

宇宙^{バイ}×ICTに関する懇談会
報告書（案）

～ 宇宙×ICT総合推進戦略 ～

平成29年6月

宇宙^{バイ}×ICTに関する懇談会

目次

はじめに	i
第1章 宇宙新ビジネス時代の到来	1
1-1 国内外における宇宙市場	1
1-2 宇宙分野における新たなビジネスの動向	3
1-3 宇宙産業拡大に向けた政府の取組	6
第2章 世界規模で展開する宇宙分野のICT利活用競争	9
2-1 宇宙データ利活用に関する国際動向	9
2-2 衛星通信に関する国際動向	13
2-3 月・惑星資源探査に関する国際動向	17
2-4 宇宙環境情報提供に関する国際動向	19
第3章 新たな価値を創造する宇宙×ICTの重点4分野	24
3-1 宇宙×ICTの重点4分野のビジネス	24
3-2 宇宙データ利活用ビジネス分野	25
3-3 ブロードバンド衛星通信ビジネス分野	33
3-4 ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス分野	36
3-5 宇宙環境情報ビジネス分野	38
3-6 宇宙×ICTを支える基盤技術	40
第4章 宇宙×ICTがもたらす私たちの近未来社会	52
4-1 宇宙×ICTの社会的効果	53
4-2 宇宙×ICTの経済的効果	61
第5章 宇宙×ICT総合推進戦略	67
5-1 5つの基本原則	67
5-2 宇宙データ利活用ビジネス推進戦略	68
5-3 ブロードバンド衛星通信ビジネス推進戦略	71
5-4 ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス推進戦略	71
5-5 宇宙環境情報ビジネス推進戦略	72
5-6 基盤技術研究開発推進戦略	74
第6章 宇宙×ICTの着実な推進に向けて	76
おわりに	77
参考資料1 「宇宙×ICTに関する懇談会」開催要綱	78
参考資料2 「宇宙×ICTに関する懇談会」構成員名簿	81

はじめに

我が国の宇宙利用は、CS・BSを用いた衛星通信・放送分野や、気象観測をはじめとした地球観測分野や衛星測位分野などで発展しており、その恩恵は日常生活の隅々まで行き渡っている。また、宇宙利用により、他の方法では代替不可能な情報が我々にもたらされていることは、本年の準天頂衛星「みちびき2号」の打上げと相まって、より多くの人々が認めるところである。

近年、ICT（情報通信技術）の発達及びその利用の拡大・浸透により、情報が世界規模でネットワーク化され、イノベーションの発生頻度やインパクトが増加している。例を挙げれば、全世界の膨大なデータベースにおける情報の収集・提供、航空機等交通機関のチケットの予約・購入、業務上の連絡や発注・納入、遠隔地の状況の監視・制御など、ネットワーク化とそれによるイノベーション以前の時代からは考えられない程、ICTは人々が生活をする上で欠かすことのできないものとなっている。かつては、宇宙とともにフロンティアであったICTは、地球上で急速に進化を遂げ、ついには宇宙というフィールドにおいても、ビッグデータやAI（人工知能）、IoT（モノのインターネット）や低消費電力通信技術等と協調することにより、新たなサイエンスやビジネスの創造主となりつつある。

これまでの宇宙開発は、政府主導により着実にその領域が拡大・深化されてきた。今世紀に入り、多数のベンチャー企業や非宇宙系企業がビジネスとして宇宙分野に参入することにより、多数の小型衛星による協調システム（コンステレーション）や惑星への探査・移住といったダイナミックかつ近未来的なプロジェクトが次々に形成されつつある。

また、宇宙関連二法^{*}が第192回臨時国会（平成28年）において成立したほか、政府においては、産業界の力が宇宙ビジネスに本格参入するための環境整備に取り組み始めている。宇宙開発戦略本部／宇宙政策委員会が2017年5月に公表した「宇宙産業ビジョン2030」においては、宇宙産業が第4次産業革命を進展させる駆動力として期待されており、宇宙技術とビッグデータ・AI・IoTとを結節するイノベーションを起こすことなどにより、宇宙産業の市場規模1.2兆円を、2030年代早期に倍増する構想が提示されている。

※「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」（衛星リモートセンシング法）

このような状況下で、実際に、宇宙利用に先駆的なイノベーションをもたらし、宇宙産業を活性化するためには、ICT分野の先端技術・基盤技術を積極的に活用した革新的アプローチが必要となっている。そのため、ICTを活用した宇宙利用のイノベーション、すなわち“宇宙×ICT”の具現化が期待されているところである。

本懇談会は、我が国における戦略的な宇宙利用のイノベーション創出をめざし、宇宙×ICTがもたらす新たな社会像やその実現方策等について、長期的な観点から検討を行うことを目的に議論を重ねてきた。

本報告書は、本懇談会における調査・検討結果の報告から始まり、ビジネスの重点分野とそれを支える基盤技術を特定するとともに、逆のアプローチとして大胆に近未来の社会を描写した上で、そこから導き出された社会的・経済的効果を現実のものとし、現在と近未来との間のギャップを埋めるための指針を「宇宙×ICT総合推進戦略」としてとりまとめたものである。

第1章 宇宙新ビジネス時代の到来

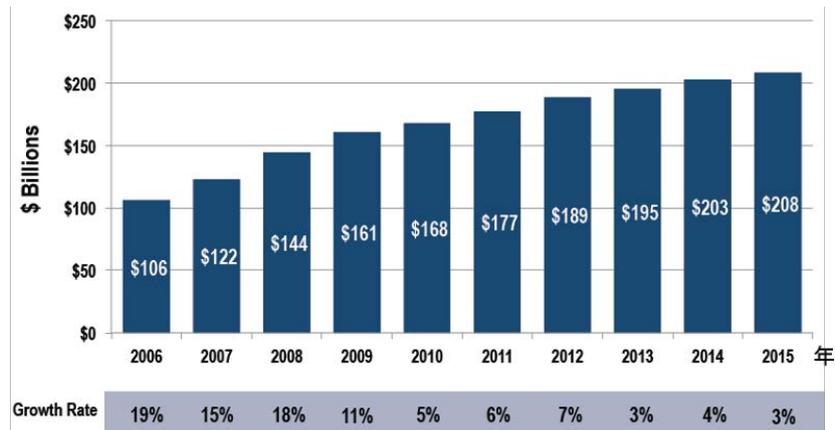
～宇宙×ICTに関する懇談会開催の背景～

1-1 国内外における宇宙市場

1984年5月12日（日本時間）、世界初の直接受信衛星放送が我が国で開始された。それ以来、日本を含め世界各国で数多くの衛星が打ち上げられ、宇宙がビジネスの場として大いに活用されるに至っている。

1-1-1 世界の宇宙関連市場

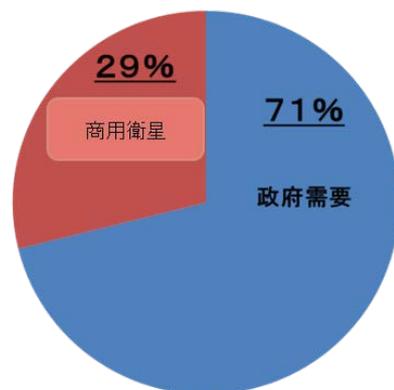
米国衛星産業協会（SIA：Satellite Industry Association）が公表している2016 State of the Satellite Industry Reportによると、世界の2015年における宇宙産業の市場規模は2,083億ドル（約23兆円：1ドル110円換算。以下同じ。）、10年で2倍以上に拡大しており、宇宙産業は成長産業と言える（図1-1）。



出典：“2016 State of the Satellite Industry Report”, June 2016, SIA/The Tauri Group

図1-1 世界の宇宙産業の市場規模の推移

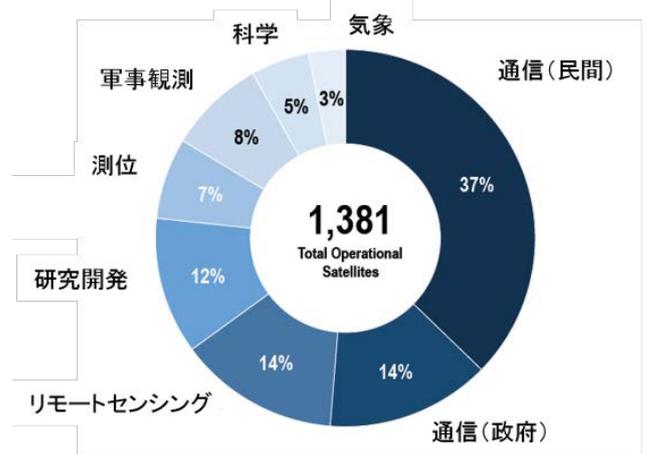
世界の宇宙産業のうち宇宙機器産業は、政府需要が全体の約7割、民間需要が約3割となっており、政府への依存度が高い市場と言える（図1-2）。



出典：内閣府宇宙開発戦略推進事務局
「宇宙産業振興小委員会」資料
(平成28年6月21日)

図1-2 世界の宇宙機器産業の顧客（2003～12年の累計）

人工衛星の機数で見ると、世界で1,300機以上運用されているとされる人工衛星のうち、半数以上が通信・放送衛星（民間衛星及び政府衛星の合計）である。次いでリモートセンシング衛星や研究開発衛星が高い割合を占めている（図1-3）。

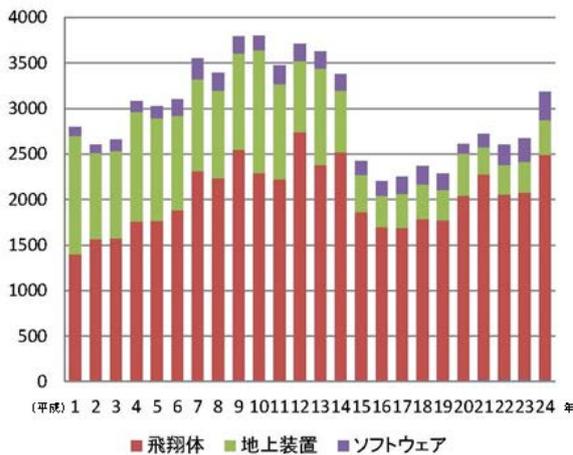


出典：“2016 State of the Satellite Industry Report”, June 2016, SIA/The Tauri Group

図1-3 運用中の人工衛星の機能別割合（2015年）

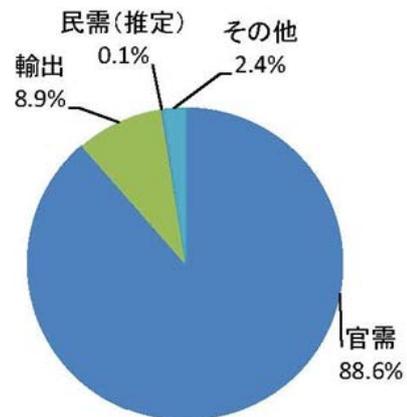
1-1-2 我が国の宇宙関連市場

我が国の宇宙機器産業の規模は、近年拡大傾向で推移しており、現在3,000億円を超える規模に達している（図1-4）ものの、米欧の事業規模と比較するとまだ小さい。また、その内訳は、国内の官需が9割を占めている状況であり（図1-5）、我が国の宇宙産業は、世界と比較してより官需に依存している。また、海外への輸出が1割に満たないばかりか、民需による売上げはごくわずかであり、国内における需要を満足しているとは言えない。このように、現段階において我が国の宇宙産業は、国際競争力を有しているとは言えない。



出典：内閣府宇宙開発戦略推進事務局「宇宙産業・科学技術基盤部会」資料（平成27年5月22日）

図1-4 我が国の宇宙機器産業の売上げ規模の推移



出典：内閣府宇宙開発戦略推進事務局「宇宙産業・科学技術基盤部会」資料（平成27年5月22日）

図1-5 我が国の宇宙産業の売上げの構造

一方、ビッグデータ・AI・IoT等が、近年、急速な進化を遂げていることから、これらの先進的なICTを宇宙分野に適用・融合することにより、新たなビジネスやイノベーションがもたらされる可能性を有していると言える。そのため、宇宙分野における民間主導の領域を拡大し、“宇宙ビジネス”を我が国産業の牽引役として成長させていくために、いかにICTを活用した宇宙利用イノベーションである“宇宙×ICT”を具現化するかが、我が国政府及び産業界に期待されている。

1-2 宇宙分野における新たなビジネスの動向

1-2-1 世界の宇宙関連市場の潮流

従来、宇宙系大企業が政府系を中心とする大規模な宇宙開発プロジェクトの受注を背景として、大型ロケットや衛星等を開発することによりビジネスを展開し、世界の宇宙産業を牽引してきた。ところが、今世紀に入り、米国を中心とした世界各国において数多くのベンチャー企業や非宇宙系企業が、宇宙関連事業に新規参入している(表1-1)。

表1-1 世界の主な宇宙関連ベンチャー企業

サービス	企業名	創業年	国	売上等	サービス	企業名	創業年	国	売上等
通信	SpaceX	2002	米国	-	惑星探査 (火星・月面・ 小惑星資源)	Shackleton Energy	2008	米国	-
	LuxSpace	2004	ルクセンブルク	-		Astrobotic Technologies	2008	米国	-
	Aprize Satellite	2004	米国	-		Moon Express	2010	米国	-
	Innovative Data Services	2006	米国	-		Golden Spikes	2010	米国	-
	Gom Space	2007	デンマーク	-		Planetary Resources	2010	米国	-
	03b Networks	2007	オランダ	-		Mars One	2011	オランダ	-
	exactEarth	2009	カナダ	約10M カナダドル以上		Deep Space Industries	2013	米国	-
	Kymeta	2012	米国	-		Inspiration Mars	2013	米国	-
	OneWeb	2012	英国	-		Geo Optics	2005	米国	-
	Skybox Imaging	2009	米国	-		Geo Met Watch	2008	米国	-
リモセン	Planet Labs	2010	米国	-	PlanetiQ	2012	米国	-	
	Dauria Aerospace	2011	ロシア	-	ISS利用	Nano Racks	2009	米国	約3M\$
	Spire	2012	米国	-		Urthe Cast	2011	カナダ	-
	Omni Earth	2014	米国	-		Zero Gravities Solutions	2013	米国	-
打上げ サービス	Blue Origin	2000	米国	-	宇宙服	Orbital Outfitter	2006	米国	-
	Garvey Spacecraft	2001	米国	-		Final Frontier Design	2010	米国	-
	SpaceX (再掲)	2002	米国	約800M\$	打上げ仲介	Earth 2 Orbit	2008	インド	-
	Masten Space Systems	2004	米国	約3M\$		Nova Nano	2009	フランス	-
	Rocket Lab	2007	NZ/米	-		Space Flight	2010	米国	約0.2M\$
	Stratolaunch Systems	2011	米国	-		ECM Space Technologies	2010	ドイツ	-
	Generation Orbit	2011	米国	約2M\$					
	Swiss Space Systems	2012	スイス/米	-					
	Firefly Space Systems	2014	米国	-					
	宇宙旅行 (軌道輸送・ サブオービ タル等)	XCOR Aerospace	2000	米国	-				
Virgin Galactic		2004	米国	約150M\$以上					
Booster Space Industries		2006	ベルギー	-					
	SHIPinSPACE	2013	英国	-					

出典：内閣府『宇宙ベンチャー企業による宇宙利用拡大に関する動向調査報告書』(2015年3月)のデータを元に事務局が編集。売上げについては、2013年、2014年のいずれかのもの。数字はウェブサイト等公開情報による。

ベンチャー企業が台頭する以前の宇宙分野の技術開発は、宇宙に特化した高信頼性かつ高コストな技術の開発が指向されてきた。ところが、ICTの進展により、他業界で利用されている低コストでコモディティ化された技術が宇宙分野に転用され始め、その結果、ベンチャー企業の参入が促進されたものと考えられる。

また、世界の宇宙系ベンチャー企業による投資額は、2015年に年間8億ドル(約880億円)を超え、近年、急激な増加傾向にある。また、宇宙ベンチャー企業の参入領域については、従来型の打上げ・輸送サービスや衛星事業に加え、居住・建設、有人飛

行、宇宙資源など、多岐に亘るようになった（図1-6）。

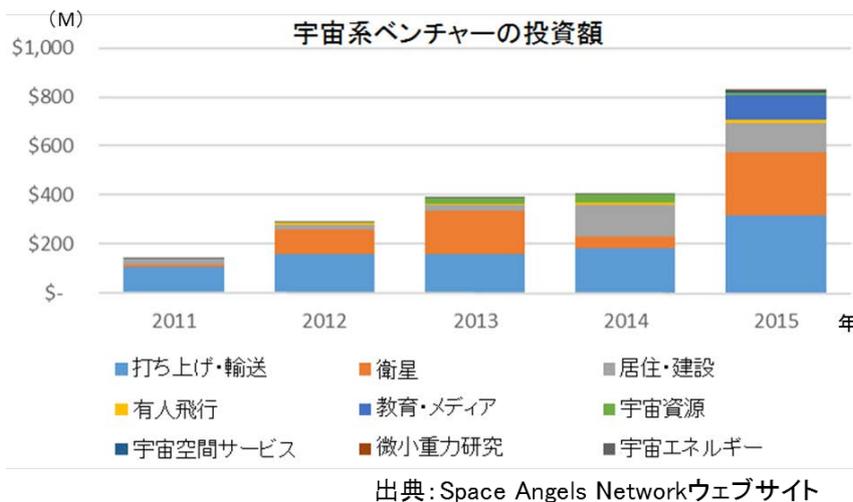


図1-6 世界における宇宙系ベンチャー企業の投資額

1-2-2 世界の衛星通信サービスの変化

近年の衛星通信サービスの発展の方向性として、一つは、静止軌道の通信衛星のスループットを大幅に向上させた高速大容量のHTS (High Throughput Satellite; ハイスループット衛星)が増加しつつある。もう一つは、中・低軌道における小型衛星による協調システムであるコンステレーションにより、新たな周回型衛星ブロードバンド通信事業のサービス開始・計画の動きが活発になっている。

従来型の通信衛星やリモートセンシング衛星は、1機当たりの製造コストが数百億円にのぼるハイスpekクな大型衛星が主流である一方で、新たなコンステレーション通信衛星網の特徴は、①衛星がコモディティ化されたICTの転用などで製造されること、②1機当たりの製造コストを数千万円～数億円に抑えた小型・超小型衛星を利用すること、③衛星を多数配備することにより全球対応の通信網を構築することである。次

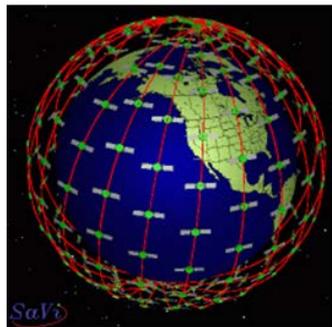
に説明する ^{オー・スリー・ビー} 03b Networks社やOneWeb社が代表例として挙げられる（図1-7）。

03b社は、地上の光ファイバ網が敷設されていない30億人を含め、全世界に通信環境を整備することを目的として2007年に設立された衛星通信事業者である。2013～14年にかけて、高度約8,062kmの軌道に、Kaバンド通信衛星である03b衛星を12機打上げに。その直後の2014年末に本格的なサービス提供を開始し、初年度中に31か国の40の顧客を獲得している。2015年12月には、第二世代の衛星8機の製造をThales Alenia Space社に発注しており、2018年半ばに20機体制のコンステレーションを構築する計画となっている。

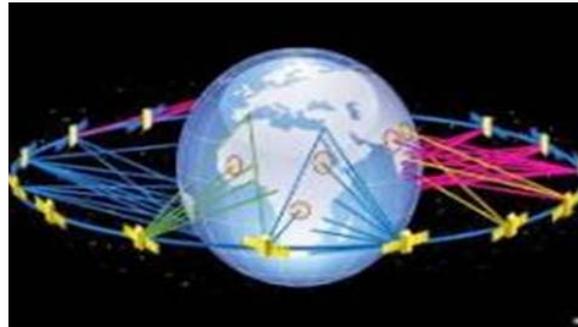
OneWeb社は、高度1,200kmの低軌道に、648機のKuバンド超小型通信衛星（重量150kg以下）を配備し、全地球をカバーする計画を有する。既に、衛星の設計から打上げまでの計画を固めていることに加え、サービス提供に必要な周波数帯の権利も有しているとされている。なお、衛星製造をOneWeb社から受注しているAirbus Defence and

Space社が、2016年1月、OneWeb社と共同で設計・製造を行うジョイントベンチャーを立ち上げている。

このような、コンステレーションの実現には、多数の衛星を打ち上げる必要がある。しかし、衛星1機当たりの開発・打上げコストの低廉化が可能のため、数十機～数百機レベルの衛星を打ち上げるにも拘わらず、コスト面におけるハードルを下げる事ができるため、現実的なシステムとして注目が集まっている。



低軌道・周回衛星



中軌道・赤道周回

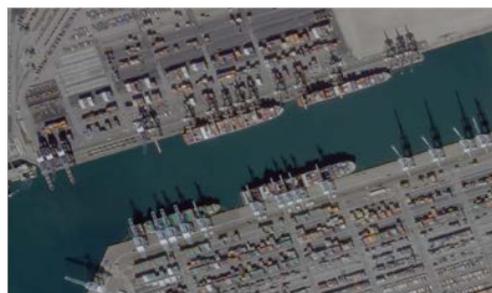
出典: OneWeb及びO3bの公開資料

図1-7 通信衛星のコンステレーションのイメージ

1-2-3 世界の衛星リモートセンシング衛星サービスの高度化

リモートセンシング衛星においても、小型・超小型衛星で構成するコンステレーション衛星網を活用したサービスの展開が急速に進みつつある。

リモートセンシング衛星サービスにおいて、低軌道に複数の衛星を配備するコンステレーション衛星網を利用する利点は、高緯度地域を含む全地球を対象としながら、時間分解能の向上に加え、高頻度での撮影や動画の撮影が可能となることが挙げられる。シリコンバレー発のベンチャー企業のSky Box Imaging社は、低軌道（高度500km前後）に多数の周回衛星を配備し、高頻度で地表の状況を把握するための画像を撮影提供するサービスを目指して、2009年に設立された。なお、Sky Box Imaging社は、2014年にGoogle傘下となり、社名をTerra Bellaと変更した後、2017年2月、Planet社がTerra Bella社を買収している。Planet社は、100機以上の超小型衛星を使用したコンステレーション衛星網を構成することにより、全地球を常時撮影するサービスの展開を目指している。このほか、Surrey Satellite Tec Limited (SSTL) 社などにより同様のビジネスの展開が進みつつある。



出典:Terra Bellaの公開資料

図 1-8 リモートセンシング衛星のコンステレーションによるサービス例

1-2-4 我が国の宇宙関連市場の新たな動き

我が国においても、ベンチャー企業や非宇宙系企業が、ロケット製造事業やリモートセンシング衛星事業などの宇宙産業市場に参入する動きが加速しつつある。また、宇宙資源探査分野においても、我が国のベンチャー企業が中心となり国際宇宙開発レースのGoogle Lunar XPRIZEへの参加チームを構成し、通信事業者や自動車メーカーも技術供与や共同開発でチームに参加している。

表 1-2 我が国における宇宙産業におけるベンチャー企業・非宇宙企業の動向

ロケット		リモートセンシング衛星			月面探査
インターステラテクノロジズ(株)	(株)カムイスペースワークス	(株)アクセルスペース	キャノン電子(株)	(株)ウェザーニューズ	(株)ispace
2013年、元ライブドア社長・堀江貴文氏が出資。北海道大樹町で6回打ち上げ実験。同年11月には、国内初の民間開発ロケット(江崎グリコのポッキーロケット)の打ち上げに成功。	2006年、北海道大学や植松電機(北海道の宇宙部品メーカー)等の北海道民間企業により設立。カムイロケット(400kg級)の打ち上げに成功。	東大発の衛星ベンチャー。2008年設立。三井物産やJSAT等が出資。本年8月、超小型衛星の宇宙実証を行うため、JAXAとの革新的衛星技術実証プログラムに関する契約を締結。	2012年に衛星ビジネス参入。100kg以下、1m分解能の超小型衛星の2016年以降の打上げを目指す。光学系は商用製品(EOSSD・PowerShot)を転用。	2013年11月にドニエプルロケット(ロシア)で、アクセルスペース等が開発した小型人工衛星の打上げに成功。北極海航路の運行支援や流水情報などを海運会社に提供するほか、マラッカ海峡・中東沖における海賊被害防止対策に貢献。	2010年、月面探査を目標として設立。Googleによる国際宇宙開発レース「Google Lunar XPRIZE」に我が国で唯一応募し、2015年1月、中間賞(50万ドル)を獲得。東北大学等の研究機関とともに月面開発を目的とした「HAKUTO」プロジェクトも立上げ。

1-3 宇宙産業拡大に向けた政府の取組

1-3-1 宇宙関連二法の制定

我が国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)の宇宙二法が整備された(平成28年11月9日成立、同年11月16日公布)。

宇宙活動法は、宇宙開発利用の果たす役割を拡大するとともに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、宇宙諸条約の批准を担保するとともに、我が国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、我が国の宇宙開発利用を推進することが期待される。

衛星リモセン法は、我が国における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衛星リモセン装置の使用に係る許可制度、②衛星リモセン記録保有者の義務、③衛星リモセン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。本衛星リモセン法の整備によって、高分解能の衛星リモセン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、我が国のリモートセンシング事業を推進することが期待される。

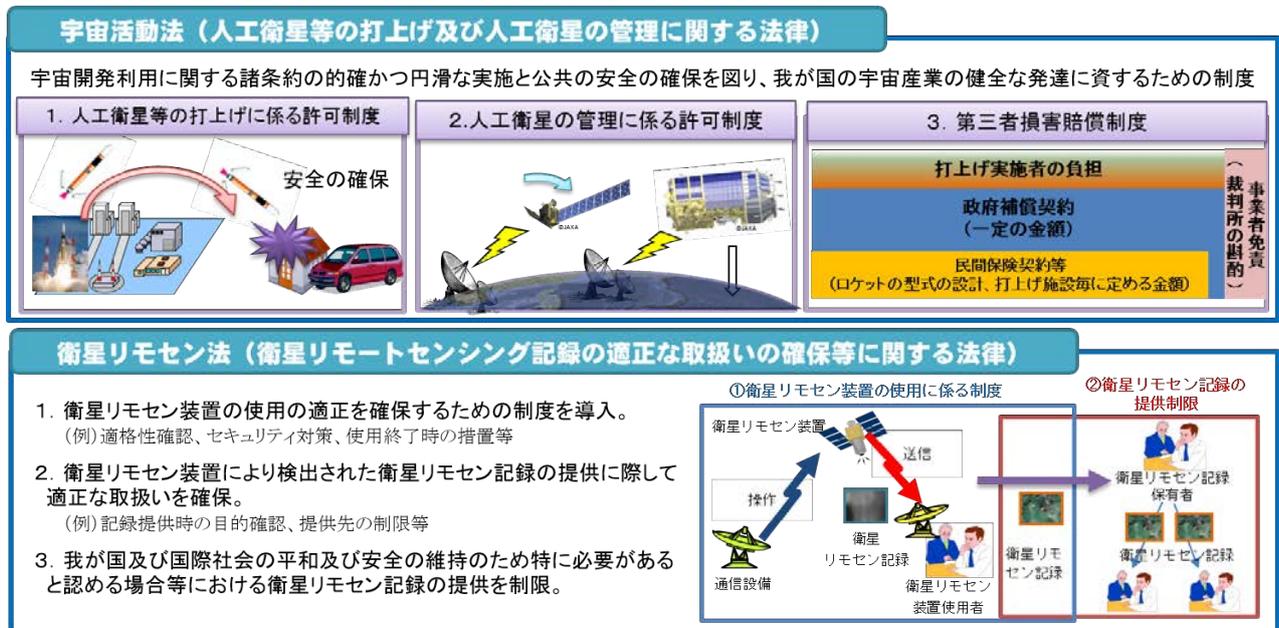


図1-9 宇宙二法の概要

1-3-2 宇宙産業ビジョンの策定

宇宙政策委員会は、平成29年5月、我が国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。

宇宙産業ビジョン2030においては、現在の我が国の宇宙産業市場規模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ビジネスを見据えた環境整備についてとりまとめている（図1-10）。



第2章 世界規模で展開する宇宙分野のICT利活用競争

～国内外における取組の現状～

2-1 宇宙データ利活用に関する国際動向

2-1-1 米国の動向

① オープンガバメント政策の動向

米国では、前オバマ政権が発足した当初の2009年から、オープンデータ政策を推進している。まず2009年5月、米国連邦政府機関や自治体などが保有する各種統計データの利活用を促進するため、米国連邦政府がデータカタログサイトの「Data.gov」を開設した。Data.govでは、各種データが機械で読み取り可能なフォーマットにより提供されることにより、利用者が自由に取得・加工し、アプリケーション開発を可能としている。



出典：Data.govのウェブサイト

図2-1 米国連邦政府のデータカタログサイト「Data.gov」

さらに、2013年5月に発表された大統領令は、米国連邦政府機関に対し、各政府機関が生成・保有するデータは、原則オープンかつ機械読み取り可能なフォーマットで公開することを義務づけている。

2016年12月現在、Data.govのデータセット数は192,883であり、米国海洋大気庁（NOAA）の気象衛星観測データなどが様々なデータ形式により公開されている。なお、Data.govで公開されているデータのうち一部については、一般ユーザによるデータ活用やアプリケーション開発を促進することを目的として、API¹による公開も行

¹ API (Application Programming Interface) ソフトウェアやアプリケーションが持つ機能の一部を外部のソフトウェアやウェブサービスから簡単に利用できるようにしたインターフェース。APIによって提供されている機能は自分で開発する

われている。

② NOAAのビッグデータプロジェクト

2015年4月、NOAAは、1日あたり20テラバイト生成される衛星からの気象データについて、国民が、自由にアクセスし新たなサービスを創出するための環境をクラウドプラットフォーム上で提供するためのビッグデータプロジェクトを立ち上げた。同プロジェクトにおいては、米国ICT企業5社（アマゾン、グーグル、IBM、マイクロソフト、オープンクラウドコンソーシアム）との連携が発表されている。

プロジェクトの具体的な進捗状況としては、2016年12月現在、アマゾンのクラウドプラットフォーム「AWS」において、NOAAの次世代気象レーダ網（NEXRAD）のリアルタイムデータ及びアーカイブデータがオープン&フリーで提供されている。

2-1-2 欧州の動向

① コペルニクス計画の概要

コペルニクス計画は、欧州委員会と欧州宇宙機関（ESA）が共同して、ESAや欧州各国が保有する地球観測衛星や地上設備等から取得される地球観測データを統合したデータ利用システムを開発・運営するプログラムである。コペルニクス計画下において全地球レベルで取得される衛星画像等のデータは、EUの環境政策や安全保障政策等に活用されている。なお、2012年12月、旧GMES計画（Global Monitoring for Environment and Security）から、現在のコペルニクス計画に改称されている。

コペルニクス計画の新規衛星として、異なる種類のセンサを搭載したセンチネル衛星（Sentinel-1~6）の整備が計画されており、2016年12月現在、Sentinel-1A、1B、2A及び3Aが運用されている。センチネル衛星のデータは、原則無償で公開されている。

② 衛星データクラウドプラットフォーム（商業アイデアコンテスト）

2011年5月、コペルニクス計画の革新的な商業アイデアを募集することを目的として、ESA等が共同でビジネスアイデアコンテストを設立した。このコンテストの2016年表彰では、スロベニアのソフトウェア会社のSinergise社の「Sentinel Hub」が大賞を受賞した。

Sentinel Hubは、アマゾンが提供するAWSを活用し、Sentinel-2衛星（マルチスペクトル光学衛星）の撮像データの処理・解析・配布するサービスを提供している。Sentinel Hubのデータの利用者にとっての利点としては、データのダウンロードや管理などが不要であり、かつ、クラウド上で提供される簡易な画像解析ツールが利用可能とされているなど、複雑な処理が要求されないことにある。また、クラウドを活用することにより、データ利用者側のPC、モバイル端末等の大容量ストレージや処理能力が不要となることから、GIS（地理情報システム）アプリケーションの開

必要がないことから、プログラムの開発を省力化することが可能。

発・提供がより容易となる。

③ ESAデータクラウドプラットフォーム

2016年11月、ESAはソフトウェア会社SAPとの間で膨大な地球観測データの迅速かつ効率的な活用を可能とする地球データ解析サービスを2017年第1四半期から提供（2016年末まで無料で試行提供。）する旨発表している。なお、サービスにおいては、SAPが提供する「SAP HANA クラウドプラットフォーム」を活用することとされている。

本サービスは、地球観測衛星データへのオープンなアクセスとAPIによるアプリケーション開発環境の提供によって、異分野における新たなビジネス機会の創出を目的としている。

2-1-3 我が国における取組状況

① JAXAの取組

JAXAは、2013年2月から、JAXAが地球観測衛星で取得したプロダクトを検索・注文・ダウンロードできるポータルサイト「G-Portal」を運用している。G-Portalでは、現在運用されている全球降水観測計画（GPM）、だいち2号（ALOS-2）のほか、運用を終了した衛星の観測データの検索やダウンロードサービスを有償・無償で提供している。



出典：JAXAのウェブサイト

図2-2 G-Portalのウェブサイト

また、JAXAでは、地球観測衛星データの専門家以外にも多種多様なアプリケーション開発の利用を可能とする環境を提供することを目的とした「JAXA OPEN API」を整備し、水循環変動観測衛星「しずく」(G-COM-W)及び世界の雨分布(GSMaP)データのAPIを提供した。さらに、2014年3月、JAXA OPEN APIを活用したアプリケーション開発のアイデアコンテストを開催した。なお、JAXA OPEN APIは、2016年3月末に終了している。

② JSSの取組

宇宙システム開発利用推進機構(JSS)は、2017年5月、宇宙利用の拡大に向けたプラットフォーム事業として、宇宙関連の新たな事業創出を目指す企業の宇宙ビジネスの事業化を支援することを目的としたポータルサイト「宇宙ビジネスコート」を開設した。

宇宙ビジネスコートのサイト内の「宇宙API」においては、一般の利用者に対する地球観測データの新たなアプリケーション環境の整備を目的としたAPIを提供している。また、経済産業省が開発しNASAと共同運用している地球観測衛星TERRAについて、搭載されている光学センサASTERの観測データのAPIが、宇宙APIにおいて提供されている。

③ G空間情報センターの取組

G空間情報センターは、産官学の様々な機関が保有する地理空間情報を円滑に流通させ、社会的な価値を生み出すことを支援する機関として、2012年3月に政府で閣議決定された地理空間情報活用推進基本計画に基づき設立され、昨年11月に運用を開始した。

今後、G空間情報センターを通じて、様々なG空間情報を提供することにより、情報の統合・分析による付加価値の創造、情報の新しい利活用方法・ビジネスの創出を目指すとしている。

④ 国内民間企業の取組

我が国のリモートセンシング衛星事業者であるアクセルスペース社は、地上分解能2.5mの光学センサを有する超小型衛星を、2022年までに50機体制で運用するコンステレーション衛星網(AxelGlobe)の構築を計画している。

AxelGlobeのデータは、年間7ペタバイト以上増加することが想定されている。このデータ利活用ビジネスの取組として、アクセルスペース社は、2016年9月、アマゾンウェブサービスジャパン株式会社と共同で、AxelGlobeのデータをクラウド環境で管理する場合の最適な手法の検討とともに、撮影画像のオープンデータ化に向けた取組を開始した旨発表している。

2-2 衛星通信に関する国際動向

衛星通信システムの特長は、広域カバレッジ、同報性、広域高速移動体への対応力などがある。また、東日本大震災の際に検証されたように、災害時に地上ネットワーク網が寸断されても、災害地への迅速な通信回線確保が可能である。従来、国際衛星通信サービスとしては、海事通信系のInmarsat社や陸上固定通信系のIntelsat社などによって通信サービスが提供されていたが、1990年代以降、地上系通信網（高速光ファイバー網、携帯電話網）の急速な発達による高速化、それに伴う通信ビット単価の急激な低下が発生したため、衛星通信システムによる通信サービスは、特殊な環境（地上通信ネットワークが未整備）のユーザに対する特殊サービスとなってしまう、その上、コストに見合った通信環境を提供できずにいた。

しかしながら、2010年代に入り、世界の衛星通信事業においては、従来の利用周波数帯域より高いKaバンドを利用し、多数のマルチビームと中継器を装備したHTSが注目を集めている。例えば、米VIASAT社から2011年に打ち上げたViasat-1は、米国の人口の多い地域を72ビームでカバーし、Kaバンド（アップリンク30GHz帯、ダウンリンク20GHz帯）の4周波数帯域を再利用することで、衛星全体として140Gbpsのスループットを提供可能としている。一方、Kacific社はこのような技術を用いて、太平洋島嶼国に適切な価格でブロードバンド回線の提供を計画している。これは5Gで必要とされるルーラル地域への大容量バックホール回線提供の実現につながるものである。

また、ロケットの打上げ可能重量の向上と打上げコストの低下及び衛星の単位重量当たりの能力向上により、比較的軽量の衛星を大量に低軌道に投入することが可能となった。これら大量の低軌道衛星により、低遅延で大容量な衛星通信サービスを提供し、通信品質の向上及び低コストの通信サービスを実現するというメガコンステレーション衛星という計画も、欧米のベンチャー企業を中心として提案されてきている。

さらには、HTSへのバックボーン通信回線に対しては、周波数の国際調整や無線通信帯域への割当ての問題から、既にひっ迫しつつある従来の電波によるサービスではなく、システム間の干渉がないレーザ光を利用することにより、超大容量通信サービスを提供するという試みも計画中又は実証実験中といった状況である。この領域でも、欧州の光通信コンポーネントメーカーであるTesat-Spacecom社、衛星バスメーカーであるAirbus社及びESAの共同によるEDRS（European Data Relay System）プロジェクトが先んじている状況である。以下に各国の動向を述べる。

2-2-1 米国の動向

静止軌道上のHTSによるサービス提供としては、先に述べたとおり、VIASAT社が、2011年に総容量140GbpsのViaSat-1の打上げに成功したのに続き、2017年6月には総容量350Gbps、120スポットビームを有するViaSat-2の打上げに成功した。さらには、総容量1Tbpsを有するViaSat-3（3機）の打上げも2019年に予定しており、全球規模の衛星通信サービスを計画している。



出典：VIASAT社のウェブサイト

図 2—3 VIASAT社のHTS「Viasat-2」

一方、老舗であるIntelsat社は、航空機ブロードバンドサービス向けとして、2015～2016年にかけて、Epic^{NG}29e及び33eの2機を打ち上げ、後述するようにメガコンステレーションによる通信サービスを計画しているOneWeb社と提携するとともに、日本のソフトバンクによる出資のもと、新たな衛星通信ネットワークサービスを提供する計画を発表した。

小型衛星メガコンステレーションによるHTS通信サービス計画として、OneWeb社は、低軌道周回衛星を648機（2016年末の最新予定では882機）配備することを計画している。2018年から衛星を打ち上げ、2020年以降順次サービス開始予定である。大きな特長としては、遅延時間30ms以下、通信速度ダウンリンク50Mbps、アップリンク25Mbps以上というスペックが挙げられる。前述した通り、2017年2月Intelsat社との合併及びソフトバンク社による17億ドルの出資計画が発表された。また、OneWeb社の計画と同様に、既にNASA、米国政府向けの打上げサービスを提供しているSpaceX社では、4,425機以上のメガコンステレーション衛星による通信サービス、大手衛星バスメーカーであるBoing社からは、Kaバンドよりも高い周波数のVバンド、軌道傾斜角45°又は55°の楕円軌道コンステレーションによる衛星通信サービスの提案及び計画されている。

なお、2016年、SpaceX社、Boing社、ViaSat社等の事業者は、米連邦通信委員会（FCC）に対して、相次いでメガコンステレーション計画に係る衛星無線局の申請を提出した。しかし、Kaバンドの通信帯域は、地上系5Gシステムや衛星放送向けの周波数帯域と競合するとして懸念が地上系通信事業者から示されている。

また、SpaceX社やLeoSat社、BridgeSat社は、レーザ光を使った衛星通信サービスを計画している。

2—2—2 欧州の動向

静止軌道上のHTSによるサービス提供としては、Eutelsat社、Inmarsat社、SES社等の大手事業者が、マルチビームで総容量数10Gbpsクラスの衛星ブロードバンドサービスを提供し始めている。特に、海事衛星通信の老舗であるInmarsat社は、2013～15年

にかけてKaバンドを用いたInmarsat-5を3機打ち上げ、アップリンク最大5Mbps、ダウンリンク最大50Mbpsのブロードバンド通信サービスを提供するGlobal Xpressサービスを提供することとしている。また、Tesat-Spacecom社、衛星バスメーカーであるAirbus社、及びESAの共同による衛星間2.5Gbpsの光通信回線を有するEDRSプロジェクトも、現在実証実験中である。

超小型衛星コンステレーションによるサービス提供として、03b社は、赤道上の中軌道（8,200km）で運用される12機のコンステレーション衛星により、2014年からサービス提供を開始した。なお2016年8月、同社をSES社が完全子会社化している。また、欧州委員会においては、衛星通信と5Gの融合に関する技術政策的な検討を行っている。同委員会が主導しているNetWorld2020衛星通信部会（SatCom WG）は、2014年7月、5Gネットワークにおける衛星通信の役割に関する報告書（The role of satellites in 5G）を作成し、5Gの展開に衛星通信が貢献すべき重要分野の整理を行っている。同報告書内では、その重点分野として、衛星バックホール回線利用と衛星経由のトラフィック制御による地上系ネットワークのオフロード化、衛星と地上ネットワークの統合による通信回線の強靱性の提供、システム間の周波数利用効率の向上等を指摘している。

ESAは、ARTES（Advanced Research in Telecommunications System）プログラムで、衛星分野のIoTソリューションの調査や検討、関連する製品開発への取組を開始しており、衛星IoT通信用モジュール、アンテナ、プロトコルの開発に50～75%の資金提供を実施している。さらに、欧州各国政府にも同様の支援制度があり、フィンランド政府では、2025年までに世界初海運船の自律的運行ができるビジネス・エコシステムの実現を目指して、ロールスロイス等のグローバル企業、国内のICT、海運関連企業に対して、試験環境の提供や資金提供を実施する包括的プロジェクトを立ち上げている。

2-2-3 中国の動向

小型衛星によるIoTに関する研究開発として、2017年1月12日、中国航天科工集团公司(CASIC)は、小型衛星「行雲試験1号（XingyunShiyan-1、XYSY-1）」の軌道投入により、ナローバンド衛星通信によるIoT通信サービス及びその利用プロジェクト「行雲（Xingyun Shiyan）」の技術検証フェーズが開始された旨を発表した。また、2017年4月には、中国初のHTSが、中国空間技術研究院（CASA）により、Kaバンドによる通信容量20Gbpsの「実践13号（Shi Jian 13）」を打ち上げており、今後、試験と検証が完了した後、「中星十六号衛星」として、実用に供する計画である。



出典：「宇宙×ICTに関する懇談会（第5回）」資料（平成29年2月22日）

図2—4 Kaバンド20Gbpsの「実践13号」（後の「中星十六号衛星」）

また、衛星量子鍵配送技術に関する研究開発として、2016年8月、中国科学技術大学（USTC）を中心とするチームが開発した世界初となる量子科学技術衛星「Mozi（墨子）」を打ち上げた。その後、軌道上での基本性能テストを順調に終え、2016年末頃から量子通信の本格的な実験に移行した。2017年6月には、1,200km離れた2つの地上局（チベット高原にあるデリンハ及び中国南西部にある麗江の地球局）に向けて衛星から量子もつれ配信を行うことに世界で初めて成功し、アメリカの科学誌Scienceにその成果を発表した（J. Yin et al., Science, vol. 356, no. 6343, p. 1140, June 2017）。中国チームは、今後さらに、中国とウィーンなどに設置された複数の光地球局の間で、高度約600kmの軌道にある量子科学技術衛星を経由して、暗号鍵を配送する研究を実施する予定である。

2-2-4 我が国の動向

我が国における民間事業者の取組として、スカパーJSAT社は、Intelsat社との共同事業により、2018年下期にHTSによるサービスを提供予定である。また、米国の動向にて述べた通り、ソフトバンク社は、2017年2月にOneWeb社及びIntelsat社との合併会社に17億ドルの出資を発表するなど、今後、衛星通信サービスに進出する計画である。

一方で、政府の宇宙開発戦略本部では、2013年に宇宙基本計画が策定された。同計画の元、宇宙基本計画工程表が策定され、また、関係省庁、機関及び民間企業を中心に開催された「次期技術試験衛星に関する検討会」では、次世代衛星通信のあるべき姿が議論された。現在、同検討会にて示された報告に沿って、技術試験衛星9号機の研究開発及び次々期技術試験衛星の検討が、関係省庁を中心に進められている。

現在、開発が進められている次期技術試験衛星9号機は2021年打上げ予定である。搭載される衛星通信システムとしては、1ユーザあたり100Mbps程度で、利用エリアの

ニーズに合わせて衛星ビームに割り当てる周波数幅を柔軟に変更可能とするデジタルチャネライザを開発し、宇宙実証する予定である。また、衛星ビームの照射地域を柔軟に変更可能とするデジタルビームフォーミング技術、さらには、10Gbpsクラスの超高速大容量の光ファイダリンクの基礎技術の実証を目標にしている。

光衛星通信技術の研究開発として、NICTは、2015年超小型衛星に搭載可能な光通信機器（SOTA）を開発し、50kgクラスの衛星で世界初となる光衛星通信の軌道上実証を行うとともに、衛星量子暗号鍵配送技術に必要な偏光測定的基础実験に成功している。今後、10Gbpsクラスの超高速大容量の光ファイダリンク技術を搭載する予定である。また、5G・IoTと技術融合したネットワーク技術の基礎検討を進めている。

2-3 月・惑星資源探査に関する国際動向

月面開発、火星探査、小惑星探査などは、これまで政府機関が科学的知見の獲得を目的に、国家プロジェクトとして実施してきた分野である。我が国は、「かぐや」や「はやぶさ」において、卓越した成果を収めるなど、世界をリードする先進的技術を保有している。



「かぐや」



「はやぶさ」

出典：JAXAのウェブサイト

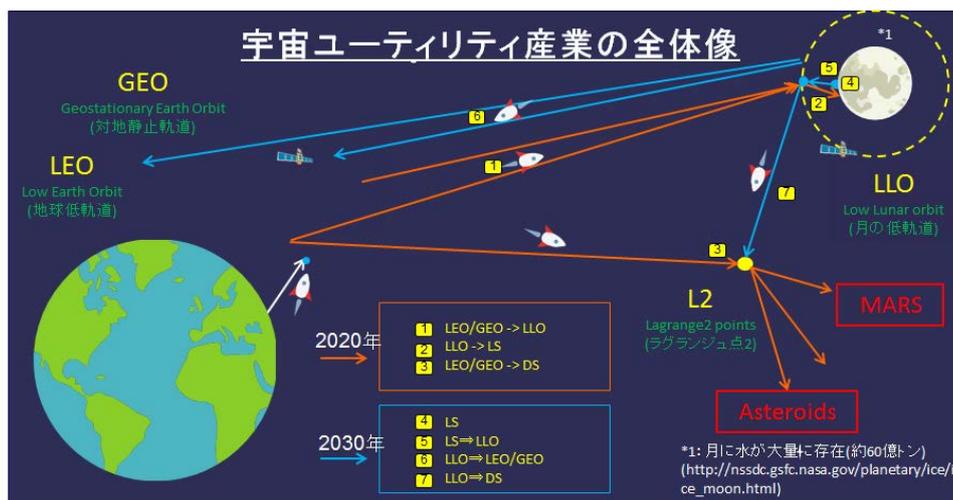
図2-5 科学的知見の獲得を目指した我が国の人工衛星の例

近年では、世界的に、月水資源探査などを皮切りに民間企業の参入が活発化している。2030年頃における宇宙資源開発の産業、言うなれば、宇宙ユーティリティ産業の全体像を図2-6に示す。宇宙空間における衛星数の爆発的な増大により、エネルギー需要は高まることが考えられるが、地球から燃料を輸送しようとするとそのコストは膨大になる。月面・火星・小惑星などにおける水資源を液体燃料や燃料電池などエネルギー源として使用し宇宙空間における自律的かつ安定的なエネルギー供給インフラ・体制の掌握が進むことで、宇宙ユーティリティ産業全体の発展が更に促進されることが期待される。月からの燃料輸送コストは、地球からの輸送コストの約1/100となるという試算も報告されている。

宇宙ユーティリティ産業のインフラ整備と、宇宙空間における燃料供給ロジスティク

スの強化は、ローバーや衛星が利用する燃料電池産業の発展を促進するとともに、ローバーや衛星のエネルギー源の規格化（標準化）の良い契機となる。また、宇宙空間で利用する燃料タンクや燃料輸送船などの重機械産業、資源探査のデータ送受信や探査機の地上からの操作など通信産業の発展を促進する効果も期待できることに加え、宇宙における通信規格の標準化にもつながるものである。月面活動の活発化は、建設事業や産業機械事業にも裨益することから、月面での資源探査や利用活動については、プロジェクトファイナンスなど金融事業にも新機軸がもたらされる可能性がある。

宇宙条約第二条は、月その他の天体の国家による所有等を禁じているものの、天然資源の採掘・所有について明確な規定を置いていないため、国際宇宙法学会（IISL）では、その声明文において、国際法上宇宙資源に対する所有権の成立が許容されることを宣言している。すなわち、宇宙における天然資源の採掘・所有は認められるとの解釈が可能である。このような状況を受け、目標天体への着陸、資源所在領域の占有、資源の掘削方法などの宇宙資源開発活動、それらを監督する機関などの諸点について、国際的枠組における議論が巻き起こっている。



出典：ispace社

図 2 - 6 宇宙ユーティリティ産業の全体像

2 - 3 - 1 米国の動向

2015年11月に新宇宙活動法「Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship (SPACE) Act of 2015」が成立した。これは「商業宇宙打上げ」「商業リモートセンシング」「宇宙商務局」「宇宙資源探査およびその利用」の4項目から成るもので、商業宇宙資源開発を認めた世界初の法律である。同法では、月、小惑星その他の天体及び宇宙空間上の水や、ミネラルを含む非生物資源の採取に商業的に従事している米国市民に対し、米国が負う国際的な義務等に抵触せずに獲得された当該資源についての占有、所有、輸送、利用及び販売を認めている。また、2016年に米国政府から提出された報告書では、月面探査や小惑星の資源採掘活動等を米国連邦航空局（FAA）が統括すべきとしている。

現在、米国は惑星資源探査分野をリードしており、近年は関連ベンチャー企業の設立も多く、Shackleton Energy (2008年創業)、Astrobotic Technology (2008年創業)、Planetary Resources (2010年創業)、Moon Express (2010年創業)、GoldenSpikeCompany (2010年創業)、Inspiration Mars (2013年創業)、Deep Space Industries (2013年創業)などが存在している。

2-3-2 欧州・中東の動向

ルクセンブルクは2016年2月に、自国を宇宙資源探査及び利用の分野での欧州の中心地とする旨の政策を発表した。これは、宇宙資源開発ビジネスを標榜する複数の企業への資金供与を含む支援を行うもので、米国を含む他国と共同で法的枠組構築を模索することを表明している。また、中東においては宇宙企業への投資が増大しているところであるが、アラブ首長国連邦においては、宇宙探査及び宇宙資源開発を含む宇宙空間における商業活動についての法整備に向けた動きがあるという報告もある。

2-3-3 我が国の取組

2016年12月宇宙基本計画工程表（平成28年改訂）に宇宙資源開発が追加された。また、2017年5月に宇宙政策委員会により策定された「宇宙産業ビジョン2030」においても、宇宙資源開発などにおいて「ニュースペース」と呼ばれるベンチャーを中心とした新たなビジネスプレーヤーやビジネスモデルの急速な成長、それらの現状や課題について指摘している。

ベンチャー企業の取組の一例としては、ispace社が、中期的（2020年）には、宇宙ユーティリティ産業に関する研究開発、国内外の顧客との共同実証事業、宇宙輸送事業等を行い、長期的（2030年）には、希少資源の採掘（小惑星、月）やエネルギー問題の解決（宇宙太陽光など）のほか、無重力空間における研究開発、製品開発及び製造（創薬・バイオ産業など）を行うとしている。

2-3-4 国際機関等における動向

2016年4月、ウィーンで開催された国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）法律小委員会において、ベルギーの提案により、「宇宙資源探査及び利用のために考えられる法的枠組みに関する意見交換」が2017年の議題として採択される見込みである。また、同月に蘭ライデン大学等によるコンソーシアムの主催によりハーグ宇宙資源ガバナンス・ワーキンググループが発足し、国際機関、各国政府、研究機関、事業会社が参加している。

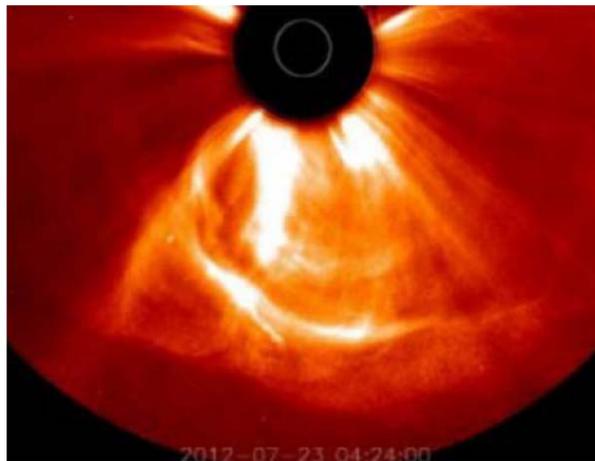
2-4 宇宙環境情報提供に関する国際動向

「宇宙天気」とは、主に太陽を起源とする地球近傍宇宙の電磁環境を指す。自然の巨大な核融合炉である太陽に対して、地球は大気と磁場の2つの防護壁を持つ。大気は、

太陽から到来するX線や紫外線などの電磁波を吸収し、地表面まで到達することを防ぐ。この際に、化学反応を起こして電離する大気圏上部のことを電離圏と呼ぶ。一方、地球の磁場は、太陽からの電離大気（太陽風）を地球に近づくのを妨げる働きをする。しかしながら、太陽風にも太陽由来の磁場があり、地球磁場との反応が進む南向きの時には地球磁場をすり抜けて地球近傍まで到達する。これにより、大気圏外の人工衛星や国際宇宙ステーションに直接影響を与えるほか、電離圏を乱し、衛星を利用した通信・放送・測位や地上間の短波通信などに影響を与える。また、電力線に過電流を生じさせるなどの不具合も知られている。これら社会インフラに影響を与える諸現象の予報を行うことを宇宙天気予報と呼んでいる。

このような宇宙天気の監視及び予報を行う国際的な枠組みとして、1962年より国連国際科学会議（International Council of Science Union：ICSU）の下で国際宇宙環境サービス（International Space Environment Service：ISES）が活動している。これは、定期的に宇宙天気情報を発信している機関の連合体であり、現在17か国及びESAが加盟している。

有史以来最大の宇宙天気現象は、1859年9月1日に起きた「キャリントン・イベント」とされている。強力な太陽嵐により、当時最先端の通信技術であった有線電信の通信線に過電流が流れ、末端の通信所が火事になったという記録が残されている。



出典：「宇宙×ICTに関する懇談会（第4回）」資料（平成29年2月1日）

図2—7 有史以来最大の宇宙天気現象「キャリントン・イベント」

近年は、2012年7月23日に地球とは別の方向に放出された太陽フレアが、その後の解析でキャリントン級であったと発表され、話題になった。

2—4—1 米国の動向

キャリントン級の事象が発生した場合の経済損失について、計算した例がある。それによると、欧米など高緯度地域を中心に、3,000億ドルほどの被害が想定され、東日本大震災の経済損失（1,000億～2,500億ドル）を上回る。

米国は、宇宙天気を地震や津波などの災害と並べ、米国戦略的国家危機評価（US Strategic National Risk Assessment）の一つとして位置付けている。2014年には米国内の20を超える機関、50人を超える専門家によってSpace Weather Operations, Research and Mitigation Task Force（SWORM）が結成され、その中の議論により2015年にNational Space Weather Strategy及びSpace Weather Action Planが発表された。

2016年4月には、このAction Planを受けて米国国務省が極端現象に関する国際協力の枠組みの構築のための研究会“Space Weather as a Global Challenge”を開催し、2016年10月にはオバマ大統領による大統領令“An Executive Order to coordinate efforts to prepare the nation for space weather events”に署名がなされた。これらの動向は、米国大統領の交代後も引き継がれ、2017年5月現在宇宙天気情報の研究と実利用の相互交流促進についての白書“White Paper on Improving the Space Weather Forecasting Research to Operations (R20) -Operations to Research (O2R) Capability”がパブリックコメントを募集するなど、活発な活動が展開されている。

2-4-2 英国の動向

欧州では、特に英国において、宇宙天気の社会影響について報告がなされている。例を挙げると、2013年には、Royal Academy of EngineeringがExtreme space weather : impacts on engineered systems and infrastructureを発表し、極端現象の社会影響について報告している。その後、Cabinet officeによるNational Risk Register（2015年）、Space Weather Preparedness Strategy（2015年）が相次いで発表されている。

2-4-3 アジアの動向

アジアにおいては、我が国のほか、中国及び韓国が長年にわたり宇宙天気監視を続けており、ISESのメンバーでもある。

中国では、以下の6つの機関が宇宙天気に関する研究及び業務を行っている。

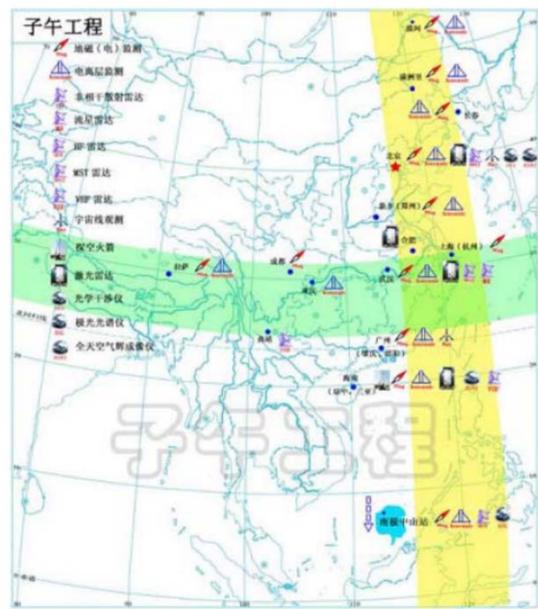
- ✓ National Astronomic Observatory, China (NAOC : 中国天文台)
- ✓ China meteorological administration (CMA : 中国気象庁)
- ✓ National space science center, Chinese Academy of Science (NSSC : 国立宇宙科学センター)
- ✓ China research institute of radio wave propagation (CRIRP : 中国電波伝搬研究所)
- ✓ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (IGGCAS : 中国地理・地球物理学研究所)
- ✓ Polar research institute of China (PRIC : 中国極地研究所)

ISESには、中国からNAOCが主担当、NSSCが副担当として加盟している。また、ICAOにおいては、CMAが非常に意欲的な姿勢を見せている。このように、中には分野による棲分けをしているようではあるが、相互の情報共有があまりなされていないように見

受けられる。

そのほか、中国では、「子午プロジェクト」(東半球宇宙環境総合監視ネットワーク)と呼ばれる宇宙天気に関する巨大プロジェクトが実施されており、多くの高価な機器を導入している様子が伺える。

また、海外で研究経験を積んだ若い世代の研究者が本国に戻り、高いレベルの研究成果を挙げている例が見られる。



出典：科学技術振興機構講演資料(平成29年3月17日)

図2—8 子午プロジェクト(東半球宇宙環境総合監視ネットワーク)

一方、韓国においては、未来創造科学部が2013年に「宇宙電波障害」危機管理マニュアルを発表した点が注目される。韓国では、Radio Research Agency (RRA：韓国電波研究所)、Korean Meteorology Agency (KMA：韓国気象庁)、Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI：韓国天文研究院)、Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI：韓国電子通信研究院)などの複数機関が宇宙天気に関する研究及び業務を行っている。RRA及びKMAは実務機関として主に業務に関する活動を行い、ISESIにはRRA、WMOにはKMAが窓口となっている。また研究開発についてはRRAやKMAの委託をKASIやETRIが受けて行っているケースが多い。

2010年に、NICTが事務局を務めるアジアオセアニア宇宙天気アライアンス(Asia Oceania Space Weather Alliance：AOSWA)が設立された。これは、欧米に比べて宇宙天気関連の機関連携が弱いこの領域において、情報交換を促進することを目的としている。NICTは、2015年までに3回のワークショップを開催してきた。この活動の下、インドネシアやマレーシアなどが、新たに宇宙天気予報の運用に向けた準備を開始するなど、活動の活発化が見られる。

2-4-4 我が国の取組

我が国においては、NICTが定常業務として宇宙天気監視及び予報を週末・祝日を含む毎日発信しているほか、予報精度向上のための研究開発を行っている。また、JAXAは宇宙機の安定運用のための宇宙環境監視を行っている。宇宙天気に関する基礎研究は、名古屋大学宇宙地球環境研究所をはじめとする大学において進められている。

2015年には科学研究費補助金新学術領域において、「太陽地球圏環境予測（PSTEP）」（研究代表者：草野完也教授（名古屋大学））が採択された。これにより、基礎研究と現業予報業務との間の連携がさらに進むものと期待される。

2-4-5 国際的取組

国際機関としては、先述したISESのほかに、近年、世界気象機関（World Meteorology Organization: WMO）が宇宙天気を気象の一環として取り扱うことに意欲を見せている。2010年には、暫定的な組織としてICTSW（Interprogramme Coordination Team on Space Weather）を立ち上げ、WMO情報システム（WMO Information System: WIS）での宇宙天気情報の流通等を中心に検討を進めている。ICTSWは2017年にはWMO内の定常組織としてIPT-SWeISS（Inter-Programme Team on Space Weather Information, Systems and Services）に改組され、20各国の参加で活動を開始した。

また、国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization: ICAO）は、航空運用に用いられる気象情報として宇宙天気情報を取り入れることを検討している。

これは主に、極域航路が増大する中で宇宙天気現象による短波通信、衛星測位及び被ばくのリスクを回避することを目的として検討されている。現在、運用コンセプト（Concept of Operation: ConOps）及び航空運用に使用される気象情報を規定している第3付託書（Annex3）の改定に向けて、検討が進められている。本件が承認された際には、我が国を含むICAO加盟各国の国内法改定を経て、多くの国で宇宙天気情報を航空運用において利用することが義務化される。また、これら航空機関に対して提供すべき情報の種類や、情報提供機関の要件なども現在検討が進められている。

国連本体においては、宇宙空間平和利用委員会（Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS）において、宇宙天気についての議論が進められている。

第3章 新たな価値を創造する宇宙×ICTの重点4分野

～重点4分野の実現イメージと課題～

3-1 宇宙×ICTの重点4分野のビジネス

通信衛星ビジネスやリモートセンシング衛星ビジネスは、従来の主要なICT関連の宇宙産業と言える。これらのビジネスについては、第1章及び第2章で述べてきたとおり、国内外において、非宇宙系企業やベンチャー企業による参入などにより、従来からのサービスに加えて、新たなサービスやビジネスの創出の動きが拡大しつつある。さらに、宇宙資源探査ビジネスや宇宙天気予報などの宇宙環境情報ビジネスについても、現時点において市場として立ち上がっていないものの、諸外国の政府関係機関による制度整備や、国内外の非宇宙系企業やベンチャー企業による出資参入の動きが始まっている。

以上の状況を踏まえ、2030年において、宇宙×ICTにおいて新たなビジネスやイノベーションの創出が期待されるビジネス分野として、「宇宙データ利活用ビジネス」、「ブロードバンド衛星通信ビジネス」、「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」及び「宇宙環境情報ビジネス」の4分野を挙げることにする。これらの重点4分野のビジネスに対して、これらを支える基盤技術の研究開発も含め、推進に向けた課題を抽出した上で、集中的かつ戦略的な推進方策を検討することが必要である。



図3-1 宇宙×ICTの重点4分野のビジネス

3-2 宇宙データ利活用ビジネス分野

3-2-1 現状

3-2-1-1 NICTの衛星リモートセンシングの開発状況

① 衛星搭載降雨レーダ

降水現象は、地球の水及びエネルギー循環の重要な構成要素であるため、その全球分布を把握することは、地球の気候変動の理解予測に不可欠である。日米共同プロジェクトの「熱帯降雨観測計画」(TRMM)及びその後継の「全球降水観測計画」(GPM)は、地球の気候システムに特に大きな役割を果たす降水現象を、詳細かつグローバルに観測する衛星に関するプロジェクトである。

TRMMにおいては、通信総合研究所(現 NICT)と宇宙開発事業団(現 JAXA)が共同開発した降雨の三次元分布を測定する降雨レーダが世界で初めて衛星に搭載され、1997年から2015年まで17年以上の長きに亘り継続して観測を行った。そのデータから、熱帯地方の詳細な降水分布、熱帯低気圧及びエルニーニョ現象に関する新たな科学的知見が数多く得られている。

GPMにより、衛星の観測域が全球に広げられた。さらに、NICTとJAXAが共同開発した二周波降水レーダ(DPR)とマイクロ波放射計を搭載した主衛星、マイクロ波放射計又はマイクロ波サウンダーを搭載した複数の副衛星群を組み合わせることにより、1時間ごとの全球の降水強度マップが作成されている。その観測データは、JAXA・NASA双方から一般に公開されており、天気予報のみならず洪水予測や農作物生産管理等での活用も進められている。



出典：JAXAのウェブサイト

図3-2 衛星全球降水強度マップ(2015年台風10号の観測例)

② 衛星搭載雲レーダ

従来の雲の衛星観測は、気象衛星による光学観測が中心であった。しかし、温暖化予測には、地球の放射収支評価の高精度化が必要であり、そのためには全球の雲の鉛直分布観測が重要であると考えられている。このような背景のもと、日欧共同

プロジェクトであるEarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) 衛星計画が2018年度の打上げを目指して進められている。EarthCAREは軌道直下の雲やエアロゾルの鉛直分布を観測できる94GHzの雲レーダ(日本側分担、JAXA・NICT共同開発)とライダー(欧州側分担)双方を搭載することにより、同一の雲やエアロゾルを2つのセンサで同時に測定し、もって、それらの有効半径や光学的厚さといった微物理量を精度よく推定することが可能となる。さらに、雨、雲、霧粒等の鉛直落下速度を検出するために、ドップラー測定機能も実装されている。

③ 衛星ドップラー風ライダー

近年、深刻な気候変動の影響により、世界各地で気象災害が頻繁に発生するようになってきている。自然災害から人命と財産を守るためには、予報の数値や気候モデルの精度向上が必要である。また、そのためには、広域・高頻度・高精度な観測が必要であることから、近年、衛星観測の重要性が増大しているが、現時点において衛星観測は、気温や水蒸気に関連したものに偏重した状態にある。世界気象機関が風の高度分布観測の重要性を指摘するなど、風の高度分布が得られる衛星システムの実現が強く望まれている。そこで、衛星観測の対象として、風が注目され始めている。しかしながら、雲や水蒸気の動きから風を推定する衛星観測は、高度分解能が粗い、空白観測高度が存在する、誤差が大きいといった弱点を抱えている。NICTは、JAXA、気象庁/気象研究所、大学等とともに、宇宙からグローバルに風の高度分布を観測可能な衛星ドップラー風ライダーなど、将来の衛星計画に向けた実現性検討と基盤技術開発を行っている。

④ 先進的高周波イメージング分光器 (ユー・ヴィ・スコープ (uvSCOPE))

世界保健機構(WHO)によると、現在、大気汚染に起因する死亡者数は世界で年間370万人にのぼり、これは交通事故死亡者数の約3倍に相当する(WHO報告書2014)。我が国において、3~5月に発生する大気汚染の原因物質のうち最大で80%が、アジア域からの越境汚染によるものである。このような状況を踏まえ、大気汚染物質の高度な予測を可能にするため、高空間分解能観測・ホットスポット検出を行う先進的高周波イメージング分光器(uvSCOPE)の開発、観測データの高度解析技術の研究開発と評価及び観測最適化のためのモデル研究開発を実施している。uvSCOPEは、1×1km級の水平分解能でNO₂カラム濃度を精度5%以内で測定する小型衛星の実現に資するものであり、波長範囲425~450nmにおける成立性が確認された。

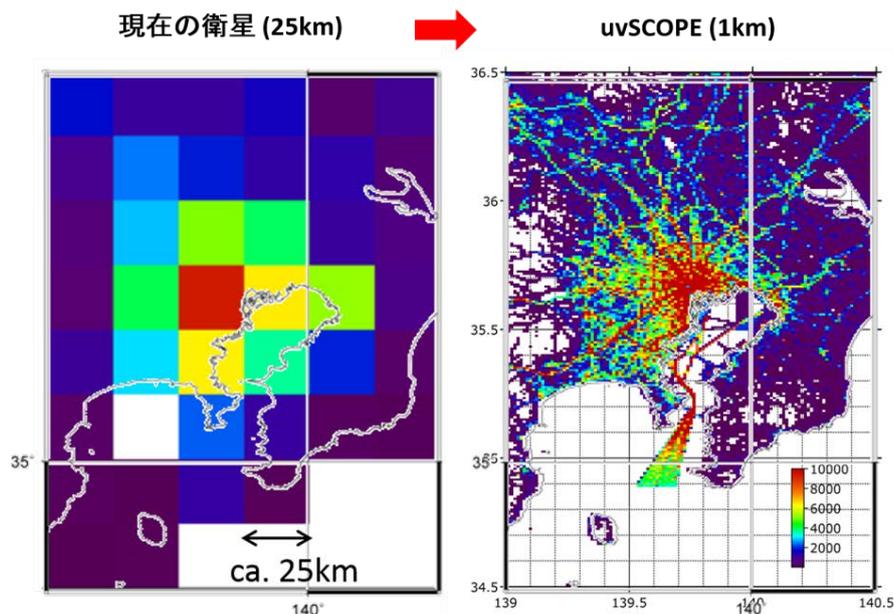


図 3 - 3 uvSCOPEによるNO₂観測目標

その結果、JAXA地球観測研究センターが公募した国際宇宙ステーション／きぼう搭載用中型地球観測ミッションのアイデア募集において、JAXA理事長諮問委員会である「地球圏総合診断委員会」から、2017年打上げ予定の中型ペイロードのミッション候補として、国際宇宙ステーション／きぼうの利用候補に推薦されている。

3-2-1-2 その他の衛星リモートセンシングの開発・実用化状況

我が国において、開発・運用等が行われている衛星搭載センサを周波数軸で示した一覧を示す。そのうち、レーダ技術に関しては、既存のVHFやUHFといった比較的低い周波数において、既に実用化・重用がなされているのに対し、より高い周波数の開拓が進んでいる。一方、受動型センサに関しても、マイクロ波やサブミリ波、テラヘルツ波など高周波数への開拓が進んでいる。

ゴ) を早期に捉え、30分以内に地上で50mm/h以上の豪雨が発生する地域を予測しデジタル地図上に可視化する。また、河川に降った雨が流れ込む集水域やアンダーパスの位置、浸水被害が起きやすい場所を表示したり、事前に登録したメールアドレスに警戒情報を送信したりすることで、ゲリラ豪雨が降る前に警戒や対策を行えるようにしている。現在、このシステムを使ったゲリラ豪雨対策支援の実証実験を神戸市で実施している。さらに、豪雨の発生だけではなく、その結果生じる様々なリスクも予測すべく、ゲリラ豪雨早期探知と連動して交通障害などのリスクをリアルタイムに予測するAI技術の開発や、予測されたリスクを回避して目的地までの安全な経路を案内する地図ナビゲーションへの応用にも着手している。

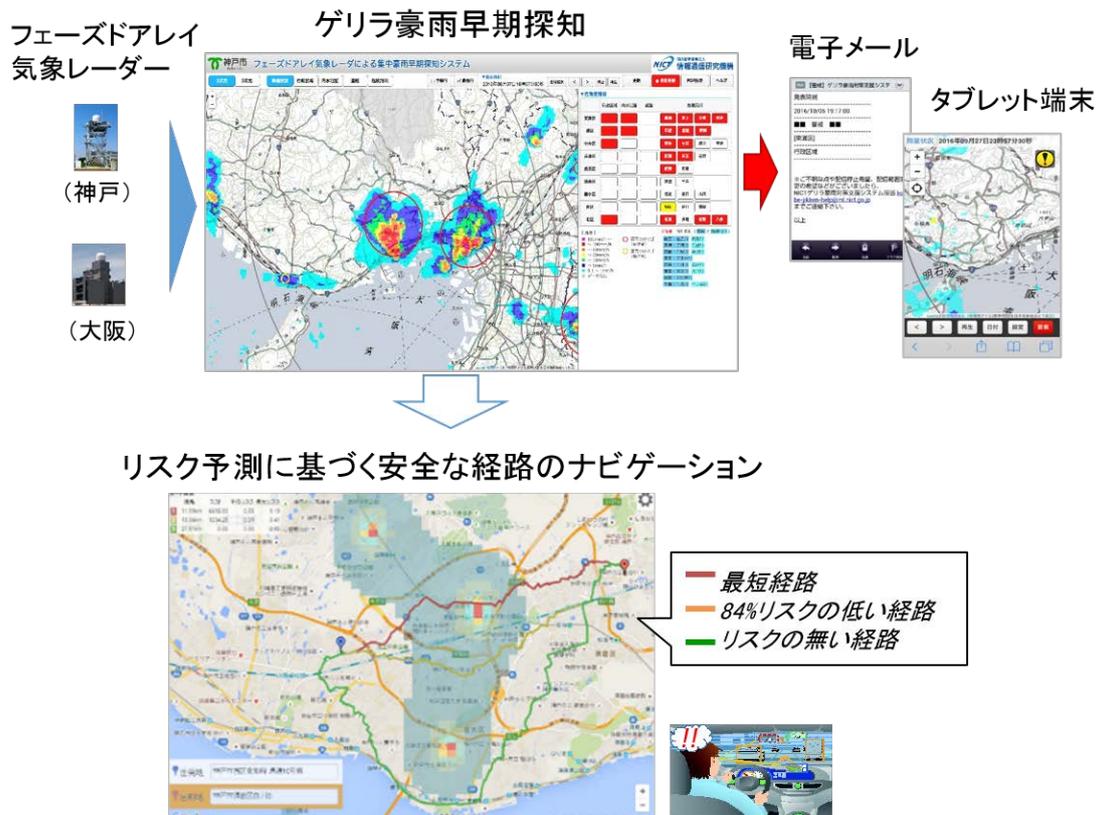


図3-5 ゲリラ豪雨対策支援システムと行動支援への応用

環境対策支援のケースでは、衛星観測や地上からのライダー観測などを使って取得された大気環境データをもとに、大気モデルによるシミュレーションを用いて予測する技術を開発している。Strech NICAM-Chemモデルは、計算のグリッドの稠密さを場所により柔軟に変更可能であることから、地球規模から市町村や道路レベルまでの大気汚染をスケラブルに予測することが可能となる(図3-6)。このような予測技術は世界的にも類を見ない。今後、アジア圏の広域な越境汚染も加味して、生活空間の局所的な大気汚染を数時間~数日前に予測できるようにすることを目標としている。また、大気汚染データと疫学データの相関分析により、上気道疾患や肺

炎などの健康リスクを予測し、健康管理に役立てる応用にも取り組んでいる。さらに、携帯型の小型センサを使った生活空間レベルでの観測データ収集や、移動経路に沿った大気汚染曝露量の予測にも着手している。

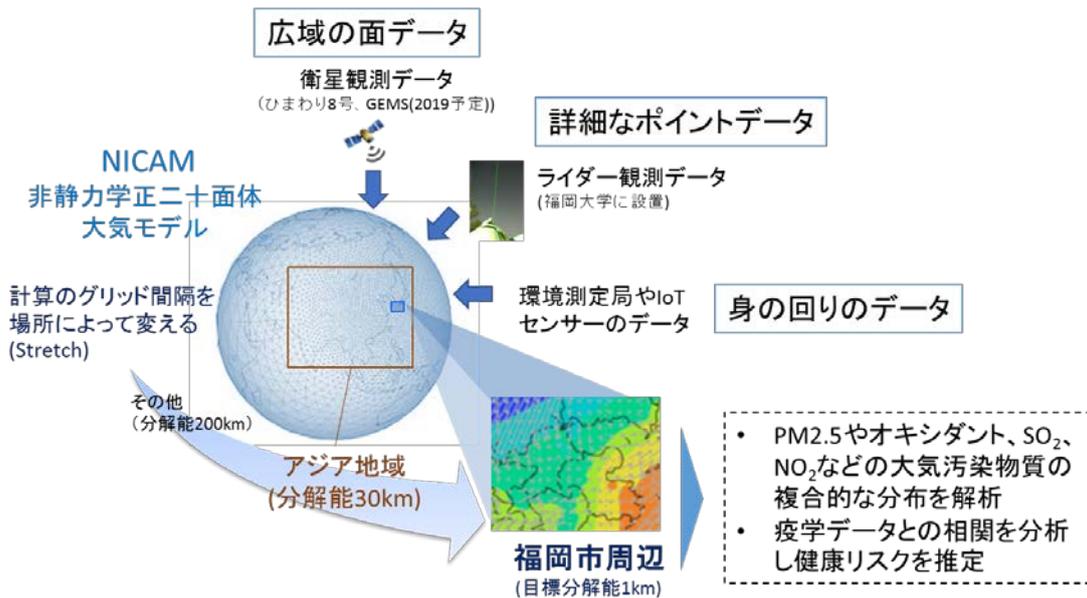


図3-6 Stretch NICAM-Chemモデルに基づく大気汚染データの同化・予測

これらにより、様々な分野のIoTデータを収集・統合した上で、環境変化から人々の動きまで様々な事象（イベント）に関する情報を抽出し、時空間的・意味的な相関性をデータマイニング技術（イベントデータウェアハウス）により発見・予測することが可能になる（図3-7）。さらに、データ指向IoTシステムの開発を用いて分析と連動し、様々なデバイスを使ったデータ取得や行動支援を効果的に行うための取組を進める。これらの実空間情報分析技術の基盤技術は、NICT総合テストベッド上に実装し、ソーシャルビッグデータなど多種多様な情報源から配信されるIoTデータを利活用しながら、ゲリラ豪雨対策支援や大気汚染対策支援をモデルケースとして、様々な社会的課題を解決するための実証システムを構築している。また、スマートIoT推進フォーラム異分野データ連携プロジェクトにおいて、技術的課題の検討や提言を行っている。

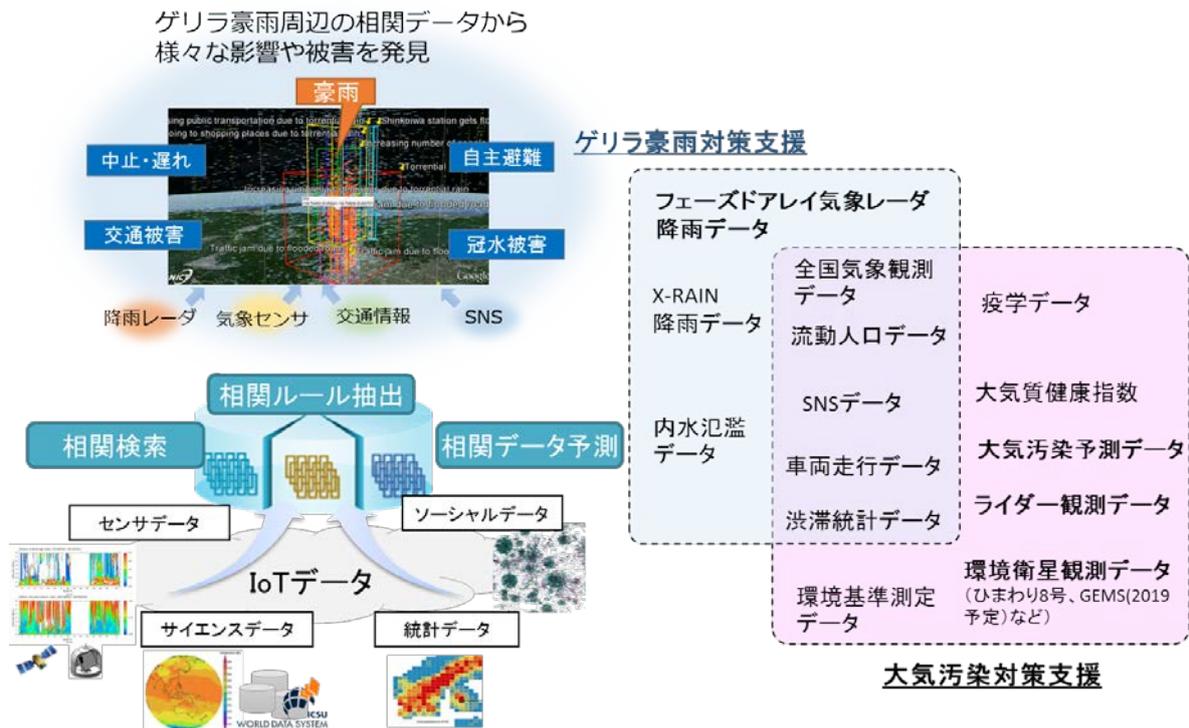


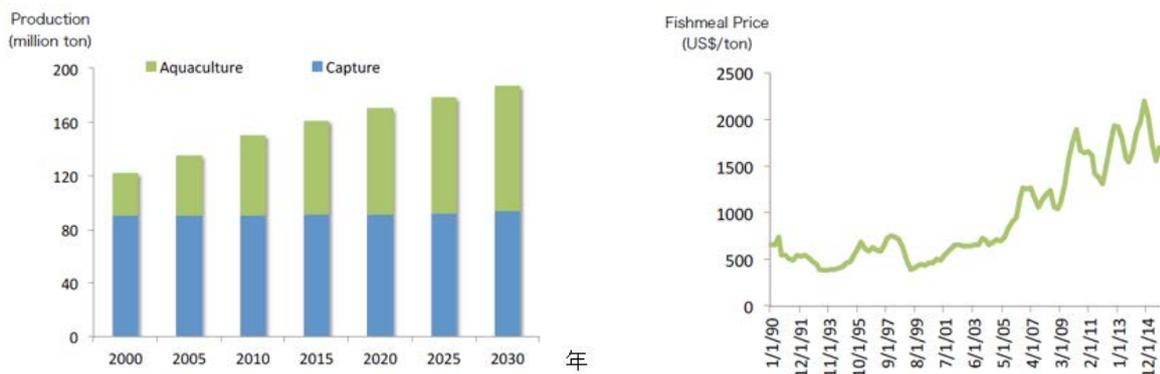
図 3-7 イベントデータウェアハウスによる異分野データの収集・統合と相関分析

3-2-1-4 衛星データを活用した新たなビジネスの台頭

近年では日本においても、ベンチャー企業を中心として、衛星データを利活用した新たなビジネスが台頭している。ここでは成功している二つの事例を取り上げる。

- 衛星データ×水産業ビジネス：

現在、水産養殖生産は世界的なプロテイン需要を受けて急成長を続けている。水産養殖は世界で13兆円市場を持つ（図3-8左図）が、水産物の主要供給源である天然の漁獲高は停滞しているため、養殖生産が重要度を増している。一方で、養殖における魚の餌代は、その需給ひっ迫により高騰を続け、生産コストの約半分を占めるに至っている。例えば、サーモン養殖事業者において生産コストに占める餌代の割合は48%である。ところで、餌の原料であるイワシやニシンなどの魚粉（乾燥粉末）が、その漁獲高の停滞と需要側の増加により、魚粉価格はこの10年で3倍に高騰しており（図3-8右図）今後も更なる餌代の高騰が懸念されている。ウミトロン社では、人工衛星による海洋環境データと生簀内の魚群行動のデータを利活用することにより給餌の量とタイミングを最適化、餌量の削減サポートを行うビジネスを展開している。



出典：「宇宙×ICTに関する懇談会(第2回)」資料(平成28年12月20日)

図3-8 水産養殖の生産量(左図)と餌代(右図)

● 衛星データを含む気象情報を駆使した新たな価値の創造：

ウェザーニューズ社では、気象衛星観測データや独自の地上観測ネットワークに加え、「感測データ」と呼ぶ数万人規模の個人のアプリからの情報を位置情報と連動させて運用している。これにより、例えば、観測では捉えきれない雨と雪の境界を都市レベルで捉えるなど、新たな気象リスクコミュニケーションへの応用を図っている。このように、気象に関わる様々かつ独自のビジネス・サービスを展開し、また、これらのサービスに最適化した独自の小型衛星の打上げまでのビジネスエコサイクルを展開している。

3-2-2 2030年の実現イメージ

- ◆ 光学センサやSAR(合成開口レーダ)センサを搭載したリモートセンシング衛星については、空間分解能の向上に加え、ハイパースペクトルセンサのデータやSARの高次解析データ等の高付加価値データの利活用が進展。
- ◆ 特に光学衛星データは、コンステレーションによる運用により、観測頻度・時間分解能が向上することにより、連続観測データを重視する産業等での活用が進展。
- ◆ 気象系の科学衛星についても、データの国際的な連携・交換の進展により広域かつ連続的なデータの入手が可能となることにより、非宇宙系事業者によるビジネス活用が一般化。
- ◆ AIやビッグデータ解析の普及・高度化により、宇宙データが、IoTデータやSNSデータ、地上系オープンデータ等との容易に連携されるようになり、宇宙分野以外の様々な異業種分野における新ビジネスが台頭。

3-2-3 実現に向けた課題

- ◆ 今後、産業界が宇宙データを継続的に取得し、ビジネスへの利活用ができる環境を維持すべく、我が国として、地球観測衛星の開発・運用の維持継続に努めることが必要。

- ◆ 宇宙データのフォーマットについては、国際的な標準化を推進することが望ましい。しかし、現状では、地球観測系データは、利用分野ごとにその特徴に適したデータフォーマットが選択されていることや、国・地域ごとに利用されるフォーマットが異なることなどに鑑みると、中長期的課題と考えられる。
- ◆ 宇宙データは、一般に、地上系データと比較して、扱うために要求される専門性が非常に高いことから、宇宙関係の研究者以外の者が扱うことが困難。このため、異分野の事業者による宇宙データを活用したビジネス創出環境には、非宇宙系事業者が扱えるようにするために宇宙データの高度処理サービスを提供できる仕組みが必要。
- ◆ 宇宙データと他のIoTデータやSNSデータ等を連携させ、新たな価値の創造を促進するためには、様々なフェーズや切り口における仕組みが必要となる。例えば、①異種・異分野の実空間データを統合し、横断的に分析するためのデータ形式や情報モデルの共通化、②時空間的・意味的な相関性の分析・予測技術、③第三者のデータを安心・安全に利活用するためのトレーサビリティ技術やデータの真贋性保証技術が必要となる、また、④分散した大量のデータを効率良く流通させ、スケーラブルなデータ利活用を実現するためのデータ流通処理基盤、⑤その上で価値ある情報を、課金を伴って流通させる仕組みも必要となる。このように、データの「取得・収集」から「流通・管理」、「統合・分析・情報抽出」、「提供・利用」までの各フェーズにおいて、データ利活用の総合的な研究開発を推進するとともに、最新技術を実装したテストベッドにおける実証を推進することが重要（図3-9）。さらに、市民サイエンスやガバメント2.0など、国や自治体、市民や企業、研究機関などが、共通の科学的・社会的課題の解決に向けデータの収集や分析、フィードバックなどを協力して行うオープンイノベーション活動の推進も重要。

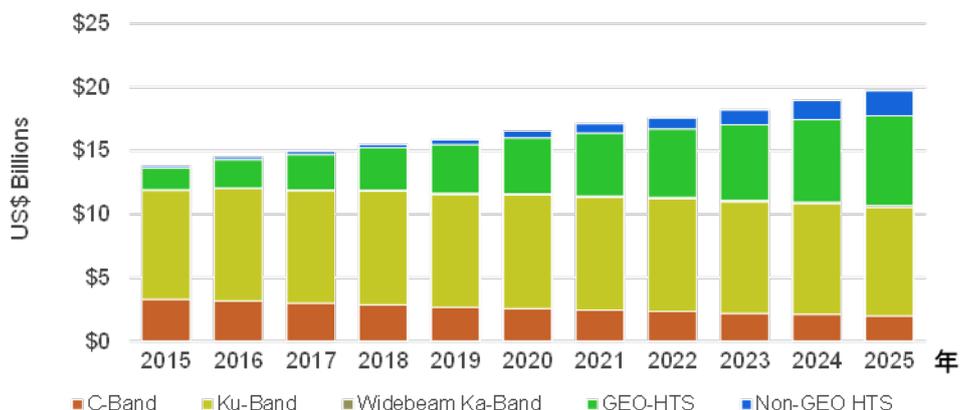


図3-9 データ利活用の研究開発推進フェーズ

3-3 ブロードバンド衛星通信ビジネス分野

3-3-1 現状

大容量中継器を搭載した静止衛星や、多数の低軌道小型衛星のコンステレーションによるブロードバンド衛星通信サービスが世界規模で提供されつつある。HTSの普及によってビット単価は低下するが、全体の収益としては拡大が予測されている。



出典: "Global Satellite Capacity Supply and Demand, 13th Edition", July 2016, Northern Sky Research

図3-10 世界の通信衛星の収益予測

衛星経由のIoTサービスは、地上系ネットワークと、比較すると現状ではその規模は必ずしも大きくないが、地上系ネットワークでカバーできない場所へのサービス程度には、衛星通信が有効である。周波数帯としては、Lバンド及びKuバンドを用いたシステムが主流である。例えば、インマルサットBGAN (Broadband Global Area Network) では、航海用電子海図、油田・鉄道・道路等のインフラ監視、スマートメーター、気象環境モニタリングなどのサービスをLバンドで実現している。また、Kuバンドは、航空機、石油・ガス等のユーティリティ、グリーンエネルギーアプリケーションなど、主としてデータ伝送量が大きい分野で使用されている。

国土交通省では、海上ブロードバンド通信の発展を背景に、船舶機器のインターネット化 (IoT) やビッグデータ解析を活用し、船舶の安全性向上を実現する先進的な船舶やシステムの研究開発から実運用化を促進している。また、効率的な海洋資源調査のためのブロードバンド通信化、海洋環境モニタリング、津波・巨大波の監視・警報発令なども海洋での利用において望まれている。静止衛星移動局側のアンテナ小型化・消費電力等の負担軽減のため、衛星側のアンテナの大型化に加え、アンテナの指向性を向上させることと平行して、要求に応じた柔軟なマルチビームアンテナ (広帯域デジタルビームフォーミング技術) の開発が必要となる。

3-3-2 2030年の実現イメージ

- ◆ 静止衛星や、低軌道衛星によるコンステレーションにより、衛星の総容量でテラビットクラススループットのブロードバンドサービスが提供。
- ◆ 低軌道の衛星によるコンステレーション衛星によるブロードバンドサービスは、超高速サービスに加えて、低遅延性で静止衛星を補完するサービスを提供。
- ◆ 船上、航空機上のほか、山岳地域、砂漠、極域、宇宙など、人の居住域以外でも、居住域と同レベルのブロードバンドサービスの提供が可能。

- ◆ 衛星通信は、地球上のあらゆる場所、宇宙空間に対して、IoTインフラや、5Gと同等のインフラとしての役割を提供。航空機や船舶の自動航行のための基盤インフラとして活用。
- ◆ 航空機や船舶向けの衛星通信によるブロードバンドサービスが、地上系ワイヤレスネットワークと同等のサービス品質・コストにより提供。
- ◆ リモートセンシング衛星の分野においては、更なる高解像度化と小型化が実現され、宇宙空間からの大容量データダウンリンクが実現。

3-3-3 実現に向けた課題

2030年までに上述の衛星通信を実現するためには、膨大な通信帯域が必要である。さらに、5G・IoT、テラビット級の次世代HTS、無人航空機（UAV：Unmanned aerial vehicle/ UAS：Unmanned Aircraft Systems）、低軌道衛星等、静止衛星、陸海空といった多様なユーザ端末が大量にネットワークに接続される。その形態は、周波数帯、伝送速度、端末数、アプリケーション等による様々なものが混在することになる。また、現時点の衛星通信システムにおいては、実装スペース、CPU処理速度等のリリースや技術的な制約のため考慮されていなかった問題点、例えば、サイバーセキュリティに関するぜい弱性、通信周波数帯域の不足、通信システム間の不整合等が次々に顕在化するおそれがある。また、通信の研究開発に関わる研究技術者が研究機関・事業者問わず、慢性的に不足することが懸念される。

具体的には次の諸課題が挙げられる。

- ◆ サービス単価低減に関する課題
 - ✓ 衛星通信オペレータやユーザからの地上系ワイヤレスネットワークと遜色のない通信品質とサービスコストに関する要望が非常に強い。この要望を満たすには、限られた衛星搭載リソースに出来るだけ多くのトランスポンダが搭載できるように、それぞれの通信コンポーネントの小型、軽量、高効率化（特に増幅器）等を進める必要。
- ◆ 通信帯域の高効率利用に関する課題
 - ✓ 通信帯域端末群を適切に収容し制御するための衛星、無線通信帯域及びネットワーク制御に関わる統合的な技術の開発が必要。
 - ✓ 衛星通信が利用している無線通信帯域は、従来に比べ、高い周波数へと移行しつつある。しかしながら、Kaバンドという比較的高い周波数帯ですら、5G向け帯域と競合する。そのため、更に高い周波数帯の利用に関する研究開発を進める必要。
 - ✓ 既に日本国内においては、ミリ波やテラヘルツ、光波による通信実績や研究基盤に加え、ナノスケールに関するデバイスに関する研究開発基盤や、知見を十分有していることから、これらのアドヴァンテージを十分に生かすことが有効。

具体的には、高周波への移行などによる衛星側のアンテナの小型化光通信機器を一次に高速化・小型化する技術開発などが挙げられる。

◆ ネットワークセキュリティに関する課題

- ✓ 現時点において、衛星上におけるリソースや技術的な制約上、暗号技術の実装が容易ではない。さらに、制約がより厳しい超小型衛星の普及に伴い、衛星回線の情報セキュリティ上のぜい弱性が、社会問題として顕在化する蓋然性が大きい。このため、衛星搭載に適した安全性と実装性とを両立する暗号化技術の開発が必要。

◆ 日本国内における研究開発の仕組みに関する課題

- ✓ 新たなサービス創出を支援するための環境整備を行う必要。
- ✓ 国内小型衛星ベンチャー等を巻き込んだコンソーシアムを形成し、打上げ手段の確保や、技術実証ができる協カスキームを形成し、日本として競争力を確保可能な体制を構築する必要。
- ✓ 管制技術を含めて、5G・IoTとブロードバンド衛星通信ネットワークとの連携に関する技術検証及びサービス実証を実施するためのオープンな研究開発環境の整備が必要。
- ✓ 日本が、現時点において競争力を有しているデバイス分野、光通信分野を生かす戦略が必要。

現在、総務省及びNICTでは、2021年に打上げ予定の技術試験衛星9号機に搭載される通信機器の開発が進められている。上述の課題を解決に向けて実証実験項目を取り込み、衛星実験の初期段階にて実施することにより、速やかに実用システムに展開することが肝要である。

IoTが進展しつつあり、地上の次世代移動通信技術である5Gが2020年頃には実用化されていると予想されている。このような状況下において、衛星通信サービスの役割、ポテンシャル、諸外国における衛星通信サービス動向に鑑みると、IoTが有効な空間は、地球上の海洋域や、上空だけではなく、宇宙空間まで広大な空間へと広がるものと考えられる。多彩な通信技術間の連携を加速するため、5G・IoTとブロードバンド衛星通信ネットワークとの連携に関する技術検証及びサービス実証を実施する必要がある。また、グローバルでオープンな研究開発環境の整備も必要であり、衛星通信サービスを基盤インフラとしてどのように整備するかを議論する必要がある。

3-4 ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス分野

3-4-1 現状

我が国における惑星資源探査ビジネスに向けた具体的な活動として、月面資源探査を目的としたベンチャー企業として2010年に設立されたispace社が、東北大学等と構

成したチーム「HAKUTO」によるGoogle LUNAR XPRIZEへの参加が挙げられる。Google LUNAR XPRIZEはGoogleがスポンサーとなり開催されている純民間による月面ロボット探査の国際レースであり、2017年末までに指定ミッション(500m走行及び映像パッケージ送信)を達成したチームに2,000万ドルの賞金を授与するものである。世界中から16チームが参加し、我が国からは、チーム「HAKUTO」が参加している。これらは将来の月における水資源探査に弾みをつけるものと思われる。

水資源探査の有力な候補の一つとして、水に敏感に反応し小型化軽量化が可能という特性を持ったテレヘルツ波によるセンシングが挙げられる。図3-11にリモートセンシングにおけるテラヘルツ周波数の有用性を示す。

前述のispace社は、「HAKUTO」でのミッション後に複数の月面ミッションを計画している。このような取組は、2019年以降の月面水資源探査にとり、テラヘルツ周波数によるリモートセンシングやセンサの小型化軽量化の実証として良い機会となる。

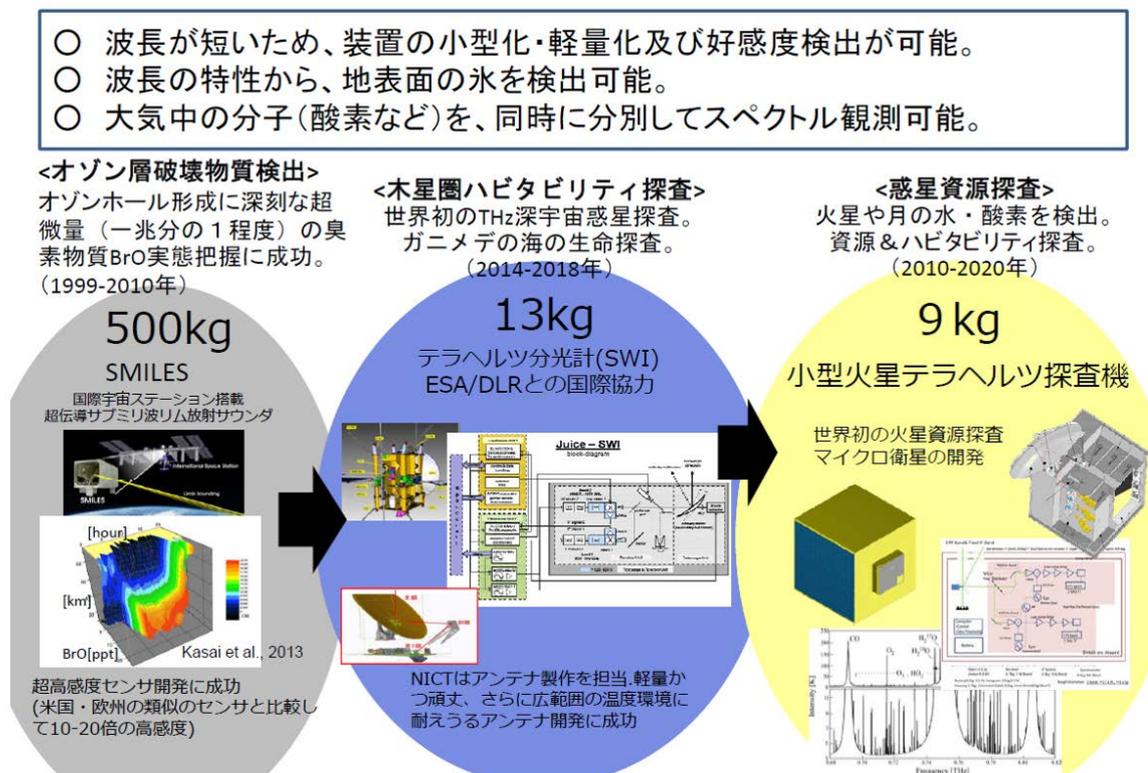


図3-11 リモートセンシングにおけるテラヘルツ周波数の互換性

3-4-2 2030年の実現イメージ

- ◆ 地球より重力圏からの制約が小さく、打上げコストの低廉化が可能な月面基地からのロケット・人工衛星の打上げビジネスが一般化。
- ◆ 月面基地でのロケット・人工衛星の製造や地球近傍宇宙圏における推進エネルギーの自立的な補給のため、月面や火星で採掘した水資源を電気分解して得られる水素・酸素エネルギーを活用。

- ◆ 火星旅行では、月を地球・火星間の中継基地として活用。
- ◆ 月・火星・小惑星における希少資源探査の実現。
- ◆ 月面基地を拠点として、衛星軌道上においてロボティクス技術を活用した衛星組立てビジネスが開始。

3-4-3 実現に向けた課題

月面、小惑星、火星等における宇宙資源探査を効率的に実施するため、小型探査機に搭載可能な小型かつ軽量のセンサの開発が必要となる。また、将来的には、月面・小惑星・火星における資源探査が活発化することにより、地球と月、小惑星、火星との間で安定的に通信を確保するための周波数有効利用技術の開発が必要である。

3-5 宇宙環境情報ビジネス分野

3-5-1 現状

NICTでは、世界に先駆けて1988年から宇宙天気（宇宙放射線や地磁気嵐などによる宇宙環境の変動）の現況及び予報に関する情報を配信している。情報は、週末・休日を含む毎日15時頃に、電子メールの送信及びWebサイトへの掲載によって配信されている。電子メールは約1万件の登録がされており、Webサイトのアクセスは月間16万件にのぼる。

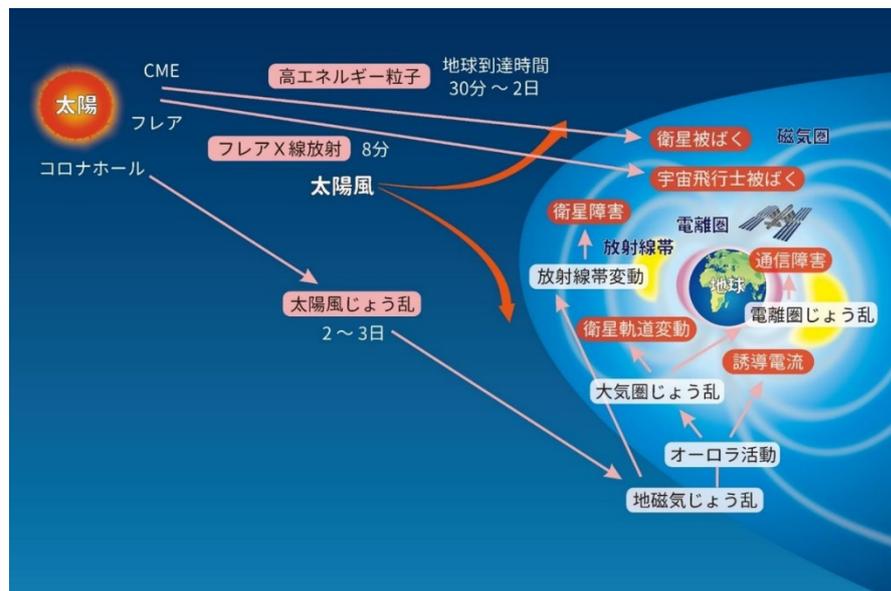


図3—12 宇宙天気現象の発生と障害

宇宙天気の現況把握及び予報に必要な観測データは、主に地上観測を中心に自らが観測するほか、国際連携の下で情報共有することによっても取得している。地上観測としては、国内の4つの観測拠点（稚内、国分寺、山川、大宜見）及び南極昭和基地において電離圏定常観測を行うほか、研究ベースで東南アジアに現地研究機関と協力して観測を行っている。

NICTでは、宇宙天気予報精度向上を目的とした研究開発として、太陽から地球の各領域についてのモデル・シミュレーションの開発を進めている。最近では、機械学習の手法を用いた太陽面爆発（太陽フレア）の発生予測の研究が、世界トップレベルの成績を収めた。

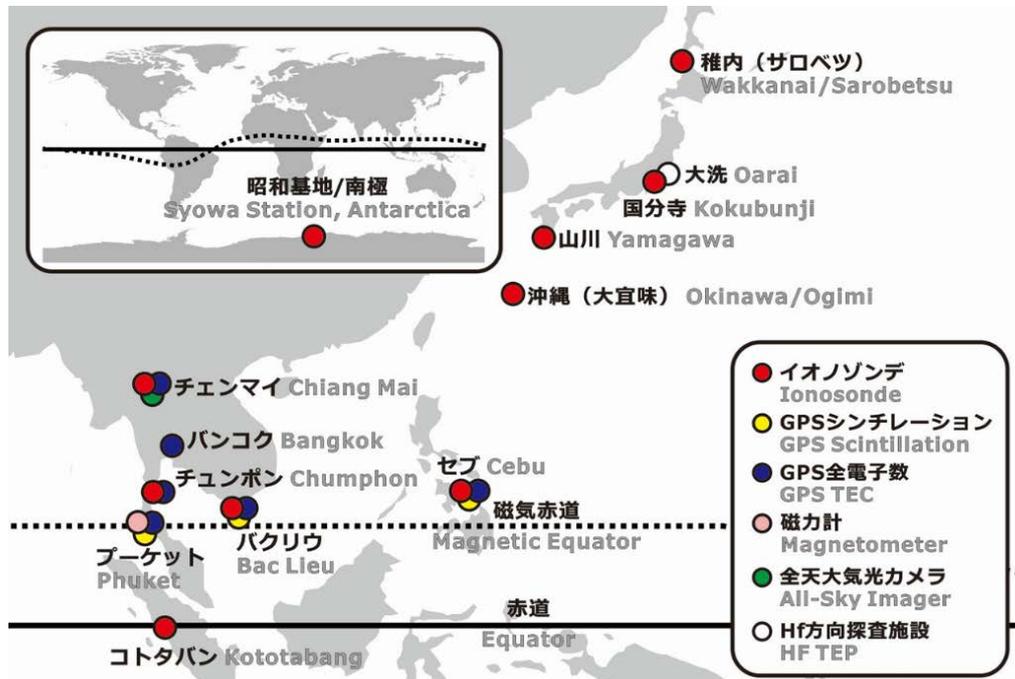


図3-13 宇宙天気の観測地点

さて、高度80~1000kmにある電気を帯びた領域を電離圏、その構造の乱れを電離圏擾乱と呼ぶ。電離圏擾乱は、衛星測位の最大の誤差要因であり、擾乱が大きい場合には利用そのものできなくなることもある。このような擾乱には、低緯度地域で問題となる現象にプラズマバブルと呼ばれるものがある。これは電離圏の中にできる空洞であり、磁気赤道（地磁気の方法が水平である場所）を中心に南北に長く延びる構造を持つ。測位衛星から放送された電波がプラズマバブルを通ると、異常伝搬を起し伝搬遅延を引き起こすほか、ロック損失（衛星からの信号が地上の受信機に届かなくなる現象）により利用できなくなることもある。

プラズマバブルの発生そのものを予測することは、現在では困難であるが、発生したものを監視し追跡する技術は開発されつつある。今後、準天頂衛星システムをはじめとする衛星測位ビジネスを、東南アジア等低緯度地域で展開する場合には、その測位精度を保証するために電離圏監視が必須のものとなる。また、現在、民間航空運用における宇宙天気情報の利用について国際民間航空機関（ICAO）において議論されているところ、低緯度地域でのプラズマバブルの影響は大きく、その監視及び追跡が重要な要素となる。

3-5-2 2030年の実現イメージ

現在、ICAOにおいて航空機の運行責任者に対して提供が義務付けられている気象情報に、宇宙天気情報を追加する検討が進展。現在の動向では、2020年代には我が国を含むICAO加盟国において、宇宙天気情報の航空運用利用が義務化される見通しである。

- ◆ 航空運用のみならず、広く電波利用者や宇宙開発関係者も含め、よりきめ細やかな宇宙天気情報（個々の衛星への具体的リスク情報、短波のより正確な伝搬情報、電力網への詳細な影響解析サービス、宇宙機及び航空機での被ばく量推定量等）の提供。
- ◆ 準天頂衛星システム利用の海外展開が活発化。低緯度地域で発生する電離圏擾乱の正確な情報を用いることで、国内と同程度の衛星測位ビジネスの東南アジア展開が促進。
- ◆ 大規模宇宙天気災害に対する備えとして、影響を定量的に見積もるとともに、対応シナリオが関係事業者で検討されリスクマネジメントが浸透。

3-5-3 実現に向けた課題

ICAOが航空機に対して提供する宇宙関連情報の提供主体として、ICAO宇宙天気センターが世界で数か所設置される見込みである。ICAO宇宙天気センターを我が国に設置するか否かは、惑星有人探査など我が国の将来の宇宙開発の在り方にも影響する可能性があることから、同センターが我が国に設置されるよう適切な対応が必要である。

準天頂衛星システムをはじめとする衛星測位ビジネスを東南アジア展開する際に、電離圏擾乱や衛星測位誤差、可用性リスクを定量的に調査し、衛星測位を補完・補強することで国内と同程度の衛星測位精度を発揮するための技術開発が必要となる。また、低緯度地域における衛星測位の精度向上のために、観測点の少ない海上における電離圏観測を行う必要がある。

近い将来に発生すると考えられる大規模宇宙天気災害に対しては、今後早急に、精度の高い対応シナリオを関係事業者とともに作成する必要がある。しかしながら、その前提となるデータについては、現時点においては大まかな経済的損失額が推定されているのみである。したがって、関係事業者の理解・強力を得るためには、まずは、国際航空運用や我が国の電力網への影響など経済的インパクトの大きな事象を中心に、我が国の現状に即した定量的な被害推定を行うことが必要となる。

3-6 宇宙×ICTを支える基盤技術

3-6-1 衛星セキュリティ技術

宇宙産業の急速な発展に伴い、今後、衛星観測網や衛星通信網には、ますます多くの重要情報やビジネスチャンスにつながる価値の高い情報が流れていくことから、衛星へのサイバー攻撃が増えることが懸念される。実際、現時点においても衛星回線の傍受によりIPアドレスを窃取した上で、ユーザになりすまし衛星をマルウェアに感染

させ、標的サーバのデータを衛星回線経由で抜き取る事案（カスペルスキー社2015年9月11日）、リモートセンシング衛星の制御を乗っ取る事案（A. Capaccio and J. Bliss, "Chinese Military Suspected Hacker Attacks in U.S. Satellites" 2011年10月27日 [https://www.bloomberg.com/news/articles/2011-10-27/chinese-military-suspected-in-hacker-attacks-on-u-s-satellites.](https://www.bloomberg.com/news/articles/2011-10-27/chinese-military-suspected-in-hacker-attacks-on-u-s-satellites)）、通信衛星へのサイバー攻撃により衛星放送のサービスを停止させかつ衛星軌道を変更させる事案（青木節子、国際法外交雑誌第115巻第4号、p. 357-380、2017年1月、第三章第6節）などがこれまでに報告されている。したがって、マルウェア対策の実装はもちろんのことだが、万が一盗聴がされた場合でも、機密情報が悪意のある第三者に漏えいしたり、データの改ざんやコマンドの偽装がなされたりしないように、衛星回線で送受信するデータを適切に暗号化する必要がある。

また、衛星へのサイバー攻撃の影響は、衛星それ自体に留まらない。例えば、自動走行車や無人航空システムなどの新しい移動体システムも、衛星からの測位情報に大きく依存するため、測位情報の改ざんは甚大な被害につながるおそれがある。さらに、将来のコンステレーションによるグローバルネットワーク構築においては、攻撃対象となるノードが増加し被害の規模も甚大になるため、より一層の衛星通信におけるセキュリティの強化が求められる。

しかし、衛星には、実装スペースや演算素子の処理速度に制約があるため、地上系の情報セキュリティ技術をそのまま実装するのは困難である。さらに、回線容量もアクセス環境も限られるため、把握したぜい弱性を適時にマルウェア対策ソフトや暗号仕様を更新するのは容易ではない。また、衛星通信の傍受により盗聴したデータを蓄積しておけば、その時点では解読できなくても、将来、高度な解読技術や十分な経産資源が利用可能となった時点で過去に遡って解読されることも懸念される。現行の暗号技術は、暗号文を解読するのに膨大な計算を要するという数学的対策（計算量的安全性）を拠所としているため、この危険性（暗号の危殆化）から逃れることはできない。この問題を抜きにしても、時代の進展に伴い暗号方式や鍵長の仕様更新が求められる仕組みであるが、衛星通信システム上での対処は容易ではない。このように、衛星の情報セキュリティ対策は、これまで地上系で使われてきた情報セキュリティ技術の単純な改良のみでは立ち行かないのが実情である。したがって、衛星搭載に適した実装性と安全性とを両立する新しい仕組みの導入が必要である。

そのための重要なコア技術と期待されるのが、光子に暗号鍵情報を載せ伝送する量子暗号技術である。この技術を活用することにより、離れた二者間で、第三者に知られることなく、共通の真性乱数（予測と再現が不可能な乱数）を共有することが可能となる。このようにして共有した真性乱数を、送信データと同じサイズだけ用意して暗号鍵とすることで、どれ程の計算力をもってしても解読できない安全性（情報理論的安全性）を備えた通信を実現できる。これは、衛星の制御信号や重要データの機密性（正当な権限をもつ限られた者のみが、情報や資産を見たり触れたりできるように保護・管理されていること）を保証する上で極めて有用である。また、データの完全

性（改竄されてないこと）を保証するための電子署名や認証のほか、パスワード管理やセッション管理、アクセス制御などに用いることで、衛星通信システムの安全性を飛躍的に向上させることができる。

量子暗号技術は、地上網において、欧米や中国などで特定用途向けに実用化されている。しかし、光ファイバ内での減衰は不可避であるため、量子暗号技術による暗号鍵の伝送距離には限界がある。現時点において、光ファイバ上での直接伝送距離は300km程度であり、それを越える範囲では「信頼できる中継局」を介した鍵リレーにより長距離ネットワーク化を行わざるを得ない。また、この鍵リレーは、その仕組み上、大陸間を繋ぐ量子暗号の適用が困難である。

これに対して、衛星光通信では、大気圏での光減衰以外は無視でき、しかも、その減衰量は光ファイバよりも小さいため、大陸間スケールでの量子暗号を実現することができる。さらに、衛星光通信は、電波帯で通信を行うより格段に超大容量の通信を小型装置で省電力に実現できるため、ハイスループットのデータ伝送を実現する手段として急速に進展している。そのため、量子暗号は、衛星光通信と共通の技術を基盤としており、今後の衛星通信の技術動向と高い親和性を持っている。

① 2030年の実現イメージ

- ◆ 量子暗号技術等を用いることにより、制御信号や重要データの機密性・完全性を確保。
- ◆ 大型の静止軌道衛星に加えて、コンステレーションを構成する超小型衛星への搭載に適した暗号技術の軽量化実装技術を実現。
- ◆ 量子暗号の鍵を電子署名や認証のほか、パスワード管理やセッション管理、アクセス制御などに用いることで、衛星通信システムの安全性を飛躍的に向上。
- ◆ 大型衛星からコンステレーションを構成する超小型衛星まで適用可能な情報セキュリティ技術の実現により、衛星の盗聴、改ざん、乗っ取りを防止。
- ◆ 重点4分野の基本インフラを構成する各種衛星の情報セキュリティを担保することにより、重点4分野におけるビジネスの安定的成長の基盤を確保。

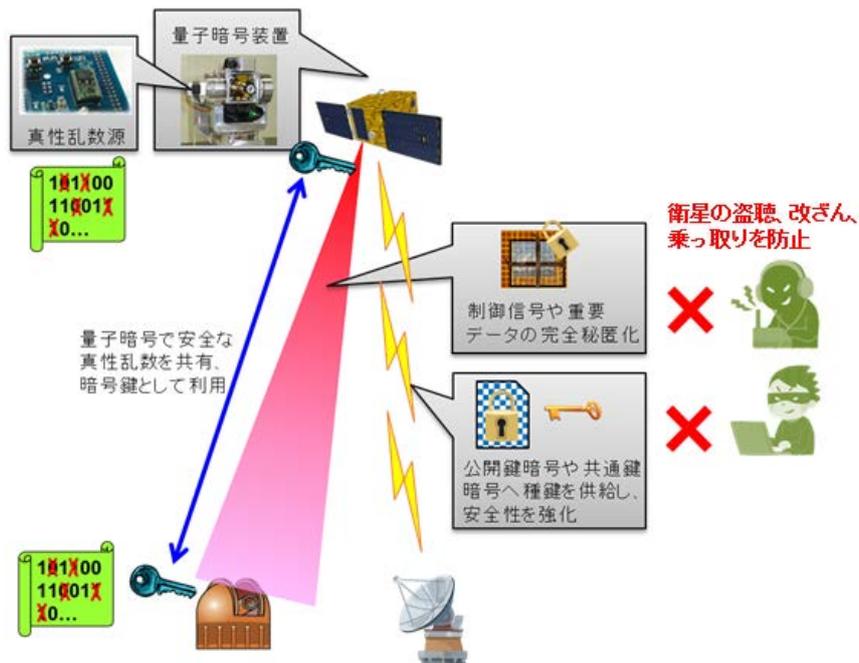


図3-14 2030年における衛星セキュリティ技術の実現イメージ

② 諸外国の動向

- ◆ 中国は、2016年8月、世界初の量子暗号通信衛星「Mozi（墨子）」を打ち上げ。2017年6月には、1,200km離れた2つの地上局（チベット高原にあるデリンハ及び中国南西部にある麗江の地球局）に向けて衛星から量子もつれ配信を行う実験に世界で初めて成功し、アメリカの科学誌Scienceにその成果を発表。これらの中国国内の地上局と欧州の複数の地上局との間で、量子暗号鍵配送実験を実施予定。カナダ宇宙庁とウォータールー大学が衛星量子暗号プロジェクトQEYSSat Missionを推進中。
- ◆ オランダ応用科学研究機構が2022年頃に衛星量子暗号通信実験を計画。
- ◆ 米国の動向は機密扱いとされているため不明。

③ 要素技術の研究開発ロードマップ

図3-15に、要素技術の研究開発に関するロードマップを示す。衛星搭載用暗号技術の実用化を目指し、衛星通信用軽量暗号化技術の研究開発を進める。また、次世代光・量子暗号通信技術の実用化を目指し、衛星・地球局間のレーザ捕捉・追尾技術の高精度化、光子検出器の高速・高感度化、衛星用鍵蒸留システム、光伝搬視野特性モニタ・解析技術の研究開発を実施する。

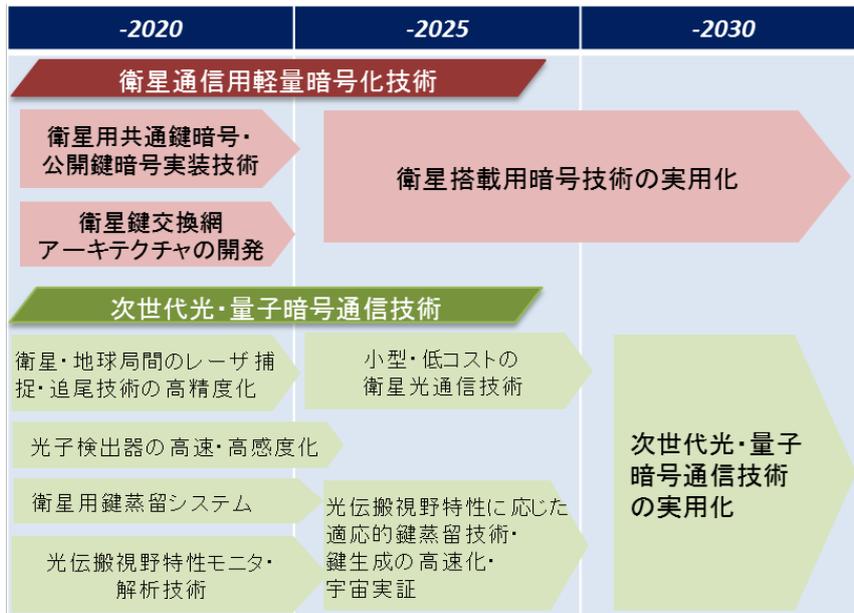


図3-15 要素技術開発のロードマップ

3-6-2 テラヘルツ技術

テラヘルツ無線の研究開発が始まったのは、2000年頃である。100GHzを超える周波数を利用した無線技術の先駆けは、NTTにおいて開発された120GHz帯無線である。2002年、電波を使用した無線通信において世界初となる10Gbps伝送が実現されている。2007年以降、テレビ放送での番組素材映像の非圧縮伝送への適用を目指し、通信距離の延伸及び無線装置の可搬性の向上を目的にInP HEMT MMIC (monolithic microwave integrated circuit) を使用した無線装置の開発が進められた。無線装置の送信出力は最大で40mWまで増加するとともに、10Gbps級誤り訂正符号化技術による最少受信感度の向上により、10Gbpsデータの5.8km伝送に成功している。また、多値変調や偏波多重によって、20Gbpsが得られている。2014年1月には、総務省より番組素材中継を行う無線局等の無線設備規則の一部を改正する省令が施行され、116~134 GHz が放送用途に割当てられた。

2008~2010年頃には、更なる高速化(40~100Gbps)を目指し、200~300GHz帯の開拓が世界的にブレイクした。化合物半導体を用いた光デバイスや電子デバイスだけでなく、現在のコンシューマエレクトロニクス産業を支えているシリコン半導体による集積回路で、テラヘルツ無線のためのトランシーバーが実現されている。

図3-16は、近年、我が国で進められているテラヘルツ無線関連のプロジェクトの代表例である。

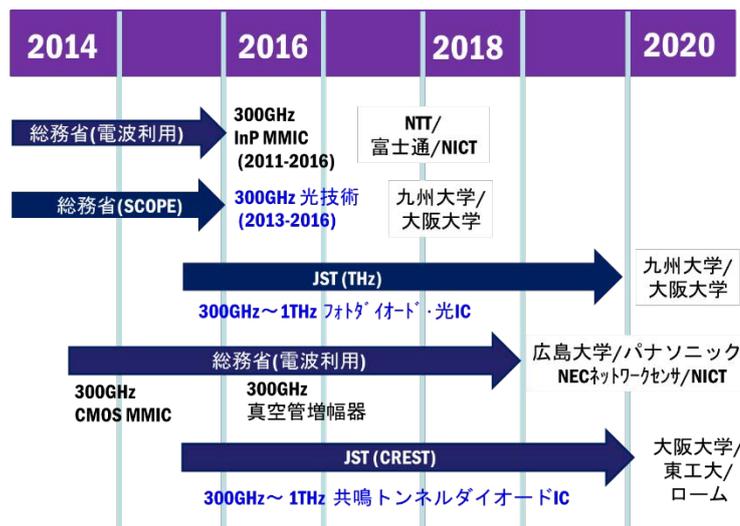


図3-16 我が国におけるテラヘルツ無線の研究開発

① 2030年の実現イメージ

上述のテラヘルツ帯半導体集積回路技術の進展は、通信応用だけでなく、テラヘルツ波のもうひとつの応用領域であるセンシング技術の発展にも多いに貢献する。図3-17は、こうしたテラヘルツ無線に関する研究開発の歴史に鑑み、2030年におけるテラヘルツ波の宇宙応用(センサ/通信)を描いたものである。

- ◆ テラヘルツ波を宇宙に活用するための様々な基盤技術(テラヘルツ帯半導体集積回路技術、テラヘルツ帯アレイアンテナ技術、テラヘルツ帯無線実装技術、大容量高速データ変復調技術等)が確立。
- ◆ それを基に、様々な応用に向けたシステム化技術(センサ/無線通信モジュールの小型・軽量化技術等)が実用化され、惑星資源探査のビジネス展開が先行して進展。
- ◆ 本格的な宇宙ビジネスへのテラヘルツ波の応用(リモートセンシング、宇宙データ利活用、ブロードバンド衛星通信、衛星上データセンタ、災害時テンポラリの小型低コスト高速通信衛星等)について、検討が進展。

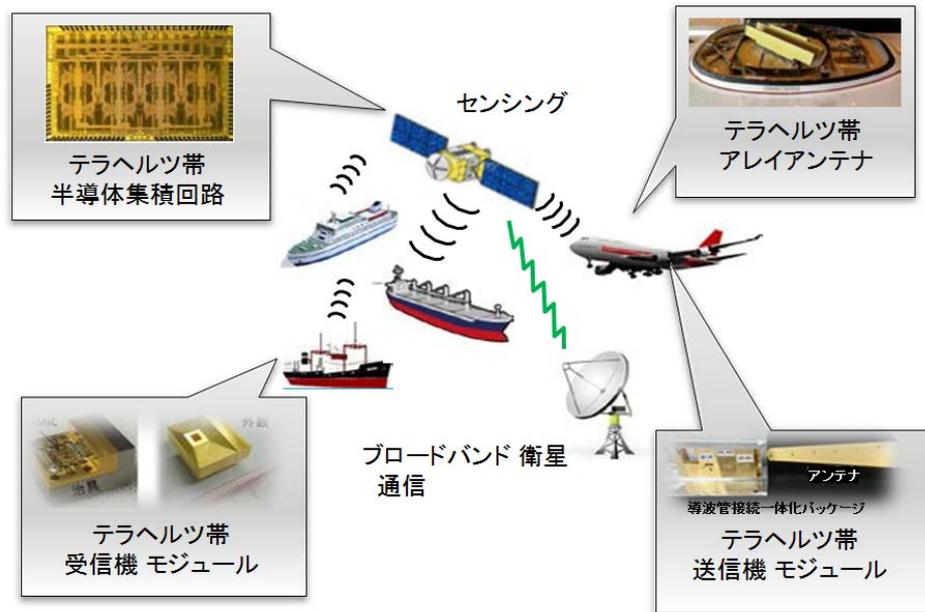


図3-17 2030年におけるテラヘルツ技術の宇宙応用イメージ

② 諸外国の動向

- ◆ 欧州は、研究開発プログラム「Horizon 2020」の中でテラヘルツ技術の研究開発を推進。注目される成果の一例としては、電子デバイス技術による300GHz近距離通信技術(64Gbps超)が挙げられる。我が国が近年注力している電子デバイス分野で競合。一方、研究者間での情報交換や交流は活発であり、標準化等の観点からも国際連携が不可欠。
- ◆ 米国では、DARPAが研究開発プログラムTHz Electronicsで、テラヘルツトランジスタと高出力増幅器モジュールの開発を実施。当該プログラムで実現された1THz帯の増幅器は、最も象徴的な成果。我が国としては、真空管を用いた高出力増幅器開発に先行して着手し差異化を図っているところ。

③ 要素技術の研究開発ロードマップ

図3-18に、今後の要素技術開発のロードマップを示す。要素技術の先鋭化と平行してシステム化技術を開発し、早期にフィールドトライアルを行うことが重要である。また、代替技術として長年研究されている空間光通信(FSO : Free-space optics)との差異化や、場合によってはオペレーション上の共存といった点に関して検討が必要であろう。

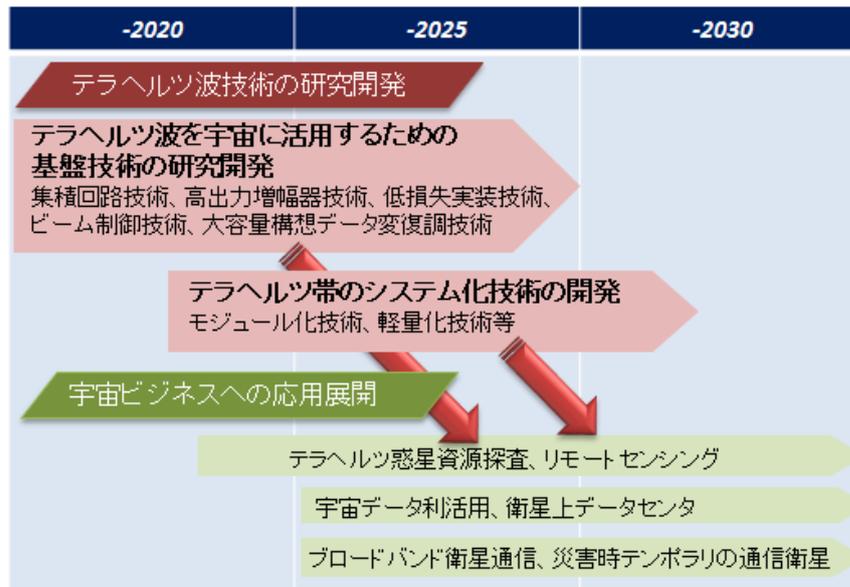


図 3-18 要素技術開発のロードマップ

3-6-3 ナノRFエレクトロニクス技術

① 2030年の実現イメージ

ナノRFエレクトロニクス技術によるマイクロ波・ミリ波のSi・RFIC（高周波集積回路）と化合物半導体MMIC（モノリシック・マイクロ波集積回路）に、制御・信号処理用アナログ・デジタル混合集積回路を用いた独創性の高いシステムオンチップである電子細胞チップは、2030年を目指した宇宙×ICTを実現するための基盤技術のひとつとなる。また、振動、熱、放射線など宇宙における耐環境性備えることで、宇宙×ICTビジネス拡大が可能となる。すなわち、以下の3つが2030年に実現されることが期待できる。

◆ 情報通信衛星のコンパクト化

高周波混成半導体回路（RF HySIC）と薄型アンテナ（図 3-19）の結合により、すべての無線機器システムのチップとなる電子細胞チップ（図 3-20）が実現され、衛星内のワイヤハーネスを除去した高速ワイヤレスセンサデータの伝送が可能なコンパクト化した情報通信コンステレーション衛星が軌道に投入。



図 3-19 衛星本体に装着できる薄型アンテナ

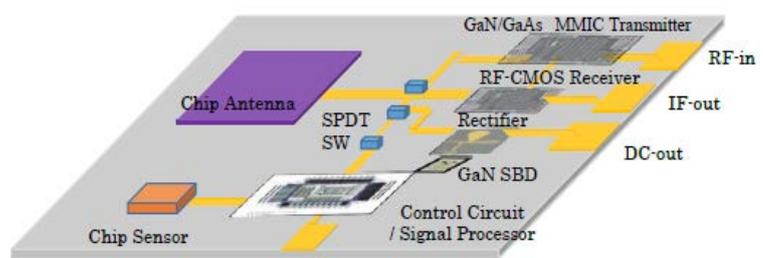


図 3-20 ワイヤレスで接続可能な電子細胞チップのイメージ

◆ 資源探査などに適用できるワイヤレス化衛星システム

衛星内部で電子細胞チップ等を用いたワイヤレス通信とワイヤレスセンサハーベスタで構成されたシステムが実用化。また、衛星内ブロック間通信ケーブルやエンジン等のモニタリングセンサ用ワイヤハーネスを無線通信で代替することにより、超小型・超軽量ワイヤレス化衛星が実現。さらに、複数の電子細胞チップによる搭載用宇宙通信集積化アレーアンテナを側面に数か所張り付けることにより、衛星・地上間及び衛星・衛星間通信における死角を除去。

◆ 情報セキュリティを保持した衛星システムの宇宙ビジネス

ナノRFによるハードとセキュリティソフトによる高い信頼性を備え、テラヘルツ通信システムを構成する超小型衛星コンステレーション（図3-21）の高精度電波追跡フェーズドアレーアンテナシステムが構築。また、衛星機能のモジュールのワイヤレス化（図3-22）により、軌道上や月でのスペースファクトリーで組み立てる（図3-23）ことが可能となり、受注から軌道投入の期間の大幅な短縮と低コスト化が超小型ワイヤレス化衛星により実証。

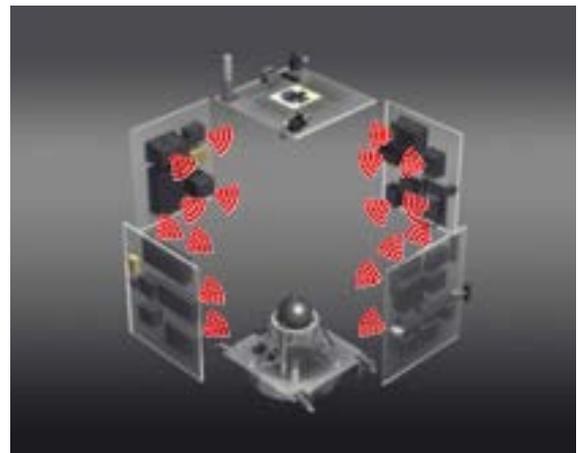
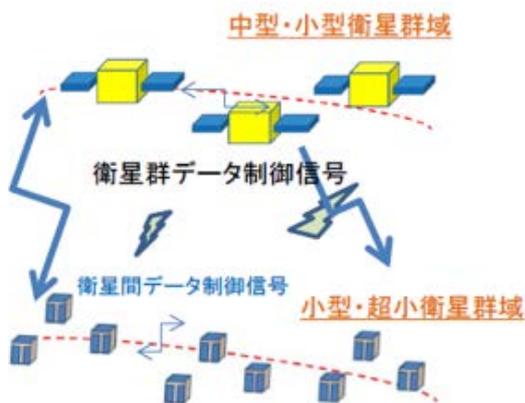


図3-21 コンステレーション衛星システム 図3-22 衛星機能モジュールのワイヤレス化

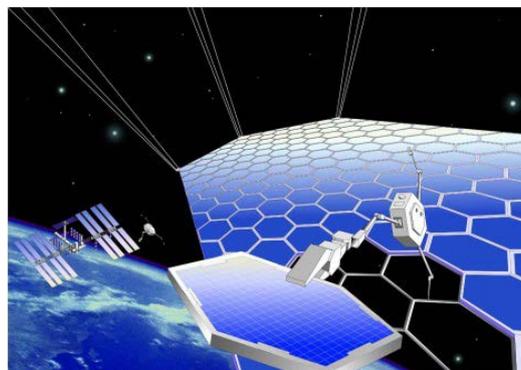


図3-23 月面工場、軌道上での超小型衛星組立て

② 諸外国の動向

現在の宇宙用ICTとしては、無線電子機器としてのデバイス、回路とモジュールの

要素技術及び情報通信に加えてエネルギーハーベスタを組み込んだフェーズドアレーアンテナなどのシステム技術が進行している。次にその例を挙げる。

- ◆ ナノRFエレクトロニクスを用いた高周波GaN及びシリコンRFICを搭載した超小型衛星の開発は、各国がしのぎを削っている状況（GaN・MMIC（仏UM-S）、ミリ波テラヘルツのシリコン高周波トランジスタ（RFCMOS（台湾TSMC）等））。
- ◆ 各種要求を満足する適応性の高い独創的な電子細胞チップの研究開発はないが、異種半導体集積回路を接合する技術は、米国（DARPA・COSMOS計画等）においてプロジェクトを進行中（例：2009年米国マイクロ波国際シンポジウムIMS2009・セッションTH-1C）。
- ◆ 中国は2015年、Wi-Fiを用いた搭載センサ間の無線ネットワーク接続成功を発表。
- ◆ 米国が2013-2014年にかけて、ISS内でコイルを用いた電力伝送実験（DOD SPHERES-RINGS）に成功したことを発表。

③ 要素技術の研究開発ロードマップ

電子細胞チップをナノRF機能モジュールとしたワイヤレスセンサハーベスタと、これを内蔵したワイヤレス化衛星の組立て技術等を開発した上で、高速大容量テラヘルツ通信の信頼度向上のため、これらを通信用機能モジュールとして用いる追跡用フェーズドアレーアンテナ双方の開発に至るのロードマップを以下に示す。

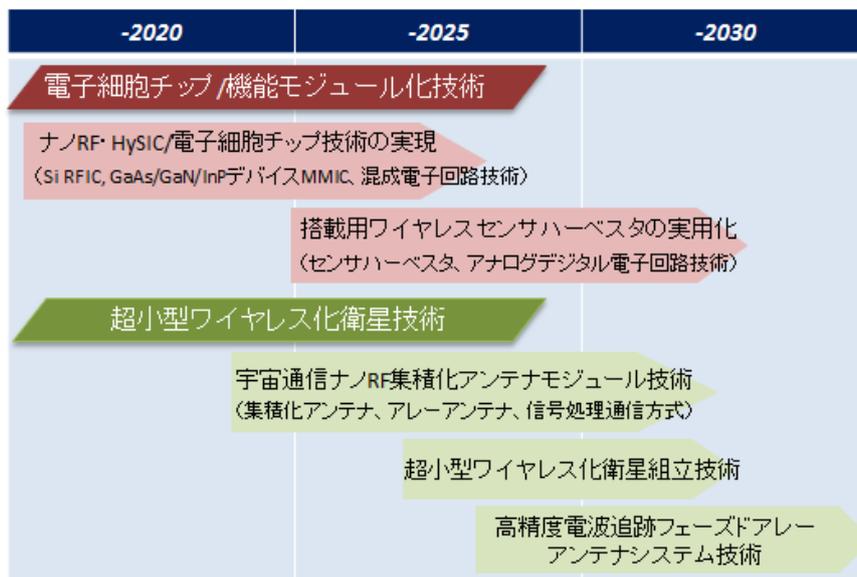


図3-24 要素技術開発のロードマップ

3-6-4 時空計測技術

2017年現在、「秒の定義」には、セシウム一次周波数標準器が用いられている。2025年頃には、これら従来のマイクロ波域の原子時計の精度を大幅に凌駕する「光周波数標準²」による「秒の再定義」が国際的な取決めとして発効し、その後は光周波数標準

² 光周波数標準: 光の領域に固有振動数を有する原子が発した電磁波で時刻や周波数を計測する装置

技術を用いた光時計が国際基準となることが想定される。これらを踏まえて時空計測技術の実現イメージは次のとおり。

① 2030年の実現イメージ

- ◆ 光時計を実社会に活かすために、光時計運用の自動化や、高精度に周波数を比較・伝送するためのグローバルリンク技術等の基盤的な技術が確立。
- ◆ 図3-25に示すように、月軌道よりも遠方の、火星、ラグランジェ点等、深宇宙における資源探査・観測・地球外惑星等での測位・光やテラヘルツ通信等への高精度時刻・位置決定技術に、光周波数標準が寄与。
- ◆ 電子商取引などの分野において、低軌道衛星を用いた低遅延通信ネットワークでの高精度時刻同期に時空計測技術が大きく寄与。

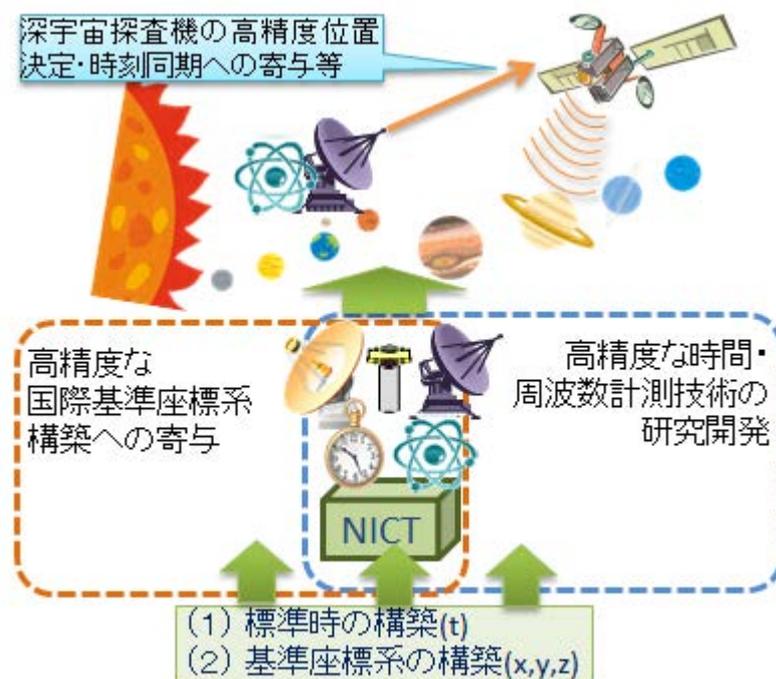


図3-25 時空計測技術の2030年の実現イメージ

② 諸外国の動向

- ◆ 現在、各国で開発が推進されている光周波数標準は、現行のセシウム一次周波数標準器を一桁以上、上回る精度を実現しており、前述の2025年頃の「秒の再定義」の実施が有力視。
- ◆ 光周波数標準を用いて、世界中で共有する光時系を構築するために、各国の研究機関において地球潮汐等の動的な重力ポテンシャルの効果を校正する方法の検討が進行中。一方で、光周波数標準は、重力ポテンシャルそのものの変動を高精度に検知出来るため、各国機関において、同標準を重力ポテンシャル変動測定に応用するための研究開発が進行中。
- ◆ 世界の複数の標準機関が開発している光周波数標準の周波数を高精度に相互比

較するために、国際宇宙ステーション（ISS）に高精度のマイクロ波原子時計を搭載し高精度周波数比較を実施するミッション「ACES」が欧州宇宙機関（ESA）によって遂行中であり、我が国からはNICTが代表機関として参画。実際の実験機器の打上げは2018年夏頃に予定されており、最大3年間のミッション実施が計画。この実験により、各国で開発中の光周波数標準の比較が本格的に進むことが期待。

③ 要素技術の研究開発ロードマップ

図3-26に時空計測技術の研究開発ロードマップを示す。図3-25の下半分に示したように、時空計測技術が担う基盤は、（1）標準時の構築及び（2）基準座標系の構築の2つである。これらの実現やその維持、高度化に向けた取組がNICTを含む各国機関の国際的な協力の下で実施されてきた。これら基盤の構築には、地球自身の形状変化や自転変動、及び宇宙空間での地球の運動の高精度なモニタが不可欠であり、今後も計測技術の高度化に向けた不断の努力が重要である。

加えて、地球からの距離が遠方になればなるほど、地上の基地局と深宇宙活動領域との間での通信、測位及び時刻同期に一層の高精度が要求され、それを実現するための研究開発が不可欠である。これらの研究開発は、3-6-4の冒頭で述べた光時計による「秒の再定義」をマイルストーンとして進展させていくことが適当と考えられる。

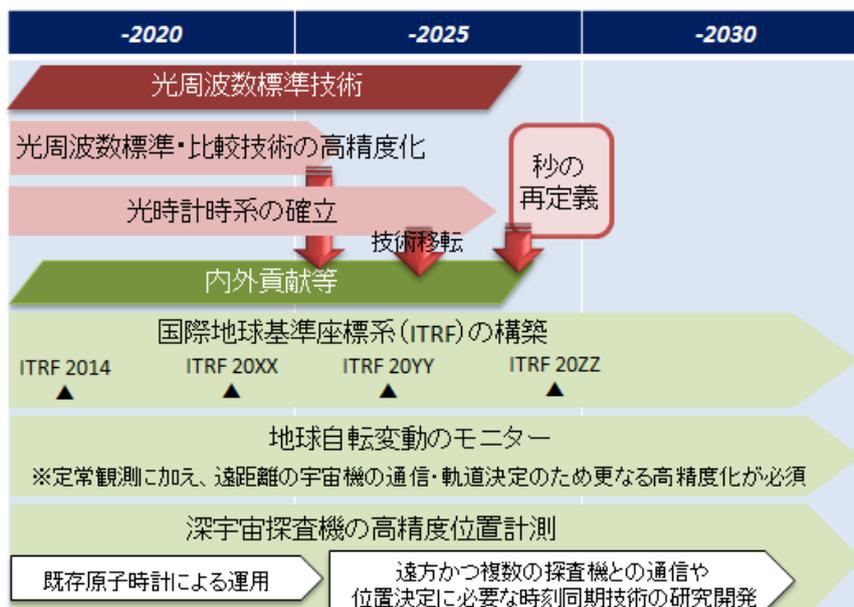


図3-26 要素技術開発のロードマップ

第4章 宇宙×ICTがもたらす私たちの近未来社会

～2030年における宇宙×ICTの社会的・経済的効果～

本報告書では、まず第1章において、国内外の宇宙市場の傾向を概観した上で、世界及び我が国の宇宙分野における新ビジネスの動向や、宇宙産業拡大に向けた我が国政府の取組を整理した。続く第2章では、宇宙分野におけるICT利活用として、宇宙データ利活用、衛星通信、月・惑星資源探査及び宇宙環境情報提供という4分野に注目し、それぞれについて、各国及び我が国の動向を掘り下げた。その上で、第3章において、“宇宙×ICT”の重点4分野のビジネスについて、現状の分析、それを踏まえた2030年の実現イメージの設定、及びその実現に向けた課題の抽出を行った。

かつて、昭和の時代には、我が国のマンガやアニメが近未来の世界観を発信した。そこで、本章では、現状からの積上げや延長というアプローチではなく、平成の時代を大変革前夜と捉え、行政府における会合の報告書としては非常に先進的に、2030年という近未来における宇宙×ICTがもたらす社会的な効果及び経済的な効果を、現状の制度や固定観念に囚われることなく、自由な発想で大胆に描き出した。

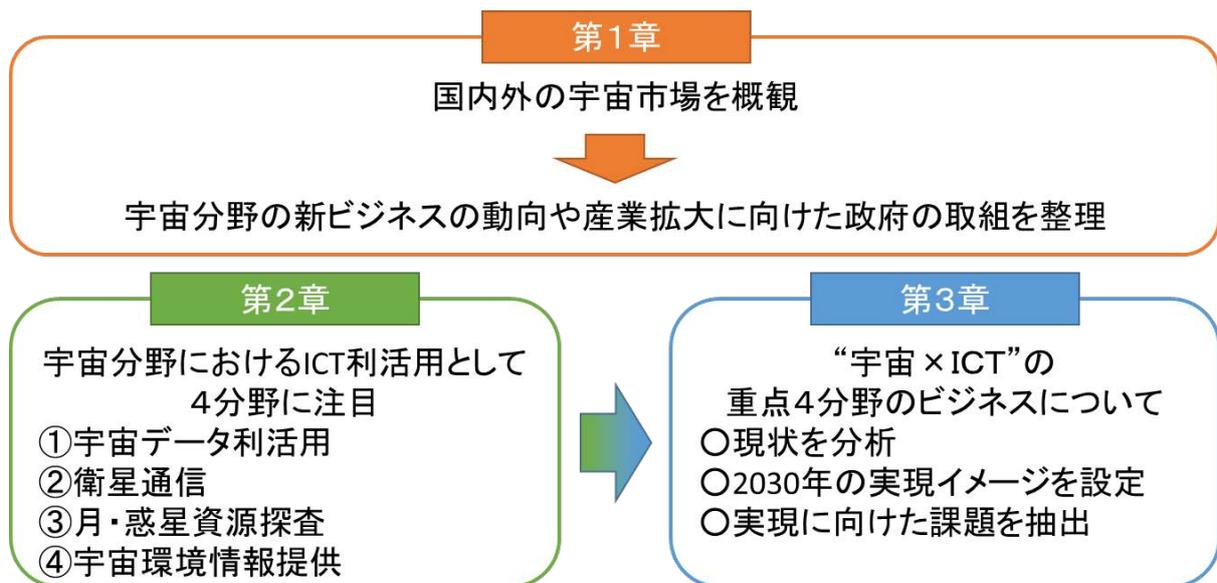


図4-1 本報告書のこれまでの流れ

4-1 宇宙×ICTの社会的効果

4-1-1 全体イメージ

WWW(World Wide Web)が地球上に網の目を張ったように、2030年になると、SWW(Space Wide Web)を通じて、大容量高速通信衛星や測位衛星を常時利用できる環境が、地球上のみならず宇宙まで広がっている。SWWが、宇宙×ICTを支える基盤技術(衛星セキュリティ技術、テラヘルツ技術、ナノRFエレクトロニクス技術及び時空計測技術)と相まって、私たちの社会・ビジネスの可能性は大きく広がっていく。



図4-2 宇宙×ICTがもたらす近未来の全体イメージ(俯瞰図)

例えば、宇宙データと他の地上系データの連携が新たなビジネスや社会的価値を創造する「宇宙データ利活用ビジネス」が開花し、宇宙データと、IoTデータ・SNSデータ、地上系オープンデータ等との連携が容易となり、AIを活用したビッグデータ分析を通じて、様々な利活用シーンが創出される。

地球上のあらゆる場所に加え、宇宙空間においても、5G・IoTが地上と同レベルで利用可能になる「ブロードバンド衛星通信ビジネス」が進展し、人の居住域以外でも、同レベルのブロードバンドサービスが提供され、航空機や船舶の自動航行のための基盤インフラとしても活用される。

宇宙では、テラヘルツセンサ等を用いて発見する月惑星資源が、宇宙開発のエコシステムを駆動する「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」が勃興し、月面基地を拠点とし、火星などにおける生命体や水資源の探査が行われる。

また、太陽嵐が都市や人々に及ぼす経済的損失のリスクを宇宙天気情報で軽減する「宇宙環境情報ビジネス」が台頭し、超巨大な太陽フレアの発生による衛星障害、大規模停電、通信・測位障害等により引き起こされる様々なリスクを抑制する社会が実現されていくだろう。

4-1-2 ビジネス圏が宇宙に広がる

無限の可能性が広がる深宇宙の資源の探査や、太古の時代からその存否に関する議論が絶えない地球外生命体の探査が、月面に存在する鉱物や水資源、3Dプリンタを活用することで、そのあり方が大きく変わることになる。

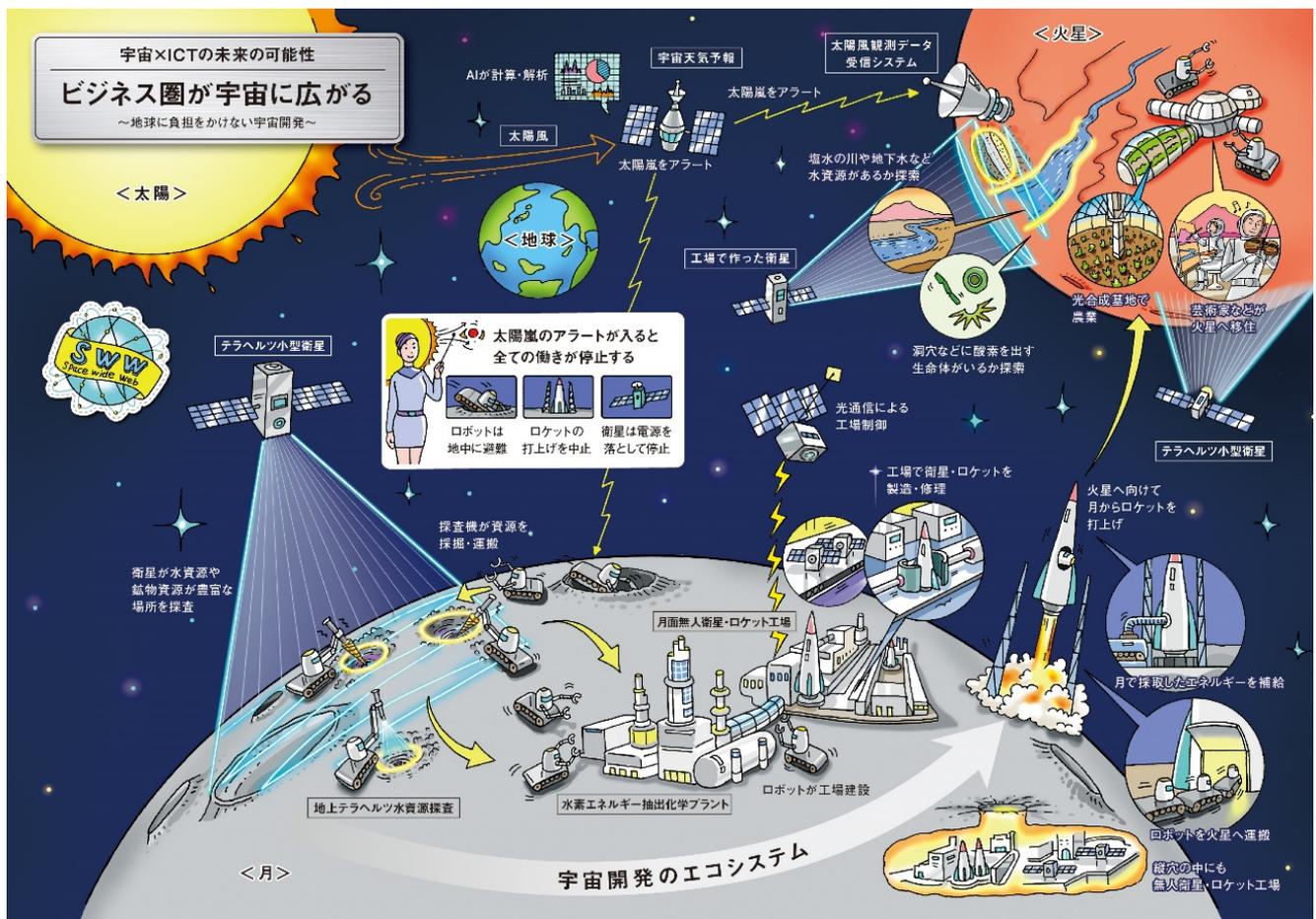


図 4-3 宇宙まで広がる生存圏・ビジネス圏

例えば、月面では、電子細胞チップを活用することにより、衛星資源探査の基地や探査機が組み立てられ、その探査機が、テラヘルツ小型衛星が発見した鉱物や水資源

を自動で採掘・運搬する。

運搬された鉱物を用いて、月面や地下空洞に無人の衛星・ロケット工場を建設し、衛星からの光通信制御により、衛星やロケットの製造や修理を自動で行われるようになる。さらに、ロケット発射基地を建造し、化学プラントから抽出した水素エネルギーを燃料として活用することにより、地球から直接向かうより効率的に、月から火星や小惑星へと到達することができるようになる。

火星では、月面で製造した衛星を活用して、生命体や水資源の探査が行われる。その先には、シェルターを設置しながら、植物を育てたり、インフラ網を整えたりしていき、人が快適に居住できる環境が整備されていくだろう。施設の建設や植物の栽培はロボットによって自動的に行われるため、人間による肉体労働が不要となるため、芸術家や科学者などが、創作活動やインスピレーション獲得のために、好んで火星に移住するかもしれない。更にその先には、小惑星でも宇宙資源探査が本格的に行われる未来が訪れるであろう。

このように、月の資源を有効活用することで、宇宙開発は大きく前進し、同時に人類の生存圏及びビジネス圏は宇宙へと広がっていく。

4-1-3 宇宙で安心・安全な社会を実現

宇宙×ICTの進展により、超巨大な太陽フレアの発生が引き起こす、衛星障害、大規模停電、通信・測位障害等の影響度・範囲が拡大している。そのため、航空機の運航障害などの日常的なリスクや、都市レベルの大規模停電などの大災害リスクの双方に関する対策が重要となる。これらのリスクを回避・軽減するために、太陽風監視衛星からのデータを元に、AIを用いて宇宙天気を予測することにより、いち早く大規模フレアの発生を検知し、事前に対策を講じることが可能となる。地球等の周回軌道に展開された太陽風監視衛星が、SWWを通じて、地上の太陽電波測定器などと連携することにより、適時・正確な警報を発することができるわけである。

また、サイバー攻撃の脅威は、地上のみならず宇宙にまで広がる。悪意のある攻撃者によって、通信や測位に対するジャミングやサービス不能攻撃、盗聴・改ざんなどがなされると、通信・放送の妨害や気象衛星などのサービス停止という事態に追い込まれることが懸念される。そこで、衛星に搭載された真性乱数発生装置及び量子暗号活用をすることにより、原理的に傍受不可能な通信を行うことが極めて有効となる。

さらに、衛星通信の暗号化を通じて、地上の生活インフラ・ネットワーク（金融（Fintech）、科学、ナビゲーション、医療、農業、防災、ブロックチェーン等）の情報セキュリティレベルの向上が実現され、より安心・安全な社会が実現されていく。

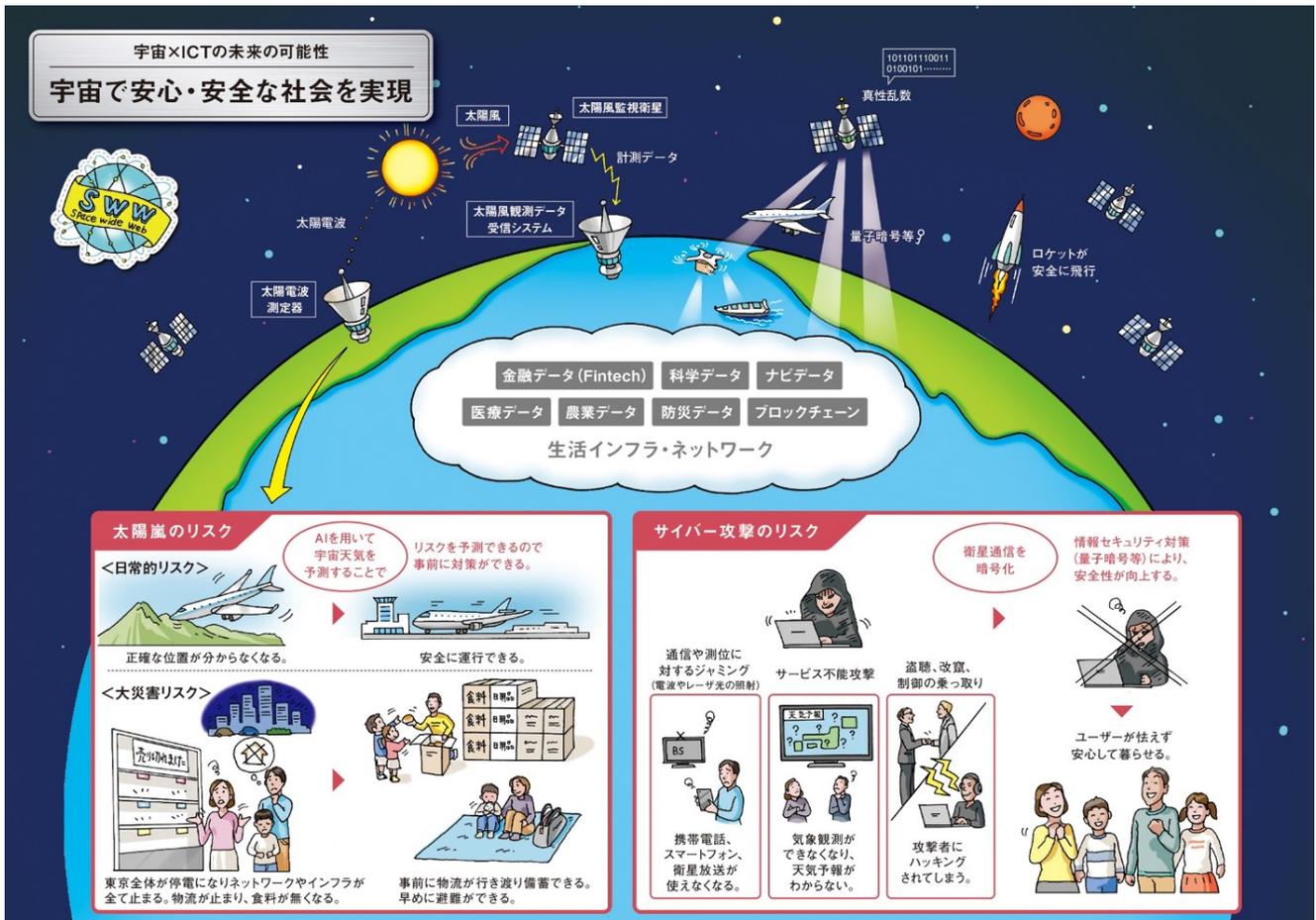


図 4-4 宇宙の利用で実現される安心・安全な社会

4-1-4 宇宙技術で人流・物流が変わる

IoTが、測位衛星の常時利用により、「人」「モノ」「サイバー空間」「位置情報」を繋ぐネットワークへと進化する。このことにより、情報の流れだけでなく、人流・物流のあり方に変革が起こる。

例えば、タンカーにおいては、衛星からリアルタイム及びこの先の気象状況を把握して、安全かつ効率的な運行ルートを確認した上で、準天頂衛星システムによる精密測位と中継衛星による光通信とを組み合わせることで、無人航行を行うことができる。各々のタンカーは双方向通信で繋がっており、全体最適な運航ルートが自動で構成されるため、トータルとしての燃費の劇的向上や到着時間の大幅な短縮が図られる。また、SWWによって、海上でも地上と同様な通信環境が整うことになり、地上から離れた海上へUAVを使って物資を届けることができるようになる。物流の変化は海に留まらない。空では準軌道飛行機によって、東京・ニューヨーク間を30分～1時間程度で結ぶことが可能になるなど、日本食が海外へ高速輸送される。また、離島へUAVを使って救急医療向けの医薬品を輸送したり、離島から特産品をリアルタイムに販売・出荷したりすることが可能になる。

さらに、通信が困難だった山間部でも、衛星を通じた常時接続の大容量高速通信が

可能になり、山間部でドローンを活用した人命救助や、山間部の農作物を自動で収穫し、リアルタイムで販売・出荷できる未来が訪れるだろう。

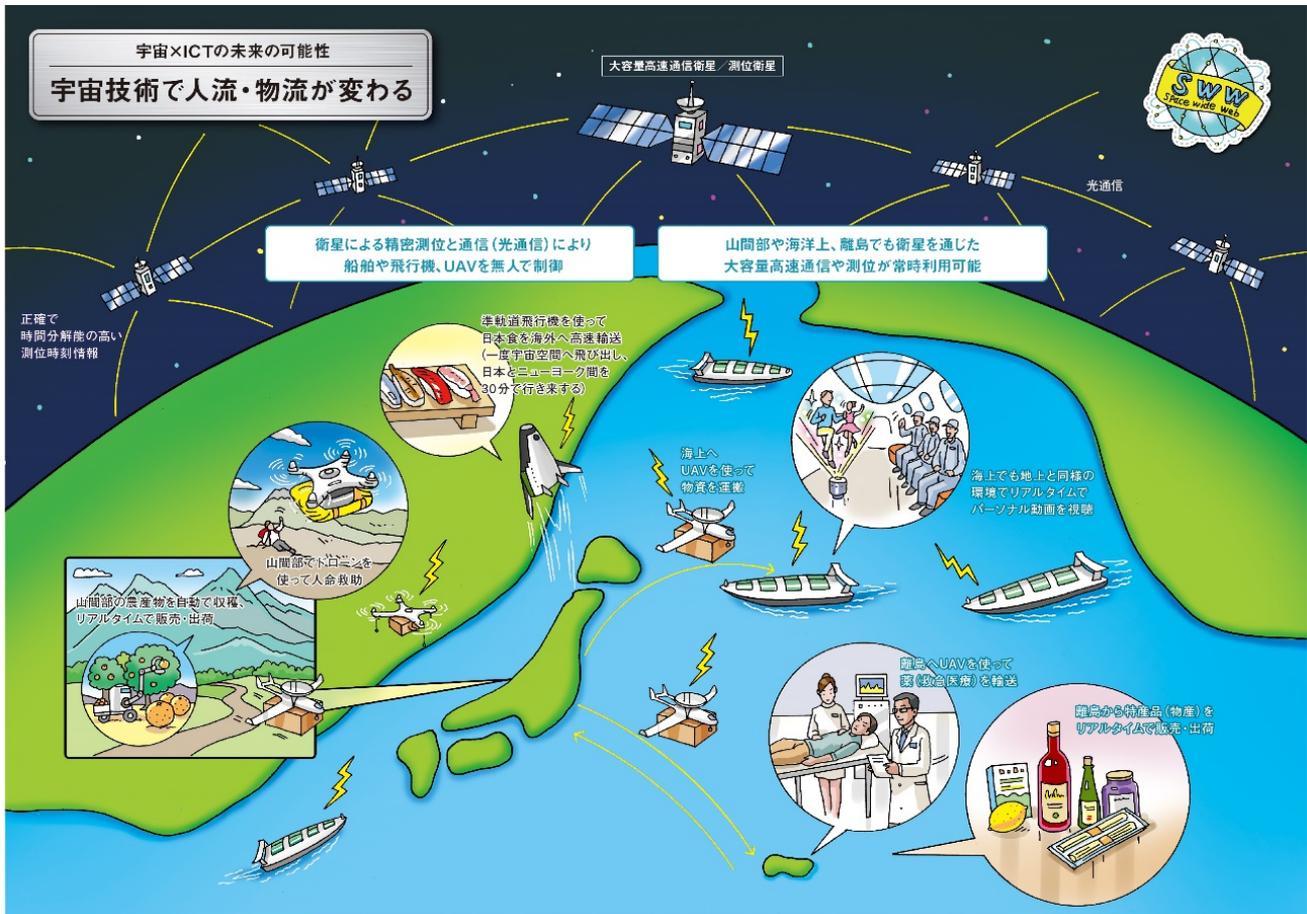


図4-5 宇宙技術で変わる人流・物流

4-1-5 宇宙技術で自動運転生簀(いけす)が始まる

漁業について、衛星による精密測位と光通信を介したパラダイムシフトにより、そのあり方が変わることになる。

例えば、衛星リモートセンシングで気象や海洋のデータを取得し、AIを活用したビッグデータ分析により、魚に被害を及ぼす赤潮の発生や餌が豊富な領域が予測可能となる。無人生簀内に設置したセンサが、小型衛星と光通信を行うことにより、衛星経由で海上のブイを操作可能とすることで、自動運転生簀を構成することができる。ブイから出る微弱電流を利用して、赤潮を避けながら餌が豊富な位置(自動運転生簀)に魚を誘導し、安定的に漁獲量を保つことができる。また、テラヘルツ小型衛星を介して、魚の生態系を知ることによって、乱獲を防ぎ、生産量をコントロールするといった漁業管理の最適化も図られる。

さらに、海上の無人船が、テラヘルツ小型衛星を介して、気象状況(海上の風・波・海中など)の変化をリアルタイムに取得することで、安全に漁業を営めるだろう。加

えて、衛星を介して自動運転生簀の位置を知らせることで、極めて効率的に魚介類を捕ることが可能となる。美味しい魚がより安く安定的に食べられる日も遠くない。

一方、スーパーには、大容量高速衛星通信により生簀の中の状況が常に伝送され、無人生簀内の魚が直接ホログラムとして表示される。店頭で遠く離れた魚の情報や、旬や搬送に要する時間を踏まえた最適なレシピを確認したり、オススメ情報に「いいね！」をしたりしながら、魚介類の遠隔生け捕りができるようになるかもしれない。

生け捕りした魚の情報は、衛星を通じて海上の無人船に伝えられ、無人ドローンによる自動出荷で直接食卓へ届けられる。衛星を介して、市場・スーパー・生活者がシームレスに取引できるようになり、流通のあり方も変わっていく。

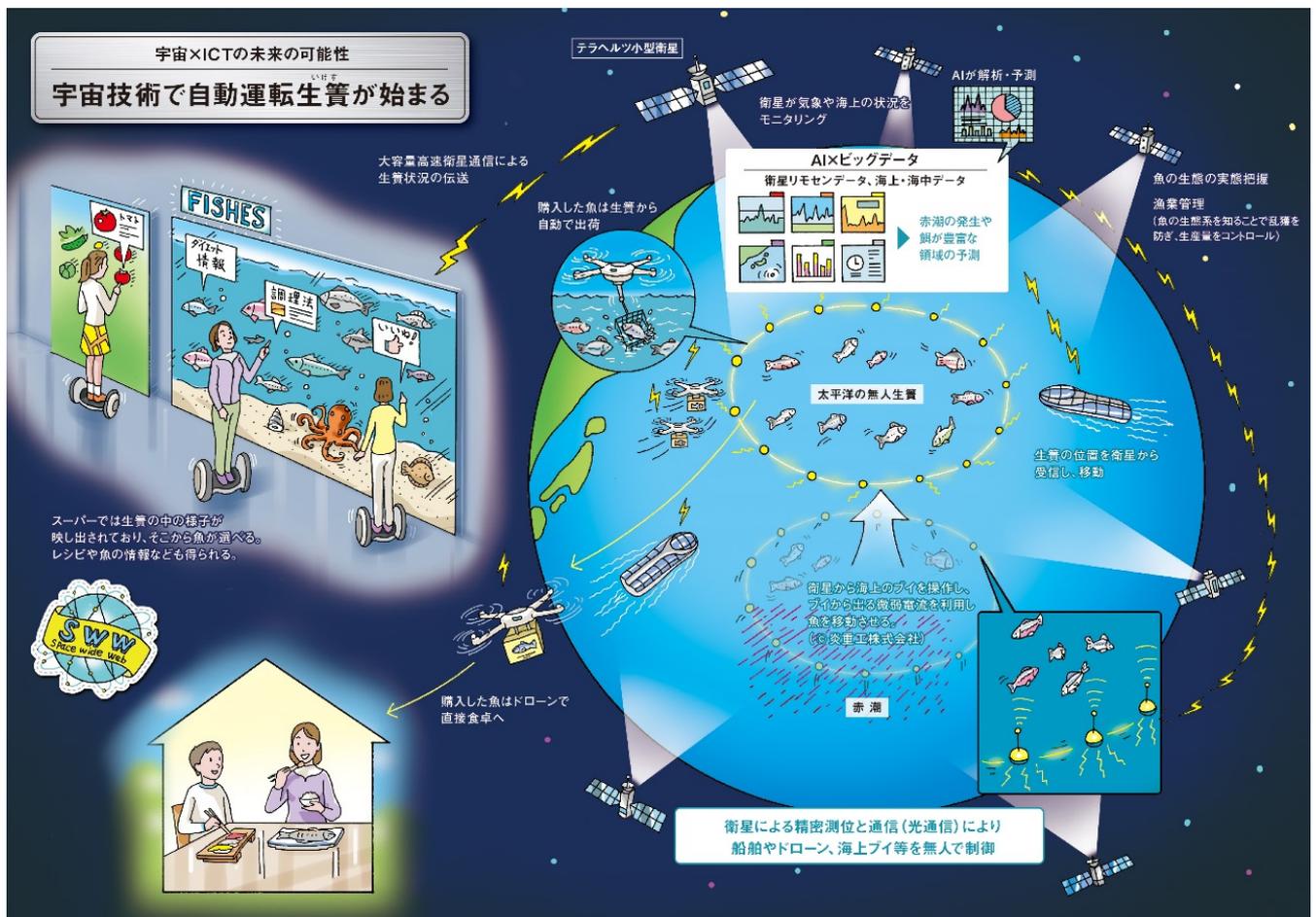


図4-6 宇宙技術で始まる自動運転生簀 (いけす)

4-1-6 宇宙技術で世界中がマイ農園

農業についても、衛星による精密測位と光通信を介したパラダイムシフトにより、そのあり方が変わることになる。

例えば、衛星リモートセンシングで各国の気象・土壌情報などを取得し、AIを活用したビッグデータ分析により、収穫時期や収穫量が予測可能となる。大容量高速通信衛星を介して、世界中の農地をマイ農園とし、自宅からロボット・ドローンを遠隔・

半自動制御することで、安定的に作物を遠隔栽培することが可能となる。さらに、衛星経由で制御されるロボットが最適なタイミングで自動収穫し、衛星測位を利用してUAV等が自動で食卓まで配達してくれるだろう。

また、農家が衛星ビッグデータより決定した収穫のタイミングは、生活者に常に共有され、衛星を通じた8Kホログラム、VR (Virtual Reality) やAR (Augmented Reality) により、リアルタイムで自宅に居ながらにして、作物の大きさや実際の農地の状況を確認し、農作物を選んで購入できる未来が訪れるだろう。

これらの変化は農業に留まらない。林業においても同様に、衛星リモートセンシングにより、森林の実態や生育状況をモニタリングし、AIを活用したビッグデータ分析で、植林や間伐の最適化に寄与する森林育成マップなどが作成されるだろう。これらを活用しながら、衛星を介して、世界中をマイ森林とし、ロボット・ドローンを利用して、過疎地等の森林を自動で遠隔植林・剪定（せんてい）することが可能となる。

このように、私たちの生活はより安心・安全でおいしい食材や、豊かな自然で満たされていくだろう。



図 4-7 宇宙技術で広がるマイ農園

4-1-7 宇宙でエンタメ・スポーツ・観光が変わる

SWWを通じて、地上を巡っていた通信網は大気圏を超え宇宙へ広がり、ありとあらゆる場所で大容量光通信・テラヘルツ通信が可能となる。これにより、エンタメ・スポーツ・観光の楽しみ方が変わることになる。

例えば、地球では、自宅に居ながらにして、世界各地に展開・分散配置されたアバターが自分に成り代わって旅行をし、エベレストや北極を気軽に遠隔で観光することができるようになる。

また、衛星等を活用した人工流れ星で文字等を演出し、オーロラを背景にした宇宙結婚式も一般的に行われるだろう。その際には、ハネムーンとして、地球の低軌道上に作られる宇宙ホテルで滞在するカップルが現れるかもしれない。

そのほか、月面でのクレーンゲームなどを遠隔で楽しめる月面アミューズメントパークや、月面でのロボットによるサッカーを、地球で体験・観戦することもできるだろう。さらに、地球との準リアルタイム通信により、火星の巨大な山でトレイルランニングをバーチャルに楽しむこともできるだろう。

加えて、アイドルの活躍の場は、地方都市や海外のみならず、火星にまで広がる。アイドルのようなルックスのアンドロイドロボットが火星に派遣されパフォーマンスを行い、それを地球から応援することができるようになる。この火星アイドルの活動が、火星に移住した科学者に癒やしやインスピレーションを与えることは間違いない。また、火星で創作活動を行うミュージシャンと火星アイドルによるセッションも夢ではない。



図 4-8 宇宙の利用でエンタメ・スポーツ・観光

4-2 宇宙×ICTの経済的効果

4-2-1 宇宙×ICT分野の定義と将来目標の考え方

本懇談会における重要分野とされる「宇宙データ利活用ビジネス」、「ブロードバンド衛星通信ビジネス」及び「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」、「宇宙環境情報ビジネス」の4分野を「宇宙×ICT分野」として位置づけ、2030年代早期における将来目標の設定を試みた。各分野については、次の定義に基づいて目標設定を行う。

◆ ブロードバンド衛星通信ビジネス

地球上のあらゆる場所に加え、宇宙空間において5G・IoTが地上と同レベルで利用できる環境にする。

◆ 宇宙データ利活用ビジネス

宇宙データと他の地上系データの連携が新たなビジネス、社会的価値を創造する。

◆ ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス

電波センサが発見する月・惑星資源が、宇宙ユーティリティ産業のエコシステムを駆動する。

◆ 宇宙環境情報ビジネス

太陽嵐が都市や人々に及ぼす経済的損失のリスクを宇宙天気情報で軽減する。

「宇宙データ利活用ビジネス」及び「ブロードバンド衛星通信ビジネス」は、既存の宇宙×ICT分野と位置付け、公表されている日本航空宇宙工業会（SJAC）の資料を基に、本2分野の2014年の市場規模を設定する。そして、複数の成長パターンに基づいた成長率を設定し、2030年代早期の将来目標を算出する。

「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」及び「宇宙環境情報ビジネス」については、市場形成が緒に就いたばかりの新規分野のため、2030年代早期の将来目標を関係者からのヒアリング等を参考に数値設定を試みた。

宇宙×ICT分野	各分野の定義	将来目標の設定方法	
宇宙データ利活用 ビジネス	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙データと他の地上系データの連係が新たなビジネス、社会的価値を創造 	<ul style="list-style-type: none"> 日本航空宇宙工業会（SJAC）の資料に基づき、2014年における2分野の市場規模を設定 複数の成長パターン（後述）により設定した成長率を乗じて、2030年代早期の将来目標を設定 	既存の宇宙×ICT分野 として目標設定
ブロードバンド 衛星通信ビジネス	<ul style="list-style-type: none"> 地球上のあらゆる場所に加え、宇宙空間においても、5G・IoTが地上と同レベルで利用可能に 	$\text{2014年市場規模} \times \text{年率成長率 (複数パターン)}$	
ワイヤレス宇宙 資源探査ビジネス	<ul style="list-style-type: none"> 電波センサが発見する月・惑星資源が、宇宙ユーティリティ産業のエコシステムを駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙資源探査事業者へのアンケートより、2030年代早期の将来目標を設定 	新規分野として目標設定
宇宙環境情報 ビジネス	<ul style="list-style-type: none"> 太陽嵐が都市や人々に及ぼす経済的損失のリスクを宇宙天気情報で軽減 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年代早期において宇宙環境情報は天気予報と同様の意義をもって利用されると想定し、現状の気象予報情報市場と同等の規模を将来目標に設定 	

図4-9 宇宙×ICT分野の定義と将来目標の考え方

4-2-2 既存の宇宙×ICT分野に係る将来目標の設定

4-2-2-1 2014年の市場規模設定

既存の宇宙×ICT分野である「宇宙データ利活用ビジネス」と「ブロードバンド衛星通信ビジネス」の市場に関する市場規模設定は、SJACの公表している資料に基づいて行う。

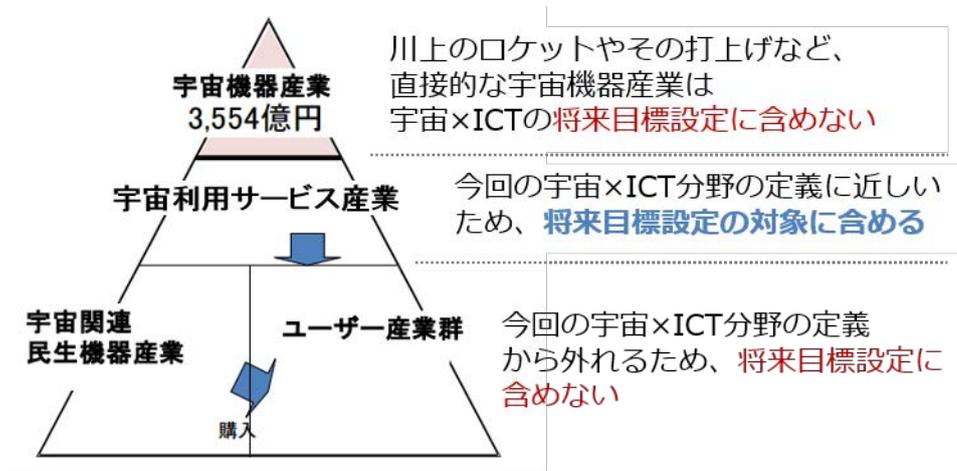
SJACの宇宙産業市場規模分類は「宇宙機器産業」、「宇宙利用サービス産業」、「宇宙関連民生機器産業」及び「ユーザ産業群」の4分類に分けられている。

「宇宙機器産業」は、ロケット本体や打上げなど直接的な宇宙産業機器の市場で

あることから、ICTが牽引する市場とは言えないと判断し、今回の将来目標設定には含めないこととする。

「宇宙関連民生機器産業」及び「ユーザ産業群」は、「宇宙利用サービス産業」が進展し、一般ユーザに波及した段階で大きくなる市場であることから、本来の宇宙×ICTが目指さなければならない市場群ではあるが、2030年代早期を見据えた今般の目標設定には含めないこととする。

以上のことを踏まえ、既存の宇宙×ICT分野はSJACの分類における「宇宙利用サービス産業」の市場規模を基に、将来目標の設定を行うこととする。



出展：SJACの宇宙産業市場規模分類を参考に作成

図4-10 2014年の宇宙産業の市場規模の分類と本報告書の目標修正との関係

「宇宙利用サービス産業」は、「通信分野」、「放送分野」、「観測分野」及び「その他」の4つの分野に分けられている。これら4つを「宇宙データ利活用ビジネス」と「ブロードバンド衛星通信ビジネス」の2分野に振り分けると、「宇宙データ利活用ビジネス」は「観測分野」「その他」が該当し、ブロードバンド衛星通信ビジネスは「通信分野」「放送分野」が該当する。

宇宙利用サービス産業	通信分野
	放送分野
	観測分野
	その他

図4-11 宇宙利用サービス産業の細目

「宇宙利用サービス産業」の分野を振り分けた結果、2014年の「ブロードバンド衛星通信ビジネス」の市場規模は約7,947億円、「宇宙データ利活用ビジネス」は約56億円、合計約8,002億円となった。なお、2014年の「観測分野」は算出のための資

料が揃わなかったため、例年並みの市場規模であった2013年の市場規模の数値を採用した。

			2014年
ブロード バンド 衛星通信 ビジネス	宇宙利用サービス産業	通信分野	126,886
		放送分野	667,767
	合計		794,653
宇宙データ 利活用 ビジネス	宇宙利用サービス産業	観測分野	5,086
		その他	483
	合計		5,569
合計			800,222

(百万円)

図 4 - 12 宇宙産業市場規模分類の細目ごとの金額

4 - 2 - 2 - 2 目標成長率の設定

宇宙データ利活用ビジネス及びブロードバンド衛星通信ビジネスの各項目に、成長パターンに応じた目標成長率を乗じて、2030年代早期の将来目標を設定する。目標成長率は下記3パターンを設定した。

◆ 米国の衛星産業の実績ベースの成長率 = 3.15%

Satellite Industry Associationの発表している“State of the Satellite Industry Report”によると、2010年から2015年の衛星産業における米国の平均成長率は3.15%である。

◆ 2020年までに宇宙機器産業分野で我が国が目標としている成長率 = 5%

内閣府が2015年1月9日に発表した『宇宙基本計画』では、「官民あわせて10年間で5兆円」と宇宙機器産業の事業規模を拡大する目標を定めており、平均成長率は年率5%である。

◆ 2030年までに英国が目標とする成長率 = 7.9%

London Economics の発表している“The Case for Space 2015, The impact of space on the UK economy”によると、英国は2030年までに£40bnを目指すとしており、2013/2014から2029/2030への平均成長率は7.9%である。

成長パターン	パターンの考え方	今回設定した成長率
パターン1 過去実績ベースの成長パターン	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Satellite Industry Associationの発表している“State of the Satellite Industry Report”によると、2010年から2015年の衛星産業における米国の平均成長率は3.15%となる ▶ ICTに関連する衛星市場の中心を占める米国の実績成長率を【パターン1】とする 	年率3.15%
パターン2 日本(内閣府)の目標に準じた成長パターン	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 内閣府が発表した『宇宙基本計画』では、「官民あわせて10年間で5兆円」と宇宙機器産業の事業規模を拡大する目標を定めている。これを平均成長率として換算すると、年率5%となる ▶ 内閣府の目標成長率を【パターン2】とする 	年率5%
パターン3 類似国(イギリス)の目標に準じた成長パターン	<ul style="list-style-type: none"> ▶ London Economicsの発表している“The Case for Space 2015, The impact of space on the UK economy”によると、英国は2030年までに£40bnを目指すとしており、2013/2014から2029/2030への平均成長率を7.9%としている ▶ 英国の宇宙産業への取組と意気込みは我が国に近いものがあり、英国の目標成長率を【パターン3】とする 	年率7.9%

図4-13 目標成長率の設定

4-2-3 新規の宇宙×ICT分野に係る将来目標の設定

4-2-3-1 「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」の将来目標設定

「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」は、現在事業化の計画が行われている状況であり、市場形成は緒に就いたばかりと考えられる。そこで、関連事業を展開している企業へアンケートを実施し、2030年の惑星資源探査（月面、小惑星探査）について回答を得た。アンケート対象企業によると2030年までの世界の宇宙資源探査市場規模（月面のみ）は約4兆円との目標値であり、日本国内での目標は約1兆円との回答があった。

ただし、小惑星を含めた市場規模は、1.5倍程度との回答を得たため、我が国の2030年代早期のワイヤレス宇宙資源探査ビジネスは、約1.5兆円と設定する。

4-2-3-2 「宇宙環境情報ビジネス」の将来目標設定

2030年代早期において宇宙環境情報は太陽嵐に対して、気象予測情報（天気予報）と同様の意義を持って利用されると想定し、現状の気象予報情報と同等の規模感を目指すことを目標に設定する。

具体的には、Markets and Markets社によると、天気予報システムの市場規模は、2015年に15億米ドル（約1,650億円³）と発表されているため、2030年代早期に同等の規模感である約1,650億円を目標値として設定する。

また、LLOYD'S社によると、2015から2025年の間において太陽嵐による、世界のGDPリスク量は649.5億米ドル（約7.1兆円）と報告されている。太陽嵐に対する対策を行うことで、このリスク量（約7.1兆円）の軽減が期待される場所である。

³ 1ドル=110円換算

4-2-4 宇宙×ICT分野の将来目標（2030年代早期）

既存の宇宙×ICT分野である「宇宙データ利活用ビジネス」及び「ブロードバンド衛星通信ビジネス」の2014年の市場規模（約8,000億円⁴）を基に、2030年代早期の将来目標を推計すると、米国の実質成長率3.15%で算出すると約1.3兆円となり、我が国（内閣府）の5%目標成長率では約1.7兆円、英国の目標成長率7.9%で約2.7兆円となる。

宇宙×ICT分野の2030年代早期の将来目標は、約1.7兆円をベース目標に、緩やかな成長だった場合は約1.3兆円、大幅な成長となった場合は約2.7兆円の将来目標を設定する。また、新規創出を目指す分野として「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」は約1.5兆円、「宇宙環境情報ビジネス」は約1,650億円を包括した市場を、潜在的な将来目標として想定するものとする。なお、一般社団法人日本経済団体連合会は、宇宙機器産業・宇宙利用サービス産業・宇宙関連民生機器産業・ユーザ産業群すべてを含めた2030年宇宙関連産業の目標値を20兆円としている。

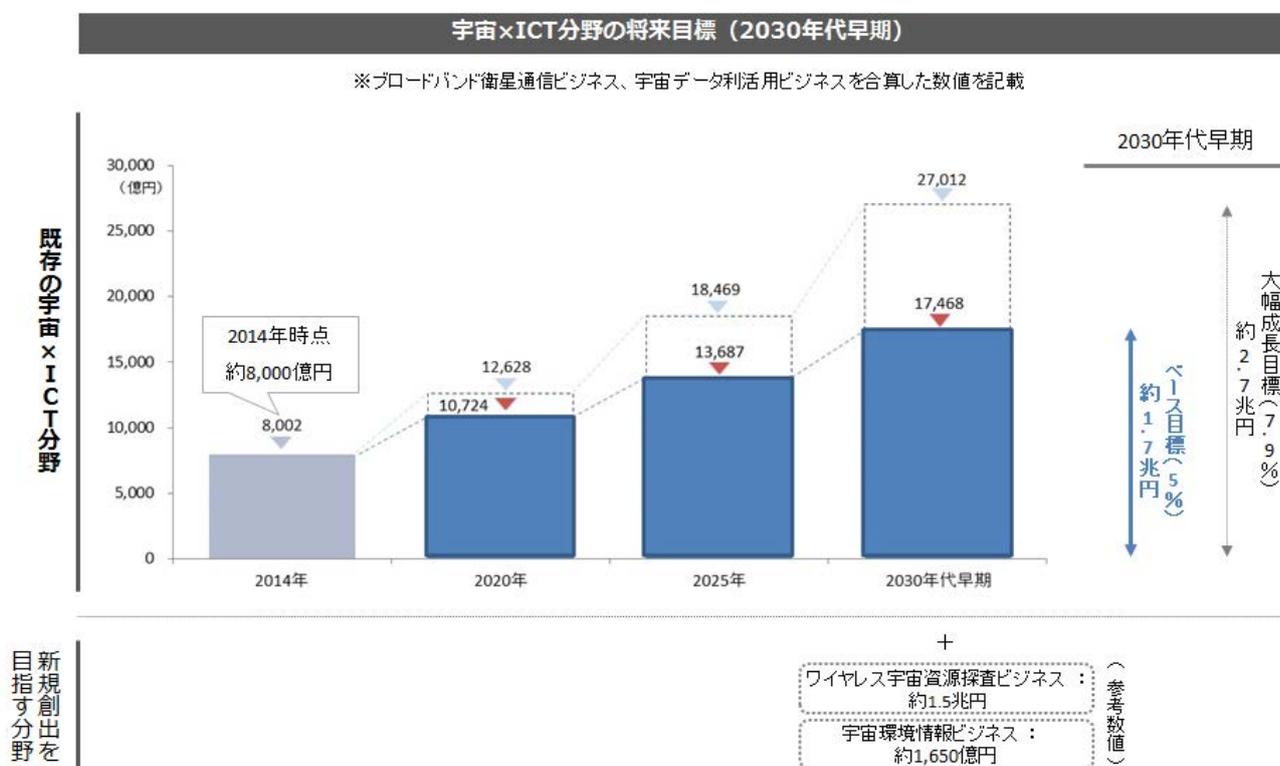


図4-14 宇宙×ICT分野の将来目標（2030年代早期）

⁴ 8,002 億円を四捨五入した概算値

第5章 宇宙×ICT総合推進戦略

～実現方策に関する提言～

5-1 5つの基本原則

第5章においては、第4章で述べた2030年の宇宙×ICTの社会的効果及び経済的効果を実現すべく、着実・効果的に前進するための方策として、5つの個別戦略から構成される「宇宙×ICT総合推進戦略」について検討する。検討に際して、現在の宇宙関連市場、産業をとりまく情勢を勘案した上で、以下に示す基本原則を十分に踏まえることが重要である。

① 新ビジネス・イノベーション創出

情報通信産業は、これまで我が国の経済成長を牽引する役割を果たしてきている。が、宇宙関連産業についても、新規事業者の参入や技術革新の進展により、更なる成長が見込まれる分野である。このため、宇宙分野とICTの技術革新を融合することにより、日本再興戦略に掲げられた名目GDP600兆円の目標達成に資すべく、新たなビジネスやイノベーションの創出を促進できる方策について検討することが重要である。

② オープン性確保

宇宙×ICTによるイノベーションの創出を促進するためには、ベンチャー系企業や非宇宙系企業など、異業種、異分野の事業者が自由に参加し、それぞれのアイデアや知識を組み合わせることによって、革新的なビジネス・アプリケーションを開発できる環境を整えることが必要となる。そのためには、宇宙×ICTにおけるオープンイノベーションを可能とする環境整備について検討することが重要である。

③ 安心・安全性確保

2030年においては、国民にとって、衛星通信をはじめとする宇宙関連ビジネスが不可欠な重要インフラとなり、多くの一般のユーザが広く宇宙×ICTビジネスの恩恵にあずかることが想定される。このため、宇宙×ICTの推進にあたっては、これまで以上に情報セキュリティの確保など、ユーザの安心・安全の確保を図ることが重要となってくる。

④ 社会的課題の解決

地球環境の変動、資源・エネルギー問題、食の安全、地域格差、高齢化社会などへの配慮は、我が国のみならず国際的にも重要な課題となっており、一方、宇宙×ICTビジネスは、農業、林業、鉱業、交通、物流等、様々な分野における実現が期待されている。このため、宇宙×ICT推進戦略の検討に際しては、国内外に顕在化する社会的課題の解決や、現時点では顕在化していない新たな付加価値の創造に寄与できるビジネス・サービスを検討することが重要である。

⑤ グローバル戦略

宇宙産業は、世界中で熾烈な競争が繰り広げられている。このため、宇宙×ICT推

進戦略の検討に際しては、我が国が国際的に優位に立つ技術への開発リソースの集中、他国との連携、協力が必要な分野の見極め等、国際展開を円滑に進めるためのグローバル戦略に基づく研究開発を推進することが重要である。

5-2 宇宙データ利活用ビジネス推進戦略

ベンチャー企業や非宇宙系企業による、宇宙データと地上系のIoTデータやソーシャルデータなどを融合した新たなサービス・アプリケーション開発を支援するためには、宇宙データを含む各種データの収集・連携・処理を可能とするオープンな環境を提供することが適当である。これを実現するための環境として、大容量データの収集を可能とする超高速ネットワーク、大規模データを効率的に処理するためのクラウド基盤、ビッグデータの蓄積・解析基盤等が整備されたNICTの総合テストベッドの活用を検討することが適当である（図5-1）。

なお、宇宙データの利活用の技術的な課題として、宇宙データの取扱いに専門性が求められるため、非宇宙系の事業者にとって利用が難しい点がある。このような課題を解決するため、例えば、市民サイエンスの仕組みなどを活用し、外部の研究者や企業等が広く参加する宇宙データ利活用のコミュニティを形成した上で、以下の①～④に示す宇宙データの処理機能の提供と性能改善のためのPDCAサイクルの構築を促進していくことが望ましい。

① 課題設定

新ビジネス・イノベーション創出に有望と考えられる宇宙データの処理プログラムに関する課題を設定する。

② 外部研究者等による処理プログラムの提案

設定された課題を処理するプログラムを広く一般の研究者や市民が開発し、提案することができる環境を提供する。

③ 処理プログラムのソースコードの公開

プログラムソースコードは広く一般公開され、誰でもオープンアクセス可能な状態を維持する。ただし、開発者が利用者に対し、プログラムの有償での利用許諾も可能とする。

④ 利用者のフィードバック

プログラムの研究・ビジネスでの利用方法、課題等を開発者が受け取る仕組みを提供することにより、無償・有償利用者の使い勝手を向上するプログラムの改良を促す。

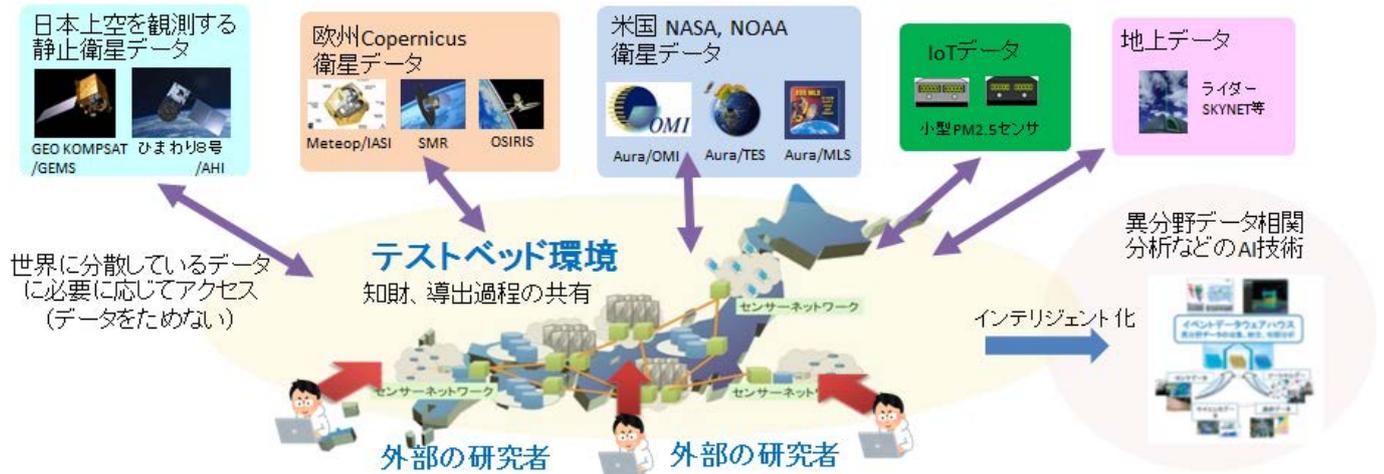


図5-1 NICTのテストベッドを活用した宇宙データ利活用基盤のイメージ

ただし、NICTのテストベッドを活用した新たなサービス・アプリケーションの開発支援を行うための本スキームの立上げ時においては、まず試行的に取り扱う宇宙データ及びIoTデータの分野の絞込みを行った上で、機能の具体的検証や課題・改善点の抽出を行いながら、成功事例の創出を目指すことが適当と考えられる。

具体的な検討イメージとしては、まず、宇宙データを活用したサービス・アプリケーションに対する市民や自治体のニーズについて十分調査を行うことが重要である。その結果を踏まえサービス・アプリケーションの開発、提供に関心を有する企業、研究者等が参加する形で、ニーズに合致したデータ（環境データ、被害データ等）をクラウドソーシングにより収集・処理する。その上でデータの高度化解析（データインテリジェンス化）を行うことにより、地域に特化した予測モデルを確立することにより、サービス・アプリケーションの開発につなげることが適当である。さらに、その性能や改善策等に関する分析・対策を実施した上で、その結果を共有することにより、サービス・アプリケーションの改善と他地域への横展開につなげることが適当である。

このような、テストベッド環境を通じて、データの収集・処理、データインテリジェンス化、サービス、アプリケーションのそれぞれの開発フェーズにおいて、ビジネスソリューションの提供が可能な企業や研究者（宇宙系、非宇宙系、ベンチャー企業等）のビジネスマッチングの機会の提供する効果も期待される（図5-2）。

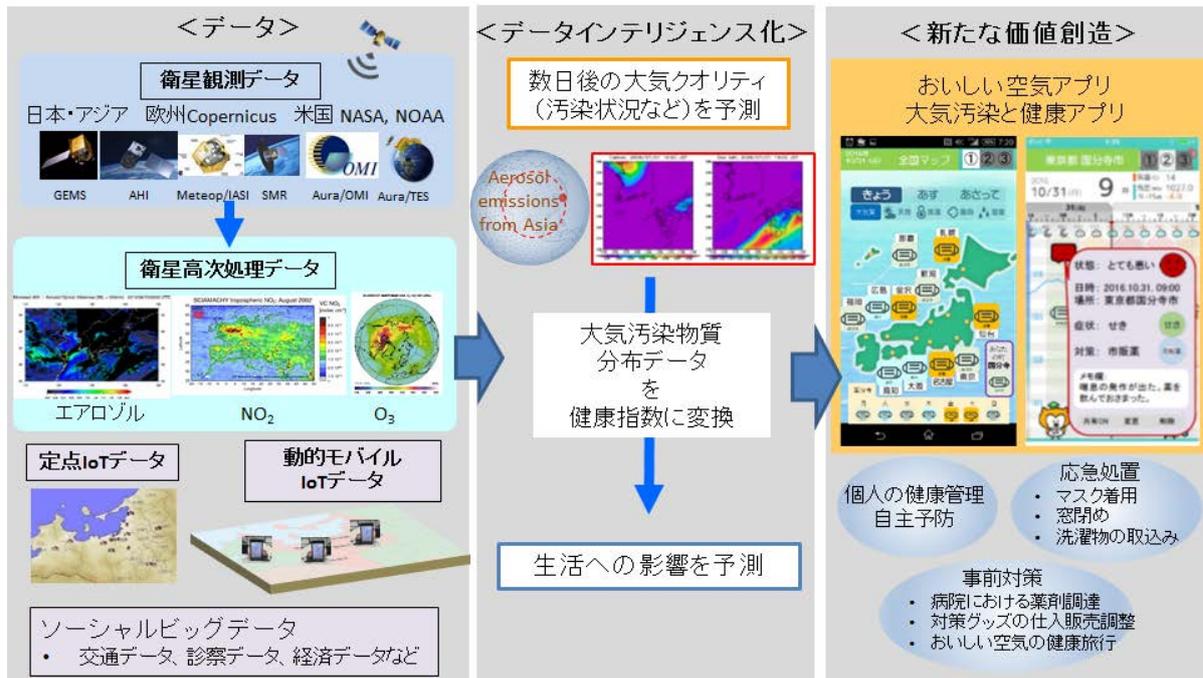


図5-2 宇宙データ×他のデータによる新たなサービス創出の具体的なイメージ

「宇宙産業ビジョン2030」においては、宇宙データを活用した新たなソリューションによる効果（生産性、安全性、品質の向上等）を実証し、先進的な成功事例の創出を図りつつ、民間事業者が自立的に衛星データも用いたソリューション開発を行うきっかけとすべく、社会モデル実証事業を実施することが提言されている。その際、これまで宇宙産業に関わりの薄かったソリューション開発を担う非宇宙分野のIT事業者や、長期かつ大口のユーザとなり得る国や地方公共団体等が一体となって新たなアイデアを持ち込むことで、従来の宇宙関係者だけに閉じず、出口までを見据えた取組とするとされている。さらに、本社会モデル実証事業の実施に当たっては、内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省及びNICT、JAXA、AISTが一体となって、積極的かつ速やかに取組を開始することとされている。

一方、総務省においては、ICTを活用した分野横断的なスマートシティ型の街づくりを通じて、地域が抱える様々な課題の解決や地域活性化・地方創生を実現するための施策として、「データ利活用型スマートシティ推進事業」を実施している。

以上の関連施策の動向を踏まえて、宇宙データ利活用推進戦略の望ましい方向性としては、以下のとおりまとめられる。

- ① NICTのテストベッドの活用による宇宙データ・地上系データを連携した新ビジネス・アプリケーション創出のためのオープンな環境の提供。
- ② 関係府省及び研究機関の連携による社会実証モデル実証事業への協力・推進。
- ③ モデル実証事業の実施にあたっては、関係府省と連携しつつ、東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて、先進的な宇宙データ利活用に向けた検討を進める。

- ④ 宇宙データ利活用により都市が抱える課題の解決を目指す自治体等の取組を支援するため、「データ利活用型スマートシティ推進事業」のスキームの活用を積極的に検討。
- ⑤ 以上の取組を通じて、宇宙データ利活用の先進的な成功事例の創出を目指す。

5-3 ブロードバンド衛星通信ビジネス推進戦略

ブロードバンド衛星通信ネットワークとIoT・5Gサービスとの連携を実現するためには、利用周波数帯、伝送速度、端末数、アプリケーション等が多様に混在するIoT・5G端末群を衛星通信回線に適切に収容することが必要となる。これを可能とするため、総務省においては、衛星通信における周波数の利用効率向上に関する技術や、テラヘルツ波・光通信も含めた利用可能領域の拡大が可能となる技術を開発するとともに、技術試験衛星9号機の開発を着実に実施する。また、同衛星を活用し、多様かつ大規模なIoT端末から送出される様々な通信需要を効率的に制御するためのブロードバンド衛星通信ネットワーク管制技術を開発することが適当である。

また、異業種・異分野の関係者による、ブロードバンド衛星通信とIoT・5Gとを連携した新たなサービス・アプリケーションの開発と技術実証を促進するため、総務省においては、技術試験衛星9号機及び対応する地上システムを活用することにより、オープンなサービス・アプリケーション実証環境を整備することが適当である（図5-3）。

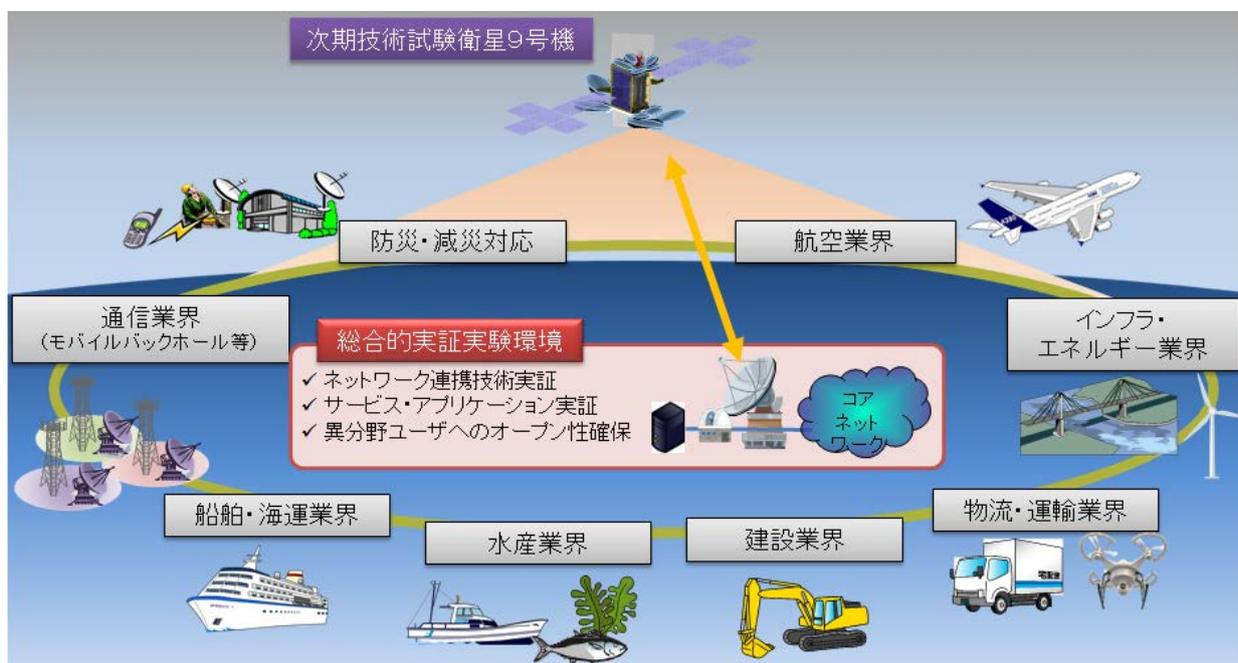


図5-3 ブロードバンド衛星通信と5G・IoTとの連携サービスの実証環境のイメージ

5-4 ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス推進戦略

2020年前半の打上げを目指している火星探査用超小型衛星開発プロジェクト等に関し、総務省及びNICTは関係する国内外の研究機関とも連携し、衛星センサシステムの開発を

推進することが適当である。開発に取り組むべきセンサ技術としては、水、一酸化炭素、酸素の同位体を高感度で検出でき、かつセンサの小型軽量化を実現できるテラヘルツパッシブセンサを対象とすることが適当である（図5-4）。

さらに、将来的に、月面基地を中継基地として経由して、小惑星における資源探査や火星への有人飛行を実現するためには、より効率的に宇宙資源探査を可能とするためのワイヤレスセンサが必要となる。このため、総務省及びNICTにおいては、小型衛星に搭載でき、月面等の地表面から数cm～数10cm程度地中に存在する水資源等の検出や、より広範囲での探査・検出を可能とするテラヘルツアクティブセンサの研究開発にも取り組むことが適当である（図5-5）。

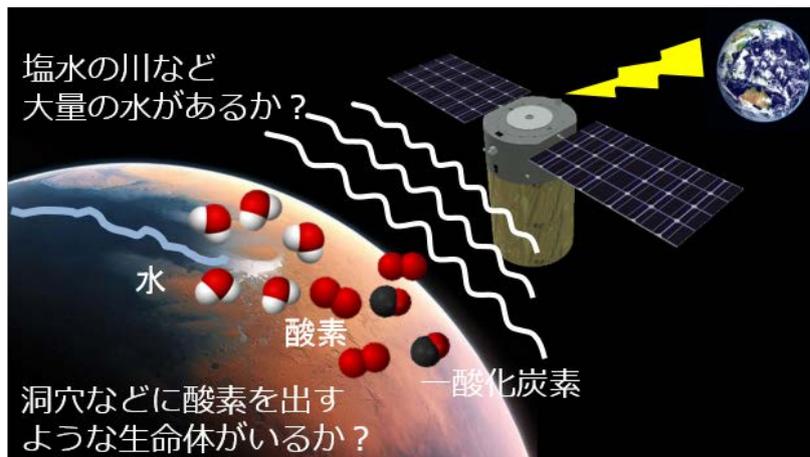


図5-4 火星探査用超小型探査機のイメージ

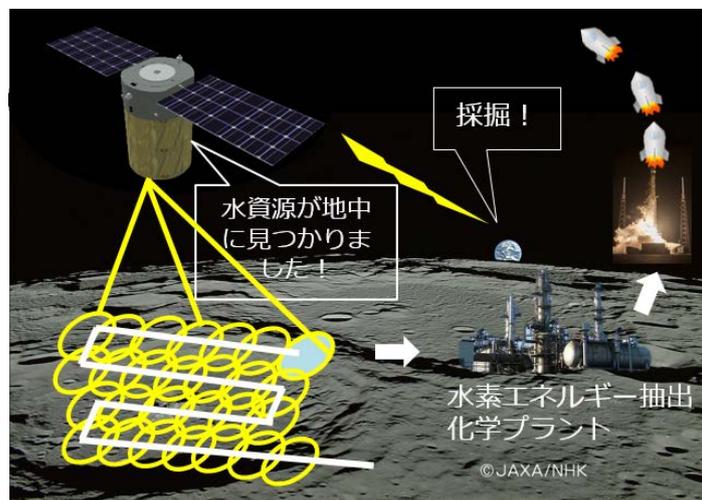


図5-5 宇宙資源探査用テラヘルツアクティブセンサのイメージ

5-5 宇宙環境情報ビジネス推進戦略

5-5-1 ICAO宇宙天気センターの設置

2020年以降、世界の数か所に設置が見込まれるICAO宇宙天気センターについては、2017年6月現在、ICAOにおいて設置場所に関する検討が行われており、2018年7月に決

定される見込みとなっている。

将来、宇宙観光等、商業的な有人宇宙利用が普及、発展した場合、ICAO宇宙天気センターが宇宙天気情報の拠点となり、将来の我が国の宇宙開発に影響を与える可能性が高い。

このため、ICAO宇宙天気センターの我が国への設置について、総務省及びNICTは、ICAOに関連する国際動向や国内検討を踏まえ、戦略的に対応することが適当である。

ISES: 国際宇宙環境サービス(18か国が加盟 ESAがCollaborative Expert Centerとして参加)

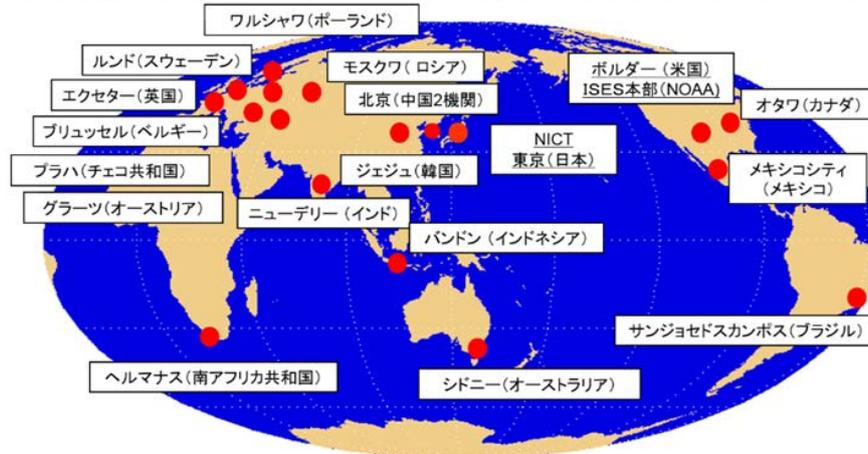
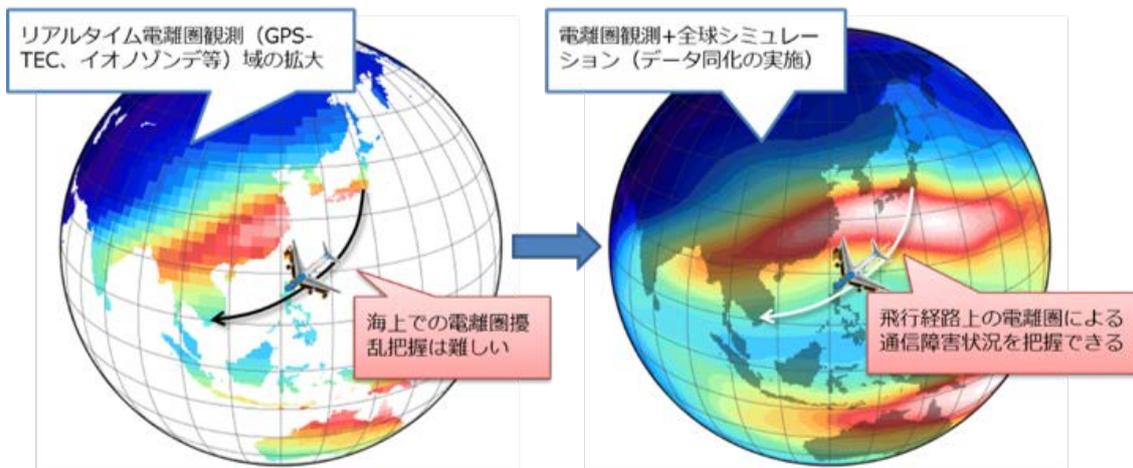


図5-6 国際協力による宇宙天気予報の推進体制

5-5-2 低緯度海域の電離圏モデル予測技術の研究開発

宇宙環境情報として、低緯度地域特有のプラズマバブルや赤道異常などの強い電離圏擾乱現象を正確に把握し、電離圏モデルを作成することにより、海域における衛星測位精度の更なる向上が可能となる。これを実現することにより、準天頂衛星システムの高精度測位サービスを利用した新たなビジネス・産業について、アジア諸国を中心とする海外展開を促進することが可能となる。

このため、NICTにおいては、VHFレーダ等によるプラズマバブル等の低緯度電離圏異常の高精度な測定技術の開発や、AIを用いた観測データの同化による電離圏モデルの作成技術等を開発することにより、低緯度海域における衛星測位サービスの精度向上に資する電離圏モデリング技術を確立することが適当である。



- ・ 全球モデルとの融合により、電離圏観測の空白領域を埋めることが可能となる。
- ・ 観測データを同化することにより、全球モデルの再現精度が向上する。

図5-7 低緯度海域における電離圏モデル予測のイメージ

5-6 基盤技術研究開発推進戦略

現在、インターネット上では、まず高速化が困難な公開鍵暗号方式により、クライアント・サーバ間やクライアント同士で電子署名による認証や共通鍵の鍵交換等を行い、その後、当該共通鍵をもとに比較的高速な共通鍵暗号方式によりデータを暗号化している。しかし、過酷な宇宙環境の中のスペースや電力が限られる衛星で、これら暗号技術を実装するのは容易ではない。通信衛星の情報セキュリティレベルの向上を図らなければ、将来、情報セキュリティ上のぜい弱な通信衛星がセキュリティホールとなり、他の衛星通信網や地上通信網にまで影響を及ぼすおそれがある。

また、将来的に量子コンピュータのような計算機技術が発展した段階においては、現在のインターネット上での暗号方式が危殆化するおそれがあるところ、衛星通信システム上での暗号方式や鍵長の仕様更新は容易ではないため、衛星におけるサイバー攻撃対策として必ずしも万全と言えない。

このため、総務省においては、どれ程の計算力をもってしても解読できない安全性を備えた通信を実現するための暗号技術として、衛星に搭載した物理乱数源から生成された真性乱数を、レーザー光で地上局へ伝送する技術及び衛星・地上局間で共有した真性乱数データから安全な暗号鍵を蒸留する技術（量子暗号等）の開発を推進するとともに、高秘匿衛星光通信技術の実証を行うことが適当である。さらに、衛星のバックアップや高高度での中継を行うための航空機等による移動体光通信技術の研究開発にも取り組むことが適当である（図5-8）。

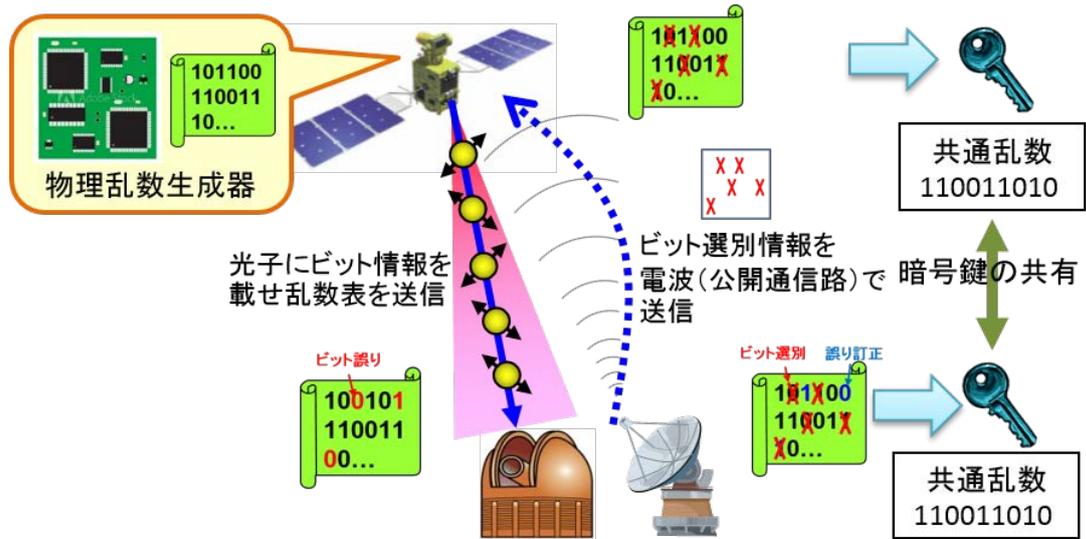


図5-8 高秘匿な衛星光通信プラットフォーム技術

第6章 宇宙×ICTの着実な推進に向けて

～推進ロードマップの策定～

本章においては、第5章において述べた推進方策をいつまでに実行し達成すべきか、宇宙×ICT重点4分野ごとに、研究開発、環境整備及び国際対応に分類した上で、図6-1のとおり整理した。

第4章に述べた宇宙×ICTがもたらす近未来社会を実現するためには、総務省、NICT及び関係機関がそれぞれ主体となり、本章に整理したロードマップの着実な実施に取り組んでいくことが必要である。また、新たな価値創造のためにここで挙げる各分野を横断した一体的な取組が求められる。

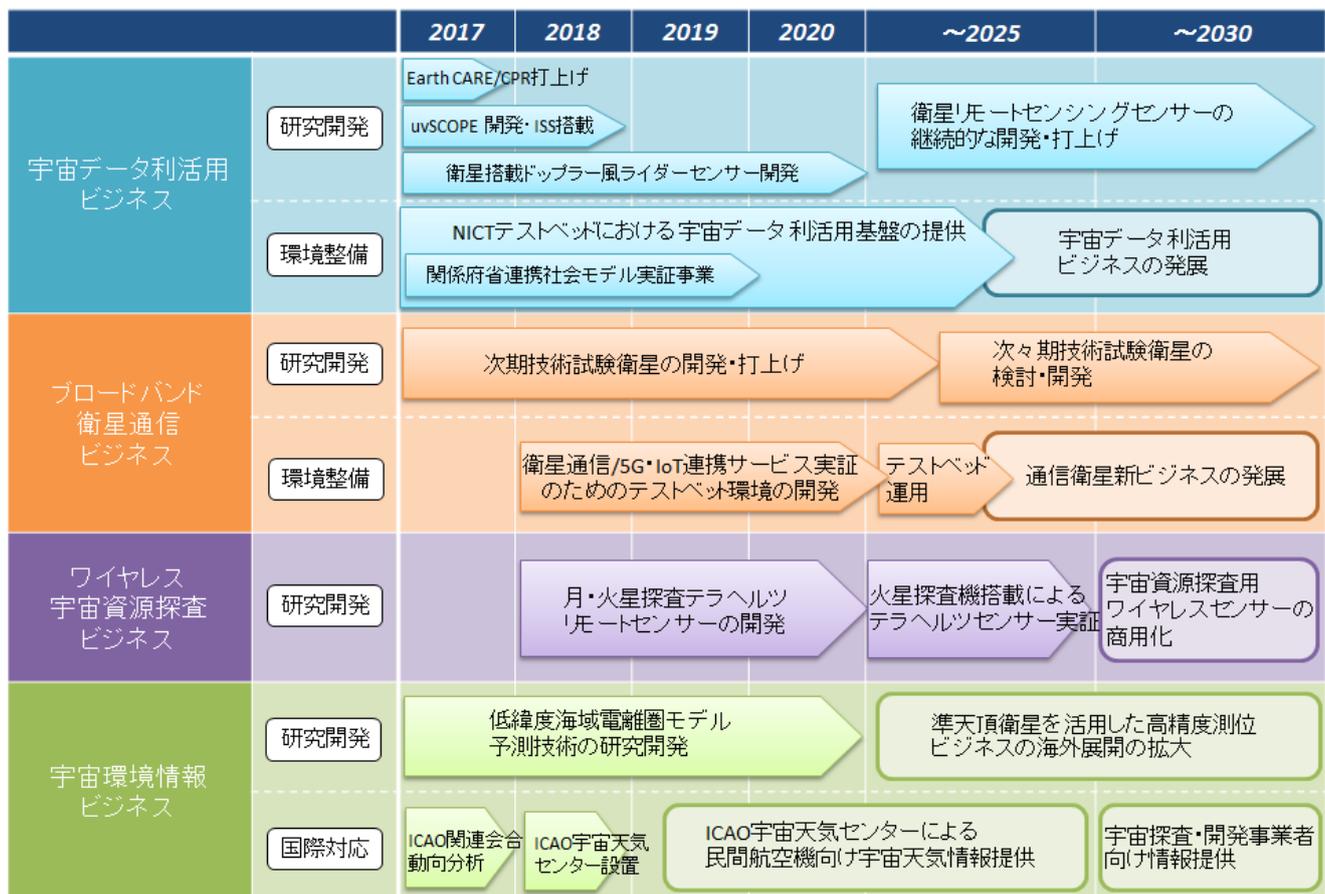


図6-1 宇宙×ICT総合戦略推進ロードマップ

おわりに

改めて言うまでもなく、今日のICTは、生活や社会・経済活動の発展において欠かすことのできない重要な技術である。近年は、その利活用によって新たなニーズを瞬時に捉えるとともに、技術及びサービスの発展を促していくことが重要となっている。宇宙利用分野においては、通信衛星やリモートセンシング衛星のコンステレーションにより、グローバルなブロードバンド衛星通信サービスの提供やリアルタイム地球観測網等による新たなサービスが展開されようとしている。このように、宇宙産業市場の拡大が予想される状況において、今後、ICTの利活用が更に進むと見込まれる。

本懇談会において検討を進める中で、2030年早期における宇宙×ICTがもたらす社会的・経済的効果を分析し、宇宙×ICTの重点4分野のビジネス及びそれら重点4分野の発展を支える基盤技術を特定した。また、「宇宙×ICT総合推進戦略」及びロードマップを策定し、新たなイノベーション創出や宇宙産業の活性化に資する“宇宙×ICT”を着実に推進していくための方向性について提言した。

本報告書を踏まえ、所要の取組が着実に実施されるとともに、繰り返しイノベーションを起こすために、総務省において適時・適切に取組状況の調査・検討が行われ、取組が更に強化されることを期待する。その際、本報告書がそれらの調査・検討に貢献できれば幸いである。

参考資料1 「宇宙×ICTに関する懇談会」開催要綱

1 目的

近年、情報通信技術（ICT）の進化により世界規模で情報のネットワーク化とイノベーションが急速に起こりつつあり、宇宙利用分野においても、IoT、ビッグデータ、AI（人工知能）を活用した新たなサイエンスやビジネスが創造される大変革時代を迎えつつある。

また、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、政府においては、宇宙関連二法案（宇宙活動法及び衛星リモートセンシング法）が国会に提出され、民間による宇宙ビジネスの本格参入に向けた法制度が整備しつつあるところであり、同時に我が国における宇宙産業の活性化を目的とした、いわゆる「宇宙産業ビジョン」の検討が進められている。

宇宙利用に先駆的なイノベーションをもたらす宇宙産業を活性化するために、ICT分野の先端技術・基盤技術を積極的に活用した革新的なアプローチが必要となっており、ICTを活用した宇宙利用のイノベーション（“宇宙×ICT”）の具体化が期待されているところである。

以上の観点から、本懇談会では、ICTを活用した宇宙利用のイノベーションがもたらす新たな社会像やその実現方策等を検討することにより、我が国における戦略的な宇宙利用分野のイノベーションの創出をめざすこととする。

2 名称

本会議は「宇宙×^{バイ}ICTに関する懇談会」と称する。

3 検討内容

- (1) 宇宙×ICTが実現する新たなビジネス、将来の社会像等の検討
- (2) 各宇宙分野（通信分野、リモートセンシング分野、宇宙環境計測分野、時空計測分野、宇宙探査分野 等）における重点研究課題の抽出
- (3) 国及びNICTにおける役割並びに研究開発推進方策の検討
- (4) その他、座長が必要と認める事項

4 構成及び運営

- (1) 本懇談会は、総務副大臣（情報通信担当）の懇談会として開催する。
- (2) 本懇談会の構成員は、別添のとおりとする。
- (3) 本懇談会に、総務副大臣があらかじめ指名する座長を置く。
- (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) 座長代理は、座長を補佐し、座長不在のときは座長に代わって本懇談会を招集し、主催する。

(7) その他、本懇談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) 本懇談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若しくは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、非公開とすることを必要と座長が認める場合

(2) 懇談会終了後、速やかに議事要旨を作成し、公開する。

6 スケジュール

本懇談会の開催期間は、平成28年11月から平成29年夏頃までを目途とする。

7 事務局

本懇談会の事務局は、情報通信国際戦略局技術政策課及び宇宙通信政策課が行うものとする。

参考資料2 「宇宙×ICTに関する懇談会」構成員名簿

(敬称略、五十音順)

	青木 一彦	スカパーJSAT株式会社宇宙・衛星事業本部宇宙・防衛事業部 部長
	安達 昌紀	日本電気株式会社パブリックビジネスユニット 主席主幹
	新井 邦彦	国際航業株式会社中央官庁事業推進室 地球情報担当部長 兼 地球観測データ利用ビジネスコミュニティ (BizEarth) 企画部 部会長
	内野 修	国立研究開発法人国立環境研究所地球環境研究センター衛星観測研究室 衛星観測センターGOSATプロジェクト 検証マネージャ
	宇野沢 達也	株式会社ウェザーニューズ 減災プロジェクトリーダー (気象予報士)
	永島 隆	株式会社アクセルスペース 取締役
	加藤 寧	東北大学電気通信研究機構 機構長
	門脇 直人	国立研究開発法人情報通信研究機構 執行役
	金谷 有剛	国立研究開発法人海洋研究開発機構 分野長代理
	金本 成生	株式会社スペースシフト 代表取締役
	来田 倍周	株式会社ジェノバ技術センター 課長
	草野 完也	名古屋大学宇宙地球環境研究所 教授
	坂井 文泰	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所 上席研究員
	佐藤 将史	株式会社野村総合研究所社会システムコンサルティング部 上級コンサルタント
	清家 康之	株式会社商船三井海上安全部船上ITグループ グループリーダー
	塚原 克己	三菱電機株式会社宇宙システム事業部 事業部長代理
	辻 寿則	株式会社アストロテラス 代表取締役
	内藤 一郎	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門衛星利用運用センター センター長
座長	中須賀 真一	東京大学大学院工学系研究科 教授
	永妻 忠夫	大阪大学基礎工学部・基礎工学研究科 教授
	中村 良介	国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センター 地理情報科学研究チーム長
	Ferguson, Iain	ロイズ・ジャパン株式会社 代表取締役社長
	三嶋 章浩	凸版印刷株式会社情報コミュニケーション事業本部 ソーシャルビジネスセンターソーシャルビジネス開発部 係長
	吉川 真	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 准教授
	吉田 和哉	東北大学大学院工学研究科 教授
座長代理	六川 修一	東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 教授
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
	農林水産省	大臣官房政策課技術政策室
	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
	環境省	地球環境局総務課研究調査室