

**次期技術試験衛星に関する検討会
報告書**

平成 27 年 4 月

次期技術試験衛星に関する検討会

目次

1. 検討の背景.....	1
(1) ICT を取り巻く社会的情勢変化.....	1
(2) 衛星開発の歴史.....	2
(3) 通信・放送衛星の開発動向.....	3
(4) 我が国宇宙政策の動向.....	4
2. HTS を取り巻く世界市場分析・将来動向.....	5
(1) 世界の衛星通信市場概要.....	5
(2) バス分野.....	7
(3) ミッション分野.....	8
(4) 欧州動向.....	9
3. 技術的課題・到達目標.....	11
(1) 現行技術における全体的課題.....	11
(2) 現状で実現困難な具体的課題.....	12
(3) その解決に必要な技術的課題.....	17
(4) 到達目標.....	21
4. 国が行うべき政策的意義.....	21
(1) 科学技術政策としての優先度.....	21
(2) ICT 政策としての優先度.....	26
5. 今後の方向性.....	29
(1) 技術課題の優先順位づけ.....	29
(2) 関係機関における役割分担の考え方.....	30
(3) その他今後の検討事項.....	31
参考資料 1 次期技術試験衛星に関する検討会.....	32
参考資料 2 検討会での審議状況.....	33
別冊資料 次期技術試験衛星に関する検討会 報告書 資料集	

1. 検討の背景

(1) ICTを取り巻く社会的情勢変化

我が国は、100Gbpsを伝送可能な光ファイバー敷設や1.4億以上の携帯端末がブロードバンド通信可能であるなど世界有数のICT先進国ではあるが、近年、経済的地位の低下をはじめ、少子高齢化、グローバル化の進展、大規模災害による被害の甚大化の可能性などの様々な社会的課題に直面しており、今後これらの課題解決を図っていかなければならない。現在、1人1台以上の携帯電話所有が当たり前になるほどに移動通信網が浸透し、約8割の国民がインターネットを利用しているなど、ICTは国民生活に不可欠な社会活動の基盤としての地位を固めたが、さらなる生産性の向上やこれらの社会的課題の解決のためにも、ICTが果たす役割が今後ますます増大することが期待されている。

特に、ブロードバンド環境の世界的な普及拡大を背景に、単なる通話機能ではなくメールやウェブサイトの閲覧機能を備えたスマートフォンの利用や、ビジネス用途における大容量のファイル転送に対応した高速データ通信の利用が急激に拡大しており、これらのニーズに対応するためのより高速・大容量で利便性の高い第5世代移動通信システムの検討が国際的に進められている。さらに、高度道路交通システム（ITS）や機器間通信（M2M通信）等の利活用拡大をはじめ、フルハイビジョンの4倍の解像度をもつ4Kの試験放送が始まり、2020年の東京オリンピック・パラリンピックまでには4K/8Kの本放送が視聴できるよう準備が進められている。

現在、携帯電話等による人口カバー率は全国の99%を超え、国民が居住する空間では概ねどこでも通信ができるような環境が整備されつつある。しかしながら、面積カバー率で見れば全国土の約60%(推定)程度に留まっており、依然として残りの地域はブロードバンド通信を享受することが困難な不感地域として残存している。さらに、海域や空域など地上よりもさらに広域な空間を有する領域ではいまだにブロードバンド環境が整備されているとは言い難い状況にある。近年の社会経済活動のグローバル化に伴い、航空機による長距離移動時のブロードバンド環境への期待が高まりつつあるほか、地球温暖化等による北極圏航路の新たな開放や日本海域での海洋資源開発の活性化等により、船舶等でのインターネット環境への需要も高まりつつある。東日本大震災の際には、技術実証衛星であるWINDSやETS-VIII等の衛星通信

網が非常通信手段として機能し、災害発生時における衛星通信システムの有効性があらためて見直される契機となった。人々の社会経済活動のあらゆる領域において、好きなときに、好きなように**100Mbps**程度のブロードバンド通信を可能とするためにも、より広域をカバーするICT基盤の整備が期待されている。

(2) 衛星開発の歴史

1959年(昭和34年)頃から、米ソの相次ぐ人工衛星打上げ成功により我が国においても宇宙開発の機運が高まり、1970年(昭和45年)に我が国初の人工衛星『おおすみ』(東京大学)の打上げに成功した。その後も国家プロジェクトとしてバスやミッション機器等の研究開発を進め、1977年(昭和52年)には、我が国初の通信衛星『さくら』の打上げに成功したほか、以下のように次々と後継機の打上げに成功した。その中には、高まりつつある安全保障等に対応するための情報収集衛星をはじめ、気候変動や地球観測のためのリモートセンシング衛星、高精度測位のための準天頂衛星など多様な用途の衛星が含まれており、我が国衛星開発の技術水準向上に大きく貢献した。

- 1977年(昭和52年) 我が国初の通信衛星『さくら』米国より打上げ。
- 1978年(昭和53年) 初の放送衛星『ゆり1号』米国より打上げ。
- 1983年(昭和58年) 国産ロケットにより、通信衛星2号『さくら2号』。
- 1986年(昭和61年) 国産ロケットにより、放送衛星『ゆり2号』。
- 1989年(平成元年) 民間衛星 JCSAT
- 1990年(平成2年) ≪日米調達合意≫
- 2003年(平成15年) 情報収集衛星
- 2006年(平成18年) ALOS『だいち』、ETS-VIII『きく8号』
- 2007年(平成19年) 民間衛星 BSAT-3a
- 2008年(平成20年) WINDS『きずな』
- 2010年(平成22年) 準天頂衛星『みちびき』

こうして我が国独自の衛星開発が軌道に乗りつつあったが、1990年(平成2年)米国貿易政策に関して政府間で締結された『日米調達合意』があり、この結果、技術実証衛星を直接実用に供することが禁じられるとともに、国等が開発する実用衛星も国際競争入札の適用対象とされた。このため、国が行う技術開発が実用のニーズと必ずしも合致するものとならず、また実用衛星ではより安価な海外製が多くを占めるようになり、少数生産で高コストの国産衛星は大量生産で低価格の欧米の商用衛星に苦戦し、国内衛星産業や国

際競争力の観点からも諸外国の後塵を拝することとなった。

世界の宇宙産業については、衛星サービスをはじめ衛星製造、打上げ、地上設備等から構成されているが、このうち約 8 割が通信・放送衛星で占められており（残りはリモートセンシングや測位等）、我が国宇宙産業の国際競争力を強化し、産業基盤技術を維持、強化していくうえでも極めて重要な分野として、諸外国ともに国をあげて積極的な開発投資を行っている。我が国がこの分野で競争力を維持していくためにも、このような諸外国の取組を参考にしつつ、我が国の財政状況等も踏まえながら官民一体となった取組が不可欠である。

（3） 通信・放送衛星の開発動向

すでに述べたように、近年の社会経済活動のグローバル化に伴い、空や海といったより広範な活動領域におけるブロードバンド環境へのニーズが増大しつつある。また、大規模災害時における衛星通信のニーズが高まりつつあり、被災状況等の高精細映像による情報伝送やフレキシブルで可動性の高い非常通信手段として、きめ細かい災害対応での利活用等が期待されている。衛星通信システムは、遠隔地やへき地等におけるデジタルデバイド対策をはじめ、災害により地上系通信システムが使用困難になった場合の非常用通信対策など、地上系通信システムでは達成・実現することが困難な状態で行う通信に不可欠である。このような観点での衛星通信システムの便益性については、我が国のみならず諸外国等においても同様の観点で成立するものである。

一方、使用周波数帯の観点からは、Ku 帯までの比較的低い周波数帯については衛星先進国が占有しており、世界的にも周波数逼迫が懸念されているため、Ka 帯以上で広帯域を使用する衛星通信への関心が高まっている。Ka 帯については、欧米を中心として Ka 帯マルチビームによる大容量衛星通信システム（HTS:High Through-put Satellite）等が開発されているなど、世界的にも利活用促進に向けた新たな研究開発が進められている。Ka 帯技術に関して、我が国では 2008 年打上げの技術実証衛星（きずな）によるアクティブフェーズドアレーアンテナ、再生中継交換器等の高速大容量通信技術の実証実験を実施している。また、今後の大容量衛星通信のコアとなる要素技術のひとつとして、軌道上で衛星リソースの再構成が可能なチャネライザが期待されているが、Ka 帯への適用を目指して 200MHz 帯域チャネライザの地上試験による評価も実施されている。このほか、ミリ波や光の帯域についても先駆的に開発した実績などを有しているが、持続的と思われる利用モデ

ルが明確になっていないこともあり、先行する海外に比較して進んでいない。

今後の広帯域化や我が国衛星の海外展開を見据えた研究開発を進めていくうえでは、**Ka** 帯のさらなる開拓のほか、欧米の研究開発動向や我が国における電波利用動向等を踏まえた光、ミリ波等の新たな周波数帯も考慮すべきである。このほか、通信システムとして具備すべき技術への電力資源配分の見直しの観点から、**on-board-processor** 型と **bent-pipe** 型の長短所の比較や、目的に応じた柔軟な衛星利活用を実現するための、デジタルビームフォーマやチャネライザ等の衛星用の要素技術についても検討を行う必要がある。

また、これらのミッション機能の高度化に対応したバス技術の高機能化のための開発もあわせて行う必要がある。具体的には、今後のマーケットニーズに対応するため、欧米有力企業では衛星発生電力に関し現状の **15kW** 級の衛星キャパシティを超える **25kW** 級の電力開発が進められている。このほか、打上げコスト削減や重量削減等のため、衛星の軽量化が進められており、イオンエンジンやホールスラスタといった電気推進機構をはじめ、薄膜太陽電池パネル、高効率熱制御ラジエータ、高精度姿勢制御等の要素技術開発が進展している。欧州では **ALPHASAT** のような大型衛星に加えて、**NEOSAT** のような中型衛星の開発にも注力している。このように通信の高度化・多様化と打上げコストを削減するための衛星の重量軽減の両方に対応するためのバス開発も必要となりつつある。

(4) 我が国宇宙政策の動向

2015年1月、宇宙開発戦略本部において、宇宙政策をめぐる環境変化や安全保障政策、産業界の投資の予見可能性を高め産業基盤を維持強化するというという観点から、新たな宇宙基本計画が決定された。

このなかにおいても、『通信・放送衛星に関する技術革新を進め、最先端の技術を獲得・保有していくことは、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力の強化の双方の観点から重要である。このため、今後の情報通信技術の動向やニーズを把握した上で我が国として開発すべきミッション技術や衛星バス技術等を明確化し、技術試験衛星の打ち上げから国際展開に至るロードマップ、国際競争力に関する目標設定や今後の技術開発の在り方について検討を行い、平成27年度中に結論を得る。これを踏まえた新たな技術試験衛星を平成33年度めどに上げることを目指す』とされており、産業・科学技術基盤の維持強化という観点から技術試験衛星の必要性が述べられ

ている。

とくに、今後 10 年間を見据えた通信放送衛星を開発するうえでは、このような産業基盤技術維持の観点を踏まえつつも、技術実証という観点から将来にわたる利用ニーズを見据えたうえでの開発が不可欠である。ETS-以降、通信・放送分野に関する技術試験衛星の具体的な打上げ計画がない状態が続いているが、これはサービス提供者や利用者が想定するニーズに整合する技術開発要素を設定できていないことも要因のひとつであり、衛星製造事業者等のみならず衛星通信サービス提供者や利用者の具体的な意向も把握するなどのニーズ集約を行い、技術実証衛星により達成を目指す目的の明確化を行う必要がある。

以上のような観点から、2014 年 11 月以降これまで 7 回にわたり有識者を中心に検討を重ね、今後の技術試験衛星の打上げに向けた検討を進めてきた。本報告書は、今後の技術試験衛星に関し政府が取り組むべき具体的方向性を取りまとめたものである。

2. HTS を取り巻く世界市場分析・将来動向

(1) 世界の衛星通信市場概要

全世界で運用中の衛星は約 1,100 機程度存在するが、その約半数の 50% が通信・放送衛星である（このほか、リモートセンシング衛星、研究開発衛星、測位衛星、軍事衛星、科学衛星等が各々 1 割程度）。また近年では、従来の FSS（Fixed Satellite Service）衛星に対してスループットを大幅に向上させた高速大容量の衛星である HTS 衛星（High Through-put Satellite）が増加しつつある。以下の表は、2015 年 2 月までに打上げられた主な HTS 衛星と計画中の HTS 衛星の一覧であり、中軌道の HTS 衛星（O3b:12 機）を含めて、15 衛星事業者、40 機の HTS 衛星が打上げられている。なお、HTS については現在統一的な定義は存在しないが、通常は同じ帯域幅で少なくとも 2 倍以上にスループットを向上させた高速大容量の衛星を指すことが多い。

表 1：HTS 衛星を運用する衛星事業者（計画中を含む）

事業者名	国	主なHTS衛星(打上げ済)	主なHTS衛星(計画)
Arabsat	アラブ諸国	Arabsat 5B, 5C	Arabsat 6B
Avanti	イギリス	Hylas 1, 2	Hylas 3, 4
China Satcom	中国		Chinasat 16
DirecTV	アメリカ	Direc TV 10, 11, 12, 14	Direc TV 15
Eutelsat	欧州	KA-SAT, Eutelsat 25B, 3B	Eutelsat 172B
Gazprom	ロシア		Yamal 601
Hispasat	スペイン	Amazonas 3	Amazonas 5
EchoStar (HNS)	アメリカ	Spaceway 3, Echostar 17	Echostar 19
Inmarsat	国際	Global Express I-5 (2機)	Global Express I-5 (2機)
INSAT	インド		GSAT-11
Intelsat	国際		Intelsat Epic (全6機)
NBN	オーストラリア		NBN-1A, 1B
Newsat	オーストラリア		Jabiru-1
O3b	イギリス	O3b (全12機)	O3b (第二世代)
RSCC	ロシア	Ekspress AM5, AM6	Ekspress AM8
SES	ルクセンブルグ	Astra 2E, 2F, 2G	SES 12,14, 15, 16
Spacecom	イスラエル	AMOS 4	AMOS 6
Star One	ブラジル		Star One D1
Thaicom	タイ	IPStar 1	
Telesat	カナダ	Anik F2	Telstar 12 Vantage
Telenor	ノルウェー		Thor 7
Turksat	トルコ		Turksat 4B
Viasat	アメリカ	Wildblue 1, Viasat-1	Viasat- 2, X
Visiona Brazil	ブラジル		SDGC
Yahsat	UAE	Yahsat-1A, 1B	Al Yah 3

衛星通信サービスは、固定衛星サービス（FSS）と移動衛星サービス（MSS）に分類されるが、世界的なブロードバンド通信の需要が高まっているなか、近年では FSS と MSS の市場の境界が曖昧になりつつある。従来の FSS に属した ESV（Earth Station on Vessels）が海上で広範に使われはじめているほか、地上の固定アンテナで受信されていた DTH（Direct-to-home）が海上で普及するなどの動きが見られる。事業者にとっても FSS と MSS の区別が明確でなくなっており、Intelsat のような FSS 通信事業者が飛行中のインターネット接続や海事セクター（ガス・油田探査、クルーズなど）での利用を成長市場とみなしたり、Inmarsat や Iridium のような MSS 通信事業者が衛星コンステレーションを FSS アプリケーションにも利用しようとする動きが見受けられる。このほか、Boeing などの航空機内において WiFi 通信が可能となるようなブロードバンドサービスも進展しており、とくに欧米における Ku バンド周波数の枯渇に伴い、Ka 帯を用いたサービスも拡大しつつある。このような移動体（船舶、航空機等）における大容量通信の利用ニーズの高まりを受け、ITU-R においても ESoMPs（Earth Stations on Mobile Platforms）と呼ばれる移動地球局に対して主に Ka 帯の固定衛星サービス（FSS）の周波数帯を利用して衛星通信サービスを行うことに関する検討が始まっている。

(2) バス分野

商用静止衛星の世界的な技術トレンドを見ると、通信・放送衛星はブロードバンド化に伴う通信容量の大容量化、多チャンネル化（多数の中継器搭載）が進む見込みであり、消費電力は増加する傾向である。このため、例えば衛星の大型化や静止衛星バスの大電力化（25kW 級）がバス技術として進展している。

また、衛星自体の質量を減少させることによる打上げコストの低減、ペイロード質量比の増大を目的として、電気推進を搭載しているバスの開発も進んでいる。米国の SSL、Orbital Sciences、Boeing、Lockheed Martin、欧州の Airbus Defence and Space、Thales Alenia Space などが電気推進衛星バスの開発を加速させている。

衛星へのミッション機器の相乗り（Hosted Payload）を含むマルチミッション化への需要の高まりを背景に、ミッション機器の搭載効率の向上技術の開発も進んでいる。マルチミッション通信衛星をサポートする高性能バスや質量／体積を最適化する技術が求められている。さらに、衛星としては長寿命化（10～15 年）に対する期待が大きくなっている。

特に、世界の商業通信衛星分野において全電化衛星が注目されている。全電化衛星とは、従来の化学推進系ではなくイオンエンジンやホールスラスタ等々の電気推進系のみを搭載した衛星のことであり、軌道保持や姿勢制御だけでなく軌道遷移にも電気推進系を使用するのが特徴である。米国 Boeing 社では、全電化衛星バス「702SP」を開発・市場投入し、ABS (Asia Broadcast Satellite) 社と Eutelsat 社と事業協力の協定を結び、各社 2 機ずつ、合計 4 機の製造契約を獲得した。2015 年 3 月 2 日、世界初の全電化衛星となる 2 機（ABS-3A、Eutelsat 115 West B）の衛星を上下連結状態により Falcon 9 で打上げた。また、Boeing 社以外の米国内の他の企業も開発に乗り出しており、Lockheed Martin 社、SSL (Space Systems/Loral) 社が全電化衛星のプラットフォーム設計を開始している。

一方で、欧州勢も先行する米国に対して追従の構えを見せている。ESA は ARTES-33 プログラムとして全電化衛星バス Electra を開発中である。同プログラムは SES 社と ESA の PPP (Public-private partnership) で進められており、衛星メーカーとしては独国の OHB 社が選定されている。開発完了は 2018 年で、ターゲット衛星質量は 3 トン程度と計画されている。また、CNES は商業通信衛星の市場競争力を強化するため、2019 年初打上

げ予定の全電化衛星 **Neosat** の開発に注力している。**Airbus Defence & Space** 社と **Thales Alenia Space** 社は **Neosat** 技術を導入し、現在の生産ラインを使った独自プラットフォームの開発を計画している。今後の全電化衛星やハイブリッド衛星の活用により、今後数年間で衛星質量は大幅に低下し、3 トン近辺の衛星が増加することが見込まれている。

(3) ミッション分野

前述した **HTS** 衛星の多くは、**Ka** 帯を使い多数の狭域スポットビームを照射することにより大きなスループットを実現している。**HTS** 衛星誕生の背景には、**C**、**Ku** 帯が周波数制約上飽和状態にあるなかで、新規の大容量通信需要を満たす **Ka** 帯マルチビーム利用への関心が高まってきたことがあげられる。**HTS** 衛星は衛星 1 機当りの通信容量が飛躍的に増大しているため、衛星事業者にとっては衛星通信サービスのビット単価を低減させることが可能になると期待されており、欧米を中心として世界的にも積極的な取組みが進められている。

Ka 帯利用の歴史は古く、1980 年代には我が国だけでなく欧米各国の宇宙機関が **Ka** 帯の研究開発を開始していた。しかし新しいハードウェア開発と品質保証には多大なコストがかかり、生産数量が少ないうちは供給側、購入側ともに多大なコスト負担が生じることから、当初衛星通信事業者は **Ka** 帯利用には消極的であった。また当時、**Ka** 帯導入が進まなかった潜在的な要因として、衛星の高出力増幅器の中心部となる **Ka** 帯進行波管 (**TWT : Traveling Wave Tube**) の供給におけるボトルネックがあったとも考えられている。現状でも **Ka** 帯 **TWT** は市場規模や参入コスト等の障壁から仏国の **Thales Electron Devices** 社と米国の **L-3 Communications** 社の 2 社のみが市場シェアの 9 割近くを独占している。

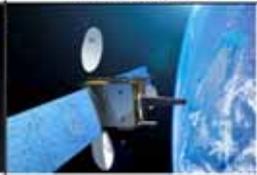
しかしながら、近年の周波数逼迫事情などが後押しし、現在では 25 の衛星事業者が **Ka** 帯を利用した **HTS** 衛星についての打上げ計画を有するに至っている。具体的には前述の図の通り、15 衛星事業者が **HTS** を既に打上げており、残りの 10 事業者は 2017 年までに最初の **HTS** 衛星を打上げる予定となっている。これらの動きにより **Ka** 帯 **TWT** の需要が保証されれば、供給のボトルネックの問題も緩和されていくものと推察される。近年では多くの衛星通信事業者が **HTS** 衛星の利用に積極的な姿勢を見せている。

(4) 欧州動向

欧州では、欧州宇宙機関（ESA）において衛星通信分野の研究開発プログラムとして、ARTES(Advanced Research in Telecommunication Systems)が実施されている。通信放送は宇宙産業の約8割の産業規模を占めることから、ESAは、通信衛星分野の需要確保を産業振興のための重要課題と位置付けており、ARTESを通じて、通信衛星分野における欧州各国の宇宙産業の国際競争力強化を支援している。

ARTESは、複数のプログラムを包含する研究開発フレームワークとして、戦略検討、要素技術開発、衛星システム開発及び軌道上実証、アプリケーション開発までの通信衛星分野に関するあらゆるフェーズの活動をカバーしている。このうち、通信衛星システムの技術開発及び実証プログラムは、大型クラスをAlphaBus、中型衛星をNeosat、小型衛星をSmallGEOとして実施している。以下に特徴を示す。

表 2：欧州で研究開発されている主要衛星の諸元

	Alphasat	Neosat	SmallGEO
初号機	Inmarsat-XL	衛星2式製作	Hispasat-AG1
打上げ時期	2013年7月25日	2018-2019年	2015年
衛星質量	6650kg (最大8100kg)	3000~6000kg	3200kg(GTO) 1700kg(GEO)
概観図			
主契約会社	Airbus/Thales	Airbus/Thales	OHB

上記プログラムは、ESA、衛星メーカ、衛星運用事業者による官民連携PPP（Public and Private Partnership）により、効率的に実施されている点に特徴がある。

具体例として、NEOSATやSMALL GEOの実施スキームのモデルとなっているAlphasatは2002年、ESA及びCNESにより検討が着手された。2005年に、プライムメーカとしてエアバス及びタレスアレニアスペースを選定し、両社の自社投資も加え、大電力静止バス「ALPHABUS」の開発を実施。並行してESAは、ALPHABUSのプロトフライトモデルを、衛星運用ビジネスで活用するパートナーを公募し、2007年、インマルサット社を

選定した。ESA はインマルサットとの PPP に基づき、ALPHABUS プログラムで製造した衛星バスのプロトフライトモデルをインマルサットへ提供。インマルサットは、エアバスを衛星システム製造のプライムメーカとして選定のうえ、ESA から提供を受けた衛星バスを活用し、商業通信ペイロードと、別途 ESA が選定した技術実証ペイロードを搭載した「ALPHASAT（別名：インマルサット 15 号）」を調達した。2013 年に打上げられ、インマルサットが所有・運用している。インマルサットのビジネスにおいて活用されているほか、打上げ後三年間、技術データを ESA 側へ無償で提供している。ユーロコンサル社のレポートによれば、ALPHASAT において、ESA は 230 ミリオンユーロ、インマルサットは英国政府からの支援を一部受けつつ、衛星システム製造、打上げ、運用経費として、368 ミリオンユーロを拠出している。

本スキームは、ESA、衛星運用事業者、衛星メーカそれぞれにメリットがある構図を実現している。ESA は、開発費を衛星企業と分担し、軌道上実証コストを衛星運用事業者に負担させ、最小の公的資金で ESA 加盟国から求められている、産業競争力強化という公的ミッションを実施できる。衛星運用事業者は、軌道上における技術リスクが内在するものの、先進的な高性能衛星を公的資金による補助を受け調達できるため、国際市場における競争力を低コストかつ開発リスクを回避しつつ、強化できる。衛星メーカは、一部自己投資を伴いつつも、ESA の公的資金や衛星運用事業者の参画を活用して、先進高性能通信衛星のシステム技術開発と、宇宙実証の機会を確保し、自社の産業競争力を効率的に強化できる。

Alphasat のスキームは、その後、Neosat、SmallGEO で活用されている。このほか ARTES では、衛星運用事業者であるユーテルサット社が主導し、先進的な通信ペイロードの技術開発・実証を行う Quantum、SES 社が主導し、OHB の SMALL GEO でオール電化衛星を開発する Electra、静止衛星による衛星インターネットビジネスを展開する Avanti Communication 社の hosted payload によりコストを抑える欧州データ中継衛星 EDRS など、様々な PPP 形態が創出され実施されており、通信衛星市場における機器産業及びアプリケーション産業の競争力強化プログラムが継続的に実施されている。

3. 技術的課題・到達目標

(1) 現行技術における全体的課題

通信・放送衛星の国際競争力を高めることは、宇宙基本計画で謳われた宇宙機器産業の維持発展という観点だけでなく、国内社会基盤への貢献という観点からも必須である。そのためには、打上げコストの削減につながる衛星バスの低重量化や大電力・高機能化、通信・放送機能をつかさどるミッション系技術の双方におけるイノベーションが必要である。

衛星バスに関しては、現状の衛星推進用の燃料は化学燃料が主であり、たとえば静止衛星では総重量の約半分を占め、重量の増大を招いている。このため、今後は電気推進機構などを採用した新たなバス開発により重量を増やさないでこれらの需要帯域に応じた柔軟な衛星設計が求められる。また、商用通信衛星の最大発生電力は、2020年～2030年は25kW程度までの電力が必要となってくる見込みであり、大電力化に対する検討も必要である。さらに、次世代の光通信衛星や次期気象衛星等の静止地球観測衛星、HTS等の高度なマルチビームを用いた通信衛星等において、高い姿勢安定化技術が要求されつつある。

また1章ですでに述べた通り、海域や空域利用、災害時などにおける衛星通信に対するニーズがあり、またその衛星通信に対するブロードバンド化への期待に応えるため、HTSが出現しつつあるが、このようなHTS衛星実現のためのミッション技術に関し、オペレーターサイドからはいくつか技術要望が寄せられている。たとえば、トランスポンダをまたぐ帯域の使い方ができず、特定のトランスポンダだけ混んで他は空いているというような非効率性があるといった意見や、36,000kmによる遅延はやむを得ないが衛星システム全体としてのユーザー視点に立った高速化が不可欠、今の高スループットはマルチビーム（ビーム数×帯域）で実現しているが単位ビームあたりで見ると投資に見合った回収性が得られていない、衛星地上間の特定ルートがふさがっていた場合の通信トラフィック軽減のための迂回ルート技術が未確立、故障時の代替衛星や代替中継器への切り替えには時間がかかるなどの不満や、東京などにトラフィックが集中してクリティカルになるので、ゲートウェイを分散させるなどのアンバランスなHTSビーム構成などの要望もあがってきている。今後の通信衛星のさらなる利活用促進のためには上述のような性能の改善を図っていくことが不可欠である。

ユーザーサイドからも、企業が自然災害等の緊急事態に遭遇した際に事業の継続を図るための事前取組である BCP（事業継続計画：Business Continuity Plan）などの観点において衛星系システムの利活用が見直されているが、その際に以下のような課題が寄せられている。具体的には、地上系通信システムに比して非常に遅い伝送速度しか提供できないといった意見をはじめ、コストが高い、使いたい場所で使いたい時間にすぐに使えない、地球局アンテナの設置や通信ケーブルのビル内引き込みが困難で運用場所の変更等の柔軟性が低い、悪天候や太陽雑音などの自然現象による回線断や品質劣化、無線従事者資格所有者や可搬局設置に必要なスキル所有者の確保が困難（無線局免許種別等により差異あり）などの指摘があり、これらの要因によって通信分野における衛星の利活用が十分に進んでいないのが現状である。

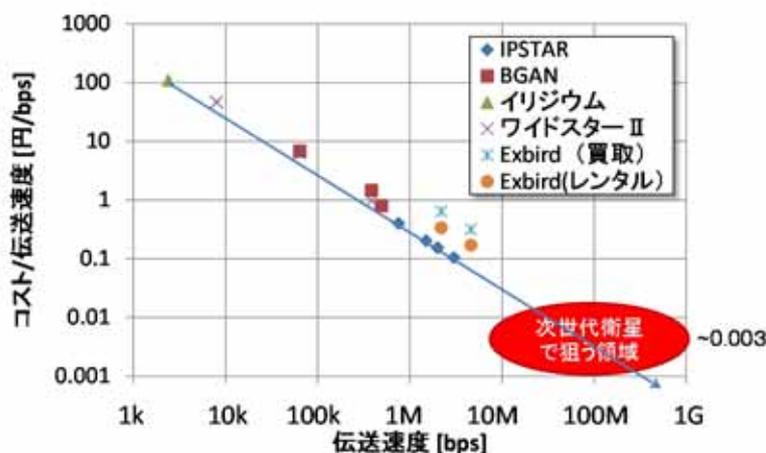


図 1：主要な商用通信衛星の伝送速度とコストの比較

(2) 現状で実現困難な具体的課題

○課題 1 「衛星打上げコストがかかり、費用対効果が悪い」

静止通信衛星の能力については、15 年寿命の末期に通信システム供給電力 X kW を打上げ時 Y ton の衛星で供給できるかの比率 X/Y [kW/ton] で表すことができ、その値が大きいほど能力が高いといえる。また、通信システムはアンテナ・中継器等で構成されるため機能に応じて規模の差異が大きいが、「通信システムに 15 年間供給できる電力」を、「バス・ペイロードを含めた衛星本体質量+ロケット投入から静止化までの推薬+15 年

運用のための推薬」でいかに最小化して供給できるかで表した。ペイロード電力のみでは単純には比較できないが、オール電化衛星を実現している欧米メーカーは2.3~2.7のペイロード打上げ効率を実現しているが、化学推進系のみ日本メーカーは1.8以下に留まり、打上げ費用の効率が悪いことがわかる。

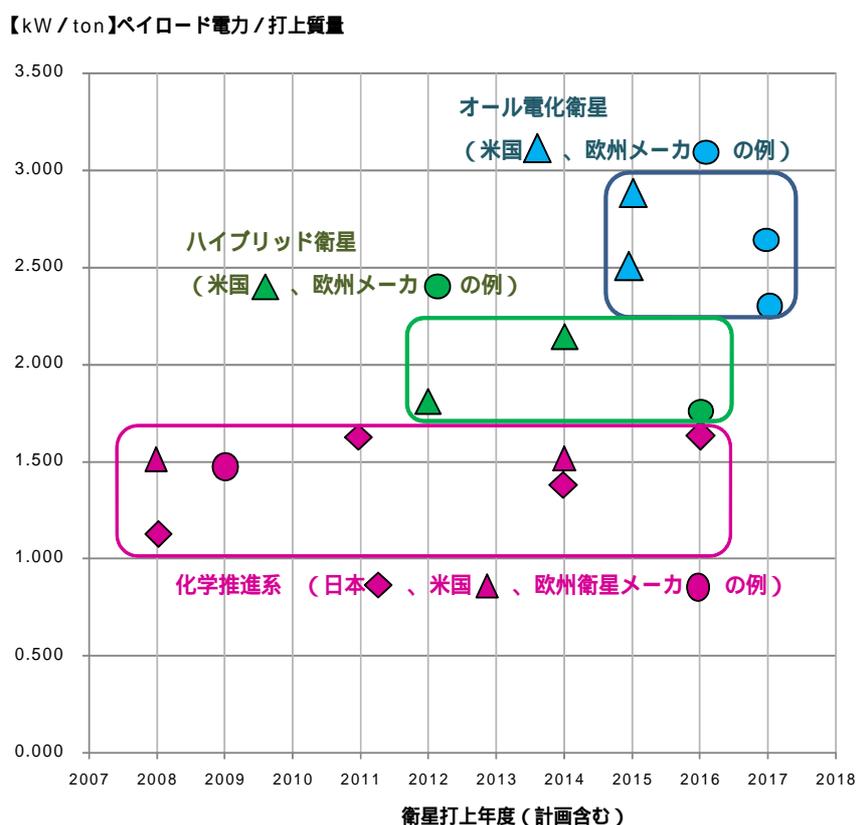


図 2：日本、米国、欧州の衛星推進系とペイロード打上効率

現在の国産衛星はこの比率が1.5[kW/ton]程度であるが、高効率電気推進を化学推進と併用した欧米の衛星は2.0以上であり、さらに高効率電気推進のみで構成される最新の衛星は2.5を越える例もある。衛星本体価格とともにロケット調達価格は打上げ質量に左右されるため非常に大きな意味を有する。実績の豊富でかつ高効率の電気推進を実用衛星バスとして標準化できていない国産衛星は必然的に「単位通信性能の提供コスト」で遅れをとる状況になっている。コスト競争力のある国産品は今後の大きな課題であり、このような高効率電気推進の衛星システム分野における世界市場での実績作りや標準化での貢献が不可欠である。

一方、小型・高機能への対応としては、搭載機器の徹底した統合化（個数削減）、小型化（ミッション搭載エリアの確保）、軽量化（ミッション搭載質量の確保）、及びシステムとしての総合軌道上実証が必要である。もともと日本の得意分野であるが、それらをバスだけを見た性能向上トレンドにおくのではなく、あくまで先進的ミッションを使いこなすためのバス性能であること、大型衛星とのペアリングを意識したサイズとすること等総合的戦略に従った整備が重要である。

また、通信衛星については、すでに述べたように高スループット化や高い周波数帯への移行が急速に進んでおり、ビームの小さいマルチビーム通信系を搭載する衛星の姿勢精度の向上が課題となっている。

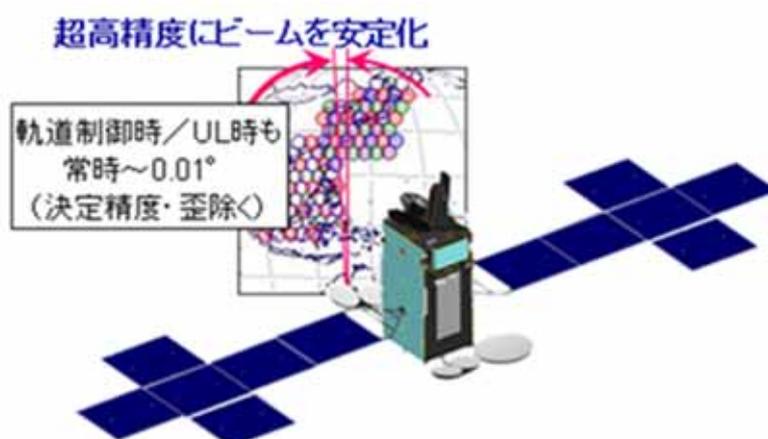


図 3：マルチビーム通信系のイメージ

○課題 2 「通信系チャンネル数や供給電力が少ない。」

世界的には、静止通信衛星分野で 100Gbps 超級の HTS 衛星による商用サービスが開始されており、これにより衛星通信サービスのビット単価を飛躍的に低減することが可能になると期待されている。高スループット化が事業者にもたらす利点は低コスト化にあるため、顧客の多くが実績のある技術に基づいた低価格の衛星システムを求めており、すでに 100 台程度の高出力 TWTA を搭載した HTS が市場投入されている。

100 台規模の高出力 TWTA を搭載するためには、18kW 級以上の通信ペイロード電力が必要となるが、現在の国産静止通信衛星はこの要求に対応して

いない。また、高スループット化に対応した伝送容量の増加も当然必要となる。さらに、電力の他に通信ペイロード機器の搭載エリアや、排熱のための放熱面積が格段に大きくなる。

具体的には、現在の国産衛星は搭載する通信系に最大 9kW 程度供給することができるが、オペレータは通信系のトータルスループットを向上させるための中継器のチャンネル数 (TWTA 台数) や、高度な周波数再利用技術を要求している。また TWTA1 台あたりの RF 出力電力も従来の 100w から 150w~200w 級まで拡大しており、HTS への高スループットを実現するために、通信系に 80ch 規模、最大 20kW 供給が必要という衛星も出現している。このため、現行の国内衛星の欠点である、①衛星のサイズが小さく中継器の搭載可能台数が少ない。②衛星の発生電力が不足している。③通信系高出力による熱を輸送・拡散する技術がない点を克服することが課題となっている。

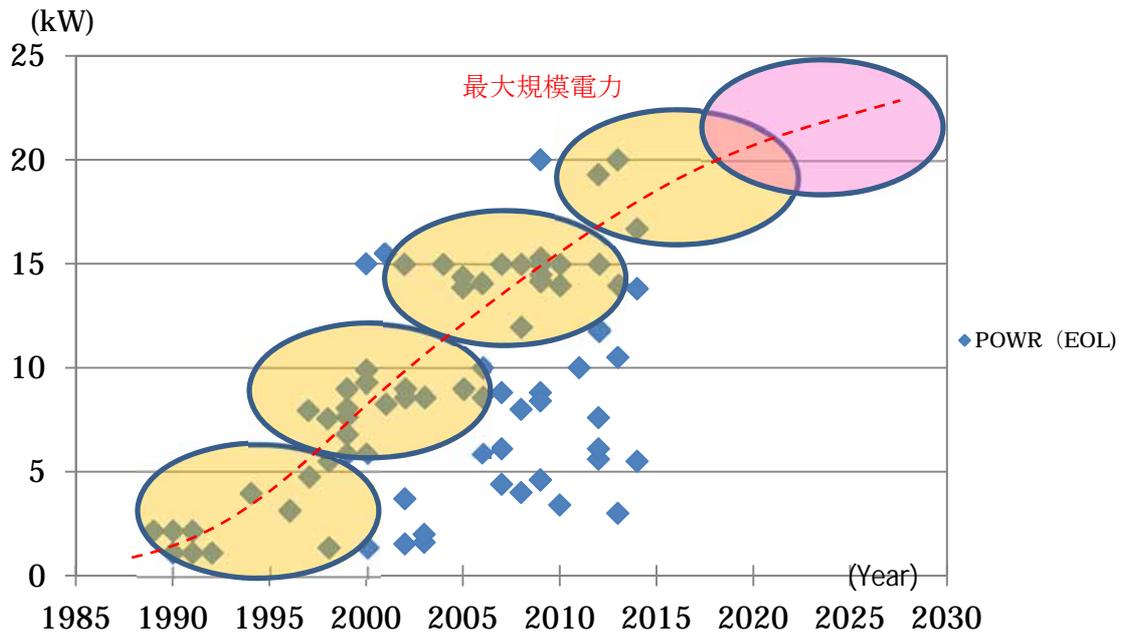


図 4 : 通信衛星電力の傾向分析

○課題 3 「衛星通信事業者・利用者等のニーズに対応して伝送容量や地域を柔軟・機動的に変えられない」

衛星通信事業者からは、複数のトランスポンダ (衛星通信用中継器) に

またがるような帯域の効率的な使い方をはじめ、衛星地上間の特定ルートがふさがっていた場合の迂回ルート技術、東京などにトラヒックが集中した場合のゲートウェイ分散のためのアンバランスビーム構成などの要望があるが、現状の HTS ではこれらのニーズには十分に答えられていない。これらのニーズに応えるためには、DC(デジタルチャネライザ)や DBF(デジタル・ビーム・フォーミング)等によりトランスポンダの制約から解放され、また柔軟なビーム設計ができる、いわゆるフレキシブル化技術がキーとなる。海外の商用静止通信衛星市場では、広帯域（帯域幅 250MHz 程度）のデジタルチャネライザが開発されており、また DBF の実装も進んでいるが、課題 1, 2 のような制約があり、海外でもこの二つの技術を同時に実装するには至っていない。このため、DC についてはさらなる広帯域化と精度を両立させる技術の確立を目指すとともに、DBF ではビーム配置間隔が狭く、隣接ビームからの干渉が生じやすいため、所望のビーム間アイソレーションを確保する励振係数最適化などの干渉および与干渉低減技術が課題となる。さらに衛星搭載性の観点から、デジタル回路部の規模削減と低消費電力化や小型軽量化、陸上、航空機、船舶を跨いだ通信の提供、ある衛星・地上間の通信路が利用できない際に別の通信路を使用することで通信トラフィックを軽減する技術などが必要となる。

HTS のようにユーザ数の増加とともにその通信容量が増大すると、衛星と地上間のフィーダリンクの通信容量が飛躍的に増大し伝送することが困難になるという問題がある。Ka 帯、ミリ波、光等の高い周波数を用いて通信容量を増大させる大容量なフィーダリンク技術が必要になる。Ka 帯やミリ波では、多値化や高出力化など現在の技術レベルを最大限活用しても達成可能な通信速度には限界があるが、光ではそれらを超えた伝送速度が達成可能である。雲や降雨など大気の影響を考慮しつつ新たな光通信技術の確立に向けた検討も必要である。

また、多くの HTS では通信容量増大のために反射鏡とマルチビーム給電系による周波数再利用を採用しているが、給電アンテナ同士の物理的干渉を避けるために周波数毎に異なる複数の反射鏡と給電系を使用しているため、容積・重量が大きくなる。反射鏡やマルチビーム給電系の高効率化も課題である。

(3) その解決に必要な技術的課題

○課題 1 に対する解決策【打上げコスト低減策による衛星ライフサイクルコストの削減】

衛星通信事業者にとっての訴求力を考えると、通信ミッションとしての魅力もさることながら、打上げから運用に至るライフサイクルコストの低減の観点は欠かせない。推進消費の削減により、打上げ質量を削減し打上げコストを削減するため、電気推進を搭載する。下記は通信系 7~8kW の中型規模の通信系を搭載した衛星本体の質量をバス系・ペイロード系・搭載推進量で記載したものである。従来（化学推進系のみ）、ハイブリッド（化学推進系+電気推進系）、オール電化（電気推進系のみ）の各衛星比較である。同等の通信系を搭載する衛星（本体 1900kg 程度）でも化学推進系は約 3 トンの推進が必要であるが、化学推進と電気推進を併用すると推進は 2 トンに削減でき、打上げ質量も約 4 トンに削減可能である。さらにオール電化の場合は、推進は 1 トン、打上げ質量は約 3 トンに削減可能である。しかしながら、電気推進による遷移軌道から静止軌道への移行は通常は数ヶ月必要となり、放射線対策やサービスインまでのリードタイムの増加はマイナス面に働く。そこで、現状の電気推進の推力を大きくし、移行時間を短縮する開発も必要となる。

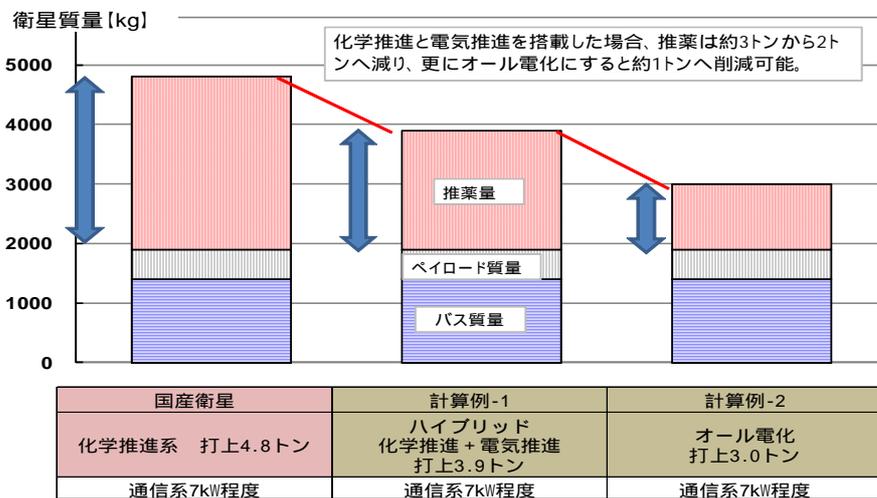


図 5：化学推進系と電気推進系の衛星重量比較

このほか、搭載する通信系規模が大きくなり衛星が大電力化・大型化されるに従い、構体系・太陽電池パドル系・電源系等、衛星規模に比例する

構成サブシステムの質量が増加するため、各々の軽量化が必要である。

- ・ 構体系（部品点数の削減や構造方式の開発）
- ・ 太陽電池パドル（ラージセルの採用、薄膜セルの採用、サブストレート軽量化）
- ・ 電源系（制御部デジタル化や放電制御部の容量拡大による電源制御器の容量当たり質量削減、リチウムイオン電池のエネルギー密度向上）

また、安定した姿勢制御のためには、化学推進系より微小推力な電気推進系を南北軌道制御や東西軌道制御に用いることで、高い姿勢安定度を実現する事ができる。なお、電気推進系は推力が小さく、1日のうち数時間の微小な噴射を継続するため、常時軌道が微小に変化し続ける。この微小な軌道変化を検知・推定し、目標とする衛星の姿勢を高精度に計算するアルゴリズムを開発する必要もある。現状は地上から制御している姿勢制御について、観測衛星・周回衛星用 GPSR を応用することで、軌道上で自律制御し、地上運用の省力化や運用費用の削減を図る世界初のシステムなども検討が必要である。

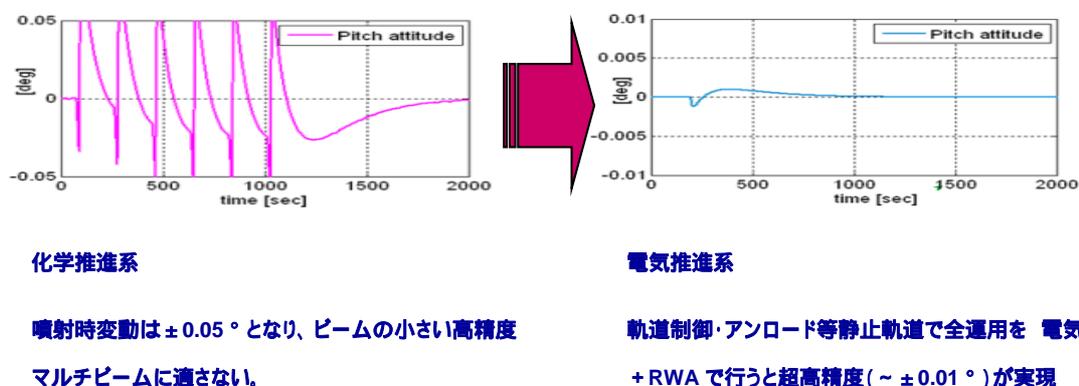


図 6：化学推進系と電気推進系の軌道位置制御精度の比較

○課題 2 に対する解決策【通信量の改善】

HTS のように大きな伝送容量を有し、かつ高度な機能を備えるためには、これらの機能を動作させるための電源容量の確保が必要となる。具体的には、100 台規模の高出力 TWTA 搭載により 18kW 級以上のペイロード電力が必要となることや、通信ペイロード機器の搭載台数の増加による搭載エリアの増大、排熱のための放熱面積の増大等の課題に対しては、バス側とミッショ

ン機器側の両方で解決策を適用する必要がある。バス側の解決策としては、まず衛星サイズの拡張による中継器搭載台数拡大策として、構体サイズの拡張と大型化を行い、搭載中継器台数を拡大し通信容量の増加需要に対応することが必要である。また、現在約 13kW までの発生電力（寿命末期、分点）である太陽電池パドルを 2 次元展開等により枚数を増加し大電力化を行う。従来のロケットフェアリングに効率的に収納するためのパドルサブストレート薄型化技術や高効率セルの採用と標準化を行う。このほか、電源の大容量化を実現するため、現在約 13kW まで対応可能な電源系を、構成モジュールの大容量化により質量増加を最小限に抑制しつつ供給電力を拡大する。バッテリーの容量も拡大し通信系電力増加に対応することが必要である。

通信系高出力化に対応する熱輸送・排熱技術としては、構体の大型化のみでは対応できないケースも出てきており、放熱パネル（ラジエータ）の展開・実装技術が必要である。

ペイロード機器側(コンバータ、LNA 等)の解決策としては大きく 2 つある。機器台数の増加による搭載エリアが増加する課題は、ペイロード機器の小型化や一体化する技術開発が有効である。また機器台数の増加により排熱のための放熱面積が増大する課題は、機器の高効率化による低消費電力化を実現する技術開発が必要である。

中継器に使用する増幅器の高効率化が最も重要な技術である。比較的電力の小さい送信機に使用される固体増幅器(SSPA)で使用するデバイスは、従来の素子に比較し、高効率の増幅が期待できる窒化ガリウム(GaN)を用いた素子の開発が望まれる。既に S バンド、X バンドという周波数帯では開発が進んでいるが、Ku 帯、Ka 帯という高周波に対応した素子開発が必要である。TWTA については「こだま」や「きずな」等国産向けの衛星に対して国産の Ka 帯 TWTA の搭載実績はあるが、世界の商用衛星への搭載実績はない。世界的な供給能力のボトルネックとなっている広帯域、高出力 Ka 帯 TWTA の海外展開を積極的に進めていく必要もある。

○課題 3 に対する解決策【通信の質の向上】

地上トラヒック状況に応じて衛星リソースを有効活用する目的で、デジタルチャネライザ技術が必要である。また、周波数分割による周波数再利用とさらなる周波数利用効率の向上を目的として、DBF を用いて 100 ビーム級以上のマルチビームを形成する技術が必要である。

さらに、HTS の衛星が増えることにより、将来 Ka 帯の周波数も逼迫する。

1 台の衛星のユーザ回線のビーム数、帯域に応じてフィーダリンク回線に必要な帯域が増加し、衛星によっては数 Gbps を超える回線容量が必要となる。このフィーダリンク回線を光通信回線に置き換えることにより、周波数調整を低減し、また衛星搭載機器の軽量化、地上局の小型化につながり、事業者への大きな利点をもたらす。

光フィーダリンクの採用は、事業者が求める低コスト化を実現にも寄与する。多数ビームを配置しても、フィーダリンクとサービスリンクにおける干渉によりユーザー数獲得に制約が生じたり、制約解消のために多数のフィーダリンク局の配備が必要となるなどの弊害も存在する。フィーダリンクとサービスリンクとの干渉懸念からの解放は、ユーザーの求める柔軟性実現を図るうえで極めて重要な要素である。大容量の光フィーダ回線の獲得により、多数のフィーダリンク局の配置を回避できるため、地上網を含めた総合システムとしての経済性向上が実現できることから、このような超高速回線の実現に向けて技術開発を進めるべきである。

大容量のフィーダリンク技術として、電波と光のハイブリッドなフィーダリンクと、サイトダイバーシチ技術も想定される。電波による通信システムでは、途切れないための回線として多値化や適応変調などによる通信技術が必要であり、また、光通信システムでは静止軌道上からの 10Gbps 級の通信リンクを確保できるよう国産の搭載用光増幅器を開発するとともに、光の波長分割多重化による大容量化技術が必要であり、静止軌道上での運用に耐えるための長寿命化や高信頼性化が必要である。サイトダイバーシチ技術としては、複数の地球局を配置した場合の利用周波数帯におけるフィーダリンク回線の稼働率の向上や、局の切り替え時におけるハンドオーバー技術が必要である。光データ中継衛星の開発技術を最大限活用し、このような大容量フィーダリンク回線の実現に向けて技術開発を進めるべきである。

マルチビーム化に伴うアンテナの容積・重量の増大、反射鏡やマルチビーム給電系の高効率化の課題に対しては、反射鏡及びマルチビーム給電系を用いたマルチビーム形成の高効率化の技術開発が必要である。高周波数帯（Ka 帯）に適用可能な大型反射鏡の高精度化やマルチビーム給電系（一次放射器及び給電回路）の広帯域化・小型・軽量化、給電系の高密度実装による反射鏡枚数の削減等の技術が有効である。

(4) 到達目標

①コンセプト

○オール電化衛星を採用し打上げ質量削減（例：5トン⇒3トン級）、安価な打上げ手段の確保。

○我が国の先進的な技術力・通信環境を生かした、現在の衛星通信サービスの限界を突破する、5G対応の適応型ハイスループット衛星

②発生電力 15kW 以上、供給電力 11kW 以上 【現状は各々、13kW、9kW 程度】

③推進系 電気推進によるオール電化衛星 【現状は化学推進系が主流】

④軌道遷移時間 現状実績（約半年）に比べて 2/3 以下【現状の電気推進系は約半年】

⑤熱・機構系 構造軽量化と高発熱ペイロード機構の放熱対策、軽量化のための材料開発。

⑥周波数帯域 Ka 帯域（帯域幅 500MHz）【現状 500MHz 以下（Ku 帯）、Ka 帯の国際周波数調整の動向等を鑑みて設定】

⑦スループット 100Mbps（ユーザーあたり）、10Gbps（光フィードリング）【現状は各々、10Mbps、1～2GHz（電波フィードリンク）程度】

⑧柔軟性・機動性 任意の地点に任意の容量を伝送できる技術（DC（250MHz/チャンネル以上）+DBF の一体化、マルチビーム高精度・高効率形成技術）

⑨地上網とトランスペアレントなインタフェースを実現する光フィードリンク回線

⑩全体システム 地上ネットワーク変更への適合に向けた変更容易な統合システム

なお、上記のスペックは、本検討会で検討した通信ミッションの搭載例（打上げ質量 3.5 トン時を想定）であり、今後の検討の過程でさらに複数ミッションを搭載する場合などが想定されるが、その場合には異なる数値となる可能性がある。また、同様に、⑥の周波数帯域についても、技術試験を行う際の最小目標値であり、余裕度等によりこれよりも大きな帯域幅となる可能性がある。

4. 国が行うべき政策的意義

(1) 科学技術政策としての優先度

① 我が国における政策的必要性（政策的意義・国際競争力）

宇宙基本法第 15 条において、『国は、人工衛星等の開発、打上げ、追

跡及び運用を自立的に行う能力を我が国が有することの重要性にかんがみ、これらに必要な機器（部品を含む）、技術等の研究開発の推進及び設備、施設等の整備、我が国が宇宙開発利用に関し使用できる周波数の確保その他の必要な施策を講ずるものとする。』と定められている。人工衛星等の開発を自立的に行う能力を持つ上で、科学技術は根幹をなすものであり、世界に伍する高い科学技術力を保有し、国産産業においてこれを具現化できる基盤を維持することが不可欠である。

通信放送衛星をはじめ、気象衛星、準天頂衛星など、これまで我が国の科学技術政策に基づき開発してきた様々な衛星は、社会や産業（気象、地理空間情報、難視聴地域解消）の利用のみならず、環境問題、資源開発・管理、災害監視や安全保障等など多様な領域に貢献している。我が国の経済成長や国民生活向上への寄与や、自立的に国民の安心・安全に資するインフラとして今後さらに重要な存在になることは明らかであり、我が国が自前で宇宙活動できる能力を保持する（技術的独立、自立性の確保）ためにも、我が国の宇宙産業基盤の活力を維持・強化していく必要がある。国際的に宇宙利用に資する技術競争が激化する環境下において、引き続き科学技術政策の下で世界に伍する技術開発を続けることは国民の安心・安全を自立担保する上で最重要と考えられる。

また、国際競争力の観点から衛星製造者等がこの成果による衛星通信システムの海外展開を図るうえでも、衛星または衛星搭載コンポーネントといった衛星事業形態でのビジネスに加え、地上系システムをセットとしたパッケージ型ビジネスへ転換をはかることで、急速な社会インフラ構築を目指す諸外国向けの実績獲得に繋げることが可能となる。世界の通信・放送衛星市場は今後も安定した成長が見込まれているが、これは通信・放送衛星が今後もさらに通信放送分野で重要な役割を果たしていくと同時に、宇宙産業の 80%を占める最大の市場がさらに増大するであろうことを示している。現在わが国は、欧米を中心とした海外メーカーに対して各種衛星搭載コンポーネントを輸出しているが、今回の開発でさらなる海外拡販へのラインナップの拡充を図ることが可能となる。たとえば、地球センサ技術で我が国は世界シェアの半数を有しているが、これは JAXA と国内メーカーによる官民共同開発・改良設計によるものである。同様に Ka 帯の LNA、レシーバ、周波数変換器などについても近年、欧米各国で我が国シェアを伸ばしているが、これは WINDS 等での Ka 帯の技術実証衛星の成果の転用でもある。世界の商業宇宙市場の規模が拡

大する見通しのなか、自国内に宇宙産業基盤を有さない宇宙活動国に我が国の衛星を展開することで、我が国の宇宙産業の競争力獲得が期待でき、そのためには実績作りのための軌道上実証が必須である。

② 研究開発実施の必要性（海外調達ではだめな理由）

既に述べたように、衛星は国民生活や産業活動、災害監視や安全保障等へ貢献するものであり、我が国の経済成長や国民生活、安全保障の向上に寄与するものである。したがって、我が国が自前で技術的独立を保ち、かつ自立性を確保しながら宇宙活動できる能力を保持しなければならない。国際的な情勢や制約により衛星の調達ができなくなる可能性をなくすこと、すなわち我が国の宇宙開発の自在性確保のためにも、自立的な開発が必要である。通信・放送衛星は衛星の中でも最も社会への貢献の高い衛星の一つであり、日本が自立的にそれを開発利用できる技術を維持することは必須である。

また、秘匿すべき仕様が生ずるような政府衛星が必要となる場合には、国産技術水準が低い場合、システム全体の高度化実現にリスクを有するほか、海外調達の場合、セキュリティリスクが高まることも懸念される。

政府調達の通信衛星もすでに高度化しており、今後も柔軟性や周波数利用率の向上が期待される。日本の地理的条件、通信ニーズにきめ細かく適合するには、国産技術でそのニーズに適合できることが、予算低減に寄与する。それが自在にできるためには通信・放送衛星の高度技術を国内に維持することが必要で、そのためには関連企業が海外に通信・放送衛星やコンポーネントを売ることによって不断の技術向上をし続ける状況にしないといけない。

③ 研究開発手法の妥当性（軌道上実証の必要性）

衛星の普及過程において、研究開発、製品開発、事業化、普及化のプロセスの中で、大きな課題が「軌道上実績」である。新規発明品や革新技術は、まず軌道上実績を経て宇宙利用への適合性が確認され、製品化に向けた段階に進む。衛星システムや搭載機器も軌道上実績により製品価値が認知され、事業化の対象として候補品となる。

また開発衛星とは違い国内外の実用衛星では、宇宙での軌道上実績を有するものしか採用されない。国内官需における PFI でも同様であり、第一に軌道上実績が重要である。さらに保険契約においては、商用衛星の場合に軌道上実績のないものは、そもそも保険対象とならないか、またはきわめて高い保険料率となり事業が成立しない状況に陥る。また、

国際市場においてマーケットシェアを獲得するためには、単一の軌道上実績では不十分であり、度重なる成功実績を経て、海外政府や商用通信オペレータを含む顧客に認知されることとなる。

④ 国際共同開発の可能性

衛星開発は国際的な競合関係等により、国際共同開発は困難であるという前提認識はあるものの、要素技術での協力関係など双方にメリットのあるレベルでの共同研究を実現できるよう努力することは重要である。

一方、国際宇宙ステーションや観測衛星、科学衛星における **NASA** や **ESA** との共同開発等を踏まえると、他国の経済事象や政府事情により、開発計画が大きく変わるリスクがある。たとえば国際宇宙ステーションでは、米国大統領の変更に伴い予算規模が大幅縮小となり、大規模の仕様変更となった。仕様変更に伴い我が国が開発した装置が不要となり、数年間にわたる研究成果が無駄となった事例がある。計画の変更や予算の大幅な見直しに加え、国家予算の投資効率の低下につながる事例がある

海外展開には、タイムリーな投入が必要となるが、諸外国の予算措置による開発計画の遅れが生じた場合には、マーケットインの遅れとなり、競合他社の追従を許し、開発した商品価値の低下につながるリスクが存在する。総じて、技術競合する各国は互いに足を引っ張り合う傾向にあり、また競争力のある技術を有しない国々とは開発時点でのインセンティブが機能しづらい。以上の観点から、通信・放送衛星は国際共同開発に適さず、自立的な研究開発の必要性が高い衛星であるといえる。

⑤ 研究開発実施主体の妥当性（公的支援の必要性）

通常、衛星の成功実績を経て商用市場で認知されるまでには長期間の歳月を要する。ここに宇宙事業の特長があり、市場で認知されるまでに必要十分な軌道上実績と、そのために要する時間を覚悟する必要がある。民間企業では軌道上実績を得たあと随時改良を実施するが、新システムの場合は開発規模が大きくなり、費用と時間の面で衛星開発事業者の負担範囲を越える場合がある。民間通信事業者において、技術革新のスピードから **2～3** 年の事業計画しか立てられず、長期計画への投資が事業決定できないというジレンマがある。長期的視点からの衛星開発事業は官民連携のもとで牽引し、必要な技術を確認していくことも必要である。

例えば発生電力 **20kW** 超級への技術開発を目指した場合、ロケットフ

フェアリングの限定された容積の中で、大電力化に応じた太陽電池パドル枚数を増やすため、構造部材としてのサブストレートを薄肉化した太陽電池パドルの改修が必要となる。また大電力化に起因して増加する発熱を軌道上で排熱するために、放熱面の拡大が必要となるが、現行の衛星構体の寸法制約を超える規模になれば、衛星構体自体の大型化や展開ラジエータにより放熱面積を増やす対策が必要となる。大型太陽電池パドルと展開ラジエータをフェアリング内でコンパクトに収納する実装技術も必要となる。大電力化規模に応じたバッテリー容量拡大やミッション搭載エリア拡大のための構体改造も必要となり、ひとつのテーマだけで衛星システム全般に及ぶ設計変更が発生するなど開発規模が大きくなり、民間企業での開発規模を超える全体開発が必要になる。

欧州では米国、日本、インド、中国などの衛星開発の取組による国際市場での競争性増加への対策として、欧州 ESA 主導で欧州 ARTES プログラムが発足。とくに、商用通信衛星市場で需要の大半を占める 3~6 t 級衛星の競争力低下を懸念し、ARTES14 で次世代バス NEOSAT の追加開発を実施。2020 年までに軌道上実証を完了し、市場投入する予定となっている。また、アメリカでは莫大な国防省 (DOD) 関連の宇宙予算により、先進的な通信放送技術や衛星バス技術が醸成されてきた。そのような先進国における国家プロジェクト開発に対し、日本が民間企業だけで対抗することは困難である。

バスは、軌道上実績の獲得後、官需衛星での採用、成功を重ね、次に商用衛星での採用と拡大する。開発から最終的な商用市場での展開に至るまでに長期間が必要な事から、既に欧州が実現しつつある新型バスの市場投入に対し我が国も最優先で取り組まなければならない状況にある。

また近年、衛星通信ミッションのデータ量増大と通信コスト低減ニーズにより、国際市場において衛星システムの大型化傾向が加速されている。具体的には Ku/Ka 帯大容量マルチビーム化、フレキシブルペイロードの普及、長寿命化などであり、これに適合する衛星バスやミッション機器を保有しないと、市場環境に取り残される状況となりかねない。

今回の技術試験衛星では市場トレンドを踏まえ、大電力を発生する太陽電池パドルや大排熱能力を持つラジエータ、多数のミッション機器を搭載可能な大型衛星バスを軽量に実現するための開発を行い、これまでの軌道上実績の累積にアドオンする形で、新規技術の軌道上実績を追加

することが効果的である。特に軽量化の観点では、ホールスラスタ等電気推進系採用による燃料重量低減の技術が進んでいることから、さらに大推力化を進め、日本においても本技術の保有が自立性確保の観点でも必要である。バスの機器毎の実証である場合は他の衛星での相乗り実証も可能であるが、大電力化や軽量化の開発は衛星システムとしての全体開発であり技術試験衛星での一体開発が必須である。確立された技術の活用は産業界が主体となって実施すべきであるが、先進的な技術開発を行う場合は民間主体ではリスクを伴う。ただし、産業競争力に供するものは適切な官民分担にて開発を実施すべきである。

(2) ICT 政策としての優先度

① 我が国における政策的必要性

我が国においては、地上系通信システムの普及が著しく、今後のブロードバンド環境の整備にあたっては、地上通信システムのサービスエリア外である船舶や航空機などの移動体に対する高速大容量通信や、災害時に地上系通信システムが途絶・輻輳した場合の緊急通信または通信量が飽和する際の対策などが求められている。その際、現行の衛星通信システムでは実現が困難な課題、たとえばトランスポンダの制約から解放され、ユーザーの要求に対して柔軟に伝送容量を設定可能であり、また柔軟なビーム設計によりユーザー数やサービス地域の変更に機動的に対応できることが重要である。実現に向けて検討中の第 5 世代移動通信システム、さらなる大容量化が進む基幹系・アクセス系の光通信ネットワークに支えられるブロードバンド環境など、地上系通信はさらに発展が続く見込みであり、伝送容量や遅延の観点から一定の制約があるとはいえ、可能な限り地上系通信と整合性のある衛星通信システムの実現が求められる。

また海洋分野では、『海洋基本計画』（H25.4 閣議決定）に記載された海洋資源調査への適用がある。日本近海の海底資源の調査、開発には高速衛星通信技術が必要であり、我が国の抱える資源問題の解決に貢献する事が期待されている。資源の多くを海外からの輸入に依存している我が国にとって、資源の安定的な確保は、国の重要な課題であり、通信衛星を活用して洋上のブロードバンド環境を構築することにより、海底資源の高度な調査の実現に貢献する。

② 研究開発実施の必要性

主要装置を海外に依存する場合、購入品は最新型でなく高価であり、かつ自国開発を実現しない限り購入し続けなければならない状況に陥る。また過去の事例では、海外企業が最新機種の販売を拒むケースなどもある。

また、海外企業は自国で開発した製品を自国の衛星で軌道上実証し、その製品化後、衛星開発能力が不足している各国に販売展開している。これにより自国の産業育成を図りつつ、その収益で維持されるリソースを使い、さらなる次世代の技術開発を行う事ができる。我が国で自国開発が実現しなければ、企業におけるリソースの維持が困難になる事のみならず、通信衛星市場においては国内官需衛星も海外依存になり、かつ海外輸出事業も衰退することなどにより、我が国競争力の源泉である衛星通信技術を失う事になる。

これらの技術を開発する国内衛星製造者がいなくなった場合、国家プロジェクトとしての開発・製造の際に、我が国の自在性を失い、かつ我が国固有の地上網との相互接続性を失い、配備された各種通信システムとトランスペアレンシーの低いシステムになるという不利益が生じかねない。

③ 衛星通信産業への裨益等のアウトカムの明確化

次期技術試験衛星には実証候補の機器をスケールダウンし、可能な限りの多くの技術を軌道上実証、その後海外商用市場へ通信衛星及び機器の販売を展開する事を目指すこととなる。海外市場は、自国で衛星を開発製造できる国、他国から購入する国、その中間として当面は購入となるが将来の自国での衛星開発と製造を目指す国に分類される。次世代技術試験衛星の開発、製造の実績があれば、自国での衛星開発を目指す国々に対し、より積極的に展開でき、国による諸外国への支援にも繋がる。

海外展開を念頭においた場合、宇宙先進国は自国の安全保障を絡めた開発が多く民間企業での連携が難しく、開発よりコンポーネント調達が多くなる。一方、宇宙新興国への支援は有望であり、今後の国家間の連携にも貢献でき有望視される。またパッケージ輸出においては、高い打上げ成功確率を保持する我が国のロケットとの組合せを求める市場ニーズもあり、新基幹ロケットと通信衛星の組合せでの輸出も期待できる。

④ 研究開発実施主体の妥当性

ブロードバンドサービスは国民生活や社会経済活動などのあらゆる領域において重要なインフラとなっている。このブロードバンド環境を平常

時から非常時まで幅広く維持する事が今後の ICT 政策において重要である。地上系では光を中心とした通信システムにおいて大容量、高画質の情報や映像がストレス無く利用できており、衛星通信を利用した場合でも、同等程度のブロードバンド環境が求められている。特に非常時には、希少な周波数帯域を高効率に活用する事で、災害地域の通信網の早期復旧に役立てる事が必要であり、軌道上にある衛星において周波数、出力、ビームエリアの設定が変更できるフレキシブルペイロードは災害時や緊急時に有効な通信手段である。

これらの衛星開発を行ううえで、衛星に用いられる無線通信仕様については ITU での標準化ルールに基づき使用されることとなるが、各国の周波数利用状況等によってこれらの通信機能が異なる場合がある。また、海外における通信・放送事業は規制分野であり、政治的影響を受けやすいなどのリスクがある。規制分野であるが故の突然の制度・政策変更などの政治リスクのほか、想定していた利用者を確保できずに採算割れを招く需要リスクの可能性などである。

欧州では、ESA 主導の ARTES プログラムの中で、ミッション機器の長期的な技術開発を実施しているほか、民間企業が主導し ESA が資金援助の形態で開発を進めているプログラムも存在する。英国においても、2014 年末から英国政府主導の Quantum プログラムで革新的なフレキシブルペイロードの開発を AIRBUS に発注している。また米国においても、軍事衛星 WGS において国家プログラムのもとで開発が進められている。このように革新的なペイロード開発は、いずれも国のプログラムでの開発が行われている。

我が国においても、既存技術を活用した研究開発は民間事業者による主体的な取組に期待すべきである。一方で、今後の中長期的ニーズに対応した新たな研究開発、たとえば詳細設定変更が可能な高機能フルデジタルのチャネライザや DBF の開発等については、衛星製造者等が衛星通信システムの海外展開を行っていくうえでも、このような事業者リスクを適切に軽減することが不可欠である。世界の商業宇宙市場の規模が拡大する見通しの中、自国内に宇宙産業基盤を有さない宇宙活動国に我が国の衛星を展開することで、我が国の宇宙産業の競争力獲得が期待できる。

5. 今後の方向性

(1) 技術課題の優先順位づけ

以上のように、衛星の高度化や通信ミッションの高度化が諸外国でも進展しつつあり、我が国でもこれらの高度化技術を用いた衛星、通信ミッションのニーズが今後高まってくるものと想定されるが、現時点で当該技術の保有には至っていない。このため、衛星の安定調達のためサプライチェーンの維持や必須部品の国産化等を図り、適切な衛星製造機会の確保や日本の強みとなる分野の強化を図ることが必要である。

宇宙産業の振興という観点から国内需要のみならず海外需要の取り込みをはかるうえでも、衛星全体だけでなく通信衛星コンポーネントとしての国際需要のある部品も同定し、そのための実証環境を構築していくことが必要である。

なお、機能検討にあたっては、想定されるものをすべて詰め込んだ、いわゆる「満艦飾」的なものではなく、研ぎ澄まされ洗練された限定的な要素に絞って機能実現する方向性が望ましい。我が国の科学技術力によって中長期的な競争力を確保するという観点からは、想定しうるあらゆる技術要素について検討を行うべきではあるが、ユーザーサイドではオールラウンドな高性能化よりもむしろ、コストや開発期間、早期納入、品質保証などといった実用的な観点も一定の訴求力がある。たとえば自動車の例でいえば、トヨタ社のカローラが海外で高い評価を得て継続的なマーケットシェアを得ているのは、無駄のないシンプルな構造や長寿命性能を低コストで実現しているからである。このようなコンセプトからの技術選定を行うという視点も取り入れつつ、先進性とユーザーニーズへの対応という両面でバランスのとれた全体構成を考えることが望ましい。

このような観点から、第3章で記載された技術課題について優先順位づけを行ったうえで、今後の予算要求状況をはじめ、ユーザー・オペレータからの需要、衛星の重量・電力等の制約、技術的な実現可能性、海外動向等の外的要因などを総合的に勘案し、技術試験衛星に搭載することが望ましい（宇宙実証すべき）機能を絞り込むと以下のとおりとなる。

《必要性が高く次期衛星搭載に向けた技術開発が不可欠な分野》

- ・ 高推力の電気推進系（静止軌道への遷移を短期間化）
- ・ 高効率電源系（太陽電池パドル、2次電池の性能向上、等）

- ・高精度姿勢制御系
- ・高効率 Ka 帯 TWT
- ・HTS でかつ柔軟性を有する中継器系（高速 DBF/DC、bent-pipe か再生中継、あるいはハイブリッド）
- ・高精度高密度 Ka 帯マルチビームアンテナ系
- ・大容量光衛星通信検証のためのダイバーシチ検証機器

《次次期衛星に向けた技術開発が期待される分野》

- ・SSPA の機能実証（Ku 帯,Ka 帯）

（２） 関係機関における役割分担の考え方

これらの技術開発を実施するうえで、関係機関（省庁・企業等）の役割分担を明確化していくことが必要である。具体的には、国際競争力という観点等から技術開発が必要にもかかわらず、莫大な費用や長期的な期間を要するなど民間事業者の負担範囲を著しく超える分野については、政府主導で必要な技術開発を促していくことが望ましい。一方、上記のような研究開発成果が得られるまでには一定の期間を要することから、それまでの間の暫定的な競争力を維持していくためにも、現状既存の衛星ベンダ等がすでに持っている技術やノウハウを生かして短期的な研究スパンで技術の成果が得られる領域については、民間主導で行っていくことが望ましい。

また、政府においても、各々の所掌にあわせた役割分担の明確化が必要である。たとえば、無線通信分野を所管する総務省においては、高速 DBF/DC など通信ミッション分野に関して責任を持って分担開発することとし、宇宙分野の科学技術基盤全体を所管する文部科学省においては、オール電化技術や高効率電源系技術などバス技術全般やロケット打上げ等について分担することが望ましい。経済産業省においても、宇宙開発技術の成果普及や活用促進という役割から、技術試験衛星の開発で得られた技術の海外等への成果展開等が期待される。

また府省間の検討の場として新たな関係府省連絡会議を設けるとともに、衛星ベンダやオペレータ、ユーザー等の関係者や有識者による情報共有・意見交換の場として関係機関連絡会議やコンソーシアム等を設置するなど、今後の技術試験衛星のプロジェクト開発が円滑に進むような体制・環境を速やかに整備すべきである。

以上のようなプロジェクト開発を実施することにより、平成 33 年を目途

にした打上げを目指し、平成 28 年度から開発開始を目指すこととする。打上げ後、2 年程度の試験を経て成果を国内外に展開し、試験後の利用方法についても、関係者間での検討を早急に開始することとする。国際競争力に関する目標設定としては、衛星ベンダに対しては 2005 年以降これまで 5 機の国際衛星受注があることを踏まえ（概ね 2 年に 1 機の受注実績）、本技術試験衛星打上げ後、年間 20 機程度の通信放送衛星市場のなかで年 2 機のペースで国際受注を獲得し、国際マーケットシェアで 1 割を獲得することを目指す。なお、海外においても同様の国際競争力に関する目標設定を定めている事例がある。たとえば英国宇宙庁においても、2030 年までに英国の宇宙産業の世界シェアを 10% まで拡大するという目標を掲げている（中間目標として 2020 年までに 8%）。

（3） その他今後の検討事項

本検討会では、技術試験衛星本体についての方向性についての議論が主であったが、第 4 章の ICT 政策としての優先度において述べた衛星通信システムに望まれる機能は、衛星本体だけで実現することは困難であり、衛星との送受信を行う地球局や地上系ネットワークと接続される衛星通信ネットワーク全体においても適切な研究開発を行い、実装すべき機能が存在する。例えば、衛星通信装置における情報処理負荷を低減させるために有効なクラウドネットワーク技術、急速に進化・変革を遂げる地上系ネットワークとの接続を柔軟かつ機動的に設定できるネットワーク・インタフェース技術、災害発生時に地方公共団体や民間企業の担当職員が簡易に展開・利用できる地球局設備及びユーザインタフェース技術など、技術試験衛星の開発とともに実現に向けた検討を行うことが望ましい。

欧米諸国と比較して静止衛星打上げ数が少ないことから、相対的に我が国の衛星バスの軌道上実績が乏しいが、欧米諸国を凌駕する技術水準が実証されれば他国への売り込み能力の向上も期待できる。特に、我が国の宇宙分野への公的投資の状況を踏まえれば、欧米先進国や中国などの宇宙新興国との競争を勝ち抜くためには、投資額の絶対的な量ではなく、衛星本体やコンポーネントの質そのもので差別化を図っていくべきである。柔軟なチャネライザ技術やスループット向上技術など我が国の強みをいかせる分野への重点的な投資を図りつつ、欧米諸国との競争に勝ち抜くためのさらなる戦略について、今後とも官民連携で知恵を出し合い、意見や情報の共有を図れる場を醸成するなど、さらなる連携の枠組み強化を図っていくべきである。

次期技術試験衛星に関する検討会

委員名簿

首都大学東京システムデザイン学部システムデザイン学科教授	福地 一(座長)
東京大学航空宇宙工学専攻教授	中須賀真一
京都大学生存圏研究所宇宙圏航行システム工学分野教授	山川 宏
内閣府宇宙戦略室参事官	森 孝
文部科学省研究開発局宇宙開発利用課企画官	奥野 真
経済産業省製造産業局宇宙産業室長	恒藤 晃
総務省情報通信国際戦略局宇宙通信政策課長	山内智生 (事務局)
独立行政法人情報通信研究機構	
ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室長	豊嶋守生
独立行政法人宇宙航空研究開発機構	
第一衛星利用ミッション本部事業推進部長	館 和夫
三菱電機株式会社鎌倉製作所	
宇宙システム第二部部長	関根功治
日本電気株式会社宇宙システム事業部長代理	片桐秀樹
スカパーJSAT 株式会社宇宙・衛星事業本部事業戦略部長	森合 裕
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	土田敏弘
クローズドネットワークサービス部門部長	
KDDI 株式会社技術統括本部グローバル技術・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副センター長	河合宣行
ソフトバンクサテライトプランニング株式会社	
技術本部技術開発部部長	福本史郎

検討会での審議状況

- 第 1 回会合（平成 26 年 11 月 25 日）
会合趣旨説明、目標設定の確認、今後の進め方について
- 第 2 回会合（平成 26 年 12 月 18 日）
構成員からのプレゼンテーション（三菱電機、NEC、SJC）
- 第 3 回会合（平成 27 年 1 月 20 日）
構成員からのプレゼンテーション（JAXA、NICT、NTT コミュニケーションズ、KDDI）
- 第 4 回会合（平成 27 年 2 月 3 日）
構成員からのプレゼンテーション（ソフトバンクサテライトプランニング）
これまでのプレゼンを踏まえた論点整理
- 第 5 回会合（平成 27 年 2 月 23 日）
HTS 衛星に関する海外動向調査報告（SJAC、CSP ジャパン）
これまでのプレゼンを踏まえた論点整理
- 第 6 回会合（平成 27 年 3 月 17 日）
欧州における宇宙政策動向調査報告（経済産業省）
次期技術試験衛星に関する報告書案の検討
- 第 7 回会合（平成 27 年 4 月 14 日）
次期技術試験衛星に関する報告書案の検討