェーン⁶ができるだけ国内に存在することが重要である。したがって、経済面でも海外依存は障害である。



(第5図) 競争力低下による悪循環のモデル

内閣官房ほか『宇宙用部品・コンポーネントに関する総合的な技術戦略』を参考に筆者作成

現代の日本は官民連携とコンポーネントの輸入依存により、図で示されるような悪循環に陥っていると考えられる。

解決策としては、部品・コンポーネントを国産化することが挙げられる。この点は第4章(D)で詳述する。

以上の問題点とその解決策については、「参考」の項でチャート化している。

⁵ 送信機や計算機などの部品のこと。

⁶ 原料の段階から製品やサービスが消費者の手に届くまでの全プロセスの繋がりのこと。

第3章 小型衛星の需要

近年の通信技術などの発展により、小型衛星を活用した衛星コンステレーションが活発化している。衛星コンステレーションとは、大量の小型衛星群で地球上を覆うことである。大型衛星と比べて小型衛星は低性能だが、低コストである。大型衛星には複数の用途向けの多くの機材が積んであり高性能であるのに対し、小型衛星は一つの用途だけの機材を積んでいる。また、大型衛星一機が約 100 億円であるのに対し、小型衛星一機は数億円である。大型衛星一機の損失は、これらの理由により計画に大きな損害を出すため、小型衛星を多く打ち上げることはリスク分散につながる。こうした理由から、大型衛星には極めて高い信頼性が求められており、コストが高くなる原因となっている。それに対して、小型衛星は一機当たりの単価が安価なため、今まで宇宙産業に参入してなかった新興国や中小企業も参入しつつある。

そのため、衛星利用に関して、周波数・軌道権益などの限られたリソースを最大限活用するために技術開発競争が加速している。日本も、小型衛星の利を生かして、小型衛星を大量生産し、衛星コンステレーションを構築することが、とりわけ安全保障面で重大になる。

小型衛星の種類は主に、通信衛星・リモートセンシング衛星（地球観測衛星）・測位衛星・技術実証衛星の4つである。以下に、それぞれの衛星について記す。

① 通信衛星

地球上から情報を人工衛星へ送信し、その情報を人工衛星から、地球上の広範囲もしくは所定の場所に送信するための人工衛星である。衛星電話、衛星放送、データ中継衛星などに細分できる。米宇宙開発ベンチャーの OneWeb 社や SpaceX 社はグローバルブロードバンド環境を提供する大規模コンステレーション⁷を構築しようとしている。例えば、OneWeb 社では 2019 年 7 月に小型衛星の製造工場を約 8500 万ドルで完成させ、2019 年末から 1 日 2 台生産を行って、まず 648 基を打ち上げる。そして 2021 年には、それを利用して商用サービスを開始する予定である。また、SpaceX 社は地球上のあらゆる場所にインターネット接続サービスを提供するため 2020 年代半ばまでに小型通信衛星 12000 機を軌道に投入し、地球全体を覆う衛星通信網を構築する計画である。また、Facebook 社も打ち上げを検討していたが、コスト面から断念した。

② リモートセンシング衛星

宇宙から、地球上の写真・動画・温度などを観測する人工衛星である。宇宙から地球を

⁷ 衛星コンステレーションとは、多数の人工衛星を協調して動作させる運用方式のこと。小型衛星を大量に強調させることで、大型衛星に劣らない性能での運用を可能にする。

観測するため、隠すことが難しく、ある場所で起こっていることを比較的容易に把握できる。主に、気象衛星、資源探査衛星、安全保障・軍事衛星などに細分できる。小型衛星を開発するスタートアップ企業である、QPS 研究所とシステム開発のフュージックは、衛星の地表観測データを扱うための国の許可・認定を衛星リモセン法により取得した。QPS 研究所としては、画像データの価格は大型衛星のものに比べて半分から 3 分の 1 以下に抑える計画である。24 年までに計 36 機の衛星を打ち上げて、約 10 分に 1 回のペースで特定の地点を撮影できるようにする計画である。

③ 測位衛星

複数の衛星から測位信号を地球上に送信し、地球上の受信機で測位するものである。

④ 技術実証衛星

地上の環境と大きく異なる宇宙独自の環境を生かした実験のための衛星。宇宙放射線や高真空などの環境での物質の挙動の観測や、無重力を活かして物質を均等に混ぜることなどが行われている。

また、衛星の寿命はおよそ 5~7 年であるため、継続的な需要が存在する。

一方で、小型衛星は大型衛星に劣る面も持つ。例えば、衛星一機あたりの性能の良さを必要とする衛星には大型衛星が向いている。現段階で小型衛星よりも大型衛星の方が性能で勝るからだ。ただ、そのような衛星は科学衛星などに限られるため、商用的な用途に乏しく、今回の提言で考慮する必要はない。また、前述したが、小型衛星が大量に打ち上げられると、小型衛星同士の衝突やスペースデブリのリスクが高くなるのもデメリットである。この点に関しては、第 4 章④で述べる。

以上に挙げた需要を踏まえて、第 4 章で提言を行う。

第4章 日本がとるべきビジネスモデル

欧州では、いままで国が行っていた衛星の運用事業を PPP⁸などの手法を用いて官民連携で実施する動きが広がっている。言い換えると、デュアルユース⁹目的を含んだ公的ミッションの衛星を民間が運用し、その国の公的機関などが長期的な利用を保証するアンカーテナンシー¹⁰としてビジネスリスクを軽減して、民間が余剰リソースを活用して収入を得るビジネスモデルである。互いにコストをシェアすることができ、公的機関としては民間の投資によって全体のコストを減らし、さらに、初期に集中する導入コストをプロジェクト期間全体で均等にできる。また、民間としても公的機関からの安定した収入計画により、ビジネスリスクを減らし、資金調達もしやすくなる。日本でもビジネスの予測可能性を高めるため、公的宇宙機関・民間による連携モデルの明確化が望ましい。そこで、我々は以下のビジネスモデルを提案する。

JAXA・国と日本の宇宙関連企業（衛星製造・ロケット製造・地上システム・保険などの宇宙インフラとそれを支える会社、宇宙機器産業）が、官民連携での包括的小型衛星ビジネスのための会社を作る。JAXA・国は技術提供と資金提供をする。民間は資金提供・企業間の技術提携を行う。この官民連携事業を国主導で行う。

まず、国のメリットとして、国内に自立した宇宙産業があるということは、我々の生活に直接かかわる重要なインフラや安全保障を高めることになる、ということが挙げられる。国にとって経済面利益以上に安全保障面での利益が大きいため、国が主導することによって実現可能性を高められる。

JAXA のメリットとして、技術提供の見返りとして、このビジネスで得た利益の一部を受け取り、研究費にすることができる。NASA では取得した特許を3年間米国のベンチャー企業に対して無償でライセンスを提供している。3年間の無償ライセンス契約後、企業が製品化等により得た利益は予算に対してロイヤリティ¹¹として支払うスキームとなっている。この施策では、特許を提供する側・される側の両方で win-win の関係を構築できる。

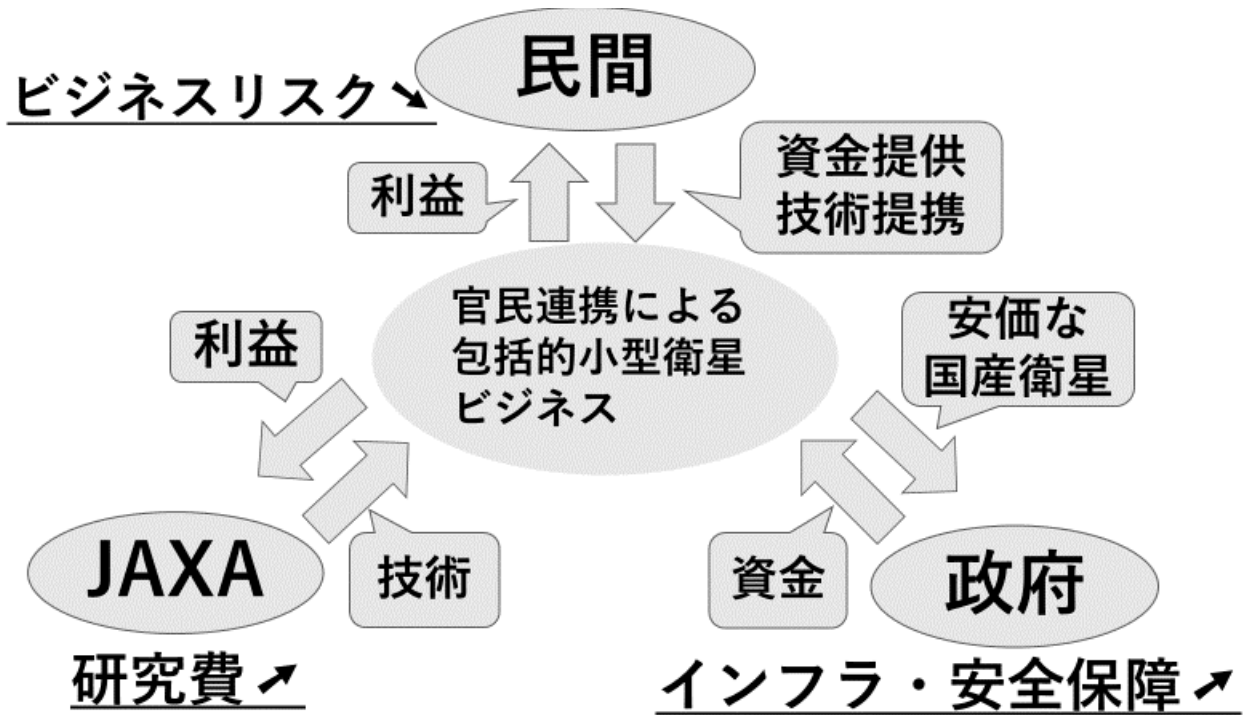
民間のメリットとして、JAXA・国による資金や技術提供やアンカーテナンシーの存在により、ビジネスリスクが低くなることが挙げられる。加えて、後に述べるように、経済面での利益を見込める。

⁸ PPP とは、Public Private Partnership の略であり、公共サービスの提供に民間が参画する手法を幅広く捉えた概念のこと。具体的には、資源（公共施設、資金、サービスの供給等）の官と民の分担、官と民の契約による合意、官と民のリスク／収益分担の規定などが挙げられる。

⁹ 軍用・民生用双方にも用いることの出来る技術のこと。例えば、GPS は元々軍用に開発されたが、今ではカーナビなど様々な民間サービスに利用されている。

¹⁰ 民間の産業活動において政府が一定の調達を補償することにより、産業基盤の安定等を図ること。

¹¹ 特許の使用料のこと。



(第7図)官民連携による利潤モデル
筆者作成

業務内容として、

- ① 小型衛星の大量生産&オーダーメイド人工衛星
- ② ロケットでの衛星の打ち上げ
- ③ 打ち上げに伴う保険サービス
- ④ 運用とメンテナンス

を提案する。以下にその4点を詳述する。

① 小型衛星の大量生産&オーダーメイド

第4章で述べたように、小型衛星の需要は高まりつつある。特に、通信衛星や測位衛星・リモートセンシング衛星では、衛星コンステレーション群を構築するための同型機をいかに安く・高い安全性で大量生産するかが重要となる。ただ、顧客ごとに求める性能は少しずつ異なってくるので少品種大量生産の形態になるだろう。また、技術実証衛星は顧客のニーズに合わせて生産する必要があるため、少品種大量生産というよりも多品種少量生産になるであろう。これらの生産を支えるための5つの方法を提言する。

A) IoT の全面的な活用

IoT とは、Internet of Things の略称であり、モノのインターネットと訳することができる。IoT を簡単に説明すると、「身の回りのあらゆるモノがインターネットにつながる」仕組みを指す。身近な例では、外出先からスマホを使ってエアコンを起動する、などがある。ほかにも、2015 年 4 月ドイツのシーメンス社がハノーバーメッセで展示した香水の生産では、客がタブレット端末で香水のにおいや色を指定したのちに、香水の生産を始めるといったオーダーメイドが行われたが、これも IoT の一例である。つまり、工場の機械全てがインターネットとつながっているからできる、迅速なオーダーメイド生産ということである。この技術は、生産者の側から見ても、大きなメリットがある。あらかじめ製品を作って保管しておかなくてよいため、究極的には在庫が必要とならない。また、工場内の在庫や機械を一括で管理しているため、無駄な材料やエネルギーを使わないで済む。IoT の活用は、少品種大量生産・多品種少量生産の双方で、エネルギーや在庫の無駄を省くことができる。これらは、価格の低下や地球環境への配慮にもつながる。

また、生産している衛星の部品一つ一つにセンサを埋め込み、そこから得られる情報をもとにより故障しにくい衛星へと改善できる。この点については、④で詳述する。

B) 3D プリンターの補完的な活用

IoT の生産では、サプライチェーンに予測不能な障害、例えば地震や水害が起こった時に、在庫が極めて少ないため、生産に支障が出てしまう恐れがある。そういった事態が起きたときのために、組立工場内の 3D プリンターを用いて対処することができる。3D プリンターを使った実際の例として 2 つ紹介する。まず、2014 年、国際宇宙ステーション(ISS)に 3D プリンターが設置され、故障や不足している部品の製造に用いられるようになった。これは、3D プリンターが宇宙空間で用いることができるのを示すものである。

また、2015 年 11 月に韓国空軍の戦闘機 F-15K の 14 機で、3D プリンターで作成した高圧ガスタービン用シュラウドを取り付けたことが明らかにされた。従来なら 40,000,000 ウォンの費用がかかり、かつ入手に 60 日を要するところ、3D プリンターによって 3,000,000 ウォン と、20 日で済んだとしている。

	従来品	3D プリンター
コスト (万ウォン)	4000	300
工期 (日)	60	20

3D プリンターを活用することで、衛星組立工場内での生産が可能となるため、運送費がかからなくて済み、運送費の削減や地球環境への負担を軽減できる。

加えて、安全性の面では、航空機用の補助動力装置で使用する部品は、3D プリン

ターで作成された上で、欧州航空安全機関(EASA)の認証を取得している。さらに、従来の製造手法で 8 点のパーツに分かれていたそれを、4 点に集約して 35%の軽量化を実現したとしている。

3D プリンターは、宇宙空間で使用が可能であり、費用や工期を大幅に短縮可能であり、部品数が少なくなることから安全性も向上している面もあると考えられる。

ただ、大きな負荷がかかる上に高い信頼性が求められる一次構造材¹²への適用という点で、現状 3D プリンターは発展途上である。したがって、安全性が長年にわたって保障された現行の製造方法を用いつつ、主として二次構造材¹³に 3D プリンターを使用すべきであろう。

C) 民生品の活用

通常、宇宙環境は、地上の環境と違い、ロケットの振動・衝撃、太陽などからの熱エネルギー、高真空、太陽や深宇宙からの放射線を考慮せねばならず、独自の部品が使われてきた。しかし、ほどよしプロジェクト¹⁴では、特殊な宇宙環境でも使用できる民生部品を発掘し、低コスト化を実現した。また、短期間での衛星開発を実現し、通常の人工衛星であるなら開発期間が 5 年程度であるところを 2 年未満で行っている。ほかの例として、SpaceX 社が民生品の活用でロケット製造コストを 3 割削減していることが挙げられる。

ほどよしプロジェクトで使われた民生部品などを用いることで、現段階でもコストを削減することができる。また、継続的に宇宙空間で使える民生品の発掘も行っていく必要がある。

D) コンポーネントの国産化

日本にはコンポーネントをすべて独自開発できる技術力が存在しているにもかかわらず、採算性の観点から一部が輸入されてきた。コンポーネントのうち 4 割が輸入のため、自立性や競争力の観点で海外企業に劣勢にならざるをえない。しかし、小型衛星の大量生産は採算性を大きく改善し、コンポーネントの独自開発を進めるきっかけになりうる。加えて、日本が独自開発するメリットとして、以下の 4 つが挙げられる。

一つ目に、小型衛星の需要の急増に対し、迅速な対応が可能である。現在、世界の衛星の打ち上げ数は 800 機程度であるが、今後小型衛星の打ち上げ数は数千機になるだろう。こうした突然の需要の逼迫に海外企業が耐えられるかが不明である。

二つ目に、納期の遅れを心配しなくてよい。納期が順守できるかどうかは、競争力に大きな影響を及ぼす。

¹² 加重の伝達を主に受け持つ構造部。

¹³ 主たる荷重を伝達しない構造部。

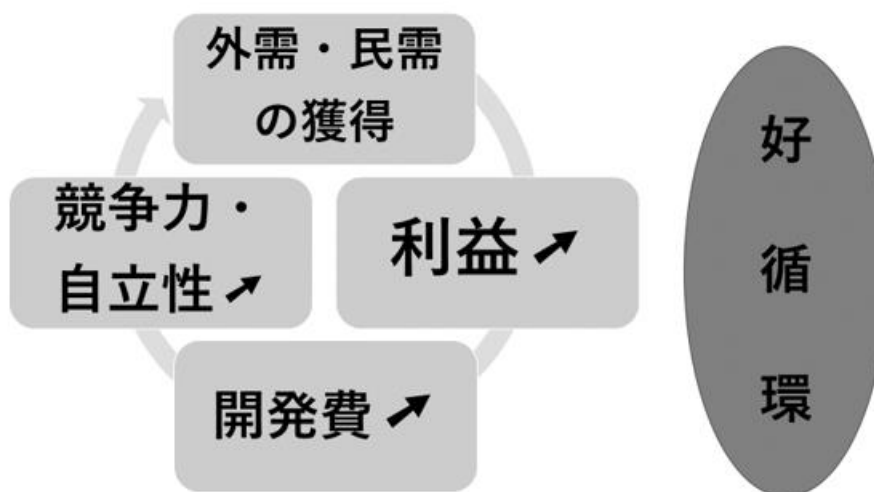
¹⁴ 「日本発“ほどよし信頼性工学”を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」プロジェクト。

三つ目に、コンポーネントの輸出が可能となる。現在、日本は一部のコンポーネントを輸出しているが、その額は 160 億円と諸外国と比べて小さい。だが、国産化によって今までより多くの輸出が可能となり、利益が上げられるようになる。

四つ目に、有事の際の貿易断絶を懸念する必要がなくなる。宇宙関連事業は安全保障面に大きな影響があるため、このメリットは国にとって大きなものであるはずだ。

これらの観点から、コンポーネントの国産化は、小型衛星を大量生産するうえで、重要であると考ええる。

勿論、コンポーネントの国産化によって、少なくとも初期は値段が上がる、という懸念はある。だが、開発が進めば、長い目で見て外需を獲得できる機運が高く、それ以上に国にとって利益が大きい。よって、国主導で国産化を実施することは現実的なものであると考えられる。



(第 8 図) 競争力向上による好循環のモデル

内閣官房ほか『宇宙用部品・コンポーネントに関する総合的な技術戦略』を参考に筆者作成

E) バスシステム部の共通化

衛星の構造は、ミッション系とバスシステム部の 2 つに大別できる。ミッション系とは、カメラやレーダー・望遠鏡などの衛星の目的を遂行するためのものであり、衛星ごとに搭載するものは異なる。それに対し、バスシステム部とは、地上との通信を行うアンテナや各種データ処理を行うチップ等の衛星の共通化できる部分を指す。例えば自動車では、エンジンやブレーキ機構などは共通化できる部分であり、バスシステム部といえるだろう。そして車のボディーや内装などのデザインを変えることで、根幹となるバスシステム部の設計を変更することなく様々な車種を作り出し、顧客の幅広いニーズに応えることに成功している。

衛星製造においても、バスシステム部を共通化することでコストの低減や納期の短縮が可能となる。実際にフランスのアリアンスペース社は、共通化を進めること

で量産効果を追求している。

② ロケットでの打ち上げ

小型衛星の打ち上げに適した既存のロケットである、JAXA の強化型イプシロンロケット・SS-520を使う。イプシロンロケットは、2013年9月14日に初めて打ち上げられた。現在 JAXA では、将来の小型衛星の需要拡大および多様化に対応していくために強化型ロケットを開発し、さらに発展させようとしている。また、SS-520 は、電柱サイズの大きさで、JAXA の大型衛星打ち上げ用ロケット H2A の 5 分の 1 以下である。衛星を投入できるロケットとしては世界最小クラスであり、ギネス世界記録にも認定されている。また、打ち上げ費用は大型ロケットよりかなり安価な約 5 億円である。安く抑えるために、携帯電話や家電に使われる半導体などの民生品を、ロケットの部品に使っている。量産される民生品が宇宙空間でも十分に使えるかどうかを確かめるということも視野に入れ、開発されている。ただ現在、SpaceX 社などが再使用可能なロケットの打ち上げと回収に成功しているため、強化型イプシロンロケット・SS-520 だけに頼るのではなく、このビジネスモデルで得られる利益を用いた再利用可能なロケットの開発も急務である。

	強化型イプシロン	SS-520	H2A	Falcon9 (SpaceX)
全長 (m)	26	9.5	53	70
打ち上げ費用(億円)	40	5	100	67

小型ロケットのメリットは安価なことだけではない。SpaceX 社の事業を例にとって考える。

SpaceX 社はロケットの再利用に力を入れ、ファルコン 9 ロケットは第一段ロケットの回収に成功している。しかし再利用ロケットには、再使用する機体の信頼性、回収のための追加燃料、打ち上げの回数が少ないと採算が取れないといった問題点が上がっている。また、大型ロケットでライドシェア打ち上げ¹⁵を行って費用削減を図るが、打ち上げ時期・打ち上げ軌道が制限されると言う難点もある。

以上より、大型ロケットは大きな課題を抱えているのが現状である。

一方、SpaceX 社は子会社に Vector Space Systems (現 Vector Launch)を持ち、小型衛星に特化した小型ロケットを製造している。小型ロケットはライドシェアと比較して、発射時期が好きに決められる点、発射に対するコストが低い点、投入軌道を自由に決められる点などで、フレキシブルに対応することができる。

これらを踏まえると、小型ロケットは優れているといえる。

ロケットの国産化も、コンポーネントや衛星の国産化と同様、安全保障面での利益が大きいところになる。

¹⁵ 小型の人工衛星を複数機ロケットに相乗りさせて打ち上げること。

③ 保険サービス

一回の事故で莫大な損害が出る宇宙産業においては、宇宙保険産業でも莫大なコストを懸念する必要がある。そのため日本では、十数社の国内保険会社からなる日本航空保険プールが既に設立されている。一方で、国際的には国際宇宙保険市場が整備されている。いずれにおいても近年の保険運営は黒字で推移していること、また日本航空保険プールの保有限度額を超過する引受リスクは国際宇宙保険市場で再保険が担保されていることを踏まえると、新たな官民連携企業に日本航空保険プールを取り込んで保険事業を運営していくことは可能であると考えられる。したがって、打ち上げに伴う保険サービスについて懸念材料は特に挙がらない。

④ 運用・メンテナンス

衛星運用地上システムは、大きく分けて衛星管制機能とミッションデータ受信機能に大別できる。衛星管制機能では、衛星の状態監視とミッション遂行のための制御を行っている。ミッションデータ受信機能では、衛星の取得したミッションデータを受信して処理機能部へ伝送し、衛星がミッションを遂行するための監視と制御、衛星の維持管理、ミッション運用サポートを行っている。これらのことは、NEC（日本電気）などが今まで行ってきたことであるため、運用に関して懸念はない。

加えて、衛星に埋め込んだセンサからの情報により、衛星の状態をリアルタイムで把握したり、故障を事前に察知したりすることができる。リアルタイムでの監視は、これまで直接見ることができなかつたために明らかにできなかった故障原因を把握可能にする。故障の事前察知ができるようになれば、顧客にとって対策が施しやすくなる。例えば、補完衛星を急遽打ち上げるなどが可能となる。また、IoT 工場での生産でなぜ故障したかを分析することで、より故障しづらいものを生産することができる。IoT 工場はすべてインターネットでつながっているため、生産の変更も容易に可能である。これによって、打ち上げれば打ち上げるほど、故障しづらい衛星を生産できるようになるだろう。これは、GE(ゼネラル・エレクトリック)が自社の航空機エンジンや発電用タービンで行っていることでもあるが、宇宙産業でこうした取り組みを行っているところはない。④を行うことにより、今までは存在していなかった販売後のアフターサービスが行えるようになり、他企業に差をつける付加価値を生み出せる。

メンテナンス能力は、企業の評価にも影響しうる。アメリカの Maxar Technologies 社が 2019 年 1 月 7 日に、自身の所有する商用の人工観測衛星”World View-4”¹⁶が故障したことを発表した、という例がある。2018 年時点での World View-4 の価値が 170 億円相当と考え

¹⁶ この衛星は、日本では防衛省が予算に組み込み、衛星画像の購入先にしてきた衛星であり、安全保障目的で使用されていた。このことから、人工衛星の国産化が安全保障面で有益であるということがわかる。

られており、Maxar Technologies 社はこの故障の際に降りる保険金約 200 億円で相殺した。しかし、World View-4 は大型衛星であるため、代替機を飛ばすにも 1 年以上かかる上に、故障を直すのも容易ではなかった。そのアフターケアの欠陥もあつてか、故障後に株価が半分の価値にまで暴落したり、衛星の撮影能力が落ちたりなど、その影響は波及した。現在に至っても、故障以前の水準まで Maxar Technologies 社の株価は戻っておらず、この例からメンテナンス能力の重要性と、小型衛星が破損した際のアフターケア効果の大きさが伺える¹⁷。

最後に、スペースデブリ除去の問題についても述べておく。川崎重工は、スペースデブリ除去システムを搭載した超小型技術試験衛星を 2020 年度に打ち上げ、後の実用化を図っている。川崎重工の提言では、国に対して

- ・国際間で、除去すべき優先度が高い（科学的に必要性が高い）デブリを決定する機関等の設置への働きかけ
- ・候補とされた各デブリに対して、除去の許可を与える、各国の意思決定を促す仕組み作り
- ・候補となったデブリの除去を、民間に委託する基金の設立を働きかけ
- ・デブリ除去により軌道上で生じた損害について、除去事業者は保険に加入して一定の補償を行い、保険で賄えない損害は国が肩代わりする措置の立法化

といった取組の期待が述べられており、また、JAXA によるシステムの実証も必要だとしている。安全保障を考えるうえで不可避なスペースデブリ問題も、官民連携が一つのカギになっている。

以上をまとめると、様々な宇宙関連業務を国主導で行い、小型衛星・コンポーネント・ロケット等の国産化を進めていくことで、安全保障面で大幅に強化される。その際初期投資としての犠牲は存在するが、この運営形態が定着すれば国内成長・外需享受が見込めるため、長い目で見て利益になる。したがって、初期投資のリスクを国や JAXA が資金・技術提供で軽減し、民間を参入させることで、官は主に安全保障面、民は主に経済面で利益が得られるようになるのだ。だから、国は今こそ民間に働きかけ、官民連携企業の設立を図るべきなのだ¹⁸。

¹⁷ 衛星の破損リスクを 0 にすることは不可能なので、破損した際のケアが重要である。破損リスクについては、考慮すべきだが、そもそも破損リスクを軽減するためには開発を進めていくことが必要なので、開発を進めるためのモデルを提言している現段階では大きな問題ではない。

¹⁸ 今回提言する官民連携企業は、JDI のように赤字経営の既存の会社に官が投資するわけでなければ、民は統合しているため官出資先の不公平が生じることもなく、一般の官民ファンドよりも失敗リスクが軽減されている。

結言

日本の宇宙産業は、第1章で述べた長所を生かせず、第2章で述べた短所によって、宇宙分野での商業化において他国に後れを取っている。そのような事態を解決するために、我々は官民連携による包括的小型衛星ビジネスを提言した。このビジネスモデルは、第1章で述べた日本の長所を最大限生かしつつ、第2章の問題をすべて解決するためのものである。

近年、小型衛星の需要は高まり、寿命も時間も短いため、需要が途切れることはないだろう。我々はこのビジネスモデルで安全保障面と経済面の両方から利益をあげることにより、更なる研究や設備投資を生むことができ、より競争力あふれる包括的小型衛星ビジネスを顧客に提供できるようになる。そして日本の宇宙産業は活発化される。

本論文の限界として、宇宙分野での定量的データは少なく、具体的な経済的試算やリスク予測が難しい点がある。また、国際的な競合に勝利できるかも怪しいところである。ただ、日本は経済面よりも先に安全保障面というメリットが国策として重要視されるため、ここまで述べたビジネスモデルが非現実的だともいえないだろう。今後は、経済面で利益があるか否か、全ての要因を踏まえた具体的な試算を、各民間企業が行い、国主導の官民連携に備えることが必要である。

参考

第2章で挙げた問題点とその解決策のチャート

問題点	主な解決策	記載箇所
動静把握	小型衛星の大量生産	第2章①(A)→第4章①
スペースデブリ	スペースデブリの除去	第2章①(B)→第4章④
測位航行	人工衛星の国産化	第2章①(C)→第4章全体
官需依存	官民連携企業の設立	第2章③(A)(B)
民間企業停滞	→ビジネスモデルの構築	→第4章全体
部品の海外依存	部品の国産化	第2章③(C)→第4章①(D)
日米衛星調達合意	安価で高性能な人工衛星	第2章②→第4章全体(※)

※人工衛星の安価については、

①IoT,3D プリンター、民生品などを導入すること

②人工衛星の大型→小型への転換を行うこと

によって解消される。また、官民連携・国産化によって収入増も見込める。

参考文献

—単行本—

小塚莊一郎、佐藤雅彦『宇宙ビジネスのための宇宙法入門[第2版]』有斐閣 2018

齊田興哉『宇宙ビジネス第三の波 NewSpace を読み解く』日刊工業新聞社 2018

谷内正太郎 『【論集】日本の外交 総合的安全保障』 布施知章 株式会社ウェッジ 2011

宮崎康行「人工衛星をつくるまで 設計から打ち上げまで」竹生修己 株式会社オーム 2011

—雑誌・学術論文—

防衛省防衛研究所「宇宙安全保障—諸外国の動向と日本の取り組み—」2016

ジャパン・ミリタリー・レビュー『軍事研究』2019年7月号 p.230-241

—Web—

宇宙政策委員会「宇宙産業基盤、宇宙産業振興、技術開発の現状、課題及び今後の検討の方向（案その3）」2012 <https://www8.cao.go.jp/space/committee/dai6/siryou6-3.pdf> (閲覧日：2019-11-05)

宇宙政策委員会「宇宙機器産業の振興について（第9回宇宙産業振興小委員会資料）その2」2017 <https://www8.cao.go.jp/space/committee/dai57/siryo2-sono2.pdf> (閲覧日：2019-11-05)

宇宙政策委員会「宇宙産業ビジョン 2030 第4次産業革命下の宇宙利用創造」2017 <https://www8.cao.go.jp/space/vision/mbrlistsitu.pdf> (閲覧日：2019-11-05)

株式会社 日本政策投資銀行 航空宇宙室「日本における宇宙産業の競争力強化 ～変革期にある本邦宇宙産業の歩みと将来～」2017 https://www.dbj.jp/topics/region/industry/files/0000027284_file2.pdf (閲覧日：2019-11-05)

川崎重工業株式会社 航空宇宙システムカンパニー「第1回 スペースデブリに関する関係府省等タスクフォース 川崎重工『デブリ除去事業化へ向けての取り組み』」2019 (閲覧日：2019-11-05)

川本英之「宇宙保険の概要」2015

<http://www.sjac.or.jp/common/pdf/kaihou/201503/20150302.pdf> (閲覧日：2019-11-05)

経済産業省 製造産業局宇宙産業室「宇宙産業の現状と開発について」2018

<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-sangyou/sangyou-dai3/siryou2.pdf> (閲覧日 : 2019-11-05)

研究開発部門ホームページ

<http://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin01.html#kogata> (閲覧日 : 2019-11-05)

国立国会図書館調査及び立法考査局「宇宙政策の動向：科学技術に関する調査プロジェクト 2016 報告書」2016

http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10314934_po_20170361.pdf?contentNo=1 (閲覧日 : 2019-11-05)

コンステレーションビジネス時代の到来を見据えた小型衛星・小型ロケットの技術戦略に関する研究会「コンステレーションビジネス時代の到来を見据えた小型衛星・小型ロケットの技術戦略に関する研究会 報告書」2018

<https://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180601005/20180601005-2.pdf> (閲覧日 : 2019-11-05)

産経ニュース 「威力増す北朝鮮の弾道ミサイル 「即時発射」の固体燃料型を量産へ」 2017-06-18

<https://www.sankei.com/premium/news/170618/prm1706180019-n1.html> (閲覧日 : 2019-11-05)

白石武志「スペースX、通信衛星打ち上げ。」日経産業新聞 2019-05-29 18 頁

宙畑「世界最高性能衛星、壊れる。損害額は膨大【週刊宇宙ビジネスニュース 1/7~1/13】」

<https://sorabatake.jp/2974/> (閲覧日 : 2019-11-05)

宙畑「衛星コンステレーションの実現に向け、また一歩！OneWeb と SoftBank が業務提携！【週刊宇宙ビジネスニュース 7/22~7/28】」<https://sorabatake.jp/6819/> (閲覧日:2019-11-05)

第一宇宙技術部門「ロケット イプシロン」

<http://www.rocket.jaxa.jp/rocket/epsilon/>(閲覧日 : 2019-11-05)

高城裕太「人や交通、衛星から観察、Q P S 研など認定取得。」日経産業新聞 2019-07-11 4 頁

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 「みちびき準天頂衛星システム」

<https://qzss.go.jp/technical/satellites/index.html> (閲覧日 : 2019-11-05)

日本航空宇宙工業会『平成 25 年度宇宙産業データブック』2013

「第1部挑戦が始まった(2) キヤノン、衛星100基の野望——超小型2つの戦略(宇宙経済圏)」『日経産業新聞』2017-06-05 p.3

「ロケット発射コスト4割減、仏アリアン、回収・再利用も。」『日経産業新聞』 2019-05-10 p.9

「コマツ、防衛事業採算優先陸自車両の開発中止 企業乱立 再編進まず」『日本経済新聞』
2019-02-22 朝刊 p.13

<https://www.nikkei.com/nkd/company/article/?DisplayType=2&ng=DGKKZO41572560R20C19A2TJ1000&scode=7011&ba=3> (閲覧日:2019-11-05)

「世界最小級ロケット打ち上げ成功 JAXA」『日本経済新聞』2018-02-03
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO26509450T00C18A2000000/> (閲覧日:2019-11-05)

「ソニー、宇宙ビジネス参入、衛星向け機器、家電技術使い量産。」『日本経済新聞』
2018-04-15 p.1

吉川志郎「衛星運用を支える地上システム」NEC 2011
<https://jpn.nec.com/techrep/journal/g11/n01/pdf/110114.pdf> (閲覧日:2019-11-05)

Caleb Henry “OneWeb breaks ground on a Florida factory that will build thousands of satellites”
SPACENEWS 2017 <https://spacenews.com/oneweb-breaks-ground-on-a-florida-factory-that-will-build-thousands-of-satellites/> (accessed : 2019-11-05)

IDEA OSG1 “SPACE DABRIS” <https://www.ideaosg1.com/debris/> (accessed : 2019-11-05)

International Space Station Program Science Office”3-D Printer Could Turn Space Station into 'Machine Shop'” Jessica Eagan 2014
https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3D_in_space (accessed : 2019-11-05)

JAPAN AIRLINES 「航空実用辞典」 <http://www.jal.com/ja/jiten/index.html> (閲覧日:2019-10-31)

JAXA 「SS-520 5号機がギネス世界記録(R)に認定されました」
http://www.jaxa.jp/press/2018/04/20180427_guinness_j.html (閲覧日:2019-11-05)

Mark Williamson “ARIANESPACE Thirty years and growing…” 『ARIANESPACE』 Thirty years and growing AIAA 2010 p.18-p.22

https://www.aiaa.org/docs/default-source/uploadedfiles/publications/aerospace-america-september-2010.pdf?sfvrsn=747a24d5_2 (accessed : 2019-11-05)

NEC 衛星標準バスの作り方—小型衛星「NEXTAR」の事例を中心に—
<file:///C:/Users/2000r/Downloads/IPSJ-MGN560822.pdf> (閲覧日 : 2019-11-05)

SIA “State of the Satellite Industry Report” 2015 p.19
<https://www.sia.org/wp-content/uploads/2015/06/Mktg15-SSIR-2015-FINAL-Compressed.pdf> (accessed : 2019-11-05)

SpaceX ”CAPABILITIES & SERVICES” <https://www.spacex.com/about/capabilities> (accessed : 2019-11-05)

UNISEC 「ほどよしプロジェクトの研究活動」 <http://www.unisec.jp/about/hodoyoshi.html> (閲覧日 : 2019-11-05)