資料８－２

宙を拓くタスクフォース

報告書（案）

宙を拓くタスクフォース

目　次

はじめに　1

第１章　宇宙産業の変容と政府の取組　3
　１－１　閉鎖された宇宙産業から開かれた宇宙産業へ　3
　１－２　宇宙産業における政府の取組　13
第２章　宇宙産業の市場規模・動向　18
　２－１　国内外における宇宙産業の市場規模　18
　２－２　宇宙産業の動向　22
第３章　宇宙利用において目指すべき将来像　30
　３－１　2030 年代以降の宇宙利用の将来像　30
　３－２　宇宙産業の市場予測　37
第４章　宇宙利用の将来像を実現するための課題　44
　４－１　将来像実現のための 25 課題　44
　４－２　喫緊に取り組むべき課題の整理　58
第５章　将来像の実現に向けて ICT 分野において取り組むべき事項　60
　５－１　５つの事項（９課題）の問題意識と対応方針　60
　５－２　宇宙×ICT 事業化促進プログラム　67

おわりに　68

参考資料１　「宙を拓くタスクフォース」開催要綱　70
参考資料２　「宇宙利用の将来像に関する懇話会」開催要綱　72
参考資料３　「宙を拓くタスクフォース」プレゼンテーション資料　74

はじめに

人類初の人工衛星「スプートニク１号」が1957年に打ち上げられてから、既に60年以上が経過した。また、日本初の人工衛星「おおすみ」が1970年に鹿児島県~~の~~内之浦町（現肝付町）から打ち上げられてからも、半世紀が経過しようとしている。

この間、人工衛星は通信、放送、気象の分野から実用化が始まり、今では、地球観測、測位、太陽・天文観測等へとその活用の幅が広がるとともに、人工衛星以外にも月・惑星探査、国際宇宙ステーションなど、宇宙空間における人類の活動領域も飛躍的に拡大してきた。

そして、今世紀に入り、世界的に、ベンチャー企業や異業種からの参入によって宇宙に関わるプレイヤーが大きく変容してきており、それに伴って宇宙産業市場も活性化してきている。具体的には、従来は民間企業が政府からの公的事業として、国家主導の宇宙開発プロジェクトを受託することで宇宙産業を牽引してきたが、近年の技術進歩などを背景に、米国を中心に、衛星活用サービスや輸送システムなどの分野に、様々な民間企業が独自のサービスを展開するに至っている。

また、現在、地球上では、人口問題、資源・エネルギー枯渇、環境汚染等多くの課題が山積している状況である。こうした課題に対して、宇宙利用の推進は、先駆的なイノベーションによる打開策を導き出すために有効であると同時に、人類を新たな高みへと引き上げる可能性を秘めており、その期待は極めて大きい。

このような現代社会が抱える社会的課題の解決を図っていくことを目的に、2017年12月に「宇宙利用の将来像に関する懇話会」を立ち上げ、宇宙利用におけるイノベーションによりもたらされる将来像について幅広く懇話することにより、短期的及び長期的に取り組むべき方策について検討することとした。

短期的方策としては、衛星データのより一層の利活用が必要と考え、2018年２月から、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」の下で、「４次元サイバーシティの活用に向けたタスクフォース」を開催し、ＡＩを活用した効率的な時間差分抽出等が衛星データ利活用拡大の鍵であると認識し、シーズ発ではなくニーズや実証実験等から得られた知見を踏まえた研究開発を新たに開始するなど、関係府省庁・機関のリソースやスキームを総動員し、民間企業とも協働して衛星データの利活用促進を進める必要がある旨をとりまとめた報告書を2018年７月に公表した。

長期的方策については、同懇話会の下で、今般、「宙を拓くタスクフォース」を開催し、日本においても、宇宙を新たなビジネスフロンティアとして捉え、ベンチャー企業等における新しい活力の参入を促し、社会的課題の解決と市場の活性化を合わ

せて実現していくために何をしなければならないか、2030年以降を想定した宇宙利用の将来像を描き、その実現のための課題、そしてICT分野において喫緊に取り組むべき事項等について、鋭意調査・検討を進めてきたところである。

本報告書は、2018年８月から精力的に取り組んできた本タスクフォースにおける調査・検討の結果について、とりまとめたものである。

第１章　宇宙産業の変容と政府の取組

近年の宇宙産業は世界的に大きな転換期を迎えており、ベンチャー企業等が台頭するとともに、各国政府も市場活性化に向けた取組を推進している。

１－１　閉鎖された宇宙産業から開かれた宇宙産業へ

１－１－１　従来の宇宙産業の潮流

従来の宇宙産業開発は、高度な技術と多額の開発費が必要であるため、利益回収が難しく、また、民間企業が自らサービスを提供するには参入障壁が高い分野であった。そのため宇宙産業といえば、民間企業が公的事業という位置付けで、政府等（NASA（米国~~アメリカ~~航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、JAXA（宇宙航空研究開発機構）等）の宇宙開発プロジェクトを受託し、衛星を開発・製造・運用したり、ロケットを打ち上げたりするという産業モデルが一般的であった。例えば、米国ではLockheed Martin社やBoeing社、Northrop Grumman社、Space Systems Loral社、欧州ではAirbus社やThales Alenia Space社、Arianespace社など、ロケットや人工衛星の開発を担当する企業が牽引してきた。日本のロケット開発も、液体燃料ロケットであるN-ロケット、H-Ⅰロケット、H-Ⅱロケットなどの開発・生産・打上げを三菱重工業(株)が、~~小型の固体燃料ロケットである~~イプシロンロケットに代表される小型の固体燃料ロケットを(株)IHIエアロスペースが担ってきた。このように、官需に牽引されて発展してきた宇宙関連の民間企業は、Established Space（Old Space）と呼ばれている。

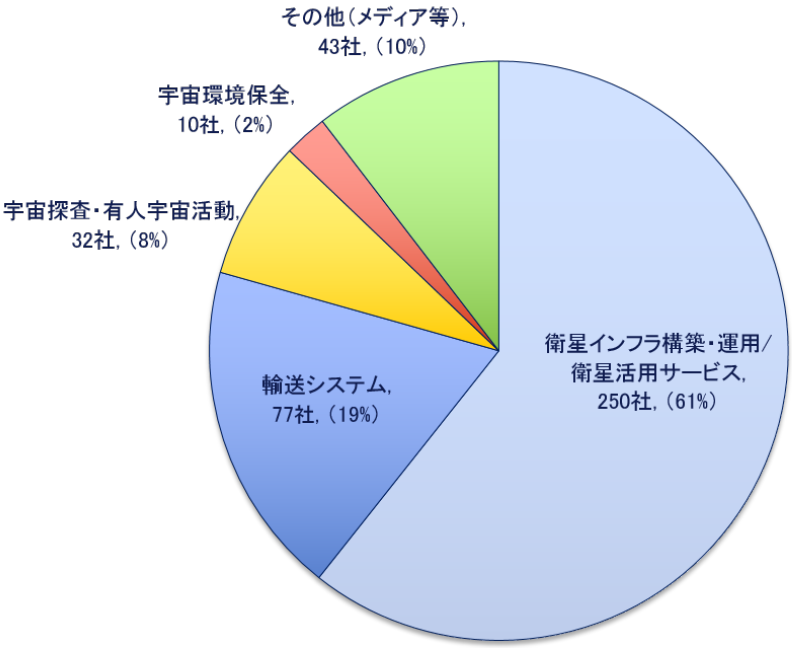
１－１－２　ベンチャー企業の台頭

一方、これまでは国主導の宇宙開発プロジェクトが一般的であったのに対し、ここ数年、世界中でEstablished Spaceとは異なる民間企業の宇宙産業への参入が活発化し、宇宙産業をリードするプレイヤーが変化してきている。その背景としては、技術の進歩により、ロケットや人工衛星の開発や打上げにかかるコストが下がったこと、低コスト化が進んだことでベンチャー企業が参入しやすくなったこと、宇宙産業が参入するに値する分野と認知されてきたこと等が挙げられる。このように、宇宙分野に参入してきた異業種やベンチャー企業は、従来の官需によって支えられてきたEstablished Spaceと対比し、New Spaceと呼ばれている。

このNew Spaceの企業数は2000年頃から増加してきており、欧米を中心に、既に1,400社以上のベンチャー企業が参入しているとも言われている。米国の

Space Angels社[1]の調査によると、直近10年間で資金調達を行ったスタートアップ起業は400社以上あり、衛星インフラ構築・運用/衛星活用サービス、輸送システムで約８割を占めている（図１－１）。一方、（一社）SPACETIDE[2]の資料によると、図１－２のとおり、日本では企業数こそ少ないが、幅広い事業領域のスタートアップ企業が生まれていることが分かる。

このように多くのNew Spaceが参画してきている宇宙産業の世界市場において、従来型の国等が関連するものは、市場全体のわずか25%にも満たない状況であるとも言われるなど、純粋な民間の商業ベースのサービスや事業分野が占める割合が拡大してきている。このNew Spaceの代表例としては、世界的にはOneWeb社、Urthecast社、SpaceX社等が、日本では(株)ALE、インターステラテクノロジズ(株)、(株)アストロスケール等が、それぞれ挙げられる。

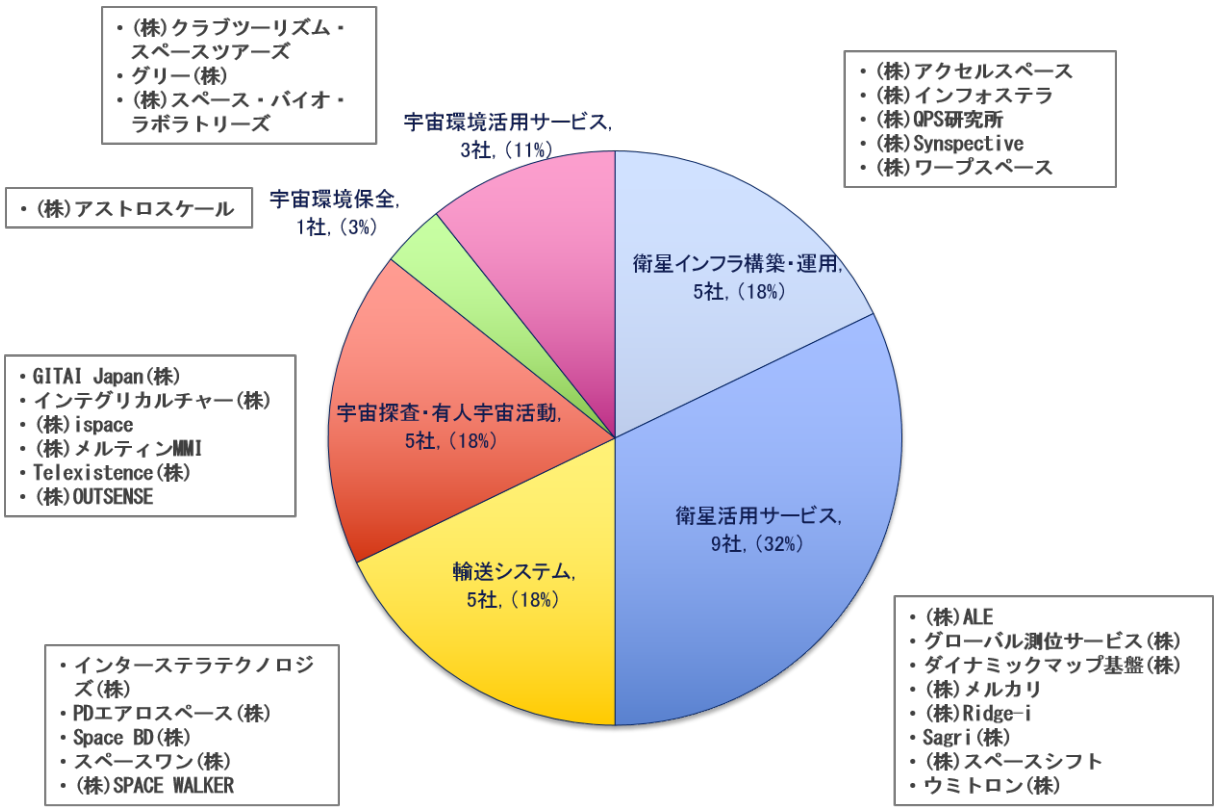


出典: Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」を基に作成

図１－１　事業領域別のスタートアップ企業数（世界）

[1] Space Angels 社ウェブサイト(URL:https://www.spaceangels.com/post/space-investment-quarterly-q4-2018)

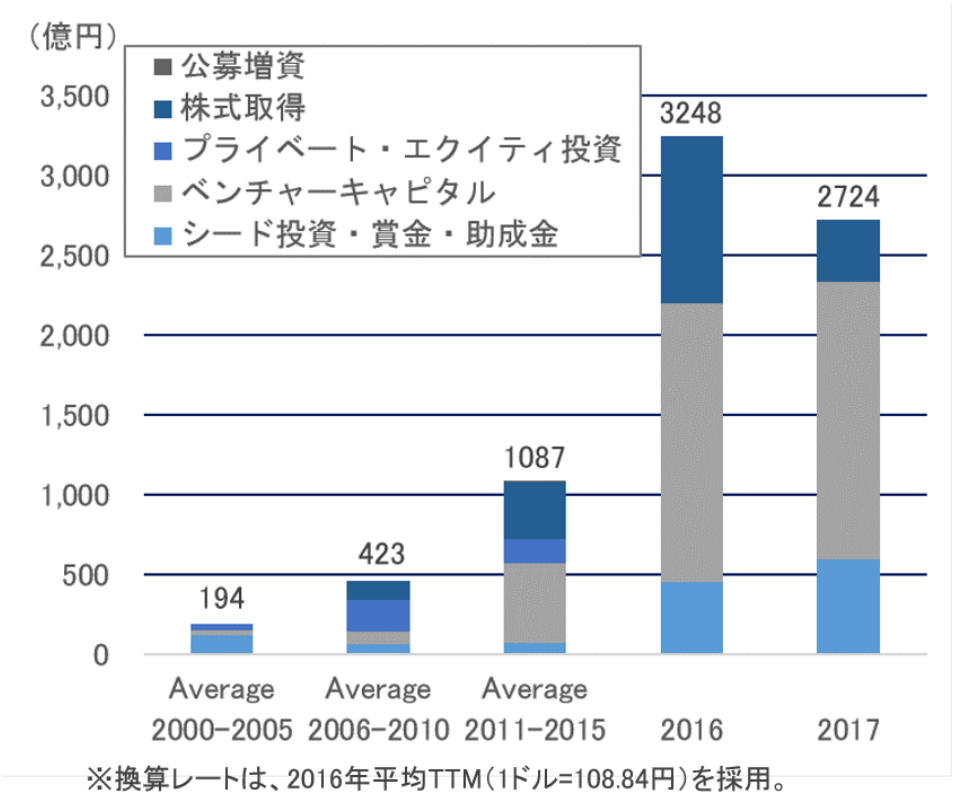
[2] (一社)SPACETIDE ウェブサイト(URL:https://www.spacetide.org/)



出典:(一社) SPACETIDEが公表している資料を基に作成

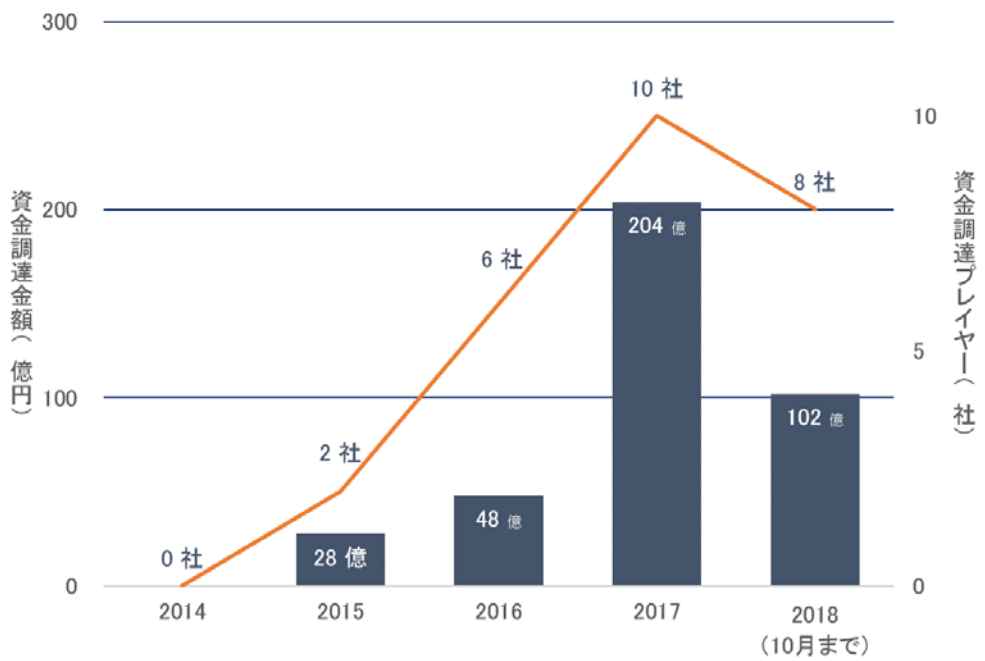
図１－２　事業領域別のスタートアップ企業数（日本）

また、世界と日本の資金調達額の推移のグラフ（図１－３及び図１－４）を見ると、ともに資金調達額が増加傾向にあることが分かる。特に世界では、ベンチャーキャピタル（投資ファンド）からの調達額が急増している状況となっている。



出典：BRYCE「Start-up Space（2016－2018）」[3]を基に作成

図１－３　資金調達額の推移（世界）

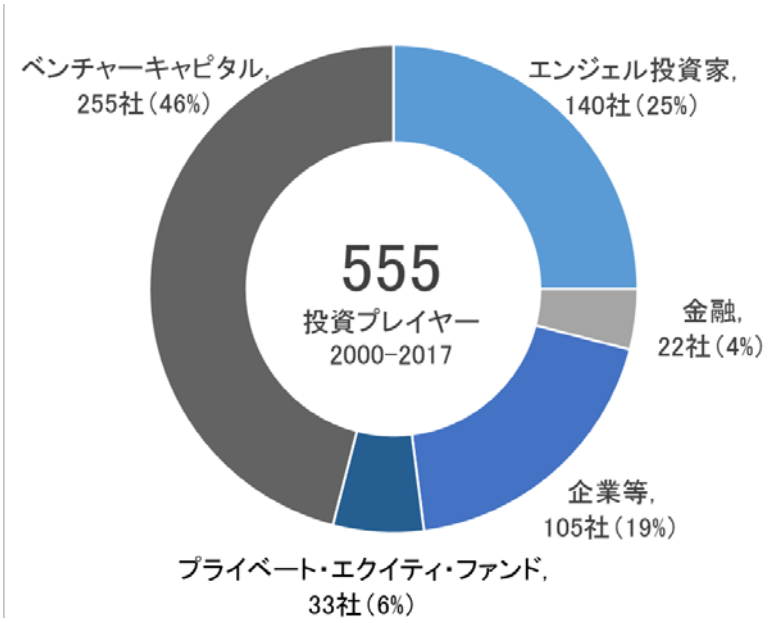


出典：（一社）SPACETIDEが公表している資料を基に作成

図１－４　資金調達額の推移（日本）

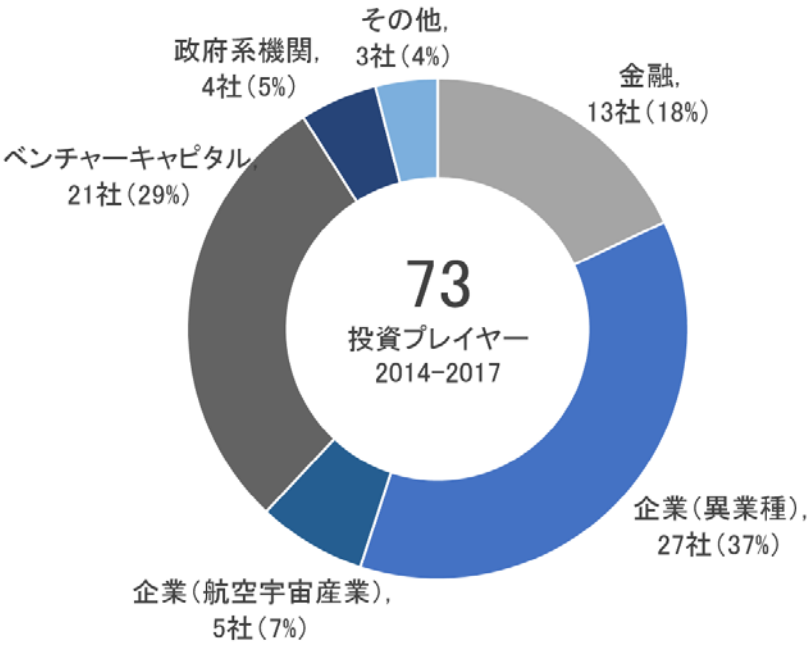
[3] BRYCE「Start-up Space（2016－2018）」（URL：https://brycetech.com/reports.html）

さらに、投資の状況について、投資プレイヤーの構成比からみてみると、世界（図１－５）的にはベンチャーキャピタルが半数を占め、その後に、エンジェル投資家、企業等と続く。一方、日本（図１－６）では投資による資金回収だけでなく、大企業などが外部の技術・人材を自社に取り込む、又は新規事業を創出するなどの目的もあり、異業種企業が主たる投資プレイヤーとなることが多いのが特徴である。



出典:BRICE「Start-up Space（2018)」を基に作成

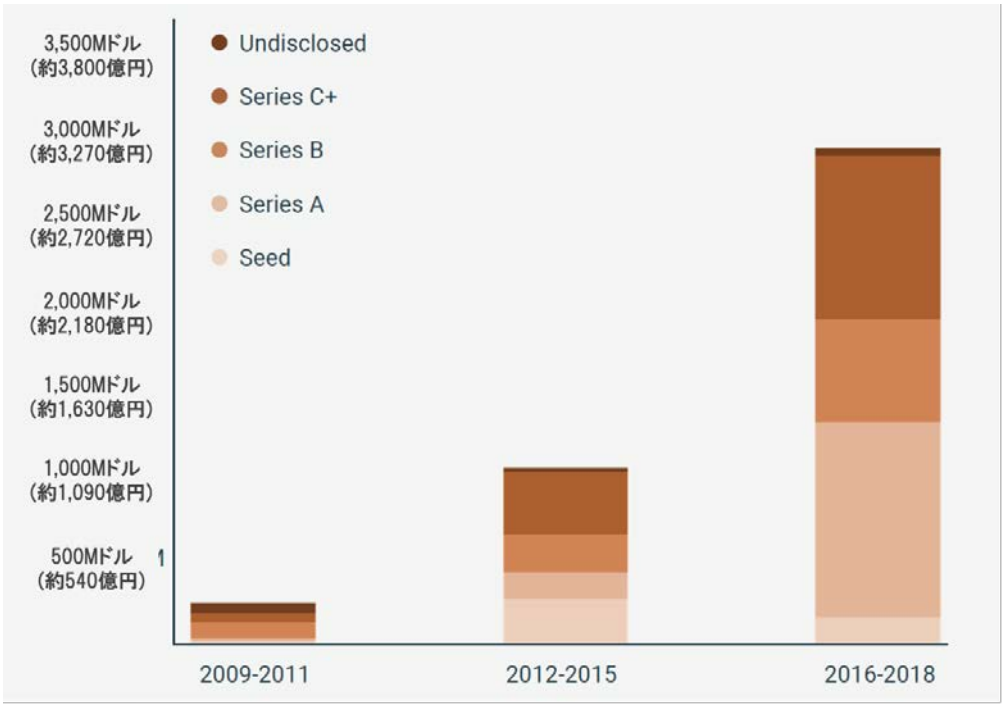
図1－5　投資プレイヤーの構成比（世界）



出典:（一社）SPACETIDEが作成している資料を基に作成

図1－6　投資プレイヤーの構成比（日本）

次に、世界でのステージ別の投資動向をみてみる。既に世界的には、シリーズＣ（黒字経営が安定化し、株式公開やM&Aを意識する段階）以降においても、投資額が増加傾向にあり、着実に事業が成功し、投資に値すると判断されたスタートアップ企業が出現していることが分かる（図１－７）。

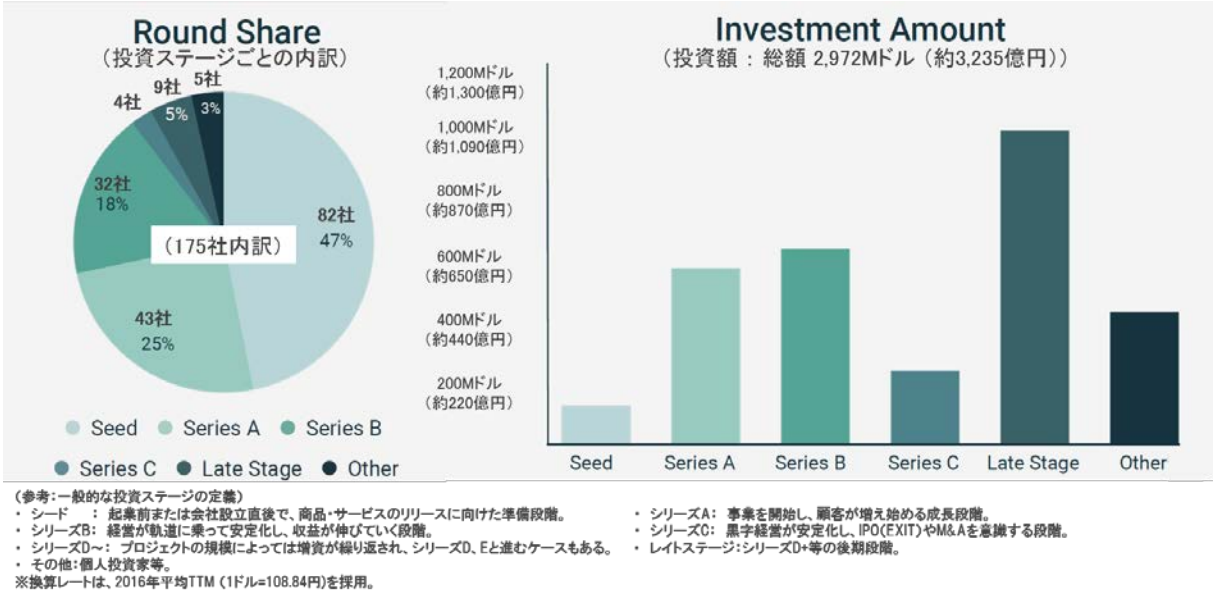


（参考：一般的な投資ステージの定義）
・シード　：起業前または会社設立直後で、商品・サービスのリリースに向けた準備段階。
・シリーズA：事業を開始し、顧客が増え始める成長段階。
・シリーズB：経営が軌道に乗って安定化し、収益が伸びていく段階。
・シリーズC：黒字経営が安定化し、IPO(EXIT)やM&Aを意識する段階。
・シリーズD～：プロジェクトの規模によっては増資が繰り返され、シリーズD、Eと進むケースもある。
※換算レートは、2016年平均TTM(1ドル=108.84円)を採用。

出典:Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」

図１－７　ステージ別のベンチャーキャピタルによる投資額の推移（世界）

また、2018年の状況では、投資件数としてはシード（起業前又は会社設立直後で、商品・サービスのリリースに向けた準備段階）やシリーズＡ（事業を開始し、顧客が増え始めている成長段階）など、アーリーステージに向けた投資が約７割を占めるが、投資額としてはレイトステージ（成熟段階）が最も多くなっている（図１－８）。ここから、宇宙産業を今後担っていく存在となるシード段階の企業が多数育っていること、及びレイトステージ段階まで成長した企業への投資額は、アーリーステージと比較して大きいことが分かる。



出典:Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」を基に作成

図１－８　2018年におけるステージ別の投資件数及び投資額（世界）

このように宇宙産業への投資が増加している理由としては、様々なベンチャー企業が育っている中、SpaceX社等の従来企業からシェアを奪うようなユニコーン企業（企業としての評価額が10億ドル以上で、設立10年以内の非上場のベンチャー企業を指す。）が出現していること、及び投資者が投資回収を完了する（EXIT）事例が出始めたことにより、宇宙産業が投資に値する分野であるという認識が投資家の中で高まり始めたことなどが考えられる。

１－１－３　宇宙関連のコンテストの勃興

アイデアや技術を持ったベンチャー企業が台頭してきた分野では、その分野を更に盛り上げるために、参加者が実施目的に合わせて、様々なアイデアを出し合い、その優劣を競うビジネスコンテストも活発に開催される傾向にある。宇宙分野でもビジネスコンテストが近年多く開催されており、前項で説明したベンチャー企業の台頭に一役買いつつある。

本項では、現在宇宙分野において実施されているビジネスコンテストについて、「技術革新」、「オープンイノベーション」、「事業創出」及び「人材育成」の４つの分野に分けて概説する。

１つ目の「技術革新」のコンテストは、技術革新をスピードアップさせるために、困難な課題を提示しチャレンジを促すものであり、入賞者には賞金が授与されることも多い。例えば、2007年から2018年にかけて、Ｘプライズ財団によって開催されたGoogle Lunar XPRIZEは、Google社がスポンサーとなり開催

されたもので、民間による最初の月面無人探査を競うコンテストとして有名である。一方、日本では、2009年から（一社）宇宙エレベータ協会により、宇宙エレベータ向けに開発された自立昇降機の性能を競うSPEC（Space Elevator Challenge）と呼ばれる競技会が開催されている。

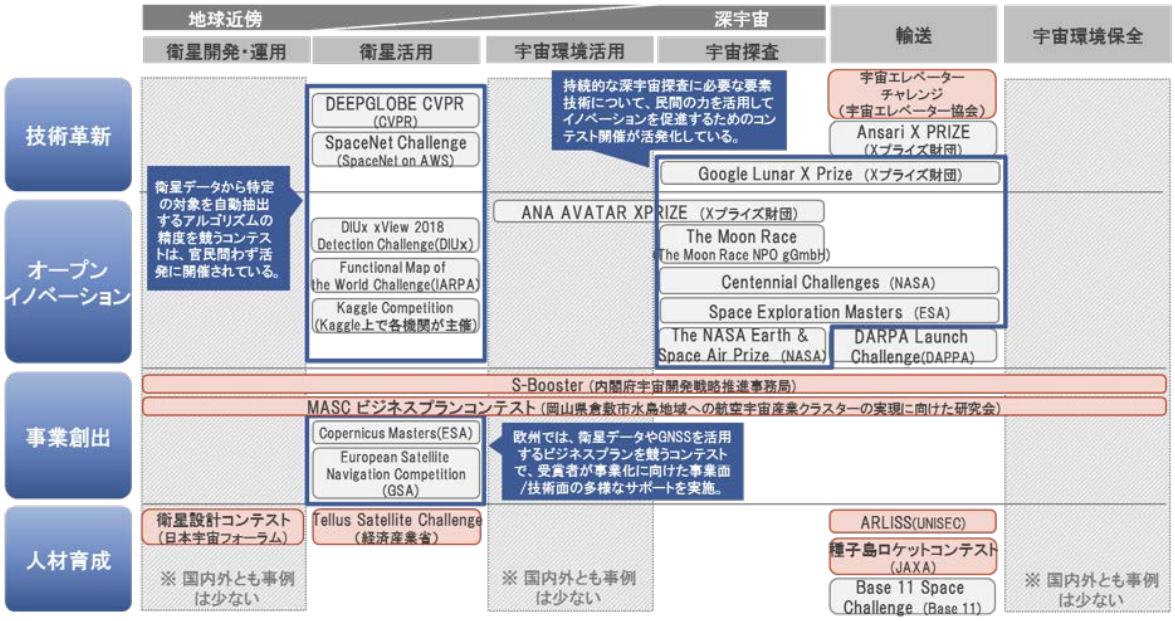
２つ目の「オープンイノベーション」のコンテストは、コンテスト主催者又は協賛社が自事業への活用を前提に技術やアイデアを募集するものであり、入賞者には賞金のほか、協働プロジェクトに参画できる権利が与えられることも多い。Ｘプライズ財団は、ANAホールディングス(株)をスポンサーとして、2020年代での地球低軌道での実証実験実施を目標に、先端技術を用いて遠隔で周りの環境や人々と対応ができるAVATARロボットを開発するANA AVATAR XPRIZEを2018年から開催しており、本コンテストを活かしたサービス化に向け、実証事業が進行中である。また、世界中のデータサイエンティスト向けに、Planet社やDSTL（米国国防科学技術研究所）等の企業や政府機関がスポンサーとなり、データセットと課題を無料で提示するKaggle Competitionが開催されており、入賞者は賞金を手にすると同時に、大手IT企業内で本実績が高く評価されるため、活躍の機会を広げることに繋がっているといわれている。

３つ目の「事業創出」のコンテストは、事業創出や市場活性化を目的として、ビジネスアイデアやソリューション・サービスを募集するものであり、入賞者には賞金のほか、アイデアを事業化するための支援を受けられるものが多い。例えば、ESAの主催する衛星データ活用領域のビジネスコンテストであるCopernicus Mastersでは、入賞者は賞金とともにビジネスコーチングプログラムを受けることができる。また、日本では、内閣府が、宇宙のアセットを活用した新たなビジネスアイデアを募集するS-Boosterを開催しており、メンターからメンタリングを受けられるだけでなく、スポンサー企業や投資家とのビジネスマッチングの機会を提供することで、その後の事業化に向けた支援を行っている。

最後の「人材育成」のコンテストは、若年層や異分野の人材が宇宙領域に関心を持ち、技術を研鑽する機会を提供するために開催するものである。こちらは人材育成を目的としているため賞金が無いことが多い。日本では、経済産業省が衛星データ活用の促進を図るとともに、衛星データを分析・活用できる人材を育成・発掘するために、衛星データ分析コンテスト「Tellus Satellite Challenge」を2018年から開催している。

以上のとおり、宇宙分野においても様々なコンテストが開催されており、その状況を「衛星開発・運用」、「衛星活用」等の事業領域を軸に整理（図１－９）

すると、「衛星活用」の分野では、アルゴリズム高度化と事業創出の両面で多様なコンテストが、「宇宙探査」の分野では、必要な要素技術の革新を目的としたコンテストが多く開催されていることが分かる。一方、「宇宙環境保全」に関するコンテストは国内外ともに事例が少なく、また日本で実施されているコンテストは、事業創出や人材育成を目的としたものに主眼が置かれており、技術革新やオープンイノベーションを目的としたものは少ないように見受けられる。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図１－９　事業領域ごとのコンテストの開催状況

１－１－４　地域を挙げての産業化の取組

宇宙産業はベンチャー企業等の台頭により、市場の活性化が進展してきていることは、これまで述べてきたとおりであるが、これに呼応するように地方公共団体における地域に密着した取組としても盛り上がりを見せている。

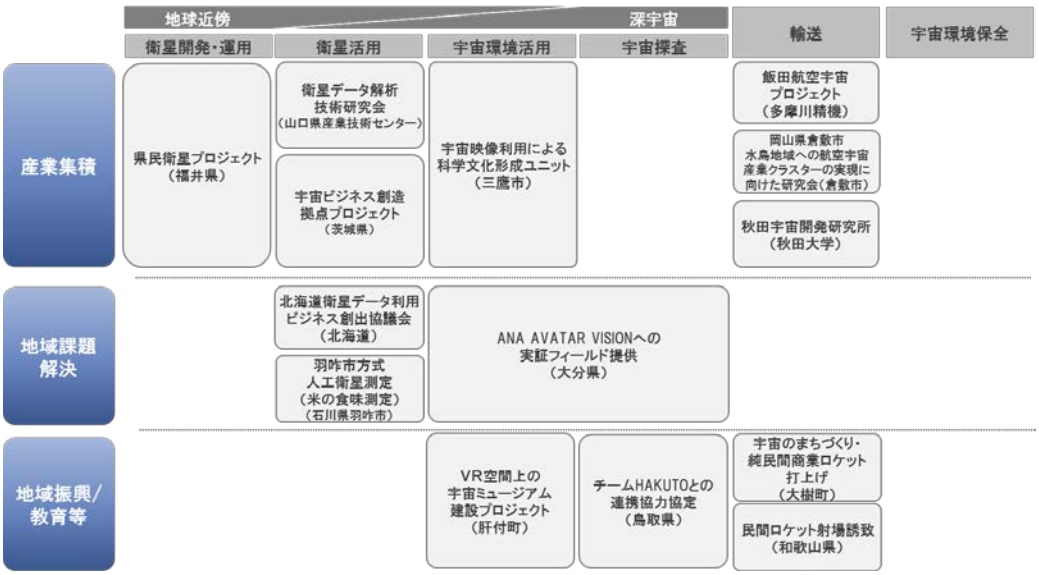
ここでは、現在実施されている地域の取組事例について、「産業集積」、「地域解決課題」、「地域振興/教育等」といった軸で分類している。

１つ目は、地場のものづくり産業、研究機関等、従来の強みを活かした「産業集積」を目的とした取組である。例えば、福井県では、地方発の革新的なビジネスモデルの創出を目的とした福井県民衛星プロジェクトが発足している。福井県内の企業が主体となり、地域の高度なものづくり技術を活かした衛星製造や衛星データの利活用を行っている。アクセルスペース（株）と共同で超小型人工衛星の製造を行い、ロシアのソユーズロケットに搭載し、2020年４月以降に打ち上げる計画を発表した。

２つ目は、農業などの地域ニーズに着目し、衛星データ活用などによるソリューション開発に活かすことで「地域課題解決」を目的とした取組みである。例えば、石川県羽咋（はくい）市では、民間企業と連携して人工衛星の画像データを活用して、米の食味を測定するシステム「羽咋市方式人工衛星測定業務」を開発した。この方式は山形県や京都府などのJAや自治体などに採用され、技術料は羽咋市の収入になっているため、地域の活性化に一役買っている。

３つ目は、ロケット打上げや新宇宙探査など、話題性の高い事業と連携することで「地域振興や教育」などに結びつけることを目的とした取組である。例えば、鳥取県では、日本初の民間月面探査チーム「HAKUTO」との間で、鳥取砂丘でのフィールド走行試験の実施などについて、相互に連携・協力していくこととした連携協力協定を2016年に締結した。また、北海道~~の~~大樹町（たいきちょう）~~大樹町~~は、1984年に宇宙産業基地構想を発表し、宇宙関係施設の誘致や1000m滑走路を整備するなど、「宇宙のまちづくり」をコンセプトに掲げ、町おこしを行ってきており、2013年にはインターステラテクノロジズ(株)が、日本初の純民間商業ロケット「ポッキー」を大樹町で打ち上げ、新たなロケット射場の候補地の1つとしても有名である。また、和歌山県~~の~~串本町は、2018年に「民間ロケット射場誘致推進室」を開設するなど、国内初の民間企業によるロケット発射場建設の誘致活動を進めており、2019年３月には、(株)SPACE ONEの2021年に打上げ予定のロケット射場建設予定地に選定された。

このように、衛星開発・運用や衛星活用のような地球近傍の領域だけでなく、多方面にわたる領域で地域宇宙産業が活性化してきており、地域の課題やニーズを解決する手段として、宇宙産業に期待が寄せられている（図１－１０）。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図１－１０　事業領域ごとの地域宇宙産業の事例

１－２　宇宙産業における政府の取組

１－２－１　米国・欧州

米国では、オバマ大統領政権時の2010年６月に発表された、「新国家宇宙政策（U.S. National Space Policy)」において、商業宇宙分野の成長を促進することで宇宙産業の活発化を図ることを目標の一つに掲げた。この政策が示すとおり米国では、宇宙開発能力の維持・向上を効率的に進めるために、民間活力を積極的に採用してきている。例えば、NASAは、ISS（国際宇宙ステーション）までの物資等の輸送の商業化を進めるため、2005年からISSに貨物を輸送することに対する民間の能力開発支援策（COTS：Commercial Orbital Transportation Services、商業軌道輸送サービス）を、2010年からNASAが顧客としてISSへの物資輸送サービスを購入するための支援策（CRS：Commercial Resupply Services、商業補給サービス）を、それぞれ講じている。これらの支援策は、NASAが資金投入を行うものの、一定の民間負担を必須とすることで、企業自身の成長を促すとともに、定常業務である宇宙輸送部分を民間に移転することで、コスト削減を図り、より政府主導で行うべき高度な開発・探査ミッションにNASAの資金を注力するという狙いがある。そして、実際にこれらの支援策は、SpaceX社による貨物輸送船「Dragon」や、Orbital Sciences社（現Northrop Grumman社）の貨物輸送船「Cygnus」等のベンチャーを含む民間企業の成長に繋がっている。

欧州では、EC（欧州委員会）により、研究及び革新的技術開発を促進するため「Horizon2020」という史上最大規模のEU研究助成プログラムが2014年から開始されており、2020年までの７年間にわたり、約800億ユーロに上る助成金が投入される予定である。「卓越した科学」、「産業技術におけるリーダーシップ」及び「社会的な課題への取組」の３つの柱のうち、「産業技術におけるリーダーシップ」の中で、宇宙を中心とした産業競争力の確保がテーマに掲げられている。その１つの取組として、欧州の中小・ベンチャー企業や研究機関を対象とした「Low-Cost Space Launch」コンテストが立ち上げられており、2018年６月から３年間の募集期間を経て、2021年11月に受賞者（賞金1000万ユーロ）が発表される予定となっている。

また、ESAでは、設立当時は自身でロケット開発を行っていたものの、1980年にCNES（フランス国立宇宙研究センター）が中心となってロケット打上げを専門に行うArianespace社を設立することで、打上げを商業化した。Arianespace社は、ロケット製造自体は行わず、ESAやAirbus社などが製造するロケットの販売や打上げ業務のみを担当しており、ロケット製造と打上げサービスを三菱重工業（株）が一体で担当し、JAXAがサービスを調達する体制を取ることで商業化を図った日本とは異なる。その他、ESAがロケット開発費の出資を行い、各

国が打上げ事業に関する補助や打ち上げ失敗の際の損害補償負担をするなど、積極的に法整備や予算を投入し、支援を実施している。このような支援も背景にあり、Arianespace社は、現在世界の商業打上げのシェア１位を獲得している。

１－２－２　中国等

中国では、衛星やロケットから有人宇宙飛行・深宇宙探査に至るまで、宇宙の各分野において、政府自らが包括的な取組を進めている。2000年11月に、中国の宇宙活動の目的と原則、発展の現状、短期的目標、長期的目標、国際協力等についてまとめた宇宙白書「中国的航天」が発行され、その後も2006年、2011年及び2016年にも改訂版が発表されている。2016年度版「中国的航天」では、宇宙開発の４原則を、革新的発展・協力的発展・平和的発展・開放的発展と定め、その後の５年を目処とした宇宙ミッション計画を宇宙輸送・宇宙インフラ・有人宇宙活動等の10項目に分類して、それぞれの目標を掲げている。また、国籍を問わずハイレベルな人材を中国の大学や企業等に好待遇で招聘するプログラム「千人計画」を2008年に、その後続となる「万人計画」を2012年に発表し、科学的発展に貢献させるため人材育成の底上げを図ってきている。さらに、2015年５月には、中国における今後10年間の製造業発展のロードマップをまとめた「中国製造2025」を発表し、重点的に推進する10分野の１つに航空・宇宙設備が掲げられている。中国ではこうした施策が宇宙産業を牽引していると考えられ、例えば、今後ハッキングや盗聴等のサイバーテロ対策として有用とされている量子暗号技術に関しては、2016年に世界初の量子科学実験衛星「墨子（ぼくし）号」を打ち上げ、2017年には世界初の宇宙・地上間通信に成功している。また、米国GPSに依存しない独自の衛星測位システム「北斗」を打ち上げており、2018年12月には世界を対象にしたサービスを無償で開始している。その他、独自の宇宙ステーションの開発にも取り組んでおり、2016年には無人宇宙実験室「天宮２号」を打ち上げている。このように中国は、世界の宇宙技術・産業の中心的存在となることを目指し、宇宙産業技術の強化を図っている。

インドでも、政府自らが宇宙開発を行っているが、その強みは、圧倒的なコスト管理であり、2014年にアジアで初めて、米国の10分の１程度の予算で、火星周回軌道に探査機を投入したとされている。また、インドの宇宙関連技術の開発とその応用を目的とする国家機関であるISRO（インド宇宙研究機関）が、宇宙分野における多国間枠組みを強化しているとされ、2017年12月からJAXAと将来の月の極域における無人の着陸調査に関する共同研究を開始している。

１－２－３　日本

日本では2008年５月に日本の宇宙開発利用に関する基本方針を示した「宇宙基本法」が成立、同年８月27日に施行された。この法に基づき、今後20年程度を見据えた10年間の長期的・具体的整備計画として、2009年４月に「宇宙基本計画」が策定され、宇宙政策を巡る環境変化を踏まえた改訂が行われている（改訂は、過去２度実施。2013年１月に宇宙開発戦略本部決定、2016年４月に閣議決定）。

また、日本における民間企業の宇宙活動の進展に伴い、事業の予見可能性を高め、民間事業を後押しするための制度インフラとして、「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」（宇宙活動法）及び「衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律」（衛星リモセン法）の宇宙関連二法が整備された（2016年11月16日二法公布、衛星リモセン法~~衛星リモートセンシング法~~は2017年11月15日、宇宙活動法は2018年11月15日完全施行）（図１－１１及び図１－１２）。

宇宙活動法は、宇宙開発利用の果たす役割を拡大するとの宇宙基本法の理念に則り、①人工衛星及びその打上げ用ロケットの打上げに係る許可制度、②人工衛星の管理に係る許可制度、③第三者損害の賠償に関する制度の創設の３つの要素で構成される。本宇宙活動法の整備によって、宇宙諸条約を的確かつ円滑に実施するとともに、公共の安全を確保しつつ、日本の民間事業者に対して、遵守すべき基準に関する予見性を確保することにより、日本の宇宙開発利用を推進することが期待される。

衛星リモセン~~ートセンシング~~法は、衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いを確保するため、①衛星リモートセンシング装置の使用に係る許可制度、②衛星リモートセンシング記録保有者の義務、③衛星リモートセンシング記録を取り扱う者の認定等の３つの要素から構成される。本衛星リモセン~~ートセンシング~~法の整備によって、高分解能の衛星リモートセンシング記録が悪用の懸念のある国や国際テロリスト等の手に渡らないよう管理することが可能となるとともに、リモートセンシング事業者に対して、遵守すべき基準等を明確化し事業の予見性を向上させることによって、日本のリモートセンシング事業が推進されることが期待される。

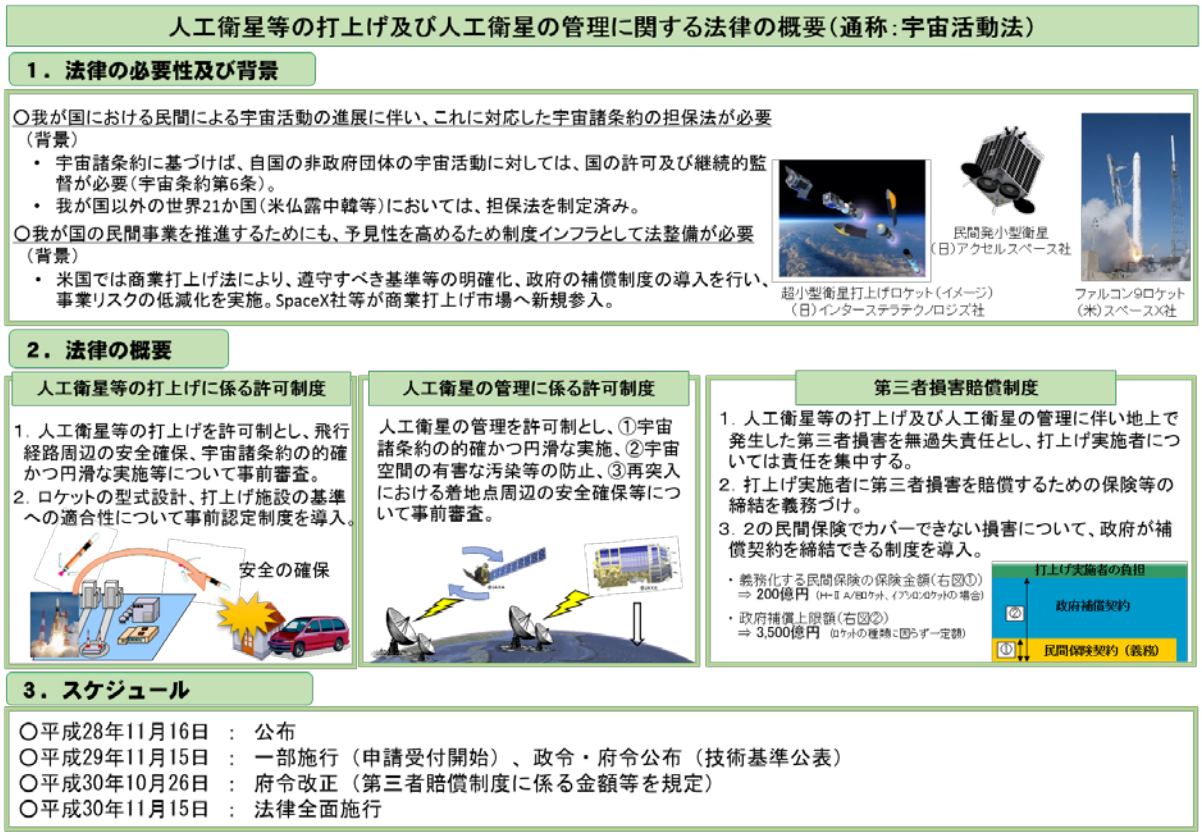


図１－１１　人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律（宇宙活動法）の概要

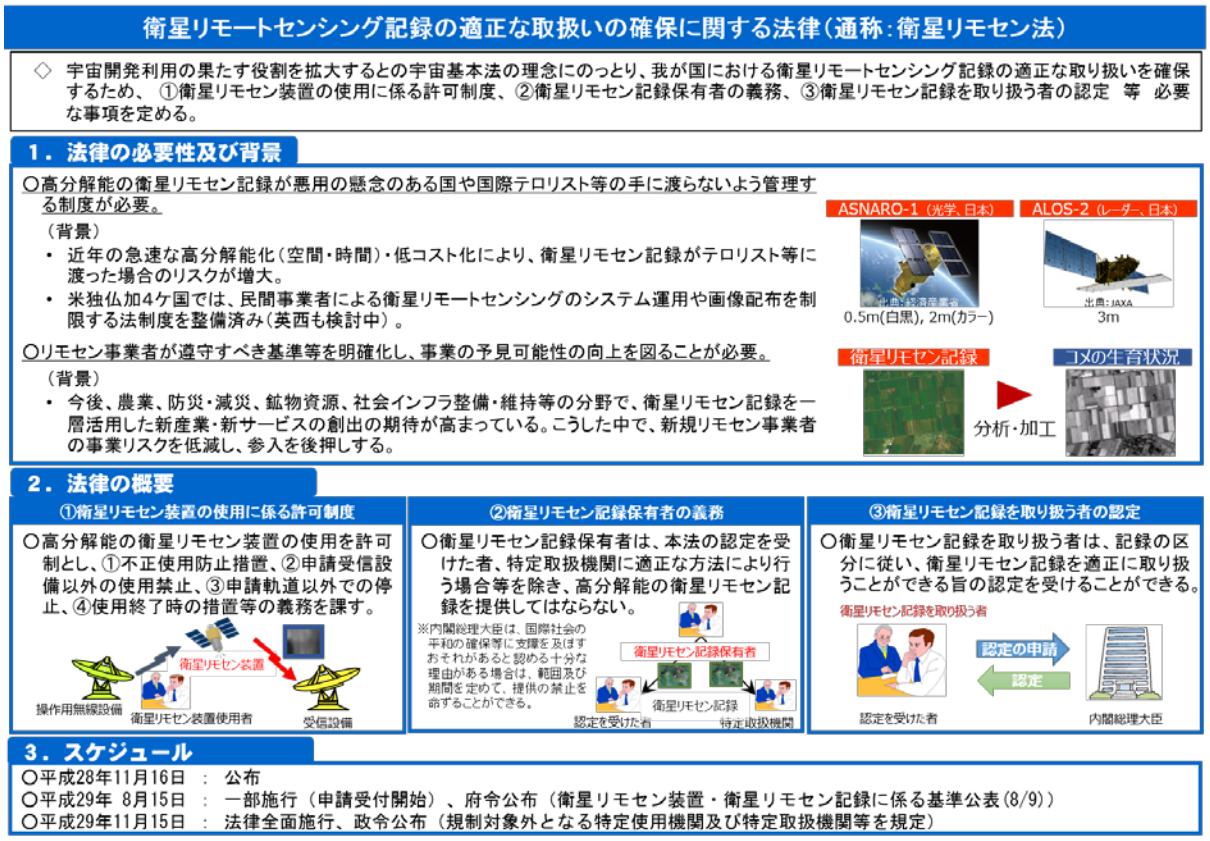


図１－１２　衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律（衛星リモセン法）の概要

また、2012年に設置され、内閣総理大臣の諮問に応じて宇宙開発に関する施策について審議を行う宇宙政策委員会は、2017年５月、日本における宇宙産業への新規参入を促進し宇宙利用を拡大するための総合的取組として、宇宙機器・利用産業の将来動向や政府の関与の在り方に関する基本的視点についてとりまとめた「宇宙産業ビジョン2030」を策定し公表した（図１－１３）。

この宇宙産業ビジョン2030では、現在の日本の宇宙産業の市場規模1.2兆円を2030年代早期に倍増を目指すとの目標を提示した上で、その包括的な実現方策として、衛星データの利活用方策等からなる宇宙利用産業の振興、技術開発を含む国際競争力確保や新規参入支援策からなる宇宙機器産業の振興、海外展開の振興、宇宙資源探査に対応する制度整備等新たな宇宙産業を見据えた環境整備についてとりまとめている。

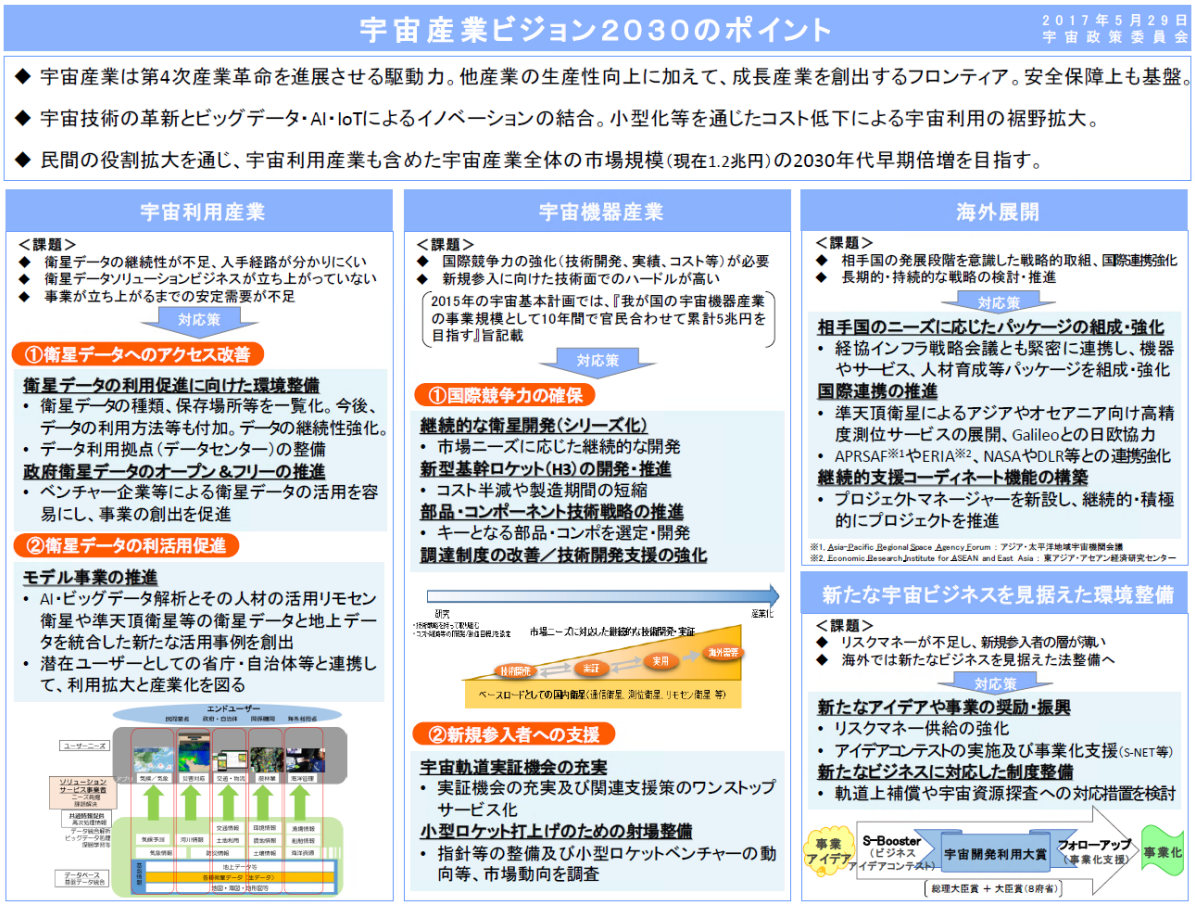


図1－13　宇宙産業ビジョン2030のポイント

第２章　宇宙産業の市場規模・動向

宇宙産業を取り巻く状況の変化は、国内外の市場規模の活性化に大きく貢献しており、2016年までの10年間で、宇宙産業の世界市場規模が２倍程度まで拡大している。

２－１　国内外における宇宙産業の市場規模

国内外における宇宙産業の市場規模について、（一社）日本航空宇宙工業会界（SJAC）[4]の「平成29年度宇宙産業データブック」及びThe Satellite Industry Association(SIA)の「State of the Satellite Industry Report」[5]を基に本タスクフォースとして独自に算出した。

その際、国内外の宇宙産業の市場規模を算出するにあたって、各国政府予算分については、上記のSJACの資料に記載のある日本、米国、欧州、ロシア及びカナダの政府予算を使用している。また、日本の民間企業等による売上高については、上記のSJACの資料における「宇宙機器産業データ集」、「宇宙利用サービス産業データ集」及び「宇宙関連民生機器産業データ集」の売上高を、同様に米、欧、露及び加における民間企業等による売上高については、上記のSIAの資料にある「Satellite Manufacturing」、「Launch」、「Satellite Services」及び「Ground Equipment」を、それぞれ参考にしている。

なお、「宇宙機器産業データ集」、「宇宙利用サービス産業データ集」及び「宇宙関連民生機器産業データ集」に記載されている各産業には、それぞれ以下の項目が含まれている。

〇宇宙関連民生機器産業：テレビ、アンテナ、チューナー、VTR、DVD、BDレコーダ（BS・CS放送に係るアンテナやチューナーを搭載しているため。）カーナビゲーション、GPS携帯電話

〇宇宙機器産業：宇宙航空研究開発機構、その他政府機関、宇宙関連団体、衛星通信放送関連会社、宇宙専門特殊会社、大手ロケットメーカー、大手衛星メーカー、輸出等

〇宇宙利用サービス産業：衛星通信放送（電気通信事業）、衛星通信放送（BC・CS放送事業）観測分野等

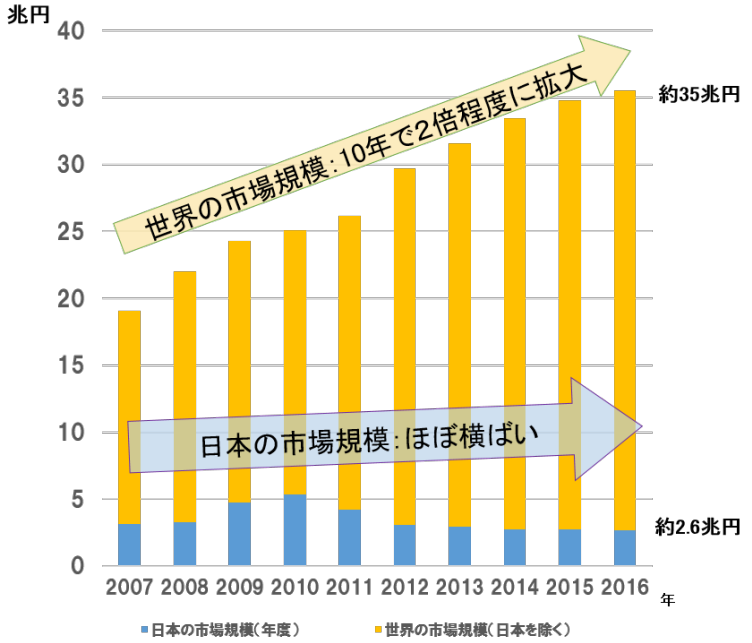
---

[4]（一社）日本航空宇宙工業界ウェブサイト（URL：http://www.sjac.or.jp/index.html）

[5] SIA「State of the Satellite Industry Report」（URL：https://www.sia.org/annual-state-of-the-satellite-industry-reports/2017-sia-state-of-satellite-industry-report/）

２－１－１　世界の宇宙産業の市場

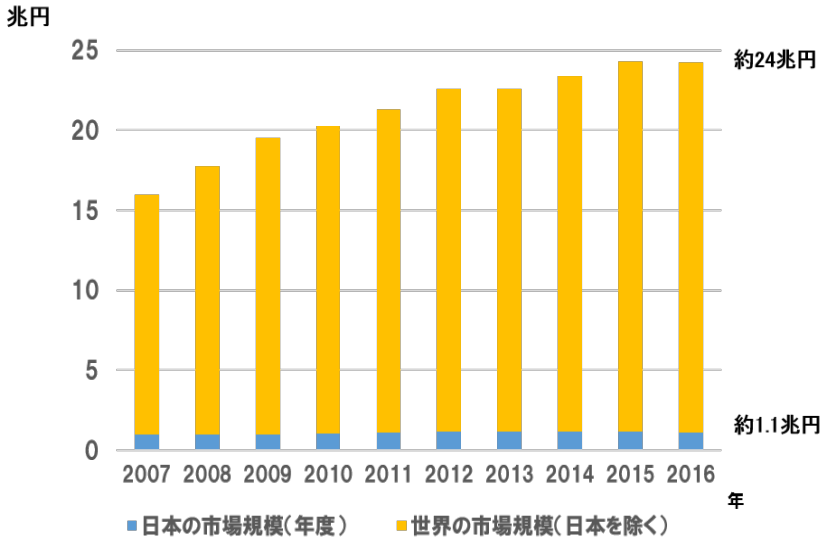
世界の宇宙産業の市場動向は、図２－１に示すとおりである。2007年時点では20兆円弱であった世界の宇宙産業の市場規模が、2016年には約35兆円となり、その10年で２倍程度に拡大している。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第3回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図２－１　世界の宇宙産業の市場規模

また、その中でも、世界の宇宙機器・宇宙利用サービス産業の市場規模（図２－２）は2016年には約24兆円となり、市場全体が約35兆円となる中で、宇宙機器・宇宙利用サービスが大きな割合を占めていることが分かる。

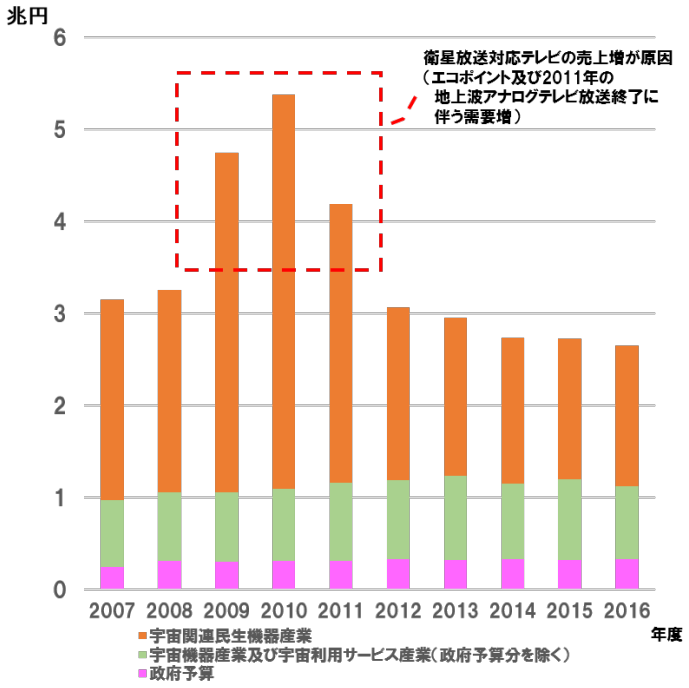


出典：「宙を拓くタスクフォース（第3回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図２－２　世界の宇宙機器・宇宙利用サービスの市場規模

２－１－２　日本の宇宙産業の市場

日本の宇宙産業の市場規模（図２－３）は、約３兆円のままほぼ横ばい状態が長らく継続している。なお、前述の「宇宙産業ビジョン2030」では、2017年時点の日本の市場規模を1.2兆円（緑とピンク色部分の合計）としているが、ここでは波及的な領域（オレンジ色部分）も含めた市場規模を示している。また、2009年～2011年に掛けての伸びについては、衛星放送対応テレビの売上の増加が原因である。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第3回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

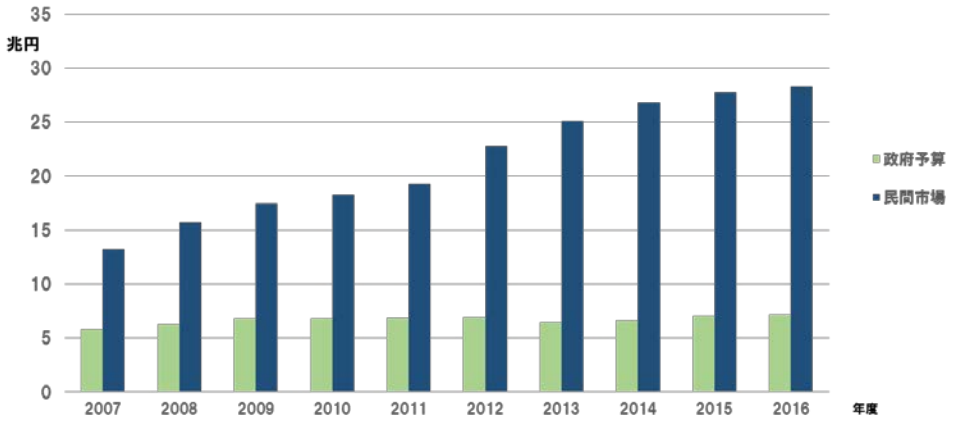
図2－3　日本の宇宙産業の市場規模

２－１－３　世界及び日本の政府予算・民間市場

ここでは図２－１で記載した世界の宇宙産業の市場規模の伸びについて、日本と比較しつつ考察する。

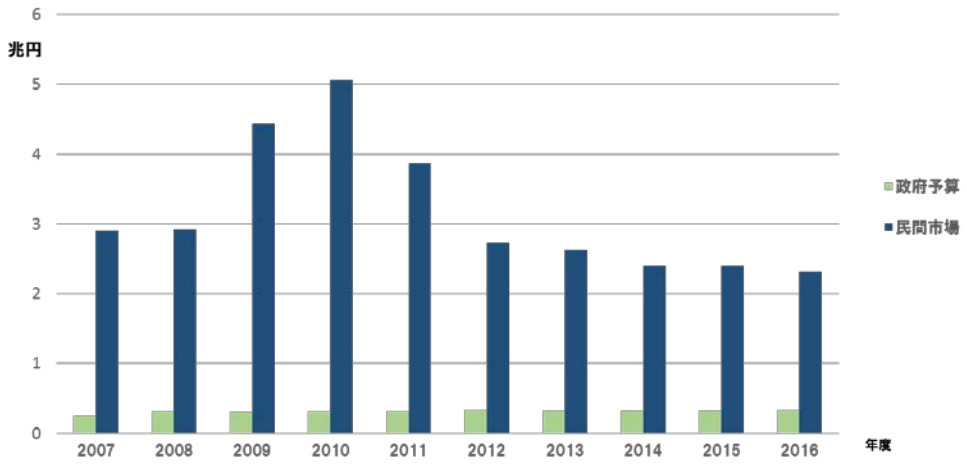
世界の宇宙産業の市場規模を政府予算と民間市場に分けたものが図２－４である。これを見ると、政府の予算は横ばいである一方で、民間市場が大きく伸びており、民間市場の伸びが宇宙産業の市場規模の伸びを牽引していることが分かる。民間市場が大きく伸びた一因として、NASAによる「商業軌道輸送サービス（COTS）」などの調達等を利用した政府の民間支援策による民間企業の成長とその後のビジネス展開が考えられる。

一方で、日本の宇宙産業の市場規模を政府予算と民間市場に分けたものが図２－５であるが、日本は政府予算、民間市場ともに横ばいとなっており、将来の民間市場拡大が求められる。



出典：SJAC及びSIA資料から独自計算

図2－4　世界の政府予算と民間市場



出典：SJACから独自計算

図２－５　日本の政府予算と民間市場

２－２　宇宙産業の動向

宇宙産業の動向について、宇宙産業を図２－６に示す６つに分類し、その分野ごとに、各国やベンチャー企業などの取組みを交えて概観する。

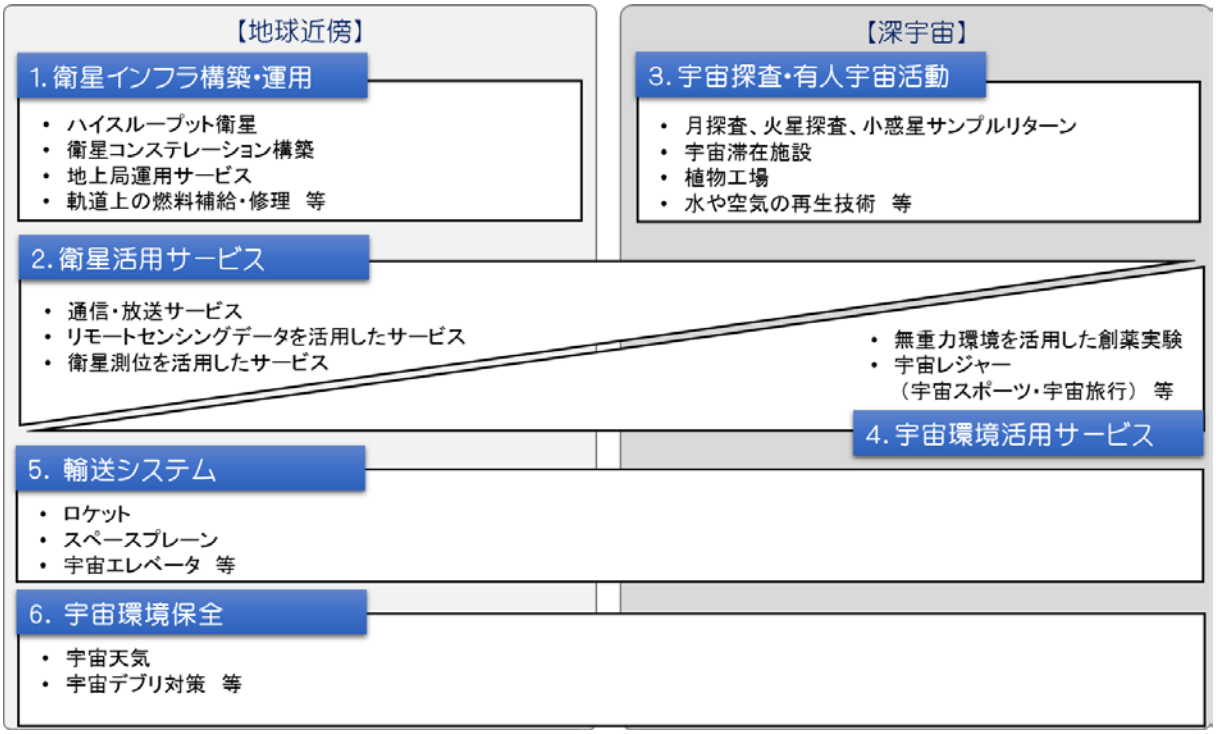


図2－6　宇宙産業の分類

２－２－１　衛星インフラ構築・運用

ここでは、衛星インフラを、地球近傍の静止軌道や低中軌道に打ち上げた人工衛星だけでなく、地上側のシステムを含め、衛星でサービスを行う上で必要なインフラ群として捉えている。

従来、通信衛星は、例えば日本全国をカバーできる広域性、点在する複数の受信拠点に対して同一の情報を提供できる同報性等の特徴を利用し、静止軌道から地球の一定エリアに向けたサービスを行うものが主流であった。また、災害などにより地上ネットワーク網が寸断されたとしても、被災地の迅速な通信回線を確保するための地上回線の補完として重用されてきた。昨今は、それらに加え、現在主流となっているKu帯よりも高い周波数帯域であるKa帯を使用して多数のマルチビームと中継器を装備し、大容量衛星通信を実現するHTS（High Throughput Satellite：ハイスループット衛星）が実用化されてきている。

HTSの開発については各国が鎬を削っている中、日本では、HTSの更なる高度化を目指し、2021年度の打上げ予定の技術試験衛星９号機（ETS-9）に関する研

究開発において、総務省・文部科学省・NICT（情報通信研究機構）・JAXAが連携して取り組んでいる。ETS-9に搭載される衛星通信システムとしては、近年の航空機ブロードバンド環境や海洋資源開発のための船舶通信需要、災害時の通信手段確保等の衛星通信需要、衛星寿命である約15年間における需要変動に対応するため、①周波数帯幅を動的かつ柔軟に変更するデジタルチャネライザ技術、②衛星ビームの照射地域を動的に変更可能なデジタルビームフォーミング技術、③衛星・地上間において超大容量光フィーダリンクを実現するための光通信技術の３つの技術実証を行うこととしている。

また、従来のサービスは衛星１機で運用を行うものが主流だったが、複数の小型衛星を利用して、中・低軌道で協調させて使用する新たなサービス（以下「衛星コンステレーション」という。）の実用化に向けた動きが活発になっている。衛星コンステレーションのメリットとしては、①従来型の衛星サービスは、静止軌道上に配備され、ある一定のエリアに対してサービスを行うのに対し、様々な軌道に多数の小型衛星を配備し、地球全体を包囲することで全球対応のサービス網を構築できる、②一機あたり~~当たり~~の製造コストが30～50億に上るものが主流である大型衛星と比べ、小型衛星を使用することにより、製造コストを数千万～数億円程度に抑えることができる、③同スペックの衛星を複数製造するため、部品が共通化され低コストで製造が可能となることなどが挙げられる。衛星コンステレーションを利用することで、地上で光ファイバ網が整備されていないなどの条件不利地域を含めた全世界に通信環境を提供できるほか、リモートセンシング技術と組み合わせることによって、高解像・高頻度な衛星データ利用なども可能になるため、大きな期待が寄せられている。（この衛星コンステレーションを利用したサービス例については、次節で紹介している。）

加えて、衛星は打ち上げ後に軌道上での故障修理や燃料補給が困難であるという課題があるが、近年、衛星の寿命を延ばすための軌道上サービスを展開する企業も出てきている。米国のOrbital ATK社（2018年にNorthrop Grumman社の一部門（Northrop Grumman Innovation Systems）として買収。）は、「MEV（Mission Extension Vehicle)」と呼ばれる機体を、すでに静止軌道上にある衛星にドッキングすることで軌道維持を行うサービスの契約を、2016年及び2018年に米国Intelsat社との間で締結している。

衛星側のHTS化やコンステレーション化に期待が寄せられる一方、人工衛星の運用を支える地上設備の拡充も必要である。例えば、コンステレーション衛星は低軌道を周回するため、複数の地上アンテナを配備することで、衛星との通信時間を確保するなどしなければ、リアルタイム性が大幅に失われてしまう。

また、地上設備を配備するためには高額な初期投資が必要となるため、宇宙産業へ進出する上での大きな障壁となっている。日本の(株)インフォステラは、人工衛星と地上設備間通信を低価格・高頻度で利用できる環境を提供することで衛星運用者のサービス展開をサポートするため、地上局共有プラットフォームであるStellarStationを提供するサービスを一部展開している。StellarStationとは、既に周回衛星用地上設備を所有している企業が、地上アンテナの非稼働時間を利用して、他の衛星事業者に貸出・利用させることができるプラットフォームのことである。このプラットフォームを利用することで、衛星事業者がより多くのアンテナの利用機会及び通信時間を確保することが出来る上に、地上設備の高額な初期投資を抑えることが可能とされている。

今後、宇宙利活用空間が更に広がり、様々な新しいサービスが展開されることが予想される中、ニーズに合わせた特徴を持つ衛星インフラを選択し、又は組み合わせてサービス提供ができることが重要である。

２－２－２　衛星活用サービス

日本では、2018年12月１日から、BS及び東経110度CSで新4K8K衛星放送が開始され、高精細で臨場感のある衛星放送サービスが楽しめるようになった。特に8K衛星放送は世界初の試みである。東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2020年には、「4K・8K放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで4K・8K番組を楽しんでいる」ことなどを目標に、NHK、民放を含む９社がサービスを開始している。

また、通信分野では、静止衛星を用いてサービスを行うものが主力ではあるが、衛星コンステレーションによりサービス提供を構想する企業が出始めている。米国のOneWeb社は、全世界で安価かつ高速なインターネットの利用を可能とするため、低軌道衛星約600機による衛星コンステレーション計画を実施している。2020年以降のサービス開始を目指し、2019年３月には最初の衛星６機を打ち上げた。本計画は世界中から注目されており、2016年12月にソフトバンクグループから10億ドル、2019年３月には、ソフトバンクグループの他、Grupo Salinas社、Qualcomm社、ルワンダ政府から、総額約1400億円の資金調達に成功している。その他、衛星コンステレーションに関する計画を持つ会社として、4000機以上の衛星を打上げる「Starlink」計画を進めるSpaceX社や、最大108機の低軌道衛星を打上げることを計画しているLeoSat社などが、様々な企業が衛星コンステレーションサービスへ参入しており、競争が生まれている。

さらに、衛星からセンサを使用して地球等の情報を観測するリモートセンシングサービスにも低・中軌道の複数の小型衛星を利用する動きが出ている。米国のPlanet社はすでに、世界最大規模である100機以上の人工衛星群を所有しており、世界中の写真を撮影している。またカナダのUrthecast社は、国際宇宙

ステーションに配備したカメラを使ってリアルタイム動画ストリーミングの提供サービスを計画しており、2015年には60秒程度のフルカラーHD動画を公表している。

衛星測位システムは、人工衛星から送信される信号を用いて、時刻情報や位置情報を配信するシステムであり、現在、カーナビゲーションや徒歩・自動車ナビゲーションアプリ、船舶や航空機の航法支援などに幅広く活用されている。米国のGPSに代表される衛星測位システムは、ロシア（GLONASS）、欧州（Galileo）、中国（BeiDou）及びインド（NAVIC）においても整備が進められており、日本では、2006年より、ビルや山陰等の影響を受けにくく高精度な測位が可能な「準天頂衛星システム（みちびき）」の開発に着手し、2018年11月１日より４機体制でのサービスを開始した。今後、衛星測位システムは、社会経済活動を支える重要なインフラとして、交通、建築、通信、防災、金融等の様々な分野で利用されることが期待されている。

これらに加え、衛星を活用したユニークなエンターテイメント事業を計画するベンチャー企業も現れている。(株)ALEは、エンターテイメントとサイエンスの両立による宇宙技術の革新を目標に、世界初の人工流れ星事業「Sky Canvas」を計画しているベンチャー企業である。特殊な素材の粒を軌道上の人工衛星から宇宙空間に放出して、大気圏に突入させることで、流れ星を人工的に再現することを目指している。2019年１月にJAXAの革新的衛星技術実証プログラムを活用し、実証衛星「ALE-1」の打上げを行い、軌道投入の後、地上局と通信ミッションを無事完了している。2020年春には、広島瀬戸内地方で、世界初人工流れ星実証実験を行うことが計画されている。

このように、衛星を活用したサービスは、様々な分野の産業に活かされ、裾野が広がってきていることが伺える。

２－２－３　宇宙探査・有人宇宙活動

20世紀の人類は、宇宙への第一歩として月を目指してきたが、近年は火星等、深宇宙と呼ばれる更に地球から遠い惑星を調査するために探査機などを飛ばす構想が始まっている。

月面着陸には過去、旧ソ連（1959年）及び米国~~アメリカ~~（1969年）が成功しているが、中国が第３番目の月面着陸国として、探査機「嫦娥（じょうが）四号」を、2019年１月に世界で初めて月の裏側への着陸に成功させている。

また、米国は、人類の活動領域を月、さらには火星へと拡大するために、月の周回軌道上に新たな有人拠点「Gateway」を国際パートナーや民間企業と協

力して構築する構想を発表し、技術検討や分担調整等に関する国際的な議論が進められている。我が国においても、Gatewayへの我が国の強みを活かした参画の方針に関する議論が進められるとともに、月への着陸探査についてJAXAと~~インド宇宙研究機関（~~ISRO~~）~~との間で共同ミッションの実現性について検討が進められている。

深宇宙探査では日本は、小惑星からのサンプルリターンに強みを持っており、小惑星探査機「はやぶさ」は、2010年６月に小惑星「イトカワ」の表面物質搭載カプセルを地球に持ち帰ることに成功した。後継機である「はやぶさ２」は2019年２月に小惑星リュウグウへのタッチダウンに成功し、2019年末にリュウグウを出発するスケジュールで小惑星探査作業が進められている。

これまで政府主導で進められてきた宇宙探査にも、近年、民間企業の参入の兆しが見え始めている。

例えば、2019年２月にイスラエルのSpaceIL社が、月面探査機「Beresheet」を打ち上げた。2019年４月に同国及び民間主導初を目指した月面軟着陸は失敗したものの、7か国目となる月周回軌道投入を成功させた。一方、米国でも、月面探査のためのローバー開発を行っているMoon Express社が、2016年に米国政府の許可を得て、民間企業として初めて月探査を実施することを発表している。

また、探査だけでなく、月や火星を第２の地球として人類が居住するための構想も進んでいる。日本では、例えば、(株)OUTSENSが「折り紙」技術を用いて、小さく折り畳んだ状態の建造物を打上げ、宇宙空間で展開することで居住空間を作ることを計画している。2030年には月面施設の開発を目指す予定とされている。

２－２－４　宇宙環境活用サービス

宇宙環境には微少重力、高真空など、地上とは異なる特徴があり、その特徴を利用することで、新たな成果・サービスを生みだす構想も広がってきている。

日本では、ペプチドリーム(株)が、微少重力環境を利用し、創薬を加速しようとしている。微小重力下では対流が抑制されるため高品質なタンパク質結晶を生成でき、タンパク質の構造を詳細に明らかにすることができる。詳細な構造情報は薬の候補化合物が疾病に関係するタンパク質にどのように結合し作用するのかを可視化できるため、候補化合物の改良を効率化するなど、創薬のサイクルを大幅に短縮することができる。2017年６月には、宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟を利用した高品質タンパク質結晶生成実験を行う戦略的なパートナーシップ契約（同年９月から３年間）をJAXAと締結している。

また、一般人向けの宇宙旅行サービスを展開する企業も出てきている。米国のVirgin Galactic社は宇宙旅行ビジネスを手がける企業である。弾道宇宙飛行によって、宇宙空間での滞在時間は４分、全体で２時間程度のプログラムを検討しており、料金は25万ドル（約2700万円[6]）程度だが、既に世界中で約700名が支払いを済ませているとのことである。また、同社は2005年には、(株)クラブツーリズム・スペースツアーズと独占契約を結び、日本人向けの宇宙旅行サービスを開始しており、既に19人の日本人が予約をしている旨、報道されている。

米国のBlue Origin社も、同様に弾道宇宙飛行による宇宙旅行ビジネスを計画している。ロケットの先端に宇宙船カプセルを搭載し、上空で宇宙船を切り離すことで弾道旅行を行うことを検討しており、既に帰還テストにも成功している。2019年に宇宙旅行のチケットを売り出す予定であるとされている。

その他、米国のElysium Space社は、遺灰の一部を宇宙へ送る宇宙葬サービスを実施している。2018年12月には、SpaceX社のFalcon9~~9~~により、世界で初めて約100人の遺灰を乗せた人工衛星が宇宙に運ばれ、軌道投入に成功した。

このように、地上では得ることの出来ない結果や体験を求め、様々な企業がそれぞれユニークなサービス提供していくものと考えられる。

２－２－５　輸送システム

ここで、輸送システムとは、宇宙への打上げ・輸送を行うシステム全般を指しており、従来は人工衛星などのペイロードを宇宙空間まで輸送するための大型ロケットの開発が主流であった。米国のUnited Launch Alliance社やBoeing社、欧州~~仏~~のArianespace社やAirbus社、日本では三菱重工業(株)などのEstablished Spaceが牽引してきた分野であり、各国政府からの受注を受けて発展を遂げてきた。

一方、ベンチャー企業により信頼性と共に低価格化を兼ね備えた大型ロケット開発が進んできている。従来、ロケットは打上げ後に分離した各パーツを破棄、または大気圏で燃やすなど、使い捨てが前提で製造されてきたが、打ち上げたパーツを回収することで低コスト化を図る狙いである。米国のBlue Origin社は、再利用ロケット「ニュー・シェパード」の開発を進めており、2015年11月には世界で初めて、ブースターの垂直着陸・回収に成功した。同社は2019年内に有人宇宙飛行の実現を目指しており、同年１月にも10回目の試験飛行を行うなど、着々と準備を進めている。また、米国のベンチャー企業であるSpaceX

[6] 換算レートは、2016 年平均 TTM を採用。(1 ドル=108.84 円)

社も、再利用ロケット「Falcon9」の開発を進めており、2018年５月と８月の２度打上げた再利用ロケットの再度の打上げ・回収を2018年12月に成功させた。このように再利用による低コスト化を武器に、２社は急激な成長を遂げている。

また、キューブサットと呼ばれる超小型衛星などを打ち上げるための、小型ロケット市場にも様々なベンチャー企業が参入してきている。大型ロケットに比べて搭載容量は小さいが、低価格で打ち上げられるのが特徴である。米国のロケット・ラボ社は、3Dプリンタを活用して、低コストで信頼性の高いロケットエンジンを開発しており、2018年11月には、小型ロケット「エレクトロン」による世界初の商業打上げに成功した。日本でも、インターステラテクノロジズ(株)が、民間企業単独開発の日本発小型ロケット「MOMO」の開発を進めている。

さらに、宇宙と地球を結び、人や物を運ぶ輸送システムである宇宙エレベータを計画する企業も出てきている。カナダのThoth Technology社は、空気注入式のセグメントを組み合わせた、高さ20km程度の宇宙エレベータを計画しており、2015年には宇宙エレベータ「ThothX Tower」の特許を取得している。(株)大林組は、2050年の宇宙エレベータ実現の可能性があるとして、宇宙エレベータの資材になると期待されるカーボンナノチューブの研究等を進めており、2018年３月には、ISSの暴露部に設置したカーボンナノチューブの試験体を回収、耐久性等の検証も行っている。このような宇宙エレベータが実現されれば、輸送コストが安く、安全に物資等を届けることが出来るようになると期待される。

２－２－６　宇宙環境保全

宇宙環境保全とは、微小重力、高真空、良好な視野、宇宙放射線などの地上では容易に得ることのできない特徴を持つ宇宙環境で、安定的に宇宙産業を発展させるために必要な環境保全サービスのことを指している。

地球は太陽から比較的近い惑星であり、太陽の活動状況が変化することで、太陽から到来するＸ線や紫外線などの電磁波や、太陽風とよばれる電気を帯びた高温の気体の一部が地球上に到達してしまうことがある。これらの現象が発生することによって、大気圏外の人工衛星や国際宇宙ステーションが制御不能になる等、直接影響を受けることが分かっている。また、電離圏の擾乱により電波が異常伝搬してしまうことで、衛星を利用した通信・放送・測位サービスや、地上の通信・放送サービスの提供がサービスエリアに届かなくなる等の影響も知られている。さらに、電力線に過電流を発生させるなどの不具合も知られている。

米国では、宇宙天気を地震や津波と同様に戦略的国家危機評価（US Strategic National Risk Assessment：SNRA）の一つとして検討しており、2014年から「Space Operations Research and Mitigation（SWORM）」というタスクフォースを立ち上げ、国家宇宙天気戦略（National Space Weather Strategy）及び宇宙天気アクションプラン（Space Weather Action Plan）の検討を行った。2016年には同アクションプランを加速させるための大統領令が発布されている。また、国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）の設立50周年となった2018年に開催された「第１回国連宇宙会議」開催50周年記念会合（UNISPACE+50）においては、７つの優先主題の１つとして「宇宙天気サービスのための国際枠組み」について議論されるなど、世界中で優先度が高い課題と認識されてきている。

日本ではNICTが、太陽フレア等の太陽活動による影響の予測・現状把握（宇宙天気予報）に関する業務を実施している。太陽風等の観測データに基づき、平日14時30分から宇宙天気予報会議を行い、現状と予報について、ウェブや電子メール等で配信を行っている。また、現在は平日に限って有人で行っている宇宙天気予報を配信するサービスを、夜間・休日を含めた24時間運用に拡充する予定である。

また、安定的な宇宙産業の発展を妨げるものとして、宇宙デブリの存在も課題である。宇宙デブリとは、宇宙の軌道上にある不要な人工物体の総称であり、故障した人工衛星やロケットの上段や、それらが、爆発・衝突することで発生した破片等のことである。宇宙デブリは、米国を中心にその監視、軌道の把握が行われており、カタログ化（物体が特定）されているものの数は、米国Space Trackによると2019年時点で19,538個であり、年々増加している。これら宇宙デブリの衝突速度（相対速度）は秒速約10～15kmと非常に高速となる場合もあり、人工衛星や宇宙ステーションに衝突すると大きな被害をもたらす場合がある。このような、宇宙デブリの増加によるリスクは深刻化しており、宇宙空間の安定的利用を確保していくことが喫緊の課題となっている。こうした問題に対し、日本では、宇宙デブリの観測能力向上を図るため、新しいSSA（Space Situation Awareness：宇宙状況把握）システムの構築を政府が一体となって進めており、2023年からの本格運用開始を見据えて、レーダ・光学望遠鏡の整備等を実施している。その上で、同盟国等とSSA情報の共有を進めることにより、宇宙デブリとの衝突等を回避するために必要となる能力を構築することとしている。さらに、民間企業においても宇宙デブリに関する取組が行われており、(株)アストロスケールが、世界初の宇宙デブリ除去サービスの提供に向け、宇宙デブリ除去実証衛星「ELSA-d」の開発・製造等を実施しており、当該衛星は、2020年初頭に打上げ予定である。

第３章　宇宙利用において目指すべき将来像

前章までの宇宙産業の動向等の分析を踏まえ、日本における宇宙産業の今後のさらなる発展を期待し、2030年代以降から2050年代頃までをターゲットとして、宇宙利用の将来像を描くとともに、2050年における日本の宇宙産業の市場予測を行った。

将来像については、ベンチャー企業や異業種の参入の促進、宇宙利用の有効性・潜在性に関する投資家や社会への理解増、さらにはその時代に活躍する小中高生や大学生への宇宙に関する興味の誘起等を想定して、実現が期待される像を描いている。

また、2050年における日本の宇宙産業（広義）の市場規模は、約59兆円になるものと期待される。

３－１　2030年代以降の宇宙利用の将来像

将来像は、第２章で分類した６つの分野のうち、「１．衛星インフラ構築・運用」「２．衛星活用サービス」、「３．宇宙探査・有人宇宙活動」及び「４．宇宙環境活用サービス」の４つについて描いている（図３－１）。

なお、「５．輸送システム」及び「６．宇宙環境保全」については、これらの将来像の実現に必要不可欠な基盤であり、実現にあたっての課題を検討する際に考慮している。

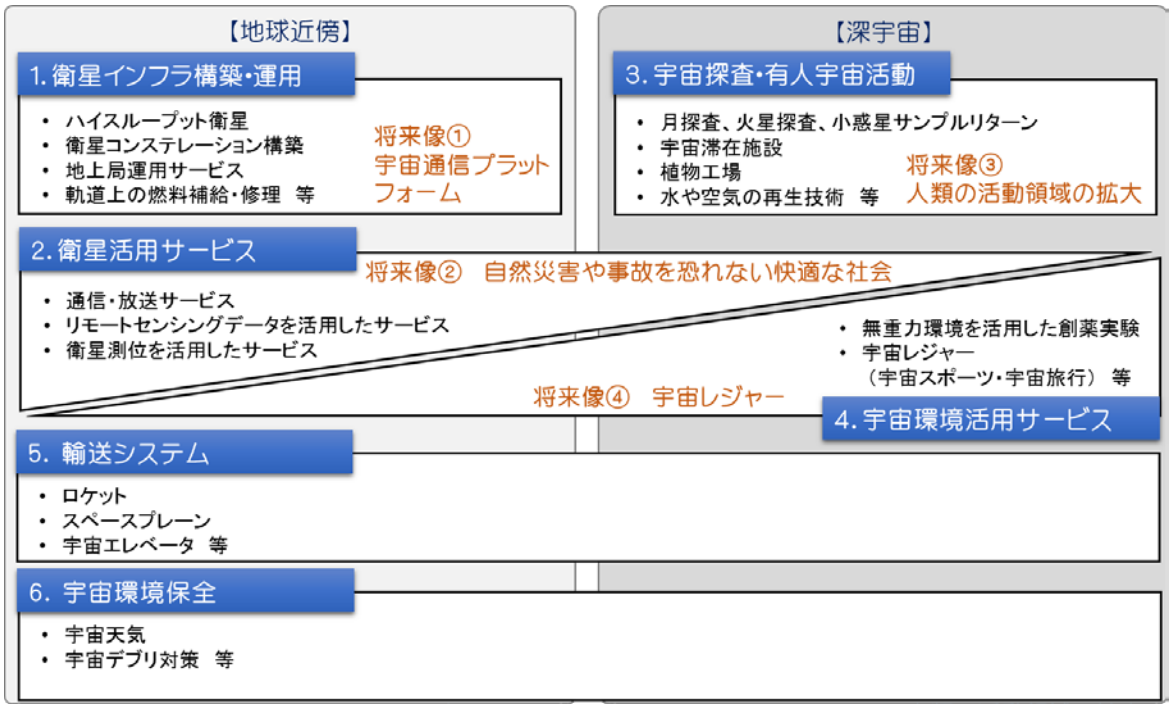


図３－１　宇宙産業の分類と将来像との関係

３－１－１　宇宙通信プラットフォーム（ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大）【将来像①】

現在、静止軌道上にある通信衛星により実現されているサービス提供は、その広域性・同報性・耐災害性等の特長から、地球から利用するネットワーク基盤として重要な位置を占めているが、それらは地球表面のネットワークと有機的に結合しているとは言えず、インターネット等の通信ネットワークのほとんどが、地球の表面に偏在している状況である。

2030年代になると、静止衛星、低中軌道衛星は、通信のノードとして、更にはデータの格納や解析のノードとして機能するようになり、地上系のネットワークと区別なく利用されるようになる。このようにして統合されたネットワーク基盤は、地球表面、低軌道衛星、中軌道衛星、静止衛星というように、ジオスペース（地球近傍の宇宙空間）において多層をなし、シームレスに宇宙空間に拡大していく。このネットワーク基盤は、格差のないフラットな世界的ICTインフラである「宇宙通信プラットフォーム」を形成し、誰もが利用できるようになる。

また、衛星等は、単にネットワークの中継ノードとしての役割を担うだけでなく、例えば、リモートセンシング衛星は、自らが取得したセンシングデータの格納に加え解析機能を有するようになり、データを地球に伝送することなく、データを付加価値がある情報へと昇華させ、それを宇宙空間に蓄えることが可能となる。

これにより、地球上のみならず、宇宙空間を含め、任意の場所から必要な時に必要な情報に容易にアクセス可能となる世界が実現され、これらを前提としたサービスが提供されるようになる。

図３－２　将来像①：宇宙通信プラットフォーム（ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大）

３－１－２　自然災害や事故を恐れない快適な社会【将来像②】

現在、IoTにより地上のセンサ情報が容易に収集・利用され、また、公的機関や民間企業が打ち上げたリモートセンシング衛星により取得されたデータが様々な用途やビジネスに利用されることが期待されている。これらのデータは、安心・安全や付加価値創出に資するために利活用されることになるが、現状ではその解像度や精度、頻度等は限定的である。また、衛星通信については、その広域性等から災害時において利用され、衛星測位については、準天頂衛星システム「みちびき」の４機体制によるサービス提供が開始されたが、それらの潜在能力が十分に発揮されているとは言えない状況である。

2030年代になると、多数のリモートセンシング衛星が低軌道等で運用されるとともに、地上のセンサの数も増加の一途を辿り、こうした衛星や地上のセンサ群により、多種多様な地球観測データが高解像かつ高頻度で取得されるようになる。また、それらのデータを効率的・効果的に解析する技術が進展することで、自然災害の予測精度は飛躍的に向上し、災害の発生後の迅速な状況把握等が可能となる。

さらに、災害や事故の発生時における被災地等での地上系ネットワークの寸断や通信トラヒック急増、イベント等における一時的な人口の集中等において

も、容量やエリアを柔軟に切り替えることで、快適な通信を実現することが可能となる。

このように、災害予測の高度化により災害弱者が大幅に減少するとともに、現に発災した場合においても、被災者の救済が迅速に実現されるようになる。

くわえて、測位情報が、安定的に、また他の地上系の情報と組み合わせて高度に利用されることなどにより、高精度な位置情報による安心・安全な、かつ効率化された無人又は自動の輸送システムが実現される。

そのほか、宇宙由来のデータを、地上のセンサやSNS等の様々な情報と組み合わせて利用することにより、干ばつや台風等の影響を最小化した農作物の効率的な栽培等の一次産業の生産性向上や、海洋資源の正確な位置や埋蔵量の把握等による新たな資源開発、インフラ管理等の社会課題の解決、さらには金融やマーケティングなど、課題解決だけでなく、地球観測データを活用したビジネスの付加価値や新ビジネスの創出が実現される。

図3－3　将来像②:自然災害や事故を恐れない快適な社会

３－１－３　人類の活動領域の拡大【将来像③】

現在、地球以外の天体等における探査や有人活動を行う場合には、地球から必要な物資や機器を全てロケットで一度に打ち上げることが必要であり、宇宙機やランダー・ローバーの動作も、自律航行を除けば、（通信が中継されることはあるが、）地球から制御している。

今後、宇宙空間にベースステーションが構築され、物資や機器、人の輸送のほか、通信の基盤が形成される。

これにより、有人宇宙活動は、地球と直接通信するほか、活動場所と距離的に近くに位置するベースステーションとも通信・経由しながら効果的・効率的に実施される。また、危険な場所や深宇宙での作業は、ベースステーションからロボットを遠隔操作し、又はＡＩによりローバーの自律航行も活用することにより、無人で実現される。一方、有人飛行は真に必要な領域・場面に対して行われることになり、費用及びリスクの低減が図られる。

また、これまで資源は、太陽エネルギーを除けば地球上に存在するものに限定されていたが、上述のようにロボットやＡＩを活用することにより、月、火星、火星と木星の間に広がる無数の小惑星等に在る資源を利用できるようになる。さらに、ロボット等を利用して建造された宇宙基地での生活においては、水や食料等が「宙産宙消」され、長期にわたる滞在を可能とするとともに、必要な物資の輸送の量が削減されるため、費用が軽減される。さらに、ベースステーションやＡＩの活用により、深宇宙探査の精度や到達可能距離、通信可能量が大幅に向上していく。

このように、2050年代には、地球以外の資源の獲得や居住領域の確保、など、地球上と同レベルの生活環境が確保できるようになり、人類の活動範囲が拡大する。

これら有人活動領域の拡大や居住領域の拡大により、この将来像③のみでなく、将来像の①から④に表れるサービスの多くが宇宙を舞台に提供出来るようになり、これまでにない新しい様々な就労機会が創出される。

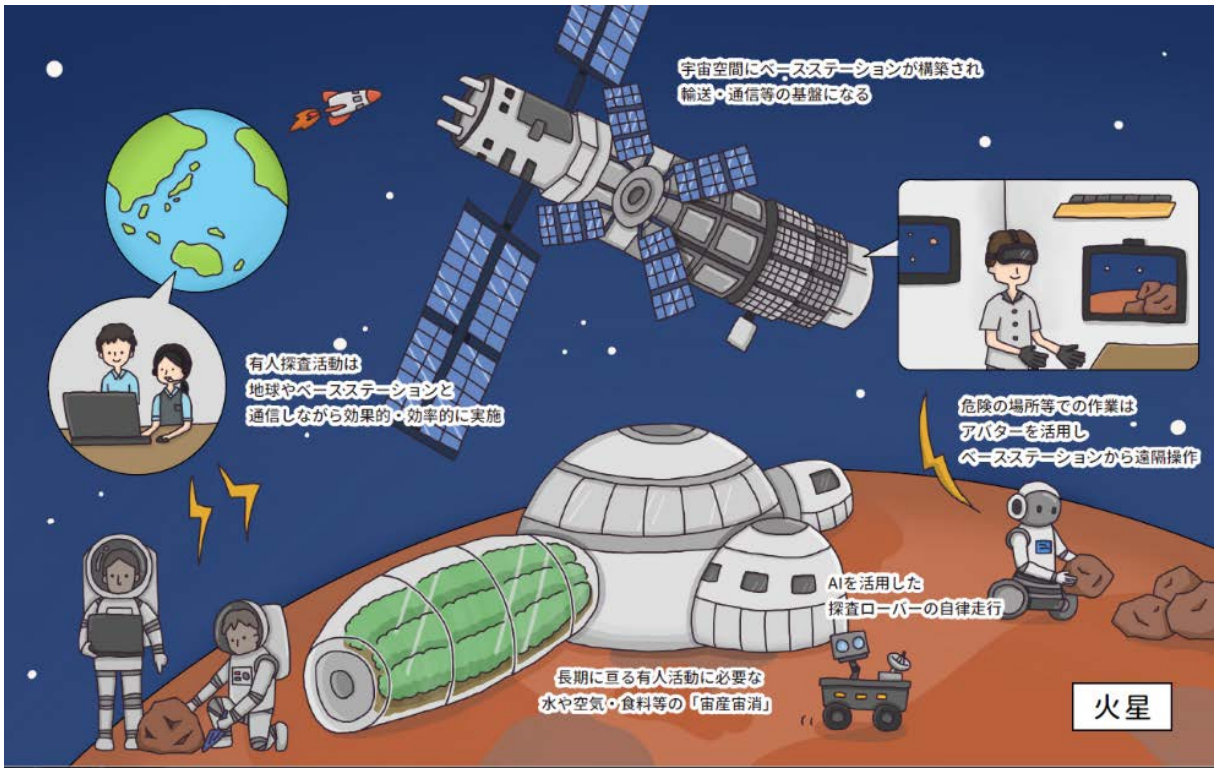


図３－４　将来像③：人類の活動領域の拡大

３－１－４　宇宙レジャー【将来像④】

現在、宇宙旅行や無重力体験ができるのは、様々な特殊な訓練を経た宇宙飛行士や富裕層~~億万長者~~等に限られる。また、その機会は、国際宇宙ステーション滞在に付随したものや、弾道飛行により実現されるごく限られた無重力体験のみである。

今後、一般の人もロケット等に搭乗したり、宇宙ホテルに滞在したりするほか、映画の「聖地」訪問、宇宙アミューズメントパーク等を含めた宇宙旅行を楽しむようになる。また、月面オリンピック・パラリンピック（仮称）が開催され、低重力という特殊な競技環境におけるパフォーマンスが話題を呼び、宇宙旅番組による宣伝効果も相まって、観戦ツアーや地球上でのリアルタイム観戦が人気を博すようになる。

さらに、人類未踏のエリアであっても、人類が送り込んだ人工物が取得したデータ等を利用したアバターやＶＲによるバーチャル旅行も人気となる。そのようにして培われた技術は、宇宙飛行士の育成・派遣の一部を代替するとともに、地球上の秘境など人類が到達困難なエリアへの旅行や、旅行をするのが難しい人でも、自宅に居ながらにして臨場感ある観光気分を味わうことができるようになる。

くわえて、ロケットやスペースプレーンの発射場や宇宙エレベータのアース・ポートなど、旅行のゲートウェイとなるスペースポート周辺には、打上げ

見学や宇宙関連ショッピング、宇宙タイムカプセルなどが楽しめる統合型リゾートが形成され賑わいを見せている~~みせる~~。

このように、2050年代には、宇宙飛行士や富裕層億~~万長者~~だけでなく、一般の人も宇宙をレジャーとして楽しめるような世界になるとともに、地球か宇宙か、リアルかバーチャルかを問わない「ユニバーサル旅行」が当たり前となる世の中になる。そして、現在は、遠隔で仕事やレジャーをすることが真新しいものとして受け止められているが、逆に「実際に足を運ぶ」ことが贅沢・特別になる時代が来る。

図3－5　将来像④:宇宙レジャー

３－２　宇宙産業の市場予測

第１章において、世界の宇宙産業の市場規模は、この10年で２倍程度に拡大し、2016年には約35兆円に達していることを示したところであるが、今後の宇宙産業の市場はどのような傾向となるのだろうか。

今後の市場予測については、複数の大手投資銀行がレポートを発表している。

例えば、米ゴールドマン・サックス社は、ロケットや衛星のコスト低下が、宇宙ビジネスへの参入障壁を下げることとなり、既存の通信衛星サービスが伸張するとともに、宇宙観光、小惑星における資源探査、軌道上サービス等の新しい産業が誕生することで、2040年代に世界の宇宙産業の市場規模が１兆ドル（約108.8兆円[7]）に達すると予測している。

また、米モルガン・スタンレー社は、再利用ロケットや衛星技術の成熟が、衛星打上げコストを下げることにつながり、衛星ブロードバンド通信の拡大が期待されるとともに、宇宙旅行の機会も期待されるとして、2040年に世界の宇宙産業の市場規模が1.1兆ドル（約120.2兆円）に達すると予測している。

米バンク・オブ・アメリカ・メリルリンチ社は、再利用ロケット等民間企業により打上げコストが下がり、また、新興国の宇宙ビジネスへの参入等が容易になることにより、官需だけでなく民需も拡大するとして、2045年までに世界の宇宙産業の市場規模が2.7兆ドル（約293.9兆円[7]）に達すると予測している。

これらの予測は、いずれも、ロケットや衛星の技術が進展することにロケット・衛星や打上げのコストが低下し、通信事業を含め、宇宙産業の市場規模が拡大していくというものである。

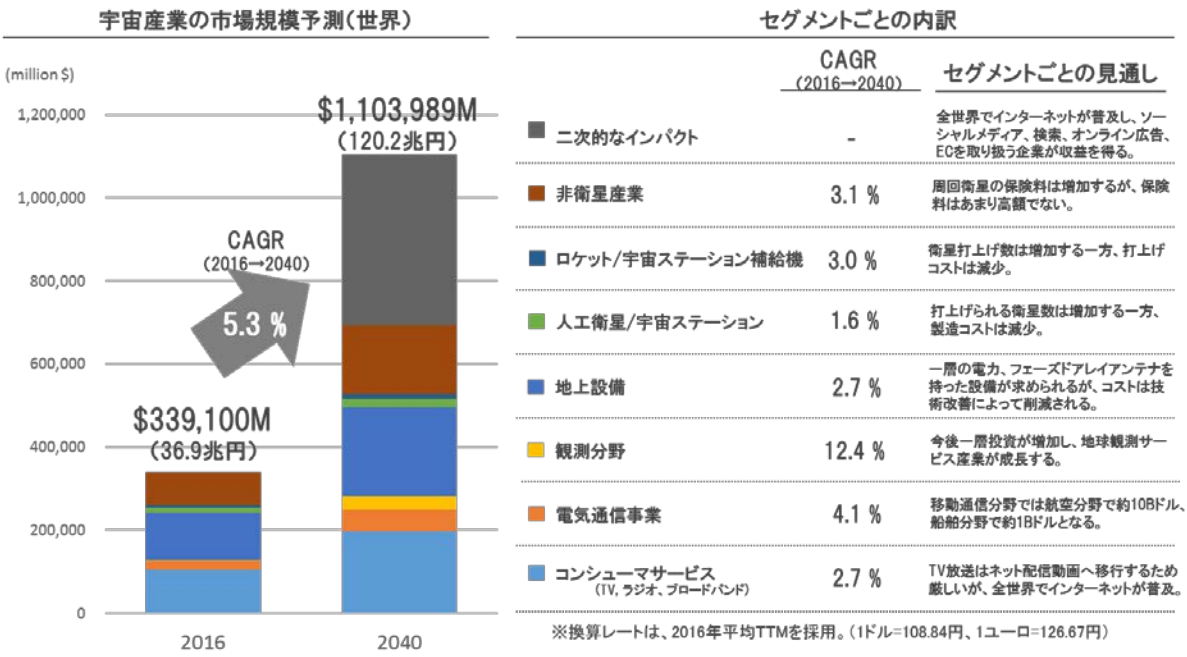
このように宇宙産業の世界市場規模は大きく拡大していくものと予測される中、日本における市場規模はどうなっていくのか、セグメントごとの内訳や根拠が示されている米モルガン・スタンレー社の予測を参考に、2050年における日本における宇宙産業の市場規模を以下の手順に沿って試算した。

初めに、米モルガン・スタンレー社による2040年における世界の宇宙産業の市場規模の予測（図３－６）をもとに、この予測における各セグメントのCAGRが2050年まで維持されると仮定し、2050年時点の世界の市場規模を算出した。その結果、2050年における世界の宇宙産業の市場規模は、200.7兆円[7]に達するものとなった（図３－７左）。

この試算の内訳となる「ロケット/宇宙ステーション補給機」等の各セグメントは、第２章で示した日本市場の分類に沿って「（１）宇宙関連産業」及び「（２）

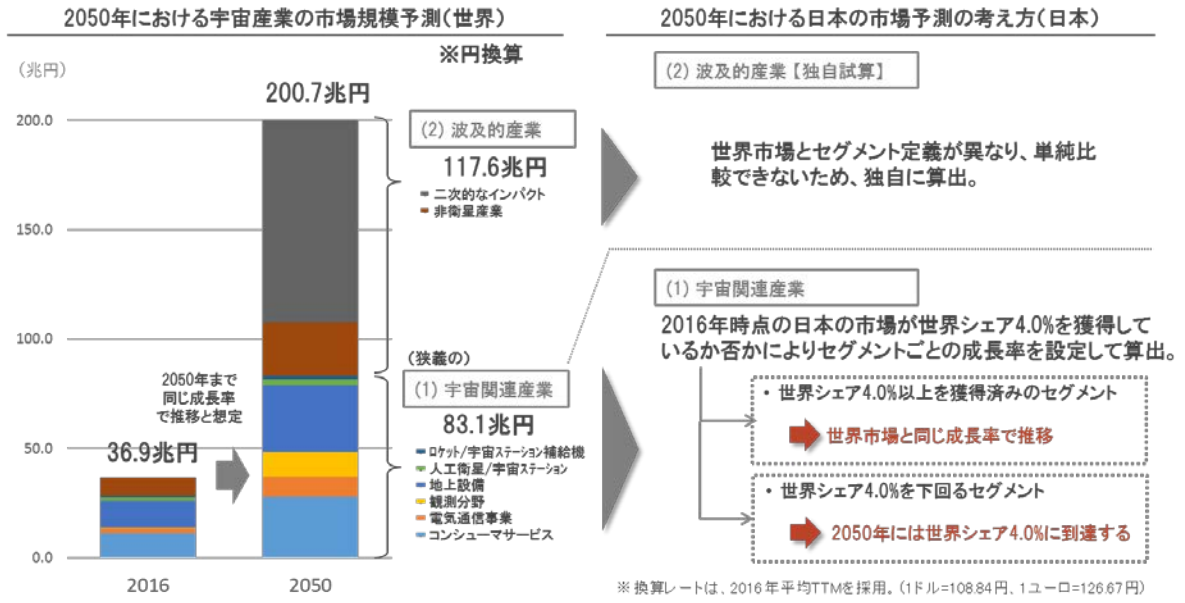
[7] 換算レートは、2016 年平均 TTM を採用。（1 ドル=108.84 円）

波及的産業」と分類することができることから、ベースとなる「（１）宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模については、日本市場の世界シェアを元に算出している。一方、「（２）波及的効果」については、そこに含まれる産業が明確でないことから、独自の試算をしている（図３－７右）。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－６　米モルガン・スタンレー社による2040年における宇宙産業の市場規模予測（世界）

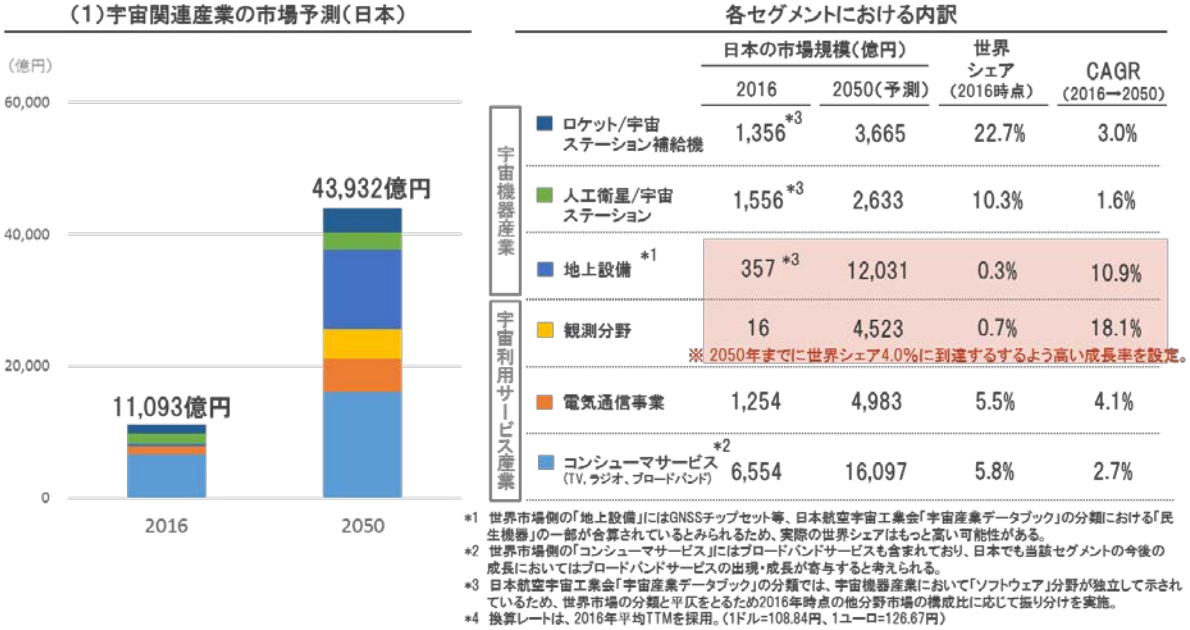


出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－７　米モルガン・スタンレー社の2040年の宇宙産業の世界市場規模を基に算出した2050年における宇宙産業の世界市場規模予測、及び日本の市場予測の考え方

まず、「（１）宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模の試算については、2016年での各セグメントにおける日本市場が占める世界シェアが、4.0%（2050年における日本のGDPの世界シェアの予測値として、OECD(2018) Economic Outlook No.103を元に算出したもの）以上を獲得している場合には、当該セグメントのCAGRが2040年以降も維持されるものとし算出している。具体的には、「ロケット/宇宙ステーション補給機」、「人工衛星/宇宙ステーション」、「電気通信事業」、及び「コンシューマサービス」のセグメントが該当し、それぞれのCAGRが3.0%、1.6%、4.1%及び2.7%を維持されるものとしている。一方の日本の世界シェアが4.0%を下回っている場合（「地上設備」及び「観測分野」が該当。）には、2050年に世界シェアが4.0%に到達するようにCAGRを設定している。

この条件のもとに、「（１）宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模を算出すると、約4.4兆円になると予測された（図３－８左）。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－８　2050年における日本の「（１）宇宙関連産業」の市場規模予測

次に、独自の試算を加えるとした「（２）波及的産業」の2050年における日本の市場規模について考察を行う。

第２章において「（２）波及的産業」には、BS・CS対応のテレビやアンテナ、衛星測位技術を利用したカーナビゲーションや携帯電話端末等の民生機器からなる産業である「宇宙関連民生機器産業」のみが含まれていた。しかしながら、「３

－１　2030年代以降の宇宙利用の将来像」で記載したように、将来は様々なサービス・事業が創出される。このため、将来の「（２）波及的産業」の市場を考える際には、宇宙利用サービス産業群から提供される各種サービスや宇宙関連民生機器産業から提供される民生機器を購入・利用することによって、自らの事業の効率化・差別化を図り事業を行っている産業である「ユーザ産業」（例、衛星から送られたデータを用いたエリアマーケティング）や、宇宙旅行やVRを用いたバーチャル旅行などの「宇宙関連エンタメ産業」を「（２）波及的産業」に含めて考えることが適当である。

上記の考えから、ここでは「（２）波及的産業」には「①宇宙関連民生機器産業」「②ユーザ産業群」「③宇宙レジャー産業」が含まれるものとして再定義し、将来の市場規模を考察する。なお、この際の市場規模は第２章で述べた「市場規模」と区別するため「宇宙産業（広義）の市場規模」と本報告書では記載する。

「①宇宙関連民生機器産業」は、BS・CS対応のテレビやアンテナ、衛星測位技術を利用したカーナビゲーションや携帯電話端末等の民生機器からなる産業であり、「（１）宇宙関連産業」に対する当該産業の比率が、現状（2012～2016年の平均）の1.43倍を維持すると仮定して、2050年の市場規模を算出した。その結果、約６兆円の市場規模になると予測された。

「②ユーザ産業群」は、宇宙利用サービス産業群から提供される各種サービスや、宇宙関連民生機器産業から提供される民生機器を購入・利用することによって、自らの事業の効率化及び差別化を図り事業を行っている産業であり、上記の「①宇宙関連民生機器産業」の試算と同様、現状（2012～2016年の平均）の比率である4.36倍を維持すると仮定した算出結果とし、その上で、宇宙産業のインフラが整備されることによりユーザ産業群による事業が10.6倍程度まで拡大すると想定して算出したものを加えることで試算している。その結果、2050年における②ユーザ産業群の市場は、約47兆円になると試算された。

なお、ユーザ産業群による事業が10.6倍まで拡大すると仮定した根拠は、図３－９にあるとおり、データセンタ市場とクラウド市場の比率等のICT３分野の比率を参考にしており、これらの平均をとることで求めたものである。

例1：データセンタ市場とクラウド市場の比率

- データセンタは年平均7.6%(2014-2020)で推移
- クラウドサービスは年平均31.2%(2014-2020)で推移

世界のデータセンター/クラウドサービスの市場推移

（百万ドル）

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
データセンタ売上高	17,774	18,729	20,532	22,571	23,440	25,446	27,510
クラウドサービス売上高	60,600	93,200	125,900	168,400	217,000	265,900	309,100
クラウドサービスの比率	341%	498%	613%	746%	926%	1045%	1124%

サービス産業がインフラの11.2倍まで拡大

出所：総務省「平成29年度版情報通信白書」

例2：移動体通信サービス市場とモバイルサービス(Mコマース、アプリ、広告)市場の比率

- 移動体通信サービス市場は成熟化が進んでいる
  - 移動体通信サービス(端末除く)の市場は年平均1.9%(2016-2018)で推移。成熟国ではほぼ横ばい。
  - 同程度の推移を遂げると想定すると、2021年の移動体通信サービス市場は7,293億ドルとなる。

出所：GSMA「The Mobile Economy(2017-2019)」

- モバイルサービス市場は年平均37.3%(2016-2021)で推移し、2021年には移動体通信市場の8.7倍となる6兆3500億ドルに到達する見込み。
  - モバイルアプリストアにおける消費者支出額は年平均18%で成長し、2021年に1390億ドルに到達。
  - アプリ内広告への全世界支出額は年平均25%で成長し、2021年に2010億ドルに到達。
  - モバイルコマースは年平均38%で成長し、2021年には6兆ドルを超える。

出所：App Annie「収益モデル別アプリ市場規模予測」

例3：IoT市場とIoT実現による経済価値創出

- IDCによれば、IoT市場は年平均13.6%(2017-2022)で成長し、2022年に1.2兆ドルに到達すると予測。

出所：IDC「Worldwide Semiannual Internet of Things Spending Guide」(2017)

- Ciscoは、IoTの活用によって企業や業界において創出される経済価値は2022年までに全世界の企業で14.4兆ドルと予測。これは2022年のIoT市場の12.0倍にあたる。
  - IoTの活用によって創出される経済価値の要因として、資本効率の改善、労働生産性向上、サプライチェーンとロジスティクスの効率化、カスタマーエクスペリエンス向上、イノベーションの時間短縮が挙げられている。

出所：Cisco「Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of $14.4 Trillion」(2013年2月)

宇宙利用の環境が整備されることにより、宇宙関連産業の10.6倍程度(上記3例の比率の平均値)までユーザ産業群による事業が拡大するものと仮定。

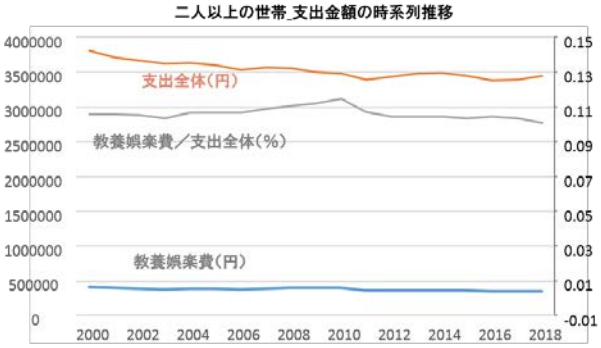
出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－９　「②ユーザ産業群」における事業拡大の仮定

「③宇宙レジャー産業」は、映画・アニメ・漫画・ゲームソフト等のコンテンツや、テーマパーク等の娯楽事業のほか、今後普及すると想定される宇宙旅行からなる産業である。

このうち、娯楽事業については、2050年に一般的な世帯における教養娯楽費のうち10%が消費されると仮定することで、約2.1兆円の市場が創出される結果となった（図３－１０）。

家計調査における教養娯楽費の推移



出所：総務省統計局「家計調査(家計収支編)」

直近10年の傾向では、二人以上世帯における教養娯楽の支出は支出全体の約10%で推移しており、今後も比率を保つと仮定する。

③ 宇宙関連世界産業　の市場推計

教養娯楽費／人・月　1.75万円/人・月

×

教養娯楽費における宇宙利用比　10.0%

×

日本の人口　101,923千人

出所：国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成29年推計)」(出生中位・死亡中位推計)

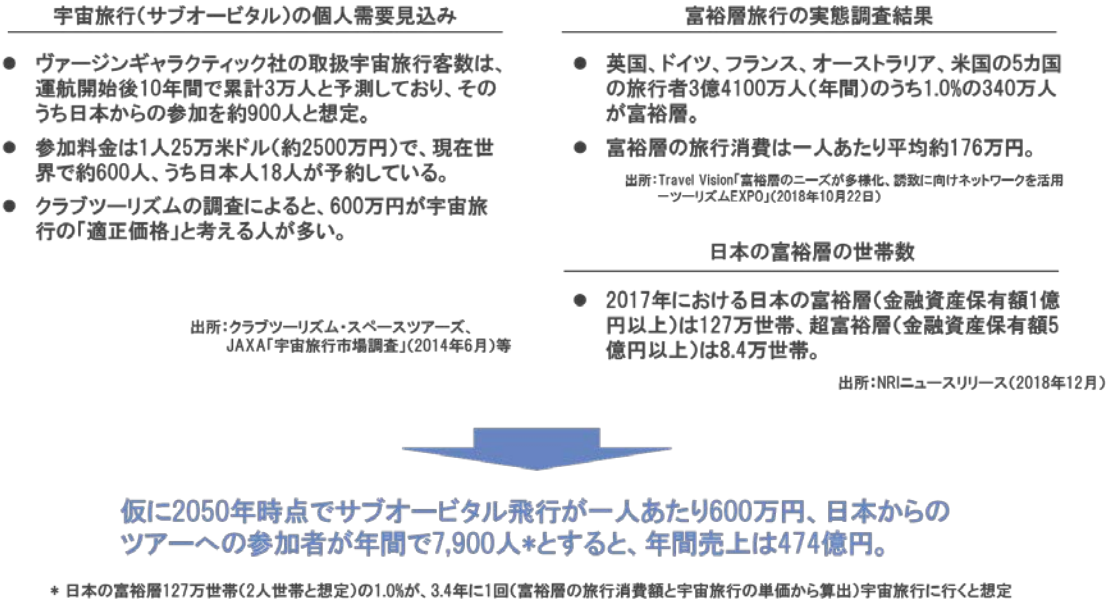
21,403億円／年(2050年時点)

出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－１０　「③宇宙レジャー産業」のうち娯楽事業の市場規模予測

また、宇宙旅行については、日本の富裕層127万世帯の１%が宇宙旅行を希望すると仮定した上で、富裕層の平均旅行消費額が176万円であること及び宇宙旅行の適正価格が600万円と考えられていることから、当該１%の富裕層が３～４年に１回（富裕層の消費額と宇宙旅行の単価から算出。）は宇宙旅行に行くものとして算出した。その結果、474億円の市場規模となった（図３－１１）。

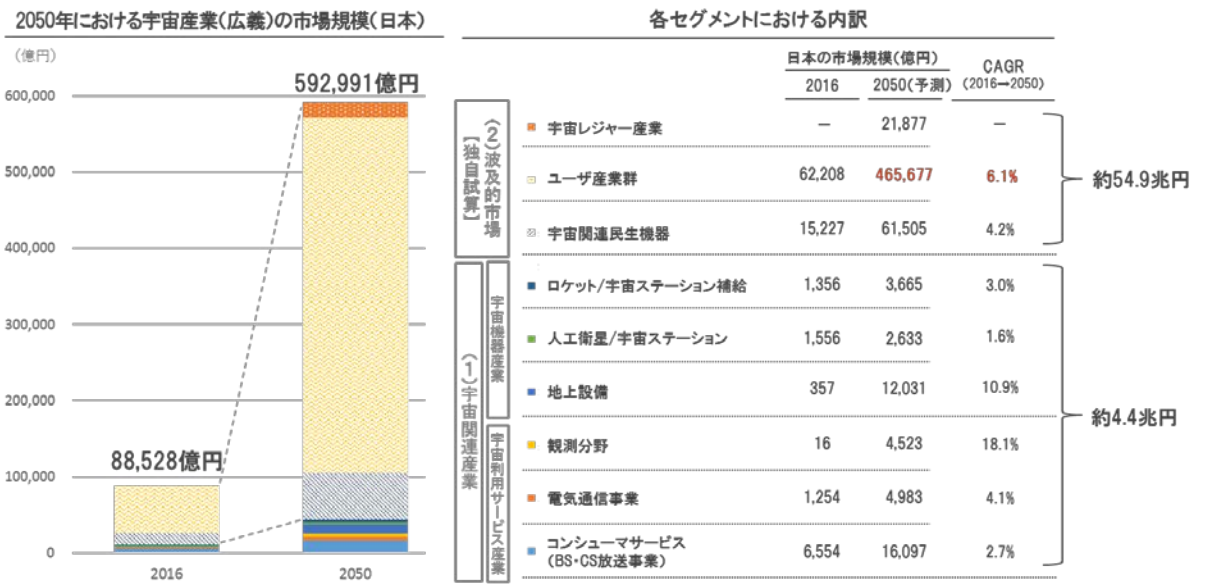
「③宇宙レジャー産業」の市場規模は、娯楽事業と宇宙旅行の試算を合算することで約2.2兆円となる。



出典：「宙を拓くタスクフォース（第6回）」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－１１　「③宇宙レジャー産業」のうち旅行の市場規模予測

上記の結果を踏まえ、「（１）宇宙関連産業」、並びに「（２）波及的産業」の①宇宙関連民生機器産業、②ユーザ産業群、及び③宇宙レジャー産業の各試算を合計することで、2050年の日本の宇宙産業（広義）の市場規模は約59兆円まで成長するとの予測となった。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図３－１２　2050年における日本の宇宙産業（広義）の市場規模予測

以上のように、宇宙産業は、市場規模・成長率ともに大きい成長産業であり、今後の日本の経済成長にとって極めて重要な位置を占める産業分野になるものと期待される。

なお、宇宙空間や惑星での人類の生活領域が広がることによって必要となる衣食住や生活インフラ等、今回試算した分野以外にも宇宙産業が拡大することにより、より大きな市場が形成されていくことも期待される。

第４章　宇宙利用の将来像を実現するための課題

前章で描いた将来像を実現するためには、ICT分野に限定することなく、また既に取り組んでいる課題を含めて、幅広く洗い出しを行ったところ、ここに示す25課題に取り組むことが必要であると整理された。（各課題が、主にどの将来像に該当するか、又は将来像実現のための基盤であるかを付記している。）

その上で、特にICT分野において喫緊に取り組むべき課題を、宇宙利用分野での事業化や社会実装を促進していくことに力点をおいて、５つの事項（９課題）を導き出している。

４－１　将来像実現のための25課題

課題１：宇宙を地球と遜色なく利用するための、衛星の十分な電力の確保、省電力技術や低コスト温度管理技術の獲得【将来像①】

将来像①では、静止軌道衛星及び低中軌道衛星を含んだ基盤を構築することにより、宇宙を地球と遜色なく利用する様が描かれている。この実現のためには、ストレージやサーバ、ネットワークの機能を有する多数の衛星を、地球周回軌道等に打ち上げ、効率的に運用する必要がある。

ストレージやサーバ、ネットワークの機能の実現には、地上におけるデータセンタやネットワークセンタがそうであるように、電力の確保が鍵となる。しかし、衛星の電力は、ミッション系機器ほか衛星バスでも使用するものであり、特に、小型衛星の電力は非常に限られていることから、ミッション等を実現するための省電力技術の確立が重要な位置を占める。

さらに、データセンタ等では、コンピュータが発する熱を如何に逃がすかが、機能の安定性、コスト等に大きく影響するところ、宇宙空間では、対流や伝導による廃熱処理効果が極めて乏しく、放射による温度管理に頼らざるを得ないため、地上よりも遥かに厳しい温度管理が必要となる。くわえて、多数の衛星により宇宙通信プラットフォームを形成することに鑑みれば、当該温度管理を安価に実現する技術の獲得が必要である。

課題２：衛星等の製造期間の更なる短縮及び製造・運用費用の低廉化【将来像①②】

将来像①や②の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げ、運用することが前提となるため、衛星等の製造及び運用に関する改善が必要である。

衛星の製造については、実際に宇宙空間に打ち上げるフライト・モデル（ＦＭ）の製造の前に、基本設計・詳細設計、エンジニアリング・モデル（ＥＭ）

やプロトタイプ・モデル（ＰＭ）等の試作・検証を経るのが一般的である。これらは、サービスの要求条件や打上げロケット等の制約を踏まえて、一品ものとして製造するためである。また、ミッション系機器と衛星バスとの噛合せを調整する必要もある。これらの過程を効率化し、製造期間の短縮を実現するには、ミッション部分をデジタルペイロード化することにより、宇宙空間での運用を開始した後であっても、その動作内容を変更可能とすることで、製造の前に要する衛星個別の設計・試作の過程の多くを省略することなどが必要である。

また、実際の製造においては、デバイスや機器の汎用化やモジュール化、さらには、ミッションクリティカルでないデバイスや機器にはCOTS（既製品の採用）の考え方を取り入れることで、その製造期間や製造費用を削減することが必要である。

さらに、運用についても、そのために必要な地上設備を自ら保有するには、高額な初期投資が必要であることから、このボトルネックを解消していくことなどが必要である。

課題３：通信衛星やリモートセンシング衛星、輸送システムや地上設備の世界的な融通【将来像①②】

将来像①や②の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げ、運用することなどが必要である。

現在、通信衛星やリモートセンシング衛星の多くは、特定の目的のために、開発・製造・打上げ・運用がなされている。これらの衛星は、当該目的や運用をする者以外にも有用である場合が多く、衛星に係る費用の負担を分散し、資産の有効利用のためには、これらの衛星を融通すていくことが必要である。

また、ロケット等の輸送システムについては、あるペイロードを打ち上げるための専用の打上げサービスを購入することが一般的であるが、射場や打上げ可能重量を有効利用するためには、輸送システムそのものの技術や打上げ技術の進展に加え、同時に複数の衛星等を打ち上げるなど輸送システムを融通することが必要である。

さらに、地球の上空を周回する衛星については、自ら保有する地上設備のみで運用することが困難・非効率であることから、地上設備を相互に融通し、多くの衛星を共同して運用する体制を構築していくことなどが求められる。

課題４：新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性を踏まえた、より周波数利用効率に優れた通信技術の確立や、通信の安全性等を向上させるための秘匿性・抗たん性の確保【将来像①②③】

将来像①②では、通信衛星や測位衛星を活用して、ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大やこれにより実現される社会が描かれている。これらを現実のものとするためには、まず、地上系との連携によるシームレスかつグローバルな高速・大容量の通信ネットワークを構築する必要がある。今後、新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性が増すことを踏まえ、大容量通信が可能なKa帯等の電波や、更なる大容量化が可能となる光通信を利用する技術を高度化することが必要である。また、通信容量の絶対量を増加させるこれらの取組に加え、その容量を最大限に活用すべく、事故や災害、イベント等による通信トラフィックの急増、人口の偏在等の影響を吸収するため、通信需要に最適かつ動的に対応可能な通信制御技術の確立が求められる。

さらに、衛星通信により伝送される情報の重要性や、衛星測位システムの社会への浸透度が増すに連れて、通信路の安全性向上が必須となってきており、衛星通信に対する第三者による通信内容の盗聴や改ざん、制御の乗っ取りといったサイバー攻撃、測位衛星システムへのジャミングやスプーフィングといった脅威が想定される中、その対策が必要である。

将来像③の宇宙探査についても、例えば、火星探査の場合には、同じタイミングで同じ向き（地球から探査機、及び探査機から地球）に電波の需要が発生することが想定される。また、Gatewayが月周回軌道に構築されれば、Gatewayと地球や月との間だの双方向で電波が混み合うことが想定される。そのため、地球近傍に限らず、宇宙探査や宇宙活動においても、必要な周波数の確保や周波数利用効率の向上が必要である。

課題５：衛星をデータの格納・解析や通信におけるノードにするための、宇宙空間に耐えうる機器の開発、格納データの適切な管理等のためのルール整備やアーキテクチャの設計【将来像①③】

将来像①及び③では、ネットワーク基盤が地上から宇宙空間へと多層かつシームレスに拡大し、宇宙空間であっても、必要なときに必要な情報を容易にアクセス可能な環境が描かれている。これを実現するためには、複数の衛星が通信ネットワークのノードの役割を果たすとともに、宇宙空間上でのデータの格納や解析等の機能を有する必要がある。

衛星がノードとなり、宇宙空間上で多層のネットワーク基盤を構築するためには、地上との通信の他、複数の軌道との間での衛星間通信の実現が不可欠である。特に、低軌道衛星については上空を通過する速度が非常に速く、衛星の

追尾等が困難であるため、衛星と地上局間や衛星間で確実に通信できる技術の実現が重要となってくる。

また、衛星にデータの格納や解析の機能を搭載する上で、電子部品への放射線による影響は無視できない問題の一つである。特に、放射線の影響により、ソフトウェアやファームウェア、メモリに保存されたデータのビットが反転し、衛星の不具合のほか情報の書き換わり等の問題が発生する。そのため、データの格納や解析等を行う機器に対しては、放射線耐性が強く信頼性の高いデバイスや放射線によるエラーの検出・修正を可能とする技術等が重要となる。

さらに、衛星で格納される大量のデータには、個人データや安全保障等に関する機微な情報も含まれることが予想され、漏えい対策やバックアップ対策、衛星が故障し又は寿命となった場合のデータの処理等を踏まえた適切な管理ルールや、データを複数の衛星で分散管理するなどのアーキテクチャの設計が必要である。

課題６：大量の物資をエネルギー効率の良い方法で宇宙空間に輸送する仕組み【将来像①④】

将来像①の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げることや、将来像④では、宇宙機に加えて様々な物資を宇宙空間に輸送することなどが必要である。また、将来像①では、単に現状の衛星を打ち上げることに加え、ストレージ、サーバ、ルータ等のネットワーク機器、さらにはその動作に必要な電力供給や温度管理を実現する装置も必要になるため、より効率よく、物資を軌道に投入することが必要である。

現在、弾道飛行を除けば、宇宙空間に物資等を輸送する唯一の手段はロケットである。ロケット製造の期間・費用の低減には、再使用ロケットの開発・利用等が必要である。また、地球の大気と重力の特性を踏まえた効率的輸送の実現には、スペースプレーンと空中発射を組み合せることなどが必要となる。

さらに、地球の重力から逃れるための秒速数万kmに及ぶ高速度を不要とするためには、国内外に建造に向けた計画がある宇宙エレベータを選択肢に入れた検討を行う必要がある。

課題７：地球観測データのデータフォーマットの統一や継続的なデータ取得の可能な環境の整備【将来像②】

将来像②では、リモートセンシング衛星により、多種多様の地球観測データを高解像度で取得することで、ビジネス、農業、防災・減災、輸送システムが高度化される様子が描かれている。この実現のためには、多種多様な衛星デー

タを一元的に処理するためのデータフォーマットの統一や、継続的なデータ取得を可能とする環境整備が必要である。

データフォーマットの統一については、衛星やセンサの諸元ごとに、分解能・観測幅・回帰日数等が異なるため、データ取得の際にこれらの条件を統一する、又は取得後に一次処理するなどしつつ、地上系データとの連携も図りながら進めていく必要がある。

継続的なデータ取得について、リモートセンシング衛星は、従来、政府機関が主となって打ち上げることが多いため、衛星データを将来に亘って計画的・継続的に取得できるか否かは、その意向に左右される状況にあるほか、特定の目的に対して民間企業が個別に衛星を打ち上げるのは、コスト面からも困難な場合もある。そのため、政府機関が企画するリモートセンシング衛星の打上げ・運用の計画の長期的な見通しを示すことで、ALOSのようにシリーズ化した衛星の打上げを継続するようにしたり、民間企業が容易にビジネスとしてリモートセンシング衛星を打ち上げられるようにしたりする環境作りが有効である。

課題８：より高解像な衛星データの取得や、多分野のデータから目的のトレンド等を割り出すＡＩ処理・解析の更なる高度化・効率化【将来像②】

将来像②では、リモートセンシング衛星により、多種多様の地球観測データを高解像度に取得し、処理・解析することで、ビジネス、農業、防災・減災、輸送システムが高度化される様が描かれている~~様子かれている~~。この実現のためには、衛星による地球観測データ等をより高解像度化するとともに、いわゆる“オルタナティブデータ”の有効活用において、多岐にわたる膨大なデータから目的のトレンド等を割り出すＡＩ処理・解析の更なる高度化・効率化が必要である。

また、高解像度な衛星を適時に利用するためには、リモートセンシング衛星からのダウンリンク回線の可用性や伝送速度の増強を図る必要がある。

ＡＩ処理・解析の高度化・効率化については、新たなマーケティング、新サービス、新産業を実現するに当たり~~あたり~~、時間の経過による変化情報の分析を可能とし、予測精度の向上やニーズの変化に応じた解析を可能とすることも必要である。

課題９：探査機の比推力の向上やエネルギーの現地調達の実現、確実な通信の確保等、深宇宙探査における活動領域の拡大を実現するために必要な技術の確立【将来像③】

将来像③には、人類の活動領域が深宇宙にまで拡大した際の宇宙活動や惑星探査の様子が描かれている。

現在、JAXAの小惑星探査機「はやぶさ２」が小惑星「リュウグウ」のタッチダウンに成功するなど、人類の活動領域は拡大されつつある。将来的に、活動領域の更なる拡大を図るためには、探査機による深宇宙探査が重要となる。しかし、惑星探査を実施するためには、探査機を深宇宙まで到達させる必要がある上、フライバイによる探査を除けば、探査対象である天体を周回する軌道への投入・維持や、又は天体にランダ若しくはローバーを着陸させ、さらにミッションによっては地球に帰還させる必要があるため、比推力の向上やエネルギーの現地調達の実現が鍵となる。

現在、主に利用されている推力系である化学推進は、エネルギー効率の観点から長距離の航行には不向きであるとされている。一方、電気推進は、「はやぶさ２」に搭載され「リュウグウ」到達の実績を上げているイオンエンジンや、技術試験衛星９号機（ETS-9）で実証予定のホールスラスタなどがあり、これらの更なる高効率化や高信頼化を目指す必要がある。

また、太陽の光子の圧力（太陽光圧）により物体が加速されることを利用した「光子加速」、太陽エネルギーを電気に変換する「高度ソーラー電気推進」（SEP）、外部からのレーザー等によりエネルギー供給をする「レーザー推進」など、様々な推進系の技術を確立し、その特性や成熟度に応じて利用することが適当である。

さらに、エネルギーの現地調達については、月面や火星等での採掘により得られる水を電気分解して生成する水素及び酸素の有効利用に期待が高まっているところ、この技術の確立や応用が必要である。

そのほか、地球やベースステーションと探査機との確実な通信手段の確保に向けた通信技術の高度化など、活動領域の拡大に向けた様々な課題への対応が必要である。

課題10：高解像かつ広域・長距離、小型・省電力等、探査衛星の高度化に必要なセンシング技術の確立【将来像③】

将来像③では、費用が低減された資源探査が可能となる様子が描かれている。この実現のためには、探査衛星に搭載可能な、高解像かつ広域・長距離、小型・省電力等を実現する高度なセンシング技術の確立が重要であり、これにあわせ、地球へのデータ伝送手段の高性能化も重要である。

小型・省電力のセンシング技術は、打上げコストの削減や長期的な運用を可能とするものであり、当該技術の確立には、センサの集積回路等のチップ化を視野に入れた開発が重要である。

課題11：長期の放射線下や無重力下、閉鎖空間における精神的・肉体的負担の軽減や生活環境の持続可能性向上【将来像③】

将来像③における費用やリスクが低減された有人活動を可能にするためには、その任務に伴う精神的・肉体的負担の軽減が求められる。

例えば、宇宙飛行士がISSに滞在できる期間は、放射線による被曝や、無重力・低重力下における筋肉~~筋力~~や骨の衰えを考慮する必要がある。今後、長期滞在が前提となる有人活動を実現するには、極めて高い放射線遮へい性能を有するコンテナや、地下洞窟のような分厚い壁に覆われた空間の確保が必要である。

また、そのような閉鎖空間に長期滞在すると、精神心理的に影響をきたすおそれがあるとされており、ストレス耐性のある人員の選抜や、雑談を楽しめるＡＩロボットの活用を含め、精神的負担の軽減に関する検討が必要である。

さらに、ISSの飛行士は、週６日間、１日約２時間の運動を行って筋肉・骨の機能を維持しており、より短時間で効率的に、楽しく継続できる運動プログラムのほか、筋肉や骨の衰えを抑制する化学的・電気的な技術の開発や、薬剤、機能性食品の利用などを含め、様々な選択肢を検討することが重要である。

そのほか、地球以外での長期滞在を実現させるためには、持続可能な生活環境を整備する必要がある。衣食住には、「水」と「酸素」が欠かせないことから、氷として存在している場合も含め、「水」と「酸素」を確保するための技術の確立が必要である。

課題12：宇宙空間における人的作業の負担軽減のための、ロボット、アバター、ＶＲ技術等の確立【将来像③】

宇宙空間で人的作業を行う場合、宇宙線をはじめ宇宙空間の地形や温度そのものが危険であり、作業者は肉体的にも精神的にも多大な負荷がかかる。また、人的作業を開始するまでには、作業場所までの移動時間、作業者の安全性の確保、惑星に建設した居住場所やベースステーションとの通信インフラの整備等が必要となる。そのため、人類が宇宙空間において安全かつ効率的に作業を行うには、ロボット、アバター、ＶＲ技術等の活用が必要である。

また、ロボットよりも緻密な動作や、負傷者・病人の手術等の複雑な医療行為等を行うためのアバター技術の確立が必要である。さらに、人が直接行う作

業に必要なスキルの習得や作業工程の確認・シミュレーション等を効果的に行うためのＶＲ技術の確立等が必要である。

課題13：宇宙空間でも、地上と同様に位置が特定できる測位システムの構築【将来像③】

人類の活動領域が地球外へ拡大される様子が描かれている将来像③を実現するためには、宇宙空間における測位システムが必要である。

現在、宇宙空間で活動を行う際に、宇宙機が自らの位置を把握するために地球との通信を行っている。自律的に測位を行うための取組として、NASAやCAST（中国空間技術研究院）において、パルサー（超新星爆発後に残される超高密度の天体である中性子星の一種であり、発する可視光線、電波、Ｘ線等が規則正しい周期で脈動する天体の総称。）を活用した測位システムの開発が行われているものの、実用化には至っていない。

現在、国際的な検討が進展している月近傍の~~有人拠点（~~Gateway~~）~~においては、効率的なGatewayの活用のみならず、何らかの原因で地球との通信が困難になった場合の安全性確保のためにも、月周辺の測位システムが必要になる。また、宇宙機が、地球から誘導されずに遠く離れた惑星等の目的地へ向かうためにも、自律的に測位を行うシステムが必要である。

課題14：有人飛行を実現させるための輸送システムや宇宙船、宇宙基地の安全性の向上【将来像③④】

将来像③④では、深宇宙における有人宇宙活動や、レジャーとして一般の人が宇宙旅行を体験する将来が描かれている。その実現のためには、目的地と地球との往復のための移動手段や、目的地での安全性が確保されていることが必要となる。

移動手段のうち、まず、ロケット打上げ成功率を飛躍的に向上させることが必要である。

また、６日ほどで往復できる月と異なり、例えば火星は、最も少ない燃料で飛行するホーマン軌道を選択した場合であっても、片道に約250日を要する。そのため、宇宙線等の過酷な宇宙空間に長期間耐えうる強靭な宇宙船が必要となる。その際、強力な宇宙線等への対策として、ソフトエラーに強い回路構成の選定や、運航に支障がないよう複数の半導体を搭載するなど、考え得るリスクに備える必要がある。

さらに、宇宙基地を取り巻く環境は、放射線による被曝、昼夜の激しい温度差、隕石、砂嵐などが考えられ、特別な防護壁を備えた避難所の設置や地下洞窟のような空間等の確保が必要である。

課題15：物理的な距離の壁（移動に要する時間、通信の遅延時間、長距離通信での切断等）を克服する技術の獲得【将来像③④】

将来像③④では、宇宙活動や宇宙探査、リアル及びバーチャル双方での宇宙旅行を実現する様子が描かれているところ、これらの実現のためには物理的な距離の壁を克服する必要がある。

例えば、地球から火星を目指す場合など、その移動に要する時間が大きな壁となっている。このため、高効率な推進機構の開発による時間の短縮、ロボットやＶＲを活用した地球から作業用ロボットの遠隔操作による有人宇宙活動の一部代替等が求められる。

また、長距離通信では、物理的な距離に伴う遅延や途絶に関する対策として、例えば、ローカルで自律的に動作するエッジコンピューティングや、遅延・途絶耐性ネットワーク(DTN)等の技術の発展が必要である。そのほか、万が一通信の途絶等によりトラブルが発生しても、安全な方向にシステムが動作するフェールセーフと呼ばれる設計思想の適用も重要である。

課題16：アンカーテナンシーとしての政府利用等の拡大【基盤】

民間による技術開発等を進展させ、産業基盤の安定化を図るためには、当初から、その開発された技術やサービスの実用化を企図して進めることが必要であり、米国では宇宙分野において、政府が一定の調達を保証するアンカーテナンシーの考え方を取り入れ、ベンチャー企業等の育成を図っているとされている。日本においても、政府機関等によるアンカーテナンシーとしての役割を拡大していくことが重要である。

これにより、政府機関等における課題解決の手段として宇宙利用を促進すること、及びその事業実施者に対する信頼性、事業に対する有効性等を高めることが可能となる。

課題17：ロケットの打上げ等の輸送システムの利用機会の更なる増大及び費用の低廉化【基盤】

ジオスペースの更なる活用や、宇宙空間における人類の活動領域が益々拡大していく状況の中、ロケット打上げ等の輸送システムに対する需要の増加が見込まれるなど、物資・人員等の輸送手段は、より一層重要な鍵となっていく。

物資の輸送に関しては、民間企業による小型衛星の大量打上げが予定されていることに加え、有人拠点の構築に必要な大型物資の輸送のため、小型ロケットの生産技術の向上や大型ロケット１機あたりの積載量の向上を図る必要がある。また、人員の輸送に関しては、有人宇宙探査に加え、一般の人による宇宙旅行が開始・普及するためには、ロケットに加え弾道飛行用宇宙船を含めた輸送システムの打上げ回数の増加が必要である。

このように、宇宙空間への物資輸送に向けたロケットの量産や打上げ回数の増加が実現されれば、打上げコストの低廉化につながる~~繋がる~~と考えられる。また、これらと並行して、ロケットエンジンの再利用技術の実用化・拡大により、更なる輸送システムの費用の低廉化を図ることが必要である。さらに、開発が進展しつつあるスペースプレーンや空中発射ロケット、民間企業により発表されている宇宙エレベータ構想を含め、新たな輸送手段の登場を促すなどして、適時に輸送システムを利用できる機会を提供することを可能とするとともに、既存のロケット打上げとの価格競争を起こすことも必要である。

課題18：宇宙デブリ、小惑星、彗星、宇宙塵や衛星同士等による衛星等の軌道制御、通信等の運用や地上インフラ設備への影響の解明、予測及び対策【基盤】

宇宙空間において、数多くの衛星等による活動が拡大していく中、衛星等の制御や取得データの送信等における無線通信はますます重要となる。

他方、衛星コンステレーションに代表されるように、数百、数千といった多くの衛星による運用が開始された場合、軌道制御や通信等で使用される電波が急増し、相互に混信するなど電波の利用に影響を及ぼすことが予想される。また、小惑星群、彗星や宇宙塵に加え、今後増加が懸念される宇宙~~スペース~~デブリによる電波伝搬への影響も無視できなくなるおそれがあり、これらへの対策を講じていくことが必要である。

また、「みちびき」等の衛星測位システムは、社会基盤を支える重要なインフラとして、今後も更に、高精度な測位情報を活用した新産業・サービス等の創出が期待されているが、端末の受信電力は小さいことから、出力の小さな他の無線設備や、いたずらやテロ等のジャミング（電波による意図的な妨害）によ

るサービスの停止や事故等が発生するおそれがあり、適切な対策を講じていくことが必要である。

課題19：太陽活動による衛星等の人工物、人体及び各種の地上系インフラ・サービスへの影響の解明、予測及び対策【基盤】

太陽フレア等の太陽活動により、太陽から比較的近い惑星である地球を含め、太陽系の広範囲に様々な影響が生じている。

例えば、地球においては、電離圏への影響により電波の伝搬状況に大きな支障を来すほか、地磁気の変動を通じて送電線に移動電流を発生させるなど、地上系のインフラやサービスは、太陽活動の変動に晒されている。

一方、中・低軌道や静止軌道では、大気密度が極めて小さいことから、太陽線の影響を直接受けるため、衛星等の人工物のほか、人体への被爆も考慮する必要がある。また、低軌道付近では、衛星コンステレーション計画の本格化に伴い、大気密度が上昇することによる衛星の動作への悪影響に対する対策が必要である。

課題20：宇宙関連の多様なアイデアについて容易にチャレンジできる機会の確保【基盤】

宇宙利用は、非常に多くの潜在力を秘めており、多様なアイデアが考え出され、それらが実現されていくことにより、社会的課題の解決や経済成長に大きく貢献することが期待される。このため、研究開発等において、政府が予め課題を設定するのではなく、柔軟やアイデアを有する者による提案を促す取組を充実していくことが必要である。

また、宇宙分野の技術開発は、地上系よりも技術的・費用的なハードルが高いとされているところ、多様なアイデアを吸い上げる仕組みと合わせ、アイデアを実証する機会や、有望なアイデアの事業化への道筋をつける取組を充実させることが必要である。

課題21：宇宙関連の研究開発及び産業に従事する人材の拡大及び継続的な人材確保【基盤】

近年、世界の宇宙産業では、欧米を中心に1,400社以上のベンチャー企業が参入し、市場の活性化に大きく寄与していると言われる一方、日本では、参入するベンチャー企業数等が少ないほか、宇宙産業に関わる人材が少ないとの指摘がある。そのため、日本における宇宙市場の活性化には、宇宙関連の研究開発に従事する人材、宇宙産業の特殊性を理解して開発された技術等を事業化する人材、自ら起業する人材など、人的基盤の総合的な強化が必要である。

また、これまで官需を中心として培われた宇宙関連の技術等に関して、そのノウハウを伝承・改良していくため、公的機関やEstablished Spaceにおいても、人材の量と質とを確保していくことが必要である。

さらに、今後の宇宙産業の成長を支える人材の発掘や育成に関する長期的かつ継続的な取組が必要である。

課題22：宇宙関連の研究開発と医療・医薬分野、化学分野、農業分野等の他分野との連携・融合の強化、学際領域の研究開発の活性化及び他分野からの人材流入【基盤】

民間事業者の参入により多様なビジネスが生まれ、宇宙産業の領域が拡大している中、宇宙系と非宇宙系の分野を横断した連携・融合によりエコシステムが成長していくことが期待される。このため、宇宙関連の研究開発については、非宇宙系の医療・医薬分野、化学分野、農業分野等の他分野の利用ニーズを十分に把握して、その課題解決や価値創造に結びつけることが重要である。

また、日本の宇宙産業を支える研究開発人材が必ずしも潤沢ではないとされている状況において、様々な利用ニーズに応え、かつ、日本の宇宙産業における国際競争力を強化するためには、国内外の組織間の垣根を越えた人材交流を行い、宇宙分野に関する専門知識を有する人材を確保するとともに、破壊的イノベーションの創出につながる~~繋がる~~長期的視点を踏まえた研究開発が実施可能な環境を構築するなど、学際領域の研究開発を一層活性化することが求められる。

さらに、昨今の米国のICT企業経営者等による宇宙ビジネスへの参入に見られるように、宇宙産業の担い手は、航空宇宙工学を専攻した人材に限られるものではない。新たなアイデアやビジネスを創出し、宇宙産業の更なる発展を促進するためには、他分野からの人材を積極的に流入させていくことが必要である。

課題23：宇宙利用に関する科学的・社会的な理解の増進や若年層の興味の誘起のため、小中学校における宇宙関連の教育の機会の増大や、宇宙の魅力を伝えるコンテンツ等による情報発信【基盤】

将来像の実現によって得られる技術的及び科学的な知見は、人々の暮らしに様々な革新をもたらすとともに、地球に対する理解を深めることにもつながる繋がる。また、新たなサービスやレジャーを生み出し、日々の生活をより豊かなものにするとともに、災害や事故から身を守るためのインフラとして機能すると期待されるものであり、こうした宇宙利用のあり方について、広く国民の理解が得られるような取組を進めていくことが必要である。

また、子どもたちにとっては、宇宙は夢を抱けるテーマであると同時に、理解が難しいものでもある。宇宙へ関心を持つ人材の裾野を広げるため、リモートセンシング衛星によって得られたデータのを教育現場におけるで活用するや、宇宙飛行士をはじめとする宇宙に携わる人との交流などなど、宇宙利用がより身近でかつ興味深く感じられる教育の継続的な提供や、映画やＶＲ等も活用したコンテンツによる宇宙の魅力の継続的な情報発信などが必要である。また、このような人材裾野を広げる活動とともに、宇宙飛行士を目指すための特別プログラムなど、宇宙に特に興味を持つ子供が宇宙の魅力をさらに見いだすための機会が提供される必要がある。

課題24：様々な宇宙ビジネスが円滑に行われるようにするための制度のあり方の検討、及び衛星同士の衝突や接近によるリスクに対する補償のあり方の整理や保険制度などの必要に応じた事業環境の充実【基盤】

宇宙ビジネスは初期投資が大きくリスクが高い事業であるため、日本では、民間事業者の予見性を高める宇宙関連二法（「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」及び「衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律」）が2016年に成立した。衛星リモセン法衛星リモートセンシング法が2017円11月に、宇宙活動法が2018年11月に全面施行されたことにより、これらが全面的に施行されたことにより、様々な宇宙ビジネスが円滑に行われるようにするための環境が整備された。

一方、宇宙ビジネスの形態は多様であり、ビジネス環境の変化も早いことから、今後も国際情勢の変化に留意しつつ、必要に応じ、時機を捉えて制度のあり方を検討することが求められる。

また、民間事業者の宇宙ビジネスへの参入の増加等に伴い、小型衛星や宇宙デブリなど軌道上に存在する宇宙物体の数が、今後ますます増加していくことが見込まれている。このような状況下において、打上げ時のロケットの落下等により地上等で発生した損害については、主として被害者救済の観点から政府

補償制度が導入され、人工衛星等の打上げに~~あたり~~当たり打上げ実施者には第三者損害を賠償するための保険等の締結を義務づける措置が講じられている。軌道上の衛星同士の衝突や接近によるリスクに対しても、今後の事故等の発生リスクや国際的なルール形成の状況、民間保険市場の需給の動向などを注視しつつ、補償のあり方の整理や保険制度などの必要に応じた事業環境の充実が求められる。

課題25：宇宙探査を含み、課題とそれを解決するための民間企業等が有する宇宙関連技術とのマッチングの機会の充実、また、そのために必要な情報共有の促進【基盤】

現在、人類は様々な社会的課題を抱えていると言われているが、それらの課題は、宇宙も含めて幅広い視点で解決していく姿勢が重要である。

そのため、課題を有する者と、それを解決するための技術を有する者とのマッチングの機会の充実という観点から相互に必要な情報の共有を促進することが重要である。

その際、国立研究開発法人やベンチャー企業等が有する技術を活用していくことを十分に考慮した仕組みとすることも必要である。

また、現在の地球近傍における宇宙空間の利用のほか、将来的に宇宙での活動領域が拡大することに伴って獲得する資源探査技術等が持つ社会的課題や経済成長に対する貢献の可能性も併せて、情報発信していくことが重要である。

４－２　喫緊に取り組むべき課題の整理

宇宙利用の将来像を実現するためには、前節において洗い出した25の課題を含み、多くの課題に取り組むことが必要であり、各分野における早急な対応が期待される。その上で、基盤技術の１つであるICT分野において喫緊に取り組むべき課題について、米国等におけるベンチャー企業や異業種からの参入拡大により、民間需要を喚起した宇宙市場が活性化していることを踏まえ、日本においても、宇宙を新たなフロンティアと捉え、ベンチャー企業等の新しい活力の参入を促進することで、宇宙利用の将来像をいち早く実現し、日本が抱える社会的課題の解決と日本の宇宙市場の活性化を併せて達成することを目指し、宇宙利用分野での事業化や社会実装を促進していくことに力点を置き、以下に示す基本的な考え方（図４－１）に基づいて整理した。

- 宇宙において様々な民間ビジネスの起業や事業拡大が進展するよう、宇宙空間というまだ十分に解明されていない環境に関連する基盤的・共通的な課題の解決に注力
- 同様に、宇宙ビジネスの展開に必要な周波数や衛星軌道といった資源を能率的に利用するよう、宇宙通信技術の更なる高度化、様々な軌道の衛星の利用・共存を可能とする方策等を推進
- 宇宙分野において、ICTに関する民間の持つ独創的なアイデア、新技術や活力を最大限引き出し、迅速な事業化を支援する取組を強化
- 地域やユーザのニーズを的確に捉え、社会実装を加速化
- 「宇宙産業ビジョン2030（2017年5月：宇宙政策委員会）」に基づく関連の取組を継続及び強化

図４－１　ICT分野において喫緊に取り組むべき課題を整理するに当たっての基本的考え方

なお、上記の基本的考え方の最後の項目である「『宇宙産業ビジョン2030（2017年５月：宇宙政策委員会）』に基づく関連の取組を継続及び強化」とは、将来像の実現のために、前節で洗い出した主要な課題について、宇宙政策委員会が策定した「宇宙産業ビジョン2030」に基づき、引き続き、関係府省が連携して、関連の取組を継続及び強化していくことが必要という主旨である。

この基本的な考え方に沿って抽出された課題は９課題であり、それらはまた、課題やその対応方針の類似性から５つにまとめることが可能である（図４－２）。これら５つの事項（９課題）については、その解決に向け、早急に適切な対策を講じていくことが必要である。

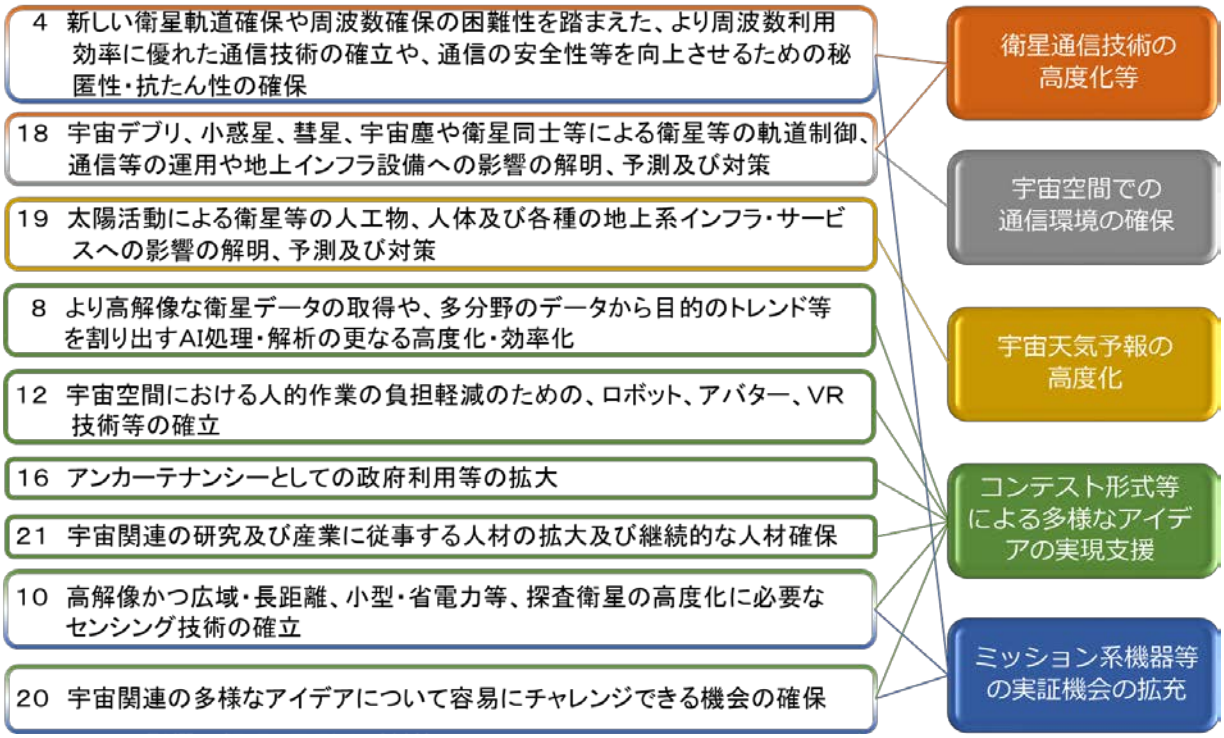


図４－２　ICT分野において喫緊に取り組むべき課題の整理

第５章　将来像の実現に向けてICT分野において喫緊に取り組むべき事項

将来像を実現するために、ICT分野において喫緊に取り組むべき課題として洗い出し、グループ化した５つの事項（９課題）について、その対応の方向性と、施策群を統合して一体的に推進していく方針を、本タスクフォースの提言としてとりまとめている。

５－１　５つの事項（９課題）の問題意識と対応方針

５つの事項（９課題）について、背景となる問題意識、及びそれを踏まえた課題への具体的な対応の方向性を示す。

５－１－１　衛星通信技術の高度化等

昨今の新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性を踏まえ、周波数利用効率に優れた通信技術の確立のため、マルチビームの各ビームに割り振る周波数帯域・エリアを衛星打上げ後に変更する技術として、デジタルチャネライザやデジタルビームフォーミングといった技術の研究開発が進められている。これらの研究開発を着実に推進することが重要であるが、くわえて、HTSの能力を最大限に引き出し、更なる周波数有効利用や伝送速度の向上、国際競争力のあるビット単価の低廉化を実現するためには、100ビーム級以上のマルチビームの実用化に向けた取組が必要である。

100ビーム級のマルチビームの実用化には、膨大な情報を分析してリソース制御や地球局選択を行う必要があることから、ＡＩを利用することにより、通信需要等の変化に最適・動的に対応できるネットワーク制御技術を確立することが有効である。その際、衛星通信を取り巻く状況として、５ＧやIoTといった様々な通信プロトコルや要求条件のサービスが普及しつつある中、これらを効率的に収容していくことも考慮する必要がある。

また、衛星用周波数が限られている状況下において、宇宙利用の活性化により増大が見込まれる衛星通信の需要を満たしていくためには、衛星のサービスリンクとともにフィーダリンク回線の容量を確保することが必要であり、電波に加え、光通信を利用していくことが有効である。しかし、光や利用・開発が進展しているKa帯の電波は、降雨等の気象条件によって通信品質に大きな影響を受けるため、フィーダリンクが不安定になることや、回線が切れることが課題として挙げられている。こうしたことから、大容量光通信の実現において、ＡＩによる気象データ等のリアルタイム予測、適応変調、電波・光の切替え、

サイトダイバーシティ技術等を含む拡張ダイバーシティ技術の確立が必要である。
　さらに、衛星通信が避けて通れないデータ送受の遅延により、実効速度が頭打ちになってしまうことを防ぐために、HTSに適したデータ送信のプロトコルを開発することも、その能力を活かすために必要である。

　一方、今後、一層の衛星利用の拡大が見込まれる中、衛星通信に対するサイバー攻撃が現実のものとなってきており、光空間通信技術や量子暗号通信技術など、安全な衛星通信ネットワークを構築する技術の確立に向け、着実に関連する施策を実施していくことが必要である。

　くわえて、社会基盤を支える重要インフラであり、新産業やサービス等の創出が期待される衛星測位システムについては、電波の弱さや技術情報が開示されているなどの要因から、ジャミングやスプーフィング（なりすまし）による妨害を受け、サービス停止等の機能不全・事故が発生するおそれがある。しかし、妨害による影響の程度は把握出来ておらず、検知や抑制は困難な状況である。今後の更なる発展に向けて、まず実地調査を実施し、その結果や諸外国の法制度の状況（米国、欧州等の法制度については、次段を参照）を踏まえ、ジャミングやスプーフィングへの具体的な対応策の検討を進めることが必要である。

【衛星測位信号受信機への妨害機器に係る諸外国の法制度について】

　我が国と同様に衛星測位システムを運用している米国、ロシア、欧州、中国及びインドにおける、衛星測位信号の受信機へ無線妨害を可能とするジャミング装置（ジャマー）に関する、製造、販売、輸出、購入、所有、使用の観点についての法制度の概要は図５－１に示すとおりである。

　GPSを運用する米国では、無線通信への妨害や干渉等を目的に作られた送信機の製造、販売、輸入、使用は、同国の通信法（The Communications Act of 1934）において禁じられている。輸出、（輸入を除く）購入、所有については特段の規制が存在しないものと考えられる。
　Galileoを運用する欧州では、欧州の無線機器指令（RE（2014/53/EU））により、域内におけるジャマーの製造、販売、輸入、使用は違法であるとされており、2016年６月までに加盟国に対して国内立法等の措置を講じることを求めている。2019年３月現在、フランス主導で、加盟国における国内法の整備状況を

調査するアンケートが実施されている。なお、ジャマーの輸出及び所有に関しては特段の規制は存在しないようである。

GLONASSを運用するロシアでは、無線受信機に干渉を与えるものの製造、販売、輸出、購入、使用は同国の通信法の下で禁じられている。

また、BeiDouを運用する中国では、合法なサービスに対する有害な妨害を防ぐ観点から、有害な干渉を起こす無線送信機については、製造、販売、輸出、購入、所有、使用に至るまで同国の電波法において禁じている。

NAVICを運用するインドでは、政府利用以外のジャマーの製造、販売、購入、使用は、同国の内閣官房通達において禁じられている。

	米国	欧州	ロシア	中国	インド
製造	違法※1	EU指令に基づき違法※3	違法	違法	違法※5
販売	違法※1	EU指令に基づき違法※3	違法	違法	違法※5
輸出	規制無し※6	規制無し※6	違法	違法	規制無し※6
購入	輸入は違法※2	EU指令に基づき輸入は違法※3, ※4	違法	違法	違法※5
所有	規制無し※6	規制無し※6	規制無し※6	違法	規制無し※6
使用	違法	EU指令に基づき違法※3	違法	違法	違法※5

※1 一部政府利用のみ合法
※2 購入は規制無し
※3 詳細は各国内法により異なる
※4 購入は規制無し
※5 政府利用のみ認可制
※6 文献調査において規制が確認できなかった項目

出典:株式会社NTTデータ経営研究所資料を基に作成

図5－1　ジャマーに係る諸外国の法制度

以上のとおり、諸外国ではジャマーの製造、販売及び使用については、原則違法とされている。

一方、日本では、ジャマーの使用に関しては、電波法において、総務大臣の免許を受けずに無線局を開設し又は運用した者に対して刑事罰を科している。また、同法に定める技術基準に適合しない設計により製造された無線設備を使用したことで無線局に妨害を与えた場合など、無線局の運用に重大な悪影響を与えるおそれのある場合には、当該無線設備の製造業者又は販売業者に対し、製造の中止、設備の改修等の勧告等を求めることができる旨を規定している。

５－１－２　宇宙空間での通信環境の確保

地球を取り巻く宇宙空間においては、運用中の衛星のほかに、運用を終えた衛星や使用済みロケットの残骸、衛星から外れた部品、爆発等により飛び散った破砕物等の宇宙デブリが無数に存在している。これら宇宙デブリについて、現在カタログ化されたものは約２万個とされているが、カタログ化されていない物体を含めると、地球軌道上にある１~~1~~mm以上の物体は１億個以上と見積もられている。また、軌道上物体の数は増加傾向にある中、近年の小型衛星の利用の拡大や衛星コンステレーション等により、宇宙デブリの増加がますます懸念されるところである。こうした状況を踏まえ、世界的には宇宙デブリの除去等に関する技術開発や宇宙デブリ除去に向けた国際的なルール作り等が検討されている。日本においても、宇宙デブリ対策について省庁横断的に検討しており、今後もこうした取組を継続することが必要である。~~状況である。~~

また、前述の衛星コンステレーションは、数百、数千機からなる衛星群を構成するものであるが、同様な周波数諸元を有するこれら多数の衛星が通信を行った場合、これらコンステレーションを構成する衛星間における干渉が発生するおそれや、帯域外の不要発射による影響も無視できなくなる可能性がある。

このように、宇宙空間において、今後、宇宙デブリ等の増加や多数の衛星が、これまで以上に多様な高度や複雑な軌道等で活動することを考慮すると、衛星等の活動に必要な無線通信は、宇宙デブリの軌道を捉えた上での精密な衛星軌道計算や、システム間等における影響を織り込んだ回線設計や運用が必要となる。

しかしながら、現状、宇宙空間での電波の利用状況は詳細には把握されておらず、混信・妨害の予測や原因究明も困難な状況である。また、将来的に、宇宙空間における電波の管理のあり方は、国際的にも重要な政策的課題となると考えられる。

こうしたことから、宇宙空間の衛星等の物体の電波諸元、軌道といった活動状況を、衛星や地上設備を活用して実態を観測・把握する技術、これらの活動状況を模擬して電波の混信の原因究明等を可能とするシミュレータ技術など、宇宙空間を飛び交う電波の可視化に必要な基盤技術を確立するとともに、宇宙空間における電波状況等を常時観測する体制についても検討することが重要である。これにより、宇宙空間における適切な周波数共用がなされ、円滑な衛星通信やリモートセンシング等が実現される。

５－１－３　宇宙天気予報の高度化

太陽活動は、人工衛星、通信システム、人体等に影響を与えるものである。宇宙活動が活性化する中、宇宙空間での安全性の確保は宇宙活動に関与する者

にとっての共通の課題であり、未知の宇宙環境、特に太陽フレア等の太陽活動による影響（宇宙天気）の把握・分析等を、より一層強化する必要がある。

これまでも、宇宙天気に関しては、NICT等の公的機関が中心となり、電離層等の現況把握及び予測並びにその情報提供（宇宙天気予報）に取り組んできており、今後も、絶えずその高度化に取り組むことが重要である。

特に、低軌道周回衛星等に対するものとして、数百km上空において顕著に表れる大気の抵抗（大気ドラッグ）の影響が挙げられる。これは、太陽フレア等に起因する近紫外線により地球の「昼間」の上空にある広域の大気が加熱されることや、太陽から放出されたプラズマ粒子（太陽風）により引き起こされるオーロラ現象が原因となって、極域近辺を中心に不均一な大気加熱が起こることから、大気が膨張し、大気密度が変化する現象である。

今後、低軌道周回軌道に多数の打上げが予定されている衛星は、この大気ドラッグの変化により、周回速度の減少による高度の低下、衛星の向きの歪み、衛星の予期せぬ回転、太陽パネルの発電量低下など、衛星そのものの運用に支障を来すと考えられているが、その影響の分析等については不十分な状況である。そのため、低高度の衛星や落下球を用いた上空数百kmの大気密度の効率的な測定技術の開発や、大気密度の変動が衛星運用に与える影響の解明等が必要である。

また、地球の電離圏は、太陽フレアや磁気嵐により、局所的に電離圏の大気密度が低くなる擾乱（プラズマバブル）が発生し、衛星通信の障害や測位信号の精度低下を招く原因となっている。特に、プラズマバブルの内部や付近では、急激に電子密度が変化していることから、そこを通過する測位信号等に多大な影響を与え、航空機や船舶等の運用に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。

そのため、特に準天頂衛星システムの利用が期待される日本、東南アジア等において、プラズマバブルの正確な位置の把握を行うことで、高精度測位の安定的な利用を確保することが必要である。

以上のように、人工衛星や通信システム等に影響を与える太陽活動について、宇宙活動における安定性の確保の観点から「宇宙天気予報」を高度化し、大気膨張により衛星運用に与える影響の把握や予測が可能な体制を構築するとともに、測位衛星に対する電離圏擾乱の補正技術を確立し、電離圏の擾乱が顕著な低緯度地域国との連携を検討することが必要不可欠である。さらに、このような宇宙天気の発生の原因である太陽活動等の観測について、グローバルな連携を考慮しつつ、日本独自での実施を検討することが適当である。

５－１－４　コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援

宇宙空間においても、地球上と同様、ICTをいかに利用するかが重要になっている。通信技術以外にも、ＡＩやロボット・アバター、ＸＲ（ＶＲ、ＡＲ、ＭＲ）のほか、衛星によるセンシング技術や得られたデータの利活用等が期待されている。こうした中、参加者がアイデア等を出し合い、その優劣を競うコンテストが、近年、宇宙分野において開催されているのは、多様なアイデアや技術の種を持つ挑戦者を後押しし、社会実装に繋げるための方策として有効であることの証左である。欧米では、特に、技術革新や事業化促進のスピードアップの手段として、コンテストの開催や活用が活発化しているところである。

現在、日本においては、人材育成や事業創出を主目的としたコンテストや、研究課題自体を提案させる競争的資金を活用し、国の課題設定に因らない取組が一部で行われ始めている~~はじめている~~。今後は、既存のコンテスト等による人材育成や事業創出の促進は継続しながら、多様なアイデアの実現やオープンイノベーションを促進する仕組みとして、技術開発等におけるコンテストや競争的資金の活用を充実させていくことが適当である。

また、開発された技術やサービスの実用化を企図して進めることが、民間による技術開発等の進展や産業基盤の安定化に必要であるため、政府機関等によるアンカーテナンシーとしての役割を拡大していくことが重要である。これにより、その事業実施者に対する信頼性、事業に対する有効性等を高めることが可能となる。

例えば、総務省が事業化支援の仕組みとして実施しているI-Challengeや、公募提案型の研究開発のスキームであるSCOPEにおいて、候補者の選考過程に際し、地方公共団体やユーザの参画を重視することなどにより、社会実装につながる~~繋がる~~蓋然性を高める仕組みとしたり、コンテスト形式を採用したりすることも検討に値する。

５－１－５　ミッション系機器等の実証機会の拡充

宇宙利用分野の技術開発においては、その動作や有効性を地上で確認するだけでなく、実際に宇宙空間の軌道上で実証することが重要である。しかしながら、開発したミッション系機器を軌道上で実証するためには、機器の動作に必要な電力を供給し、宇宙空間における姿勢・軌道の制御を行う衛星バス（人工衛星としての基本機能を提供する機器と衛星の主構造の総称）の製造や、衛星を打ち上げるためのロケットの調達等に多大な時間やコストが発生することになる。

そのため、実証機会の確保が、ベンチャー企業等における開発及びその実用化にあたっての大きなボトルネックとなっている。ついては、様々な機会を捉

えて、実証機会の増加や費用の低廉化を図り、多様なアイデアの実証や迅速な事業化を実現することが重要である。例えば、現在JAXAが実施している革新的衛星技術実証プログラムや「きぼう」日本実験棟による衛星放出や宇宙空間での暴露実験を活用していくことや、総務省やNICTが今後開発や打上げを計画する衛星について、通信ミッション等のホステッドペイロードへの相乗りを予め想定したプロジェクトとして企画すること、などが考えられる。さらに、これらに限らず、衛星バスへのミッションの相乗りや、打ち上げられるロケットへの衛星の相乗り等について、様々な機会を捉えて実現していくことが重要である。

また、衛星通信技術は高度化の一途を辿っているが、それを活用したアプリケーションの実証機会が不十分であり、衛星通信の有効性に関するユーザの理解が不足しているとの指摘がある。そのため、例えば、2021年度に打上げを予定している技術試験衛星９号機（ETS-9）を最大限活用し、アプリケーション実証の機会を広くテストベットとして提供することなどにより、これまでよりも容易に、多様なアイデアを実証できる機会や、５ＧやIoT等の地上システムとの連携を実証する機会を確保・提供することが適当である。

５－２　宇宙×ICT事業化促進プログラム

前節で提示した５つの事項は、それぞれ単独で取り組むことでも成果は得られるが、相互に連携して取り組むことで、その効果を著しく押し上げることが可能となる。３章の４つの将来像を迅速かつ着実に実現するために、図５－２に示すように、「宇宙×ICT事業化促進プログラム」として、施策群を統合して一体的に推進することが肝要である。

また、「コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援」及び「ミッション系機器等の実証機会の拡充」については、宇宙分野に限らず、事業化・社会実装を促進する際の環境整備という点において有効であると考えられることから、ICT全体の施策として捉えることが重要である。

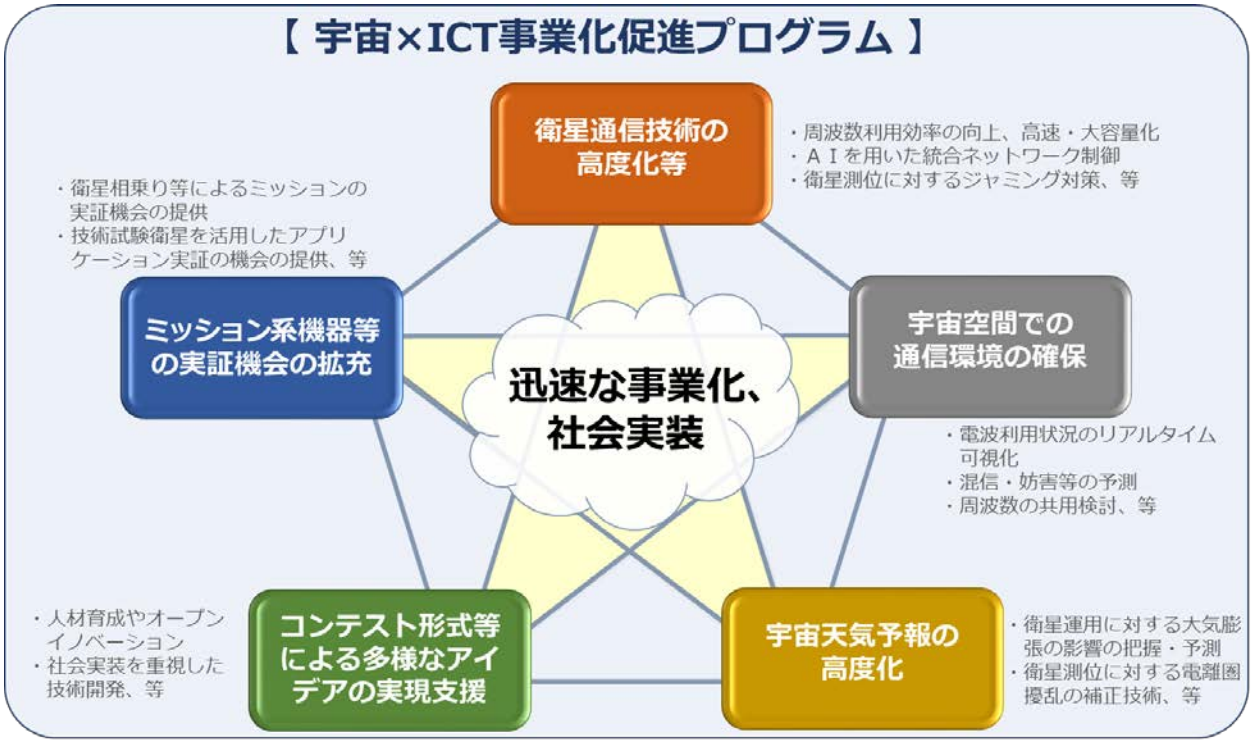


図5－2　宇宙×ICT事業化促進プログラム

おわりに

宇宙産業を取り巻く状況は、今まさに、大きな変革期を迎えている。今世紀初め頃から欧米を中心にベンチャー企業や異業種の参入が始まり、ロケットの製造・打上げや人工衛星の製造等における従来型の産業構造に変革をもたらすとともに、これまでにない新しい宇宙関連市場の創出・拡大に繋がってきている。

本タスクフォースでは、諸外国におけるこうした状況を踏まえ、今後の日本における宇宙産業が、諸外国に匹敵する、又は凌駕する発展を成し遂げ、日本の経済成長のキーファクターとなることを目指して、現状の宇宙産業の動向分析、2030 年代以降の宇宙利用の将来像、将来像実現のための課題、ICT 分野において喫緊に取り組むべき課題とその対応方針等の検討を進め、ここにとりまとめた。特に、~~「宇宙×ICT 総合推進戦略」の流れを踏まえ、~~ICT 分野に重きを置いて、宇宙産業における迅速な事業化と社会実装を促進するための５つの事項を「宇宙×~~×~~(バイ)ICT 事業化促進プログラム」として統合して一体的に推進することを提言したものである。関係府省庁との連携のもと、総務省における「宇宙×ICT 事業化促進プログラム」に即した政策の着実な執行を強く望む。

また、本タスクフォースにおいて調査・検討した事項について、国内外のコンテスト等の各種施策に関する進捗状況等のフォローアップ・定点観測を継続し、常に最新の状況把握及び評価をすることにより、日本における新たな施策の展開や既存施策の見直し等を定期的に実施していくことが必要である。

さらに、宇宙分野における事業化・社会実装を実効性のあるものとするため、諸外国の政策や施策の実施状況、総務省等の政府機関や国立研究開発法人等において実施するもので宇宙関連の技術開発や事業化等に活用できる各種施策の情報、国内における地域の取組状況、宇宙関連の事業者や技術開発動向等の最新情報を総合的に情報発信・閲覧・共有できる場を設けることで、地域ニーズと宇宙関連の技術や事業のマッチングの促進等を図っていくべきである。またこれと並行して、人々が宇宙の魅力に触れる機会を増やすとともに、宇宙分野の人材強化に繋げるため、宇宙に関する活動やデータを活用したカリキュラムなど、宇宙教育のあり方について継続的に検討を行う必要がある。

くわえて、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」又は本タスクフォースでの議論・検討が一過性のものとならないように、通信・放送業界、宇宙関連のベンチャー企業や投資家、非宇宙関係企業、教育機関、政府機関など、幅広い領域の方々が集うコミュニティを形成・維持し、日本における宇宙分野の更なる発展のための戦略を

継続的に検討していくことが必要である。

本タスクフォースで描いた 2030 年代以降の宇宙利用の将来像は、決して夢語ではない。むしろ、昨今の ICT をはじめとした様々な技術開発の進展スピード等を推し量ると、本タスクフォースの予測よりも早く、あるいは想像を超えたより高度な事業やサービスが実現される可能性もあると考えられる。こうした将来像にある宇宙利用分野における様々な事業やサービスが実現するに伴って、様々な課題解決が促進されるとともに、宇宙産業市場が大幅に拡大していくことで、我々の生活が豊かで実り多きものとなることを切に期待したい。

「宙（そら）を拓（ひら）くタスクフォース」開催要綱

１　目 的

「宙を拓くタスクフォース」（以下「タスクフォース」という。）は、現代社会が抱える社会問題の解決、持続的な経済成長等に寄与するため、昨今、民間によるビジネス拡大が一気に加速し、我々の生活を大きく変革する可能性を秘めた宇宙分野について、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」（以下「懇話会」という。）のタスクフォースとして、懇話会における検討内容のうち、2030年代以降の宇宙利用の将来像を広く一般から募集し、その実現のために必要となる情報通信に関する新たな要素技術や研究機関の役割等について、より専門的な観点から検討を行うことを目的とする。

２　名 称

宙を拓くタスクフォース

３　構成員等

タスクフォースの構成員は、別紙のとおりとする。

４　運営

(1)　タスクフォースの主査は、懇話会の座長が指名する。
(2)　主査は、必要があると認めるときは、主査代理を指名することができる。
(3)　主査は、必要に応じて構成員以外の関係者の出席を求め、その意見を聴くことができる。
(4)　主査は、タスクフォースを招集し、主宰する。
(5)　主査代理は、主査を補佐し、主査不在のときは主査に代わってタスクフォースを招集し、主宰する。
(6)　タスクフォースにおいて検討された事項については、主査がとりまとめ、これを懇話会に報告する。
(7)　その他タスクフォースの運営に必要な事項は、主査が定めるところによる。

５　議事等の公開

(1) タスクフォース及びそこで使用した資料については、次の場合を除き公開する。
①　公開することにより当事者及び第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害するおそれがあると主査が認める場合
②　その他非公開とすることが必要と主査が認める場合
(2) タスクフォース終了後、議事要旨を作成し、公開する。

６　スケジュール

タスクフォースの開催期間は、2018年８月から2019年夏までを目途とする。

７　事務局

タスクフォースの事務局は、国際戦略局宇宙通信政策課が行うものとする。

「宙を拓くタスクフォース」構成員名簿

（敬称略、五十音順）

	荒井　誠	株式会社電通　宇宙ラボ　主任研究員
	石川　洋二	株式会社大林組　技術本部　未来技術創造部　上級主席技師
	今井　良一	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構　理事
	小笠原　宏	三菱重工業株式会社　防衛・宇宙セグメント宇宙事業部　副事業部長
	岡島　礼奈	株式会社ALE　CEO
	押田　祥宏	ソフトバンク株式会社　グローバル事業戦略本部衛星事業推進部　担当部長
	片岡　正光	株式会社東京放送ホールディングス　総合戦略局投資戦略部　部長
	河合　宣行	KDDI株式会社　グローバル技術・運用本部 グローバルネットワーク・オペレーションセンター　センター長
	川原　圭博	東京大学大学院工学系研究科　教授
	黒田　有彩	宇宙タレント
	佐藤　将史	株式会社野村総合研究所　ICTメディア・サービス産業コンサルティング部 上級コンサルタント
主査代理	澤谷　由里子	名古屋商科大学ビジネススクール　教授
	志佐　陽	株式会社IHI　宇宙開発事業推進部事業企画グループ　部長
主査	中須賀　真一	東京大学大学院工学系研究科　教授
	森信　拓	NTTコミュニケーションズ株式会社　ネットワークサービス部 テクノロジー部門　担当部長
	矢野　博之	国立研究開発法人情報通信研究機構　執行役 オープンイノベーション推進本部　ソーシャルイノベーションユニット長
	渡辺　公貴	株式会社タカラトミー　技術開発部　エキスパート
オブザーバ	内閣府	宇宙開発戦略推進事務局
	文部科学省	研究開発局宇宙開発利用課
	経済産業省	製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
	株式会社NTTデータ経営研究所	
	株式会社三菱総合研究所	

「宇宙利用の将来像に関する懇話会」開催要綱

１　目 的

近年、民間企業による宇宙産業への参入が世界規模で急速に起こりつつある。例えば、小型衛星を使用した衛星コンステレーションによるブロードバンドサービスについては、欧州において2014年に開始され、2020年以降の新たなサービス提供を目的とした大規模なネットワークの構築が計画されている。また、米国においては、2020年代の火星への有人飛行を目指した惑星間輸送システム構想が発表されている。我が国においては、民間企業により、2050年の竣工を想定した宇宙エレベーター建築構想が発表されるのみならず、従来は政府主導で進められてきた宇宙開発に対して、多数のベンチャー企業が宇宙ビジネスに参入することにより、小型衛星開発や惑星探査といったダイナミックなプロジェクトが形成されつつある。

一方、我が国政府においては、地球観測により培われた世界有数の衛星リモートセンシング技術を活用した月や火星等の資源探査の検討を進めているほか、宇宙関連二法（宇宙活動法（平成28年法律第76号）及び衛星リモートセンシング法（平成28年法律第77号））を定めるなど、民間企業の宇宙産業への参入に向けた環境整備を進めている。米国政府においては、2030年代の火星有人探査計画を実現するために巨額の予算を投じることが決定された。

現在、地球上では、人口問題、資源・エネルギー枯渇、環境汚染等多くの課題が山積している状況である。こうした課題に対して、宇宙利用の推進は、先駆的なイノベーションによる打開策を導き出すために有効であると同時に、人類を新たな高みへと引き上げる可能性を秘めていることから、期待がされているところである。

以上の観点から、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」（以下「懇話会」という。）では、宇宙利用におけるイノベーションによりもたらされる新たな将来像について幅広く懇話することにより、宇宙利用において目指すべき方向性やICTの利活用推進に向けて短期的及び長期的に取り組むべき方策について検討することを目的とする。

２　名 称

宇宙利用の将来像に関する懇話会

３　検討内容

(1)　現代における社会的課題や地域の課題の解決に向けた宇宙データの利用方法
(2)　宇宙利用における長期的な将来像
(3)　研究開発の在り方や研究機関の役割
(4)　その他座長が必要と認める事項

４　構成及び運営

(1)　懇話会は、国際戦略局長の懇話会として開催する。
(2)　懇話会の構成員は、別紙のとおりとする。
(3)　懇話会に、座長を置く。

(4)　座長は、必要があると認めるときは、座長代理を指名することができる。
(5)　座長は、必要に応じて構成員以外の関係者の出席を求め、その意見を聴くことができる。
(6)　座長は、懇話会を招集し、主宰する。
(7)　座長代理は、座長を補佐し、座長不在のときは座長に代わって懇談会を招集し、主宰する。
(8)　座長は、懇話会の検討を促進するため、必要に応じて「タスクフォース」を開催することができる。
(9)　その他懇話会の運営に必要な事項は、座長が定めるところによる。

５　議事等の公開

(1)　懇話会及び使用した資料については、次の場合を除き公開する。
①　公開することにより当事者及び第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害するおそれがあると座長が認める場合
②　その他非公開とすることが必要と座長が認める場合
(2) 懇話会終了後、議事要旨を作成し、公開する。

６　スケジュール

特に定めない。

７　事務局

懇話会の事務局は、国際戦略局宇宙通信政策課が行うものとする。

【月面基地構想】 （応募者個人） 1

〈 1〉提案の要旨

現在活躍中の国際宇宙ステーションはあと数年で退役するという情報があり、この国際宇宙ステーションを月に移動し、月面に軟着陸させて一時的な足場となる基地として活用してはどうかという提案です。これに加え月面基地で必要となる機材を国際宇宙ステーションと同時に月面に搬送するという提案です。

〈 2〉月面に基地を作ることの意義

1） 図は地球と月と太陽の位置関係を示します。
2） 人類が地球外惑星として最初に訪問するのは火星ではないかと言われていますが、最低でも 170 日間要すると言われています。
3） 一寸法師にでも変身自在であれば都合がよいのですが、現在の人工衛星では訓練された宇宙飛行士でも地球から直接火星に行くことは困難と思われます。
4） 従って中継地点となる拠点基地を作るとすれば月でしかない様に思われます。
5） その為には現在ある国際宇宙ステーションが退役する時期に合わせてこれを月面に移設しシェルター代わりに一時的に再利用するのが経済的ではないかと考えています
6） 火星に移住するにも様々なインフラ（ エネルギー・ 上水道・ 植物工場 etc ）や最低限の住空間を整備する必要があるが幸いにも月の地下には 50 kmもの空洞があり、氷が残っている期待もあり機材さえあれば相当のインフラ整備が可能と考えられます。
7） もう一つ幸運なことは月に空気がないことです。空気抵抗がなければ地球からの移送が無理だった異形の建造物等も、月から移送することが可能になると思われます。

【月面基地構想】 （応募者個人） 2

〈 3〉具体的提案

第一の提案は、38 万 km も離れた月に直接機材を送り込んで宇宙基地や火星に行く住空間を作るのではなく、地上から 400 kmの国際宇宙ステーションと同一の周回軌道（ 無重力状態になる）にのせてアルミやステンレスの機材でロボットアーム等を活用して組立て（ これを子機と呼ぶ）その後 月面に移設するという提案です。第二の提案は、

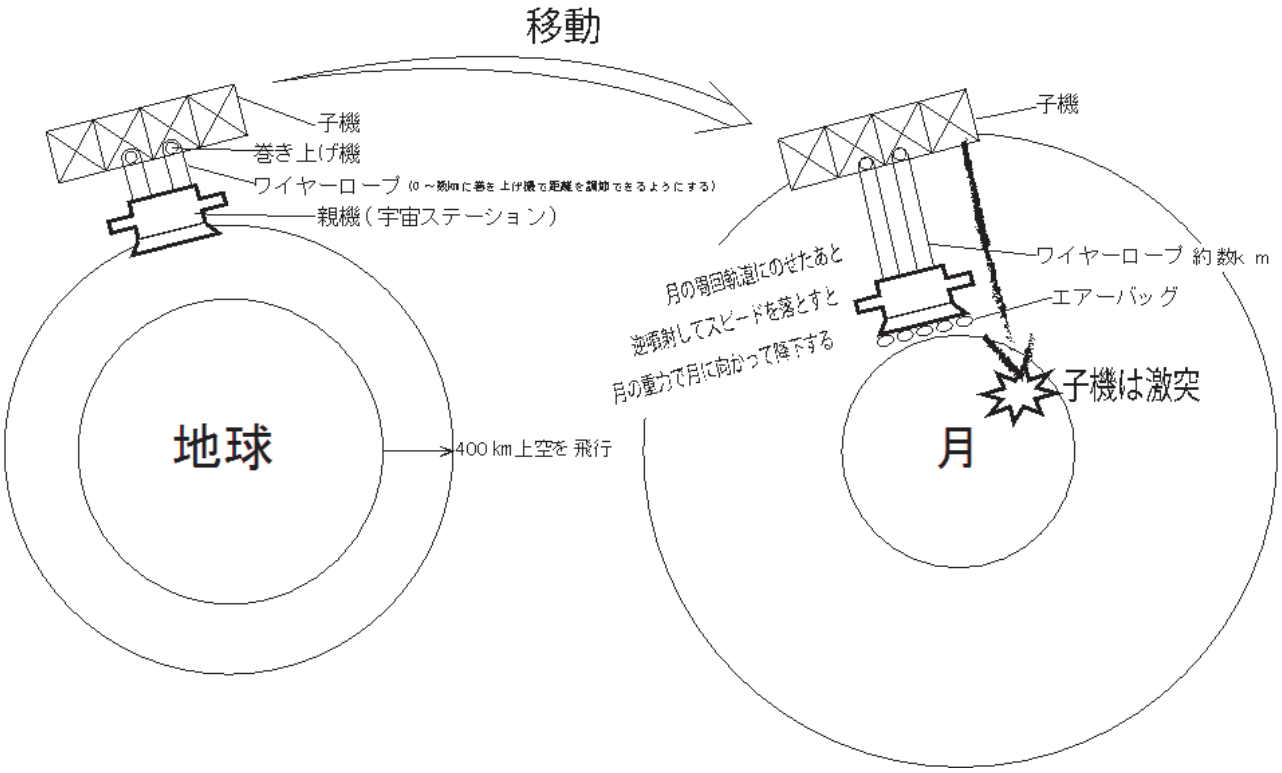
1） 現在ある国際宇宙ステーション（ 親機と呼ぶ）と前述の子機をワイヤーロープ（ km）と巻き上げ機で連絡する。
2） 月に移動するときはロープを張って親機と子機を密着させて飛行させる。
3） 月の周回軌道に入ったら親機と子機はロープをゆるめ数km離れた位置に配置。
4） 月の周回速度を逆噴射させて落とすと親機と子機は月に向かって落下を開始するが、親機が月の上空数kmぐらいになったら巻き上げ機を稼働させると親機と子機は引っ張られてその距離が縮まる。
5） これにより親機の落下速度を落とすことができ、月面 500mぐらいの上空になったところで親機と子機を切り離す。
6） 月は地球に比べ質量が 1/6 と小さいのでゆっくり自然落下するが着地に当たり逆噴射ブースターを稼働させて更にゆっくりと軟着陸させる。
7） 子機は月面に勢いよく衝突するので多少の変形損傷があっても機材は有効活用できる。

〈 4〉期待される成果

1） 不要となった国際宇宙ステーションを一時的なシェルターとして月の基地に再利用する。
2） 子機はアルミ、ステンレスの機材や板材をボルトとナットで連結組立して構成すれば仮に大破したとしても月に必要な建築機材として再利用できる。
3） 国際宇宙ステーションを仮の基地として月にある 50 kmの空洞に氷があるか否か等早急に調査することができる。

〈 5〉僕の夢は宇宙飛行士になって月の氷を利用し人類で初めて宇宙で風呂に入ることです。

実現イメージ


移動
子機
巻き上げ機
ワイヤーロープ（0～数kmに巻き上げ機で距離を調節できるようにする）
親機（宇宙ステーション）
地球
400 km上空を 飛行
子機
ワイヤーロープ 約 数k m
エアーバッグ
月の周回軌道にのせたあと
逆噴射してスピードを落とすと
月の重力で月に向かって降下する
子機は激突
月

【東京オリンピックの開会式のオープニングセレモニーに五輪の花火を打ち上げる】

（応募者個人）

1

〈1〉提案の要旨

現在 400km の上空を飛んでいる国際宇宙ステーションより大輪の五輪ができる様に花火を東京オリンピックが開催される会場の上空(20～30km)に打ち上げる。

〈2〉イメージ図の説明

1) 宇宙ステーションは 400km の上空を 90 分かけて地球の周りを一周しています。これは秒速 7.4km。
2) 花火はこれを逆方向に打ち上げると地球に向かって自然落下します。
3) 実際に東京オリンピック会場の上空に飛ばすには、会場の方向に多少の推力を与える必要があり、タイミングと軌道計算が重要になります。
4) 花火は落下し地上 20～30km の成層圏で爆発させます。
5) この花火は地上の花火より空気抵抗が小さいので大口径の五輪の輪が得られると思われます。

〈3〉私たちが提案する五輪花火の特徴

1) 通常花火は黒色火薬に金属化合物を混ぜ合わせていろんな色の花火を作ると聞いています(表 1、表 2 参照)
2) 私どもの提案は一つの密閉カプセルの中に五色の花火玉を入れた割玉を完成させます。この花火は一般の花火職人が地上で使用する花火と大差のないものですが、一般の花火との相違点はやや粒径の大きい(数 mm)金属化合物の造粒球を多数個混入させるとか、金属球(例えば青緑色であれば銅球)を多数個混入させて花火玉を作るという点です。
3) この花火は爆発点火後五輪の輪が形成され、それと同時に造粒球や金属球も昇温溶融されます。更に成層圏の空気との摩擦発熱でこれらは発光を継続し続けるので燃え尽きるまで長時間五輪の輪が観測可能。

〈4〉効果

1) 国際宇宙ステーションから打ち上げなので他国の衛星等への衝突のリスクを回避できる。
2) オリンピック会場から数十 km の上空なので国民の祭典にふさわしく多くの人が観察できる。
3) ワールドカップ等他のスポーツなどにも展開が可能。

〈5〉むすび

私たちは小学生なのでスペースシャトルには乗せてもらえませんが、私たちの合図で五輪の火薬に点火させたいというのが私たちの夢です。

【東京オリンピックの開会式のオープニングセレモニーに五輪の花火を打ち上げる】

（応募者個人）

2

※イメージ図

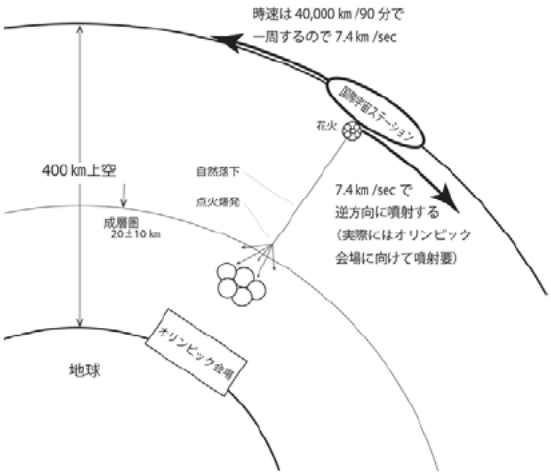


表１：基本の４色と黒色火薬に混ぜ合わせる金属化合物

色	金属化合物
紅（赤）	炭酸ストロンチウム（$SrCO_3$）
黄	シュウ酸ソーダ（$Na_2C_2O_4$）
緑	硝酸バリウム（$Ba(NO_3)_2$）
青	酸化銅（CuO）

表２：基本の４色以外に黒色火薬に混ぜ合わせる金属化合物

金	チタン合金（Ti）
銀（白）	アルミニウム（Al）

Astro Live Experiences

宙を拓くタスクフォース

株式会社ALE
代表取締役/CEO
岡島 礼奈

Astro Live Experiences

会社概要・ビジョン

株式会社ALE　会社概要

■ 代表取締役/創業者：岡島礼奈
（東京大学大学院理学系研究科天文学博士）

■ 社員数：18名(2018年11月現在)

■ 主要事業：人工流れ星による宇宙エンターテイメント事業「Sky Canvas」
人工衛星技術の研究開発

■ ALEのビジョン
エンターテイメントとサイエンスの両立で科学技術と宇宙産業の発展に貢献

ALE Co., Ltd. all rights reserved.

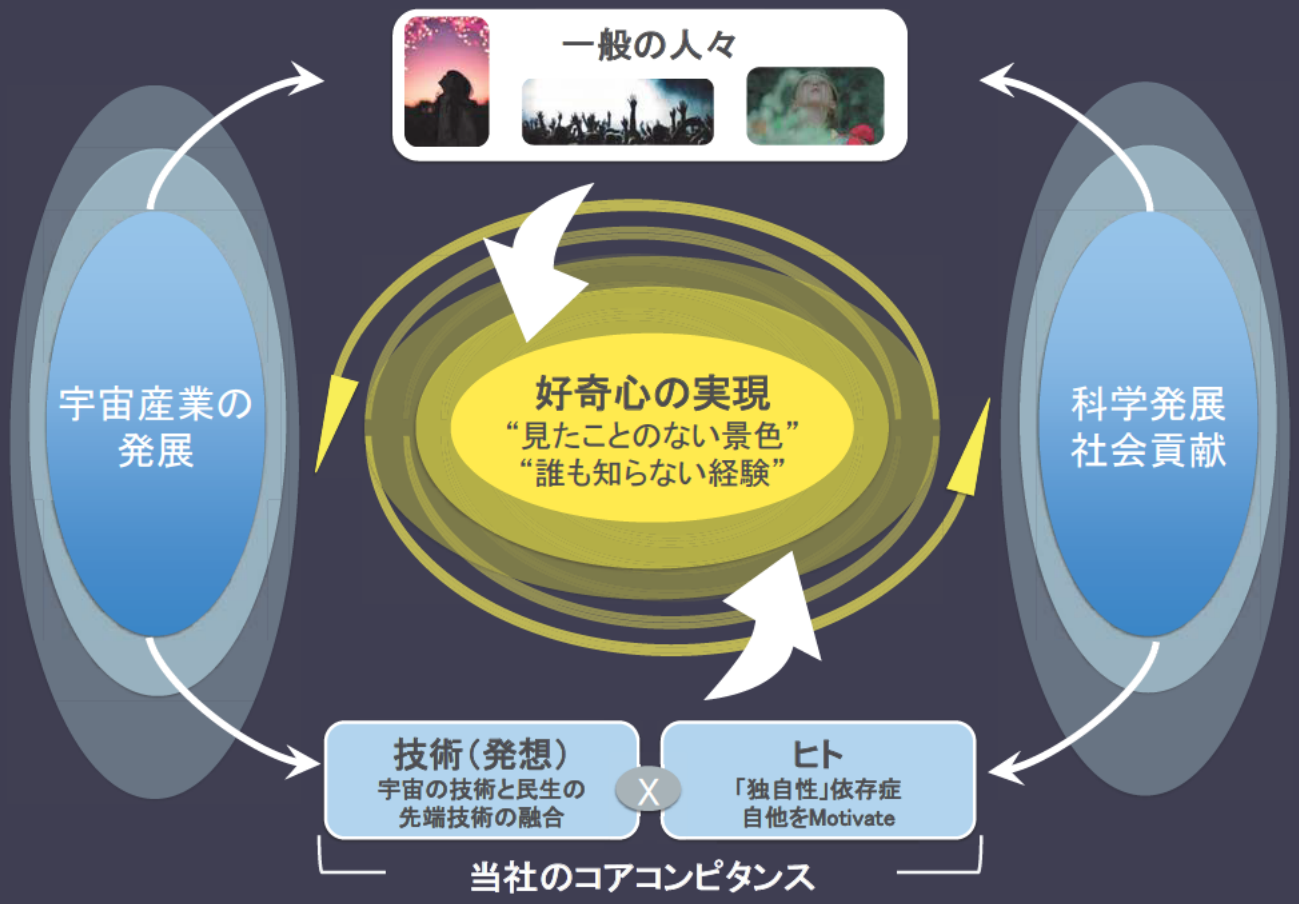
Our mission

科学と社会をつなぎ 宇宙を文化圏にする

ALE Co., Ltd. all rights reserved.

Our vision

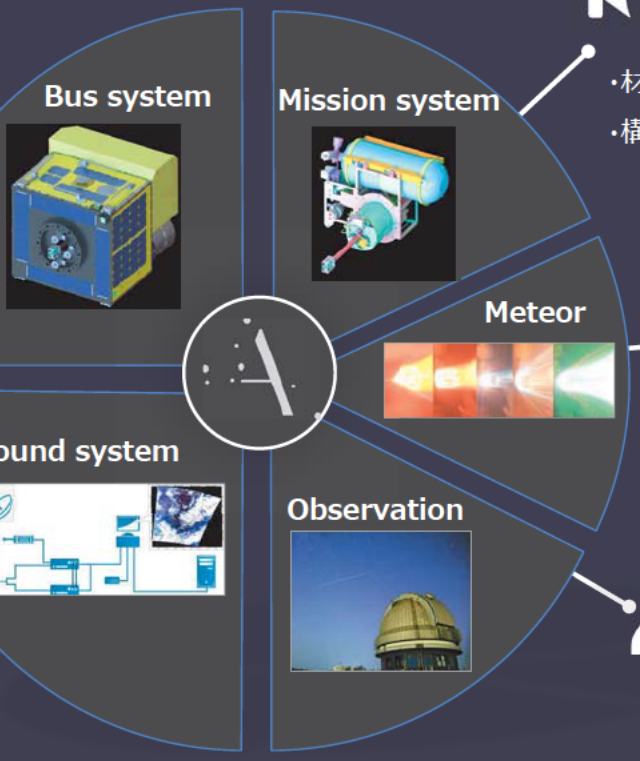
好奇心の実現・共有・拡大を追求し、宇宙産業／科学の発展に貢献



ALE Co., Ltd. all rights reserved.

大学との協力体制 －4大学との共同研究体制

技術顧問
JAXA/元はやぶさ
プロジェクトリーダー
川口淳一郎先生



神奈川工科大学
KANAGAWA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

・材料解析
・構造解析

渡部先生

東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

・衛星バス
・地上系
来原先生

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY
首都大学東京

・加熱率計算
・軌道計算

佐原先生

JAXA
Japan Aerospace Exploration Agency

・軌道投入
・安全設計技術指導
・ソフトウェア(Jonathan)

日本大学理工学部
College of Science and Technology, Nihon University

・発光計測
・現象解明

阿部先生

ALE Co., Ltd. all rights reserved.

2020年春 SHOOTING STAR Challenge

世界各地で流れ星を発生させることが可能

ALE Co., Ltd. all rights reserved.

ALEが開発中の人工衛星

■ 現在、ALEは人工衛星を**2機**開発しています

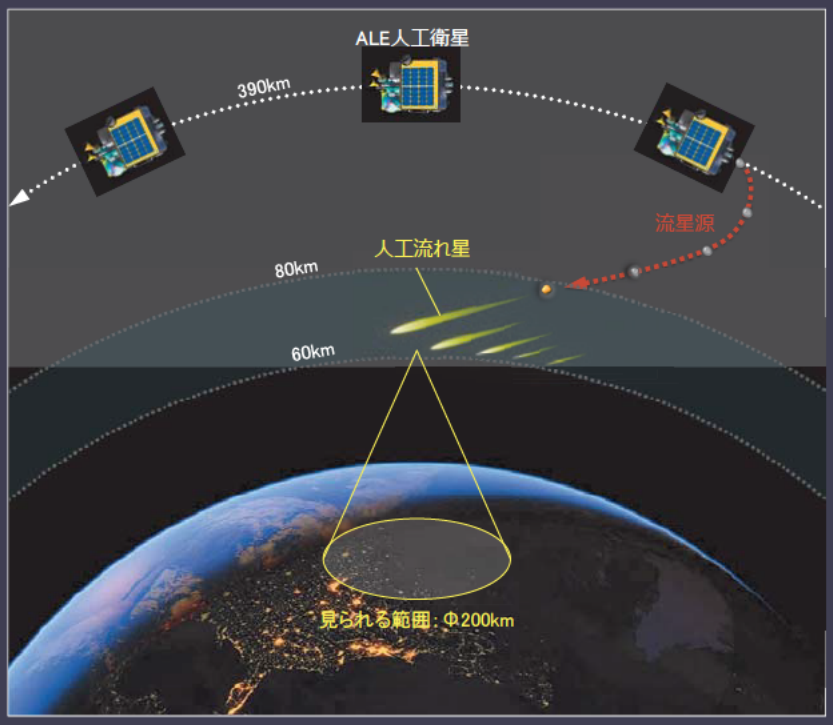
- ✓ 人工流れ星プロジェクトの成功確率向上
- ✓ 流星源素材の追加検証
- ✓ オンデマンドで人工流れ星を提供するために必要な軌道維持技術の検証

初号機

2号機

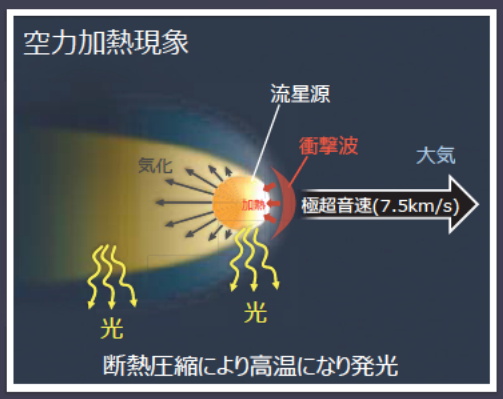
ALE Co., Ltd. all rights reserved.

人工流れ星の原理



● 人工流れ星の生成

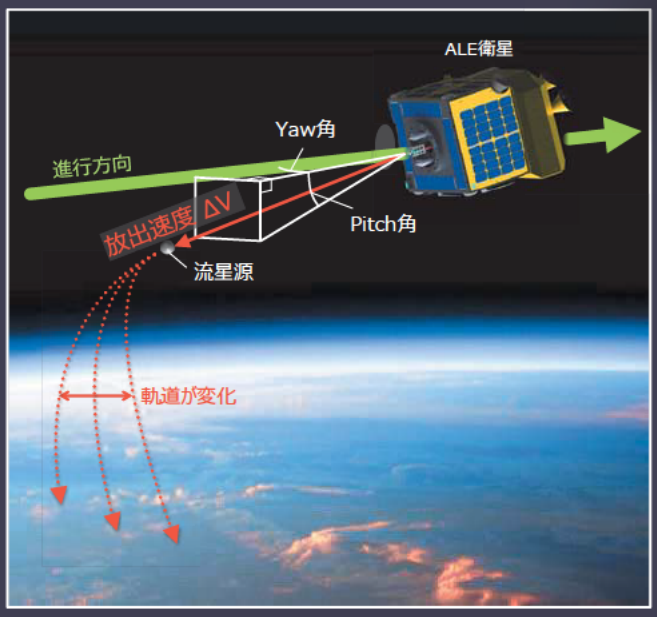
1. ロケットから人工衛星を打上
2. 人工衛星から流星源放出
3. 流星源が高度60-80kmで発光
空力加熱



ALE Co., Ltd. all rights reserved.

発光の制御方法

● 光る場所の制御



✓ 放出する方向・位置・速度・により
流れ星の発生する場所を制御

● 光り方の制御

✓ 流星源の材料により色と明るさを制御

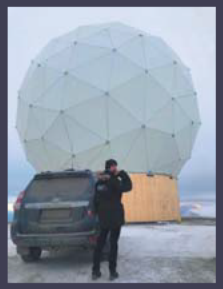
ALE Co., Ltd. all rights reserved.

衛星との通信

■ 東北大学・KSAT社(ノルウェー)保有のアンテナを使用

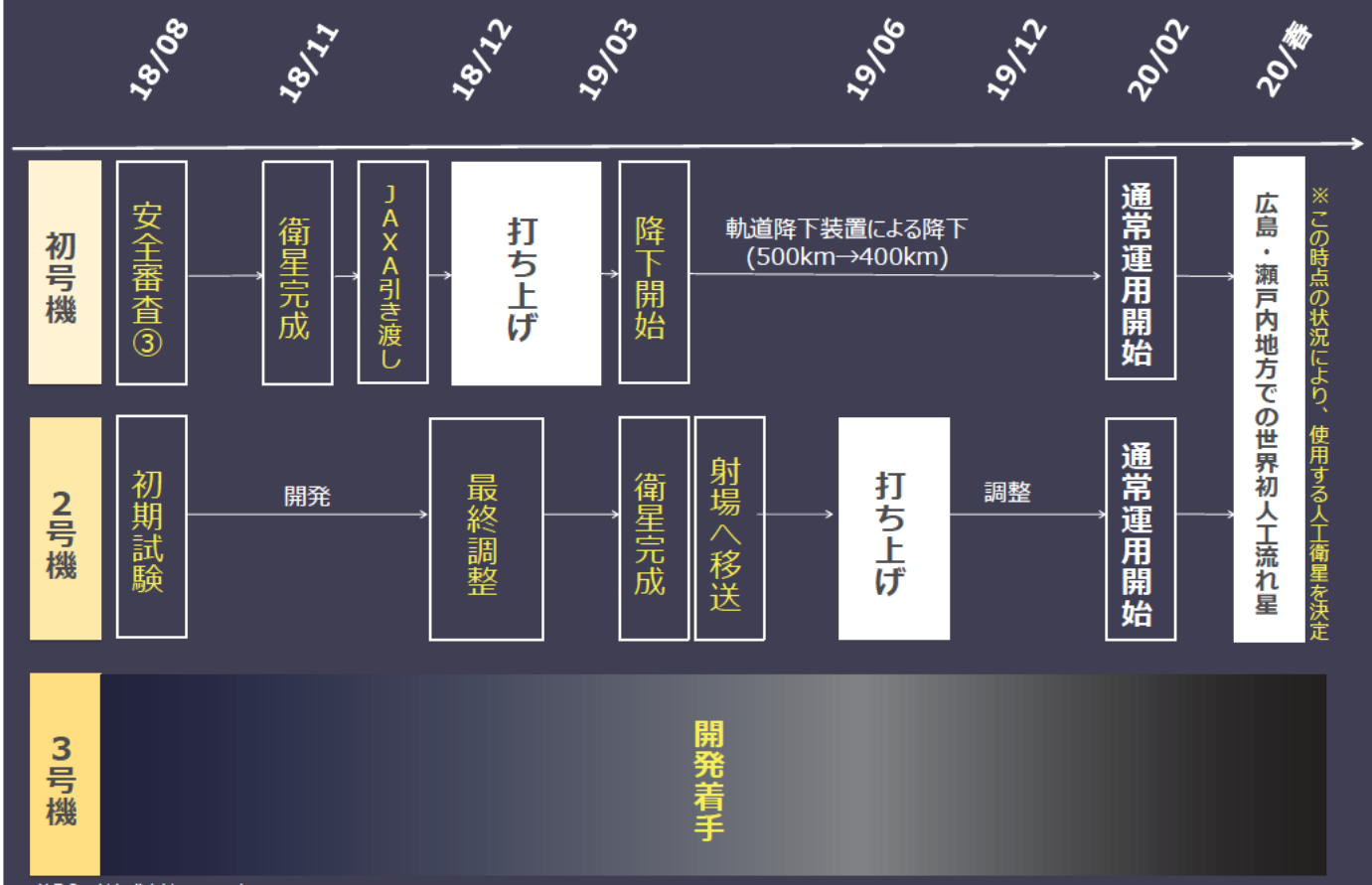
東北大学

KSAT



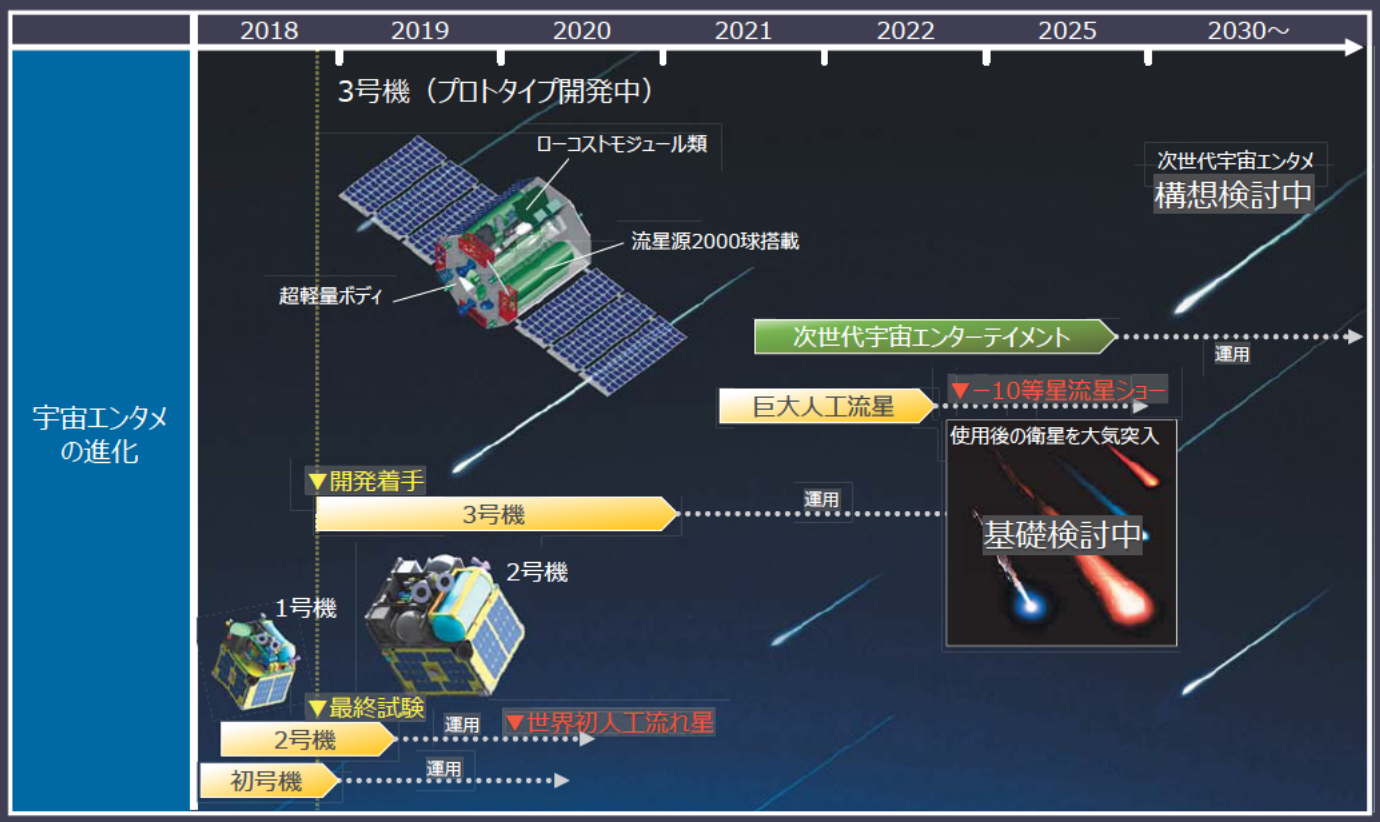
ALE Co., Ltd. all rights reserved.

今後のスケジュール



ALE Co., Ltd. all rights reserved.

今後の開発予定



- ✓ 3号機プロトタイプの開発に着手
- ✓ 宇宙エンターテイメントをグレードアップするための基礎・構想検討を開始

ALE Co., Ltd. all rights reserved.

Astro Live Experiences

Hello Possible

電通宇宙ラボのご紹介
「宇宙マーケティング」
の取り組み

Dentsu Space Lab

荒井 誠

2018.11.15

宇宙×電通

Otsuka 大塚製薬

世界初のハイビジョンカメラCM@宇宙
NASDA ISSにおけるパイロットプロジェクト 2001年

＝SoftBank

ソフトバンクCM@ISS
2011年

JAXA

「KIBO 360°」

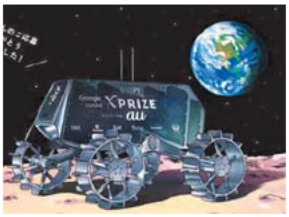
Otsuka 大塚製薬

「LUNAR DREAM PROJECT」
アストロスケール

RECRUIT
「宇宙バイト」
PDエアロスペース

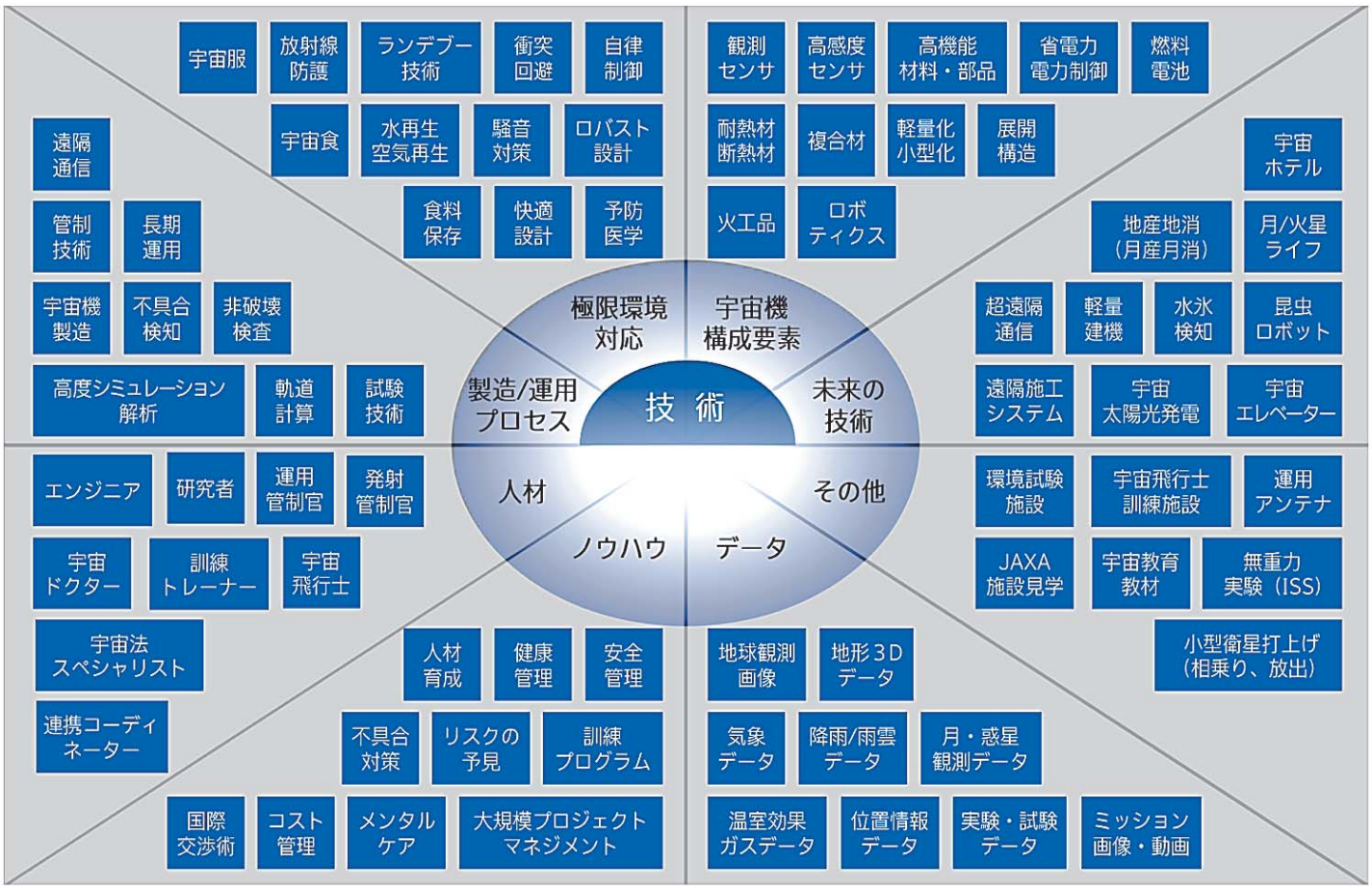
TOYOTA
ロボット宇宙飛行士
「KIROBO」

宇宙兄弟
「ドリームアート
ロケットプロジェクト」



au
HAKUTO
i-Space

宇宙のリソース



電通 未来共創会議 宇宙/JAXAの資産マップ

「宇宙マーケティング」:10の着目点

① 宇宙産業のIndustry Identityの構築
② 宇宙開発予算拡大のためのマーケティング
③ JAXA内インターナルマーケティング
④ 人材獲得（リクルート）マーケティング
⑤ 宇宙への関心を喚起させるマーケティング
⑥ 「宇宙ツーリズム」マーケティング
⑦ 宇宙技術活用商品マーケティング（COSMODE含）
⑧ 新たな宇宙参入企業促進のためのマーケティング
⑨ 宇宙技術革新のためのマーケティング
（スピンオフとスピンイン）
⑩ 官民一体の宇宙技術輸出マーケティング

「宇宙マーケティング」発表
日本マーケティング学会カンファレンス
2015.11.29

①宇宙産業のIndustry Identity　　4次元サイバーシティの活用 2017「宇宙利用に関するアイデアの募集」 別紙2

【10次産業:宇宙産業で第5次産業革命を興す】（応募者名： 荒井 誠） 1

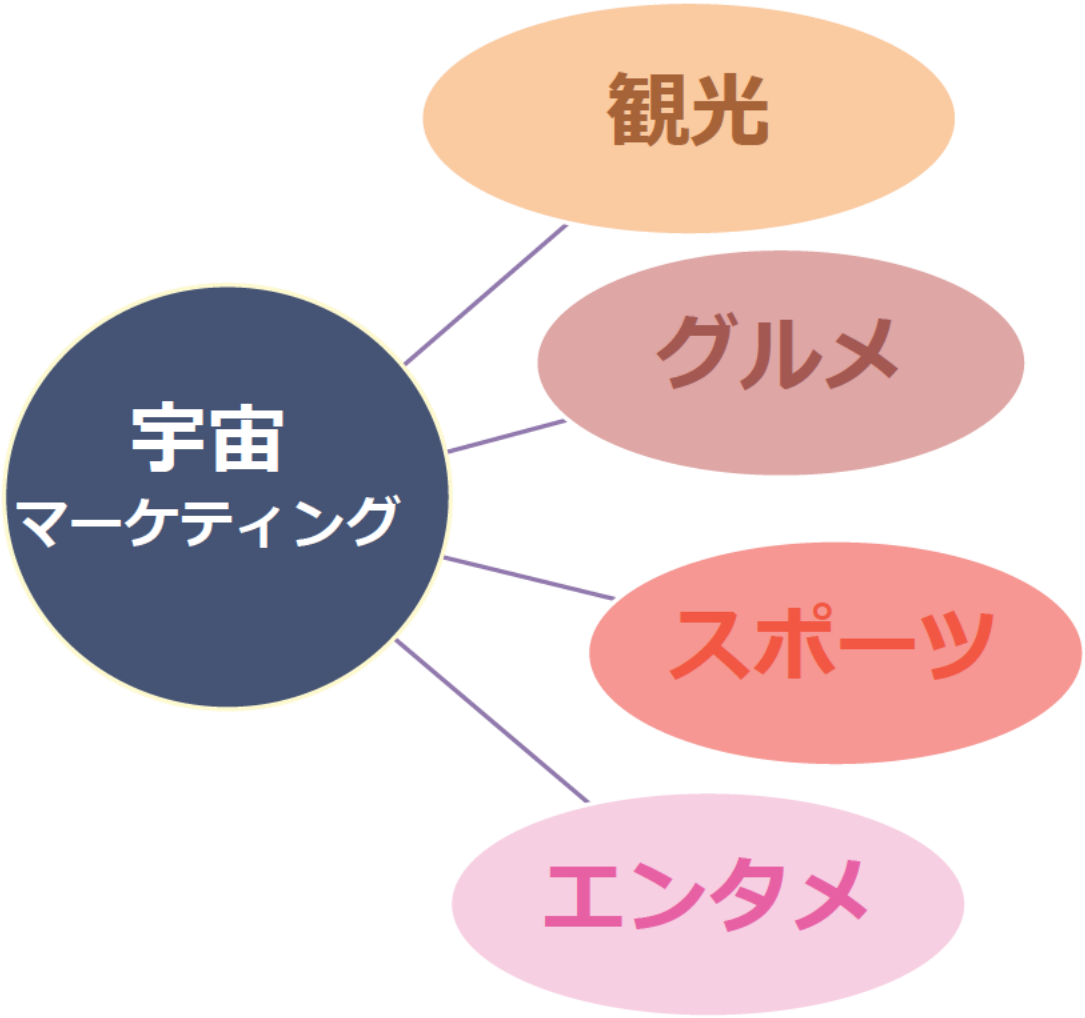
背景・課題

・2020年以降、1次産業から4次産業のそれぞれにおいて、Space-Wide-Webの働きによりAIが進化し、効率的、安全な産業振興が実現される。さらにそのS-W-Wによるネットワーク力で4つの産業界を繋ぎ、すべての産業を統合した、いわば「10次産業」と呼べる全産業の牽引役となる。
・その統合の象徴である「スマート構想」をリードしている技術と人材が、月面でのスマート構想へ進出する。
・成果として、次の「第5次産業革命」が興る。その舞台は宇宙であり、インフラの主役はS-W-Wである。

実現イメージ

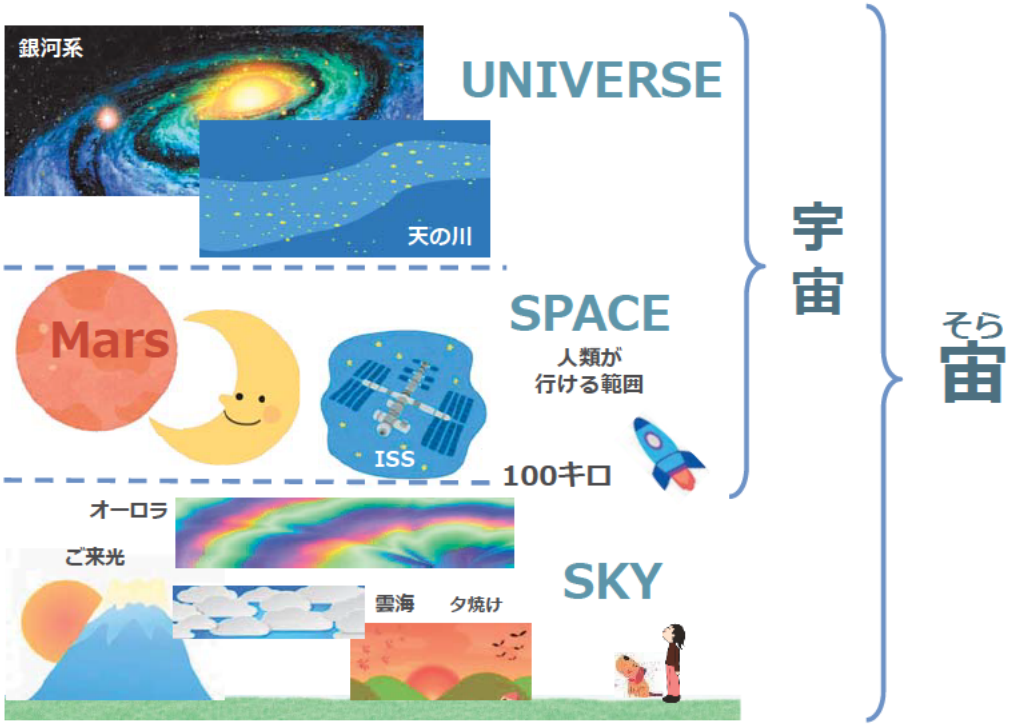
実現方法・時期

・スマート構想を推進しているNEDOのスマートコミュニティアライアンス（2010年設立：会員約260社）が、そのスマート知見を月面に届けることを発表し、経済界全体の注目を獲得する。
・「環境経営フォーラム」2000年設立：会員約150社）をモデルに、経営者に向けた「宇宙経営フォーラム」を設立させ、まずは宇宙における産業基盤構築のために必要な基本知見の共有から着手する。

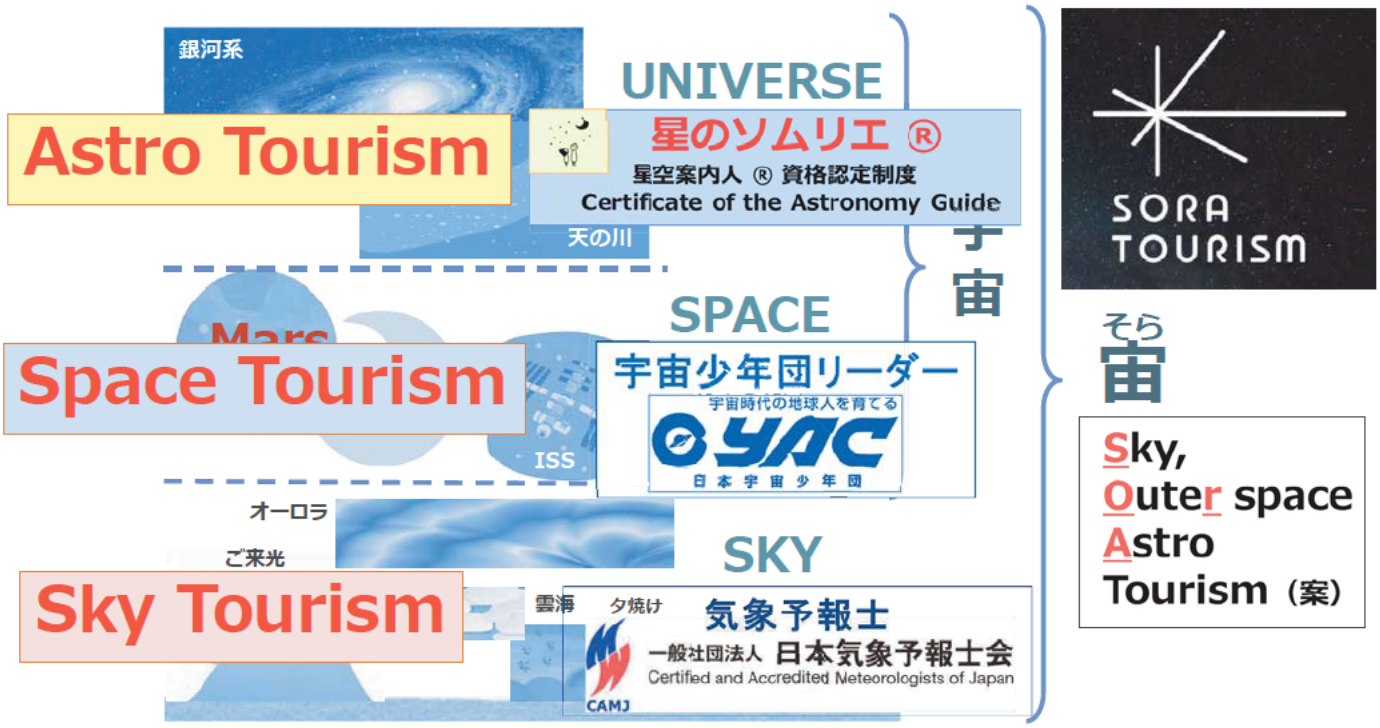

観光
グルメ
宇宙
マーケティング
スポーツ
エンタメ

観光

★宇宙の領域＝宙（そら）★


銀河系
UNIVERSE
天の川
Mars
SPACE
人類が
行ける範囲
ISS
100キロ
宇宙
そら
宙
オーロラ
ご来光
雲海
夕焼け
SKY

★宙を語る（普及させる）人材★



「宙ツーリズム推進協議会」発起人

究極的には「宇宙へ行く」事を目指す宙ツーリズムですが、まずはその前段階としての様々な勉強旅行や体験学習も応援します。

既に日本全国で高校生や大学生がチームとなり、遙か宇宙への夢を実現する為に、様々な取り組みを行っています。これらの共同実験や生徒/学生によるプロジェクトなども紹介し、皆さんにもご参加・ご見学行けるような情報発信をしていきます。　秋山演亮

和歌山大学
秋山 演亮教授

つらい時や悲しい時に夜空を見上げたいと思ったことはありますか？
星空を見て気持ちが救われたことが何度か私にはあります。その一方、家族や親しい仲間と一緒に満天の星空を見上げて、とても幸せな気持ちを味わえたことも多々あります。
一人で対峙して自分の過去や未来と語り合う時間も、多くの人たちと共感しあう瞬間も、満天の星空ほどかけがえのない存在はありません。日常を離れ、「宙ツーリズム」に参加して自分自身や他者と対話する素敵な「星空体験」の輪を拡げませんか？
縣　秀彦

科学成果普及機構
縣 秀彦准教授

宙ツーリズム準備委員会では、各地域の『空』や『宇宙』に関する資源を有機的に結びつけていきたいと考えています。

将来的には、宇宙旅行時代を見据え、地球と宇宙との文化の架け橋になることを期待しています。

山崎直子

元JAXA宇宙飛行士
山崎 直子

電通 宇宙ラボ
荒井 誠

テーマ別観光による地方誘客事業

別紙2　国土交通省 観光庁

国内外の観光客が全国各地を訪れる動機を与えるため、**特定の観光資源**に魅せられて日本各地を訪れる**「テーマ別観光」のモデルケースの形成を促進**し、地方誘客を図る。

平成３０年度選定テーマ

- エコツーリズム
- 街道観光
- 酒蔵ツーリズム
- 社寺観光 巡礼の旅
- 明治日本の産業革命遺産
- ロケツーリズム
- アニメツーリズム
- 古民家等の歴史的資源
- サイクルツーリズム
- 全国ご当地マラソン
- 日本巡礼文化発祥の道
- 忍者ツーリズム
- 百年料亭
- Industrial Study Tourism
- ONSEN･ガストロノミーツーリズム
- 郷土食探訪 ～フードツーリズム～
- 宙ツーリズム

計１７テーマ

ネットワーク化のイメージ

本事業で実施できる取組の例

1. 観光客のニーズや満足度を調査するためのアンケートやモニターツアー
- ○観光客のニーズやターゲット層の把握等の基礎調査や満足度を検証し、地域資源を磨き上げるためのアンケートやモニターツアー

2. 観光客の受入体制の強化に係る取組
- ○１の調査結果等で得られた知見を構成団体間で共有するマニュアルの作成
- ○旅行商品の造成

3. 1の調査結果等を踏まえた情報発信
- ○共同Webページ、パンフレット、マップの作成
- ○各種PR（旅行博等への出展やSNS等を用いた情報発信）

4. ネットワーク拡大に向けた取組
- ○同じテーマを観光資源とする団体や地域に関する実態把握のための調査
- ○シンポジウムやセミナーの開催

期待される効果

旅行者
- 特定のテーマに関心の高い旅行者にとって**より魅力的な旅行を享受**

地　域
- 旅行者の複数地域への**来訪需要を創出**
- 地域間で課題や**成功事例を共有**することによる、**効果的な観光振興策を推進**

宙ツーリズム会員　自治体・団体 (2018年8月現在)

「ツーリズムEXPOジャパン2018」@東京ビッグサイト　2018.9.22

宙ツーリズムの紹介	電通宇宙ラボ　荒井 誠
星空観望の魅力	宙ツーリズム推進協議会 代表　縣 秀彦
鳥取県は星取県	鳥取県　井田 広之
宇宙ライバル県対決	縣 vs 井田
宇宙旅行の魅力	元JAXA宇宙飛行士 山崎 直子
ロケット打上見学の迫力	日本旅行　中島 修
いよいよ始まる宇宙旅行	クラブツーリズム・スペースツアーズ　浅川 恵司
JAXAの施設も面白い	宇宙航空研究開発機構 岩本 裕之
宇宙エンタメを楽しもう	オスカープロモーション 望月 貴弘

「ツーリズムEXPOジャパン2018」@東京ビッグサイト　2018.9.22

グルメ

☆新しい食市場・食文化を興す「宙グルメ」☆

Gourmet in Space

Gourmet on Earth

南極食の進化

南極食1.0	南極食2.0	南極食3.0
食料をもっていく	食材をもっていき、調理する	食材を栽培する家畜を育てる
保存食開発	南極料理人	極産極消
長期保存のための冷凍技術やフリーズドライ開発	メニューの多様化 食材をもちこみ調理 手打ちそばや、流しそうめんも提供	現地で野菜の水耕栽培 もやし、きゅうり、二十日大根、ミニトマト、苺

宇宙食の進化

宇宙食1.0	宇宙食2.0	宇宙食3.0
食料をもっていく	食材をもっていき、調理する	食材を栽培する家畜を育てる
宇宙食開発	宇宙料理人	宙産宙消
真空パック 常温乾燥技術	ロボット・AIも活用 （３Dフードプリンター） Bake in Space（欧州）	スマート農業 袋内栽培 遠隔技術・IoT

「宇宙日本食」提供企業

（2018年8月時点）

大塚製薬	日清食品	森永製菓	ロッテ
尾西食品	ハウス食品	山崎製パン	三基商事
キッコーマン	マルハニチロ	ヤマザキビスケット	亀田製菓
キューピー	三井農林	理研ビタミン	越後製菓

出典：JAXA／NASA

「宇宙日本食」のポテンシャル

- 「宇宙日本食」の強み
  - 世界の宇宙飛行士に好評
  - 日本だけがトップ食品メーカーが独自に研究開発し提供

出典：JAXA／NASA

- 日本食は“世界ブランド”
- 日本人はグルメ好き

➡ブレイクのポテンシャル

宇宙食1.0（宇宙食の進化）

スペースシャトル時代
加工食品
ボーナス食

ISS時代
ISS Food Plan
宇宙日本食

アポロ時代
フリースドライ
レトルト

60年代初期
チューブ式
一口サイズ

出典：NASA

新鮮な野菜や果物も持っていけるようになりました。

出典：JAXA／NASA

出典：日本旅行

「こうのとり」で運んだ河内晩かんや清見など果物を
浮かべる油井亀美也宇宙飛行士

宇宙食2.0

- **「持っていく料理」→「そこで調理する料理」**
  - 無重力空間だからこそ調理できる食品や料理を開発

    レシピ案：
    「宙カクテル／宙ムース」
    無重力でしか混ざらない
    ドリンク／食材を

イメージ写真

- **ISSの商業利用を活用**
  - ISS内でパンを焼く実験（2020）
    ドイツ航空宇宙センター開催の
    Start-up Challengeで優勝。

http://bakein.space/

  - ３Dフードプリンターによる調理
    「OPEN MEALS プロジェクト」

http://www.open-meals.com/

http://www.open-meals.com/

食のイノベーションを宇宙での食に活かす

-大豆を使ったヘルシーフード

大豆や玄米の栄養をそのままに、まるでお肉のような食べごたえを実現する「ZEN MEAT」
地上の健康食品を宇宙へ。

ZEN MEAT
出典：（株）SEE THE SUN

-ユーグレナ 食料としての可能性

地球上でも食品として普及しつつある
59種類の栄養素を持つユーグレナを、
月面や火星でも大量培養・食品供給し、
有人宇宙活動で活用する可能性も。

出典：（株)ユーグレナ

-純肉培養技術

細胞培養による食糧生産として純粋に筋肉細胞だけを増やして作る食材「純肉(clean meat)」の培養技術を、将来は宇宙食へ適用。

火星の純肉培養工場（イメージ図）
出典：Shojinmeat Project

ダイバーシティへの対応

ANAの機内食メニューの一部
（ANAウェブサイトより）

ベジタリアンミール

糖尿病対応ミール

7品目アレルゲン（小麦、蕎麦、乳製品、卵、落花生、えび、かに）を使用しないスペシャルミール

ヒンズー教徒用ミール

ユダヤ教徒用ミール

ベビーミール

チャイルドミール

「宙弁」リフトオフ前に買って持ち込む

＋ 宙弁

“空”と“宇宙”がコラボした「宇宙フライト2018」

（ANAウェブサイトより）

Gourmet in Space

Gourmet on Earth

出典：パソナ

【やってみたい！未来の宇宙のお仕事ランキング】

PASONA宇宙産業プロジェクト

受付期間:2016/9/20～10/4　集計方法:Webアンケート(選択式)　回答数:483件

出典：パソナ

順位	職種	内容
1	宇宙食開発	宇宙環境で必要な栄養素を摂取するための宇宙食や、宇宙環境化での調理方法の企画・開発
2	宇宙旅行	宇宙旅行及び宇宙結婚式などの関連商品の企画・販売、渡航手配、添乗などを行う
3	宇宙エンターテイナー	宇宙環境を利用した音楽、アート、演劇、ショー、アトラクションの企画・実行
4	宇宙メディア	宇宙関連のニュース・商品やイベントレポートなどの情報発信や、広告・宣伝を行う
5	宇宙農業	宇宙環境を利用し、植物工場などによる宇宙野菜・果物の生産を行う
6	宇宙資源探査	月や火星などで、新しい資源を探査する
7	宇宙関連グッズ企画・販売	宇宙に関連した商品の企画・販売を行う
8	宇宙天気予報	宇宙空間の風速・太陽エネルギーの影響・磁場強度などの情報を観測し、提供する
9	宇宙警察官	スペースデブリ（宇宙ゴミ）の監視や、宇宙空間のロケット・輸送機の交通規制・救助・復旧活動を行う
10	天文学者	更なる宇宙の謎を解明すべく、研究を行う
11	宇宙スポーツ	無重力あるいは、月の6分の1の重力環境を行かしたスポーツの開発し、コーチとして活躍する
12	宇宙建築・建設	宇宙港や射場、宇宙住居やホテル等の設計、建築、整備を行う
13	宇宙省	宇宙に関する政策を立案する・外交、法整備などを行う
14	宇宙データマップ製作	衛星データを用いた地図の作成と、ナビ・ゲームアプリなどへの応用開発
15	海外宇宙ビジネス営業	国際間の宇宙ビジネスの架け橋として、営業・交渉・調整などを行う
16	宇宙パイロット・CA	宇宙船や探査機の操縦を行う・乗客へのサービス、サポート、安全管理を行う
17	宇宙探検家	宇宙を舞台に有人あるいは無人で探査を行う
18	宇宙デザイナー	宇宙服、宇宙機、その他宇宙に関する物品のデザインを行う
19	宇宙研究家・学者	宇宙に関する、科学、工学、歴史、経済等について調査・研究を行う
20	宇宙VR映像事業	宇宙旅行体験や、宇宙飛行士訓練に使用する、宇宙映像を活用したVRコンテンツの企画・販売

Gourmet on Earth

- 「宙キッチン」
  - 子供から大人まで、宇宙食の試作や思い思いの「宙グルメ」調理を楽しめる
    - 例：・キッザニア「宇宙食を作ってみよう」
      実際の宇宙食の試作にチャレンジ
      ハイチュウ森永製菓とコラボ
      ・カンドゥー（JAXA協力）
      「スペースセンタークルー」活用

出典：JAXA

https://www.kandu.co.jp/

- 「食育」
  - 「宇宙食」を実際に創ってみるトライアル
    実施例：鹿児島県山下小学校「宇宙キッチン」
  - 地元の食材を使った給食メニュー
  - 9月12日「宇宙の日」、希望の小学校では、給食は宇宙食（例えば、カレー：ハウス食品）

出典：JAXA

Gourmet on Earth

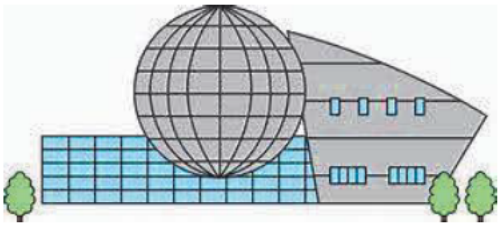
- 「宙」をモチーフとした食品＆メニュー開発
  - 「星座」
    - １２星座の年間ラインナップ
  - 「十五夜」お供えのお団子
  - 「中秋節」月餅
  - 「うさぎの餅つき／月」お餅

- 「七夕」
  節分の恵方巻のような話題の食づくり

  7月7日は「そうめんの日」

Gourmet on Earth

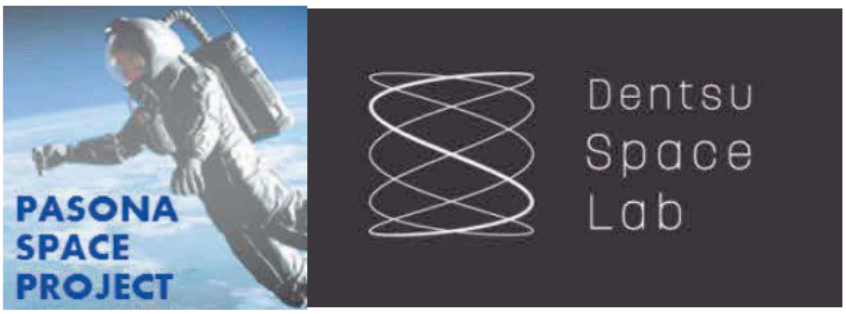
- 「宙」施設で展開
  - 天文台・プラネタリウム・科学館



ライバルは「ダムカレー」！

http://damcurry.pw/

チーム 宙グルメ



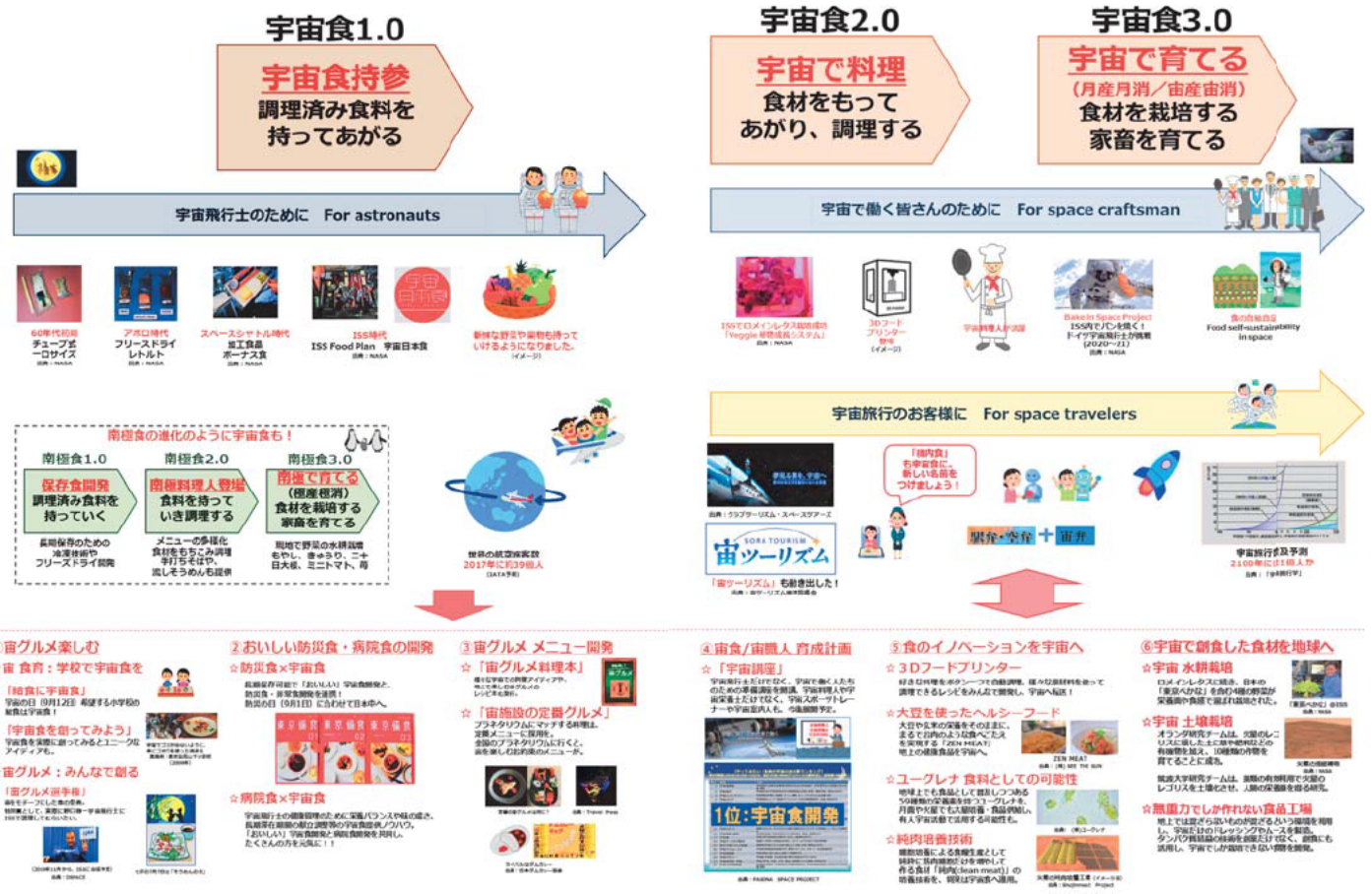
ISEF2で展示・発表 2018.3
パソナ宇宙プロジェクト＋電通宇宙ラボ
協力：JAXA宇宙食チーム

宇宙探査時代の「食」を考える
～宇宙食のこれまでとこれから～

人類がフロンティアに挑む時、
そこには常に「食」の問題が存在した。
塩漬け、干物、瓶詰、缶詰など、食の技術が進歩するたびに、
我々はより遠くへ、より安全に旅を続けることが可能になった。
まもなく到来する宇宙旅行時代、そして将来の宇宙探査時代においても、
食は欠かすことのできないものである。
宇宙食といえばかつてはチューブ入りやフリーズドライが一般的だったが、
現在ではNASA のスペースフードラボで開発された物や、日本の「宇宙日本食」など、
レトルトから缶詰、お菓子にいたるまで、そのメニューは300 種を数える。
宇宙での滞在がより一般的になり、時には長期に渡るようになれば、
さらなるバラエティ／ダイバーシティが求められることだろう。
宇宙食開発は、最先端テクノロジーや日本が誇る食技術を駆使した
「未来の食のあり方」と密接につながっている。
宇宙で生まれた「食イノベーション」が地球へと広がっていく可能性も考えられよう。
さらに、宇宙食を通すことで人々が宇宙を身近に感じることもできる。
人類が月、火星へと歩みを進める上で、理解を深める手助けとなるに違いない。
これまでごく一部の選ばれた人間しか席に着くことが許されなかった
「宇宙のテーブル」が、いま変わろうとしている。
それは「地球のテーブル」にもインパクトを与えうる、大きな可能性を秘めている。
私たちは、その二つのテーブルを彩る「宙（そら）グルメ」を、
皆さんと一緒に創っていきたい。

火星までの長～い旅行中、何を召し上がるのですか？

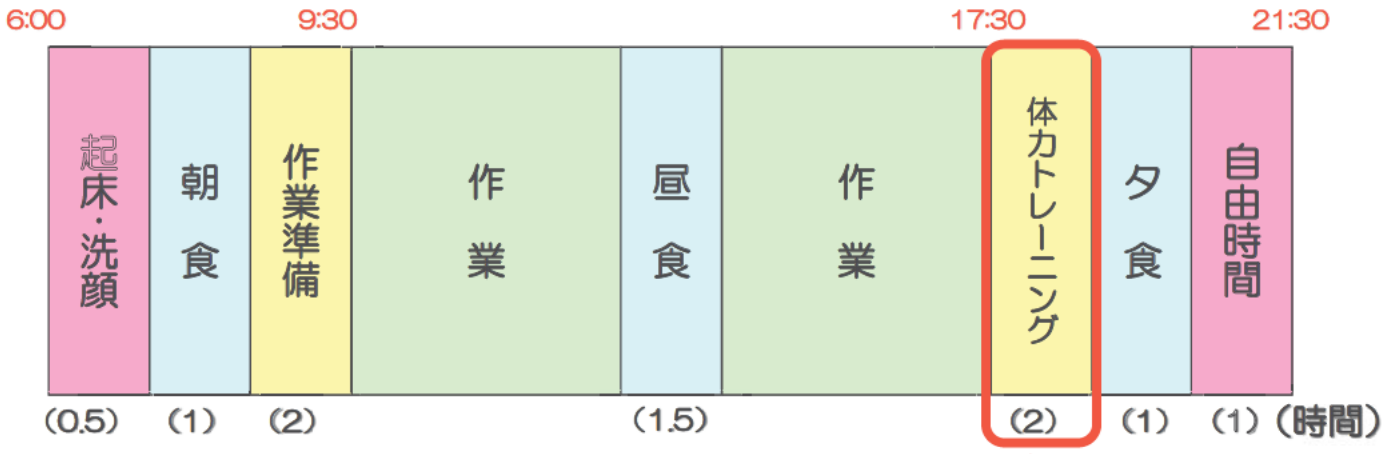
What Will You Eat for Dinner on Your Lo-o-ong Trip to Mars?



宇宙飛行士の退屈なトレーニング

スポーツ

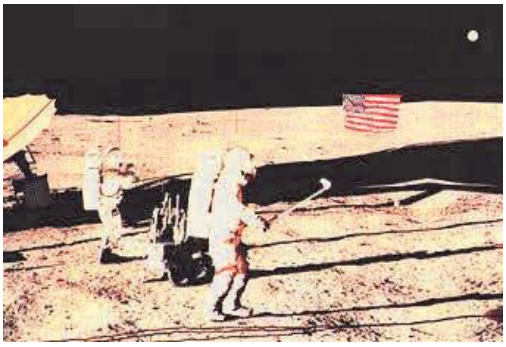
（2時間／日 @ISS）



若田宇宙飛行士

出典：JAXA

宇宙飛行士はスポーツが楽しみ



人類初の月面スポーツ「ゴルフ」
シェパード船長アポロ14号 1971年

空飛ぶじゅーたんを披露する
若田宇宙飛行士

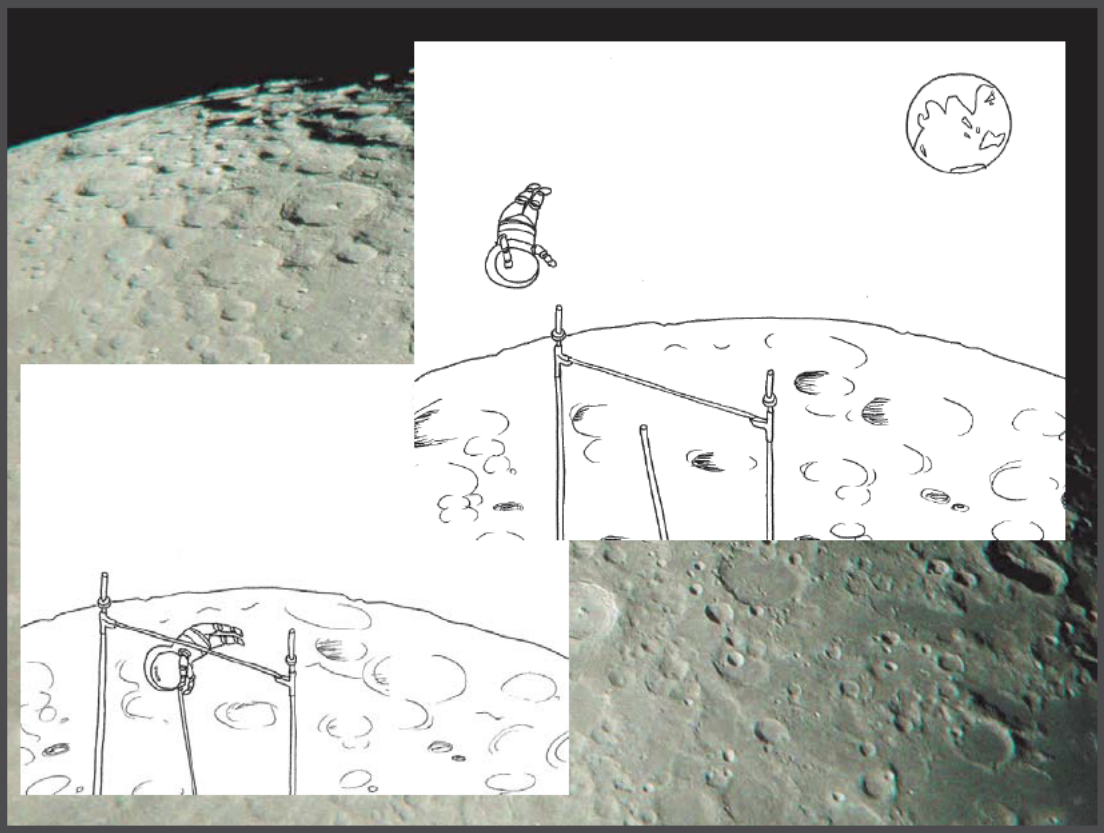
無重力サッカーを楽しむ
宇宙飛行士たち

出典：JAXA／NASA

人類は近い将来、月へ旅行したり滞在したり、生活することもできるようになるだろう。将来、月で楽しむ、月ならではのスポーツが生まれ、月面で競技大会が開催されることがあるかもしれない。未来を「今」実現できる「VR（仮想現実）」を駆使して、月面ならではのスポーツを開発しよう！

Moon Olympics

Pole-jumping on the moon



【月面オリンピック(仮称)※】

(応募者名:荒井 誠)

※「オリンピック」呼称はIOCからの承認が必要

背景・課題

- 人類が育んだ貴重な資産である「スポーツ」を、宇宙の象徴である「月面」というスタジアムに届けたい。開発のための開発ではなく、掲げた夢の実現に向け、これまで培った宇宙開発技術のリソースと、地球上の英知が結集し、大きなイノベーションが起きる。
- アポロを超え、人類がこの生中継にくぎ付けになる。それを可能にするためにS.W.W.はさらに進化を遂げる。
- 同時に進む、宇宙空間の「スポーツ医学」の研究開発は、宇宙 飛行士の健康促進だけでなく、来たる宇宙旅行・宇宙生活を、健康に快適に楽しむための環境づくりに大きく活きる。

2030年のエンタメ・スポーツ・観光@宇宙
宇宙×ICT(総務省 2017.6)

実現イメージ
実現方法・時期

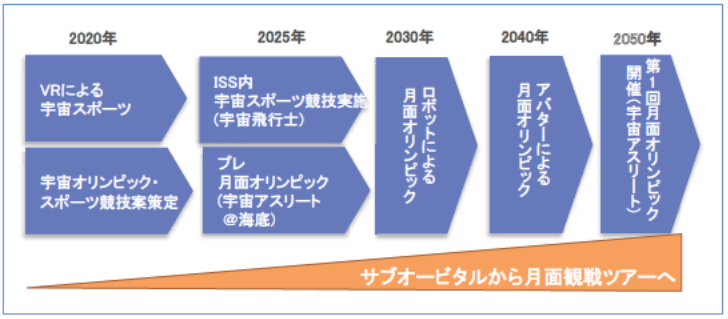
人類が初めて地球外の「星」で開催する宇宙平和祈念イベント「月面オリンピック」(仮称)※

【推進体制】

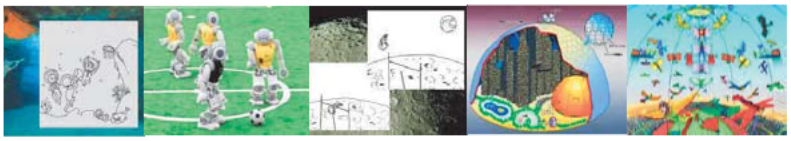
(宇宙機関) 国際連合 宇宙局 (UNOOSA)		×	(広告業協会) 国際広告協会 (IAA)	⇒	(推進体制) 国際宇宙マーケティング推進委員会 (ISMC)	×	(オリンピック組織) 国際オリンピック委員会 (IOC)	⇒	(オリンピック組織) 宇宙オリンピック委員会 (SOC)※
日本	JAXA	×	JAAA	⇒	JSMC				
米国	NAXA	×	AAAA	⇒	ASMC				
欧州	ESA	×	EAAA	⇒	ESMC				
ロシア	Roscocmos	×	AKAR	⇒	RSMC				
	⋮		⋮		⋮				

※「宇宙」としている理由は、将来的に、月面だけでなく、宇宙空間や火星でのオリンピック開催を目指しているからである。

【ロードマップ】



- 各国の宇宙関連機関と広告業界により「国際宇宙マーケティング推進委員会」を立ち上げ、事業の推進母体とする。
- 広告業界全体が「宇宙マーケティング」という観点で、宇宙開発に寄与していく。
- その象徴的なイベントとして「月面オリンピック」構想を、国際オリンピック委員会(IOC)と連携する形で「宇宙オリンピック委員会を発足させ、ビジネススキームを構築していく。
- 1984年、IOCが電通と組んで、初めて民間スポンサーシップをオリンピックに採用した、そのスキームがモデル。



海中のプレオリンピック(バスケットボール)　「ロボカップ世界大会」　月面オリンピック競技 例:「棒高跳び」跳びすぎると降りてくるまで時間がかかる　1気圧の空気を内包した人工空間(ムーンドーム)で、鳥のように美しく舞う競技も面白い

Roadmap to "Moon Olympics"

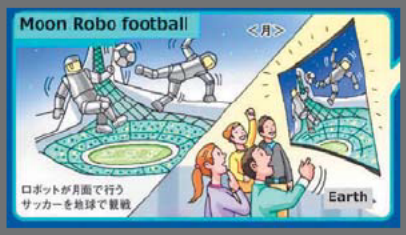
(Space Marketing)
ISMC
- JSMC
- ASMC
- ESMC
- RSMC
- ⋮

Establishment of ISMC
•2019

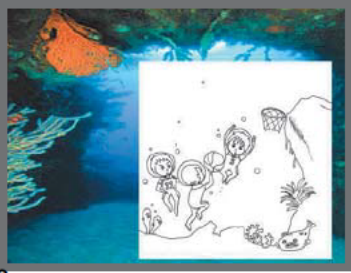
"MO" by Avatars
•2028

First "MO" by Astronauts
•2036

"MO" by Robots
•2024

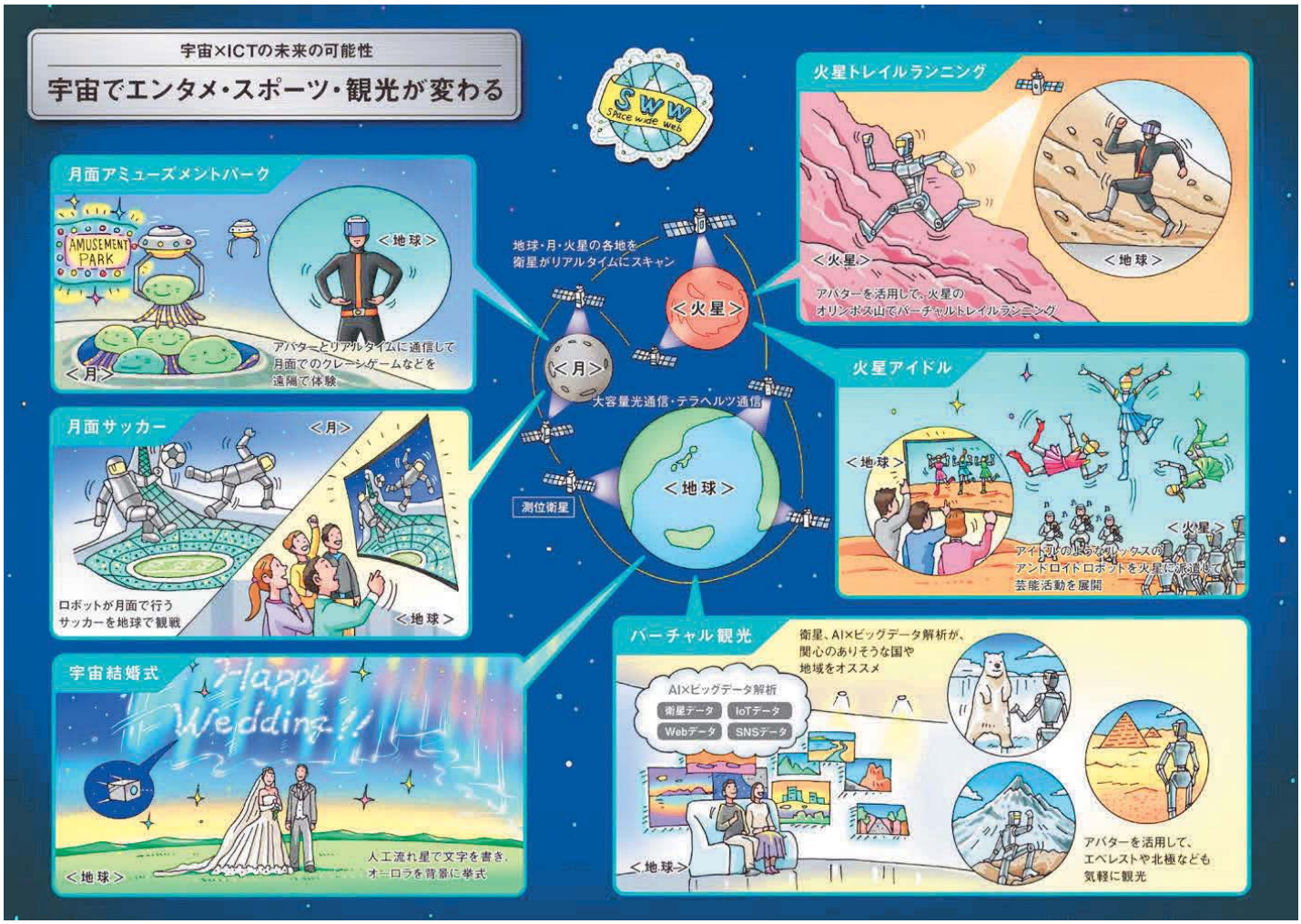


Pre "MO" (Underwater)
•2032

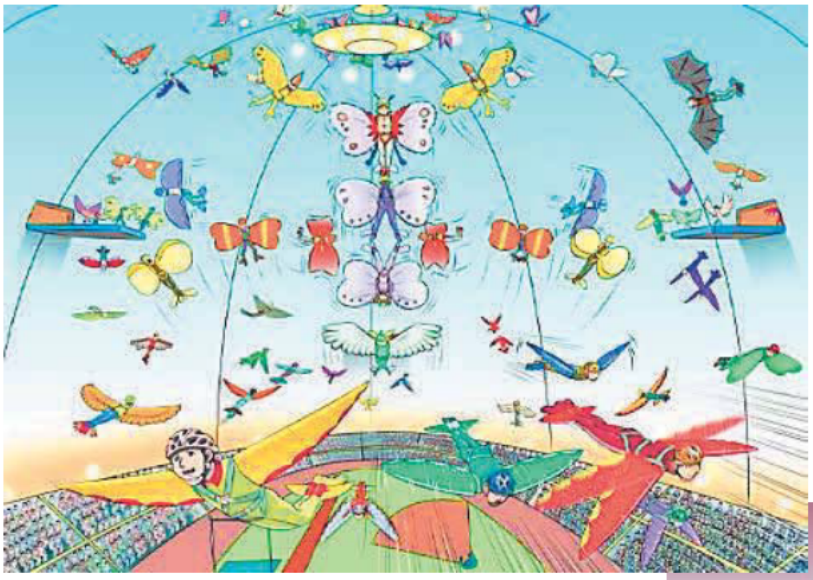


International Space Marketing Committee (ISMC)

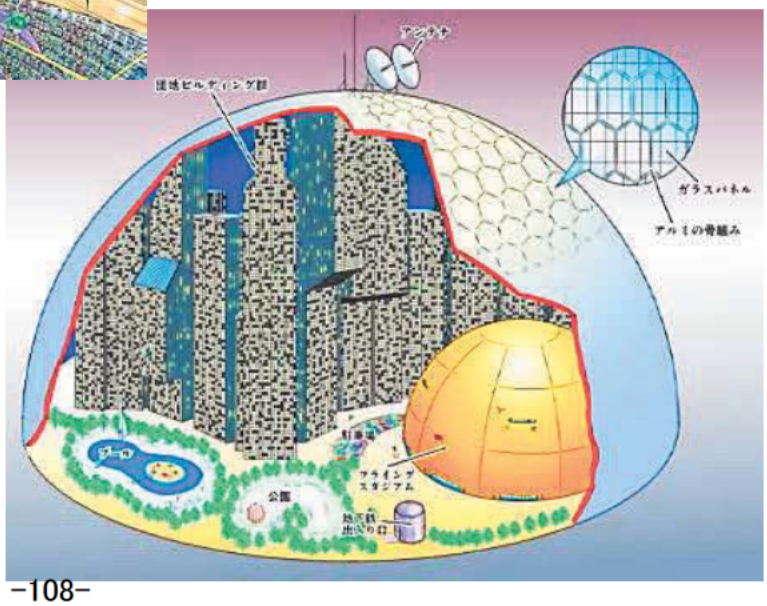
	(Space)		(Advertising)		(Space Marketing)
	UNOOSA	×	IAA	⇒	ISMC
Japan	JAXA	×	JAAA	⇒	JSMC
USA	NASA	×	AAAA	⇒	ASMC
Europe	ESA	×	EAAA	⇒	ESMC
Russia	Roscocmos	×	AKAR	⇒	RSMC
	⋮		⋮		⋮

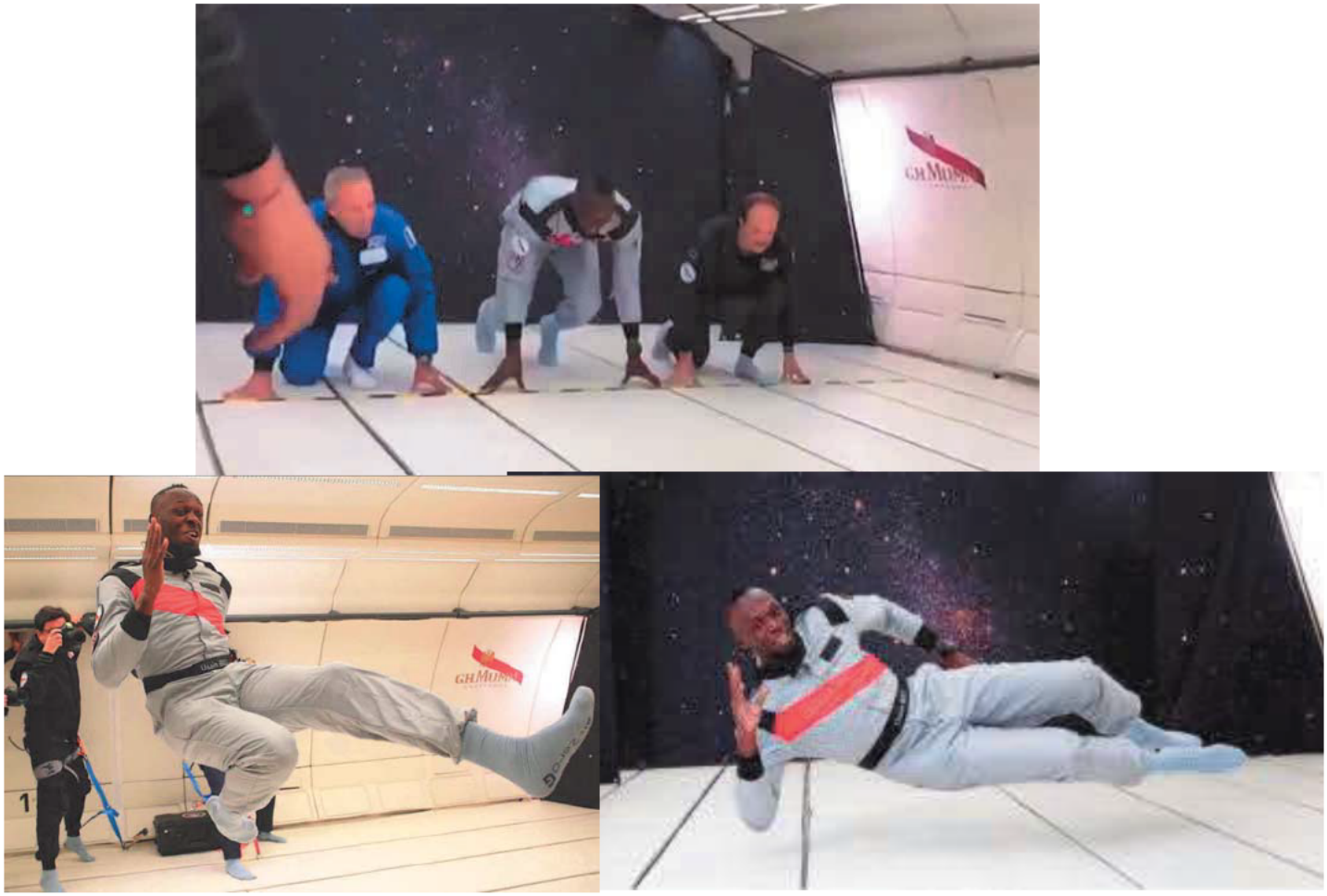


宇宙×ICTに関する懇談会報告書　2016　p.61



Flying in a Moon Dome

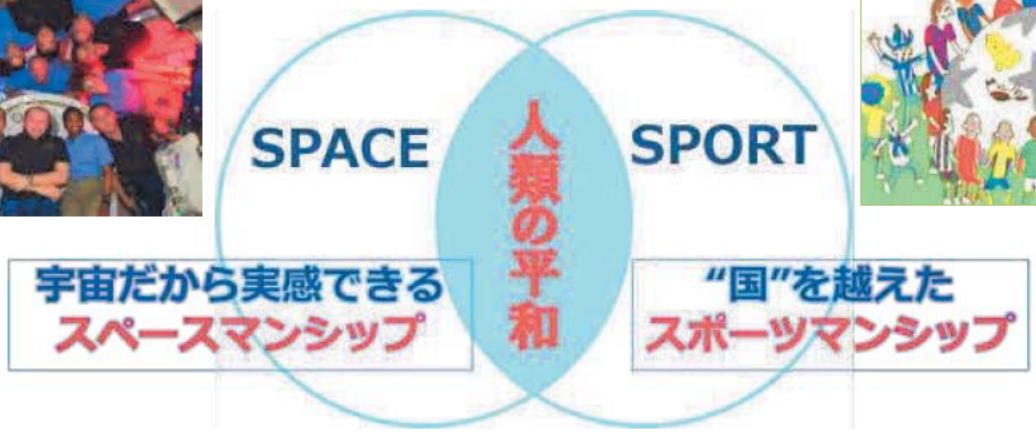




Usain Bolt running in zero gravity, says it's 'out of this world experience' 2018.9
https://gfycat.com/gifs/detail/weepybigegg

「スペースマンシップ」

「LOVE&PEACE」を目指す未来の宇宙時代に、人類最高の資産である「スポーツマンシップ」に加え地球人としての自覚「スペースマンシップ」を世界中に享受することで、恒久平和への熱い想いが醸成される。



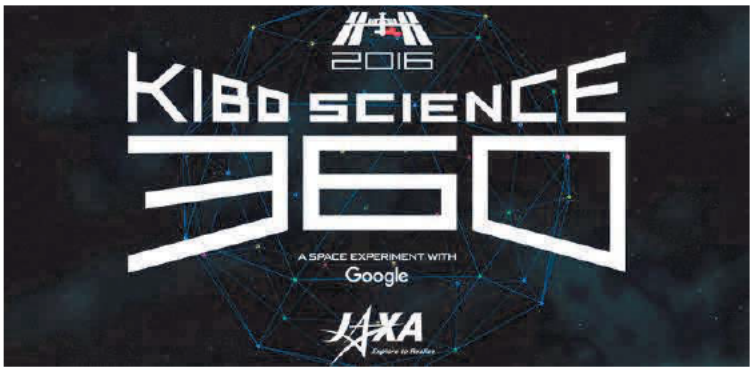
オスカープロモーション
芸能界初！宇宙戦略プロジェクト　宇宙事業開発本部発足

2017年3月1日

『宇宙×エンターテインメント』で、
宇宙（ソラ）を遊び場にするプロジェクト
「みんなの宇宙（ソラ）」プロジェクトSTART！

2016 年3 月に内閣府宇宙開発戦略推進事務局が設立した
スペース・ニューエコノミー創造ネットワーク（S-NET）※1。
そのS-NET のビジネス相談窓口であり、無限の可能性を秘めた宇宙を舞台に、
新たなビジネスの創出を支援するプラットフォーム『宇宙ビジネスコート』が
コーディネートし実現する新プロジェクトがスタートします。

©2018 OSCARPROMOTION CO.,LTD. All Rights Reserved.

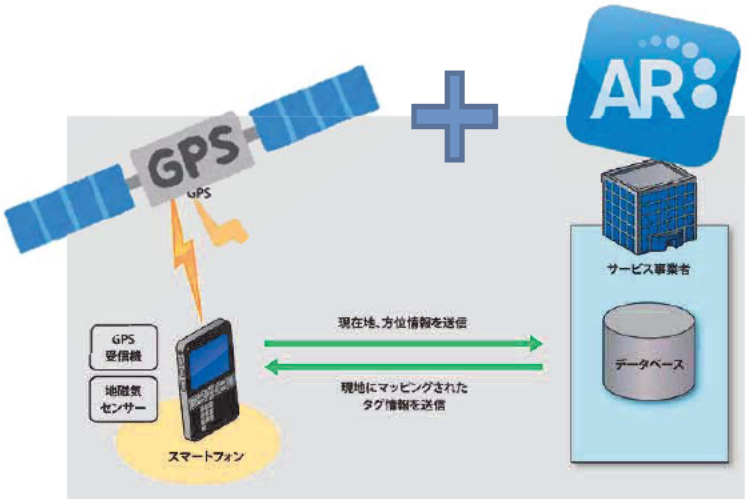


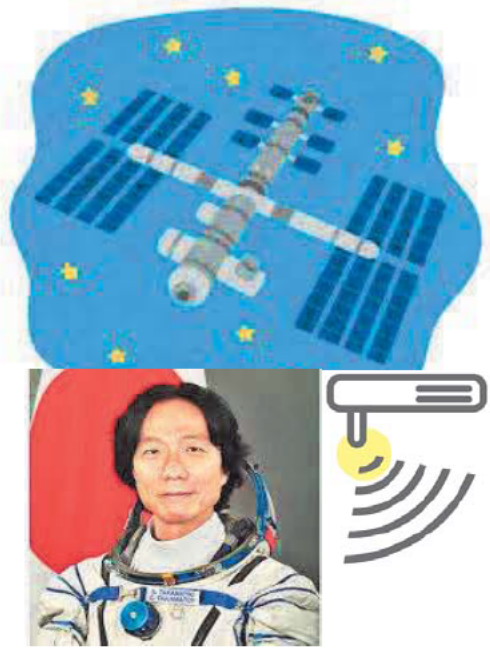
2016/10/26 - KIBO SCIENCE 360 - A Space Experiment with Google
ISS 滞在中の大西卓哉宇宙飛行士と地上とを繋ぎ、さまざまな宇宙実験に挑戦する複合型イベント

http://stage.tksc.jaxa.jp/astrosym/kiboscience360/

ポケモン×GPS×AR

コンテンツ×宇宙データ×テクノロジー





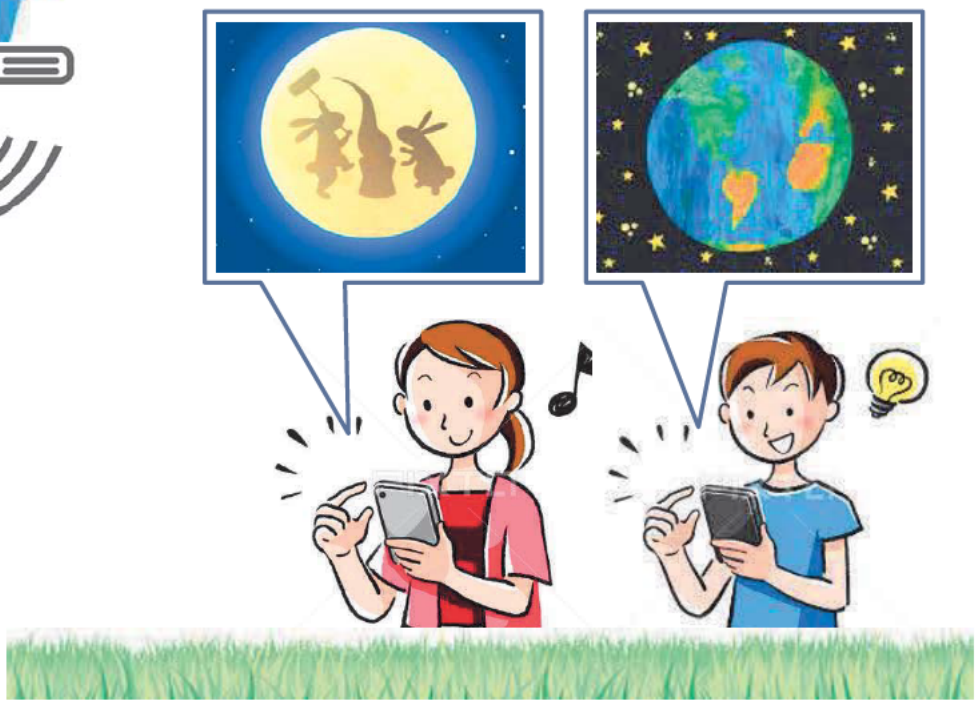
高松聡氏

Social Art Project

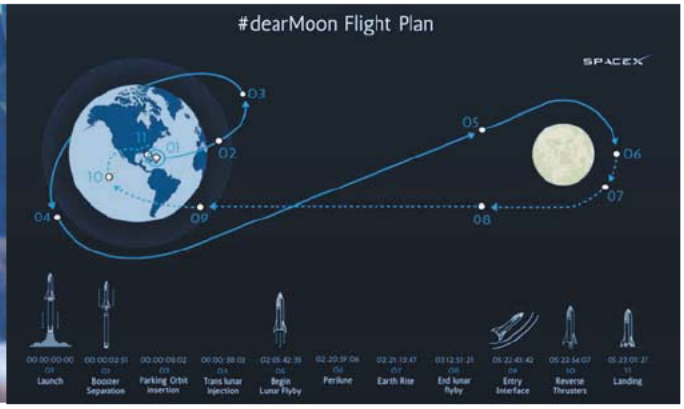
「共有できる宇宙体験」

「宇宙から見る地球」の地上における再現

「宇宙から写真を撮影する」ことを地上から実現



イーロン・マスク氏と前澤友作氏の会見



dearMoonプロジェクトのフライトプラン
2018.9.17　出典：スペースX

「パブロ・ピカソが月を間近に見ていたら、どんな絵を描いたんだろう。ジョン・レノンが地球を丸く見ていたら、どんな曲を書いたんだろう」
「6～8人のアーティストを連れて行きます。もし私から一緒に行こうと言われたら、イエスと答えて、私の招待を受けてほしい。どうかノーと言わないで」

月旅行を楽しんでいる様子の地球への生中継

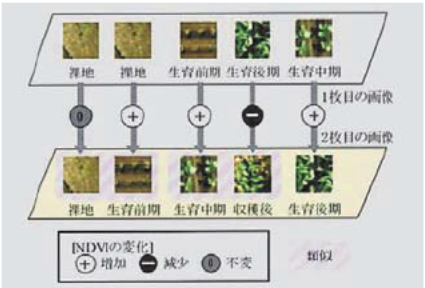
旅行者と地球の応援者との双方向通信

アポロ11号月面中継を超える視聴者のポテンシャル

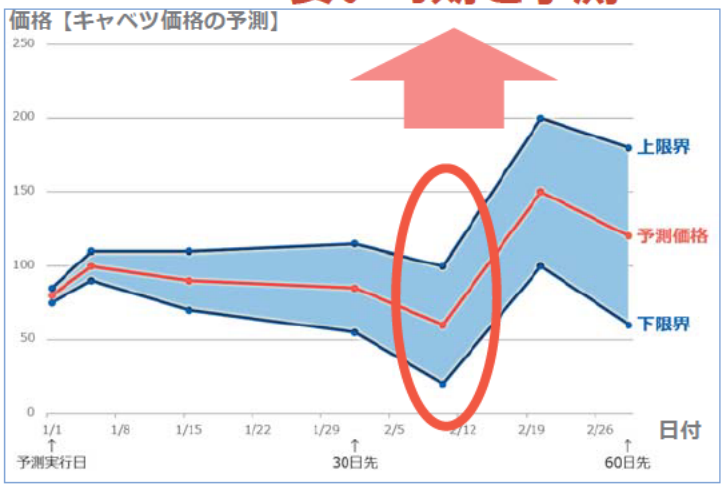
キャベツ価格予測×テレビ広告①

STEP1:キャベツ価格の安い時期を衛星画像解析で予測

衛星画像解析

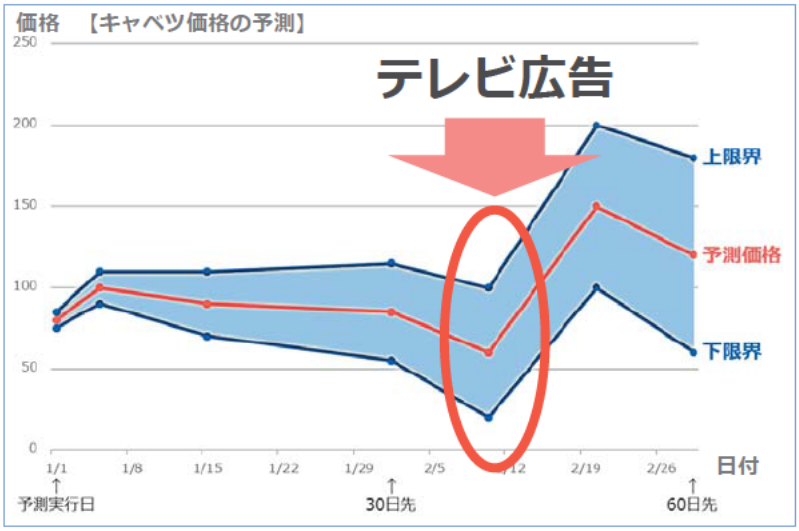


キャベツ価格の安い時期を予測



キャベツ価格予測×テレビ広告②

STEP 2 :キャベツ料理の調味料のテレビ広告をOA



食材廃棄ロス低減にも貢献

宇宙エレベーターは、宇宙と地球を結び、人やモノを運ぶ輸送システムです。

かつては、それを実現する素材が存在せず、夢物語にすぎませんでした。

しかし、1991年に軽くて強い素材、カーボンナノチューブが発見され、宇宙エレベーターの実現性は一気に高まりました。

大林組では、2050年を目指して、一連の技術開発に取り組んでいます。

宇宙エレベーターの構成

全長96,000kmの巨大エレベーター

「カウンターウェイト」 ケーブルの先端にあり、重さのバランスを取る。木星や小惑星への宇宙船を放出する太陽系連絡ゲートでもある。

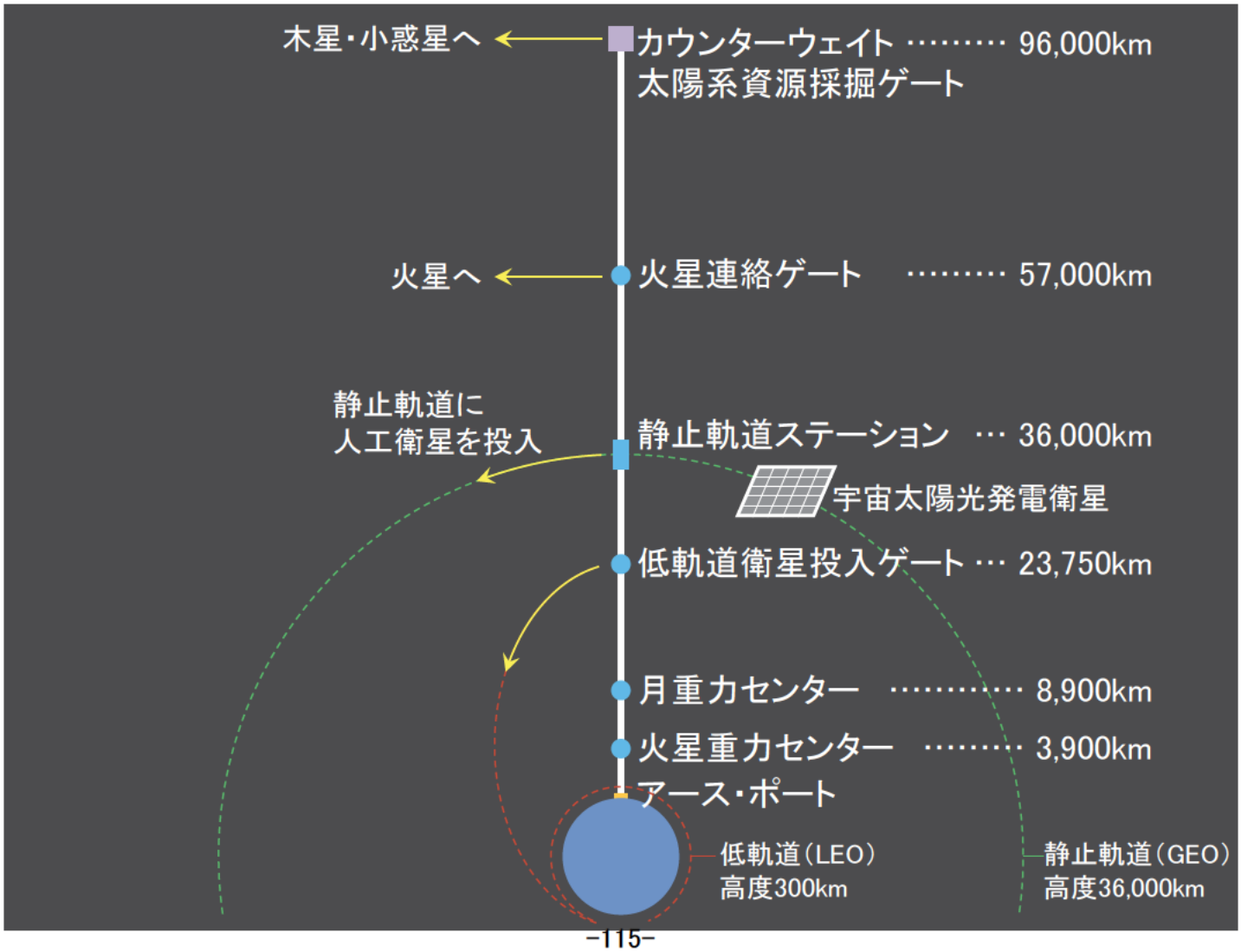
「火星連絡ゲート」 火星軌道に探査機を送るゲート。

「静止軌道ステーション」 宇宙環境を生かしたさまざまな機能を持つ最大規模の駅。大規模な宇宙太陽光発電システムを設置して、大量の電気を地球に送電する。

「低軌道衛星投入ゲート」 人工衛星を低軌道に投入。

「月重力センター」「火星重力センター」 それぞれ月・火星表面上と同一の重力環境を利用した実験・研究・訓練施設。

「アース・ポート」 地球上の発着点。



ケーブルダイナミクス（ケーブルの動き）

ケーブルには、主に、地球の引力と遠心力が反対向きに働き、両側に引っ張られて直立します。

ケーブルの安定性は重要です。

ケーブルに働くいろいろな力を考慮して運動方程式を作り、それをコンピュータを使って解析して、風の影響や、クライマーの昇降によるコリオリ力の影響などを分析しています。

ケーブルの運動方程式（地球中心を原点、地軸を回転軸とする座標系）

$$m_i \frac{d^2 \boldsymbol{r}_i}{dt^2} = -2 m_i \boldsymbol{\Omega} \times \frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} + m_i (\boldsymbol{\Omega} \cdot \boldsymbol{\Omega}) \boldsymbol{r}_i - m_i (\boldsymbol{\Omega} \cdot \boldsymbol{r}_i) \boldsymbol{\Omega}$$

【自転の影響】

質点iの運動量変化率　コリオリ力　遠心力

$$-GM_e m_i \frac{\boldsymbol{r}_i}{|\boldsymbol{r}_i|^3} - GM_{moon} m_i \frac{\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{moon}}{|\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{moon}|^3} - GM_{sun} m_i \frac{\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{sun}}{|\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{sun}|^3}$$

【引力】

地球の引力　月の引力　太陽の引力

$$-k_{i,i+1} \frac{\boldsymbol{r}_{i+1} - \boldsymbol{r}_i}{|\boldsymbol{r}_{i+1} - \boldsymbol{r}_i|} \Delta |\boldsymbol{r}_{i+1} - \boldsymbol{r}_i| + k_{i,i-1} \frac{\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{i-1}}{|\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{i-1}|} \Delta |\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_{i-1}|$$

【伸び縮み弾性力】

$$-\rho_{air} C_D A \left| \frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} - \boldsymbol{U}_{air} \right| \left(\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} - \boldsymbol{U}_{air} \right)$$

【風の空気抵抗力】

$$+ \boldsymbol{F}_{other}$$

【クライマーからの荷重】

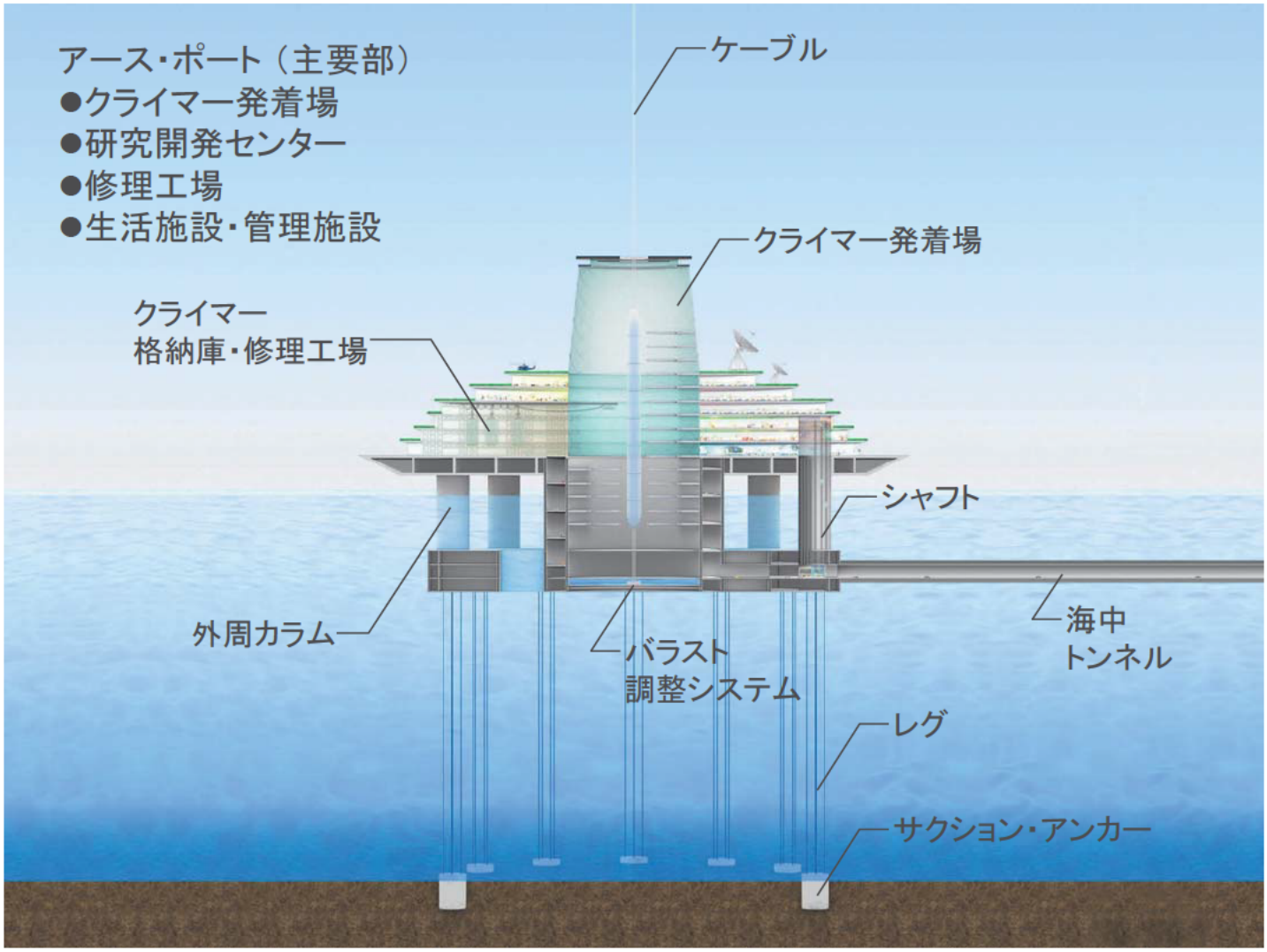
$\times$：ベクトルの外積
$\cdot$：ベクトルの内積
m_i：質点iの質量
t：時間
dt：時間微分

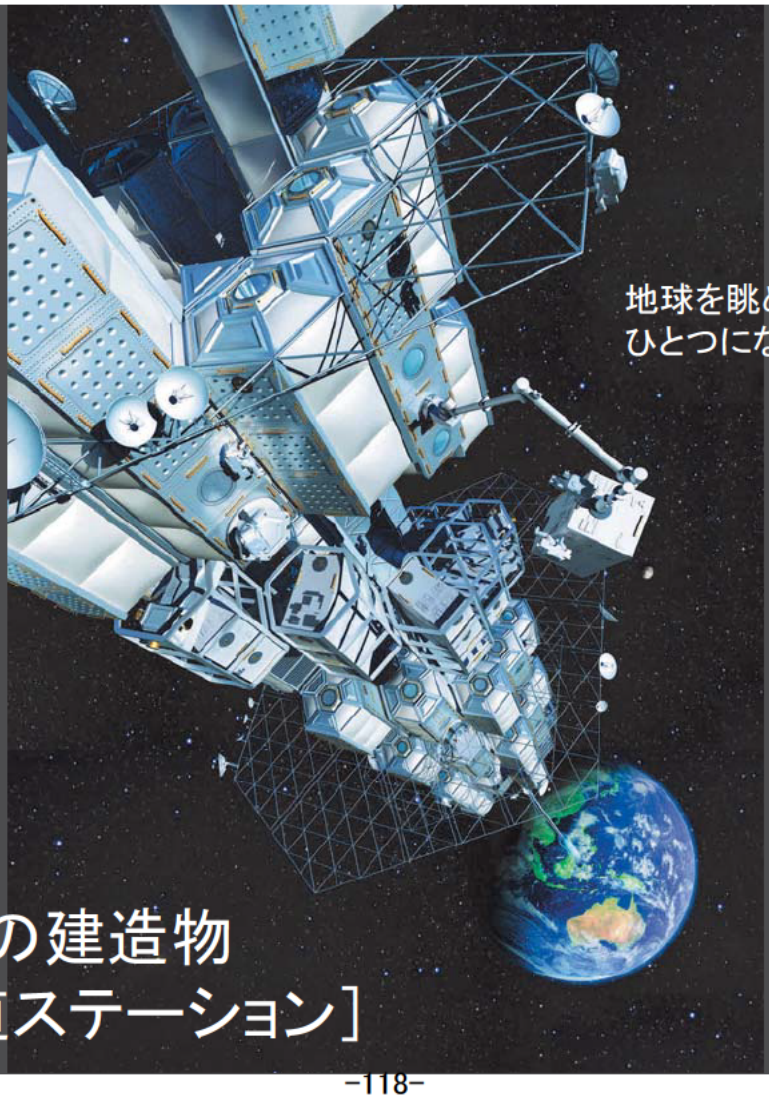
G：万有引力定数
M_e, M_{moon}, M_{sun}：地球、月、太陽の質量
$\boldsymbol{r}_i, \boldsymbol{r}_{moon}, \boldsymbol{r}_{sun}$：質点$i$、月、太陽の位置ベクトル
$\boldsymbol{\Omega}$：地球の自転角速度ベクトル
C_D：風の抗力係数

A：風方向に対するケーブルの投影面積
ρ_{air}：空気密度
$\boldsymbol{U}_{air}$：風速ベクトル
$\Delta|\boldsymbol{r}_{i+1} - \boldsymbol{r}_i|$：質点$i, i+1$間のばねの伸び量
$k_{i,i+1}$：同 ばね定数

海に浮かぶ基地
[アース・ポート]

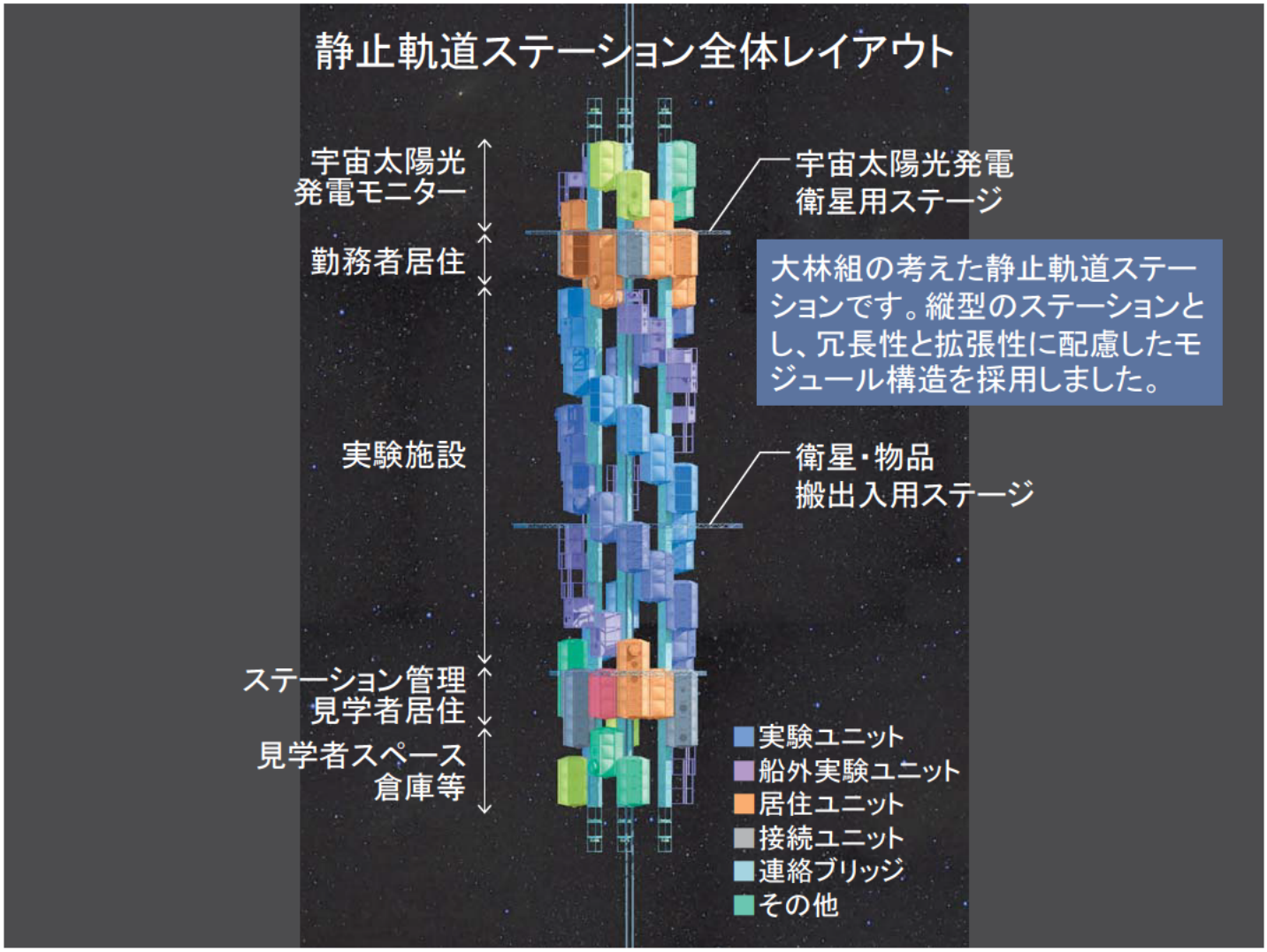
宇宙への旅立ちはアース・ポートから始まります。アース・ポートは、宇宙エレベーターのケーブルを地上に固定し、ケーブルにかかる張力を調整する施設です。同時にそこは、静止軌道ステーションなどの建設中は人や資材の輸送基地となり、最終的には私たちが宇宙とのあいだと往復するための発着場になります。

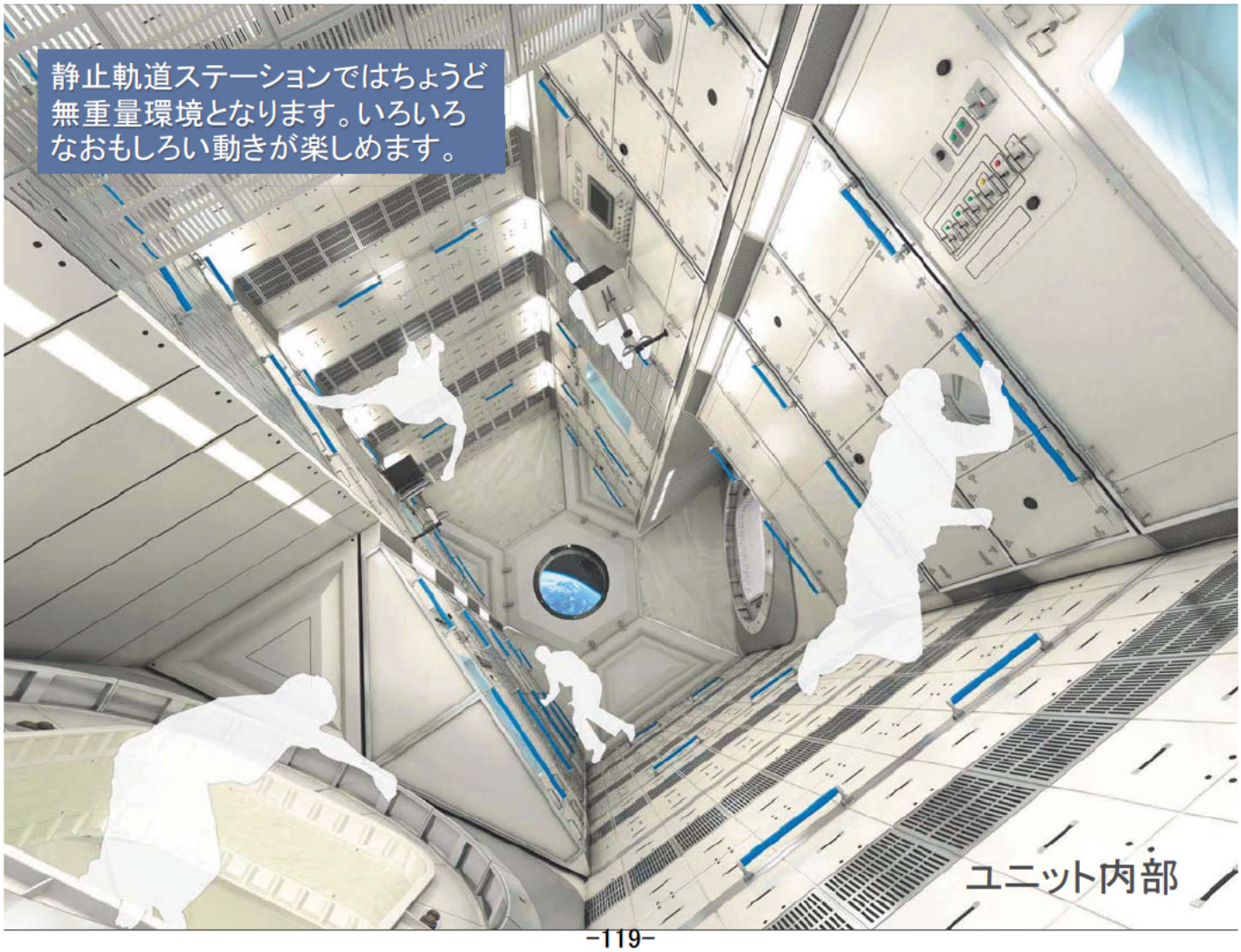




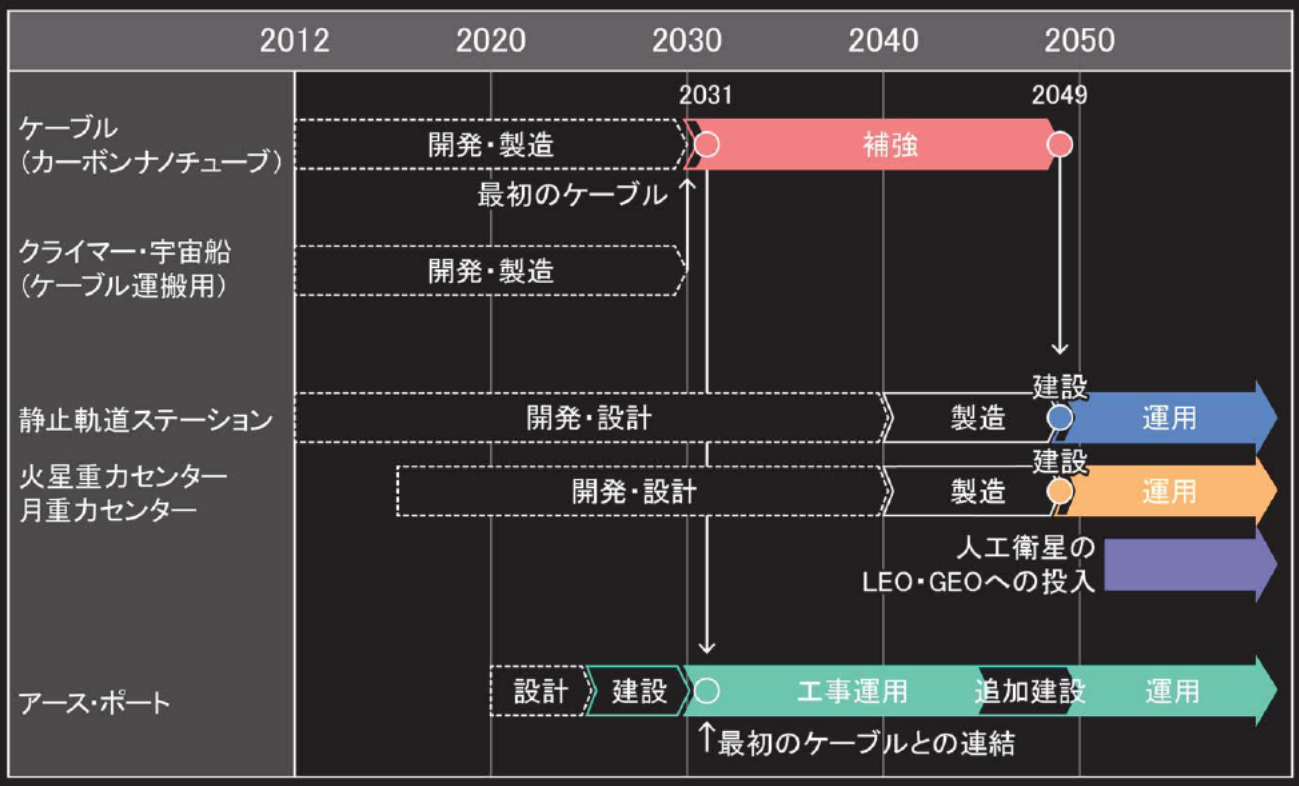
地球を眺めるのが楽しみの
ひとつになるかもしれません。

宇宙空間の建造物
［静止軌道ステーション］

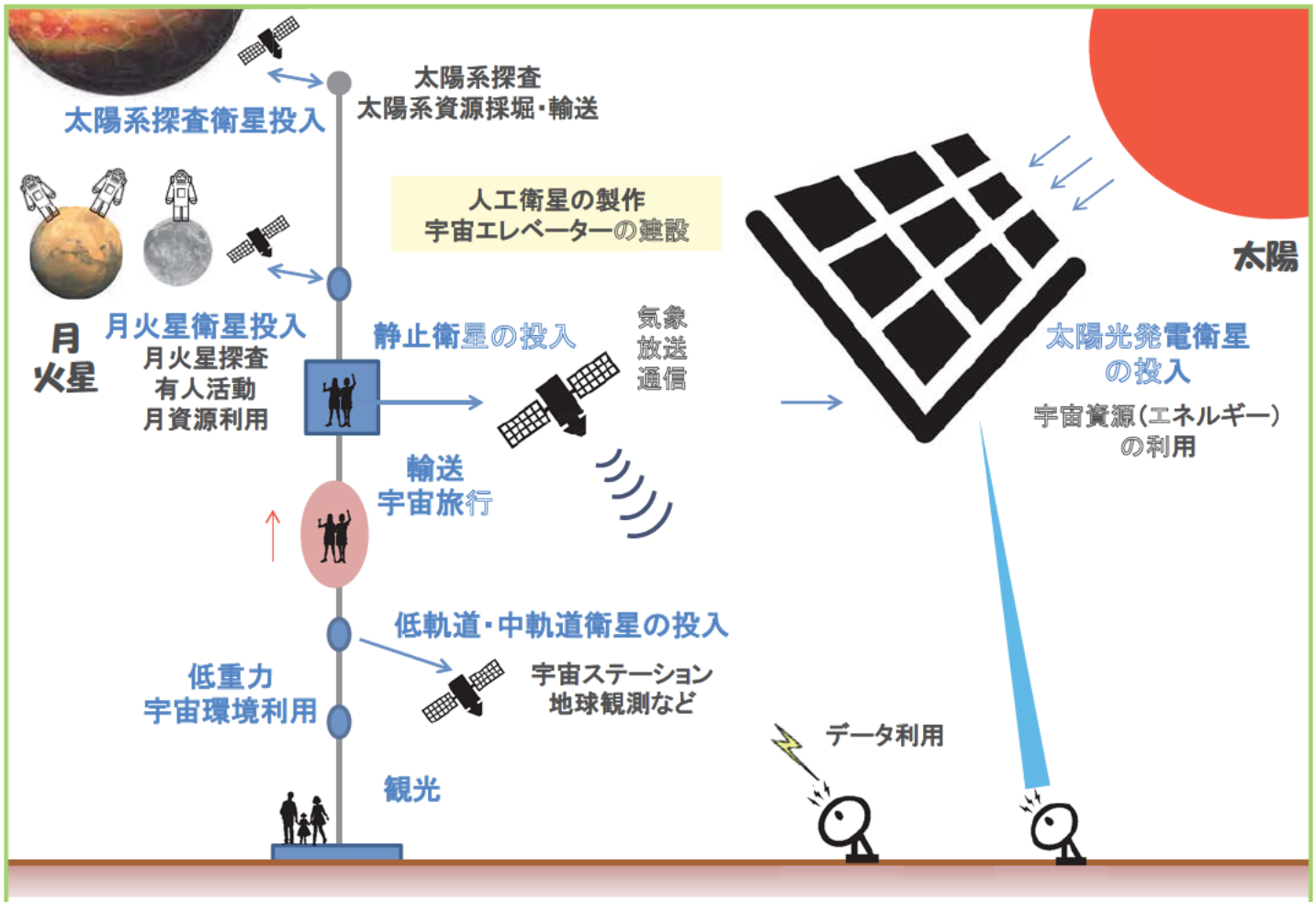

静止軌道ステーション全体レイアウト
宇宙太陽光
発電モニター
勤務者居住
実験施設
ステーション管理
見学者居住
見学者スペース
倉庫等
宇宙太陽光発電
衛星用ステージ
大林組の考えた静止軌道ステーションです。縦型のステーションとし、冗長性と拡張性に配慮したモジュール構造を採用しました。
衛星・物品
搬出入用ステージ
実験ユニット
船外実験ユニット
居住ユニット
接続ユニット
連絡ブリッジ
その他


静止軌道ステーションではちょうど無重量環境となります。いろいろなおもしろい動きが楽しめます。
ユニット内部

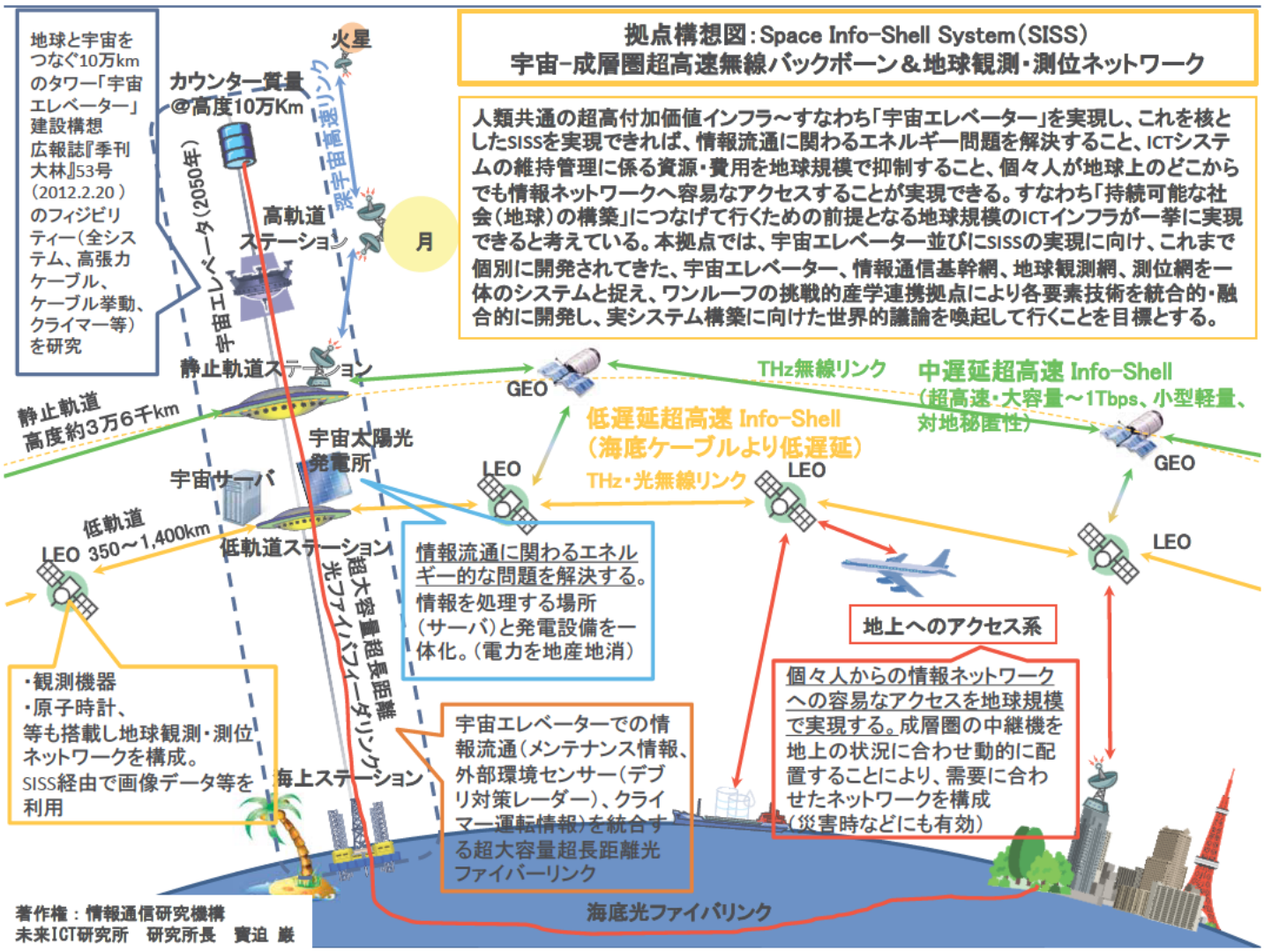
建設スケジュール



2025年にアース・ポート着工、最初のロケット打ち上げを2030年に行い、2050年に静止軌道ステーションの供用を開始。建設費用 は10兆6,600億円と推計。



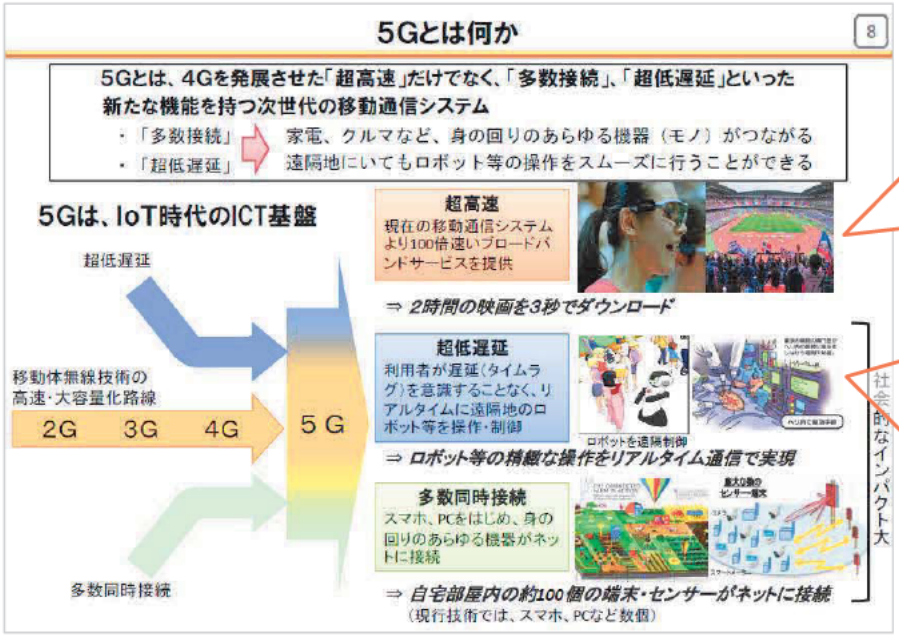
宇宙エレベーター が 拓く 新しい社会 と ビジネス


拠点構想図：Space Info-Shell System（SISS）
宇宙-成層圏超高速無線バックボーン＆地球観測・測位ネットワーク
人類共通の超高付加価値インフラ～すなわち「宇宙エレベーター」を実現し、これを核としたSISSを実現できれば、情報流通に関わるエネルギー問題を解決すること、ICTシステムの維持管理に係る資源・費用を地球規模で抑制すること、個々人が地球上のどこからでも情報ネットワークへ容易なアクセスすることが実現できる。すなわち「持続可能な社会（地球）の構築」につなげて行くための前提となる地球規模のICTインフラが一挙に実現できると考えている。本拠点では、宇宙エレベーター並びにSISSの実現に向け、これまで個別に開発されてきた、宇宙エレベーター、情報通信基幹網、地球観測網、測位網を一体のシステムと捉え、ワンルーフの挑戦的産学連携拠点により各要素技術を統合的・融合的に開発し、実システム構築に向けた世界的議論を喚起して行くことを目標とする。
地球と宇宙をつなぐ10万kmのタワー「宇宙エレベーター」建設構想広報誌『季刊大林』53号（2012.2.20）のフィジビリティー（全システム、高張力ケーブル、ケーブル挙動、クライマー等）を研究
火星
カウンター質量
@高度10万Km
宇宙エレベータ（2050年）
宇宙電波リンク
高軌道ステーション
月
静止軌道ステーション
静止軌道
高度約3万6千km
宇宙太陽光発電所
宇宙サーバ
低軌道
LEO 350～1,400km
低軌道ステーション
超大容量超長距離光ファイバフィーダリンク
海上ステーション
GEO
THz無線リンク
中遅延超高速 Info-Shell
（超高速・大容量～1Tbps、小型軽量、対地秘匿性）
低遅延超高速 Info-Shell
（海底ケーブルより低遅延）
THz・光無線リンク
LEO
LEO
GEO
LEO
情報流通に関わるエネルギー的な問題を解決する。
情報を処理する場所（サーバ）と発電設備を一体化。（電力を地産地消）
・観測機器
・原子時計、
等も搭載し地球観測・測位ネットワークを構成。
SISS経由で画像データ等を利用
宇宙エレベーターでの情報流通（メンテナンス情報、外部環境センサー（デブリ対策レーダー）、クライマー運転情報）を統合する超大容量超長距離光ファイバーリンク
地上へのアクセス系
個々人からの情報ネットワークへの容易なアクセスを地球規模で実現する。成層圏の中継機を地上の状況に合わせ動的に配置することにより、需要に合わせたネットワークを構成（災害時などにも有効）
海底光ファイバリンク
著作権：情報通信研究機構
未来ICT研究所　研究所長　寳迫 巌

5G時代の衛星通信の役割について

KDDI株式会社

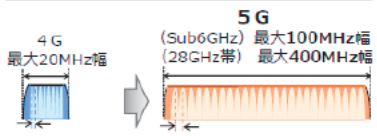
5Gが目指していく世界と実現する無線技術(5G NR)



広帯域化などにより速度を向上

4G LTEから5G NRへの方式の変更に加えて、広帯域な周波数の確保・割当てが必要

広帯域化・高周波数帯（ミリ波）の活用



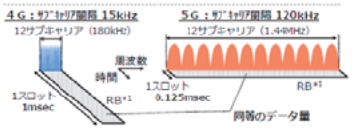
無線フレーム構造の変更などで遅延時間を短縮

衛星通信では、伝搬距離が長く伝搬遅延だけで片道1ミリ秒を超えてしまう

Short TTI（送信単位あたりの時間を短縮）

■サブキャリア間隔を広くする（スロット単位で割当て）

サブキャリア間隔を広くすることにより、同等のデータ量を短時間で送信可能　※4Gでは,RB*1（180kHz,1msec）のみ

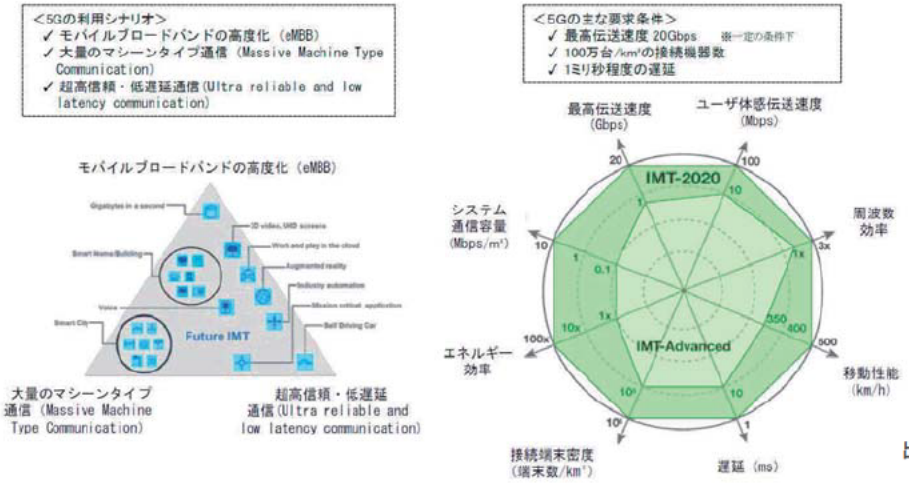


出典：新世代モバイル通信システム委員会報告概要 2018.07 より抜粋

Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

5G時代の衛星通信の役割について（概要）

- 5Gのコンセプトは、総じて「モバイルブロードバンドの高度化」、「大量のマシーンタイプ通信（大量接続）」、「高信頼性・超低遅延通信」の３つの側面で大幅な高度化を実現するものである。
- その要求条件は、最高伝送速度・接続機器数については現行ＬＴＥの100倍以上、遅延については1/10以下の水準。



出典：電波政策2020懇談会報告書より抜粋

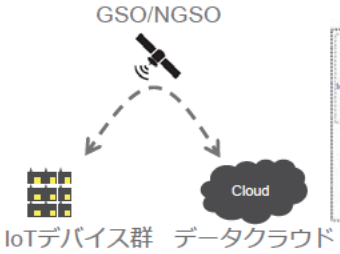
衛星通信は5Gの要求条件を全て満たすことが困難である（特に伝送速度や遅延）が、拡張性・同報性・秘匿性という点で5Gのネットワークに貢献でき、これまで同様補完メディアとして重要な役割を果たすと考えられる。

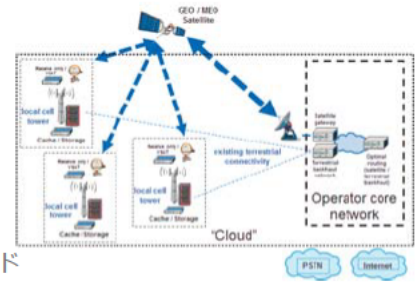
Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

5G時代の衛星通信の役割について（ユースケースと課題）

① バックホール補完による非都市環境や災害地域でのコネクティビティの提供

② 広域に分布したIoT端末からのデータ収集（衛星IoT）や、マルチキャストによる効率的/信頼性の高い通信提供





出典：Annex 3 to Working Party 4B Chairman's Report, 3 October 2016

課題

- これまでのセルラーネットワーク（3G/4G）同様、5Gにおいてもバックホール補完の利用が想定されるが、5Gのバックホールに要求される要件（最大伝送速度、伝送容量、ビット単価）との整合をどうとるかが課題。

課題

- IoTとして用いるためには、衛星回線のビット単価を如何に安価にできるか、また、端末を小型化できるかが課題。
- 地上系ネットワークとのシームレスな接続も課題。

※バックホールに使われる他の無線媒体（固定無線アクセス、HAPS、ドローン等）との比較・棲分けも要検討。

Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

5G時代の衛星通信の役割について（標準化等の動向）

出典：衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班報告書（2017.6）等より抜粋

EU

- 官民共同研究プロジェクトとして活動している5GPPPのサポート組織で、ECの次世代通信技術に関する諮問機関として設置されたNetWorld2000において、傘下のSatCom WGが5Gにおける衛星の役割についてレポートをまとめた（2014年）。
- このレポートの中では、マルチメディアコンテンツ配信、遠隔地や海上・航空等も含めた5Gサービスのシームレスな提供、多数のIoT端末からのデータ収集、重要通信（災害や緊急時）の確保等がユースケースとして挙げられ、2020年に向けて、地上系、衛星系の通信システムの統合・相互互換性が高まるとしている。

ITU-R

- ITU-R WP4Bでは、次世代アクセス技術における衛星利用を扱うITU-R報告書（M.[NGAT_SAT]）の作成が進められている。
- 本文書の中では、基地局サーバとコアネットワーク間の中継、地上系ネットワークのバックホール、航空機・船舶との通信、大容量マルチキャスト、IoTデータ直接送受信がユースケースとして挙げられている。

APT

- AWGにおいて、次世代アクセス技術への衛星の統合を扱うAWG報告書がまとめられた（APT/AWG/REP-89）。
- 本文書の中では、APT地域において航空機、船舶との通信、地上系ネットワークのバックホール、衛星IoTが主要なユースケースとして、衛星中継器のフレキシブル化がキー技術として挙げられている。

3GPP

- 3GPPにおいて、非地上系のネットワークである衛星や無人航空機などによるネットワークについてStudy Itemとして検討が進められ、その結果がレポートTR38.811にまとめられている。
- 本文書の中では、チャネルモデル、展開シナリオ、5G NR仕様へのインパクトをまとめており、ユースケースとしては遠隔地との通信、対災害性の向上、航空機への通信提供、同報によるソフトウェアのアップデートや緊急メッセージの配布などを挙げている。引き続き2019年12月までStudyが継続中。

Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

欧州における5G-衛星統合プロジェクト動向

資料提供：国立研究開発法人情報通信研究機構

(1) SaT5Gプロジェクト

■Horizon2020(EU): “SaT5G”プロジェクトhttp://sat5g-project.eu

■Project Coordinator: Avanti Communications（衛星通信事業者）

目的とアウトプット

- 5GPPPを支援してプラグ＆プレイベースで衛星コンポーネントを組込むことを可能とするソリューション策定を目指す
- 3GPPやETSIでのキー技術の標準化に貢献する
- キーテクノロジーの研究と評価を行い、デモ（下記）により検証する
  ①仮想的端末機能，②機能の管理、協調性，③マルチリンク機能,④統合的モバイルエッジコンピューティング機能
- SaT5Gのユースケースで商業的価値のある事業を開発

(2) SATis5プロジェクト

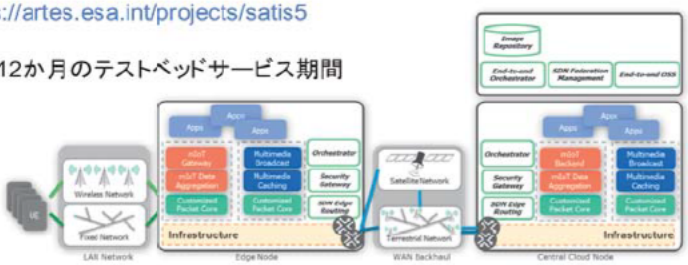
■ESA ARTES Program: “SATis5”プロジェクトhttps://artes.esa.int/projects/satis5

■Prime contractor: EURESCOM

■2017年10月開始、24か月の期間とその後に12か月のテストベッドサービス期間

目的

- 5Gのユースケースに対する衛星技術の利点を実証するテストベッドを提供
- テストベッドはGEO,MEO衛星リンクとエミュレータ、シミュレータ



Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

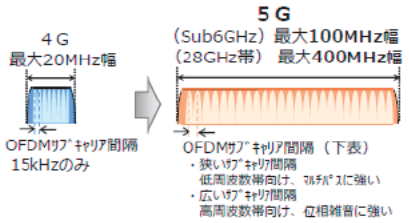
【参考】

5G NR（New Radio）：eMBB（超高速）を実現する技術

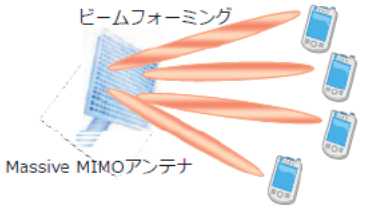
23

- ✓ 1コンポーネントキャリア（CC）幅について、Sub6GHzでは**最大100MHz幅**、28GHz帯では**最大400MHz幅**まで対応することにより、**超高速・大容量通信の実現**。
- ✓ アンテナ素子の小型化、多素子アンテナの位相や振幅制御により、指向性を持たせたビーム（**ビームフォーミング**）を作り出す超多素子アンテナ（Massive MIMO）が期待。任意の方向に電波のビームを形成することによる**カバレッジの拡大**、複数ユーザとの同時通信による**超高速・大容量通信の実現**。

広帯域化・高周波数帯（ミリ波）の活用



Massive MIMO/ビームフォーミング



3GPP Band		ｻﾌﾞｷｬﾘｱ間隔 [kHz]	1CC（コンポーネントキャリア）幅 [MHz]												
			10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	400
Sub 6GHz	3.3GHz 4.2GHz n77 n78 3.3GHz 3.8GHz	15	✓	✓	✓	✓*	✓	✓							
		30	✓	✓	✓	✓*	✓	✓	✓	✓*	✓	✓	✓		
		60	✓	✓	✓	✓*	✓	✓	✓	✓*	✓	✓	✓		
	4.4GHz 5.0GHz n79	15					✓	✓							
		30					✓	✓	✓		✓		✓		
		60					✓	✓	✓		✓		✓		
28GHz帯	26.5GHz 29.5GHz n257	60						✓					✓	✓	
		120						✓					✓	✓	✓

* 30MHz/70MHzはBand n77/n78における基地局側のみ使用可能

出典：新世代モバイル通信システム委員会報告概要 2018.07 より抜粋

au Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

【参考】

5G NR（New Radio）：URLLC（超低遅延）を実現する技術

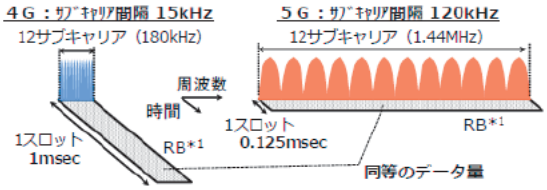
24

- ✓ Short TTI（**送信単位の時間長の短縮**、Short Transmission Time Interval）、Fast HARQ-ACK（**高速再送制御**、Fast Hybrid Automatic Retransmission request - ACKnowledgement）により、**超低遅延を実現** ※3GPPで詳細検討中。今後変更される可能性有

Short TTI（送信単位あたりの時間を短縮）

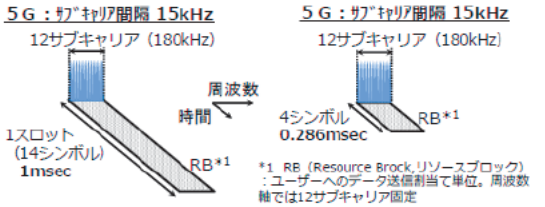
■サブキャリア間隔を広くする（スロット単位で割当て）

サブキャリア間隔を広くすることにより、同等のデータ量を短時間で送信可能 ※4Gでは,RB*1（180kHz,1msec）のみ



■単位時間（TTI）長をフレキシブルに変更

データ量が少ない場合など、スロット内のシンボル数を変化（下りの場合2,4又は7シンボルで構成）させて送信可能 ※4G未対応



*1 RB（Resource Brock,リソースブロック）：ユーザーへのデータ送信割当て単位。周波数軸では12サブキャリア固定

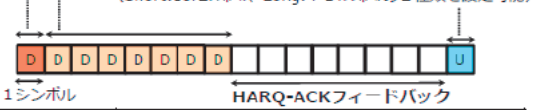
Fast HARQ-ACK（高速再送制御）

下り信号の正常受信（ACK:ACKnowledgement）又は 再送要求等（NACK :Negative ACK）について、端末から高速に基地局にフィードバック ※ 4Gでは,最短3msec*2

下り制御情報(PDCCH)
：端末に対し上りのリソース割当て情報等を通知（1-3シンボル）

下りデータ(PDSCH)
：端末に対しデータを送信（2,4,7or14シンボル）

上り制御情報(PUCCH)
：下り信号のACK/NACK,リソース割当て要求等を送信
（Short:1or2ｼﾝﾎﾞﾙ、Long:4-14ｼﾝﾎﾞﾙの２種類を設定可能）



ｻﾌﾞｷｬﾘｱ間隔	最短HARQ-ACK フィードバックシンボル数*3
15kHz	8ｼﾝﾎﾞﾙ（0.572msec）or 13ｼﾝﾎﾞﾙ（0.930msec）
30kHz	10ｼﾝﾎﾞﾙ（0.358msec）or 13ｼﾝﾎﾞﾙ（0.465msec）
60kHz	17ｼﾝﾎﾞﾙ（0.304msec）or 20ｼﾝﾎﾞﾙ（0.358msec）
120kHz	20ｼﾝﾎﾞﾙ（0.179msec）or 24ｼﾝﾎﾞﾙ（0.215msec）

*2 下りデータ(PDSCH)のデータ送信終了後から上り制御情報(PUCCH)の送信開始までの時間
*3 下りデータ(PDSCH)の復調用参照信号のデータ量が大きい場合は、チャネル推定の負荷が増えることから、長いシンボル数を設定

出典：新世代モバイル通信システム委員会報告概要 2018.07 より抜粋

au Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

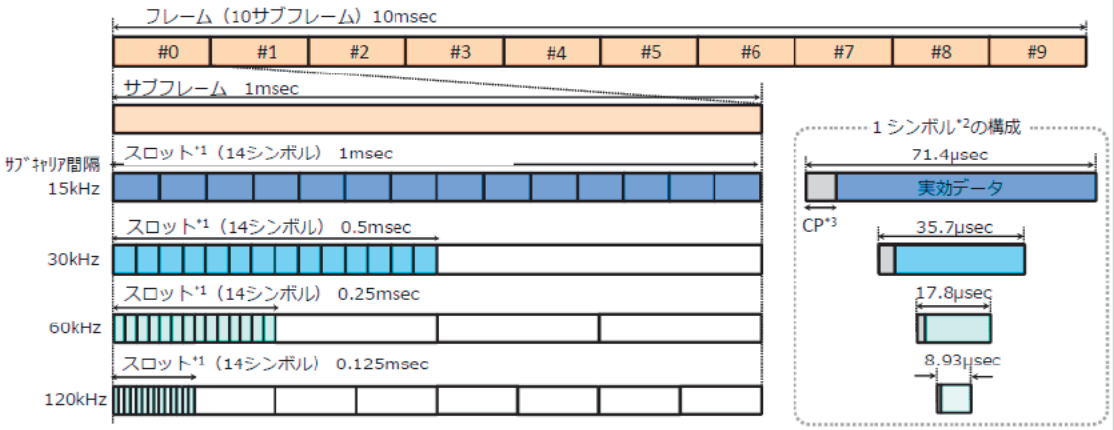
【参考】 （参考） 5G NR（New Radio） フレーム構成

25

✓ **フレーム構成**：フレーム長（10mec）及びサブフレーム長（1msec）は固定、スロット長及びシンボル長はサブキャリア間隔に応じ異なり、**周波数軸上のサブキャリア間隔が広くなると、時間軸上のスロット長・シンボル長は短くなる。**

※3GPPで詳細検討中。今後変更される可能性有

5G NR フレーム構成

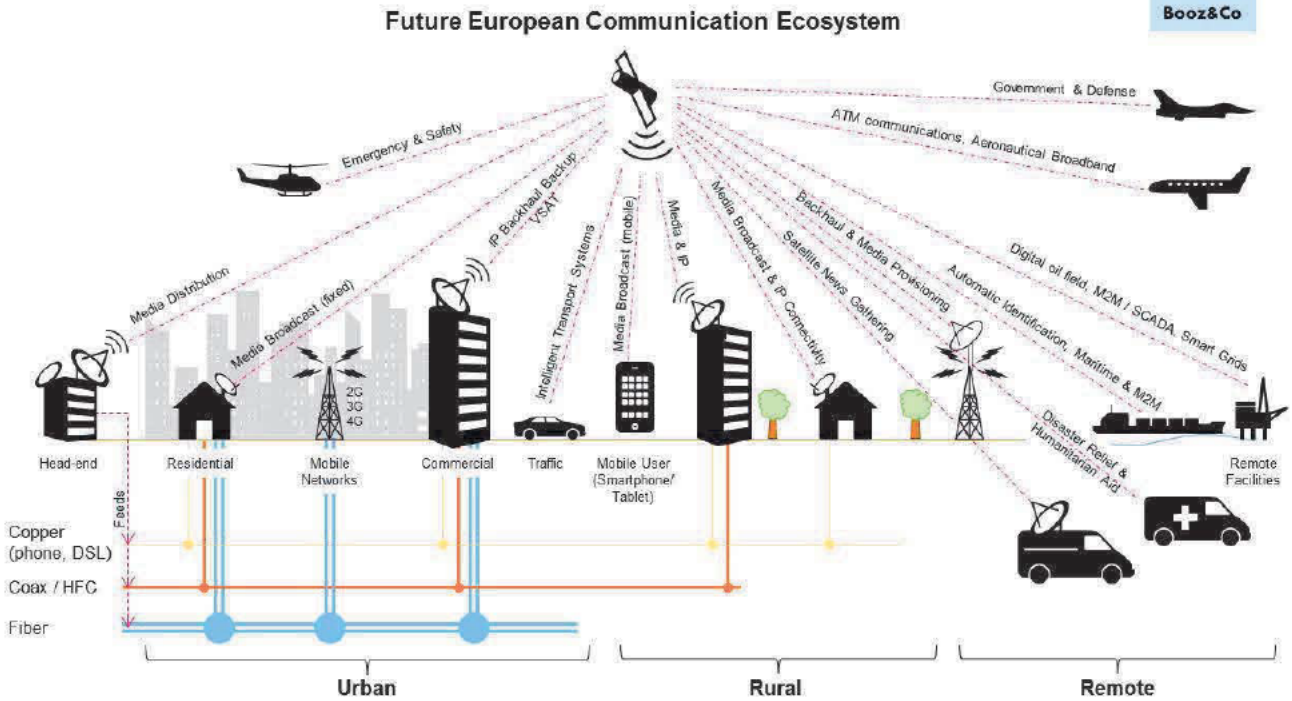


*1 スロット：データのスケジューリング単位。1スロットは、14OFDMシンボルで構成（※）
※ただし、5G NRでは、スケジューリング時に下り／上りそれぞれ以下のとおりフレキシブルに変更可能
下り：スロット内の任意のシンボルをスタートシンボルとし、最終シンボルが次のスロットへはみ出ない連続する2,4又は7シンボルで構成
上り：スロット内の任意のシンボルをスタートシンボルとし、最終シンボルが次のスロットへはみ出ない連続する1～14の任意のシンボルで構成
*2 シンボル：伝送するデータの単位。OFDMの場合、複数のサブキャリアから構成。各サブキャリアには複数のビット（例：64QAMで6ビット）がマッピング
*3 CP（Cyclic Prefix ,ｻｲｸﾘｯｸ ﾌﾟﾚﾌｨｯｸｽ）：マルチパスに起因するシンボル間干渉を低減するためのガード期間。シンボル後半の一部分をコピーしたもの。挿入率は、サブキャリア間隔によらず、0.5msec毎に7.2%、その他シンボルは6.6%

出典：新世代モバイル通信システム委員会報告概要 2018.07 より抜粋

Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

【参考】 将来の通信システムと衛星の役割



出典：NetWorld2020's －SatCom WG　The role of satellite in 5G

Copyright © 2018 KDDI Corporation. All Rights Reserved.

資料3－4

NTT DATA
Trusted Global Innovator

世界における衛星通信の動向

2018年12月14日
NTTデータ経営研究所
社会システムデザインユニット
倉澤 秀人　渡邊 敏康

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所／NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

目次

1. 宇宙産業の市場規模

2. 通信衛星の分類と特徴

3. 静止通信衛星のトピック

4. 非静止通信衛星のトピック

5. その他トピック　…光通信と5G

6. 弊社の考え、課題・論点（案）

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

NTT DATA

1. 宇宙産業の市場規模

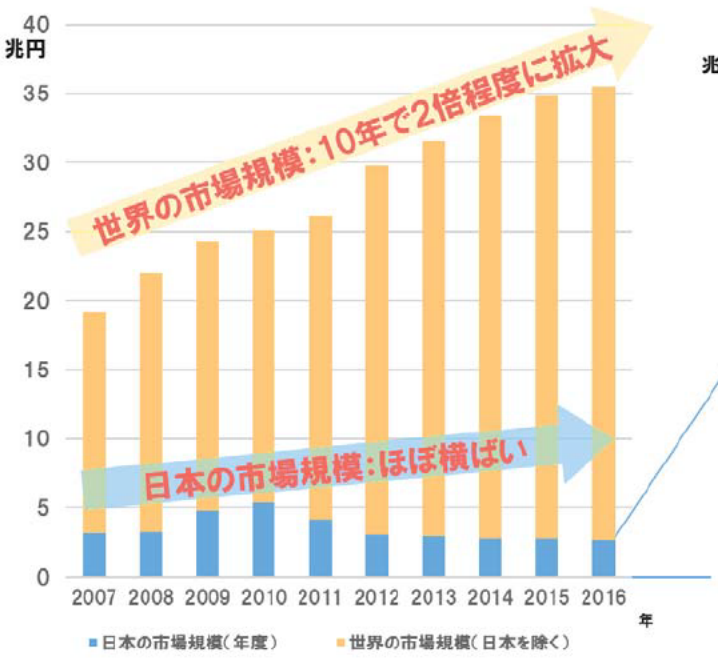
© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

NTT DATA

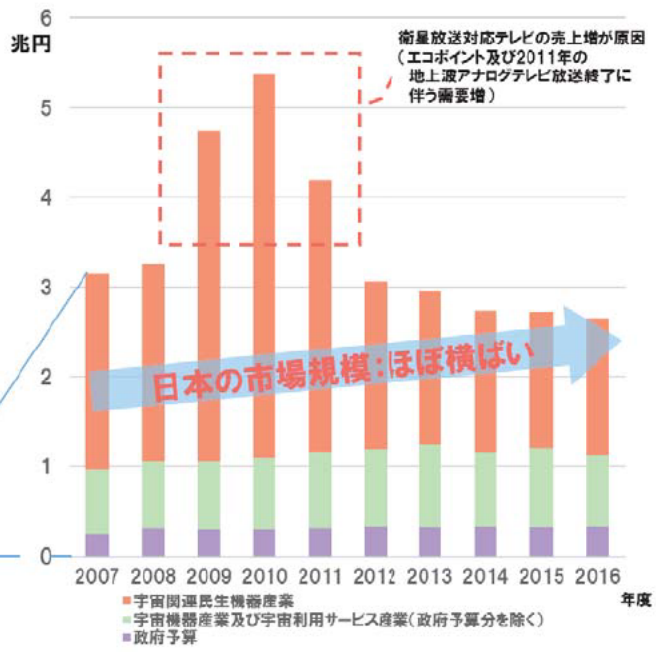
宇宙産業の市場規模

世界の宇宙産業はここ10年で2倍程度に拡大している反面、日本の宇宙産業はほぼ横ばいとなっている

世界の宇宙産業の市場規模



我が国の宇宙産業の市場規模



※注釈 （1）全ての年を通じて1USD=¥108.84、1EUR=¥126.67（2016年平均TTM）を採用
（2）日本の値は全て年度、世界の値は年
（3）「世界の政府予算」には、SJAC資料を通じて明らかになっている米欧露加の4カ国分が含まれている

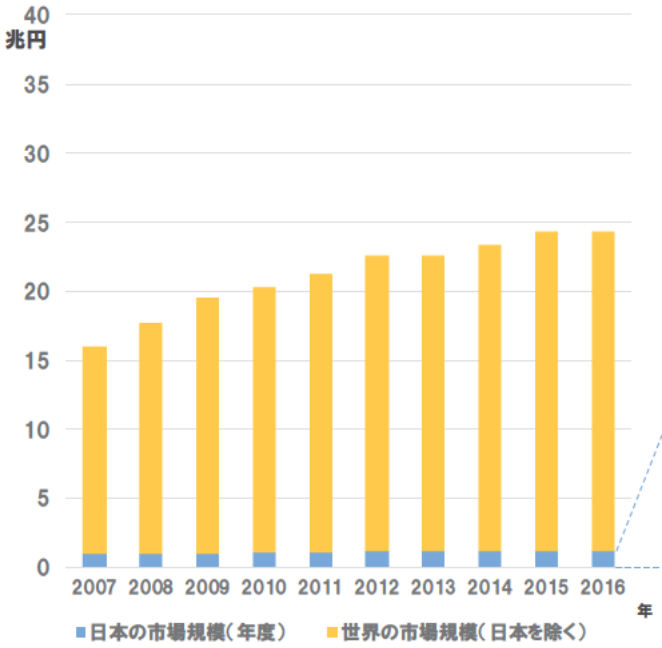
© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：SIA資料及びSJAC資料を元にNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

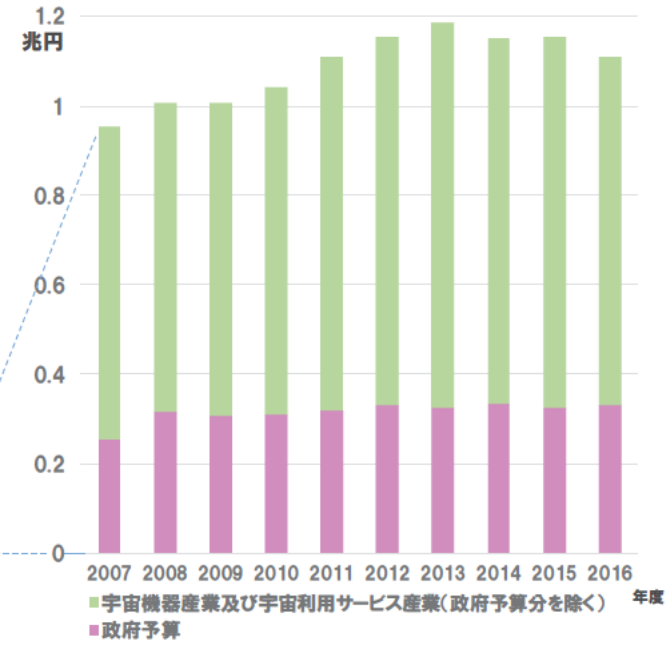
宇宙産業の市場規模（続き）

日本の政府予算が横ばいとなっている中、民間による通信分野を始めとする宇宙機器・宇宙利用サービス産業を拡大させていくことが今後の成長を左右していくものと想定される

世界の宇宙機器・宇宙利用サービス産業の市場規模



日本の宇宙機器・宇宙利用サービス産業の市場規模



※注釈 （1）全ての年を通じて1USD=¥108.84、1EUR=¥126.67（2016年平均TTM）を採用
（2）日本の値は全て年度、世界の値は年

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：SIA資料及びSJAC資料を元にNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

2. 通信衛星の分類と特徴

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

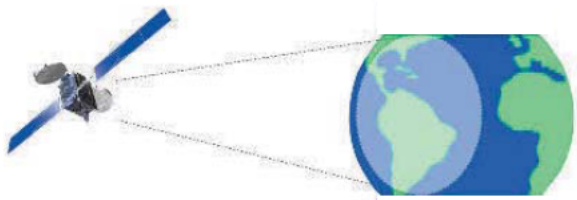
NTT DATA

通信衛星の分類

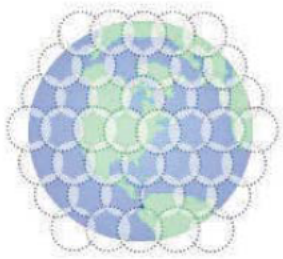
これまで衛星通信の主役であった静止通信衛星に加えて、低軌道や中軌道に通信衛星のコンステレーションを配置する構想が進められている

	静止通信衛星（GEO※1通信衛星）	非静止通信衛星コンステレーション
概要	• 赤道上の約36,000kmに配置された地球の自転周期に同期しながら周回する通信衛星 ※1 GEO（Geostationary Earth Orbit）：静止軌道	• 高度2,000km以下の低軌道（LEO※2）、或いは低軌道から静止軌道までの中軌道（MEO※3）に配置された通信衛星コンステレーション ※2 LEO（Low Earth Orbit）：低軌道　※3 MEO（Middle Earth Orbit）：中軌道
特徴・傾向	• 地上から見ると常に一定の位置に衛星が配置されることから、地上との2点間通信を行なう際の中継局として活用されている	• 多数の小型衛星をネットワーク化して通信システムを構成するコンステレーション計画の実装・配備の計画・構想が進められている

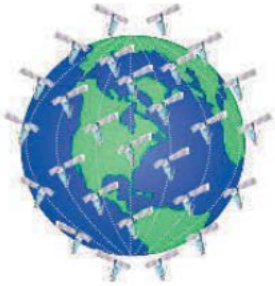
通信イメージ



静止通信衛星のカバー範囲



非静止通信衛星コンステレーションのカバー範囲



非静止通信衛星コンステレーションの軌道

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

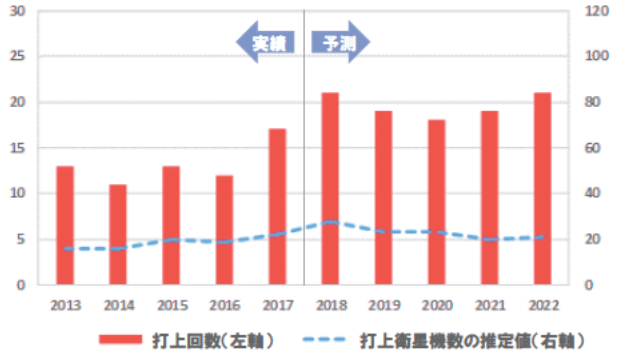
出典：欧州委員会資料を元にNTTデータ経営研究所作成

通信衛星の需要予測

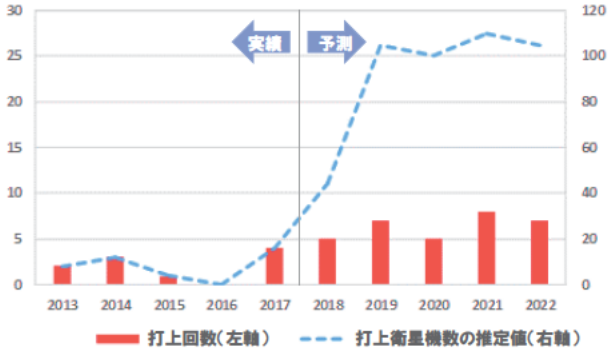
静止通信衛星の需要は依然として堅調。一方、OneWeb社をはじめとする通信衛星のコンステレーション計画によって配置機数が100機/年程度のペースで非静止通信衛星が増えていくことが予測されている

	静止通信衛星（GEO通信衛星）	非静止通信衛星コンステレーション
概要・特徴	• 赤道上の約36,000kmに配置された地球の自転周期に同期しながら周回する通信衛星 • 地上から見ると常に一定の位置に衛星が配置されることから、地上との2点間通信を行なう際の中継局として活用されている • これまでは主にC/Ku帯の周波数が用いられてきたが、近年ではKa帯を使用の上、多数のマルチビームと中継機を装備することで従来型の10倍以上の通信容量を実現したHTS（High Throughput Satellite）衛星の市場投入が、欧米勢を中心に進められている	• 高度2,000km以下の低軌道（LEO）、或いは低軌道から静止軌道までの中軌道（MEO）に配置された通信衛星コンステレーション • 以前からもLEO/MEO通信衛星事業者は存在したが、近年における衛星及び通信技術の著しい進捗に伴い、LEO/MEOに配置した多数の小型衛星をネットワーク化して通信システムを構成するコンステレーション計画の実装・配備の計画・構想が進められている

需要予測



静止通信衛星の打上回数（実績と予測値）と年間の打上機数の推定値

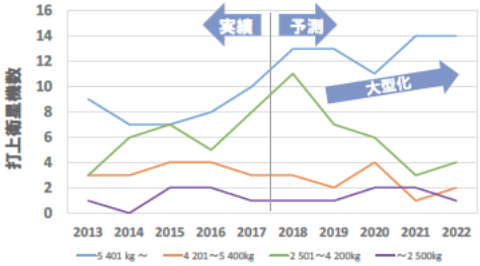


非静止通信衛星の打上回数（実績と予測値）と年間の打上機数の推定値

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：米国FAA資料等を元にNTTデータ経営研究所作成

【参考】静止通信衛星と非静止通信衛星の特徴

	静止通信衛星（GEO通信衛星）	非静止通信衛星コンステレーション
通信カバー時間	・24時間	・一機あたり10～40分　※主に衛星の高度による
往復所要時間※1	・600～800ミリ秒程度	・30～50ミリ秒程度
コスト※2	・一機あたり：5億ドル ・1Gbpsあたり：66万ドル	・一機あたり：50万ドル ・1Gbpsあたり：26万ドル
設計寿命	・約15年	・約5年
メリット	・静止軌道に配置されるため、3機で（極地を除き）地球上のほぼ全球をカバー可能となる ・地上から見て常に一定の位置にあるため、需要に応じたビームの割り当てが可能となる	・極地を含む全球をカバー可能となる ・静止軌道よりも地表に近く、低遅延での通信が可能となる
デメリット	・低軌道よりも地表から遠いため、遅延が大きい ・極地がカバーされておらず、通信は困難	・高度1,000kmのLEO衛星で地球全体をカバーするには、最低でも15機が必要とされている ・地上からの視界が切れる度に次衛星への接続切替を要する ・海面や低人口密度地域を周回している時間は効率が低くなる ・地上側で衛星システム全体の統合的な制御が求められる
需要予測トピック	・静止衛星は今後大型化が進む見込み  静止通信衛星の打上機数（実績と予測）	・非静止衛星市場の増大はコンステレーション構想によるもの ・・OneWeb、LeoSat、SpaceX、Telesat、等 非静止衛星の打上機数（2017年時点の予測）※3

2019	2020	2021
Iridium NEXT (2) - Falcon 9	OneWeb (2) - LauncherOne	Globalstar (6) - Soyuz
O3b (4) - Soyuz	OneWeb (2) - LauncherOne	O3b (2) - Soyuz
OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (2) - LauncherOne
OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (2) - LauncherOne
OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (32) - Soyuz	OneWeb (2) - LauncherOne
LeoSat (2) - TBD		OneWeb (32) - Soyuz
Spacebelt (1) - LauncherOne		OneWeb (32) - Soyuz
		OneWeb (32) - Soyuz

注：カッコ（ ）内は機数

※1 Telesat社「Real-Time Latency Rethink Possibilities with Remote Networks」より
※2 欧州委員会「Low-Earth Orbit Satellites: Spectrum access」より
※3 米国FAA「The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018」より

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

グラフ出典：米国FAA資料等を元にNTTデータ経営研究所作成

3. 静止通信衛星のトピック

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

静止通信衛星の主要トピック … HTS衛星の市場投入

従前のC/Ku帯からKa帯の周波数への採用に加えて、スポットビームの小型化・多数配置化等によって高速大容量の通信を実現するHTS※1衛星の市場投入が欧米勢を中心に進められている

※1 HTS（High Throughput Satellite）

	従来の静止衛星	HTS衛星
周波数	・C／Ku／Ka帯	・Ku／Ka帯
総スループット	・～10Gbps	・～1Tbps
コスト※2	・2～3億ドル（射場含む）	・3～5億ドル（射場含む）
メリット	・カバレッジ範囲が広い ・対応範囲が広いため、顧客探し及び獲得が容易	・周波数帯域が高く大容量通信が可能なため、容量あたりのコストは安価 ・周波数を繰り返し利用することが可能
デメリット	・通信容量が限られている ・効率性が低い	・製造コストが高い ・Ka帯のHTS衛星を投入する場合、新たな地上局も必要になる可能性がある

※2 Euroconsult社「FUNDAMENTALS AND DYNAMICS OF THE SATELLITE COMMUNICATIONS BUSINESS」より

2000年代

・Ku/Kaのハイブリッド型
・低電力、ビーム幅増
・総スループット：最大2Gbps
※ビームあたり125MHz

・Ka帯に一本化
・総スループット：最大10Gbps
※ビーム（DL）あたり63～125MHz

2010年代

・Ka帯
・スポットビームの小型化
・総スループット：最大150Gbps
※ビーム（DL）あたり500～1000MHz

・Ka帯
・スポットビームの小型化
・総スループット：最大1Tbps

将来

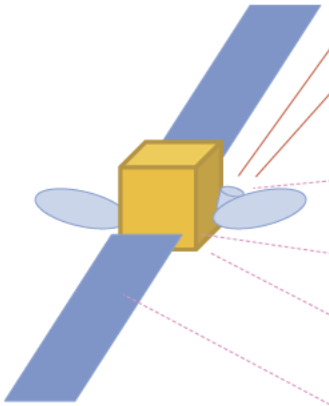
・VHTS（Very High Throughput Satellite）の開発
・Q/V/W帯、更には光通信技術を活用

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：Euroconsult社及び各社資料を元にNTTデータ経営研究所作成

静止通信衛星の技術的潮流 … 概要

通信の大容量化や通信制御の柔軟化に向けた技術開発が進められている



技術的潮流	トピック
通信関連技術 ※ミッション系技術	
①通信の大容量化	✓ マルチビームのほか高周波数帯（Q/V帯）の活用
②通信制御の柔軟化	✓ 通信衛星のアンテナ技術等の柔軟性の拡大
衛星関連技術 ※バス系技術	
③オール電化による軽量化	✓ ホールスラスタ（電気推力）の採用による化学推進系の極小化
④デジタル化による軽量化	✓ 電力制御系統のデジタル化による軽量化
⑤排熱能力の向上	✓ ループ式ヒートパイプによる高排熱技術の採用（高発熱量への対策）
⑥発電能力の向上	✓ 太陽電池セルの変換効率向上による消費電力の増大

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

静止通信衛星の技術的潮流 … ①通信の大容量化

欧米勢を中心にQ/V帯の活用に向けたプロトタイプ検証が進められている

大容量通信を実現するための高周波数帯(Q/V帯)の活用

■ Q/V帯の実証用ペイロードを搭載した通信衛星の検証が進められている

—Alphasat※1 が2013年7月が打ち上げ

—Eutelsat 65 West※2 が2016年3月に打ち上げ

※1 Thales Alenia Space製
※2 Space Systems Loral製

Eutelsat 65 West

周波数帯	周波数帯	備考
W帯	70/80GHz	・回折性が少ないため、妨害を受けにくい ・降雨減衰が大きい
Q/V帯	40/50GHz	
Ka帯	20/30GHz	・HTS衛星の多くで使用される見込み ・小口径アンテナを用いた大容量通信に適する
Ku帯	12/14GHz	・多くの従来型静止衛星で現在使用されている ・一般家庭向け配信用途など
X帯	7/8GHz	・降雨減衰に強く、主に防衛通信等で利用
C帯	～4GHz	・降雨減衰に強く、(降水量が多い)アジアでのニーズが大きい
S帯	～3GHz	・通信容量が小さく、主に衛星音声放送や小型端末による移動体通信等で使用
L帯	1.5/1.6GHz	

通信容量 大 → 小　降雨減衰 大 → 小

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:Eutelsat資料、スカパーJSAT資料等より NTTデータ経営研究所作成

静止通信衛星の技術的潮流 …②通信制御の柔軟化

通信衛星のアンテナ技術等によって通信ニーズの面的・時間的な変動に対応した柔軟性の高い衛星通信の開発が(国内外で)進められている

通信制御の通信柔軟性の拡大

■ 2019年打上予定のEutelsat Quantum(Airbus製)は、Ku帯を活用した通信の柔軟性に特化した衛星として開発・準備が進められている

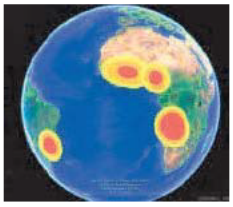
—HTSのトレンド(大容量・柔軟性)のうち、通信の柔軟性に特化させた衛星

—Ku帯のフェーズドアレイアンテナによって、地上の任意の場所に対してのダウンリンクを実現

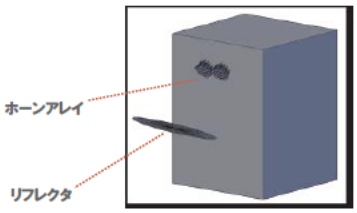
—周波数帯を10.7GHz～12.75GHzに可変可能な、垂直・水平それぞれ4本、合計8本の独立ビームを組み合わせることで実現

出典: eutelsat.com

Eutelsat Quantum(イメージ図)

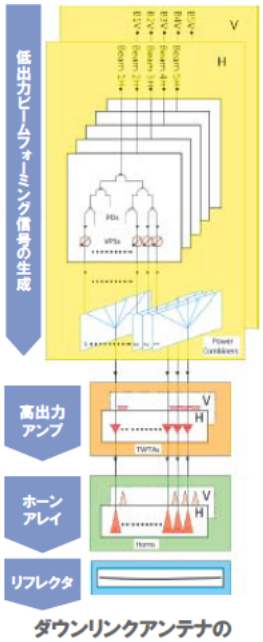


Eutelsat Quantumの ビーム照射イメージ※1



Eutelsat Quantumダウンリンクアンテナの 形状イメージ※2

- 低出力ビームフォーミング信号(垂直・水平4本)を高出力アンプにて増幅させている
- 各ホーンアレイの直前に高出力アンプをそれぞれ配置している
  - ・ホーンアレイまでの出力信号の損失を極小化
  - ・ホーンアレイ直前までは低出力系統にできることから、システム全体の低消費電力にも貢献
- 設置スペースや重量等を考慮しつつ、ビーム照射エリアを満足できるように、垂直・水平それぞれ4本、合計8本の独立ビームとしている
- 低曲率のリフレクタを用いて、各ビームを集約・照射させている



ダウンリンクアンテナの コンセプト※2

※1 H. Fenech et al "The Role of Array Antennas In Commercial Telecommunication Satellites" IEEE 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)
※2 N. Gatti et al "Ku-band Downlink Reconfigurable Active Antenna for Eutelsat Quantum Mission" 2015 33rd AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibition

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

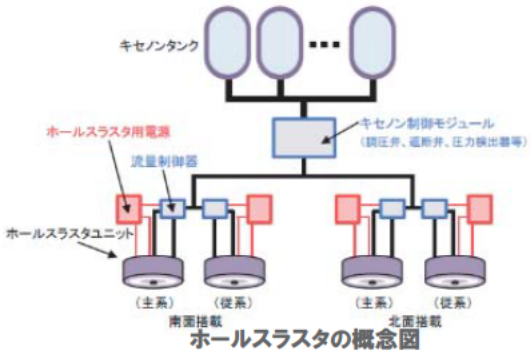
出典:AFP社、Eutelsat社、NASA資料よりNTTデータ経営研究所作成

静止通信衛星の技術的潮流 …③オール電化による軽量化

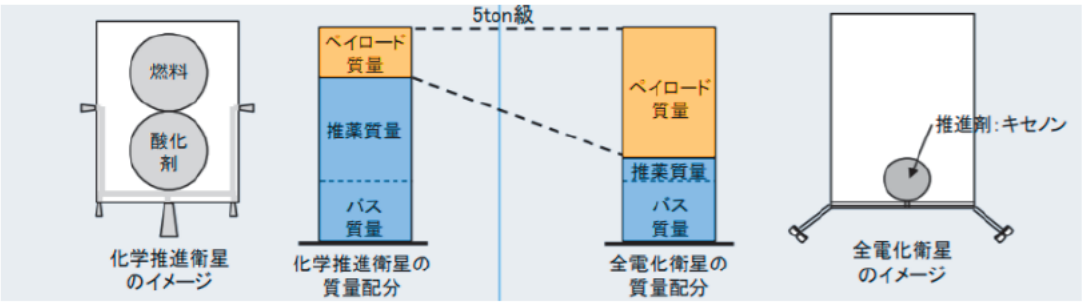
ミッション機器の搭載比率の向上に向けて、オール電化による軽量化の取り組みが(国内外で)進められている

ホールスラスタ(電気推力)の採用による化学推進系の極小化

- **オール電化衛星によって化学推進系の推薬質量を減らすことが可能になる**
  - 従来の化学推進系の衛星の場合では、化学推進系が打上質量の半分程度を占めるとされている
  - 化学推進系の推薬質量を減らすことで、ペイロード質量の拡大が期待できる



ホールスラスタの概念図



質量配分

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

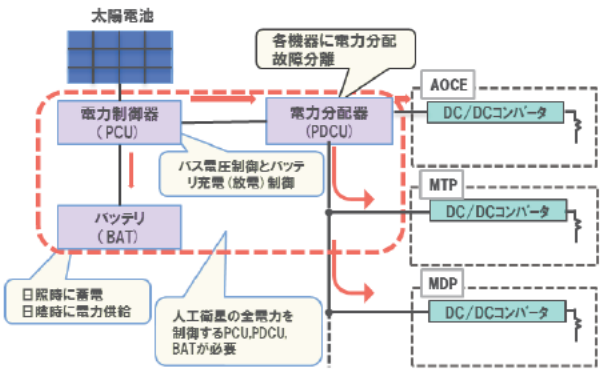
出典:JAXA資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

静止通信衛星の技術的潮流 …④デジタル化による軽量化

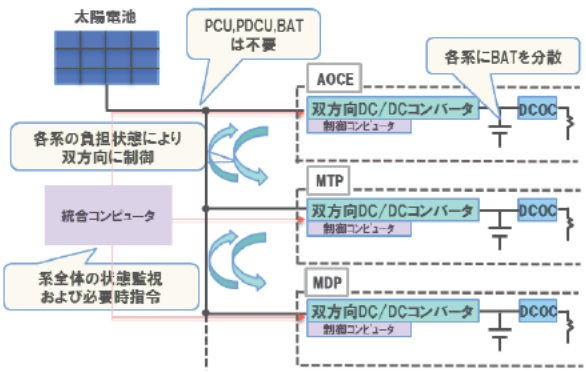
アナログ制御からデジタル制御によって、衛星バス系機器の軽量化によるペイロードに割り当て可能な質量の増大が(国内外で)進められている

電力制御系統のデジタル化による軽量化

- **PCU(電力分配器)が太陽電池による発電電力を制御して、バッテリの充放電や各機器への電力供給をコントロールしている**
- **電力制御系統のデジタル化によって、電力負荷対象をモニタリングして、バッテリ(重量物)等を介さずに最適な電力供給の制御を実現させる**



従来の電力制御アーキテクチャ



新たな電力制御アーキテクチャ

AOCE:Attitude and Orbit Control Subsystem(姿勢軌道制御系)
MTP:Multi-mode Transponder(マルチモード統合トランスポンダ)
MDP:Mission Data Processing Subsystem(ミッションデータ処理系)

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

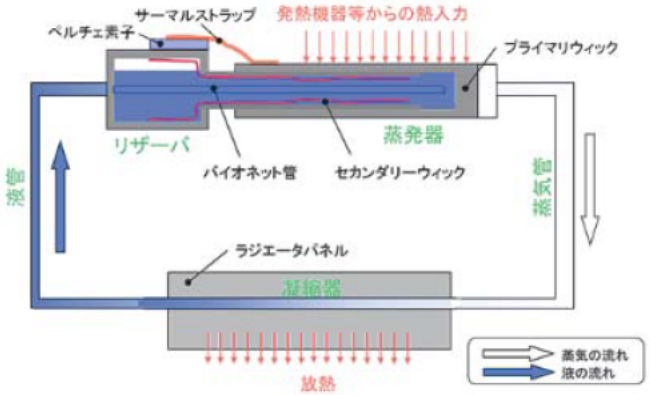
出典:JAXA資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

静止通信衛星の技術的潮流 …⑤排熱能力の向上、⑥発電能力の向上

発電能力の向上、並びに排熱技術対策は継続した研究開発が(国内外で)進められている

ループ式ヒートパイプによる高排熱技術の採用

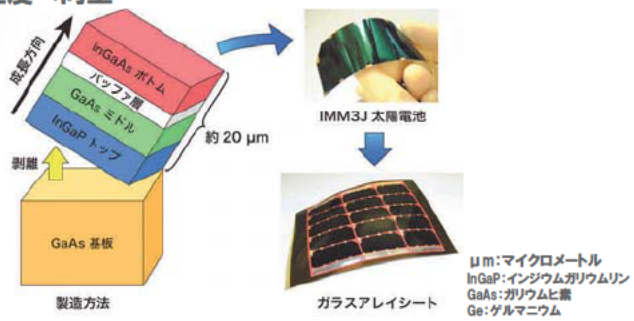
- ループ式ヒートパイプによって、従来のヒートパイプでは実現できなかったコンパクトな排熱レイアウトが可能になってきている
  - 作動流体の毛細管力および蒸発潜熱によって、熱入力のみで排熱駆動力を必要としないことが特徴
  - ポンプ等の作動流体の駆動部が不要なことから、熱系統のコンパクトと長寿命・高信頼性を両立



ループ式ヒートパイプの構成・動作原理

太陽電池セルの変換効率向上

- 有機金属の積層方法を改良することで、太陽電池セルの発電効率の向上させる取り組みが進められている
  - 有機金属(InGaP、GaAs、Ge)3種類の太陽電池の素材を150μm程度の厚さに積層
  - 逆積み格子不整合型3接合(Inverted Metamorphic 3-Junction, IMM3J)という積層手法を日本が確立
  - 電気変換効率は、従前パネルの17%程度に対して33%程度へ向上



IMM3J太陽電池の製造方法と外観写真

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:JAXA資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

4. 非静止通信衛星のトピック

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

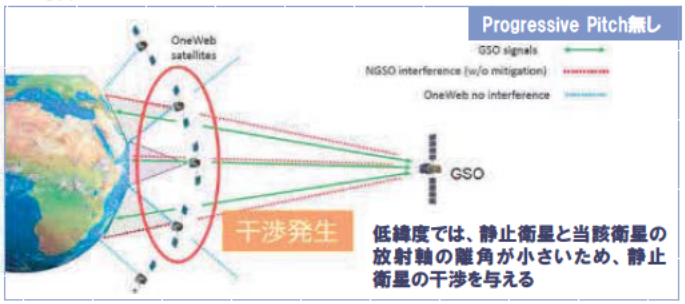
NTT DATA

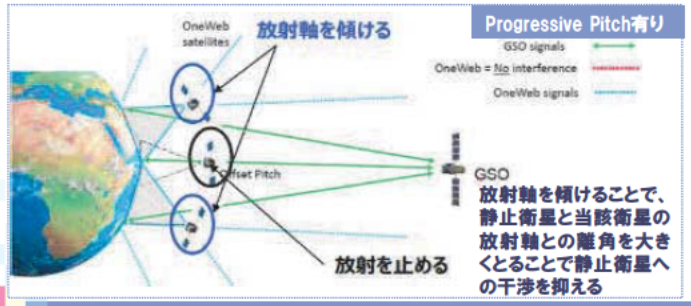
非静止通信衛星のトピック　…コンステレーションにおける衛星間の協調・制御

静止衛星との電波干渉の防止技術や複数衛星間の協調制御に向けた取り組みが進められている

プログレッシブ・ピッチ（OneWeb独自）

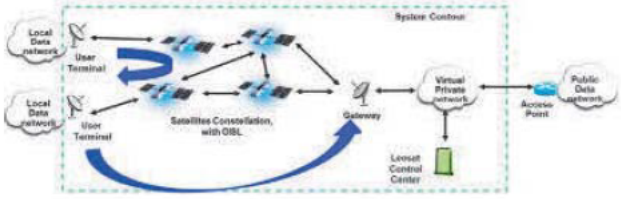
■ 静止通信衛星との電波干渉を防ぐために、自衛星の電波発射を一時的に停止または電波放射軸を傾ける





複数衛星及び地上局含めた総合システム制御

■ 地上局を含めた統合システムとすることで、地上局からのコマンドやミッションデータの衛星間通信の取得即応性や軌道管理の最適化を実現させる



Leosatのシステム構成

システム区分	従来型	コンステレーション対応
統合衛星管制系（衛星管制系）	単独衛星のコマンド送信テレメトリモニタ	・複数衛星同時処理 ・衛星パス運用計画ベースでの自動可視運用 ・衛星状態の児童監視
統合運用計画系（ミッション運用計画系）	ミッション機器・バス機器の運用計画作成	・総合システム運用計画作成 ・ミッション要求の実行計画作成 ・アンテナ利用計画作成
統合軌道管理系（軌道系）	軌道決定、軌道管理	・コンステ軌道維持・監視 ・相対軌道管理
ネットワーク管制系	衛星管制系で使用局の選択制御	・アンテナ利用計画ベースの接続制御 ・回線軌道管理

地上局のコンステレーション対応

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：ソフトバンク資料（情報通信審議会）、経済産業省資料、Leosat社資料、SJAC資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

静止通信オペレータと非静止通信衛星コンステレーションとの連携

静止通信衛星を調達・運用してきた衛星オペレータは、非静止通信衛星コンステレーション事業者との連携強化を進めている

各オペレータの取り組み（例示）

	Telesat	Telesat	INTELSAT	INTELSAT	inmarsat	inmarsat	eutelsat	eutelsat	SKY Perfect JSAT Holdings Inc.	SKY Perfect JSAT Holdings Inc.	SES	SES	Viasat	Viasat
GEO	Telesat 18V	Telesat 19V	Intelsat 37e	Intelsat 39	Inmarsat-5 F4	Inmarsat-5 F5	Eutelsat 172B	Eutelsat Konnect VHTS	Horizons 3e	JCSAT 18	SES 12	SES 17	ViaSat 2	ViaSat 3
	SSL アジア 18/9	SSL 米州 18/7	Boeing 大西洋 17/9	SSL EMEA 2019年	Boeing アジア 17/5	SSL 米州 2019年	Airbus アジア 17/6	TAS EMEA 2020年	Boeing アジア 18/9	Boeing アジア 2019年	Airbus アジア 18/6	TAS 米州 2020年	Boeing 米州 17/6	Boeing 米州 2020年
MEO	領域拡大		出資		戦略提携		領域拡大		出資		買収		領域拡大	
											O3b	O3b mPower	ViaSat コンステレーション	
											TAS 16機/20機 2013年	Boeing 0機/40機 2021年（予定）	未定 0機/20機 未定	
	Telesat		OneWeb		ORBCOMM		eutelsat		LEOSAT		SPACEX			
LEO	Telesat コンステレーション		OneWeb コンステレーション		Orbcomm OG2		Eutelsat ELO		LeoSat コンステレーション		SpaceX StarLink コンステレーション			
	Airbus（SSTL）/TAS 1機/117機 2018年		Airbus/OneWeb 0機/2,862機 2019年（予定）		Boeing（SNC） 18機/18機（うち12機運用中） 2012年		TOC（Tyvak） 0機/1機 2019年（予定）		TAS 0機/100機 2020年（予定）		SpaceX 2機/11,518機 2018年			

EMEA: Europe, Middle East, Africa
LM: Lockheed Martin
SSL: Space Systems Loral
TAS: Thales Alenia Space
SSTL: Surrey Satellite Technology Ltd.
OSC: Orbital Science Corp.
SNC: Sierra Nevada Corp.
TOC: Terran Orbital Corp.

凡例

【GEO】

Telesat 18V	→衛星名称（青：打上済、白：未打上）
SSL アジア 18/9	→製造メーカ →カバレッジエリア →打上年月（未打上の場合は予定年）

【MEO/LEO】

Orbcomm コンステレーション	→衛星コンステレーション名称（青：打上済、薄青：一部打上済、白：未打上）
Boeing（SNC） 18機/18機（うち12機運用中） 2012年	→製造メーカ（括弧書きは子会社） →打上済の機数／計画機数 →初号機の打上開始年（或いは予定年）

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：各社資料を元にNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

【参考】非静止通信衛星コンステレーション構想

主な非静止通信衛星コンステレーションの計画

名称	推定コスト※1	出資会社	機数※1	通信総容量※1	ステータス
LeoSat	35億ドル	スカパーJSAT	108機	1,000 Gbps	2019年より打上開始予定
OneWeb	35億ドル ※最初の640機分	ソフトバンク、Intelsat、Airbus、Qualcomm等	2,862機	20,000 Gbps	2019年より打上開始予定
SpaceX	100～150億ドル	Google、Fidelity	11,518機	103,662 Gbps	2018年にプロトタイプ2機を打上済
Telesat	N/A	N/A	117機	936 Gbps	2018年にプロトタイプ1機を打上済
Boeing	N/A	N/A	2,956機	26,604 Gbps	停止中
MSCI	N/A	N/A	84機	739 Gbps	不明
Xinwei	N/A	N/A	30機	90 Gbps	不明

※1 欧州委員会「Low-Earth Orbit Satellites: Spectrum access」より

米国FCCの申請基準が緩和※2されたことで、各社ともに計画機数が拡大傾向にある模様

※2 これまで申請機数の半分を申請日から「6年以内」に打ち上げる必要があったが、18年9月より「9年以内」に緩和された

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：欧州委員会、SpaceNews.com、Telesat社資料より
NTTデータ経営研究所作成

【参考】非静止通信衛星の想定ユースケース

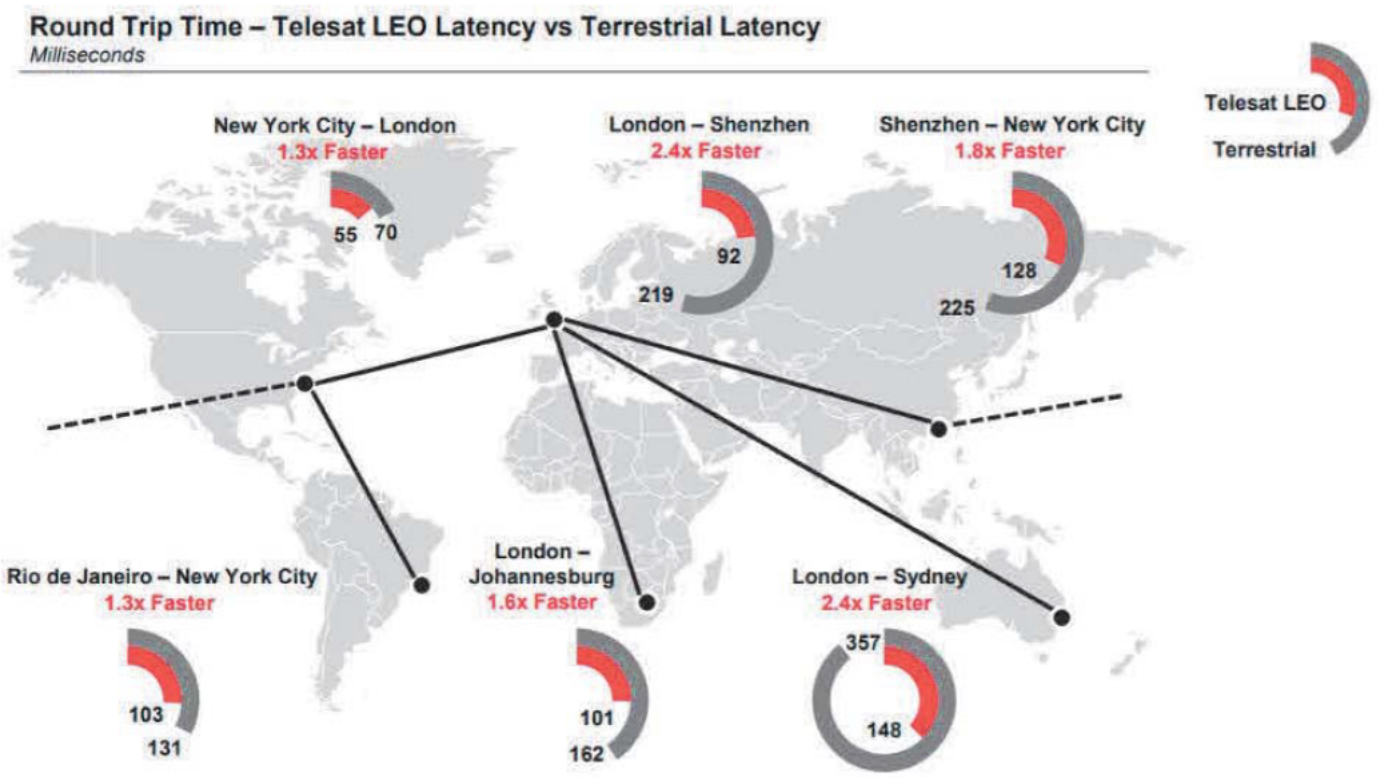
想定ユースケース（Telesat社の例）

セルラーバックホール	• ユーザが低遅延でビデオチャットやSNSの利用が可能に • 簡素化かつ安定なネットワーク • End-to-endの暗号化に対応
海洋・船舶	• 船舶内の高速インターネット • 気象情報及び航路情報提供 • 業務用通信、リアルタイムの船舶監視（予防保全）
航空	• 機内の高速インターネット • 気象情報及び航路情報提供 • 業務用通信、リアルタイムの機体監視（予防保全）
過疎地	• 過疎地の住民／中小企業への高速インターネット提供 • 遠隔医療、遠隔教育 （デジタルデバイドの解消）
政府	• UAVの精密な管理及びナビゲーション、リアルタイムの遠隔通信 • 住民への高速インターネット提供
エネルギー	• プラントの稼働状況のリアルタイムモニタリング • 業務の自動化、生産性の向上 • プラント居住従業員満足度向上

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典：Telesat社資料よりNTTデータ経営研究所作成

【参考】 低軌道通信衛星コンステレーション網と地上ネットワーク網の通信遅延(想定)の比較



【Telesat社注釈】
- Telesat社数値は、データ処理含むネットワークレイヤ及び衛星間通信に要する時間を元に算出
- なお、衛星間通信が行われるトラフィックのみが算出の対象
- 地上ネットワークの数値はhttps://wondernetwork.com/pingsより

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:Telesat社資料

5. その他トピック …光通信と5G

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

トピック1 …光衛星通信

これまでの衛星間通信や衛星・地上間通信を光通信へ置き換える、或いは併用していくことで通信速度の向上やシステム冗長性の確保等が見込まれる

衛星における光通信の特徴

通信の大容量化・高速化

- 光通信は電波方式に比べて周波数が高いため、伝送容量(＝速度)は最大約20倍に上昇

【参考】衛星間通信速度(データレート)の比較
・データ中継技術衛星(Ka帯):240Mbps※1
・光データ中継衛星(光):1.8Gbps※2

装置の小型・軽量・省電力化

- 光は、電波と比して(単位面積当たりで見た場合)より強い電力で照射が可能となるため、小型装置での高速伝送が可能

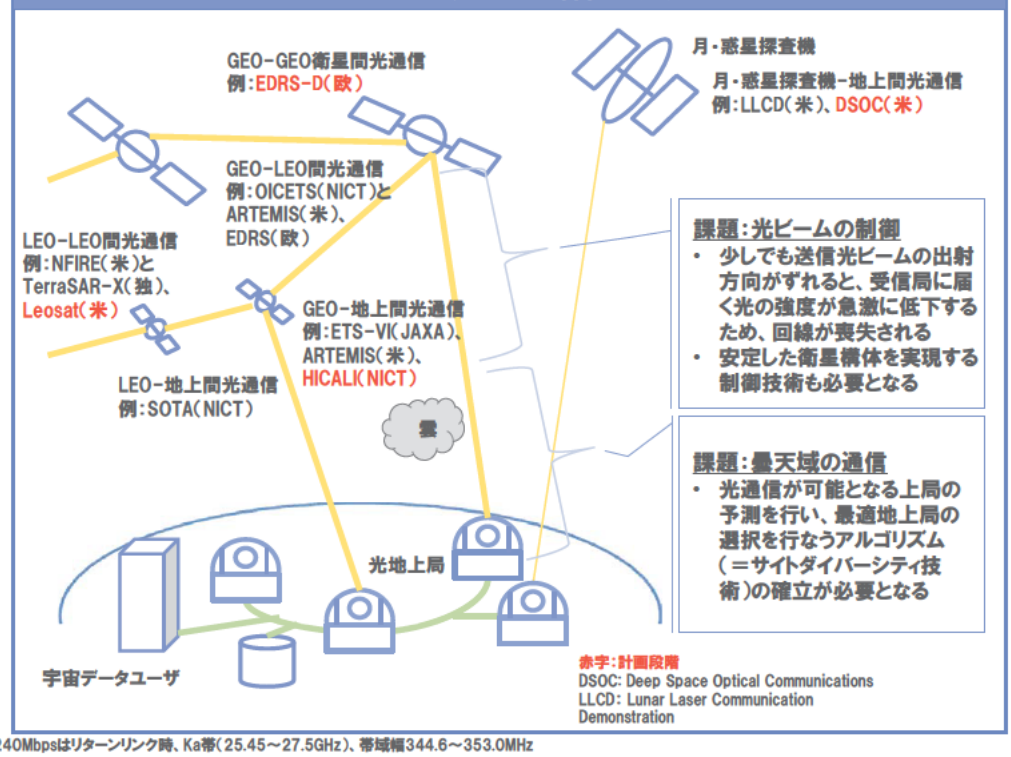
秘匿性の高さ

- ビームの指向性が高く、またビーム幅自体も狭いため、(ビーム近傍以外では)第三者による傍受が非常に困難となる
- また、電波と異なり光は壁を透過しないため、盗聴が困難

周波数調整が不要

- 電波の場合は周波数調整が必要だが、光通信は不要なため、衛星の迅速な開発が可能

衛星における光通信の各種活用形態



※1 JAXAデータ中継衛星こだま(DRTS)の諸元より: 240Mbpsはリターンリンク時、Ka帯(25.45～27.5GHz)、帯域幅344.6～353.0MHz
※2 JAXA光データ中継衛星の計画より

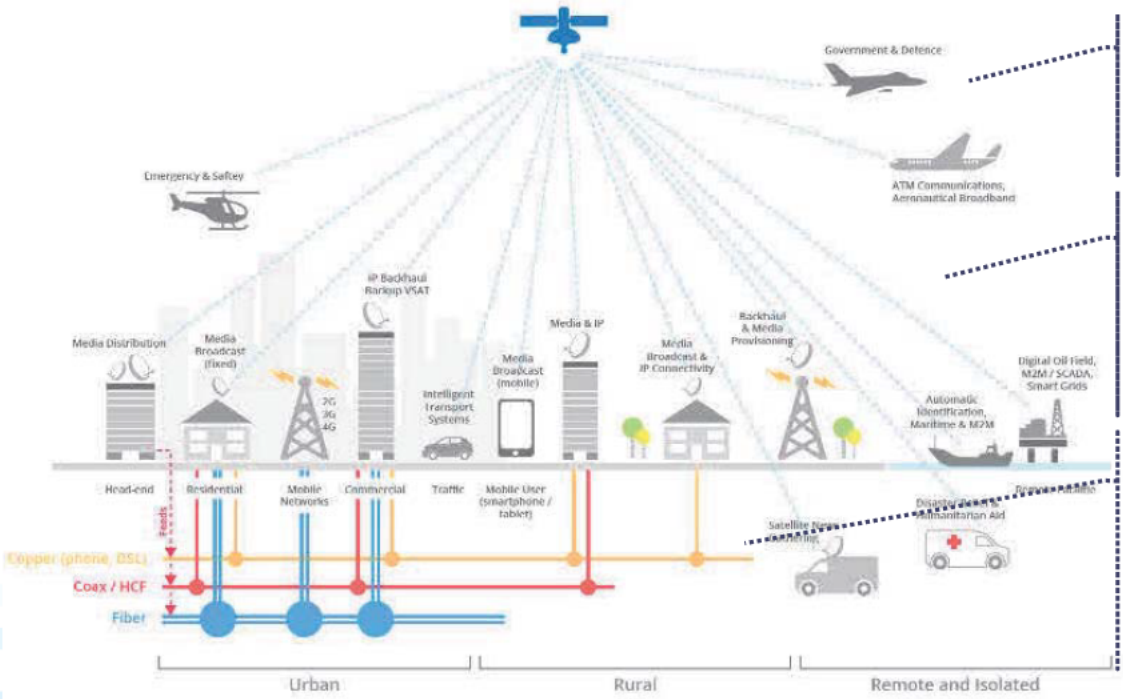
© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:JAXA資料、NICT資料等よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

トピック2 …5G時代における衛星通信の位置づけ

5G時代において、地上の移動通信網の高速・大容量・低遅延を支える技術・インフラとして、衛星通信のあり方についての議論が始まってきている

5G次代における衛星通信の位置づけ(イメージ)



衛星通信の役割(想定)

① 可動性(Mobility)
地球上のどこを移動していた(いる)としても、通信を提供することが可能

② 広帯域性(Broadband)＆同時性(Simultaneity)
複数地点に対して、同時にマルチメディア及びその他コンテンツを効率的に配信することが可能

③ 偏在性(Ubiquity)
地上の通信網が存在しない過疎地や、逆に通信需要が供給量を上回る都市部、更にはネットワークダウンや災害時に至るまで、至る所に通信を提供することが可能

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:ESOA資料及びSES資料を元にNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

トピック2 …5Gと衛星通信の連携事例…SATis5(ESA)の取り組み

ESA ※1では、ARTES※2プログラムを通じて技術実証プラットフォーム「SATis5 ※3」を立ち上げて、5G時代の到来を踏まえた地上ネットワークと衛星通信間の連携可能性について検証を進めている

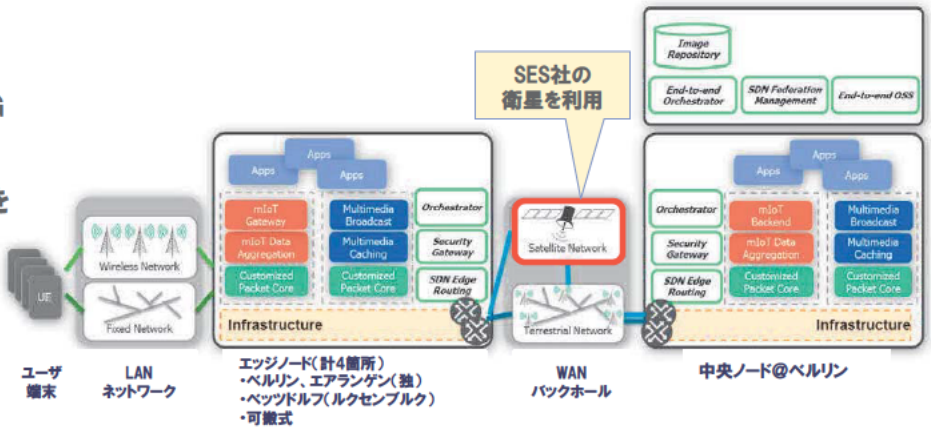
※1 ESA(European Space Agency)　※2 ARTES(Advanced Research in Telecommunications Systems)　※3 SATis5(Satellite-Terrestrial Integration in the 5G Context)

SATis5の概要

- **2017年10月からの24ヶ月間、5G環境における衛星通信のend-to-end検証を実施することとしている**
  - ドイツ及びルクセンブルクの3都市と可搬式1台の計4拠点を、5G地上ネットワーク及びSES社の通信衛星網で接続
  - Eurescom※4(独)が主契約者、その他SES社(葡)に加えフラウンホーファー研究機構(独)やNewtec社(独)等が参画
  - 衛星によるバックホール通信と、ユーザ端末への直接通信の2モードを想定

- **2018年11月に、実証の第一弾がベルリンにて実施された**
  - 移動通信を対象にして、衛星通信と5G地上通信の接続連携を確認

- **2019年も引き続き、各種シナリオを想定した実証実験が実施されていく見込み(※以下例)**
  - 遠隔地におけるブロードバンド接続
  - 大量端末のM2M/IoT接続
  - 移動通信
  - 高トラヒック地域へのオフセット通信



システムアーキテクチャ(バックホールの場合)

※4 Eurescom:European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:ESA資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

トピック2 …5Gと衛星通信の連携事例…SaT5G(欧州委員会)の取り組み(1/3)

欧州委員会が助成する5GPPP※1プログラムの一環として、5Gネットワークへの衛星通信のシームレスな連携を目的としたSaT5G ※2プロジェクトが立ち上げられている

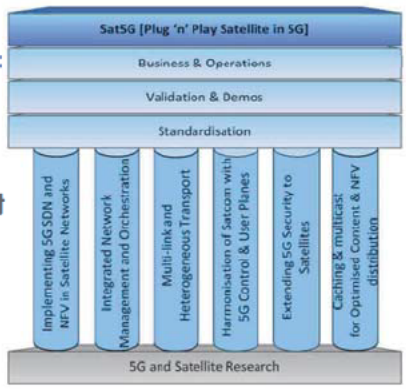
※1 5GPPP(5G Infrastructure Public Private Partnership)　※2 SaT5G(Satellite and Terrestrial Network for 5G)

目的

- 5G及び衛星通信に関する研究成果を踏まえ、5Gのネットワークアーキテクチャに衛星通信を組み入れたソリューションを評価、定義する
- 5Gのための衛星通信ネットワークソリューションの商業的価値を提案、開発する
- 特定された研究課題に重要となる技術要素を定義、開発する
- 実験環境で重要となる技術要素を検証する
- 特定の機能やユースケースの実証を行なう
- 当該分野におけるETSI(欧州電気通信標準化機構)及び3GPPの標準化活動に貢献する

コンセプト

- 5Gの三要件(※)のうち、SaT5GではeMBBに焦点を当てている
  ※eMBB(enhanced Mobile Broadband):高速大容量
  URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications):超高信頼低遅延
  mMTC(massive Machine Type Communication):超大量端末
- 5Gのエコシステムにて衛星通信が機能すると考えられるユースケースを4つ選定し、詳細を検討



SaT5Gの検討構造

参加者

avanti, ThalesAlenia Space, University of Surrey, SES, AIRBUS, BT, Zodiac Aerospace, Quortus, iDirect, i2cat, University of Oulu, broadpeak, Gilat, imec, TNO, ONEAccess

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:SaT5G資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

トピック2 …5Gと衛星通信の連携事例…SaT5G(欧州委員会)の取り組み(2／3)

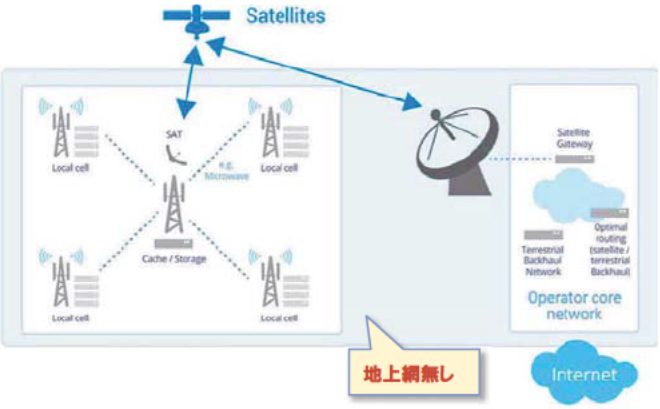
SaT5Gでは、5Gのネットワークアーキテクチャへ衛星通信を組み入れることを目標に位置づけて、衛星の利活用が想定される各ユースケースごとに検証を進めている

概要

- ユースケースは計4つ定義されている(ユースケース1以外はマルチキャスト)

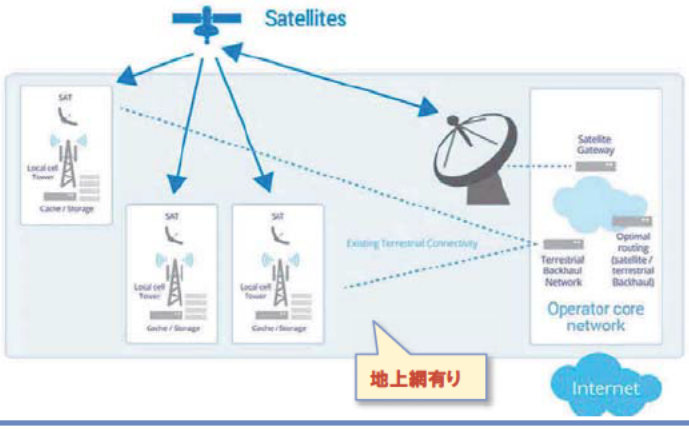
ユースケース1 …トランキング及びヘッドエンドフィード

- 動画、IoT、その他データを(通信衛星から)一旦中央局に下ろし、その後に地上通信網を通じ(隣村など)各地域の基地局に送信を行うユースケース
- 海上、湖上、山間部、農村部、過疎地といった、地上ネットワークが通っていない(或いは乏しい)地域の通信を、通信衛星による高速通信で補完することを想定している



ユースケース2 …バックホール及びタワーフィード

- 動画、HD/UHDテレビ放送といった同一の大容量データを、広範囲かつ同時多数の地上局に対してマルチキャスト通信を行なう際、衛星通信で地上通信の補完を行なうユースケース
- 生中継やオンデマンド中継／マルチキャスト放送、グループ間でのコミュニケーション通信をより効率的に実施することが可能になる



© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:SaT5G資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

トピック2 …5Gと衛星通信の連携事例…SaT5G(欧州委員会)の取り組み(3／3)

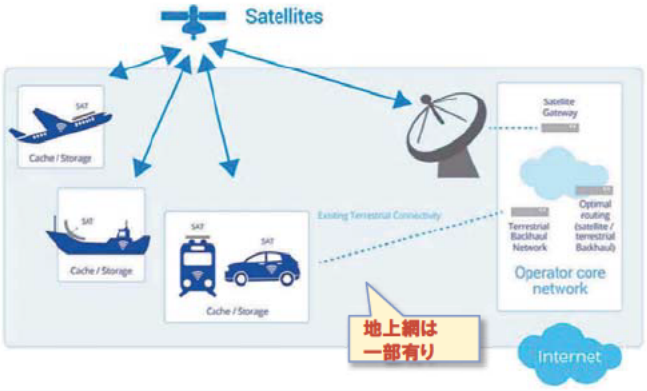
SaT5Gでは、5Gのネットワークアーキテクチャへ衛星通信を組み入れることを目標に位置づけて、衛星の利活用が想定される各ユースケースごとに検証を進めている(続き)

概要

- ユースケースは計4つ定義されている(ユースケース1以外はマルチキャスト)

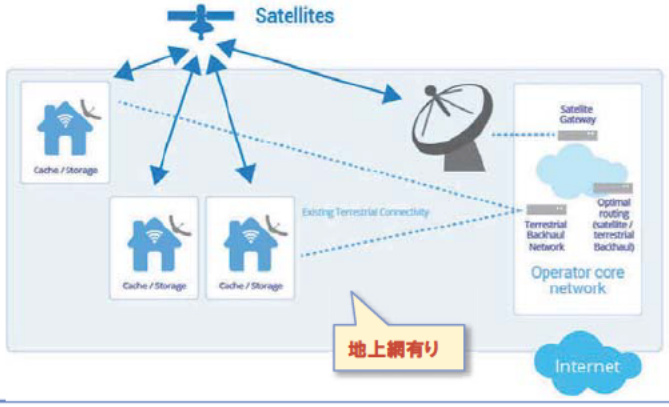
ユースケース3 …移動時の通信

- 広範囲かつ多数の移動局(飛行機、車両、電車、船舶等)に対して、動画、UD/UHDテレビ放送、クラウド関連といった同一大容量データを、通信衛星からマルチキャストで通信するユースケース
- 鉄道駅、港湾、コネクテッド・カーなどと、地上通信が通っている箇所については、衛星通信は地上通信の補完として機能する



ユースケース4 …ハイブリッドマルチプレイ

- 動画、HD/UHDテレビ放送といった同一の大容量データを、広範囲かつ同時多数の個人住宅やオフィスに対してマルチキャスト通信を行なう際、衛星通信で地上通信の補完を行なうユースケース
- 衛星通信は、地上ブロードバンド通信の補完として機能することになる



© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

出典:SaT5G資料よりNTTデータ経営研究所作成
NTT DATA

6. 今後の課題・論点（案）

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

NTT DATA

弊社の考え、課題・論点（案）

課題	論点（案）
高速かつ、柔軟な通信の実現	● 非静止衛星のコンステレーションが世界各地で進められているが、衛星が同時にカバー可能なエリアの範囲や、HTSの進展から静止衛星は宇宙利用において引き続き重要な位置を占めるのではないか ● 静止衛星において衛星－地上間の通信容量（特に下り）を確保しつつ、目的に応じた通信を空間軸・時間軸でどのように実現していくか ➢ マルチビームや高周波数帯（Ka/Q/V帯等）を利用した高速通信衛星の普及と、それを見据えた衛星－地上局の役割分担や連携の方法の具体化が求められているのではないか ✓ 例えば、「Satellite-as-a-Service」といったAI/IoT/BD関連技術の活用による需要予測・シェアリング ✓ 具体的には… ・ 需要が大きい地域や時間帯をAIで予測して、通信ビーム自動生成や地上局を選択するアルゴリズムの確立 ・ 地上モニタリング情報やソーシャルビックデータと組み合わせた柔軟な衛星通信サービスの実現 ・・災害時や（降雨減衰をもたらす）曇天時の地上通信と衛星通信とのマッチングによる最適なネットワークリソース配分による高度化
衛星同士、衛星－地上間の柔軟な通信経路のあり方	● 静止衛星、非静止衛星、並びに地上系との連携が重要になってくるのではないか ● 5G時代における衛星間、衛星－地上間の通信経路のあり方をどのように考えていくか ➢ 静止衛星と非静止衛星コンステレーション間のネットワーク化を見据えた取り組みが必要ではないか ✓ ネットワークルーティング技術： 非静止衛星が有する大容量の情報を確実に衛星間が連携して地上へ伝達する技術の確立（例：DTN※1とICN※2の組み合わせ） ※1 DTN（Delay Tolerant Network）：遅延耐性ネットワーク ※2 ICN（Information Centric Network）：情報指向ネットワーク ➢ 地上や衛星のデータ通信量の指数関数的な増加を見据えた取り組みが求められるのではないか ✓ 5Gモバイルバックホールをはじめ高速・多元接続・低遅延を見据えた衛星通信の果たすべき役割の獲得 ✓ 要素技術としての光通信技術の活用・発展
衛星通信のレジリエンスのあり方	● 宇宙利用の役割や期待が増大している中、積極的に衛星の安定的運用を図っていくべきではないか ● 衛星の安全性を向上させるためには、今後どのような取組が必要か ✓ 衛星通信のセキュリティ対応 ✓ 衛星の安定的運用のための宇宙天気情報の積極的な活用 ・例：宇宙天気予報によって、衛星の搭載機器の予防保全や衛星間ネットワークの障害・影響度の予測への活用 ✓ 衛星－地上間の統合システムの冗長性、抗たん性の確保 ✓ ケスラーシンドロームを引き起こしかねないデブリへの対応

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

NTT DATA

NTT DATA

Trusted Global Innovator

© 2018 株式会社NTTデータ経営研究所
© 2018 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

2025

COMPASS

vol.0

※本ファイルの無断転載はご遠慮ください。また、ご自身のブログやWebサイト等へ掲載する場合は、
出所をご明示頂き、お問い合わせフォーム(https://www.spacetide.org/contact/)よりご一報お願い致します。

SPACETIDE

COMPASS
by SPACETIDE

www.spacetide.org
info@spacetide.org

COMPASS

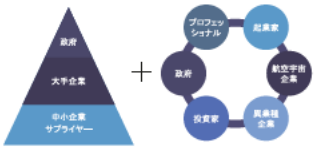
発刊に当たって

世界の宇宙産業はパラダイムシフトの真っ只中にあります。従来、宇宙産業は国家による宇宙開発プロジェクトを中心として進んできましたが、近年は民間企業による宇宙ビジネスに大きな注目が集まっています。

過去 10 年の間に、30 を超える国や地域で宇宙ビジネスへの投資が行われ、1000 を超える新たな企業が誕生しました。また宇宙を本業としていなかった多様な業種の企業が宇宙ビジネスに参入・投資を行っています。

このように新たな宇宙産業では、従来以上に幅広い分野の団体や個人が関わり、様々なビジネスの可能性が議論されています。日本でも官民の双方で宇宙ビジネスに対する関心が急速に高まっており、新しい産業エコシステムが生まれる兆しがみえてきています。

NEW ECOSYSTEM



国家宇宙開発　＋　民間宇宙ビジネス

こうした背景の中、2015 年に立ち上げた SPACETIDE は、産業横断的な活動を通して宇宙ビジネス全体の底上げを図るとともに、新たな道筋を創っていくことで、日本および世界の宇宙産業の発展に寄与することを目的に活動しております。

これまで SPACETIDE では、国内最大規模の年次宇宙ビジネスカンファレンスや小規模なネットワーキングイベントを企画・運営してまいりましたが、この度新たな活動の一環として、独自にまとめた業界レポート「SPACETIDE COMPASS」を発刊することといたしました。「SPACETIDE COMPASS」は国内外の新たな宇宙産業の全体動向に関する情報分析を行い、体系立てた情報発信を行うことで、読者およびその関係者が宇宙ビジネスに関する理解・興味を深め、情報を活用し、産業が拡大・発展していくことを目的としています。創刊号「vol 0」では、宇宙ビジネスの全体像と産業全体の進展度合いを示すことを目的として、

1 宇宙ビジネスの市場セグメント（事業の分類）の定義
2 各セグメントにどのようなプレイヤーが存在するかを示したプレイヤーマップの作成
3 宇宙ビジネスへの資金流入を示す近年の宇宙スタートアップ企業による資金調達額推移の調査

を行いました。(*1) 今後は四半期から半期程度を目安に、プレイヤーマップや重要指標を更新していくとともに、発行時点のホットトピック等の共有・分析を行っていく予定です。

1: 情報は全て 2018 年 11 月時点

SEGMENT | 宇宙ビジネスの事業分類

現時点の宇宙ビジネスは、その特徴から 6 つのセグメントに分けることができる。

宇宙データ・技術利活用

人工衛星からのデータや各種宇宙技術を利用し、主に地球上で実施されるビジネス活動およびその関連事業

- 衛星データ（画像 / 位置情報等）の販売
- 衛星データ処理・解析により得られる情報・ソリューションの提供
- 衛星通信サービス

輸送

宇宙空間に人または物を輸送するビジネス活動およびその関連事業

- 大型／小型ロケット、宇宙船の開発・製造
- 製造人工衛星や有人の打ち上げサービス

衛星インフラ構築・運用

宇宙空間に人工衛星のインフラを構築・運用するビジネス活動およびその関連事業

- 静止衛星の開発・製造
- 低中軌道衛星コンステレーションの開発・製造・配備
- 地上側の設備や端末

軌道上サービス

地球周辺・周回軌道の宇宙空間上の人工物に対するビジネス活動およびその関連事業

- 衛星の寿命延長
- 宇宙空間での研究開発や製造
- デブリ除去

宇宙旅行・滞在・移住

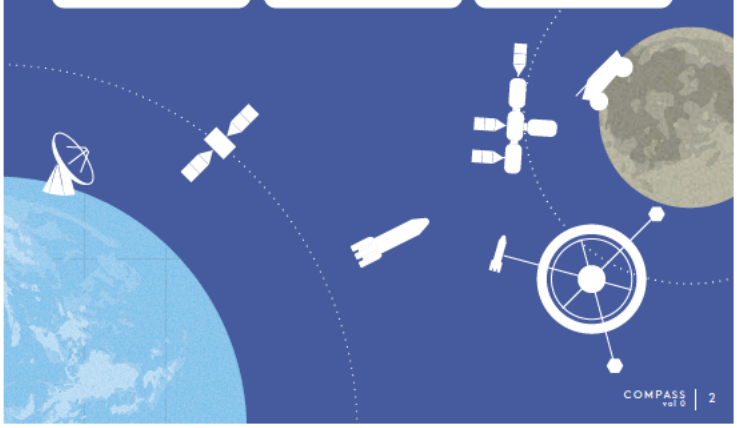
宇宙に行くまたは滞在（移住含む）を目的としたビジネス活動およびその関連事業

- 宇宙旅行の企画・運営
- 宇宙ホテルの設計・開発・運営
- 関連する衣食住事業

探査・資源開発

地球周辺・周回軌道以外の宇宙空間で行われるビジネス活動およびその関連事業

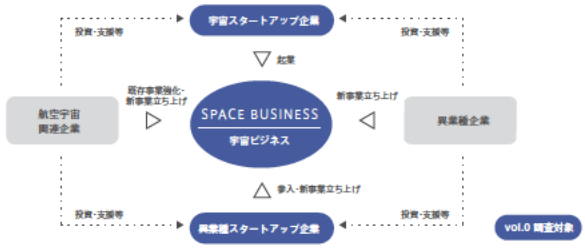
- 宇宙探査機・探査車の開発・製造
- 月や火星における基地やインフラの企画・設計・運営



PLAYER MAP | 日本の宇宙ビジネスプレイヤー

宇宙ビジネスへの参入方法と vol.0 調査対象

宇宙ビジネスへの参入方法には、起業、新事業立ち上げ、投資・支援等があるが、
vol 0 では 2000 年以降に創業したスタートアップ企業 (国内) を主な調査対象としている。



セグメント別　プレイヤーマップ

各セグメントに様々なスタートアップ企業が登場している

宇宙データ・技術利活用

- Axelspace
- ALE
- Dynamic Map Platform
- Global Positioning Augmentation Service
- GREE
- mercariR4D
- Ridge I
- SAgri
- Space Shift
- Space Bio Laboratories
- Synspective
- Umitron

輸送

- Interstellar Technologies
- PD Aerospace
- SpaceWalker
- SpaceBD
- SpaceOne

衛星インフラ構築・運用

- Axelspace
- Infostellar
- Institute for Q shu Pioneers of Space
- WARPSPACE

軌道上サービス

- Astroscale
- SpaceBD

宇宙旅行・滞在・移住

- Club Tourism Space Tour
- Yspace
- OUTSENSE
- PD Aerospace
- SpaceWalker

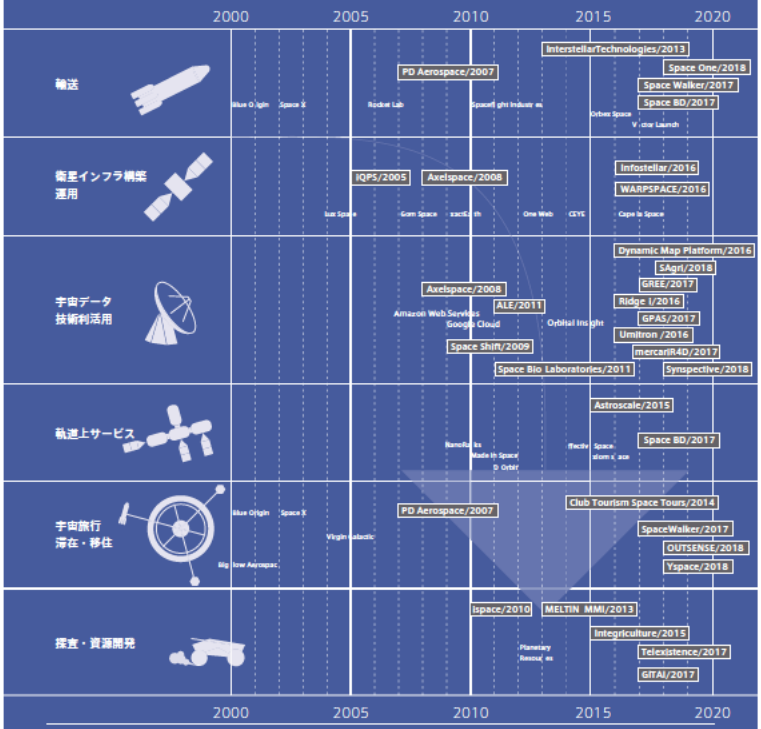
探査・資源開発

- GITAI
- GREE
- Integr culture
- Ispace
- MELTIN MMI
- Telexistence

*1：スタ　トアップ企業は、2000 年以降に創業した事業会社とする（社団法人等は今回含まず）
*2：メ　カ　は最終製品を製造している企業 (OEM) のみを記載
*3：アルファベット順

創業年別　プレイヤーマップ

輸送ビジネスの進展により、衛星を活用する産業が発展していき、近年は軌道上サービス、
宇宙旅行、資源探査などへ、ビジネスの領域が多様化していることがわかる。

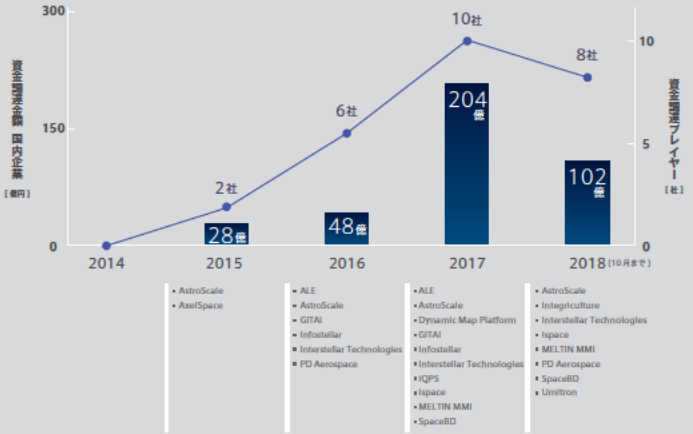


1 小文字は海外企業 (主要プレイヤ　のみを記載)
2 スペ　ス等の関係上、名称には　部略称を使用
3 異業種スタ　トアップ企業に関しても原則創業年度で記載。ただし GREE は宇宙事業参入を公表した年にて記載

INVESTMENT | 資金調達 - 国内

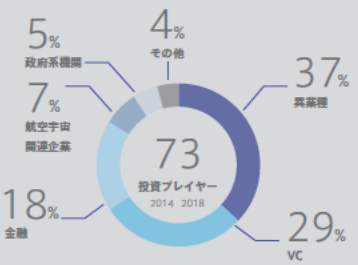
資金調達の推移 (国内・スタートアップ企業)

日本のプレイヤーも資金調達数は近年増加傾向。
世界ではより大規模な資金調達が行われており、国内も更なる発展余地がある見込み。



投資プレイヤーの構成

日本における投資プレイヤーは、VC や異業種企業 (事業会社の CVC 等) が多いことが特徴的



*1　調査対象企業に関する公開情報のみ集計して作成 (金額非公開の場合は件数のみ加算)
*2　調達額は、公開されている日本国内の「投資」「業務提携」「寄贈」「クラウドファンディング」の調達金額を集計
*3　投資プレイヤ　は、2014 2018 までに　度でも投資を実施したプレイヤ　について重複無しで集計 (分類は spacetide 推定)
「その他」は、個人投資家等が含まれる

AFTER WORD | 終わりに

国内外を問わず宇宙産業は大きく変動しています。私たちはこれらの動きを多角的に捉え、分析・発信していくことで、宇宙産業の発展ひいては人々が宇宙を身近に感じられる社会の実現につながると考えています。そしてそれは、SPACETIDE が担うべき役割として重要なものになると確信し、「SPACETIDE COMPASS」の制作を始めました。創刊号である本レポートでは、プレイヤー情報等の基本的な情報がメインのコンテンツとなっていますが、次号以降ではさらに多様で、興味深い情報を発信していく予定です。SPACETIDE COMPASS が、宇宙産業の「羅針盤」として、既に宇宙に関わっている人だけでなく、これから関わろうとしている多くの人々に対して有意義で、宇宙産業の更なる発展に貢献できることを願っています。

SPACETIDE COMPASS
Program Manager

中上禎章

米津 佑亮

2015 年に立ち上げた SPACETIDE では、年次カンファレンスやネットワーキングイベントを中心に活動をしてまいりましたが、参加者の皆様より宇宙ビジネス全体の進展度合いや動向をまとめた情報が知りたいとの声をいただき、この度 SPACETIDE COMPASS を創刊致しました。SPACETIDE としても新たな挑戦になりますが、皆様とともに宇宙産業の発展・拡大に寄与できれば幸いです。引き続きよろしくお願いいたします。

一般社団法人SPACETIDE
代表理事・CEO

石田真康

COMPASS Vol.0
Edit&Research / 調査・執筆　小畑俊裕、河田将輝、小林悦子、高尾和恵、中上禎章、星谷隆、
細沼貴之、松原舜、三吉香留菜、山口結花、米津佑亮
石田真康、佐藤将史
Design / デザイン　有馬康

SPACETIDE
発行　一般社団法人 SPACETIDE
発行日 / 2018年12月5日
www.spacetide.org
お問い合わせ Info@spacetide.org

宙を拓くタスクフォース（第4回）
宇宙航空研究開発機構（JAXA）
プレゼンテーション資料

資料① スペースデブリの現状と課題について
資料② 国際宇宙探査の動向と通信の課題

2019年 1月28日

宇宙航空研究開発機構 理事 今井 良一

資料①

スペースデブリの現状と課題について

概要：
スペースデブリに関する基本的な情報をご説明すると共に、JAXAのスペースデブリに関する取組みをご紹介します。

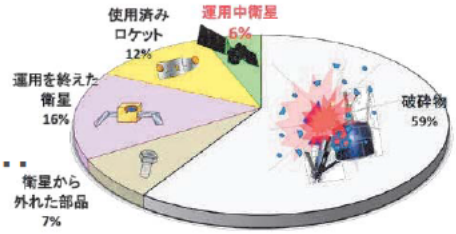
2019年 1月 28日

宇宙航空研究開発機構
経営推進部

スペースデブリとは

スペースデブリ：軌道上にある不要な人工物体の総称 ＝ 宇宙のゴミ

- ➢使用済みあるいは故障した人工衛星・ロケット上段
- ➢ミッション遂行中に放出した部品：分離機構部品など
- ➢運用後、残推薬による爆発・衝突により発生した破片
- ➢その他、固体ロケットモータのスラグ（燃えカス）、塗料片、・・・



宇宙空間は宇宙ゴミ（スペースデブリ）だらけ＝宇宙空間での飛翔物体の94%がデブリ。

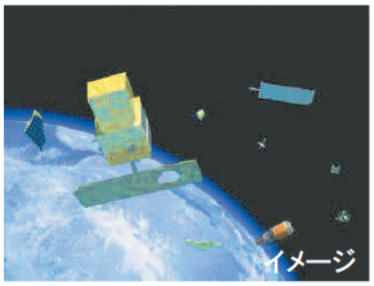
出典：数量割合はESAの2011年2月の国連COPUOS／STSCへの報告より

スペースデブリの数

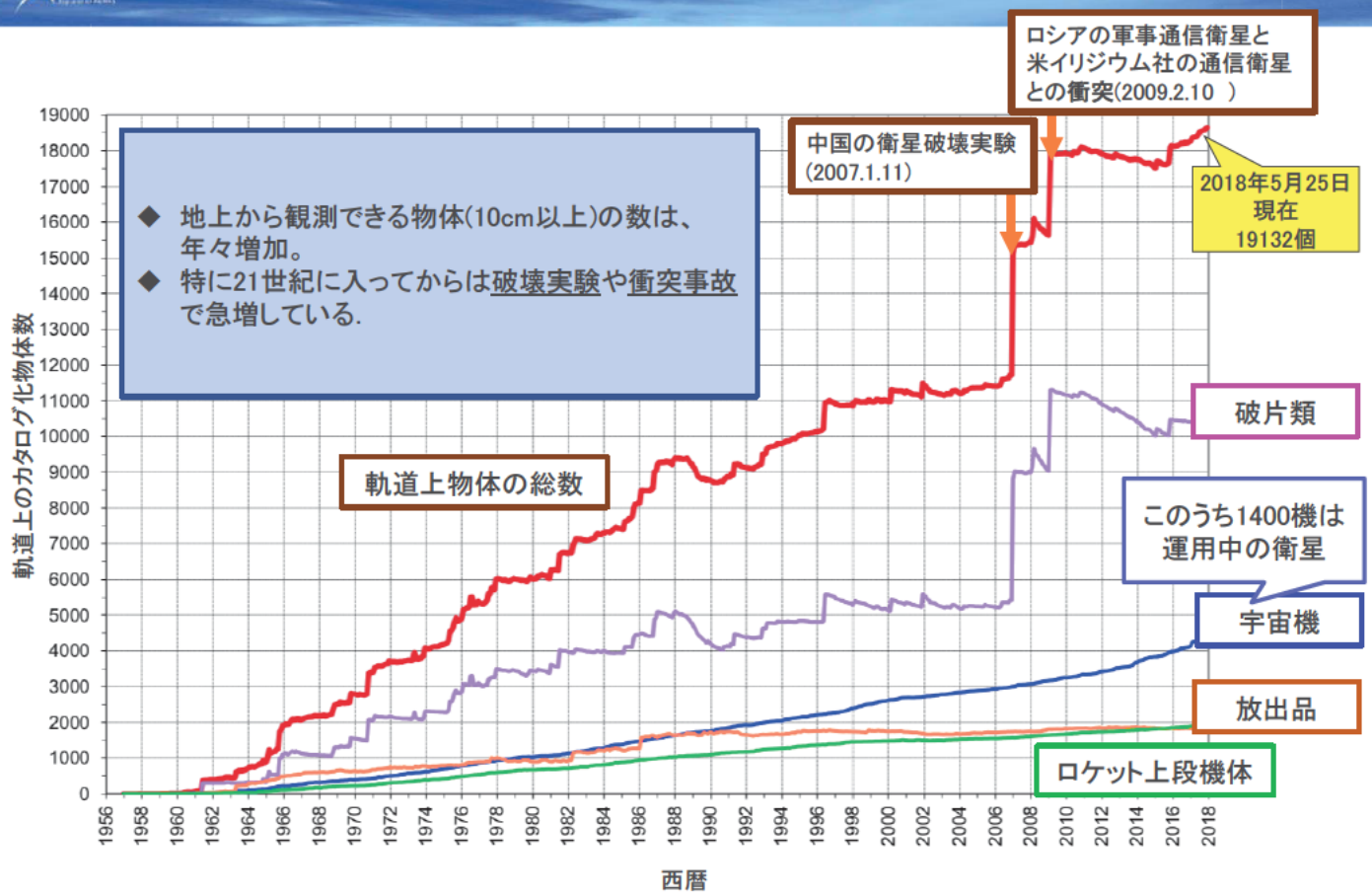
- ➢軌道上物体の数：約23000個(JSpOC, 2015)
  - ✓米国が地上観測網で低軌道約100mm以上、静止軌道約1m以上の物体を追跡し軌道情報を公開
  - ✓運用衛星は約5%程度、残りはデブリ
  - ✓カタログ化された軌道上物体:19132個(軍事衛星は軌道非公開)，残りは起源不明など

(JSpOC, 2018年5月25日現在)

- ➢衝突速度は約10～15km/s　(ライフルは1km/s)
  - ✓100mm以上：2.3万個→壊滅的破壊＋大量破片発生
  - ✓10mm以上：50～70万個→ミッション終了につながる破壊
  - ✓1mm以上：1億個以上→故障



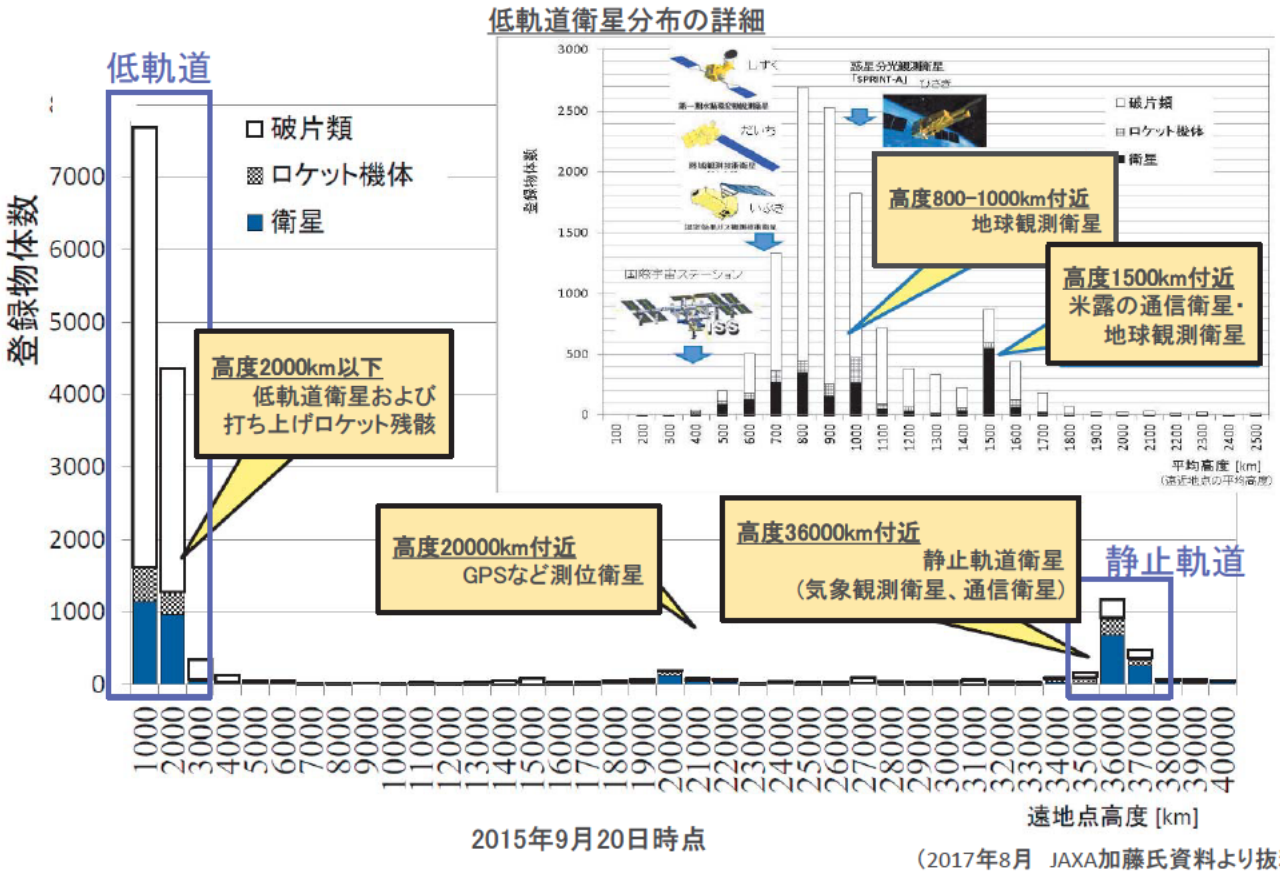
米国が地上監視データから公表している軌道上物体の数



観測限界(公称値)：　低軌道10cm以上，静止軌道1m以上

出展：NASA Orbital Debris Quarterly News, Volume 20, Issues 1&2, April 2016

軌道上の衛星分布現状



2015年9月20日時点

（2017年8月　JAXA加藤氏資料より抜粋）

JAXAデブリ対策の4本柱

デブリ状況把握

- ✓ 観測技術、**SSAシステムの構築**

国際標準・ルール化の検討

- ✓ IADC, COPUOS/LTS等を通した**国際動向の把握・ルール制定への貢献**
- ✓ 国際基準を満たしたJAXAのデブリ標準の制定

ロケット・衛星の非デブリ化・デブリ防御

- ✓ ロケット・衛星の競争力を維持した上で**世界と同等以上の非デブリ化対策**
- ✓ 効率的防御策

デブリ除去

- ✓ 世界に先駆けた**デブリ除去システムの研究推進**
- ✓ ロケット上段・大型デブリをターゲットとした実証
- ✓ 民間事業拡大に向けた枠組み作り

JAXAの取り組み：SSA（宇宙状況把握）システム（1/3）

- JAXAはスペースデブリとJAXA衛星の接近解析、大気圏再突入物体の予測に関する研究を継続して来た。
- 宇宙空間をこれからも安定的に利用するためには、宇宙物体の軌道を把握、管理するSSA（宇宙状況把握：Space Situational Awareness)の推進が重要。

レーダー	：	低軌道帯物体を観測する。
光学望遠鏡	：	静止軌道帯物体を観測する。
解析システム	：	観測データを解析してスペースデブリの軌道を決定、JAXA衛星への接近解析、再突入予測解析を行う。

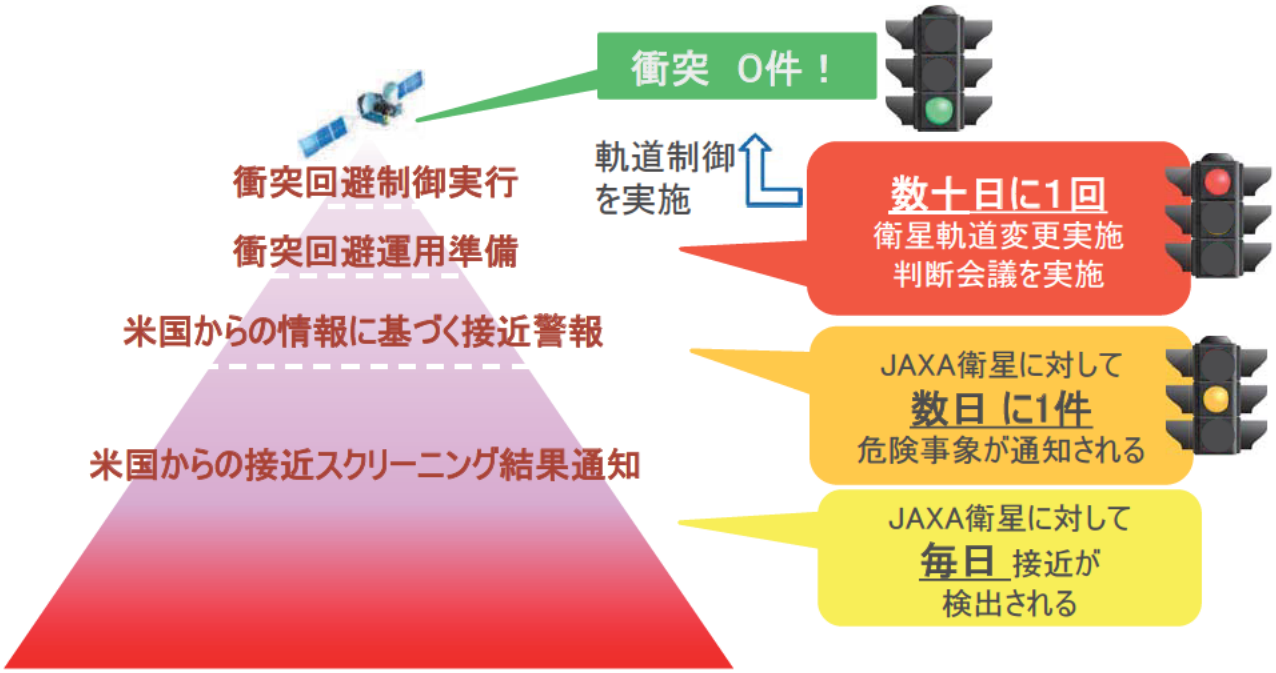
上齋原スペースガードセンター
（レーダー　2004年～）

美星スペースガードセンター
（光学望遠鏡 2002年～）

JAXA・筑波宇宙センター
（解析システム）

JAXAの取り組み：SSA（宇宙状況把握）システム（2/3）

- スペースデブリ観測結果からそれらの軌道を予測。JAXA衛星への衝突リスク回避のために、衛星を移動させる。



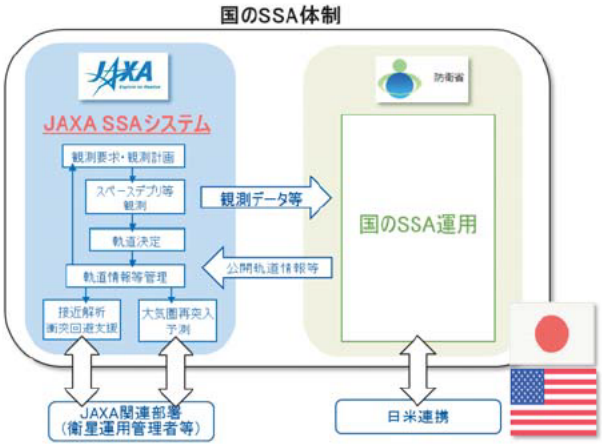
JAXA衛星へのスペースデブリ接近に対する対処

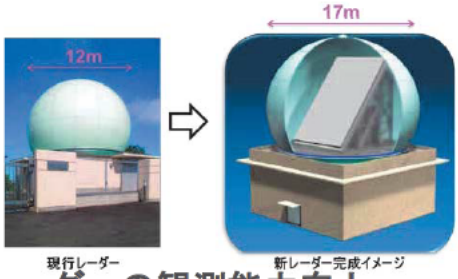
JAXAの取り組み：SSA（宇宙状況把握）システム（3/3）

宇宙基本計画

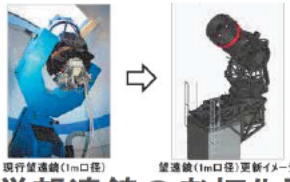
日米連携に基づく宇宙空間の状況把握のために必要となるSSA関連施設及び防衛省やJAXAを始めとした関係政府機関等が一体となった運用体制を、平成30年代前半までに構築する。これに並行して、我が国関係機関と米国戦略軍等との間で連携強化のあり方について協議を進め、運用体制構築等に資する情報収集及び調整を図る。（内閣府、外務省、文部科学省、防衛省等）

JAXAのSSAシステムプロジェクトチームは、**2023年度運用開始**を目指して、レーダー及び解析システムの能力向上、光学望遠鏡の更新を進めている。





レーダーの観測能力向上



光学望遠鏡の老朽化更新

JAXAの取組み：ロケット／衛星の非デブリ化

■JAXAのロケット・衛星は、国の規制及びJAXA基準（JMR-003C）に従って設計・運用されており、以下の様なデブリ低減・非デブリ化対策が考慮されている。

- 制御再突入
- 廃棄軌道(墓場軌道)への遷移
- デオービット・溶融設計(自然落下の危険性を低減)

(研究例)

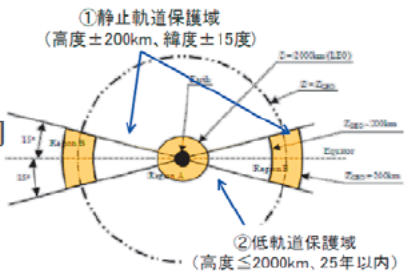
- ✓ 再突入リスク評価技術の獲得：再突入時のデータ蓄積、風洞試験、CFD解析による溶融解析技術の獲得。
- ✓ 気蓄器：再突入時の溶融促進のため材料をチタン(H-IIA/B)からアルミニウム(H3)へ

■非デブリ化に関する国際的な共通ルール

1．　保護軌道域からの退避

①静止軌道保護域(高度±200km, 緯度±15deg)

②低軌道保護域(高度≦2000km)：　軌道滞在期間25年以内



2.地上安全の確保(技術の現状・海外動向踏まえて最大限努力)

・落下危険度(傷害予測値Ec ＜ 1/10000)

→衛星再突入時にどのくらいのサイズが地上に落下するか．人体　の　．

JAXAの取り組み：国際標準・ルール化の検討

1）国際議論への参加：国際ルール化に向けて

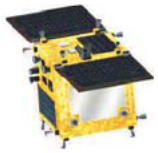
- ➢宇宙機関間デブリ調整会議（IADC）：
  - ✓JAXAは国際的なガイドライン作りを先導・貢献してきた
    - » NASDA標準をベースにIADCのガイドラインが制定され、国連ガイドラインにつながった
  - ✓第36回会合（2018年6月5日～8日）は日本が議長国としてつくばで開催。第37回会合（2019年5月7日～10日）はイタリアが議長国となりローマで開催予定。
- ➢ISO： JAXAから技術的な専門家として参加。
- ➢国連　宇宙平和利用委員会（COPUOS）：外務省の活動を技術的・専門的に支援。
  - ➢ また、JAXAは、慶應義塾大学との宇宙法分野の共同研究を更に活用し、国際標準・ルール化に向けた検討を青木節子教授（内閣府宇宙政策委員会委員）他と共同で行うことを通じて、政府の検討に貢献していく。

2）JAXAのスペースデブリ発生防止に係るガイドライン

- ➢スペースデブリ発生防止標準(JMR-003)：
  - ✓JAXAのロケット・衛星は、スペースデブリ発生防止に係るガイドライン(IADC)、ISO規格等を満足するように設計されている。

JAXAの取り組み：デブリ除去研究

- ➢ **低軌道の大型スペースデブリ除去を目的とした小型衛星システム研究を推進**
  - ✓ 短期的な目標として比較的実証が容易なロケット上段デブリの除去を検討中
  - ✓ 軌道上にある日本起源のロケット上段や自衛星の打上げロケット上段を対象として研究中



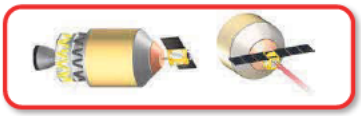
①軌道上物体状況把握
軌道上観測（民間）と地上観測（JAXA実施）による状況把握

②近傍制御
静止していないデブリに対し近傍制御する航法誘導制御技術

③高度オンボード画像処理
AI・深層学習など最新技術によるオンボード画像処理・航法技術

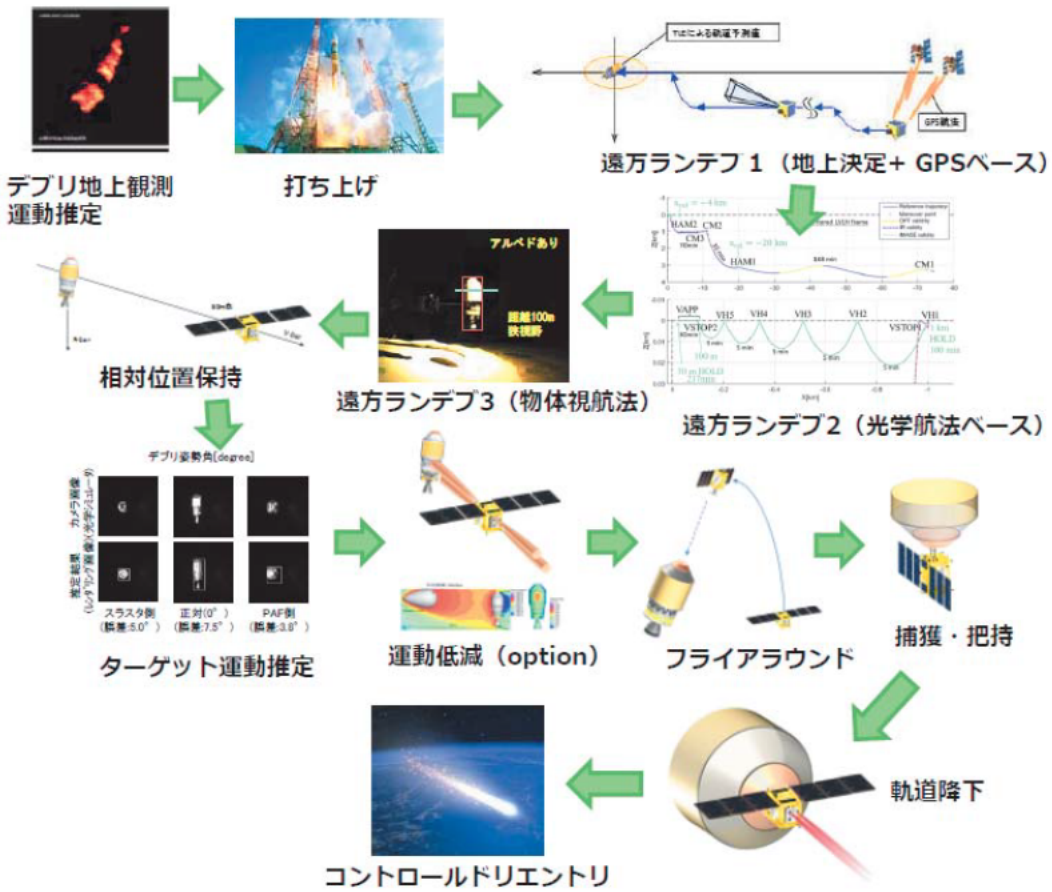
100kg級の技術実証衛星で産業界の基盤技術①②③の獲得を実現

世界初の大型デブリ除去へ



- ➢ **JAXAでは、来年度以降、宇宙デブリ除去に係る事業化の意思を持つ民間企業と共にデブリ環境の改善を行う新たな市場の創出に挑戦することを検討中。**
- ➢ **JAXAの保有する技術・研究開発能力を生かし、民間企業の提案を優先する新たな衛星開発の枠組みについても検討中。**

世界で初めて大型デブリ除去を実現する全体イメージ



デブリ対策の課題

●コンステレーション等衛星の増加が続く中で、宇宙物体同士の衝突等によるデブリ環境悪化を防止する方策（国際的な技術基準、衝突回避ルール等）とその国際的合意。

●上記を支える技術として、宇宙物体の軌道把握、管理を行うSSA技術の向上（分解能の向上、高精度の軌道決定、国際協力の推進等）。

●デブリ環境の悪化防止に有効な大型デブリ除去を、低コストで実現する技術の軌道上実証とその市場創出。

（参考）スペースデブリ除去研究：世界の状況

- スペースデブリ環境は、放置しておくと自然発生的に増大し、安全な宇宙利用ができなくなると言われている。これを防ぐための効果的な手段として、既に宇宙空間にある大型スペースデブリ（爆発的に小さなスペースデブリの発生源となり得る）の除去を行うことが検討されている。

- 以下のとおり、世界中で研究開発に取り組まれており競争状態にあるが、未だ技術実証段階。

（米国）
ロボットアームによる捕獲、網による捕獲等が研究されているが具体的な計画は無い。

©NASA

©Star Inc.

（欧州）
2018年9月、小型衛星による網でのデブリ捕獲技術を宇宙で初めて実証。

©Surrey大

（スイス）
テンタクル（触手）や網で捕獲する方式を検討。

©スイスローザンヌ工科大

（ドイツ）
ESAと協力してロボットアームによるデブリ除去を検討。

©DLR

資料②

国際宇宙探査について

国際宇宙探査の動向について報告するとともに、通信の課題についてご紹介する。

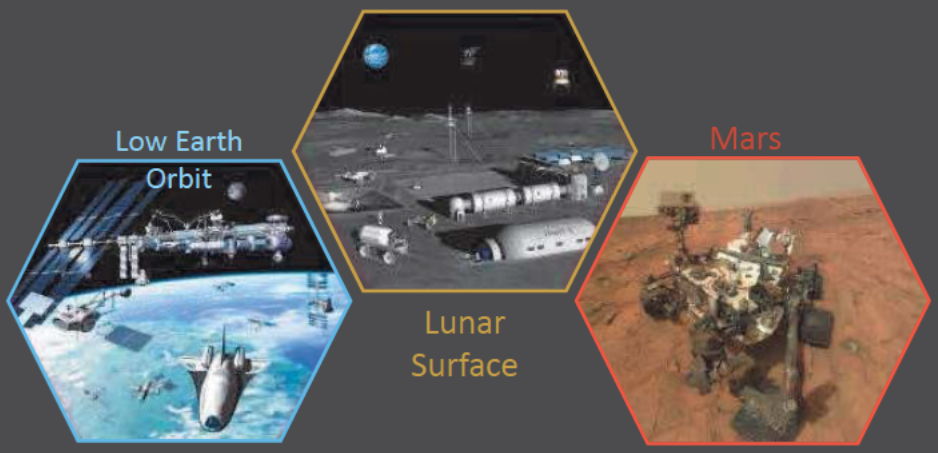
2019年1月28日
宇宙航空研究開発機構
国際宇宙探査センター

国際宇宙探査とは

国際宇宙探査の定義（国際宇宙探査の在り方　宇宙開発利用部会より）

国際宇宙探査とは、天体を対象にして**国際協力によって推進される有人宇宙探査活動**及び当該有人探査のために**先行して行われる無人探査活動**を範囲とする。

JAXAとして当面、**月（周回軌道を含む）**、**火星（衛星を含む）**を対象とする。

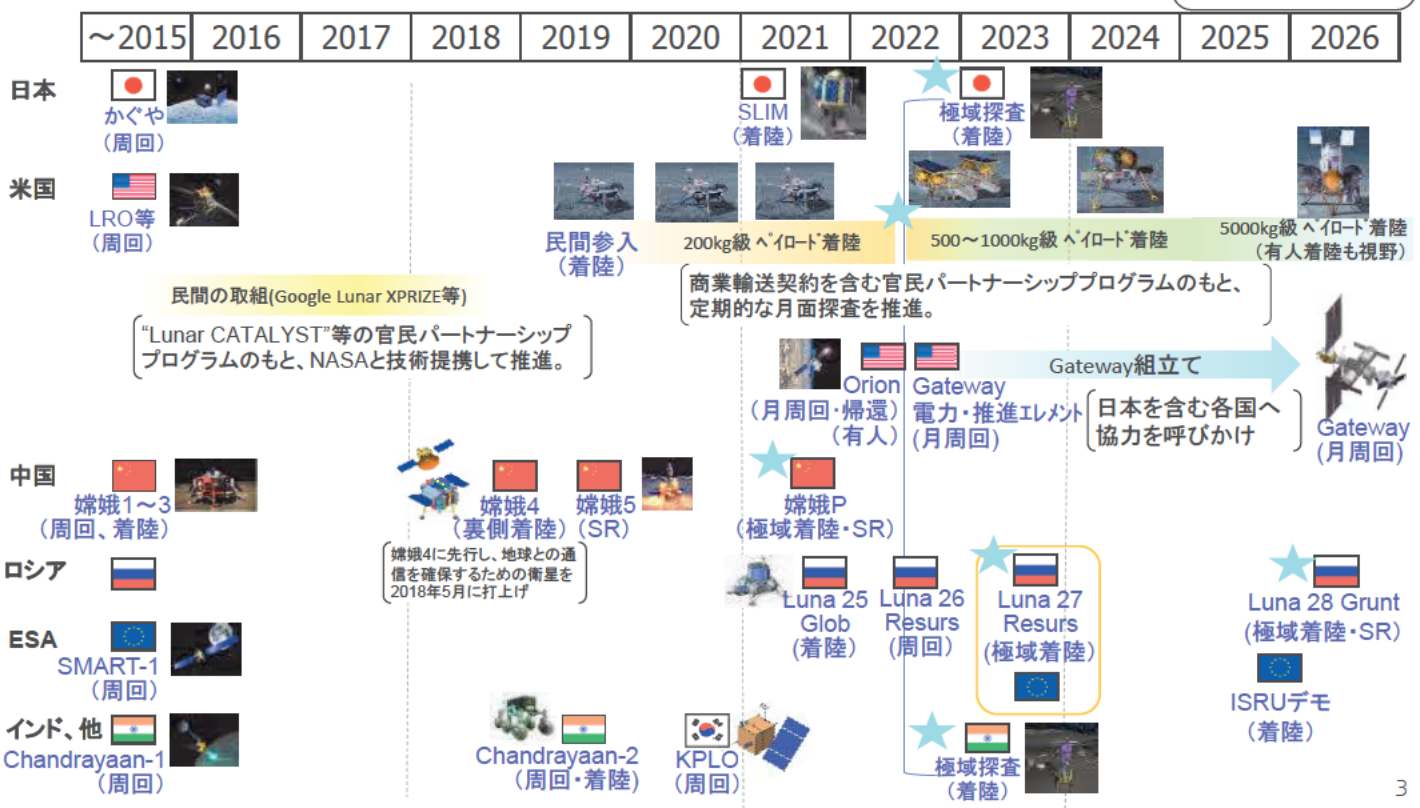


月探査をめぐる各国の動向

■ 月面：2018年以降、主要国は多くの月面探査ミッションを計画。米国は官民パートナーシップを促進。
2020年代前半には米露欧中印等が月極域への着陸探査を計画（月の水氷や高日照率域に高い関心）。

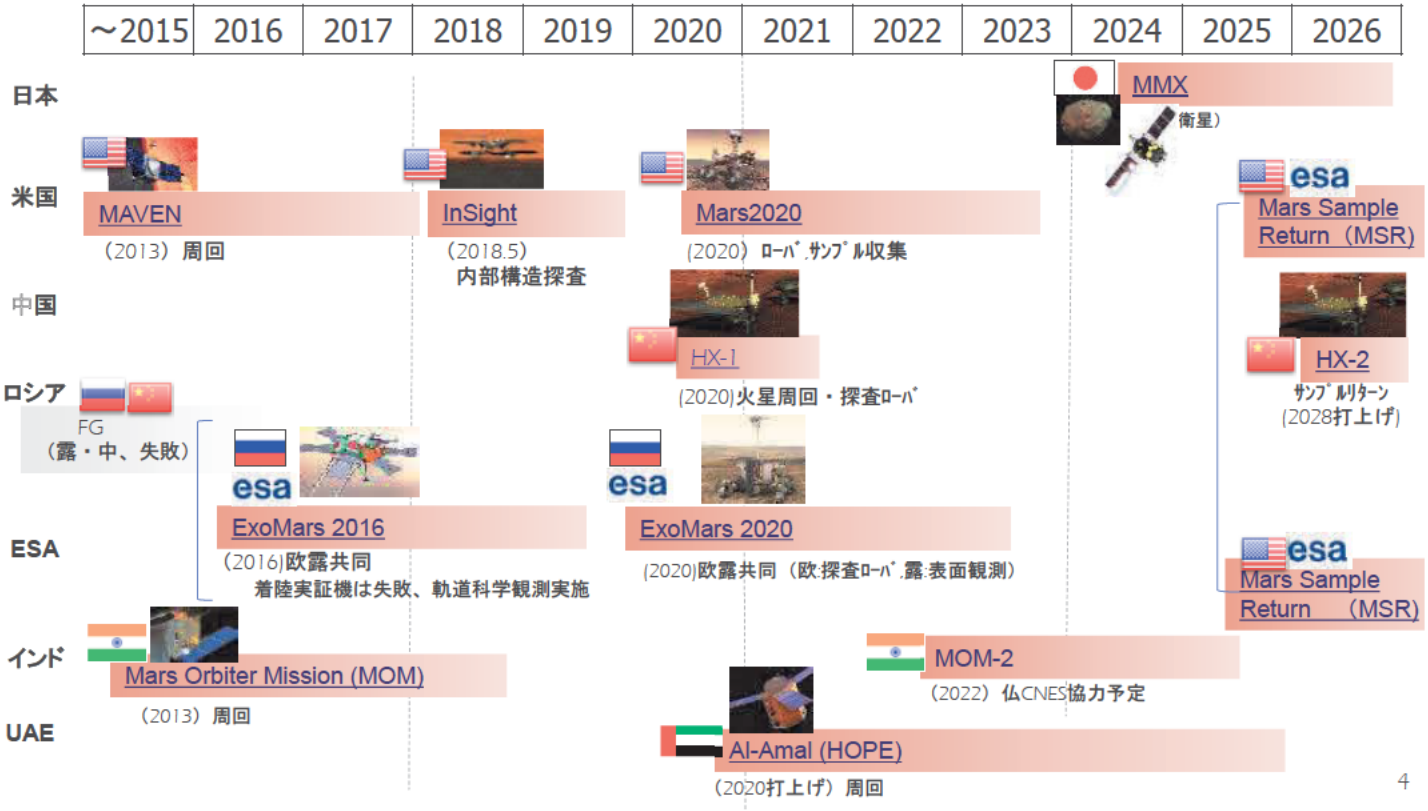
■ 月近傍：米国は月近傍有人拠点（ゲートウェイ）を構築する計画を示し、各国に参画を呼びかけ。
ロシアも参画意志を表明。

★：極域着陸ミッション
SR：サンプルリターン
（※検討中のものを含む）



火星探査をめぐる各国の動向

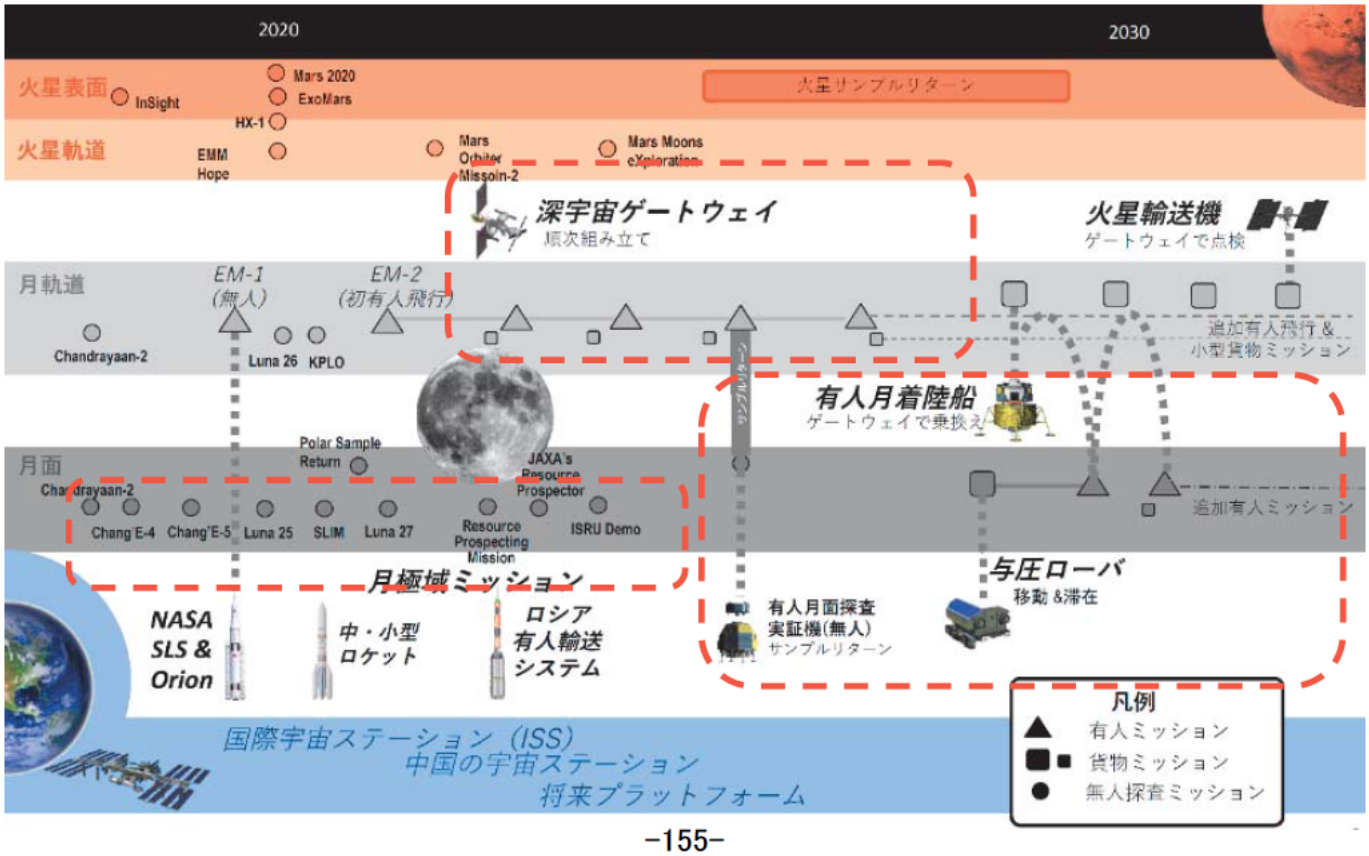
- 火星：2020年前後に各国の火星探査ミッションが集中している。引き続き、欧米、中国が2020年代中盤以降のミッションの準備を進めているところ。（米・ESAのMSRは米国で概念検討の予算が要求された段階、中国のHX-2はどこまで具体化しているか不明）。
- 火星近傍：　火星衛星への探査は日本が推進するユニークな計画（2011年にロシアがフォボスからのサンプルリターンを目指す探査機「フォボス・グルント」の打ち上げに失敗）。



4

ISECG　ロードマップ（GER: Global Exploration Roadmap）第3版 (GER3)

- 15の宇宙機関（日米欧露中印など）からなる国際宇宙探査協働グループ（ISECG）によるシナリオ・技術検討の結果として、2018年1月に公表されたロードマップ。2018年3月のISEF2の場でも紹介された。
- 各機関が、国内ステークホルダ等との協議を行う調整用ツールという位置付けであり、国際約束ではない。

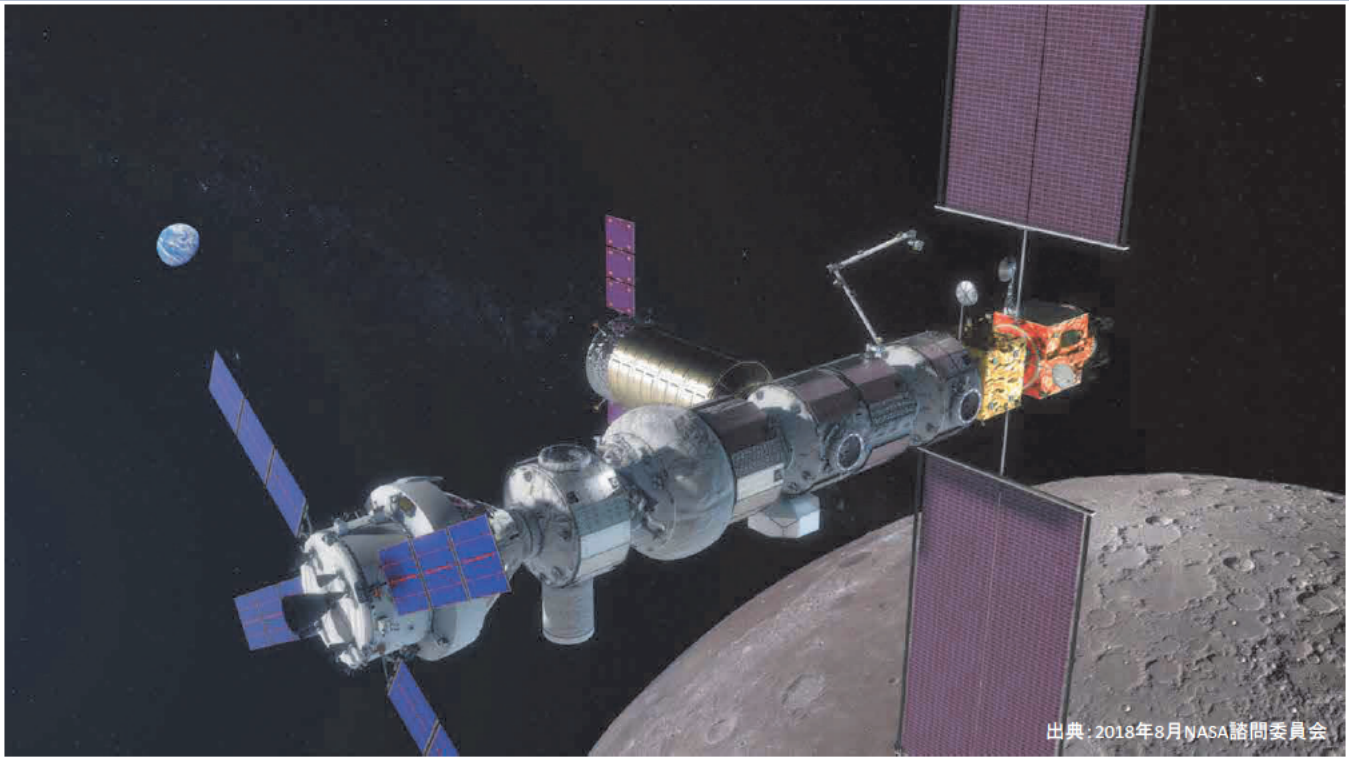


5

月軌道プラットフォームゲートウェイ（Gateway）について

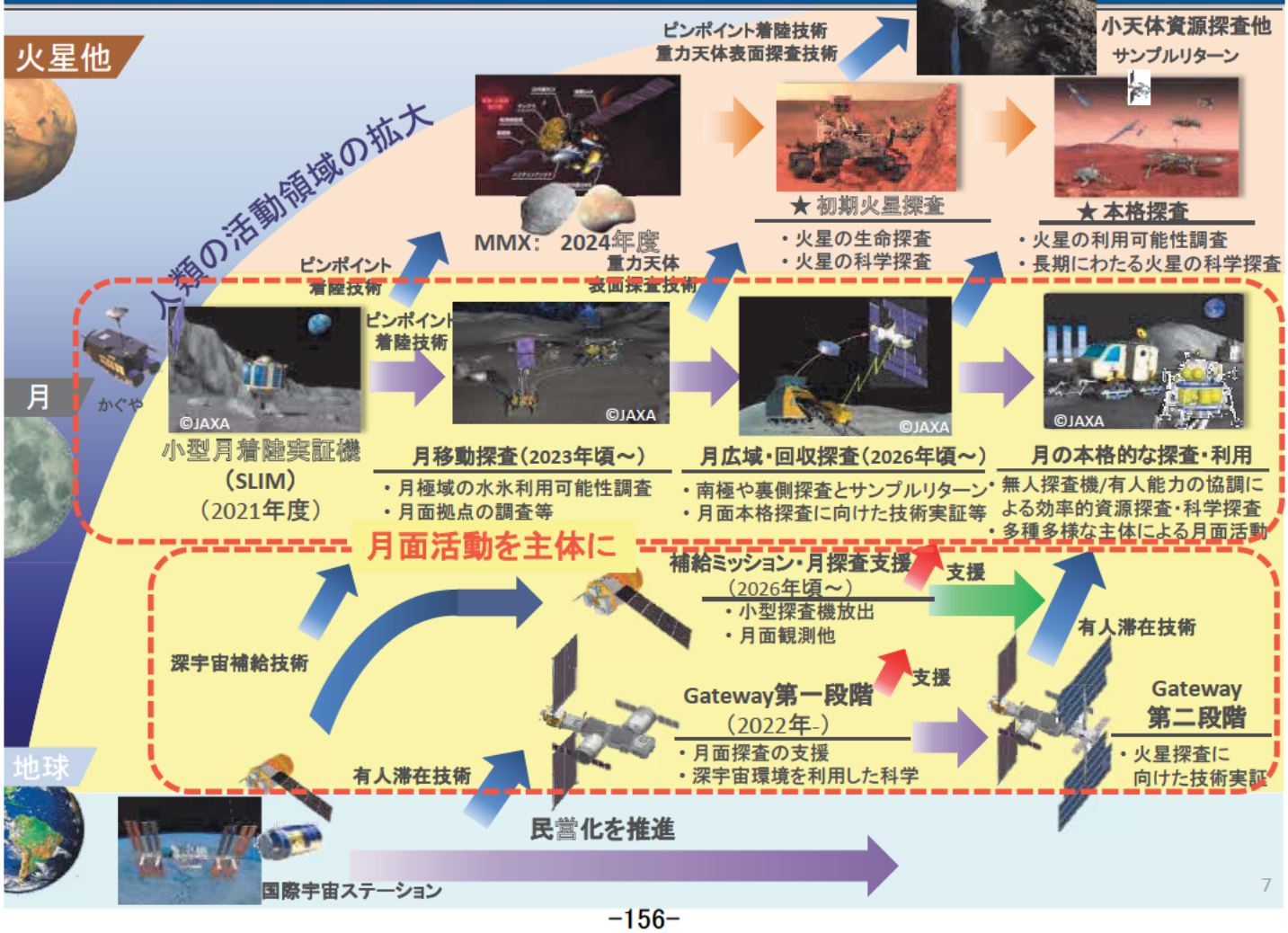
- 2018年2月、米国予算教書において、月の周回軌道※に設置される有人拠点として「ゲートウェイ（Gateway）」を国際協力、民間との協力により構築していくことが発表された。（ISS参加5極の宇宙機関による作業チームが実施してきたコンセプトスタディを踏まえたもの）質量は国際宇宙ステーションの6～7分の1。
- 組立フーズ（プログラム開始）では、4名の宇宙飛行士が30日程度滞在することを想定。
- NASAは、2022年から電気推進エレメントを打ち上げ、2026年頃までの完成を計画。

※ 月の極付近を近月点とする超楕円軌道（近月点：4000km、遠月点：75000km）



6

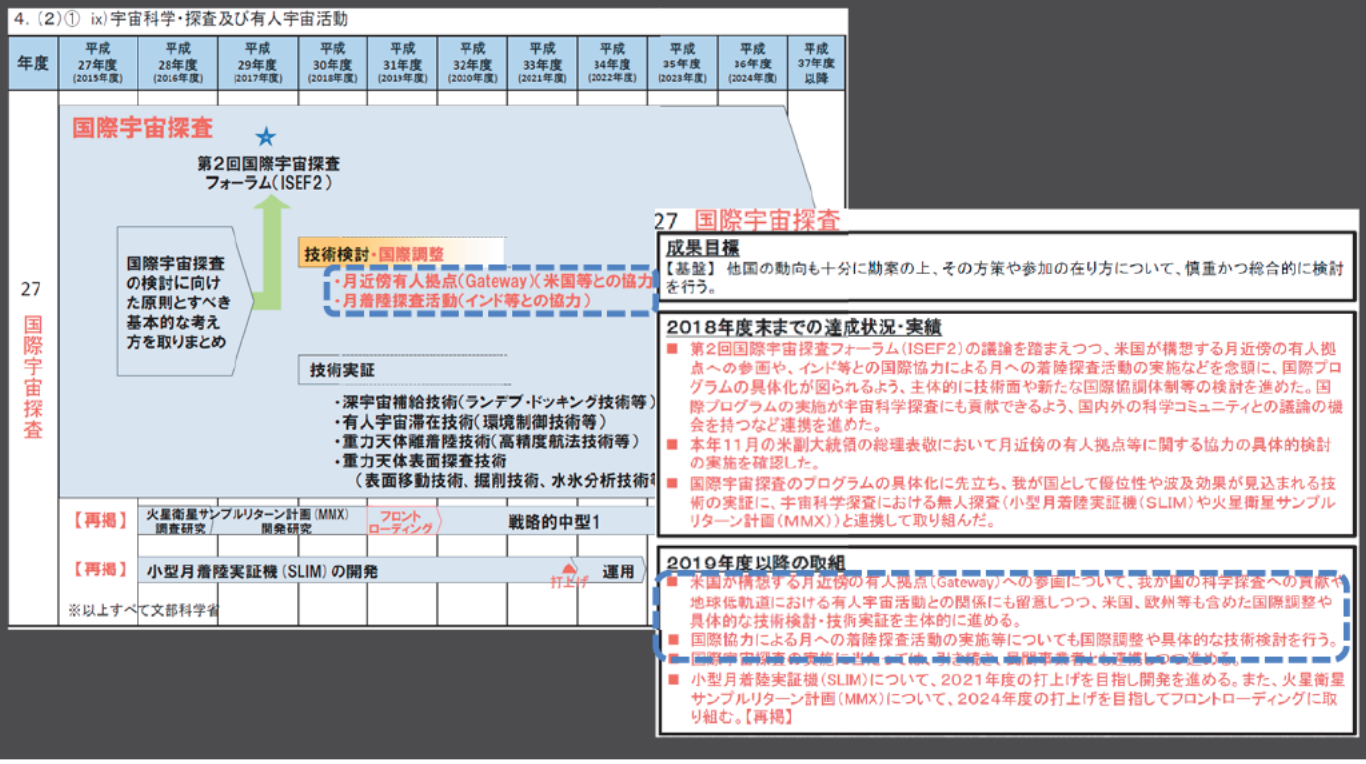
JAXAの当面目標とする国際宇宙探査

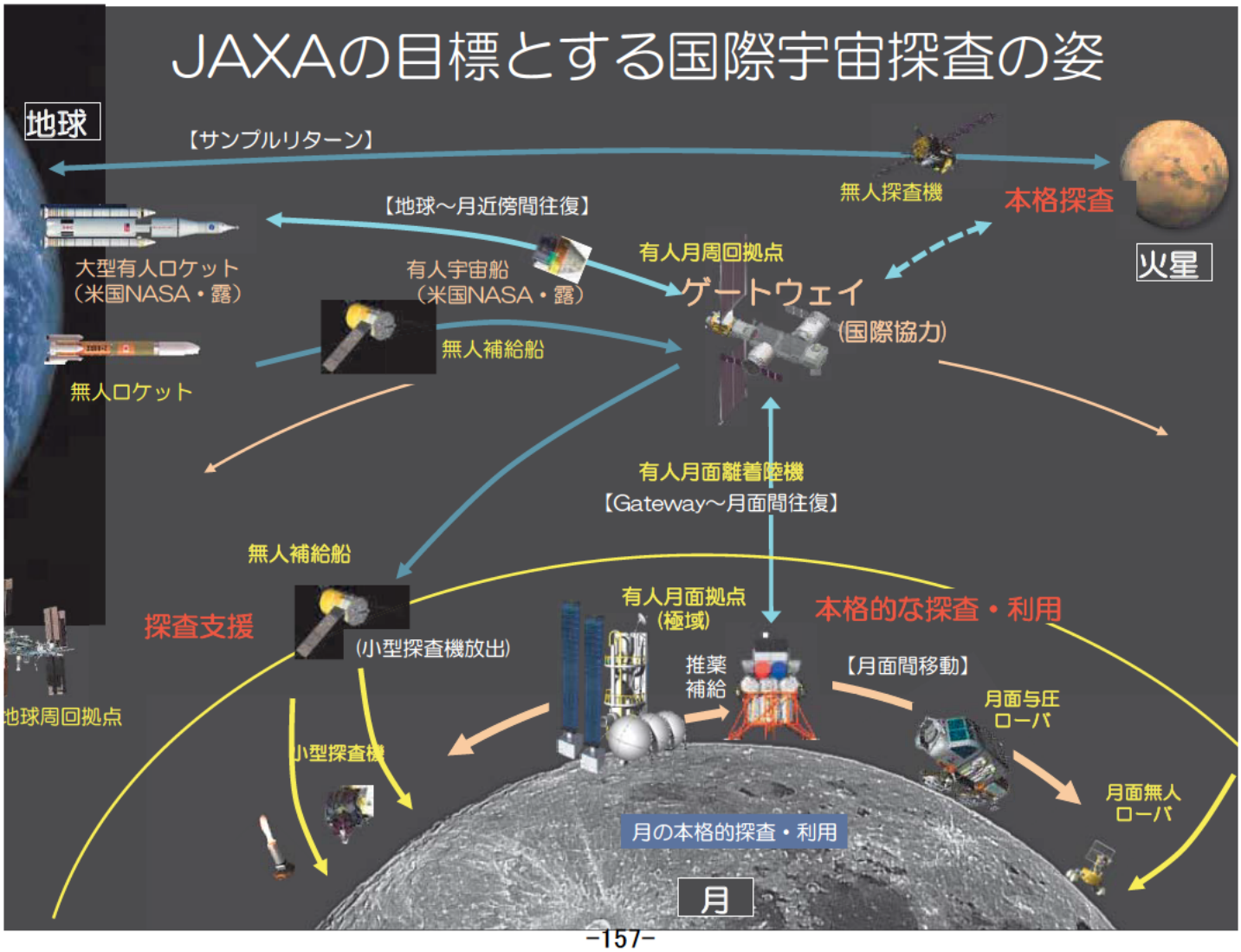


7

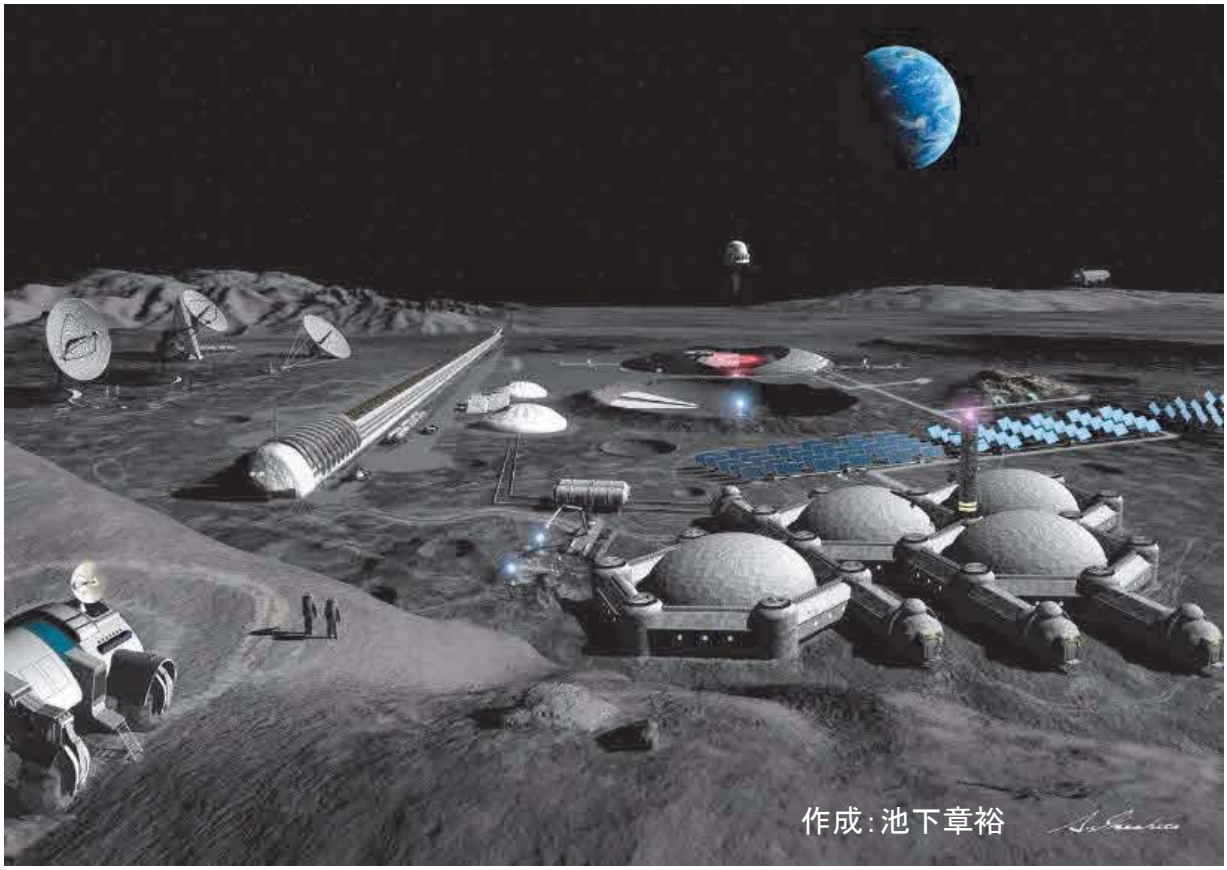
宇宙基本計画工程表

- 12月11日の宇宙開発戦略本部において、承認された工程表改訂において、初めて月着陸探査活動が明記された。取組においても、実施等について、国際調整や具体的な技術検討を行うことになった。





将来の月面のイメージ

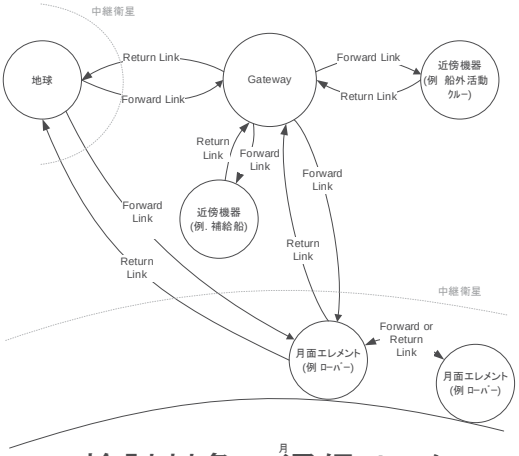


探査通信アーキテクチャ

JAXAにおいて、Gatewayを活用した、将来の多様な月面探査活動に取り組むことを想定した基盤となる、探査通信アーキテクチャ全体に関する検討を進めている。

昨年6月には、我が国として優位性や波及効果が見込まれる、最先端の通信技術の活用可能性について幅広く情報を収集することを目的として、探査通信アーキテクチャ全体および、日本の最先端の通信技術を広く集めることを目的に、情報提供要請（RFI）を行った。

その結果、4社から情報提供をいただき、個別の議論を行っている。



検討対象の通信リンク

国際宇宙探査の通信に関する課題例

- 将来数多くの探査機が月面で活動することが想定され、通信インフラが重要になり、中継衛星や月面基地局の整備が重要。
- さらに光通信の活用、地上に影響ない範囲での周波数の利用など、周波数の有効活用の検討も必要。

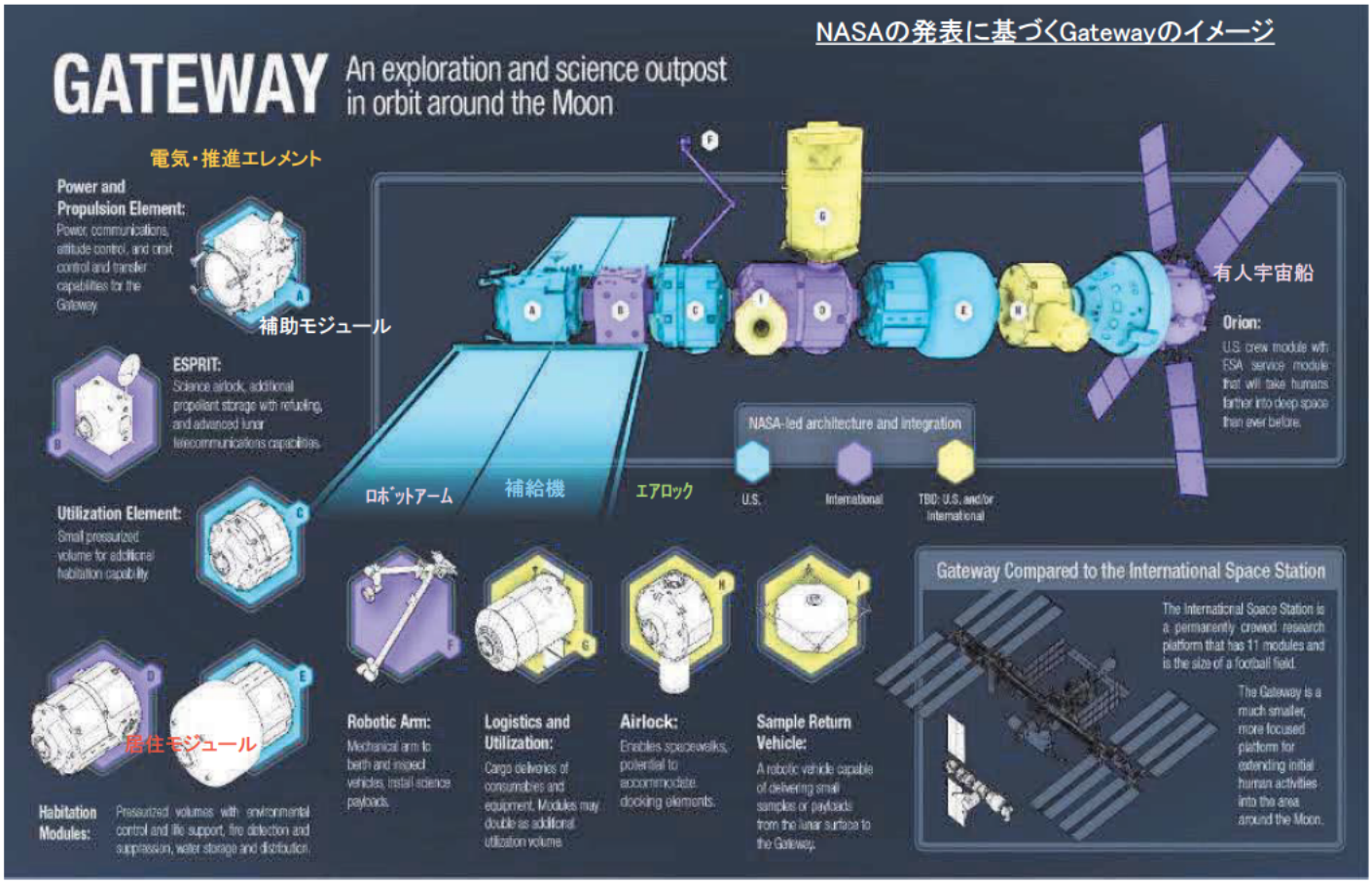
- 地球との長距離通信で想定される通信途絶、中断に対して効果が高い通信方式が必要。また、遠隔操作時の時間差への考慮も必要。

- 地上の最新民生技術を取り込むことも重要である。また、中継など民間のサービスによる提供による効率化も期待できる。
- 地球との通信では、地上局の確保など国際的な協力枠組みなどが必要。

- 月面の活動を支える測位も重要になり、月周辺の測位衛星システムや月面の基準点が必要になる可能性がある。

バックアップチャート

月軌道プラットフォームゲートウェイ（Gateway）について



想定しているミッション

月移動探査：月極域探査ミッション

- 各国は2020年代前半に各国が計画している中、我が国としても各国に遅れることなく、月極域における水の存在量や資源としての利用可能性の確認を主目的とし、さらに、比較的穏やかな環境で、持続的な探査が可能かつ拠点構築にも有利な月極域地域の探査を行う。
- インド等との国際協力により実施する。（2023年度打上目標）
- この探査の機会を活用して、重力天体表面探査技術の確立を目指し、また、科学的成果創出にも貢献する。

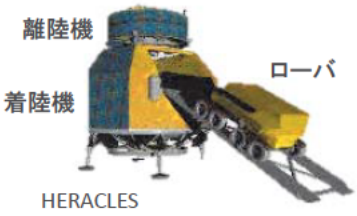
月周回拠点補給ミッション

- HTVは国際的な評価が高く、実績ある技術での貢献は、効率的であり、かつ交渉での有力材料となる。またISSと同様に補給はクルー滞在や利用を支える重要なミッションであり、最新の統合解析においても追加の補給ミッションが必要となってきており、NASAも追加の補給船を必要としている。さらに、補給後にも機能を活用することができる。
- HTV-Xの一部改修より実施する。（2026年度初号機打上目標）
- 開発・改修を通して、中長期的に必要となる深宇宙補給技術の発展を目指し、また、月面探査の支援により科学の成果に貢献する。

月広域・回収探査：月離着陸実証ミッション（HERACLES）

- 月の本格的な探査・利用の実現に向けて、有人月探査機のサブスケール技術実証を行う国際協力による月面無人探査ミッション。
- 月面からサンプルを持ち帰るサンプルリターンミッションで，着陸地域は有人ミッションの候補となっているSPA(※)等。
- ESA,CSA等との国際協力により実施する。（2026年度打上目標）
- この探査の機会を活用して、SLIMで獲得した重力天体着陸技術を発展させ、また、科学的成果創出にも貢献する。

※:南極域エイトケン盆地

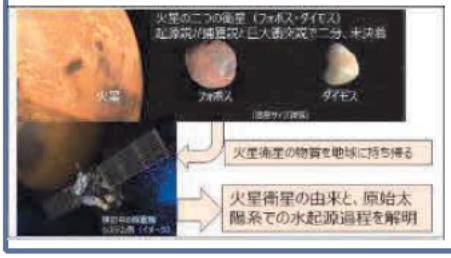


国際分担案

着陸機：　JAXA
離陸機：　ESA
ローバ：　CSA

火星衛星探査ミッション（MMX）

- 火星衛星の近傍観測とサンプルリターンにより，火星衛星の起源（小惑星捕獲か巨大衝突か）、初期惑星への揮発性物質供給 (捕獲・衝突天体の組成，軌道進化)，火星の初期状態と火星圏の進化 (捕獲・巨大衝突年代，初期火星物質組成，衛星表層進化，火星大気の動態)を解明する.
- NASA,CNES,DLR等との国際協力により実施する。（2024年度打上目標）

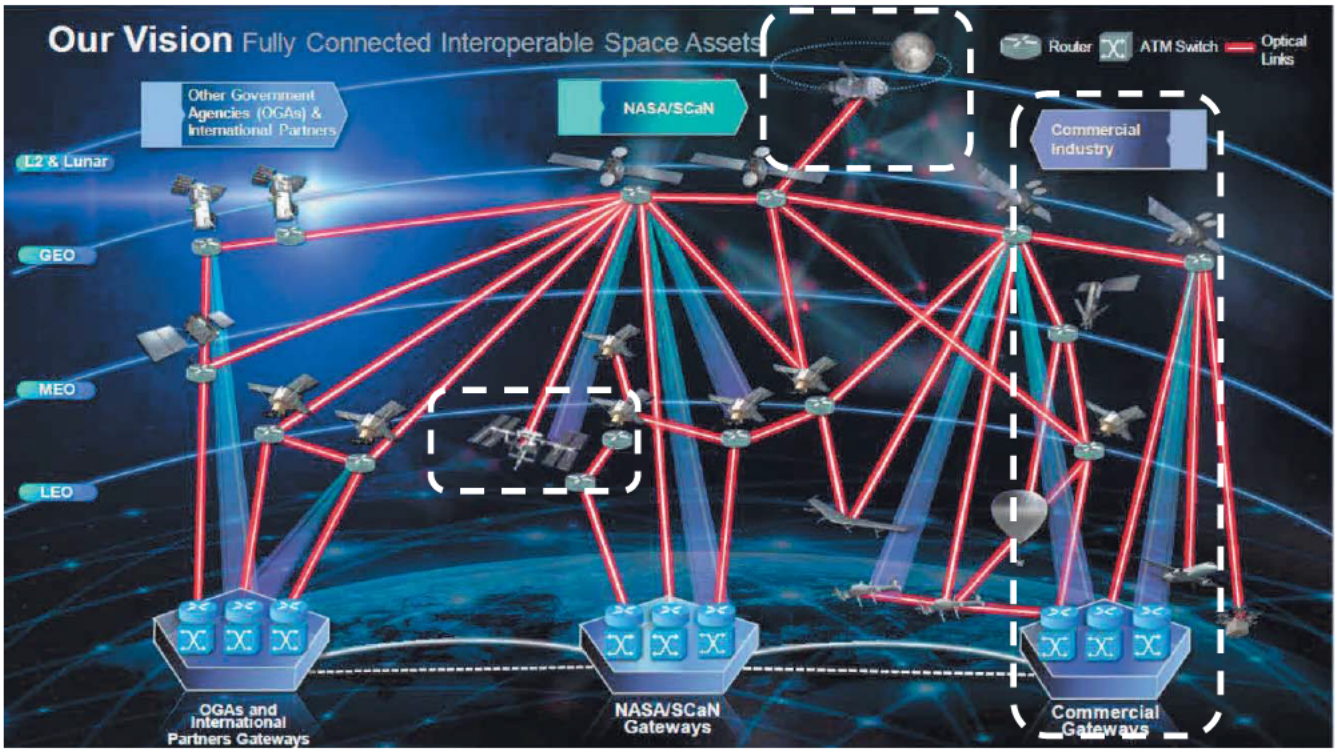


計画

2024年度　打上げ
2025年度　火星圏到着
2025-2028年度 探査
2028年度　火星圏離脱
2029年度　地球帰還

民間サービスの例

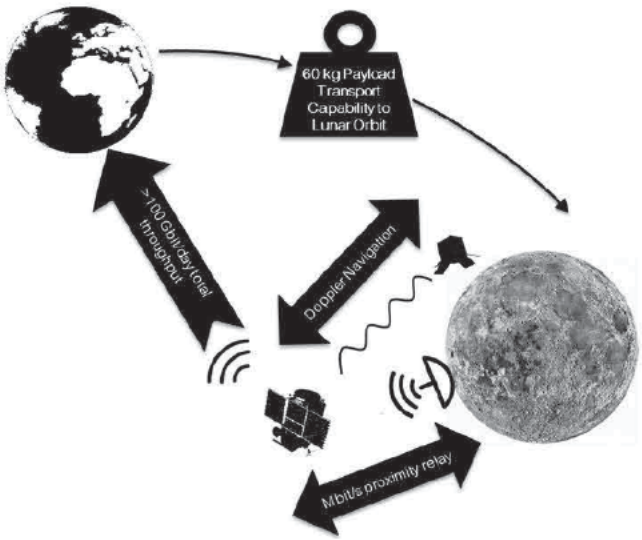
- NASAにおいては、宇宙通信網においても国際パートナーや民間の地上局・衛星を活用にすることを構想している。



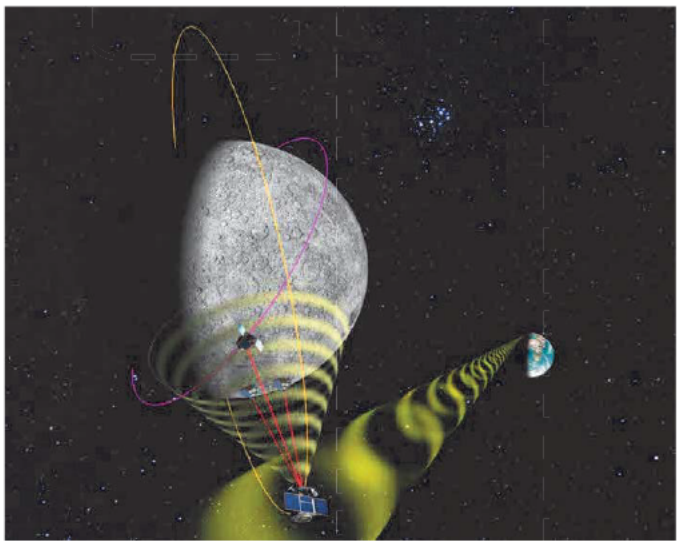
出典：NAC HEO Committee Public Meeting, Aug 27

NASAの通信ネットワークと民間企業活用

- 欧州の民間企業もESAと協力して、月ミッションのサポートサービス(LMSS)を計画中。具体的には、輸送、測位、通信のサービスを総合的に提供。



総合サービスのイメージ

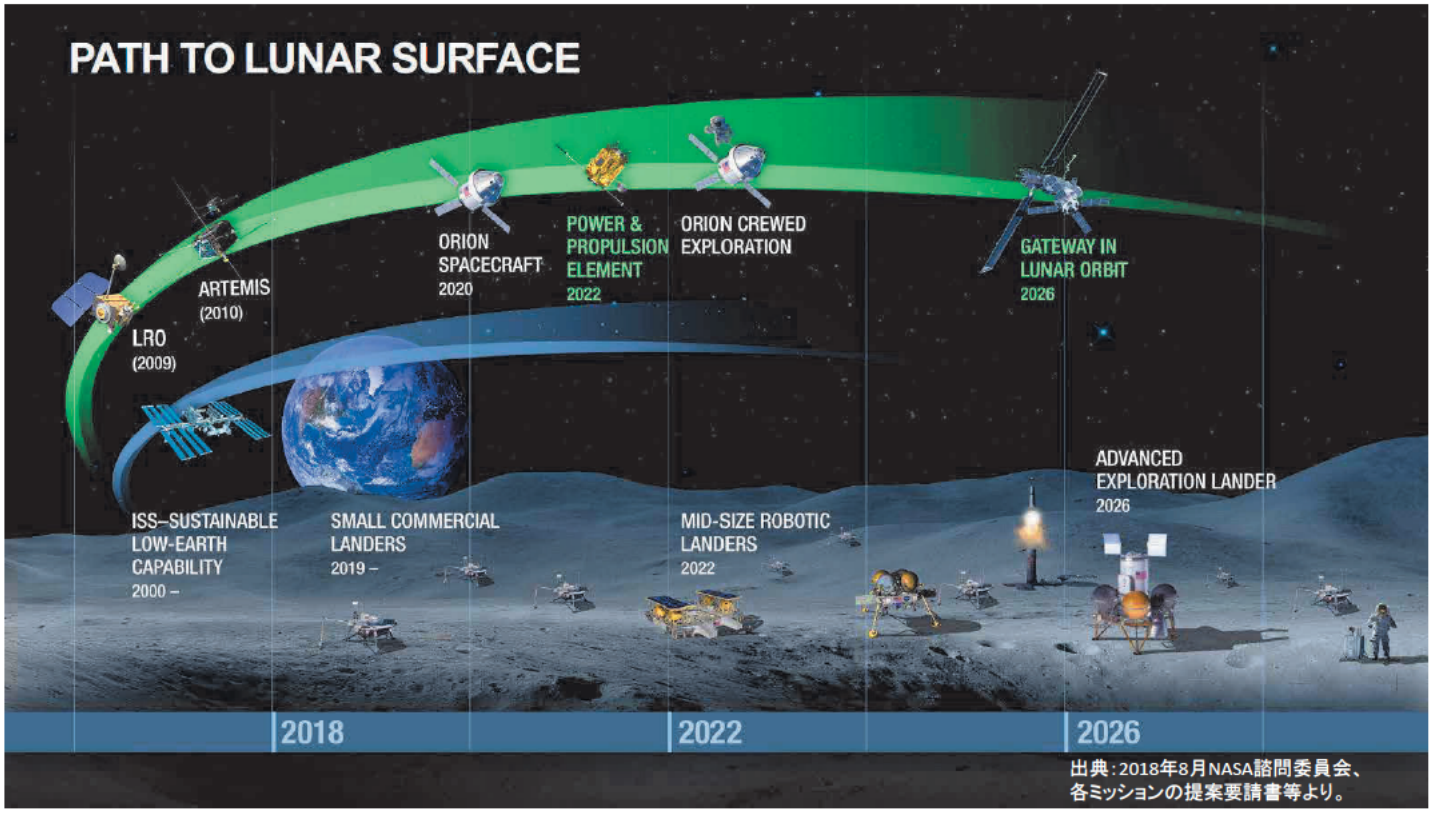


通信サービスのイメージ

出典：LUNAR MISSION SUPPORT SERVICESより

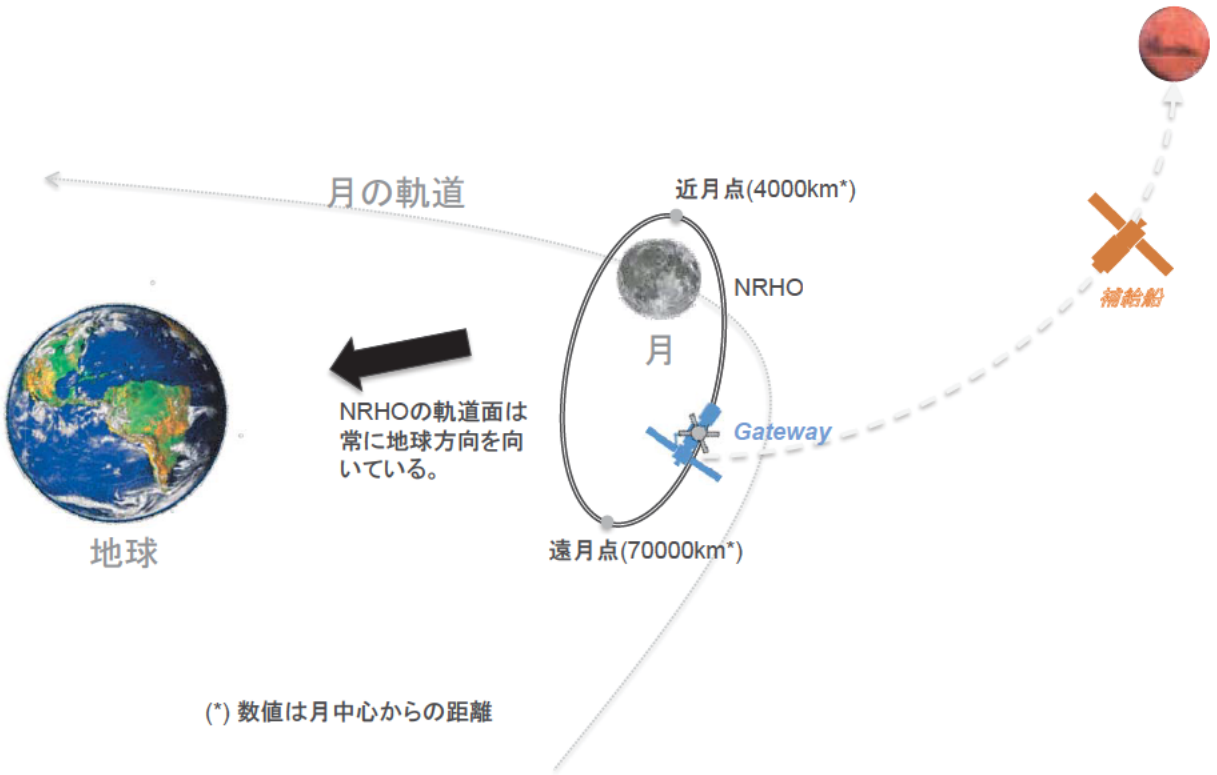
NASAの月探査全般と民間企業活用

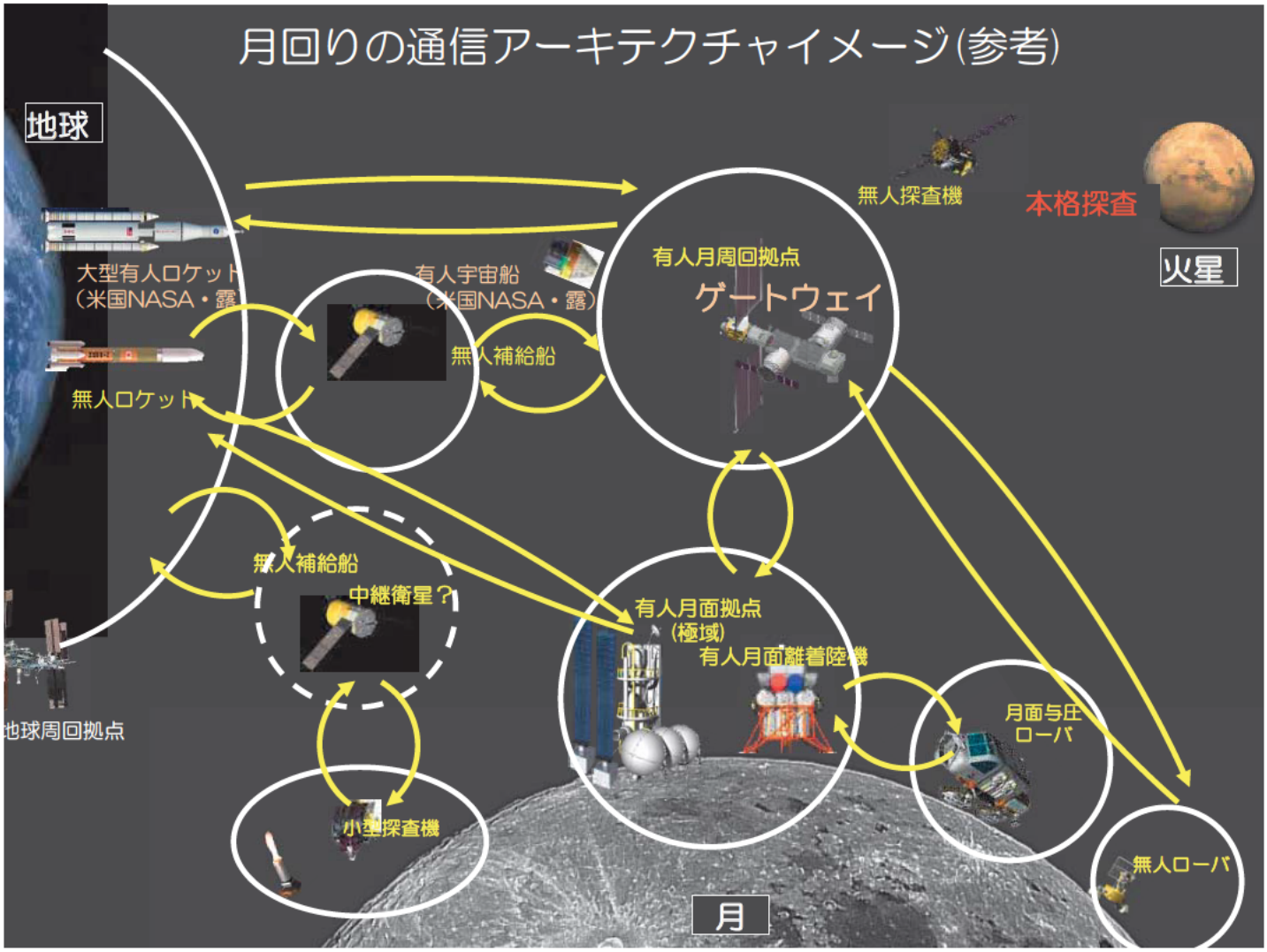
- NASAの月探査は、Gatewayと月面探査を有機的に進める計画であり、商業パートナーとの協力を推進する。民間企業自身が実施可能なミッションはサービス調達とし、難易度が高いものは固定価格のマイルストーンベース方式での調達とすることで、要する費用の低減を図っている。
- 企業側にも後者の開発で得た技術を商業利用することを奨励し、将来の月探査の商業化を見据えているものと推察される。



出典：2018年8月NASA諮問委員会、各ミッションの提案要請書等より。

NASAが想定するNear Rectilinear Halo Orbit (NRHO)について

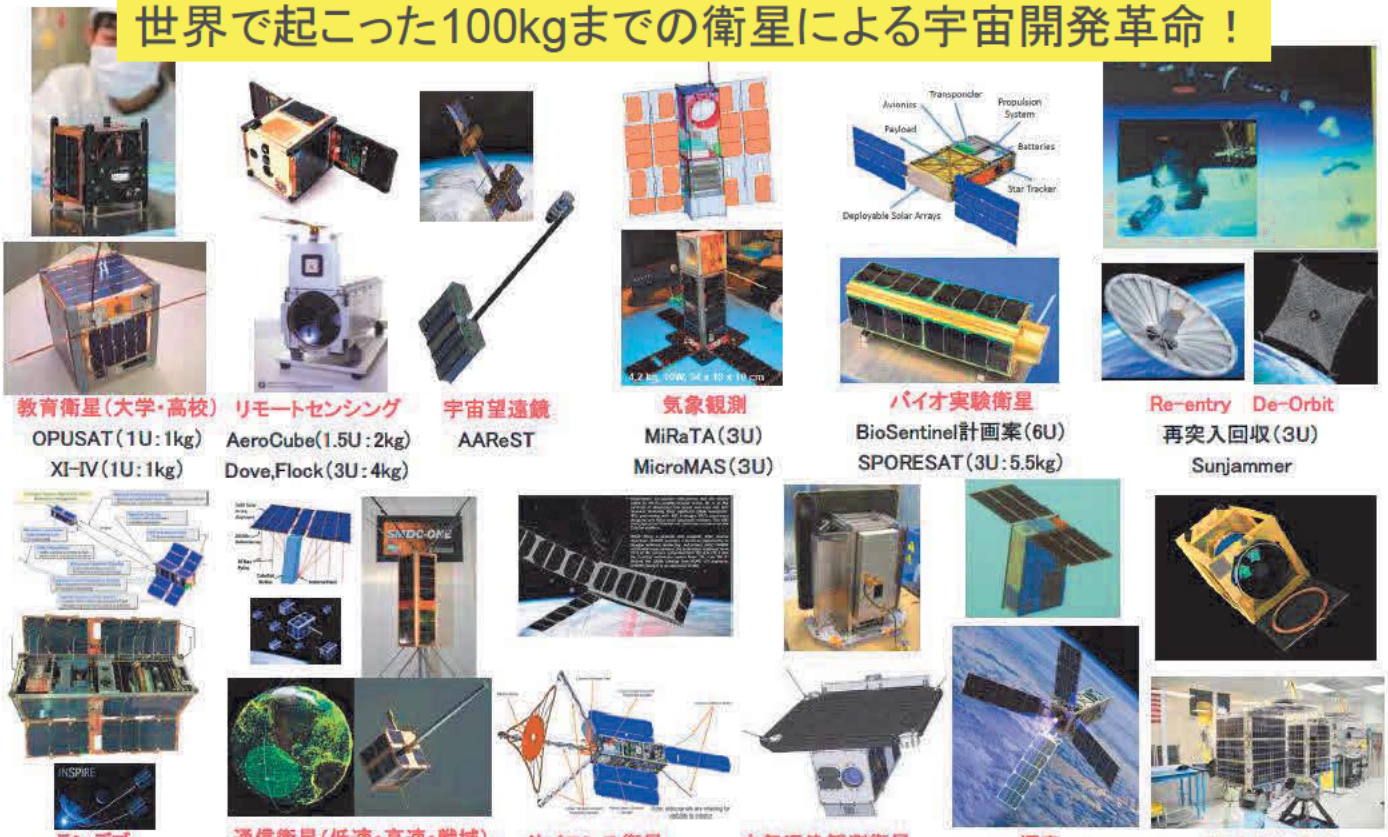



月回りの通信アーキテクチャイメージ(参考)
地球
大型有人ロケット
(米国NASA・露)
無人ロケット
有人宇宙船
(米国NASA・露)
無人補給船
有人月周回拠点
ゲートウェイ
無人探査機
本格探査
火星
無人補給船
中継衛星？
地球周回拠点
有人月面拠点
(極域)
有人月面離着陸機
月面与圧
ローバ
小型探査機
無人ローバ
月

超小型衛星が拓く新しい宇宙開発利用
～高時間分解能、低価格、新規プレーヤ～

東京大学　中須賀真一

世界で起こった100kgまでの衛星による宇宙開発革命！



教育衛星（大学・高校）
OPUSAT（1U：1kg）
XI-IV（1U：1kg）

リモートセンシング
AeroCube（1.5U：2kg）
Dove,Flock（3U：4kg）

宇宙望遠鏡
AAReST

気象観測
MiRaTA（3U）
MicroMAS（3U）

バイオ実験衛星
BioSentinel計画案（6U）
SPORESAT（3U：5.5kg）

Re-entry　De-Orbit
再突入回収（3U）
Sunjammer

ランデブー
/ドッキング衛星
INSPIRE（3U）

通信衛星（低速・高速・戦域）
高速通信・ISARA（3U）
低速通信・AISSAT-1（6kg）

サイエンス衛星
RACE（3U）
FS-7（3U）

大気汚染観測衛星
（可視・近赤外）
NEMO-AM（15kg）

探査
LWaDi（6U）
CAT（3U）

高分解能光学
SCOUT（50kg）
Skysat（120kg）

主として大学・ベンチャーがプレーヤー。ビジネス化のためファンドが投資
アメリカなどは国も大型投資でいっせいに技術開発し、中大型の代替に

超小型衛星による“Game Change”

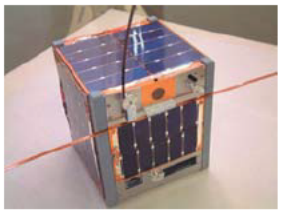
- 超低コスト (200億円以上 → 数千万～5億円以下)
  - これまでにない新しいビジネス・利用法を生む
  - 新規宇宙プレーヤー参入 (企業，県、研究所、新興国)
  - 教育ツールにも利用できる
  - 挑戦的ミッション・実験可能に(失敗の許容度増える)
- 短期のライフサイクル (5 年以上 → 1～2 年以下)
  - 大学学生が研究室内で1サイクルを経験できる
  - 繰り返しが可能 (プロジェクトではなくプログラム化可能)
  - 投資回収までの時間が短期化 (ビジネスには有効)
- 衛星システムがシンプルで透明 (部品点数少ない)
  - 設計、運用、トラブルショートがしやすい
  - 開発メンバーは全体を見ながらサブシステムに集中

3

東京大学の超小型衛星
10衛星開発済み、8機打上げ済み、4機開発中

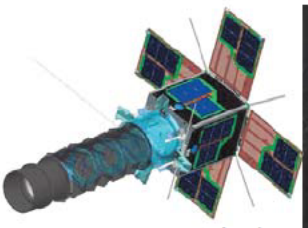
4

東京大学の超小型衛星プログラム(8機打ち上げ,6機待ち)

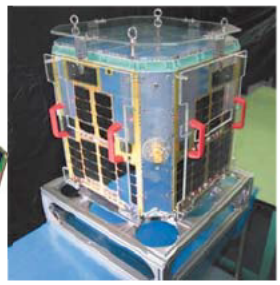


世界初の1kg衛星
成功 XI-IV(2003)

新規技術の宇宙
実証XI-V(2005)



8kgで30m分解能
PRISM(2009)



最先端の宇宙科学
Nano-JASMINE
(打上げ待ち)

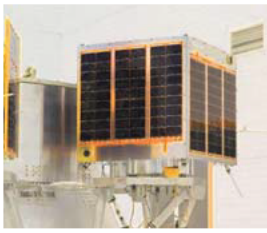
世界初の超小型
深宇宙探査機
PROCYON(2014)

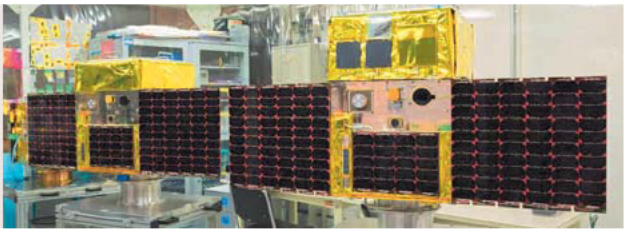
超低コスト・短期開発の超小型衛星
- 宇宙工学・プロジェクトマネジメント教育題材
- 従来にない新しい宇宙利用・ユーザの開拓
  - 地球観測・宇宙科学　- 教育・エンタメ
  - 多数の衛星の連携運用　- 実験・実証

- 宇宙科学探査の低コスト実現
- 外国の最初の衛星の教育支援
- 企業・県・個人等の「マイ衛星」
- 安全・安心への貢献(インフラ)

60kg級の6m分解能リモセン衛星(3億円、2年で開発)

ほどよし1号　ほどよし3号および4号(2014年打上げ)



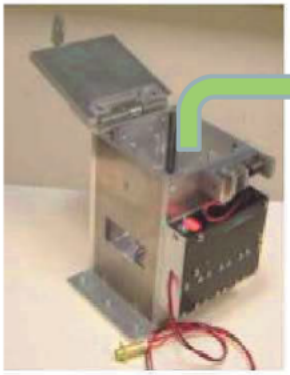


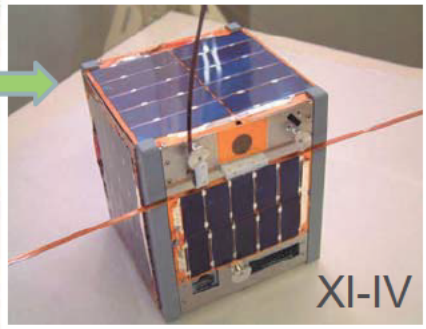
6m分解能画像
(千葉)

TRICOM-1R
通信(2018)

5

2003年 世界初1kg衛星打ち上げの教育効果





世界初1kg衛星打ち上げ教育効果

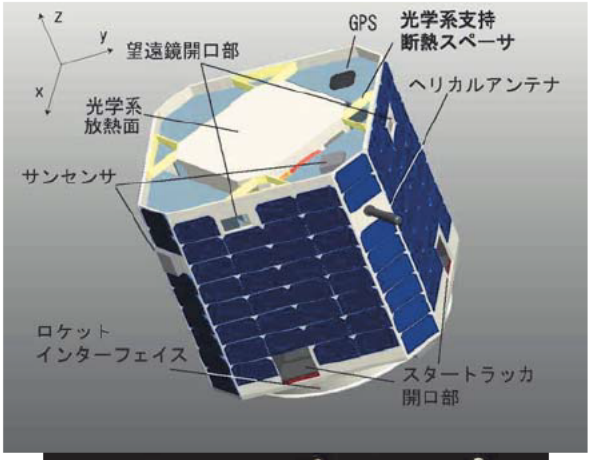
4号機Nano-JASMINE

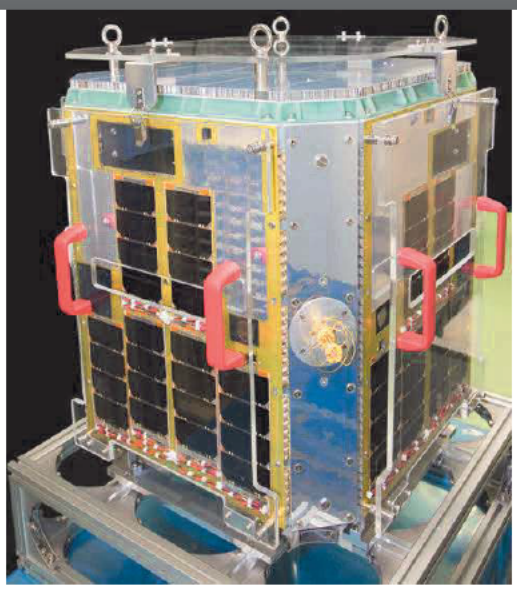
国立天文台と共同の宇宙科学衛星(「位置天文」ミッション)

衛星サイズ	50[cm立方]
質量	38[kg](本体)
姿勢制御	3軸安定方式
通信速度	S帯 100[kbps]
ミッションライフ	2[年]

89年のHIPPARCOS衛星レベルの性能

- 高精度姿勢安定化(1秒角レベル)
- 高精度温度安定化(0.1Kレベル)
- FPGAベースの高機能情報系
- 通信系の高速化(9.6→100kbps)
- 科学衛星用の高機能標準バス





XI-IVの成功後、多くの機関・企業が衛星開発の相談に

中・大型衛星ではなくとも、宇宙でやれることはたくさんある

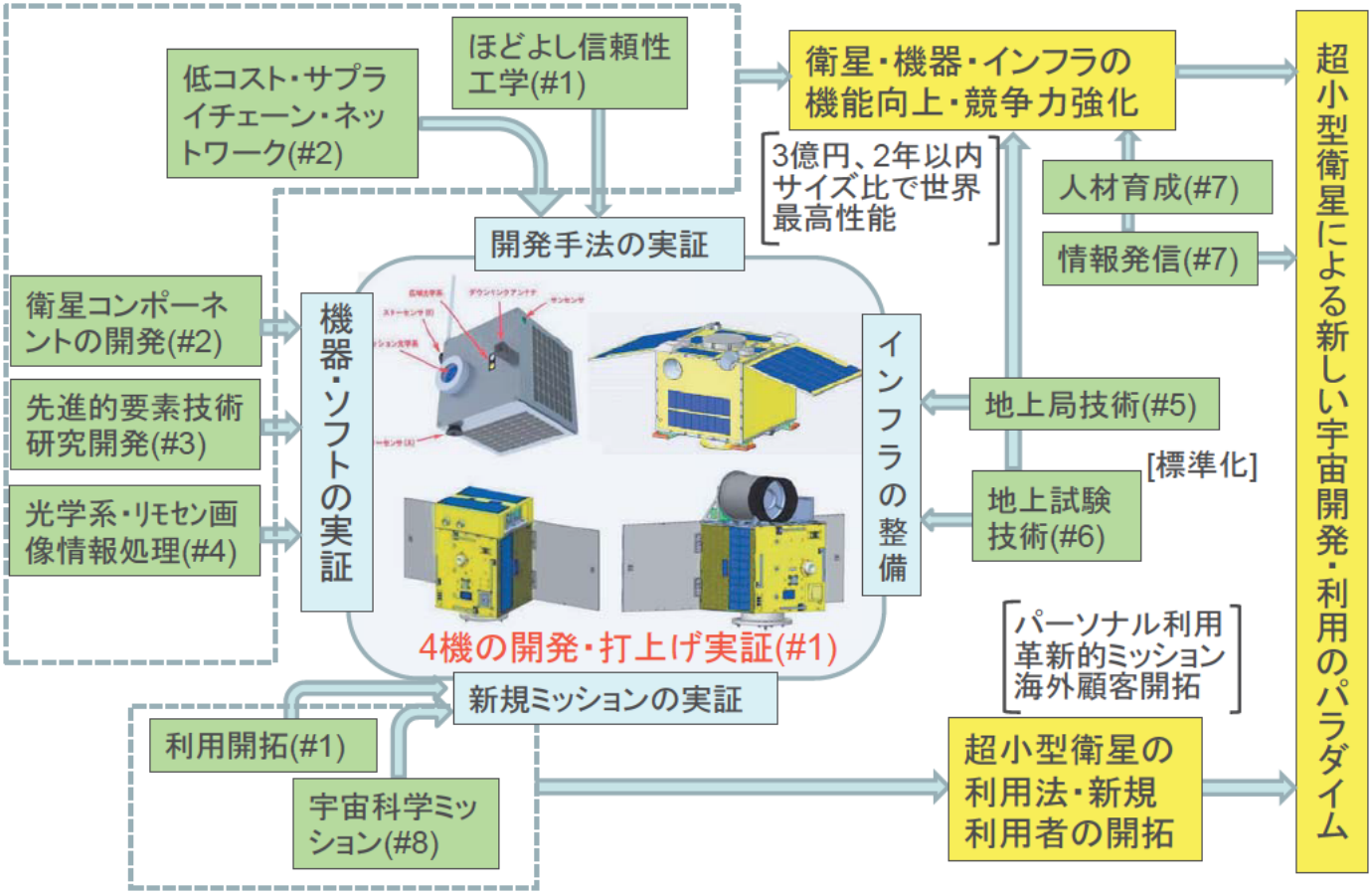
すでに開発

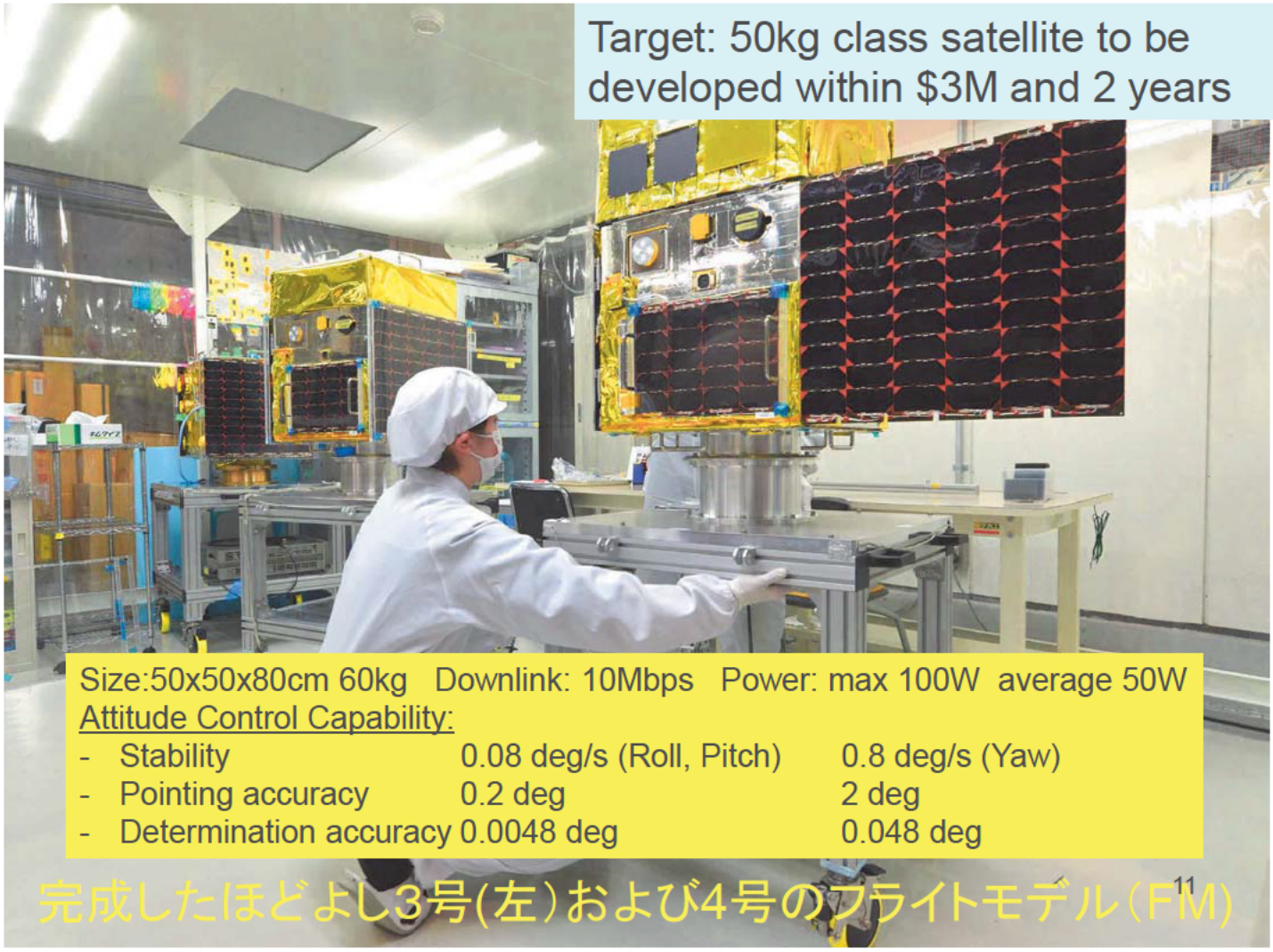
高コストの時には現れなかった潜在需要

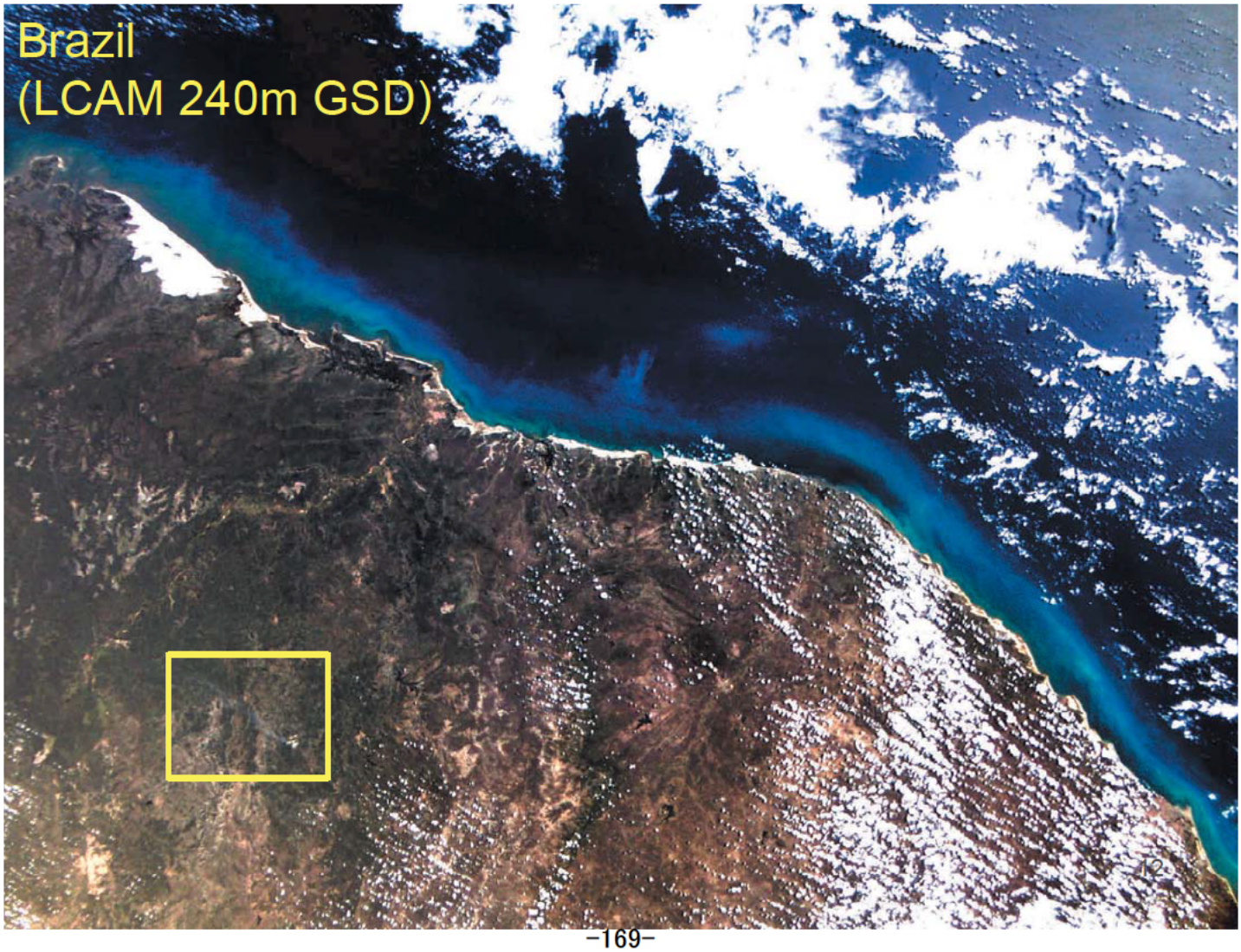
- ----------
- ----------
- 教育関連会社（画像等を宇宙の教材に）
- ----------
- 地方公共団体（衛星作り自体が青少年の理科教育に。災害時の空からの画像、通信機能欲しい）
- ----------
- 機器メーカー（会社製品の宇宙利用で宣伝にしたい）
- アマチュア天文家（自分達で専用に使える宇宙天文台）
- 気象予報会社（独自のコンテンツ欲しい）　（→WNI衛星）
- 宇宙機関・企業（技術の早期実証と若手の技術訓練）（→XI-V）
- 宇宙科学者（観測機器の実証、簡易型の宇宙観測に）（→NJ）

コンピュータにおけるダウンサイジング、パソコン化による利用爆発の波を宇宙に!

ほどよしプロジェクト(2010-2014)の全体像




Target: 50kg class satellite to be developed within $3M and 2 years
Size:50x50x80cm 60kg Downlink: 10Mbps Power: max 100W average 50W
Attitude Control Capability:
- Stability 0.08 deg/s (Roll, Pitch) 0.8 deg/s (Yaw)
- Pointing accuracy 0.2 deg 2 deg
- Determination accuracy 0.0048 deg 0.048 deg
完成したほどよし3号(左)および4号のフライトモデル(FM)
11


Brazil
(LCAM 240m GSD)
12

Chiba
（6m GSD）

Dubai (6.7mGSD)
AXELSPACE提供

AXELSPACEによる光学コンステレーション

- GRUS（2018年1機打上げ、2022年までに30機）

地上分解能	パンクロマティック：2.5m マルチスペクトル：5.0m
バンド	パンクロマティック：450-900nm マルチスペクトル 青：450-505nm 緑：515-585nm 赤：620-685nm レッドエッジ：705-745nm 近赤外：770-900nm

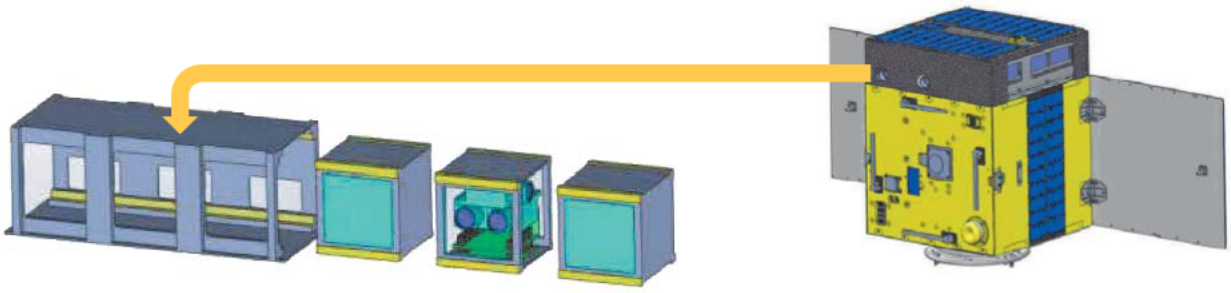
刈り幅　57km以上
再帰日数：1日
（オフナディア40度）

- WNISAT-1Rの打上げ (2017年)

海氷光学観測
GNSS-R基礎実験
光通信実験

カメラ台数	4台(各バンド独立)
観測波長	パンクロ[1]:450-650nm 緑:535-607nm 赤:620-680nm 近赤外:695-1005nm
画素数	2048 × 2048
ビット深度	12 bit
地表分解能	400m (近赤外/赤)[5] 200m (緑/パンクロ)

搭載機器スペース（Hosted Payload）

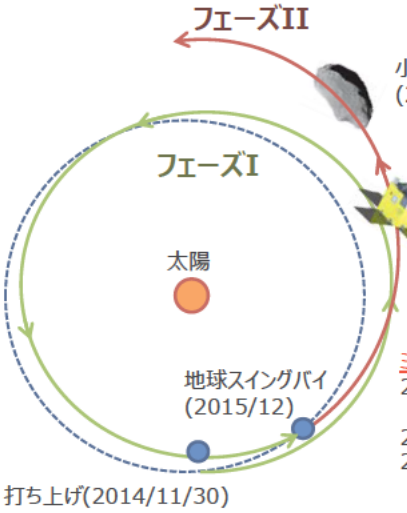


- ほどよし3，4号で4個のスペース(10cm立方）を用意
- 公募により2個は決定：民間企業との共同利用実験（ビジネス試行実験）を計画中
- 多くの潜在ユーザー・利用法開拓済み（将来の顧客候補）
  - 自社製品の打ち上げによる宣伝（「宇宙で動作する品質」）
  - 記念品の打ち上げビジネス
  - 工学実験（宇宙環境利用）、宇宙観測機器搭載による宇宙科学
  - 宇宙アウトリーチへの活用、他
- オプションとして　①地球背景にそのグッズの写真を撮る　②定期的にそのグッズの写真を撮る　③情報をやりとりする、等

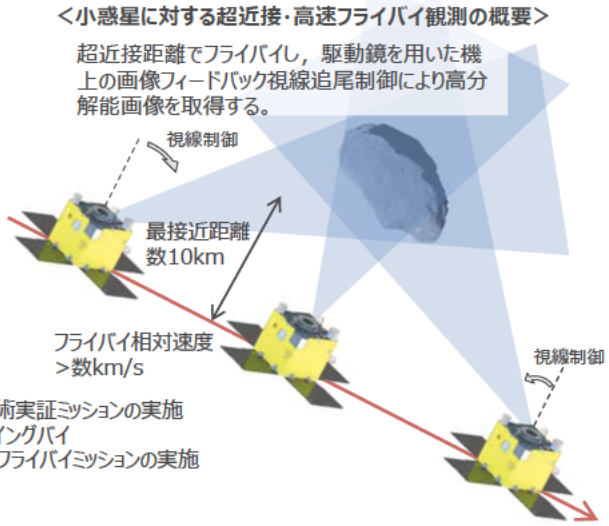
世界初の超小型深宇宙探査機「PROCYON」(58kg)

(PRoximate Object Close flYby with Optical Navigation)

2014.12 打上げ(H-IIA、はやぶさ2と相乗り)



ミッションシーケンス
2014年11月： 打上げ
各種技術実証ミッションの実施
2015年12月： 地球スイングバイ
2016年1月以降：小惑星フライバイミッションの実施



1. 50kg級超小型深宇宙探査機バス技術実証 (ノミナルミッション)

a.深宇宙での発電・熱制御・姿勢制御・通信・軌道決定

b.超小型電気推進系による深宇宙での軌道操作

2. 深宇宙探査技術の実証

(アドバンストなミッション：加点対象ミッション)

c.窒化ガリウムを用いた高効率X帯パワーアンプによる通信

d.深宇宙での超長基線電波干渉法による航法

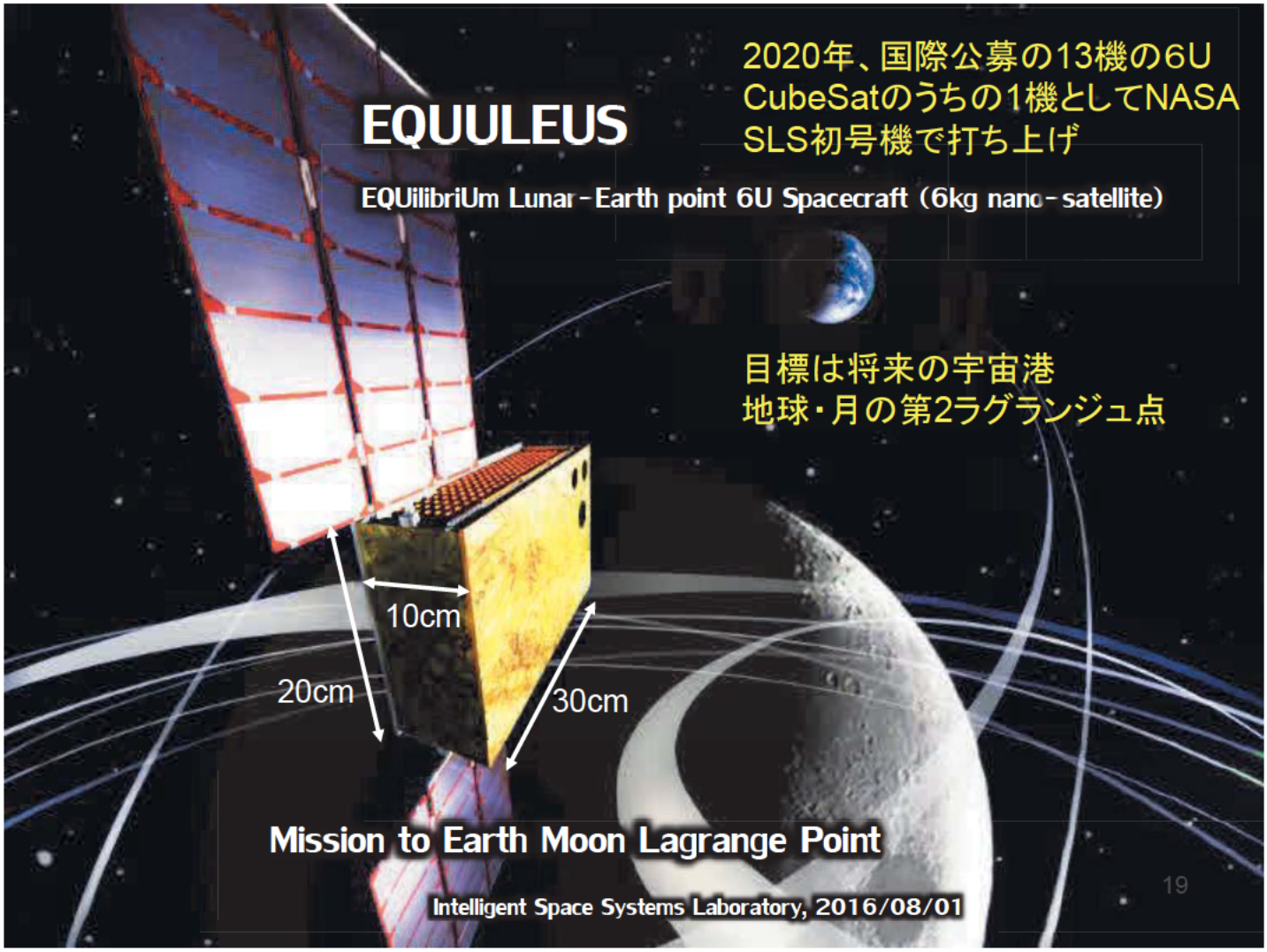
e.小惑星に対する電波・光学複合フライバイ航法

f.視線追尾制御による小惑星の超近接・高速フライバイ観測

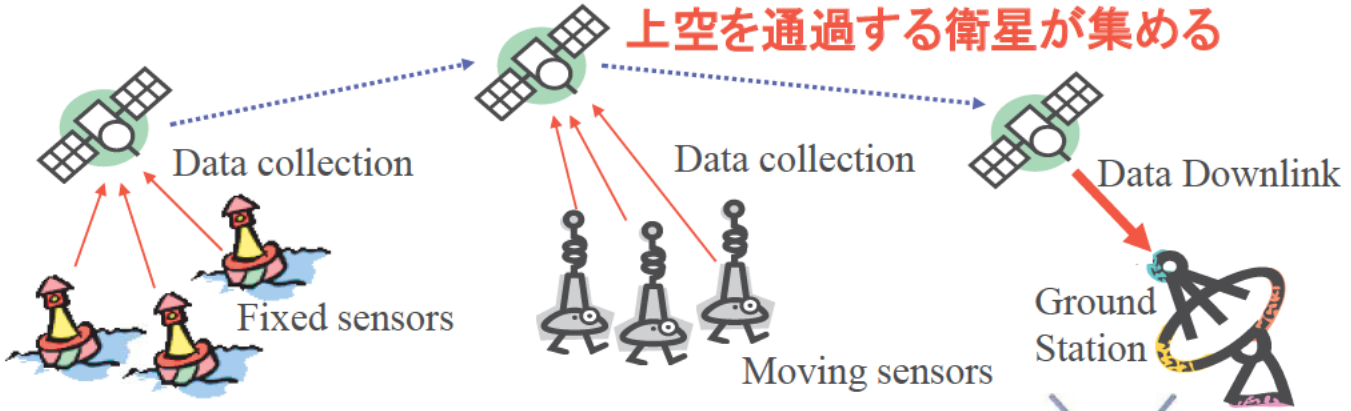
3. サイエンス観測

g.ジオコロナ（地球コロナ）撮像

18



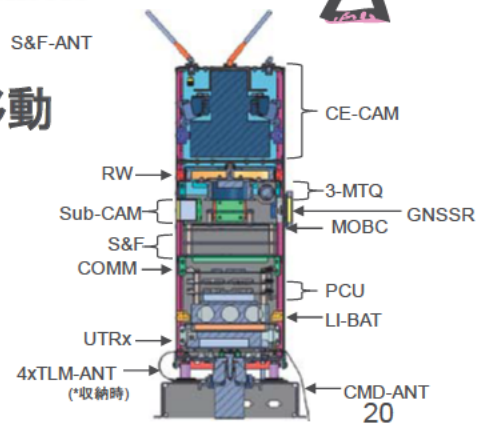
“Store & Forward” 地上からの情報取得



応用先：災害監視、水位・水質監視、地面の移動の監視、PH、土壌水分量、など

課題：如何に小さい電力で送信できるか？

300bpsにすることで8mWでの送信成功
(ルワンダなど複数国で成功)



3kg TRICOM-1R

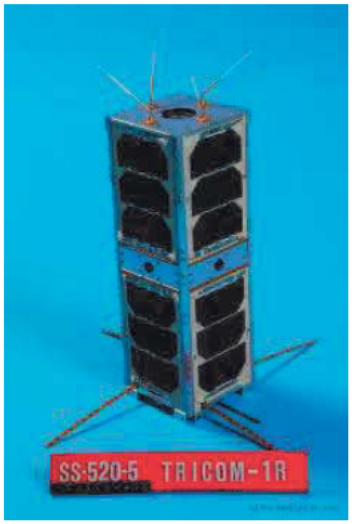
“Modified SS-520”

観測ロケット改造型SS-520-4で打ち上げたが..(2017/1)

2018/2/3再挑戦でSS-520-5打ち上げ成功「たすき」に

21

東京大学開発の3UのCubeSat



2019年6月のISSへの打ち上げをめざし、ルワンダと共同開発契約を結ぶ（Smart Africa 会議にて、2018年5月）

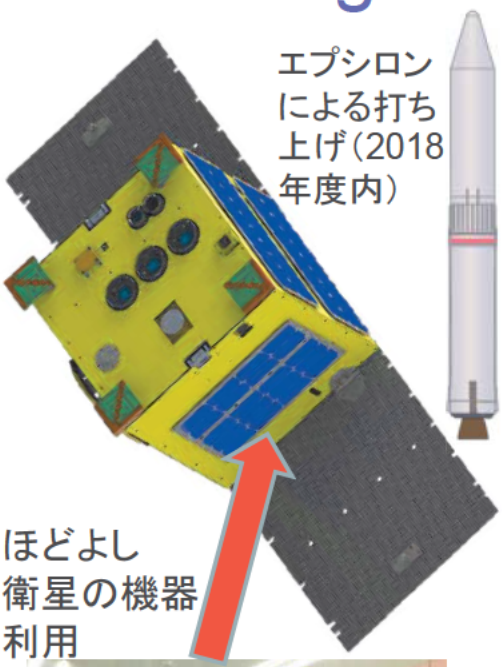
News from Africa (09/05/2018)

Smart Africa, Rwanda Sign Deal With Tokyo University For Satellite Technology

Taarifa
We Give You The Facts, You Connect The Dots

ベトナム宇宙センター向け“MicroDragon”

サイズ	約 0.5 m ×0.5 m × 0.5 m（打ち上げ時） 約. 1.4 m（パドル展開後の最大寸法）
質量	約 50 kg
投入軌道	太陽同期軌道　高度 500 km 降交点地方時 9:30
姿勢制御	三軸地球指向
太陽電池	太陽電池パドル2枚 5箇所にボディーマウントセル 三重接合GaAsセル(効率30%)
電源系	太陽電池での発電　100 W（最大）
	消費電力　50 W（平均）
	バス電圧　28V（非安定）+ 5V（安定）
	バッテリ　5.8 AH　リチウムイオン電池
通信系	Sバンド 4kbps　（アップリンク）
	Sバンド 4/32/64kbps（ダウンリンク）
	Xバンド 10Mbps（データダウンリンク）



ベトナム国立衛星センター（VNSC)の若手研究員36名を5大学の修士課程で受け入れ、東大が衛星作りを教育しつつ開発した衛星。ベトナムの海外の観測がメインミッション。

大学連携 “UNISEC-Global” 活動

39カ国がUNISEC(日本で成功）活動に興味を持つ
South Africa/Angola/Namibia, Egypt, Ghana, Kenya, Nigeria, Tunisia, Bangladesh, Korea, Mongolia, the Philippines, Singapore, Taiwan, Thailand, Turkey, Australia, Indonesia, Saudi Arabia, Canada, USA, Guatemala, Mexico, Peru, Brazil, Bulgaria, Italy, Samara (Russia), Switzerland, Germany, Slovenia, Lithuania, Germany and Japan.

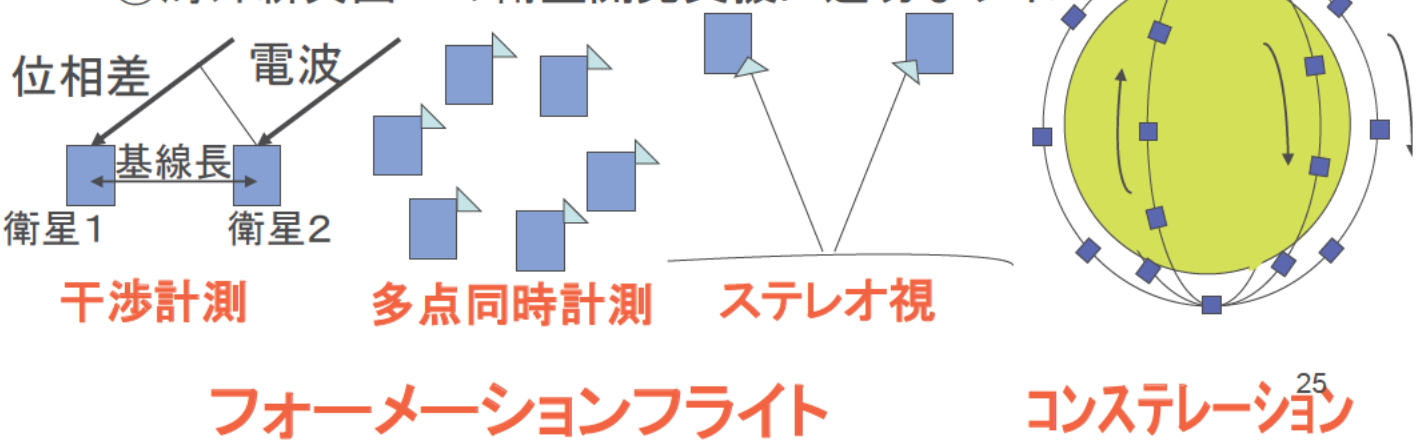
15のUNISEC－xxx(Local Chapter) ができる
- 技術・経験の交流
- 大きなビジネスの広がり可能性

国連のObserverのポジションを獲得（2017.6）

http://unisec-global.org/

超小型衛星で何ができるか？

- コスト(<3億)、開発期間(＜2年)の爆発的な低下により、「しきい」を根本的に下げる。
  - ①地球規模で衛星を分散配置し頻繁に見る(コンステレーション)
  - ②そばを飛ぶ複数機による共同ミッション(フォーメーションフライト)
  - ③パーソナル衛星、マイ衛星の概念(パソコンと同様の革命)
  - ④本格的ミッションの前の試行実験・実証がしやすい
  - ⑤海外新興国への衛星開発支援に適切なサイズ



政府内：衛星の防災利用の議論から

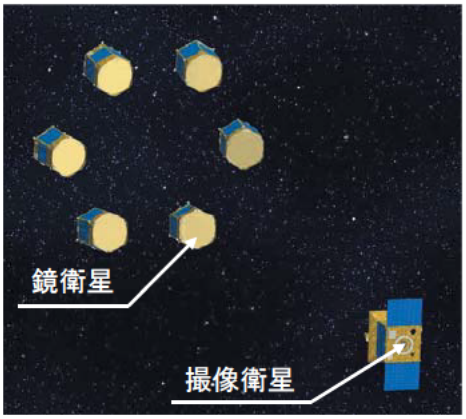
- 衛星の防災利用では、特に即応性が不足。
- 発災後72時間(生死の境目)までの、探索のための情報だけでなく、初動のための5時間の情報取得が大事
  - 被災地の全体像を知って人を送るための基礎情報
  - どんな分解能でも使い道はある
  - これ以降は、現地に人が入るので、情報が取れる
  - 燃え広がる火災などはさらに即応観測(10分)が必要
- 「打ち上げた衛星を利用する」ではなく、どんな衛星が役立つかの議論が必要

超高時間分解能の静止リモセン

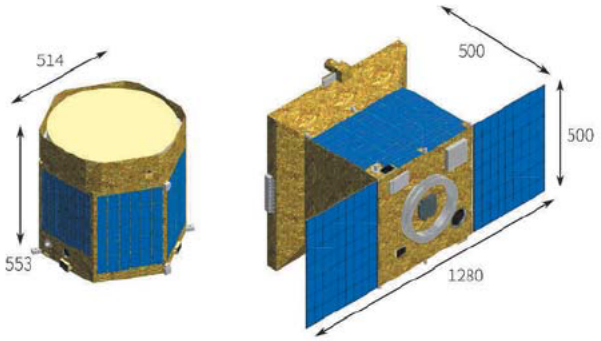
1. 全世界は見られないが、必要とする箇所を順にスキャンするのに要する時間の間隔（10分なども可能）で繰り返し観測可能（極めて高い時間分解能）
2. 地上との通信リンクが常に取れているので、撮れた画像を遅れなく地上に伝送可能
3. 地上が相対的に移動しない（低軌道衛星だと8km/sで移動するのに対し）ことから長い露光時間によりS/N比をあげやすい

空間分解能悪化をどう解消するかが鍵

静止合成開口望遠鏡（東京大学研究中）



ミラー衛星：46kg　撮像衛星：43kg



	単位	夏期	冬期
GSD	m	30	60
視野	km×km	1,000 × 1,000	2,000 × 2,000
基準観測波長	μm	4 (赤外線)	4 (赤外線)
撮像画素ピッチ	μm	18	18
焦点距離	m	21.5	10.7
合成開口直径	m	5.82	2.91
相対位置制御精度	nm	400	400
相対姿勢制御精度	μrad	0.42	0.84

About Infostellar

Infostellar is a software -driven space communications infrastructure firm based out of Tokyo.

Our mission is to create smart and real-time communication capabilities for newspace satellite operators.

Investors

Sony Innovation Fund

500

AIRBUS VENTURES

confidential

はじめに

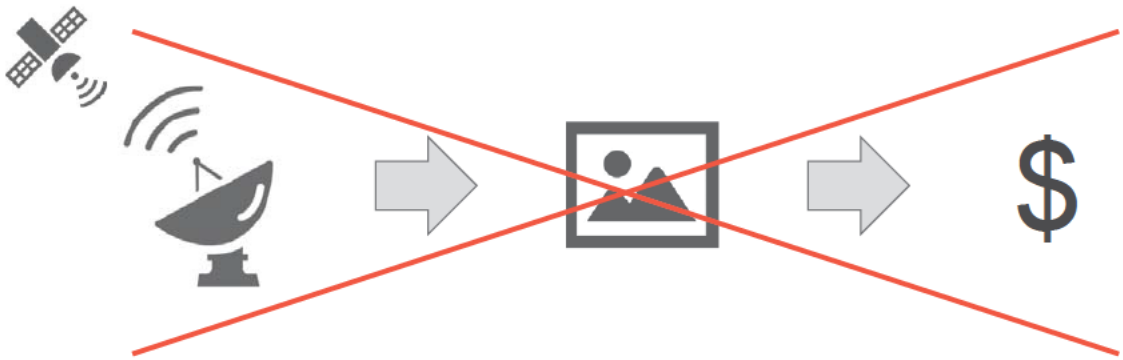
インフォステラは加速する人類の宇宙進出を見据え
“Expanding the internet to the stars” - 地上のインターネットを宇宙に広げる –
というビジョンを持った宇宙の通信インフラをつくる会社です。

ビジョンを実現するために、多くの宇宙空間を活用しようとする民間のスタートアップ企業が成功することを助けることが重要だと考えています。

そういったスタートアップ企業にとっての一つの大きなペインである地上システムに対して我々は
"Unlock ground services for new space business“
というミッションを掲げ、地上局共有プラットフォーム StellarStationのサービスを提供しています。

confidential

Challenges to create Space 2.0



confidential

Challenges to create Space 2.0

1. Hard to get started

From integration time & resources, to licenses and upfront costs and commitments—there are many barriers to securing initial ground services.

2. Expensive

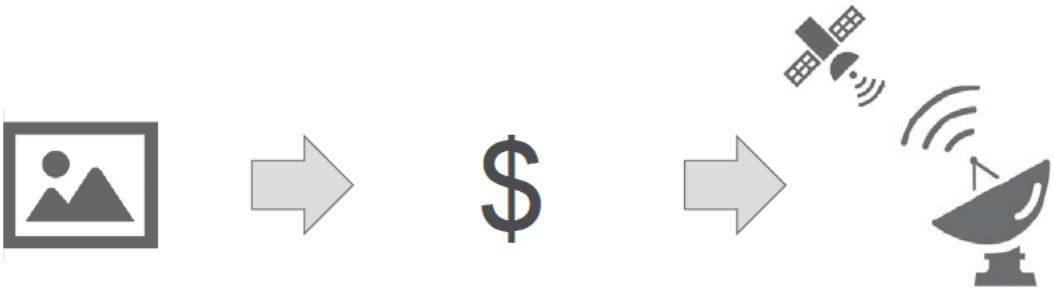
Not only are ground stations expensive to build, but they are idle most of the time.

3. Hard to scale

When adding additional ground stations, they all need to be individually integrated.

confidential

Right Approach



confidential

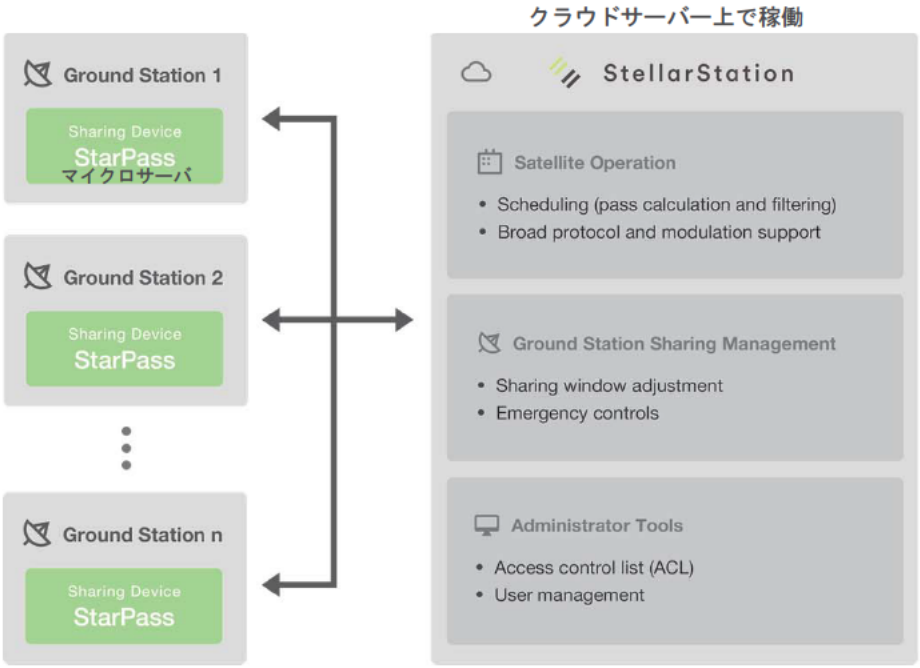
- 一般的に周回衛星用の地上のアンテナの稼働時間は、1機の衛星に対して一日に40分程度　→多くの非稼働時間が存在
- 周回衛星は、通信時間を増やすためにより多くの地上局が欲しい

StellarStationとは

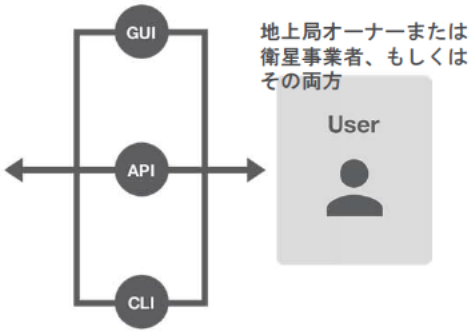
- 地上局所有者が、周回衛星用の地上局の非稼働時間を他の衛星事業者に貸出・利用させることができるプラットフォーム
- 衛星事業者が、より多くのアンテナの利用機会及び通信時間を得られるようになるプラットフォーム

confidential

StellarStation architecture & interfaces



- StellarStationは公衆インターネット回線及びクラウドサーバを利用したサービス
- 地上局オーナーは、地上局を貸し出すためにStarPassと呼ばれるハードウェア（無償貸し出し）を地上局にインストールする
- StarPassとクラウドサーバー上で稼働しているStellarStationが協調してアンテナの駆動やコマンド、テレメトリデータの転送等を行う



- GUI/API/CLIでStellarStationにアクセス
- 地上局オーナーは自社の利用のために確保しておく時間帯（貸し出ししたくない時間）を優先的に確保できる
- 衛星事業者は自身の衛星との通信の予約・キャンセルを行うことができる

confidential

What is StellarStation

Start easily and quickly

Integrate smoothly with our easy-to-use API and enjoy no upfront costs or commitments.

Offset costs with sharing

Share your existing idle resources to expand your communications at no extra cost

Scale easily

Just add more ground stations, no contracts or integrations needed.

confidential

Start easily and quickly

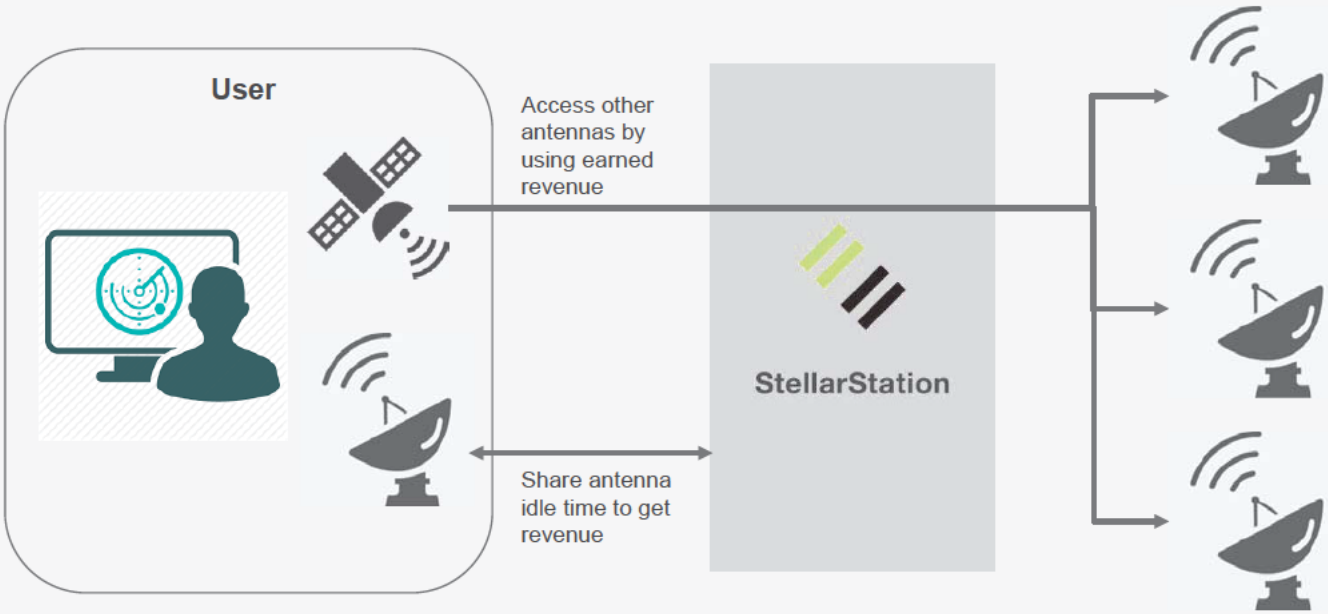
Simple, speedy integration

Access all ground stations in our network through one-time setup with our easy-to-use API, GUI, or CLI. No upfront costs or commitments.

Bright Ascension, GMV, or Spaceit users can use StellarStation pre-integrated.

confidential

Offset costs with sharing



confidential

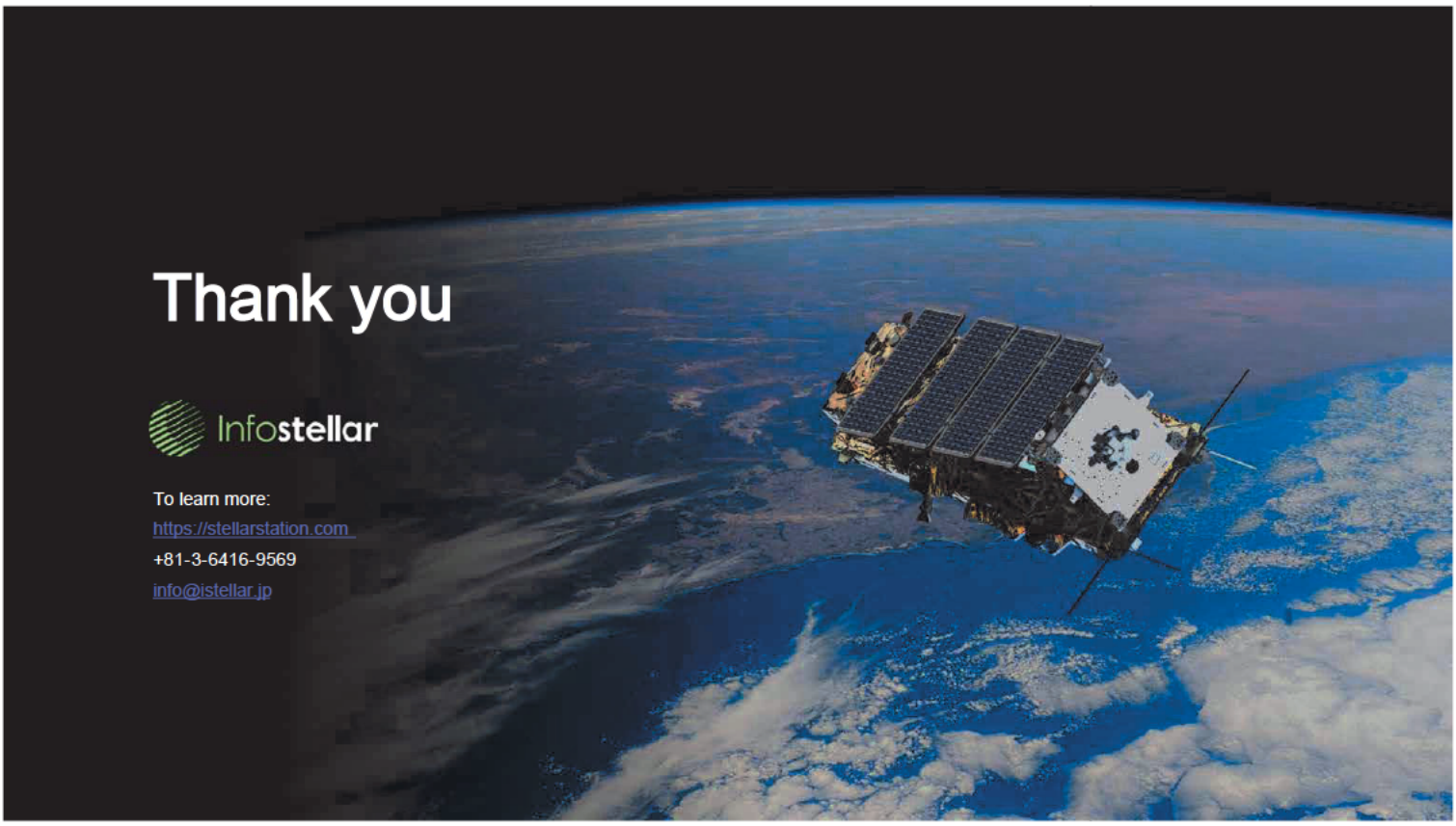
Scale easily

Just add more ground stations

No contracts or integrations needed.

Regulation and license support is available for coordinating frequencies, updating licenses, and adding ground station locations.

confidential



NICTにおける宇宙に関する取組
－安心・安全な未来社会のために－

宙を拓くタスクフォース（第5回）

2019年2月5日

国立研究開発法人情報通信研究機構

矢野　博之

国立研究開発法人情報通信研究機構の概要

国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT）はICT分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関。

- 役職員数：理事長　徳田英幸、理事5名、監事2名、職員1093名(非常勤職員含む)（H30.4.1現在）
- 平成30年度予算額：280.3億円
- 所在地：小金井市（本部）、横須賀市、神戸市、京都府精華町（けいはんな）等

ICT分野の基礎的・基盤的な研究開発

未来社会を開拓する世界最先端のICT

センシング基盤分野（観る）

ゲリラ豪雨などの早期捕捉につながるリモートセンシング技術、電波伝搬等に影響を与える宇宙環境を計測・予測する宇宙環境計測技術　など

データ利活用基盤分野（創る）

AI技術を利用した多言語音声翻訳技術、社会における問題とそれに関連する情報を発見する社会知解析技術、脳情報通信技術　など

サイバーセキュリティ分野（守る）

次世代のサイバー攻撃分析技術、IoTデバイスにも実装可能な軽量暗号・認証技術　など

フロンティア研究分野（拓く）

盗聴・解読の危険性が無い量子光ネットワーク技術、酸化ガリウムを利用するデバイスや深紫外光を発生させるデバイスの開発技術　など

統合ICT基盤分野（繋ぐ）

IoTを実現する革新的ネットワーク技術、人・モノ・データ・情報等あらゆるものを繋ぐワイヤレスネットワーク技術、世界最高水準の光ファイバー網実現に向けた大容量マルチコア光交換技術　など

研究開発成果を最大化するための業務

- 技術実証と社会実証の一体的推進が可能なテストベッド構築・運用
- オープンイノベーション創出に向けた産学官連携等の取組
- 耐災害ICTの実現に向けた取組
- 戦略的な標準化活動の推進
- 研究開発成果の国際展開
- サイバーセキュリティに関する演習

機構法に基づく業務

- 標準電波の発射、標準時の通報
- 宇宙天気予報
- 無線設備の機器の試験及び較正

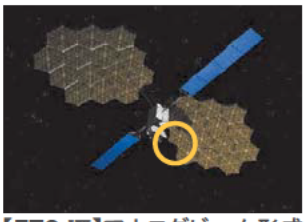
研究支援・事業振興業務

- 海外研究者の招へい
- 情報通信ベンチャー企業の事業化支援
- ICT人材の育成

NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙通信）

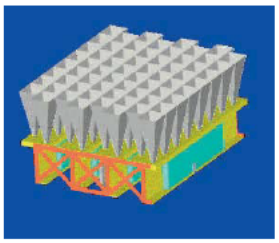
NICTのフェーズドアレイ衛星通信技術の研究開発実績

- 衛星通信のキー技術は、アレイアンテナとビーム形成技術
- LEOメガコンステに展開することで次世代衛星通信の戦略に
- もう一つのキー技術は宇宙空間での複数衛星間でのネットワーク化技術

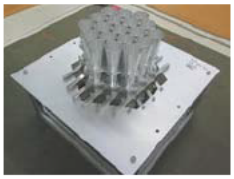


【ETS-Ⅷ】アナログビーム形成回路＋アレイアンテナ（2.5GHz）

ディジタルビーム形成回路＋アレイアンテナ試作（2GHz、100ビーム級）



【WINDS】アクティブフェーズドアレイアンテナ（20-30GHz）

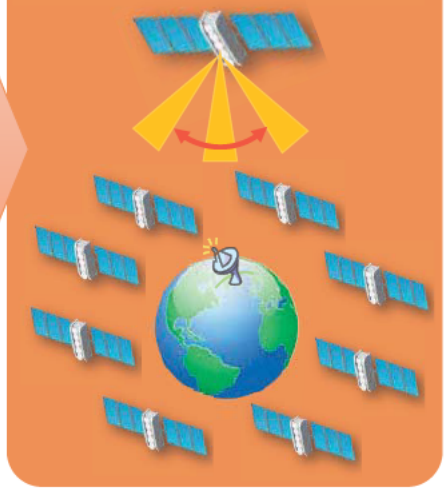


ディジタルビーム形成回路＋アレイアンテナ試作（20-30GHz）

NICTの衛星用アレイアンテナ技術の実績

メガコンステへ向けたフレキシブルビームへの展開

小型衛星が衛星姿勢を振らずにアンテナの指向追尾が可能。メガコンステレーションへ向けたキー技術となる。



NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙通信）

NICTの衛星地球局技術の研究開発実績

- 災害時、船舶・航空機や無人船・航空機等へ搭載するアンテナ開発
- IoT社会に不可欠な無人機やドローン等へ展開

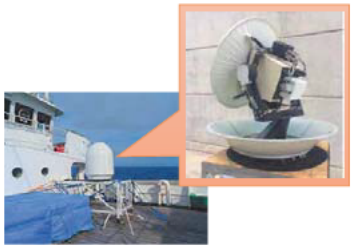
災害時に有効な衛星地球局の開発

フルオート可搬型地球局
→災害時等に専門家でなくても運用可能

小型車載地球局
→移動しながら24Mbps通信が可能

大型車載地球局
→被災地でハブとなりうる地球局

船舶・無人洋上中継器用衛星地球局の開発



船舶搭載用アンテナ

無人洋上中継器用アンテナ

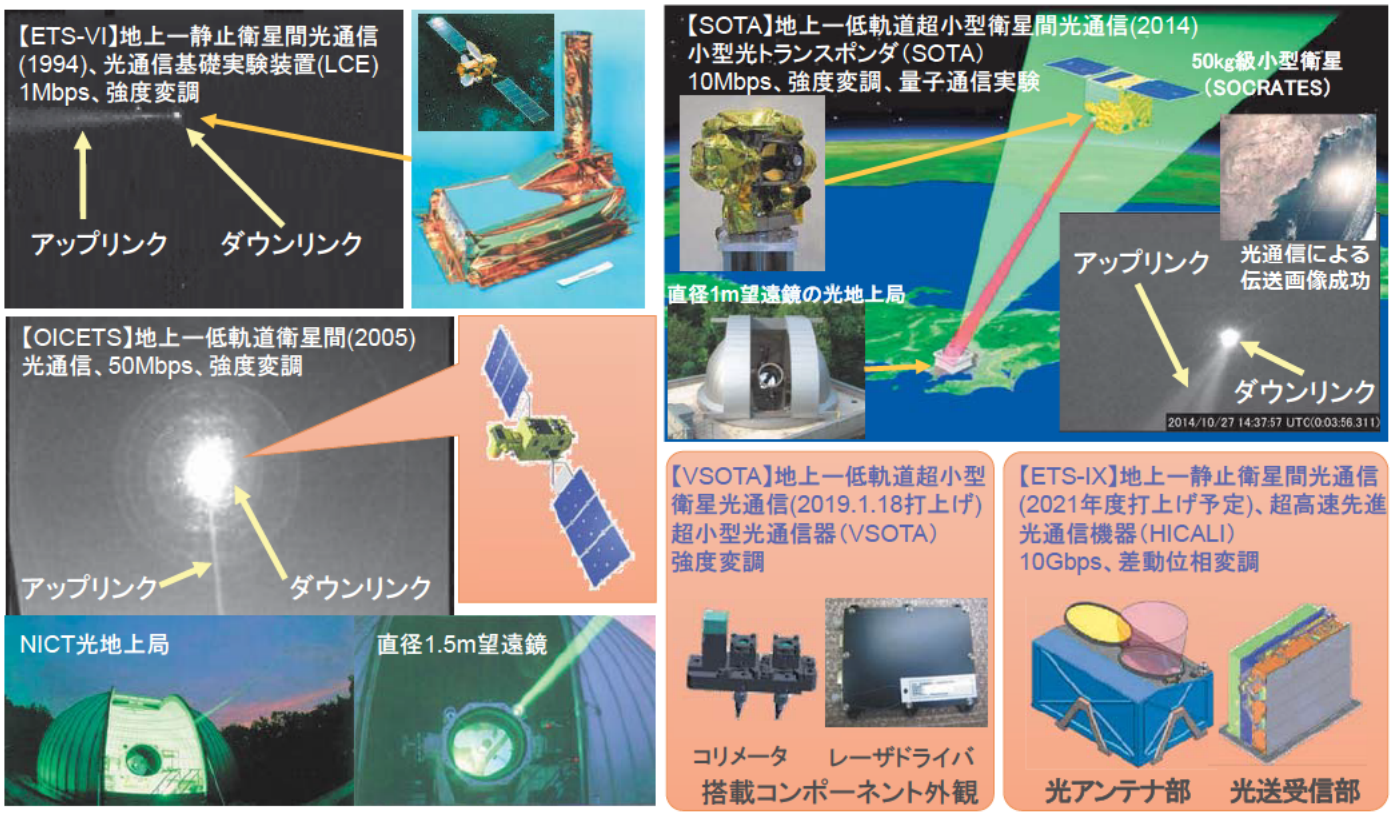
航空機搭載用衛星通信アンテナ技術の開発

航空機搭載用アンテナ

無人航空機用アンテナ

NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙通信）

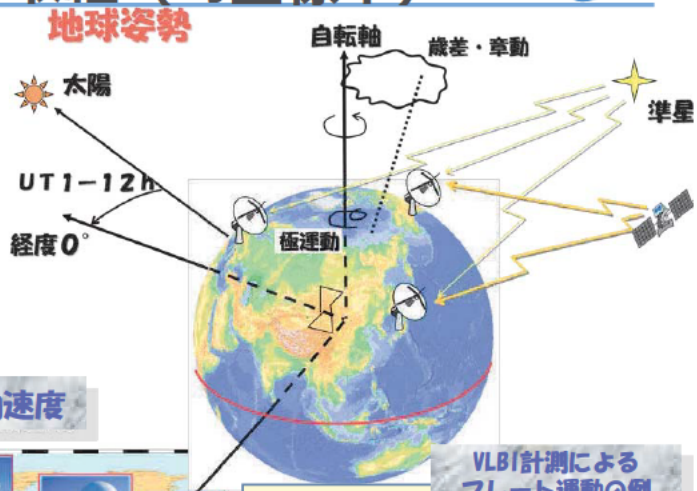
NICTの光衛星通信技術の研究開発実績（宇宙実証の推進）



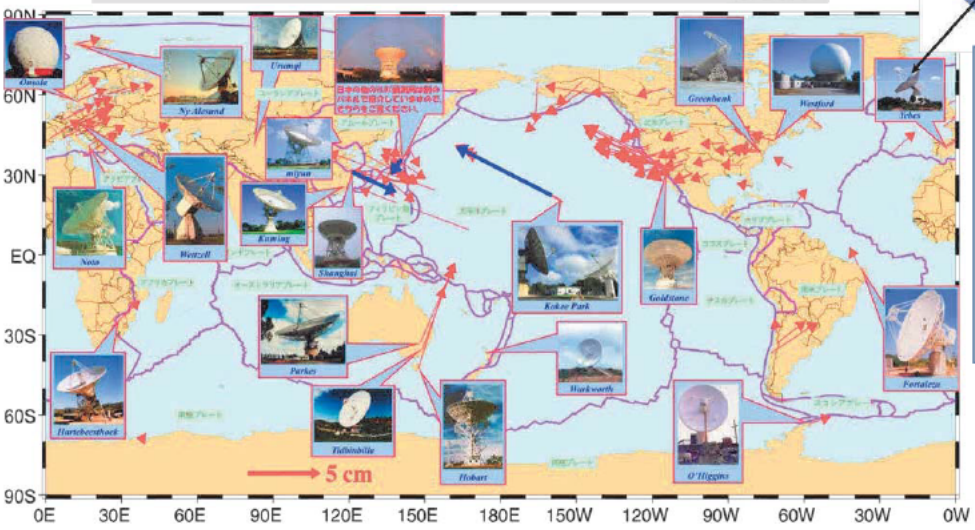
NICTにおける宇宙に関する取組（時空標準）

超長基線電波干渉法(VLBI)

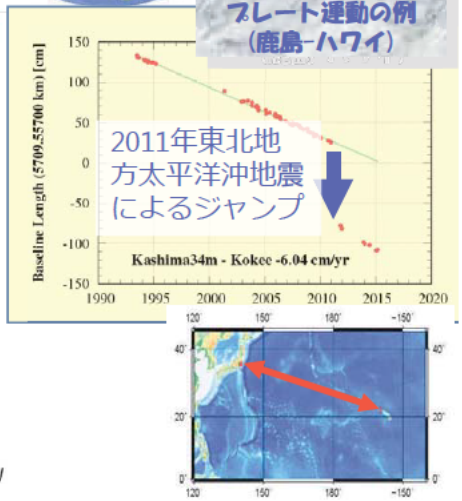
国際VLBI事業(IVS: International VLBI Service for Geodesy and Astrometry)の国際共同観測に参加し、国際基準座標系（ITRF、ICRF)、地球姿勢(UT1,極運動)の計測を実施している。



VLBI観測によって求められたプレートの移動速度



VLBI計測によるプレート運動の例（鹿島−ハワイ）



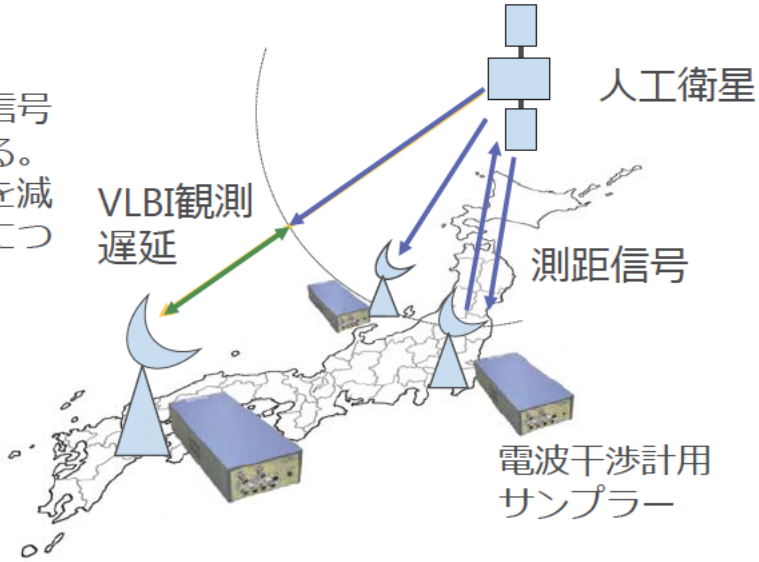
NICTにおける宇宙に関する取組（時空標準）

電波干渉計技術を使った静止衛星の軌道決定

～民間衛星事業者との共同研究により従来法より大幅なコスト低減を実現～

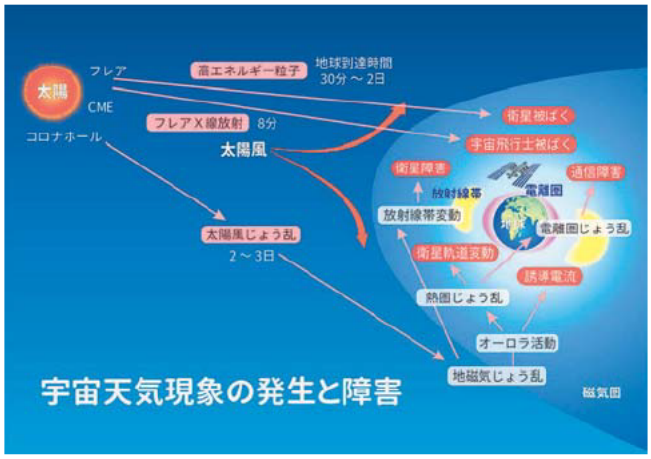
- 民間衛星事業者は、静止衛星の軌道決定・制御のため、従来は地上から測距計測を複数局で実施していた。
- NICTのVLBI観測技術を応用して、ダウンリンク信号を複数局で受信し、干渉計処理で得られる遅延差を使って衛星の軌道決定を実現した。

ルビジウム原子時計による基準信号で十分な衛星の位置決定ができる。これによって送信局・送信免許を減らすことで、運用コストの削減につながる。

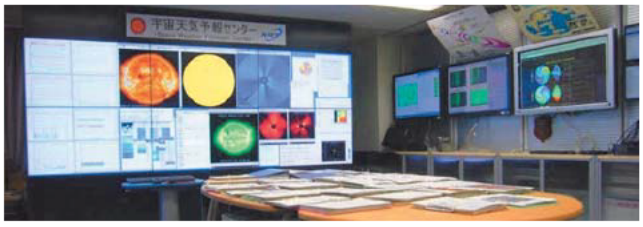


NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙環境計測）

- 宇宙天気
  - 太陽： 熱や光だけでなく紫外線や高いエネルギー粒子・高温のガスをも噴出。
  - 地球： 磁場と大気のバリアで地表を保護。
  - 磁場のバリアは不完全： 地球近傍の宇宙や電離圏を乱すことも。
  - 宇宙天気： 太陽-地球近傍の電磁環境。



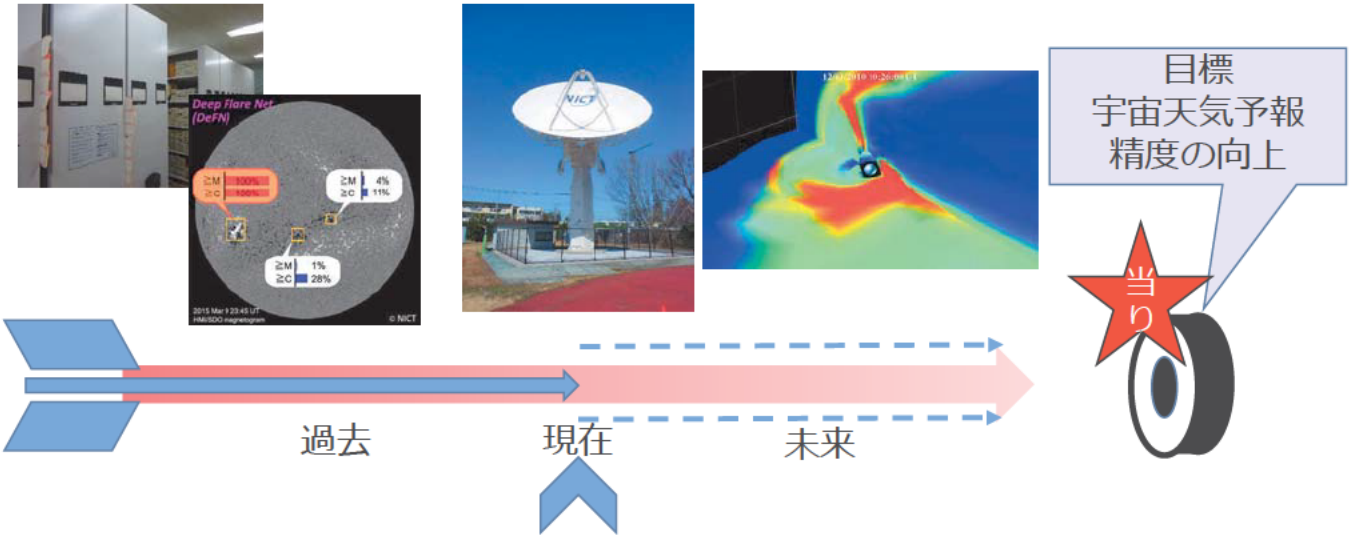
- 研究課題：「宇宙天気予報精度の向上」
  - 利用者が必要とする精度の情報を、必要とするリードタイムで利用者が使いやすい形で提供。
  - 現況把握のための観測機器の開発・定常的な観測の実施。
  - 太陽地球環境の未解明のプロセスを解明し、数値予報手法を開発。観測結果を用いた精度評価により、予測精度の向上を進める。
  - 膨大な蓄積の過去情報から特徴量を見出し、経験予報手法を開発。併せて機能的手法により未知の物理メカニズムを推定し、新たな知見を得る。



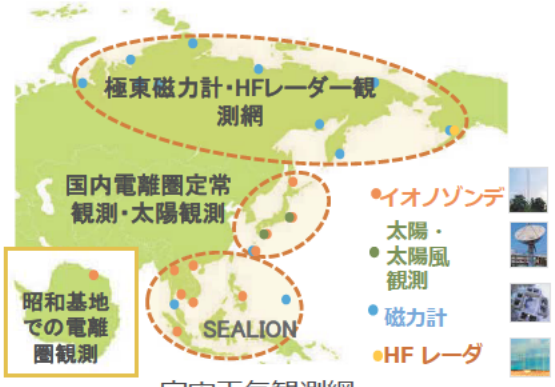
NICT宇宙天気予報センター

NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙環境計測）

- 研究課題の手段・計画
  - 現在を知る： 観測手法の開発・定常的観測の実施
  - 過去を知る： 観測データの蓄積・活用
  - 未来を知る： シミュレーション技術開発・データ同化
  - 要求を知る： ユーザーが必要とする情報の提供・コンテンツ開発



NICTにおける宇宙に関する取組（宇宙環境計測）



宇宙天気観測網

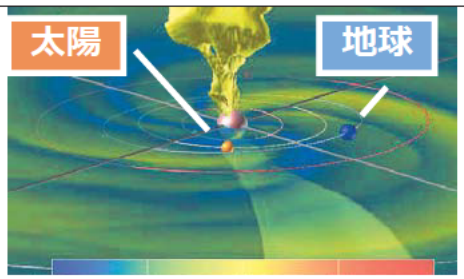
現在を知る： 観測手法の開発・定常的観測の実施

放射線帯予測モデル

太陽フレア予測モデル

過去を知る： 観測データの蓄積・活用

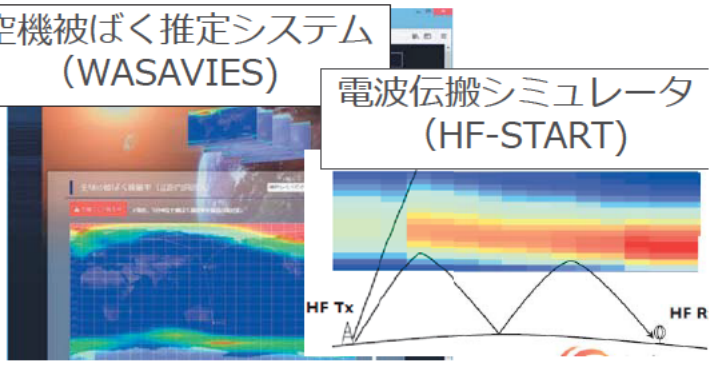
太陽風予測シミュレーションコード
(SUSANOO)



未来を知る： シミュレーション技術開発・データ同化

航空機被ばく推定システム
(WASAVIES)

電波伝搬シミュレータ
(HF-START)



要求を知る：ユーザーが必要とする情報の提供 ・ コンテンツ開発

近い将来、“宙”を見上げると…

解決すべき課題例

1. 高速な通信回線が求められるなか、電波や光のリンクへの天候等による回線品質への影響。また、様々なプラットフォームで特定の時間・場所に通信の需要が集中。
2. 多様な衛星、スペースプレーン、５G携帯等多くのプラットフォームが地上・宇宙空間に混在する中、周波数の干渉や電波環境の変化が発生。
3. 太陽活動による人工衛星の姿勢制御・軌道への影響。電離圏の乱れによる衛星測位パフォーマンスの低下。

課題解決に求められる技術例

1. 通信需要、気象データ、地上・空・宇宙のプラットフォームの位置などのデータをリアルタイムで集め、AIを活用して今後の電波環境や通信需要を予測的に処理し、安定な通信を実現する統合ネットワーク制御技術。
2. 物理的に離れた場所との間においても、ロバストな通信を実現する遅延耐性ネットワーク技術。
3. 地上や衛星から高感度・広帯域に電波を計測する技術、及び衛星軌道を高精度に予測する技術。
4. 人工衛星の姿勢制御・軌道への影響を精度よく見積もるための太陽活動による大気膨張等のモデル精緻化技術。
5. 高い衛星測位精度を維持するための、電離圏の乱れをリアルタイムで監視するシステム、及び太陽・磁気圏・電離圏を包括的に観測する衛星観測技術。

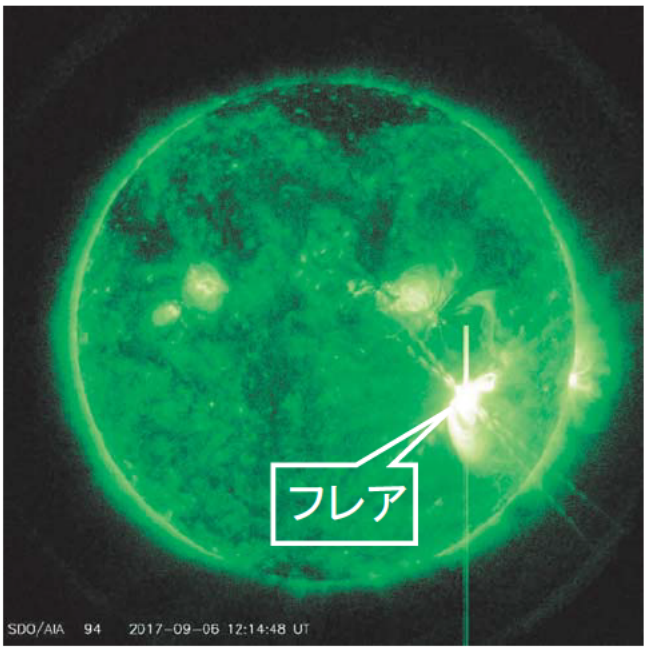
ご静聴ありがとうございました。

宙を拓くタスクフォース
総務省、2019年3月1日

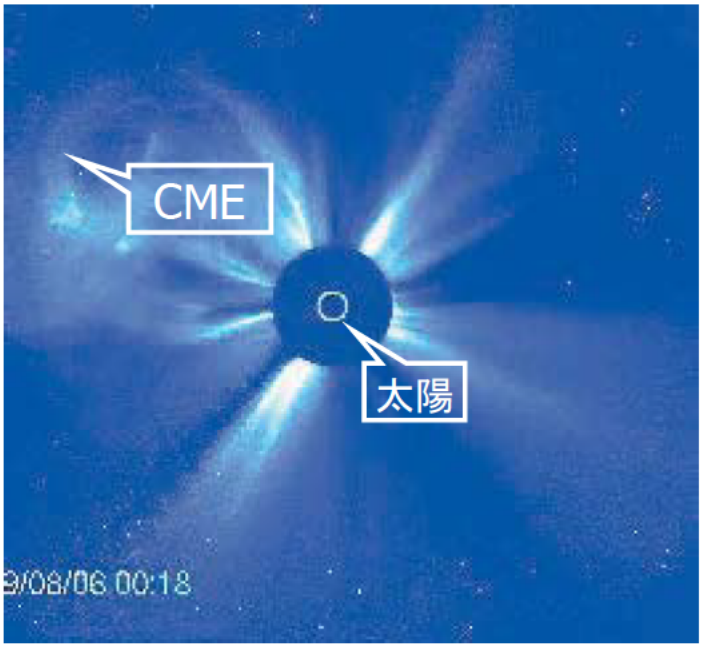
宇宙時代の社会基盤としての宇宙環境予測に向けた取り組みについて

草野完也
名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）

太陽面爆発：フレアとCME

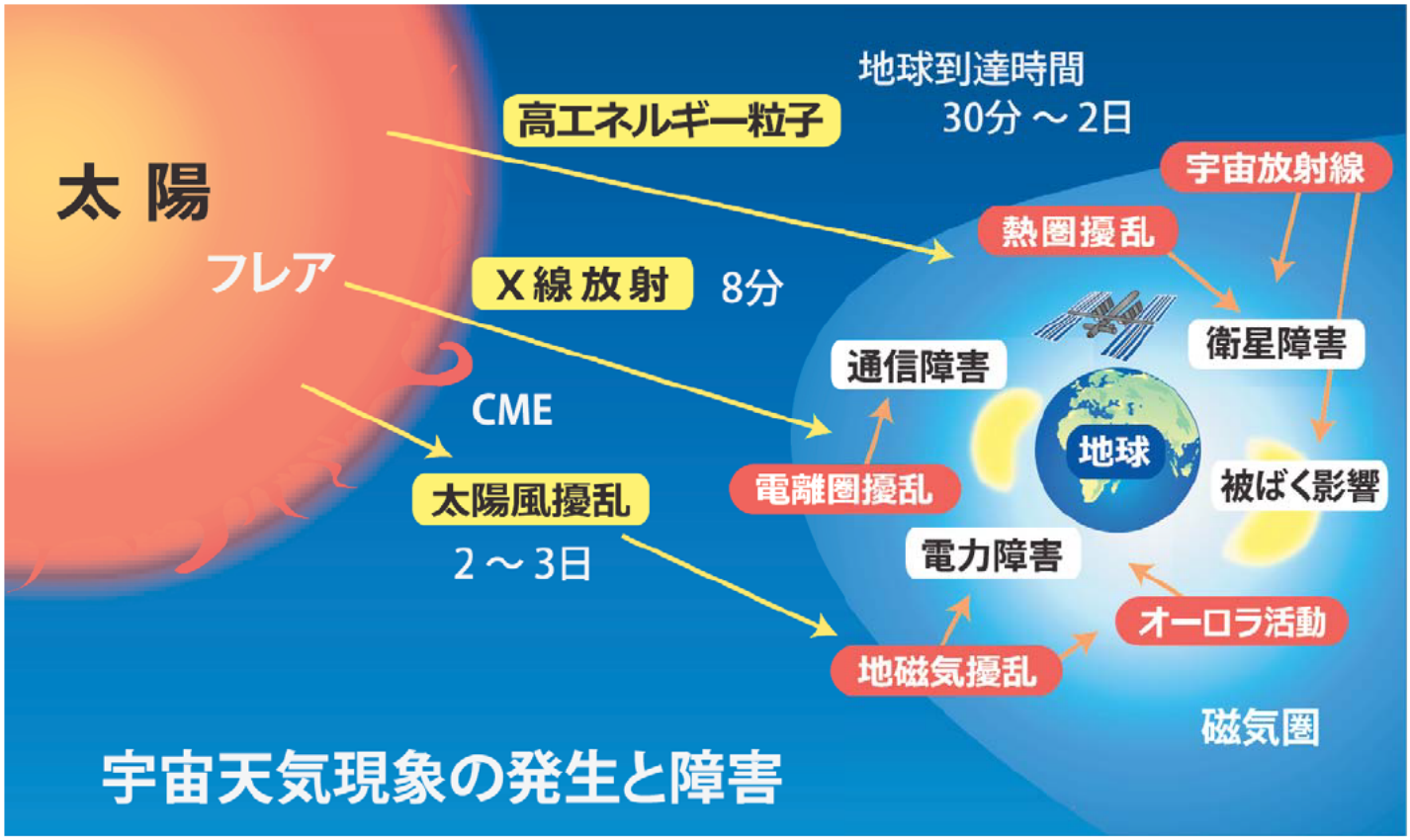


太陽フレア：太陽表面とコロナからの突発的な発光（電磁波放射）を伴う爆発現象



CME（コロナ質量放出）：大量のコロナプラズマが爆発的に惑星間空間へ放出される現象

宇宙環境の短期的擾乱現象



3

宇宙環境変動の社会影響

- 宇宙放射線
  - 衛星帯電・被曝（大フレア時に約100mSv被曝の可能性）
    - 2014年1月ISSへの補給機打上延期
  - 航空機被曝（大フレア時に約4mSv被曝の可能性）
    - 2012年1月アメリカ連邦航空局が極航路の一時的変更を勧告
- 電離圏擾乱による測位・通信障害
  - デリンジャー現象によって短波通信が不通、航空無線等でも障害
  - GPS測位精度低下
- 大気抵抗変動による衛星影響
  - 衛星軌道・姿勢影響（2000年7月：X線天文衛星「あすか」障害）
- 地磁気誘導電流による電力網障害と停電
  - 1989年3月の巨大磁気嵐(Dst～540 nT)によりケベック州で大停電。
- 気候影響
  - 太陽活動の大極小期（グランド・ミニマ）における小氷期の発生可能性

4

人工衛星への影響例（大気ドラッグ）

- 1989年ケベック・イベント
  - 3月10日X4.5 フレア発生
  - 3月13-14日最大級磁気嵐発生
    - ケベック州で大規模停電
    - 多くの衛星が追尾不能（下図）

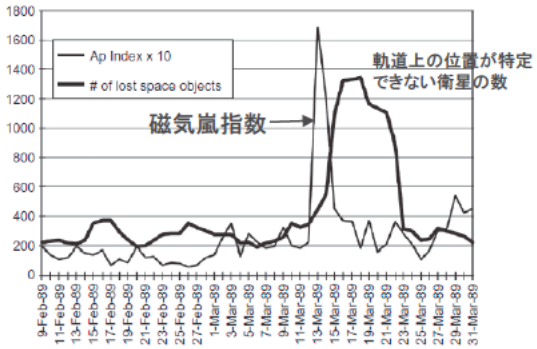


FIG. 7

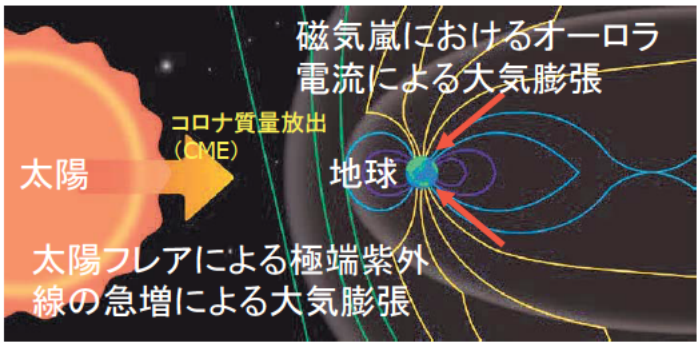
During the great geomagnetic storm of March 1989, atmospheric drag caused a huge increase in the number of space objects whose location had become unknown, as shown by the peak in the number of lost space objects. This follows the spike in the geomagnetic index Ap caused by the storm.

Courtesy U.S. Air Force, Air University: Space Primer, Chapter 6 on Space Environment. http://www.au.af.mil/au/awc/space/primer/space_environment.pdf.

Extreme Events in Geo-space Origins, Predictability, and Consequences
Edited by Natalia Buzulukova
2018 Elsevier Inc.

- 2000年バスチーユ・イベント
  - 7月14日X5.7 フレア発生
  - X線観測天文衛星「あすか」

太陽フレアによる大気膨張による姿勢擾乱と、その後の緊急運用中に起こった蓄電池の電力枯渇のため2000年7月15日以降観測中止。太陽活動の活発化に伴い徐々に軌道高度を下げ、2001年3月2日に大気圏に再突入。



激甚宇宙天気災害の可能性

■ 超キャリントン・クラス

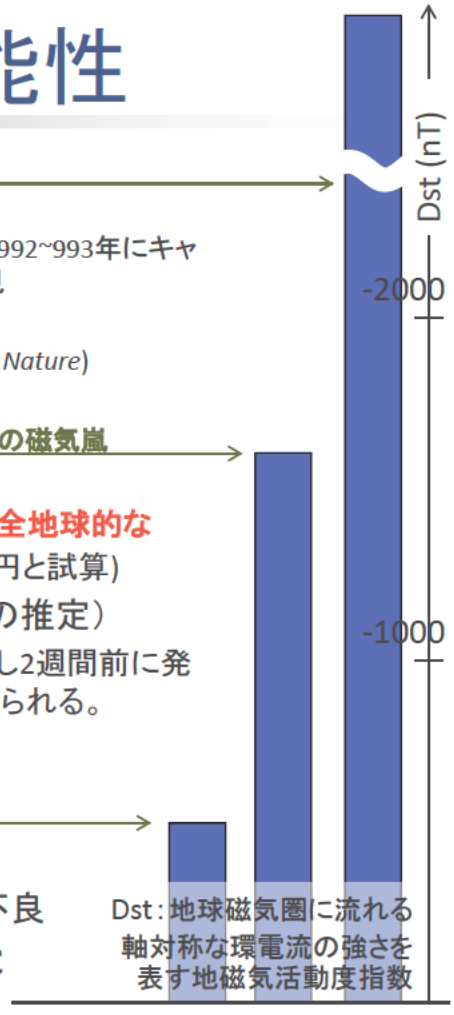
- 樹木年輪中の炭素同位体解析　西暦774~775年及び、西暦992~993年にキャリントン・イベントの10倍程度の放射線急増事象が発生したことを発見
  (名大：Miyake et al. 2012 *Nature*, Miyake et al. 2013 *Nature Comm.*)
- 太陽型恒星の超巨大フレアの可能性(京大：Maehara et al. 2012 *Nature*)

■ キャリントン・クラス

- 1859年9月　Dst～-1760nT　（キャリントン・イベント）
  現代において発生すれば、衛星障害、通信・測位障害など**全地球的な激甚宇宙天気災害**を引き起こす。（被害総額10～100兆円と試算）
- 2012年7月　推定Dst～-1182nT（地球に到達した場合の推定）
  太陽の裏面で発生したため地球には到達しなかったが、もし2週間前に発生した場合、地球に到達し、大規模被害をもたらしたと考えられる。
  (Baker et al. 2013)

■ サブ・キャリントン・クラス

- 1989年3月　Dst= -589nT ケベック州大停電
- 2000年7月　Dst=-301nT　X線観測衛星「あすか」制御不良
- 2003年10月　Dst= -422nT スウェーデン、南アフリカで送電システム障害、火星探査機Mars Odyssey障害



宇宙天気災害への対応

- 宇宙インフラの適切な設計
  - 宇宙環境変動の適切な上限想定
- 宇宙嵐の正確な予測
  - 太陽フレアの発生予測（発生時刻、爆発の規模）
  - CMEの地球影響の予測（到達時間、速度、磁場）
  - 社会インフラへの影響の予測
- 太陽地球環境の長期変動の予測
  - 太陽周期活動の環境影響の理解
    - 低軌道衛星への大気影響、地球放射線帯の長期変動
  - 次期太陽周期活動の予測

科学的重要課題の抜本的解決

- ■太陽フレアの発生機構
- ■地球放射線帯における粒子加速機構
- ■太陽活動の気候影響プロセスの特定 など

大学・JAXA・国立天文台等

⇔

社会基盤としての宇宙天気予報の飛躍的発展

- ■社会に役立つ予測スキームの開発
  （通信、電力、衛星・航空機等への影響予測）
- ■激甚宇宙天気災害に備える宇宙天気ハザードマップを世界に発信

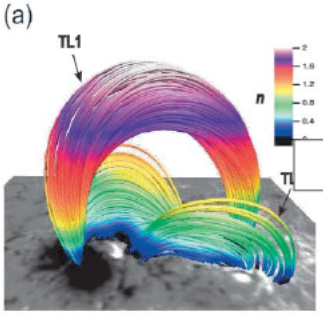
情報通信研究機構・電子航法研究所等

組織・学問領域を超えた連携

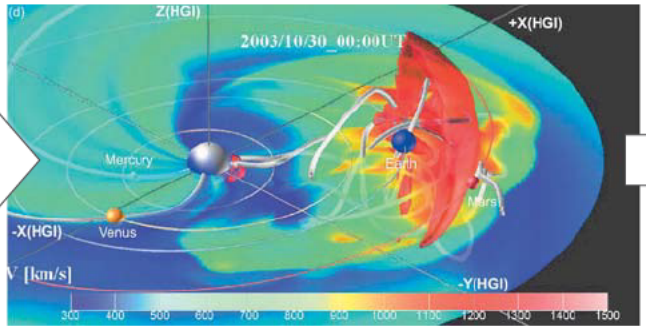
基礎科学研究と予測研究の相乗的発展

全国20機関より天文学・地球電磁気学・気象気候学など分野を超えた100名以上の研究者が参加

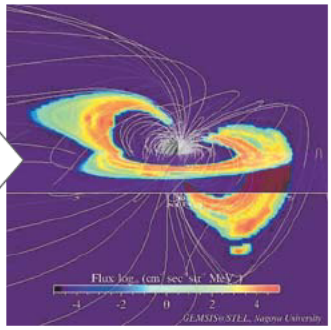
組織を超えた宇宙環境予測の開発



太陽黒点とコロナ磁場のモデル
（名大、JAXA、国立天文台）



太陽フレアとコロナ質量放出（CME）のモデル
（名大、NICT）

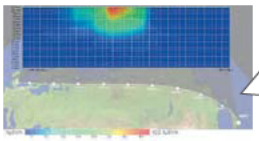


地球電磁気圏・宇宙放射線のモデル
（名大、京大、NICT）

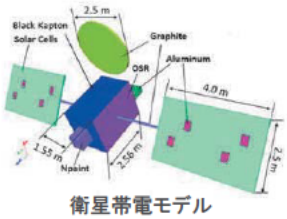
分野横断型の総合研究

太陽、宇宙空間、地球電磁気圏、大気、電磁波、電力、電波工学、地質学など、様々な分野の連携による統合モデルの開発

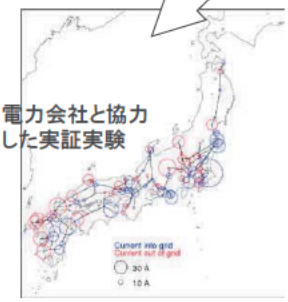
大学、研究所、民間会社など産官学の連携による総合的研究の継続が重要



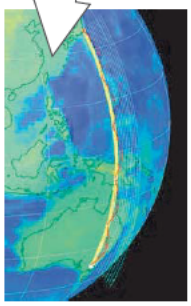
宇宙放射線被曝モデル
（原子力機構、極地研）



衛星帯電モデル
（大阪府立大）



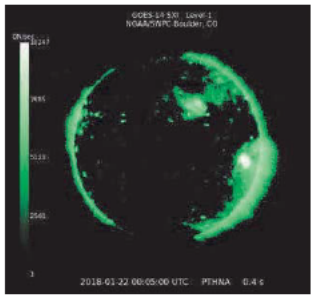
地質モデルを考慮した
地磁気誘導電流モデル（京大）



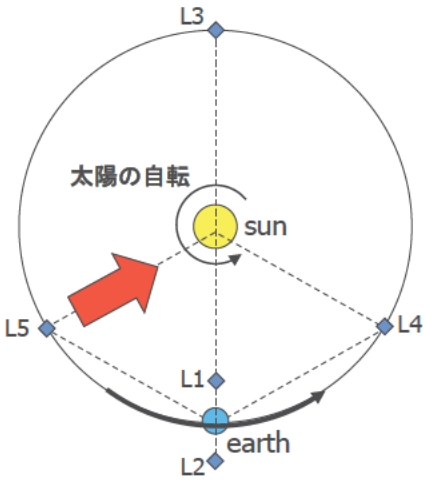
短波電波伝播シミュレータ
（NICT、電子航法研）

社会基盤としての宇宙環境監視

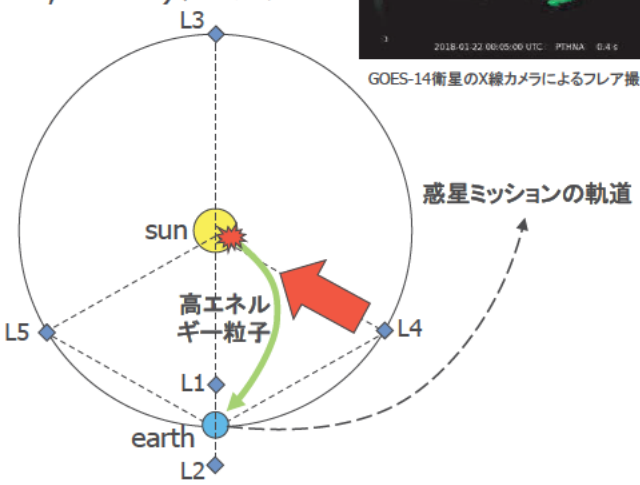
- 科学観測衛星と共に、社会基盤としての宇宙監視システムの充実が必要
  - 現状：米国のGOES衛星(GSO)、DSCOVR衛星 (L1)
  - 計画：複数のラグランジュ点における太陽活動と宇宙空間の監視ミッミッション計画が海外で進行中：欧州（特に、英国）、中国、インド、米国（NASA, NOAA）、ロシア



GOES-14衛星のX線カメラによるフレア撮像



L5ミッション：太陽裏面から現れる活動領域の早期監視

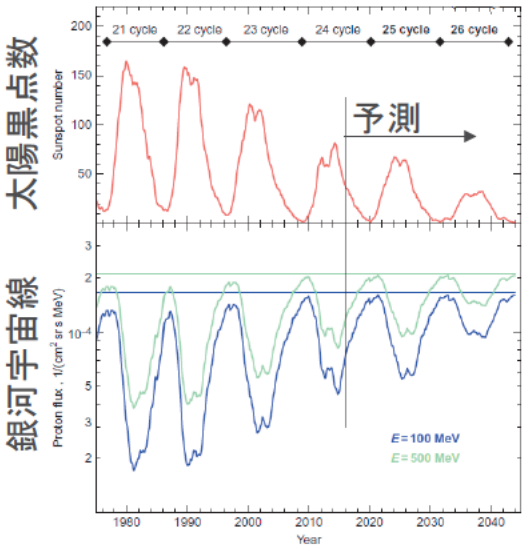


L4ミッション：太陽高エネルギー粒子のソース領域の早期監視、惑星ミションの支援

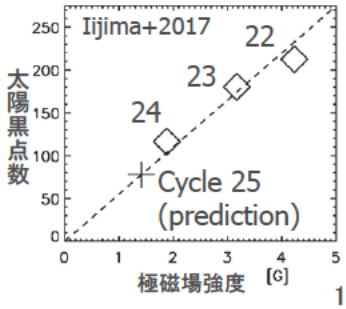
宇宙環境の長期変動

- 太陽黒点は約11年周期で増減するが、その活動度は周期によって大きく変化。
- 太陽黒点活動はフレア発生に関係すると共に、地球の超高層大気や宇宙放射線を変化させるため、衛星運用に影響を与える。
  それ故、太陽活動の長期変動は人類の宇宙活動計画にとって重要

Kuznetsov+2017



- 第22周期より黒点活動は低下し続けている。
- 次期周期（第25周期）の黒点活動が注目され、その予測が各国の研究機関で進められている。



11

まとめ

- 宇宙環境変動の正確な理解が、将来の宇宙利用には不可欠である。
  - 特に、フレア爆発に伴う宇宙環境変動は、人類の宇宙活動に甚大な被害を与える潜在的なリスクをはらんでいる。また、太陽活動の長期変動は宇宙開発と宇宙機の長期運用に大きな影響を与える。
- 宇宙を人類の新たな活動領域として安全に開拓するためには、宇宙環境の変動を事前に予測するための研究開発とそれを監視する体制を整えることが不可欠。
  - 宇宙環境変動予測は挑戦的な課題であり、従来の領域を超えた総合的研究を、中長期的な視点から産官学の連携で進める必要がある。
  - NICTと大学などの協力で進めてきた新学術領域PSTEPはそのための特徴的なビジネスモデルとなり得る。

12

総務省
宙を拓くタスクフォース（第6回） 資料

資料６－２

NTT DATA
Trusted Global Innovator

宇宙ビジネス推進に係る国内外の取組み事例調査報告
（コンテスト開催、地域密着の取組み、スタートアップ企業動向）

2019年3月1日
株式会社NTTデータ経営研究所

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

宇宙ビジネスに係る
コンテスト開催状況

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

NTT DATA

コンテスト実施目的による分類

宇宙ビジネスに限らず、コンテスト実施目的は大きく4つに分類され、それぞれの目的に沿った募集内容及び褒賞が設定されている。

	コンテスト実施目的	賞	開催事例 国内	開催事例 海外
技術革新	• 当該分野における技術革新をスピードアップするために、困難な課題を提示しチャレンジを促す	賞金	• 宇宙エレベーターチャレンジ（宇宙エレベーター協会）	• Ansari X PRIZE（Xプライズ財団） • Google Lunar X Prize(Xプライズ財団)
オープンイノベーション	• コンテスト主催者または協賛者が自事業推進への活用検討を前提に技術やアイデアを募集する	賞金（+協働プロジェクトへの参画等）	–	• DIUx xView 2018 Detection Challenge(DIUx) • Centennial Challenges (NASA) • DARPA Launch Challenge (DARPA) • Kaggle Competition (Kaggle上で各機関が主催)
事業創出	• 当該分野の事業創出や市場活性化を目的として、ビジネスアイデアやソリューション・サービスを募集する	賞金（+事業化支援等）	• S-Booster（内閣府）	• Copernicus Masters(ESA) • European Satellite Navigation Competition (GSA)
人材育成	• 若年層や異分野の人材が当該領域に関心を持ち、技術を研鑽する機会を提供するために競技を開催する	賞金がない場合もある	• Tellus Satellite Challenge（経済産業省） • 衛星設計コンテスト（日本宇宙フォーラム） • ARLISS(UNISEC) • 種子島ロケットコンテスト(JAXA)	• Base 11 Space Challenge (Base 11)

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

【事例】Ansari X PRIZE（Xプライズ財団）

技術革新

Ansariファミリーの資金提供を受けて実施された、民間による最初の有人弾道宇宙飛行を競うコンテスト。 世界中から26チームが参加し、2004年10月4日に規定の条件を最初にクリアしたスケールド・コンポジッツ社のチームが賞金の1,000万ドルを獲得した。

コンテスト開催概要

目的	政府主導で行われてきた宇宙飛行について、民間企業による実施を可能とすることで、将来的な民間人の宇宙観光の可能性を開拓する。
実施主体	Ansariファミリーの資金提供を受け、Xプライズ財団によって開催。
開催時期	1996年5月～2004年10月
募集内容	下記条件を最初にクリアしたチームが勝利。 • 宇宙空間（高度100 km以上）に到達する • 乗員3名相当を打ち上げる • 2週間以内に同一機体を再使用し、宇宙空間に再度到達する
賞	賞金1,000万ドル。

コンテストの成果等

- 7カ国から26チームが参加。2004年10月4日（米国時間）に規定の条件を最初にクリアしたスケールド・コンポジッツ社のチームによるスペースシップワンが賞金の1,000万ドルを獲得した。
- スケールドコンポジット社から技術ライセンスを受けたヴァージンギャラクティック社は、再使用が可能な宇宙船スペースシップツーを開発。2010年に最初の有人飛行試験を実施した。

https://ansari.xprize.org/

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

【事例】Google Lunar X Prize（Xプライズ財団）

技術革新

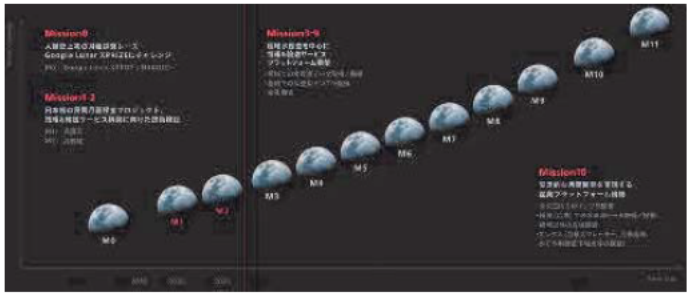
Xプライズ財団によって運営され、Googleがスポンサーとなり開催された民間による最初の月面無人探査を競うコンテスト。2007年から2018年にかけて開催されたが、勝者のないまま終了した。

コンテスト開催概要

目的	民間による月面開発を加速する。
実施主体	Googleがスポンサーとなり、Xプライズ財団によって開催。
開催時期	2007～2018年
募集内容	月面に純民間開発の無人探査機を着陸させ、着陸地点から500m以上走行し、指定された高解像度の画像、動画、データを地球に送信する
賞	賞金総額3,000万ドル

コンテストの成果等

- 最終段階で5チームが残っていたものの、期限である2018年3月末までに打上げを成功するチームはなく、勝者のないまま終了。2018年4月、Xプライズ財団は、Googleに代わるスポンサーを募集し、ミッションを継続する計画を発表。
- 日本から出場し、最終5チームに残った「HAKUTO」を運営していた宇宙ベンチャーのispace社は、2017年12月、産業革新機構などから100億円超の資金調達に成功。独自に2回の月面探査ミッションを行う計画を発表しており、最初のミッションは2020年実施を目指している。



https://lunar.xprize.org/
https://www.xprize.org/press-release/xprize-plans-continue-lunar-xprize-mission
https://ispace-inc.com/jpn/project/

【事例】SPEC(SPace Elevator Challenge)（宇宙エレベーター協会）

技術革新

宇宙エレベーター関連技術並びにスピンアウトの開発・研究の促進等を目的に、宇宙エレベーター向けに開発された自立昇降機の性能を競う競技会を開催。

コンテスト開催概要

目的	・宇宙エレベーター関連技術並びにスピンアウトの開発・研究の促進 ・宇宙エレベーターについての正しい知識の普及 ・自走式昇降機とその実験に必要な設備について、各大学による共同実験
実施主体	宇宙エレベーター協会
開催時期	2009年～毎年開催
募集内容	・テザードバルーン（複数係留索を持つ係留気球）の係留とこれを用いた各種競技 ・自走式昇降機によるテザー昇降性能の評価
賞	下記の3賞 ・スピード賞（最高上昇速度） ・ペイロード賞（最高ペイロード比） ・ミッション賞（安全に人形を運ぶミッションのクリア）

コンテストの成果等

宇宙エレベーター協会では、2009年度から気球などからつるしたアラミド繊維製ケーブルを昇降用テザーにみたて、そのテザーに沿ってクライマーを走らせる開発実験と競技会を実施。

2013年には高度1,200mまで達し、時速100km を超える機体も開発。

2019年夏第10回では次のステップとしてクライマー本体が昇降するだけではなく、貨物を積載して昇降する競技に挑戦。

http://www.jsea.jp/index.html

【事例】衛星画像解析の精度向上を目指す取組み(CVPR等)

技術革新

衛星画像解析の最先端技術を進歩させる目的で、衛星画像データセットを提供して解析精度を競うコンテストが開催されている。

DEEPGLOBE CVPR 2018 (CVPR)

目的	コンピュータビジョン研究における世界的権威である学会CVPRが、衛星画像解析の最先端技術を進歩させる目的で開催。
実施主体	CVPR(IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition) ※委員にDigitalGlobe、Facebook、MITが参画。
開催時期	2018年3月～6月
募集内容	高解像度の衛星画像データセット(DigitalGlobe提供)とそれに対応する訓練データが提供され、「道路抽出」「建物抽出」「土地被覆分類」の3部門について自動化するソリューションの精度を競う。挑戦者は、方法論を詳述する短い論文を提出する必要がある。
賞	賞金、ワークショップでの口頭発表/ポスター発表、論文出版

http://deepglobe.org/challenge.html

SpaceNet Challenge (SpaceNet on AWS)

目的	さまざまなリモートセンシングデータアプリケーションへの適用のため、ディープラーニングによる特徴抽出技術を進歩させる目的で不定期にコンペを開催。
実施主体	SpaceNet(CosmiQ Works、DigitalGlobe、Radiant Solutionsがスポンサー)
開催時期	不定期開催
募集内容	直近のコンペテーマ ・道路網の抽出 ・建物の抽出
賞	例えば「建物の抽出」チャレンジの賞金総額は$15,500

https://spacenetchallenge.github.io/

【事例】The Moon Race (The Moon Race NPO gGmbH)

オープン
イノベーション

月探査の動きを促進し、持続可能な探査に必要な主要技術のデモンストレーションを実現することを目的に開催。応募者は、2024年に月面でのミッションを実現することをゴールに、異なる4領域で5年間に渡って徐々に複雑化するミッションに挑戦する。

コンテスト開催概要

目的	月探査の動きを促進し、持続可能な探査に必要な主要技術のデモンストレーションを実現することを目的に開催。新興企業・中小企業をターゲットにしている。
実施主体	The Moon Race NPO gGmbH (ドイツに本拠地を置く非営利団体) ※ブルー・オリジン(米)、エアバス(仏)、ヴァンシ(仏)、メキシコ宇宙局、ESA、等が支援
開催時期	2019年～2024年(予定)
募集内容	2024年に月面でのミッションを実現することをゴールに、下記の異なる4領域で5年間に渡って徐々に複雑化するミッションに挑戦する。 ・月資源を用いた人工物の製造 ・エネルギー開発 ・水資源の採取 ・植物工場
賞	賞金のほか、実験設備へのアクセス等が謳われている。(詳細は応募期間の開始とともに発表)

コンテストの今後の見通し

コンテスト参加チームは、2019年にアプライし、2020年にプロトタイプ完成、2021年に月面を模した環境でのテストを含む技術開発を実施。2024年には月でのミッションが実施される見込み。

https://www.themoonrace.org/en/challenges/themoonrace
https://www.space.com/42010-moon-race-lunar-tech-2024-blue-origin-airbus.html

【事例】ANA AVATAR XPRIZE（Xプライズ財団）

オープン
イノベーション

Xプライズ財団によって運営されANAホールディングスをスポンサーとする、先端技術を用いて遠隔で周りの環境や人々と応対ができるAVATARロボットを開発するコンテスト。期間は2018年3月からの4年間。賞金総額は1,000万ドル。

コンテスト開催概要

目的	人の感覚、行動、存在感をリアルタイムで遠隔地に伝達し、よりつながりのある世界をもたらすアバターシステムの開発。
実施主体	ANAがスポンサーとなり、Xプライズ財団によって開催。
開催時期	2018年3月～2022年4月
募集内容	さまざまなシナリオにおいて、訓練されていないオペレータが100km以上離れた物理環境で一連の作業を遂行する。
賞	賞金総額1,000万ドル

ANAのサービス化に向けた取組み

ANAは大分県や大分県内の事業者の協力を得て、AVATAR技術を活用した医療、教育、漁業、農業、旅行、宇宙開発等の分野におけるサービス実現に向け実証事業を推進中。

宇宙開発・利用

農業

漁業

医療

https://avatar.xprize.org/prizes/avatar
https://ana-avatar.com/

【事例】Centennial Challenges（NASA）

オープン
イノベーション

宇宙開発に応用できる基礎研究、応用研究、技術開発等におけるイノベーション促進のため開催される賞金付きコンテスト。ライト兄弟の初飛行100周年を記念して名付けられた。民間企業が政府資金に頼らず技術開発を推進し、達成された場合のみ賞金が授与される。

コンテスト開催概要

目的	宇宙開発に応用できる基礎研究、応用研究、技術開発等におけるイノベーションを促進し、NASAと政府が重視する技術的課題に対する革新的な解決策を生み出すとともにベンチャー企業等に機会を提供する。
実施主体	NASA及びパートナー機関等
開催時期	2005年～
募集内容	NASAの提示する課題に対し、民間企業が政府資金に頼らず技術開発を推進し、達成された場合のみ賞金が授与される。
賞	チャレンジごとに賞金を設定。

開催中のチャレンジ

- **3D-Printed Habitat Challenge**（賞金総額：315万ドル）
  火星等の深宇宙探査を想定し、3Dプリンタを用いて火星表面に設置可能な住空間を製造する。
- **Cube Quest Challenge**（賞金総額：500万ドル）
  月付近で運用可能な高機能なキューブサットを設計・構築・提供する。
- **Space Robotics Challenge**（賞金総額：100万ドル）
  火星探査等のミッションを支援するR5ロボットの能力開発。
- **Vascular Tissue Challenge**（賞金総額：50万ドル）
  長期間の深宇宙ミッションにおける人体への悪影響を軽減することを目的に、実験室環境で維管束組織を作り出す。
- **CO2 Conversion Challenge**（賞金総額：100万ドル）
  火星の大気に含まれるCO2からグルコース等の糖を作り出し、現地の資源を有効活用した持続的活動を可能にする。

https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/overview.html
https://www.nasa.gov/open/centennial-challenges.html

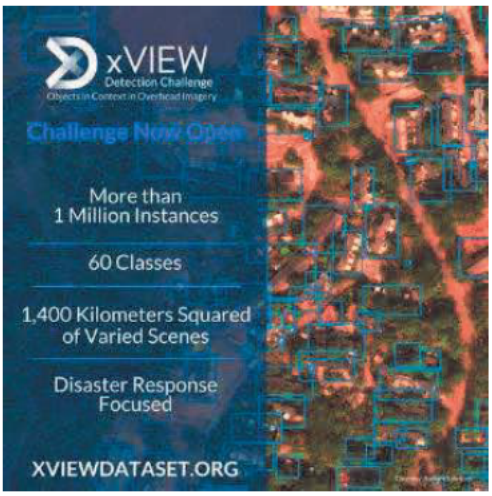
【事例】その他米国政府機関によるオープンイノベーションの取組み

オープン
イノベーション

米国においては、政府機関が国防等の事業に技術を活用することを狙って賞金付きチャレンジを開催する事例も出てきている。これらの取組みは政府に活用されるだけでなく業界の技術進歩や手続効率化等のメリットも期待されている。

DIUx xView 2018 Detection Challenge

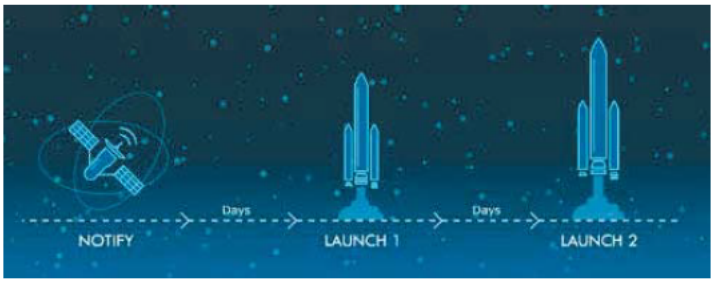
DIUx（米国国防イノベーション実験ユニット）、及びNGA（アメリカ国家地球空間情報局）は、コンピュータビジョンフロンティアの進歩を加速し、災害対応プログラムや準備だけでなく、国家の安全保障のために活用するためコンテストを実施。



出所： https://www.venturesmarter.com/opportunities/diux-xview-2018-detection-challenge

DARPA Launch Challenge

米国防高等研究計画局DARPAは、打ち上げ直前までどこで何を打ち上げるのかが伝えられない賞金をかけた小型衛星打ち上げプロジェクト「DARPAローンチ・チャレンジ」を発表。狙いは、ごく短い期間のうちにどこからでも打ち上げることを可能にすることで国防に役立てることにある。



出所： https://www.darpalaunchchallenge.org/

【事例】Kaggle Competition

オープン
イノベーション

Kaggleは世界中のデータサイエンティストが無料でコンペに参加可能なコミュニティ/プラットフォーム。衛星画像解析関連でも、Draper研究所、DSTL（英国国防科学技術研究所）、Planet、Airbus等といった機関・企業がスポンサーとなりコンテストを開催している。

Kaggle概要

- Kaggleは世界中のデータサイエンティストが無料でコンペに参加可能なコミュニティ/プラットフォーム。
- 企業や政府機関、研究者等がスポンサーとなってコンペ形式でデータセットと課題を提示し、参加者はパターン認識や予測等のアルゴリズムの精度を競う。賞金額はさまざまだが100万ドルを超えるケースも。
- 上位入賞者は賞金を手にするとともにKaggle内のランキングにポイントが反映される。ランキング上位者は優秀なデータサイエンティストを求める大手IT企業等で高く評価され、就職と活躍の機会を拡げることに繋がる。

https://www.kaggle.com/competitions

衛星画像解析に係るコンテスト開催事例

- **Draper研究所（米）** ―2016年6月に実施
  5日間にわたり同じ場所で撮影した衛星画像を提供し、日々の微妙な変化を検出したうえで撮影順序を予測する。
  （賞金総額：$75,000）
  https://www.kaggle.com/c/draper-satellite-image-chronology
- **DSTL（英国国防科学技術研究所）** ―2017年2月に実施
  英国の防衛に関してより迅速に賢明な決定を下すことに役立てるため、衛星画像をもとに建物や道路を自動で正確にラベリングする。（賞金総額：$100,000）
  https://www.kaggle.com/c/dstl-satellite-imagery-feature-detection
- **Planet（米）** ―2017年7月に実施
  森林破壊の原因と対応策の検討に役立てるため、衛星画像に気象条件と土地被覆/土地利用の種類をラベル付けする。（賞金総額：$60,000）
  https://www.kaggle.com/c/dstl-satellite-imagery-feature-detection
- **Airbus（欧）** ―2018年11月に実施
  雲のある衛星画像から全ての船舶をできるだけ早く検出するモデルを構築。（賞金総額：$60,000）
  https://www.kaggle.com/c/airbus-ship-detection

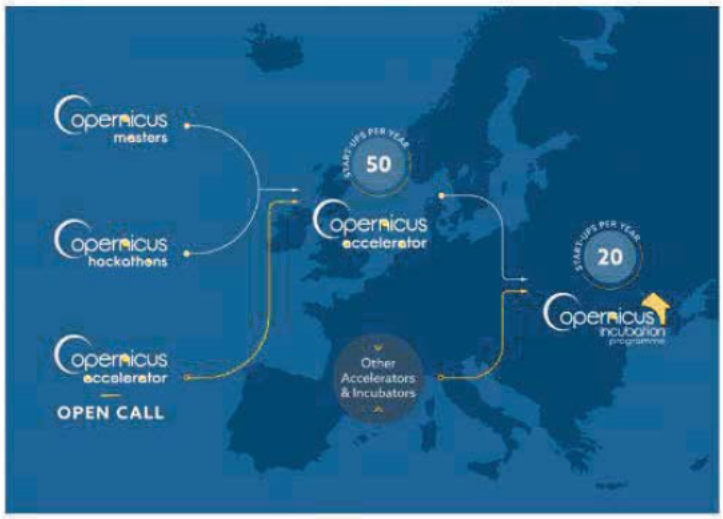
【事例】Copernicus Masters（ESA）

事業創出

ESA（欧）の主催する衛星データ活用領域のビジネスコンテスト「Copernicus Masters」では、入賞者がコーチングプログラム「コペルニクスアクセラレータ」を受けられるようになっているほか、挑戦する課題によっては協賛企業等が個別に設定した技術支援等も受けられる。

コペルニクスの事業創出支援の全体像

Copernicus Mastersの入賞者は、賞金だけでなくコーチングプログラム「コペルニクスアクセラレータ」等のビジネスコーチングメニューが受けられるようになっている。



協賛企業による課題提示と褒賞設定

応募者がチャレンジする課題はESA及び協賛企業が個別に設定。大賞以外に設定される課題ごとの褒賞には、協賛企業による技術支援やコンサルティング等も見られる。

出所：https://www.copernicus-masters.com/

【事例】S-Booster（内閣府宇宙開発戦略推進事務局）

事業創出

内閣府宇宙開発戦略推進事務局は、スペース・ニューエコノミー創造ネットワーク（S-NET）事業の一環として2017年より先進的な宇宙ビジネスアイデアコンテスト「S-Booster」（エス・ブースター）を開催。

コンテスト開催概要

目的	スタートアップを含む、我が国の宇宙産業の振興
実施主体	内閣府、エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）
開催時期	2017年～毎年開催
募集内容	3年目となる「S-Booster 2019」の応募テーマ ① スポンサー企業が提示するテーマに応じたビジネスアイデア ② 日本政府・JAXA・企業が提示する「日本の宇宙アセット」（準天頂衛星システム「みちびき」、政府衛星データ等）を活用したビジネスアイデア ③ その他、宇宙を利用した新たなビジネスアイデア（全般）
賞	最優秀賞、スポンサー賞等（賞金あり）

事業化支援の取組み

- **メンタリングの実施**

  二次選抜を通過したファイナリストに対し、実行委員会が選任するメンターから、メンタリング（事業化に係る経営面や精神面での助言、指導など）を実施し、各アイデアの事業化を支援。

- **最終選抜会におけるビジネス・マッチングの機会提供**

  最終選抜会では、スポンサー企業や宇宙分野に関心を持つ投資家や事業会社、アクセラレータなどの前でビジネスアイデアの発表を行うことで、アイデアを持った個人と企業、投資家・事業会社等とのビジネス・マッチングの機会を提供。

https://s-booster.jp/
https://www8.cao.go.jp/space/s-net/s-booster/index.html

【事例】Tellus Satellite Challenge（経済産業省）

人材育成

経済産業省では、衛星データ利用の促進を図るとともに、衛星データを分析・活用できる人材を育成・発掘する観点から、衛星データ分析コンテスト「Tellus Satellite Challenge」を開催。

コンテスト開催概要

目的	衛星データ利用の促進を図るとともに、衛星データを分析・活用できる人材を育成・発掘する。
実施主体	経済産業省
開催時期	第1回： 2018年10月～12月 第2回： 2019年1月～2月
募集内容	各回において提示されるテーマに対し、提供された衛星データを用いて優れたアルゴリズムを開発し、検出精度の高さを競う。
賞	1位 賞金100万円 2位 賞金60万円 3位 賞金40万円 開発者を表彰するとともに、Tellusにて利用できる形で公開。

募集テーマ

第1回	● 衛星データ(SAR)を用いた土砂崩れ検知 （賞金総額：200万円） 平成28年の熊本地震前後における陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)搭載PALSAR-2による観測データを使用して、衛星画像データから土砂崩れの起こった領域を自動検出する。
第2回	● 高分解能光学衛星データを用いた水域における船舶検出 （賞金総額：200万円） ASNARO-1画像を用いて衛星画像データから船舶が静止しているかどうかの動きの判定や艀（本船と波止場の間を行き来して貨物等を運ぶ船舶）の識別を行う。

【事例】衛星設計に係る人材育成を目的としたコンテスト

人材育成

大学生等を対象に、衛星設計をはじめとする宇宙に関わる研究機会を提供するため、衛星の設計や打上のコンテストが開催されている。

衛星設計コンテスト（日本宇宙フォーラム）

目的	全国の大学院、大学、高等専門学校、専門学校、高等学校の学生・生徒を対象とし、宇宙に係わる基礎・応用研究を積極化する機会を提供し、併せて我が国の宇宙開発のすそ野の拡大に寄与する目的で開催。
実施主体	一般財団法人日本宇宙フォーラム等
開催時期	1993年～定期開催
募集内容	「設計の部」は、設計条件を満たし、応募者の設定したミッションを実現する衛星システムの設計を競う。 「アイデアの部」は、応募者の提案する宇宙ミッションの独創性・有用性を競う。 「ジュニアの部」は、自由な発想で宇宙に活用できそうなアイデアに富んだ宇宙ミッションを提案。
賞	－

ARLISS（UNISEC 大学宇宙工学コンソーシアム）

目的	大学生等の若年者に衛星設計の機会を与えることを主目的として開催。
実施主体	UNISEC 大学宇宙工学コンソーシアム
開催時期	1999年～定期開催
募集内容	ロケットから放出後あらかじめ設定された目標地点に向かって、CanSatを完全自律的に移動させ、その目標地点までの距離を競う
賞	－

【事例】人材育成を目的としたロケットコンテスト

人材育成

学生等にロケット打上の機会を提供し、宇宙開発に係る普及啓蒙や人材育成を図るため、国内外でロケット打上に関するコンテストが開催されている。

種子島ロケットコンテスト

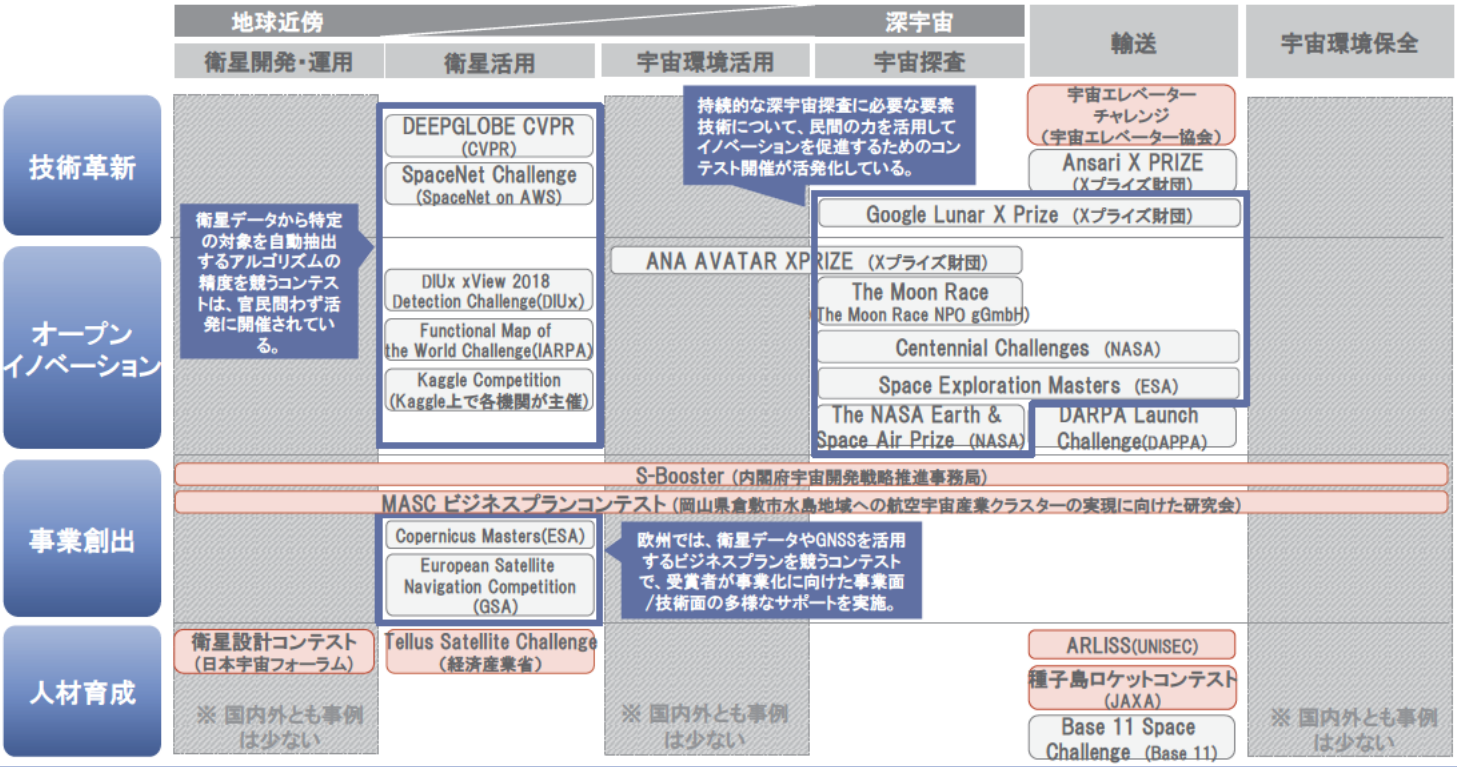
目的	手作りによるモデルロケットや衛星機能モデルを開発・製作し、打上げることで物作りの奥深さ、面白さを体現するとともに、宇宙開発の普及啓発や地域の活性化を目的とする。
実施主体	JAXA等
開催時期	2005年～毎年開催
募集内容	ロケット部門 ・滞空及び定点回収 ・ペイロード遊翼滞空 ・高度 ・フライバックタイムアタック ペイロード部門 ・CanSatによるCome-back競技
賞	―

Base 11 Space Challenge (Base 11)

目的	米国の科学、技術、工学、数学(STEM)の才能を育成し、女性とマイノリティの社会参加を促し、航空宇宙関連業界の人材を育成する
実施主体	Base11(非営利の教育推進団体)
開催時期	2018～2021年
募集内容	2021年12月30日までに液体推進式の1段ロケットを設計、製作し、高度100キロメートルに打ち上げる
賞	賞金総額115万ドル。 また参加チームは少なくとも1社の企業パートナーとのインタビューが保証されている。

ビジネス領域ごとのコンテスト開催状況

衛星データ活用の分野では、アルゴリズム高度化と事業創出の両面で多様なコンテストの事例がある。また、近年では持続的な深宇宙探査に必要な要素技術の革新を目的としたコンテストも多く開催されてきている。



国内の宇宙ビジネス推進にむけた提言

欧米では官民問わず、技術革新や自事業推進のスピードアップの手段としてのコンテスト開催が活発化しており、政府機関等でも積極的に活用している。国内においても官民協働のオープンイノベーションの手段としてコンテスト活用を推進していくことが望まれる。

	宇宙ビジネス関連コンテストの開催状況	国内の宇宙ビジネス推進にむけた提言
技術革新／オープンイノベーション	● 欧米では官民問わず、技術革新や自事業推進のスピードアップの手段としてのコンテスト開催が活発化。 ➢ 政府機関等においても、民間の力を広く利用してイノベーションを促進する手段としてコンテスト開催が多く見られる。	● まずは政府や地方自治体における課題解決の手段として、コンテスト形式のオープンイノベーション事例を創出することで、民間への波及も期待できる。 ➢ 自事業への採用を前提とするため、事業創出に結びつきやすい。 ➢ 衛星データを活用した地域課題解決や、宇宙環境活用及び宇宙環境保全の領域における要素技術の開発等への適用が考えられる。
事業創出	● 欧州では衛星活用領域のビジネスコンテストにおいて事業化に向けた事業面/技術面の多様なサポートを実施。 ● 宇宙環境利用に着目したビジネスコンテストは現状で目立った取組みがみられない。	● ビジネスコンテスト入賞者に対するコンテスト後も継続したサポート体制の確立により、事業化実現の更なる後押しを図れる。 ➢ コンテスト後のアクセラレータプログラム等。 ● 宇宙環境利用に着目したビジネスコンテストを開催。
人材育成	● 現在も国内に事例多数。	

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

地域に密着した
宇宙ビジネスの事例

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

地域に密着した宇宙ビジネスの事例

地域に密着した宇宙ビジネスには、地場企業等の技術を結集して産業集積を図るもの、宇宙利用により地域課題解決を図るもの、また地域振興や教育等への波及を狙うもの等がみられる。

	地球近傍			深宇宙	輸送	宇宙環境保全
	衛星開発・運用	衛星活用	宇宙環境活用	宇宙探査		
産業集積	県民衛星プロジェクト（福井県）	衛星データ解析技術研究会（山口県産業技術センター） 宇宙ビジネス創造拠点プロジェクト（茨城県）	宇宙映像利用による科学文化形成ユニット（三鷹市）		飯田航空宇宙プロジェクト（多摩川精機） 岡山県倉敷市水島地域への航空宇宙産業クラスターの実現に向けた研究会（倉敷市） 秋田宇宙開発研究所（秋田大学）	
地域課題解決		北海道衛星データ利用ビジネス創出協議会（北海道） 羽咋市方式人工衛星測定（米の食味測定）（石川県羽咋市）	ANA AVATAR VISIONへの実証フィールド提供（大分県）			
地域振興/教育等			VR空間上の宇宙ミュージアム建設プロジェクト（肝付町）	チームHAKUTOとの連携協力協定（鳥取県）	民間ロケット射場誘致（和歌山県）	

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

【事例】福井県民衛星プロジェクト（福井県）

産業集積

地方発の革新的なビジネスモデルの創出を目的にプロジェクトが発足。福井県内の企業等が主体となって、平成32年度に超小型人工衛星の打上げを目指している。

県民衛星プロジェクトの目的

目的

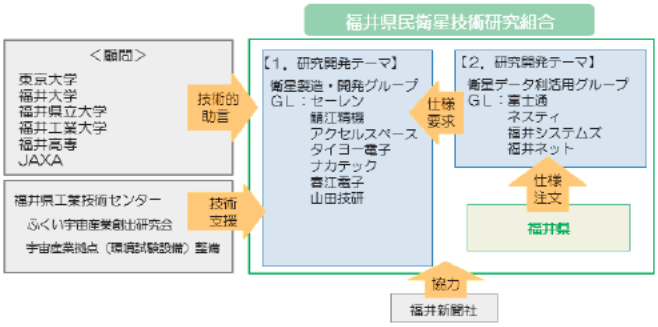
- 地方発の革新的なビジネスモデルの創出を目的に福井県内の企業等が主体となって、平成32年度に超小型人工衛星の打上げを目指すことを目的として県民衛星プロジェクトが発足

プロジェクトのゴール

- 製造業の発展
  - 本県が有する高度なモノづくり技術を活かし、超小型人工衛星の製造や部材の開発を行い、収益の増加、市場の拡大を目指す
- 衛星データの利活用
  - 搭載したカメラなどから得られるデータを活用するソフトウェアの開発によるシステム系企業の新たなビジネスの創出や、防災・農業・教育など幅広い分野での活用を通じた、県民生活の向上を目指す

県民衛星プロジェクト推進にあたる体制

- 県民衛星プロジェクトの推進組織として、平成28年8月に、県内企業が主体となった技術研究組合が設立された。製造系企業7社、システム系企業4社などで構成され、衛星の設計・製造、衛星データの利活用ソフトウェアの開発・提供を行っている。



出所http://www.pref.fukui.jp/doc/sinsan/fukusat/kenmineisei.htm、https://www.furusato-tax.jp/gcf/1531

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

【事例】衛星データ活用による新事業創出支援（山口県産業技術センター）

産業集積

JAXA機能の一部を山口県に移転し衛星データ解析技術研究会を設立。西日本の自治体・大学との連携を進め、衛星データを活用した研究開発を進展することで、新産業の創出やイノベーション人材の育成につなげている。

衛星データ利活用推進の取組内容・将来像

利活用にあたる体制整備

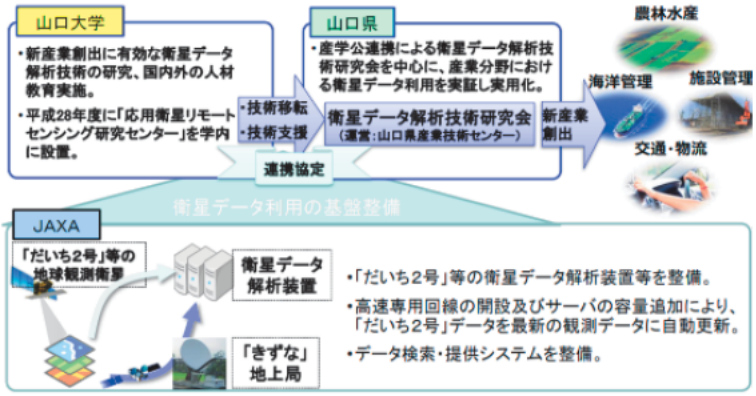
- JAXAの一部機能を山口県に移転
- 山口県、山口大学とJAXAの間で「衛星データ利用・研究の推進に係る連携協力に関する基本協定」を平成28年度中に締結し、JAXAは「西日本衛星防災利用研究センター」を設置
- 「衛星データ解析技術研究会」を設立

目指す将来像

- 衛星リモートセンシング技術の利用を推進する西日本の拠点として、防災分野における衛星データの利活用を進め、災害対応力の強化につなげるとともに、西日本の自治体・大学等との連携を進め、広域的な大規模災害にも対応できる体制を構築
- 山口大学や県内企業等と連携し、衛星リモートセンシング技術の利用・応用研究に取り組み、衛星データを活用した研究開発の進展により、新産業の創出やイノベーション人材の育成につなげる

衛星データ解析技術研究会における体制

- 衛星データ解析技術に関するセミナーを実施
- 関係機関による事業化支援
  - 会員企業とのマッチングと連携



出所:http://www.soumu.go.jp/main_content/000536503.pdf、http://fanfun.jaxa.jp/event/files/tm_20170901.pdf

【事例】宇宙ビジネス創造拠点プロジェクトの推進（茨城県）

産業集積

茨城県では、県から財政支援、内閣府・経産省事業を活用した人的支援、JAXAからの技術的支援を推進することで、宇宙ビジネスの創造拠点の増加を目指している

宇宙ビジネス創造拠点プロジェクトの内容

目的

- 宇宙ベンチャー創出や県内企業による宇宙ビジネスへの新規参入を支援し、宇宙ビジネス創造の一大拠点の形成を目指す

プロジェクト内容

- 機運醸成
  - 投資家とベンチャーのマッチング
  - 企業を対象とした衛星データ活用のセミナー開催
- 体制構築
  - コーディネーターを数人配置し、企業が持つ技術の発掘や国の研究機関の試験設備を案内
  - S-Matching(※)にて登録した投資家を茨城県に誘引
    - ※ビジネスアイデアや技術を有する潜在的創業者・ベンチャー企業等の人材ニーズと JAXA や大企業等（宇宙産業に限らず、他産業の大企業等を含む）の OB 人材・現役人材の専門性のマッチングのための専門人材プラットフォーム
- 財政支援（詳細は左記）

産学官の役割

行政	茨城県	・財政支援 ・JAXAや産総研の設備利用や展示会出展などの販路開拓、衛星データを活用したソフトウェア開発に補助金を出している
行政	内閣府・経産省	・いばらき宇宙ビジネス拠点事業としてH30 補正予算額7,570万円調達 ・「S-Matching」(経産省が検討中の宇宙ビジネス専門人材プラットフォーム)を活用
研究開発機関	JAXA	・研究開発の支援体制構築、JAXAの設備を利用 ・県産業イノベーションセンターへ小型衛星の開発に利用できる試験設備を導入
企業	ベンチャー企業	・上記支援制度を活用し、新ビジネスを構築

出所:http://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/kagaku/kokusai/documents/documents/20180827ibarakispace.pdf、https://www.nikkei.com/article/DGXMZO34650120X20C18A8L60000/

【事例】三鷹市・国立天文台「宇宙映像利用による科学文化形成ユニット」事業

産業集積

三鷹市は「立体映像と科学文化の街・三鷹」を目標に国立天文台が保有する宇宙映像を地域活性化に生かす仕組みづくりを行うことを目的とし、宇宙映像を活用する人材を育成している。

宇宙映像利用による科学文化形成ユニットの実施概要

国立天文台は、三鷹市と連携し、文科省科学技術振興調整費「地域再生人材創出拠点の形成」に採択され、「宇宙映像利用による科学文化形成ユニット」を実施している

実施背景

- 三鷹市は都市化の進んだ住宅都市であることから、都市型産業の立地によるまちの活性化として、SOHO(小規模オフィス)やコンテンツ産業の集積・支援を行ってきた
- 国立天文台は、地域の他教育研究13機関とともに「NPO法人三鷹ネットワーク推進機構」に参加している。平成18年には三鷹市と地域振興に関する包括的な協定を結んだ。

科学文化形成ユニットの実施内容

- 次世代映像コンテンツ産業を担う人材、科学資源を社会で利活用できる新たな起業者の育成、観光・教育・少子高齢化などの地域ニーズに貢献しうるコミュニティ・ビジネス人材を育成している

実施期間

- 2007～2011年

ユニットの推進体制・人材育成内容

- 国立天文台や三鷹市、連携機関にて、科学人材育成における到達レベルや判断手法の設定、育成プログラム全体の評価を行う
  - 科学映像クリエータにおいて、実習形式のOJT型講座を開催し、立体映像コンテンツを制作できる人材を育成する
    - 三鷹ネットワーク大学をハブとし、技術力のある企業や東京工科大学、武蔵野美術大学等と連携し、現場でのインターンシップも取り入れながら取り組む
  - 科学プロデューサにおいて、科学を基盤とし、地域ニーズに合った新規事業を立案できる力を育成する

ユニットの運営を実施

国立天文台が所有する宇宙映像(4D2U・・・国立天文台が所有する4次元デジタル宇宙映像)

出所: http://prc.nao.ac.jp/ashub/about.html、http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2016_109_07/109_473.pdf

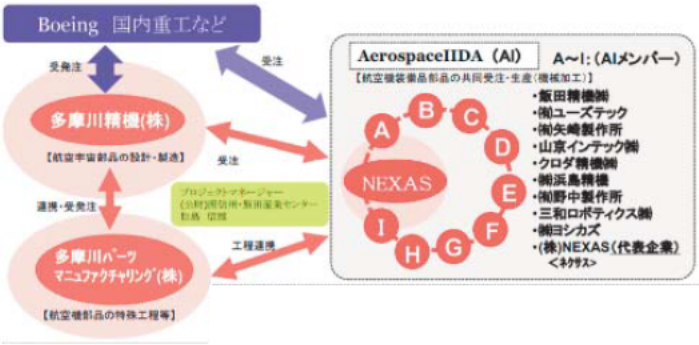
【事例】飯田航空宇宙プロジェクト立ち上げによる産業集積拡大(多摩川精機)

産業集積

飯田市で航空宇宙防衛の精密機器の生産、開発を行う多摩川精機は、「飯田航空宇宙プロジェクト」を立ち上げた。同地域の機械加工企業との共同受注や、信州大学と連携した高度技術者の育成により、地域の産業振興へ繋げている。

飯田航空宇宙プロジェクトの概要

- 2006年に地域の37社で飯田航空宇宙プロジェクトを結成
  - 多摩川精機が自動車部品で培った技術を武器に民間航空機分野に参入。多摩川精機が中心となり中小製造業が航空宇宙分野に乗り出す
- 500回を超えるワーキンググループ活動を通じ、「エアロスペース飯田」を結成
  - 「エアロスペース飯田」は多摩川精機の取引企業10社からなる航空機部品の共同受注体



出所: https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sousei/meeting/chiiki_shigoto/h28-02-07-siryou3-3.pdf

産学官の役割

企業	多摩川精機	・長野県飯田市出身者が創業 ・航空宇宙防衛の精密機器の生産、開発を行う ・飯田航空宇宙プロジェクトを立ち上げ
企業	飯田市の機械加工企業	・プロジェクトにて、市内及び近隣38社の機械加工企業は多摩川精機とともに共同受注、品質保証システム構築、難削、難加工に取組む
大学	信州大学	・信州大学と多摩川精機は共同研究講座を開設し、「知の拠点」を形成することで、産業振興へ繋げている
行政	経済産業省	・航空宇宙産業クラスター拠点工場の設置にあたり、H24, 25地域企業立地促進等共用施設整備費補助金(国)として約2.1億円の補助
行政	長野県/飯田市	・県補助金として5千万円、市補助金:3千万円

【事例】クラスタの形成（倉敷市）、コンソーシアム設立（秋田大学）

産業集積

倉敷市では三和企業が地場のコンビナート企業を巻き込み航空宇宙産業クラスタの実現を目指す取組を、ロケット実験場がある能代市では、秋田大学が中心となりコンソーシアムを設立、宇宙のまちづくりを掲げる取組を行っている。

航空宇宙産業クラスタの形成（倉敷市）

取組概要

- 倉敷市に本社がある三和興業は、コンビナート企業が有するものづくり技術を新産業へ活かすことを目的とし、倉敷市内の企業経営者を巻き込み「岡山県倉敷市水島地域への航空宇宙産業クラスターの実現に向けた研究会」(MASC)を発足
- 新産業の分野として、以下を想定している
  - 航空宇宙分野における部品受注
  - ドローン、人工衛星、ロケットの機体・用途・ビジネス開発
  - その他宇宙ビジネス探査等、幅広くテーマを設定している

三和興業株式会社の役割

- 三和興業は倉敷市に本社があり、航空宇宙産業の立ち上げを長年志向
- そこで、倉敷市長、商工会議所メンバ、倉敷市内の企業経営者を巻き込み研究会を発足
- 倉敷市の製造業を中心に会員を募っている

あきた宇宙コンソーシアムの設立（秋田大学）

大学：秋田大学

- 秋田大学、秋田県庁、能代市役所や関係団体を中心にあきた宇宙コンソーシアムを設立、「能代宇宙イベント」の運営を行う
  - 秋田大学の堤助教授がコンソーシアムの事務局を務める
  - 航空宇宙工学を学ぶ学生たちがロケット打上の技術を競う
- 実験場や秋田産業技術センターとの連携で小型観測ロケット技術の開発を進め、産業創出を狙う

行政：秋田県・能代市

- 「宇宙のまちづくり」を掲げており、秋田大学とともにあきた宇宙コンソーシアムの運営を行う

研究開発機関：JAXA

- 付属研究施設のひとつである、ロケット実験場を1962年より構えており、能代市子供館における展示物の協力を行っている

出所：https://aerospace-kurashiki.net/wp-content/uploads/12%E6%9C%886%E6%97%A5%E5%B1%B1%E9%99%BD%E6%96%B0%E8%81%9E%E8%A8%98%E4%BA%8B.pdf、https://www.weeklybcn.com/journal/news/detail/20180503_162228.html、出所：秋田県能代市――宇宙開発、街づくりの力、産学でロケット、地域に夢（2016年6月日本経済新聞）、http://www.noshiro-space-event.org/index.html

【事例】衛星データ利用ビジネス創出協議会（北海道）

地域課題解決

北海道では、衛星データ活用により人手不足を解消するために、衛星データを活用したビジネス創出を支援する協議会を発足。衛星データ活用にあたる情報提供から事業の具体化に向けた支援を行っている。

衛星データ利用ビジネス創出協議会の概要

目的

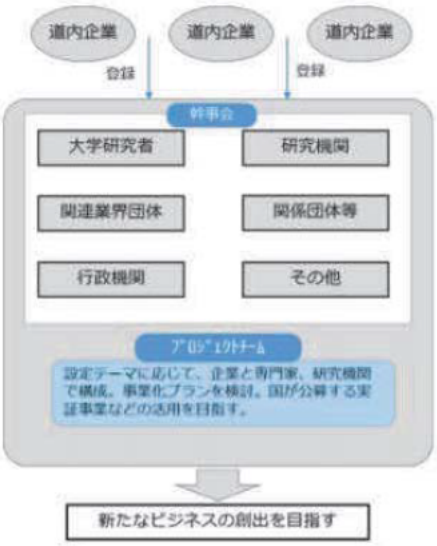
- 衛星データ活用により人手不足や働き手の高齢化の問題に対応することを目的とする
- 2018年4月に官民で構成する新組織「衛星データ利用ビジネス創出協議会」を立ち上げ、企業が事業の創出に向け専門家に相談したり助言を受けられたりする体制を構築
  - 2020年までの3年間で企業を集中的にサポートする想定

協議会における支援内容

- 全国の衛星データ活用の最新事例に関する情報提供
- データのビジネス利用に詳しい専門家が創業支援や助成制度についてアドバイス
- 事業の具体化において、企業が考案するテーマに見合った専門家や研究機関を含む支援チーム(2枠)を結成、企業の事業計画をサポートし事業の実現を後押しする
  - 金融機関との連携による有望な事業への迅速な融資も想定している

衛星データ利用ビジネス創出協議会の体制

衛星データを活用した新規ビジネスの立ち上げを狙う企業は、協議会に登録し、事業化に向けた支援を受ける



出所：http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/sks/sss/h31youbou/31_32.pdf、https://www.nikkei.com/article/DGKKZO28052610130320181L41000/

【事例】人工衛星を活用した食味測定（石川県羽咋市）

地域課題解決

羽咋市では平成18年、民間会社と連携して人工衛星の画像データを活用して、米の食味を測定するシステム「羽咋市方式人工衛星測定業務」を開発。山形県や京都府などのJAや自治体などに採用され、技術料は羽咋市の収入になるため、地域の活性化にも貢献。

羽咋市方式人工衛星測定業務の概要

概要

- 地元の民間企業と連携し衛星画像データ等を活用することにより、米の食味を測定するシステム「羽咋市方式人工衛星測定業務」を開発
- 一般的に美味しいと言われる低タンパク米を衛星画像から収穫時に仕分け、ブランド米として販売
- 衛星画像を使った圃場解析サービスも合わせて実施
  - 解析したデータは施肥量の調整など、次年度以降の栽培にも役立てている

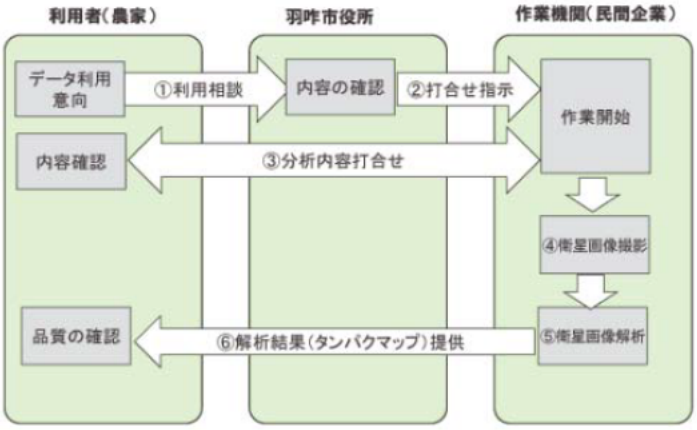
効果

- 食味の良い高品質の米が安定的に収穫可能に
- 地域振興施策と相まったブランド米生産者の収益向上
- 移住者の増加
- 限界集落の環境改善
- 他の地方自治体やJAへの同システム販売による収益向上

出所:http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h25_04_houkoku.pdf

羽咋市方式人工衛星測定業務の提供フロー

- 利用者(農家)が利用相談を行い、羽咋市役所が相談内容を確認、民間企業に指示
- 民間企業が人工衛星の衛星データ画像を解析
  - 米国の商用衛星に撮影を依頼、解析ソフトウェアは地元企業で開発
- タンパク質含有量を割り出し、地図情報へ展開、利用者に提供



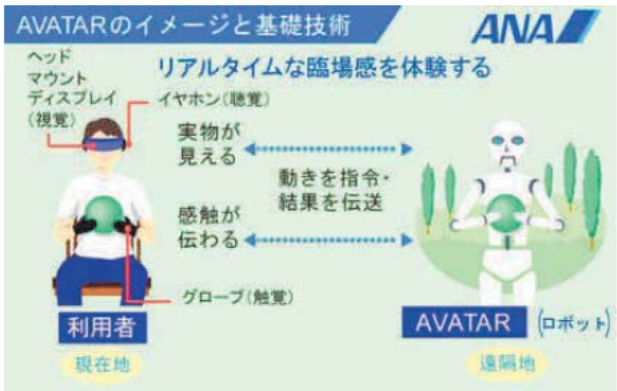
【事例】「AVATAR X Program」の実証フィールド提供（大分県）

地域課題解決

大分県では、アバター技術による観光PR、地域の課題解決や産業振興を目的とし「AVATAR X Program」の実証フィールドを提供している。

「AVATAR X Program」の概要

- ANAホールディングスと宇宙航空研究開発機構(JAXA)は9月5日、宇宙関連事業の立ち上げを目指すプログラム「AVATAR X Program」(アバターエックスプログラム／以下、AVATAR X)を開始
  - JAXAの「JAXA 宇宙イノベーションパートナーシップ(J-SPARC:JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation)」の一環となっている
- ロボットを遠隔操作する技術を活用し、宇宙空間での建設事業や宇宙ステーションの運用、宇宙空間におけるエンターテインメントなど関連事業の創出に取り組む



「AVATAR X Program」における大分県の取組

- 「ANA AVATAR VISION」に対して、実証フィールド(AVATAR X Lab@OITA)の提供で協力し、アバター技術による地域の課題解決や産業振興に挑戦する
- 通信や研究設備等の環境を整備し、Avatarを中心とする先端技術の実証実験を行う
- 実証実験の取組の一環として、マレーシアから大分県内の観光地内に設置したアバターを遠隔操作し、見学する観光PRを実施

出所:http://www.pref.oita.jp/site/oita-iot-lab/h30-iotlab-avatar2.html、http://www.pref.oita.jp/site/oita-iot-lab/20190110avatar.html

【事例】宇宙VR空間建設(鹿児島県)、ロケット発射場誘致(和歌山県)

地域振興/教育等

鹿児島県肝付町では民間企業が宇宙VR空間を建設する取組を、和歌山県では民間ロケット発射場誘致を行っており、いずれも地域振興を目的としている。

宇宙VR空間の建設(鹿児島県肝付町)

株式会社チェンジはガバメントクラウドファンディングの仕組みを活用し、VR空間上での宇宙ミュージアムを鹿児島県肝付町に建設する。建設効果として、観光客誘致や新しい公共事業の形の提案を想定している。

企業　株式会社チェンジ

- ガバメントクラウドファンディングの仕組みを活用し、日本初のバーチャルリアリティ(VR)空間上での宇宙ミュージアム建設に取り組む
- たとえば公営の美術館をバーチャルに移行することにより、新しい公共事業の形の提案となることを想定している

行政　鹿児島県肝付町

- 宇宙に関する教育教材をVR空間で提供することにより、宇宙をテーマとした学習を促進
- ロケット発射場や見学施設と連動したVRコンテンツ提供により、観光客誘致を行う

民間ロケット射場誘致(和歌山県)

概要

- 和歌山県串本町では日本初の民間ロケット発射場誘致のため「民間ロケット射場誘致推進室」を開設。観光など地域の雇用への経済効果を狙う
  - キヤノン電子株式会社、株式会社IHIエアロスペース、清水建設株式会社および株式会社日本政策投資銀行が出資して立ち上げたスペースワン株式会社が小型ロケット発射を行う

想定効果

- 観光客の誘致も含めた経済効果として、県の独自試算では、建設投資による経済波及効果が28億円、射場運営による経済波及効果が年51億円、観光消費による経済波及効果が年13億円と見込んでおり、計670億円程度(10年間)の経済波及効果があると想定している

出所: http://www.change-jp.com/news/detail/?seq=63、https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/200100/www/html/gijiroku/1809/3009_05_01.html

【事例】チームHAKUTOとの連携協力協定(鳥取県)

地域振興/教育等

鳥取県と日本初の民間月面探査チーム「HAKUTO」は、チームHAKUTOが鳥取砂丘で行うフィールド走行試験の実施等について、相互に連携・協力していくことに合意。連携協定には鳥取県の産業人材の育成および地域の未来を担う子どもたちの教育への協力が含まれる。

チーム「HAKUTO」との連携協力協定の内容

協定締結の内容

- HAKUTOが鳥取砂丘で行うフィールド走行試験への協力
- 鳥取県の産業人材の育成および地域の未来を担う子どもたちの教育への協力

フィールド走行試験の概要

- 2018年3月頃、鳥取砂丘において、開発を進めるローバーの走行試験を実施
- 鳥取砂丘の砂地を走行することで、ローバーの走行性能・通信性能・カメラ性能などの技術検証と、ローバーから送信される映像や画像だけでローバーを遠隔操作するための操縦検証を実施

役割

企業　ispace

- 日本の宇宙ベンチャーであり、月面探査コンペである「Google Lunar XPRIZE」に参加するチーム「HAKUTO」を運営
- 27日鳥取県の鳥取砂丘で探査ロボ「ローバー」の実証実験を2016年9月に開始

行政　鳥取県

- 鳥取県内全域で投光器やサーチライトの上空への照射を禁止し、美しい星空を後世に引き継ぐことを目的とした星空保全条例を2018年4月に施行。
- 観光客誘致を目的とし鳥取県の星空をアピールする「星取県」の特別企画として、「試験見学&月面観測会」を実施
- 「HAKUTO」の強力を得てローバーで月面を探査する体験コーナーを設立

出所:星取県と宇宙産業への挑戦(2018年1月1日日本海新聞)

国内の宇宙ビジネス推進にむけた提言

地域における宇宙ビジネスの取組みの多くは、地域の特性をうまく活かした産業振興施策となっている。今後、地域における宇宙ビジネス活性化を推進していくためには、こうしたユースケースを共有し、地域特性を踏まえた施策立案を後押しすることが望まれる。

地域における宇宙ビジネスへの取組み

産業集積
- 地場のものづくり産業、研究機関等、既存の強みを活かした産業集積を推進している。

地域課題解決
- 農業等の地域に根付いたニーズに着目し、衛星データ活用等によるソリューション開発に活かす取組みがみられる。

地域振興/教育等
- ロケット打上げや深宇宙探査等、話題性の高い事業と連携して地域振興に結びつけようとする取組みがみられる。

国内の宇宙ビジネス推進にむけた提言

地域特性を踏まえた宇宙ビジネス推進の事例増加に向け、ユースケースの共有等が望まれる。

ものづくり等 × 宇宙

農業、医療・・・等 × 宇宙

観光、教育・・・等 × 宇宙

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

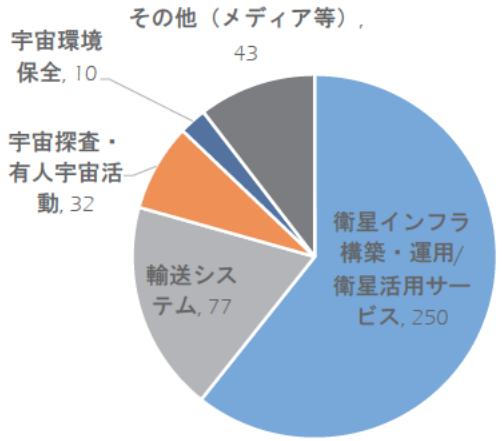
国内外のスタートアップ企業動向

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.

セグメント別のスタートアップ企業数

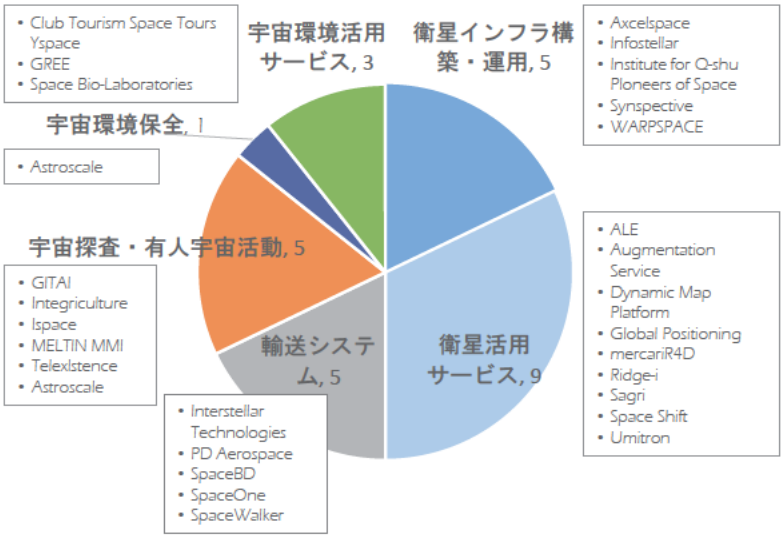
Space Angels(1,480の宇宙スタートアップ企業について追跡調査を実施中)によれば、グローバルにおいて直近10年間に資金調達をした企業は400社以上あり、このうち衛星関連と輸送システム関連で約8割を占める。一方、国内では企業数こそ未だ少ないものの幅広いセグメントでスタートアップ企業が生まれている。

セグメント別のスタートアップ企業数(グローバル)
(※ 2009～2018年の間に資金調達した企業、n=412)



出所： Space Angels「Space Investment Quarterly Q4 2018」をもとに作成

セグメント別のスタートアップ企業数(国内)＊
(※ 2000年以降に創業したスタートアップ企業、n=28)

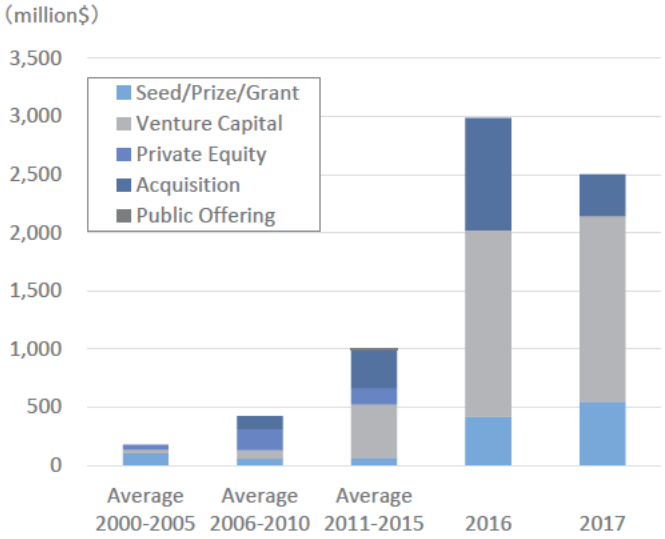


＊第4回宙を拓くタスクフォース資料4-2(佐藤構成員発表資料)に掲載されている28企業について本TFにて用いられている6分類にしたがって分類した(複数分野にて事業展開している企業については、最も主要と思われる事業に振り分けた)

資金調達額の推移

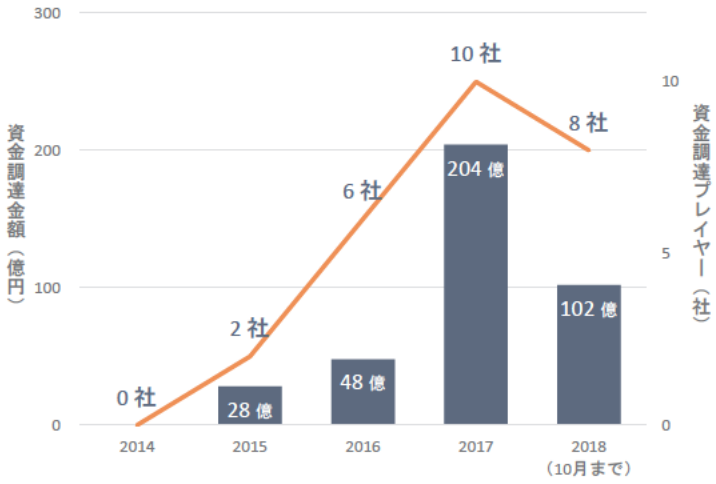
国内外ともに資金調達額は2015年頃から増加傾向。グローバルではVCからの調達額が急激に増加している。

調達額の推移(グローバル)
(※ 融資・借り入れを除く)



出所： BRICE 「Start-up Space (2016－2018)」をもとに作成

調達額の推移(国内)
(※ 融資・借り入れを除く)

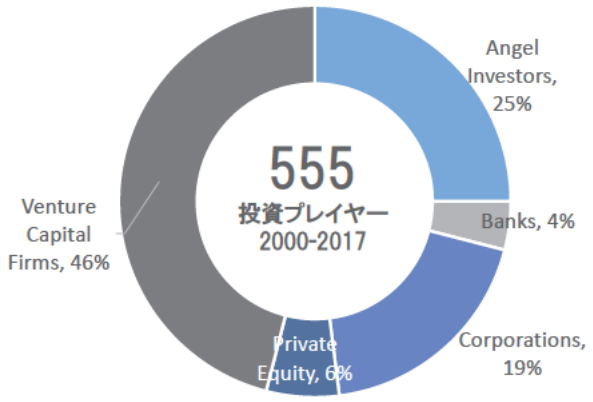


出所： 第4回宙を拓くタスクフォース資料4-2(佐藤構成員発表資料)をもとに作成

投資プレイヤーの構成比

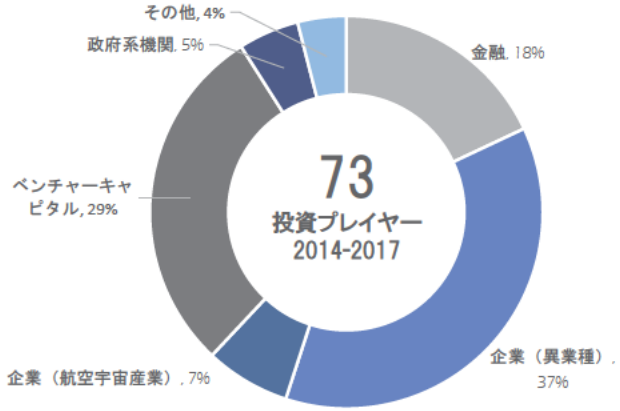
投資プレイヤー数は、グローバルではVCが半数近くを占める一方で、国内は異業種企業が多いのが特徴。グローバルにおける企業の内訳は不明だが、近年の主たる事例を見ると航空宇宙関連企業や通信系企業が多いように見受けられる。

投資プレイヤーの構成比（グローバル）



出所： BRICE 「Start-up Space (2018)」

投資プレイヤーの構成比（国内）

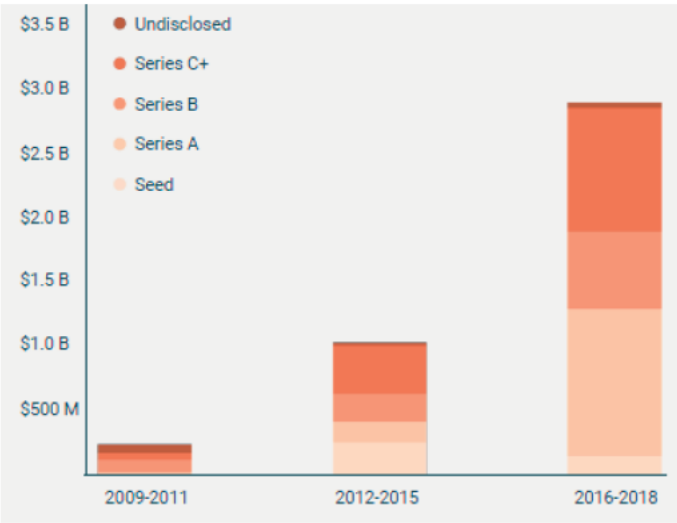


出所： 第4回宙を拓くタスクフォース資料4-2(佐藤構成員発表資料)

ステージ別の投資動向（グローバル）

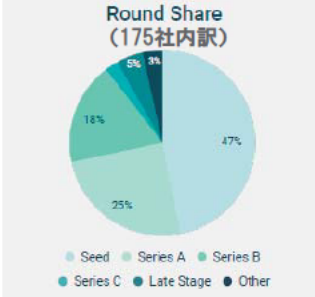
グローバルではシリーズC以降においても投資額が増加傾向にあり、着実に成長し事業成功しているスタートアップ企業が出現していることがわかる。2018年における年間投資数はアーリーステージ（シード及びシリーズA）が約7割を占めるが、投資額はレイトステージが最も多い。

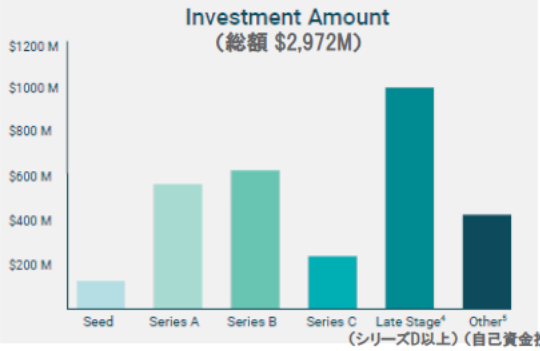
ステージ別のベンチャーキャピタルによる投資額の推移（グローバル）



（参考：一般的な投資ステージの定義）
- シード　：起業前または会社設立直後で、商品・サービスのリリースに向けた準備段階。
- シリーズA: 事業を開始し、顧客が増え始める成長段階。
- シリーズB: 経営が軌道に乗って安定化し、収益が伸びていく段階。
- シリーズC: 黒字経営が安定化し、IPO(EXIT)やM&Aを意識する段階。
- シリーズD～: プロジェクトの規模によっては増資が繰り返され、シリーズD、Eと進むケースもある。

2018年におけるステージ別の投資件数及び投資額（グローバル）





出所： Space Angels「Space Investment Quarterly Q4 2018」

ステージ別の投資動向（グローバル）

グローバルの衛星関連事業や輸送システムの分野では、SpaceX等のユニコーン企業も出現し、EXITの例も増加しており、スタートアップ企業が市場における存在感を発揮するまで至っていることが窺える。

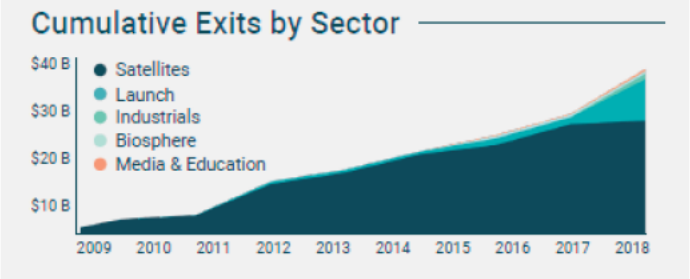
ユニコーン企業の出現

- SpaceXは、評価額215億ドルに到達し、文句なしのユニコーン企業と呼べる状態である
- 他にもOneWeb、Planet、Rocket Labなどがユニコーン企業と報告されている

EXITの増加

（近年におけるEXIT事例）

- Northrop GrummanによるOrbital ATK（ロケット）の買収（$7,800M）
- PlanetによるTerraBella（衛星）の買収（概算300M以上）
- AAC MicrotecによるClyde Space（衛星）の買収（$35M）
- Eagle ViewによるOmniEarth（衛星画像解析）の買収（$5M）

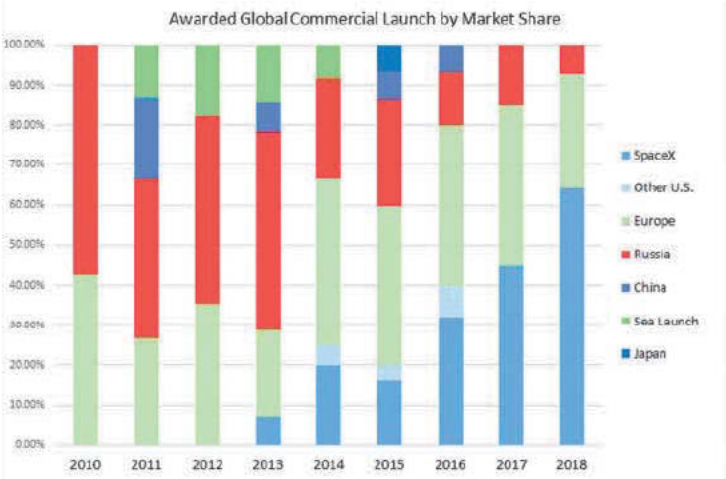


出所： Space Angels「Space Investment Quarterly Q4 2018」

宇宙ユニコーン企業のインパクト（例）

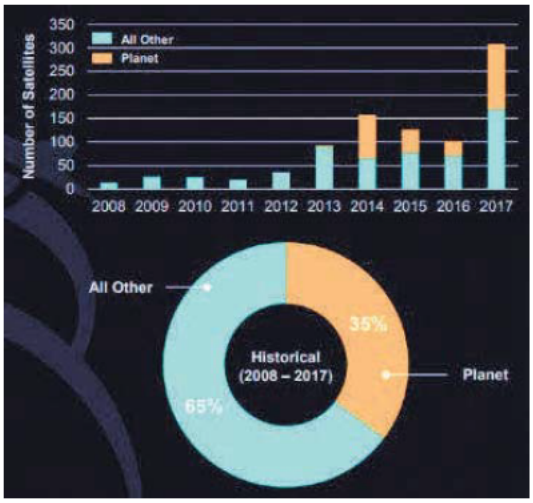
スペースXは既存企業からシェアを奪い、民間ロケット打上市場の6割のシェアを占めるまでに成長している。またPlanetは2010年の創業以来300以上の超小型衛星を打ち上げており、当該市場において非常に大きなインパクトを与えるまでになっている。

SpaceXのロケット打上市場におけるシェア推移



https://www.hq.nasa.gov/legislative/hearings/7-13-17%20HUGHES.pdf

Planetによる超小型衛星市場へのインパクト



出所：Space Works「NANO/MICROSATELLITE FORECAST, 8TH EDITION (2018)」

NTT DATA

Trusted Global Innovator

© 2019 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.