

我が国の防衛力構築のための商業宇宙力の活用 Leveraging Commercial Space Power to Build Japanese Defense Capability

2024 LSAS Aerospace and Defense Workshop

~Commercial Power for Securing Space~

July 10th, 2024

外園 博一

Dr. HOKAZONO Hirokazu

日本宇宙安全保障研究所 理事 (元防衛装備庁防衛技監)

Director of Japan Institute for Space and Security

Former Deputy Commissioner and Chief Defense Scientist of ATLA, JMoD

目次

1. 商業宇宙の概況
2. 我が国の防衛分野での商業宇宙利用
3. 米国防省「商業宇宙統合戦略」
4. まとめ
～日本版防衛・商業宇宙統合戦略に向けて～

目次

1. 商業宇宙の概況
2. 我が国の防衛分野での商業宇宙利用
3. 米国防省「商業宇宙統合戦略」
4. まとめ
～日本版防衛・商業宇宙統合戦略に向けて～

宇宙開発・利用のトレンド

- 官から民へ：民間市場の創出(Commercialization) +
官が民間サービスを調達(Private Service Procurement)

ロケット

官



出展：NASA

スペースシャトル

衛星



出展：JBpress

偵察衛星

月探査



出展：NASA

アポロ 月着陸船

宇宙ステーション



出展：JAXA/NASA

国際宇宙ステーション

民



出展：SpaceX

SpaceX

- Falcon9 (ロケット)
- クルードラゴン (有人宇宙船)



出展：Planet

商用衛星

- Maxar
- Planet
- Blacksky 等



出展：iSpace

iSpace

月面ランダー

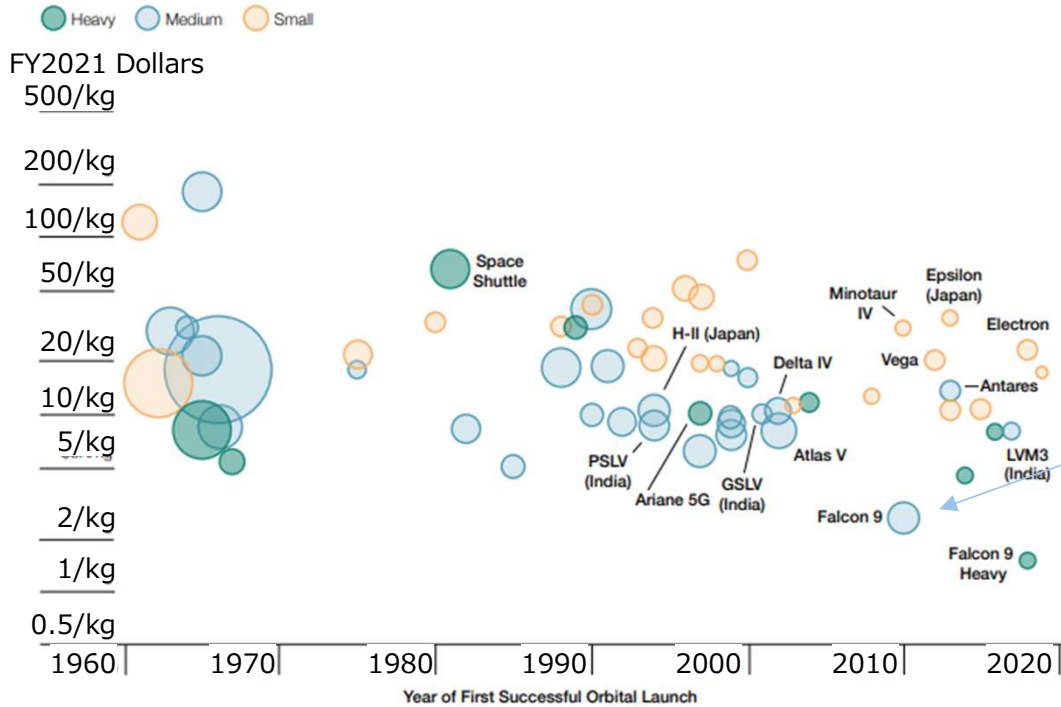


出展：Sierra Space

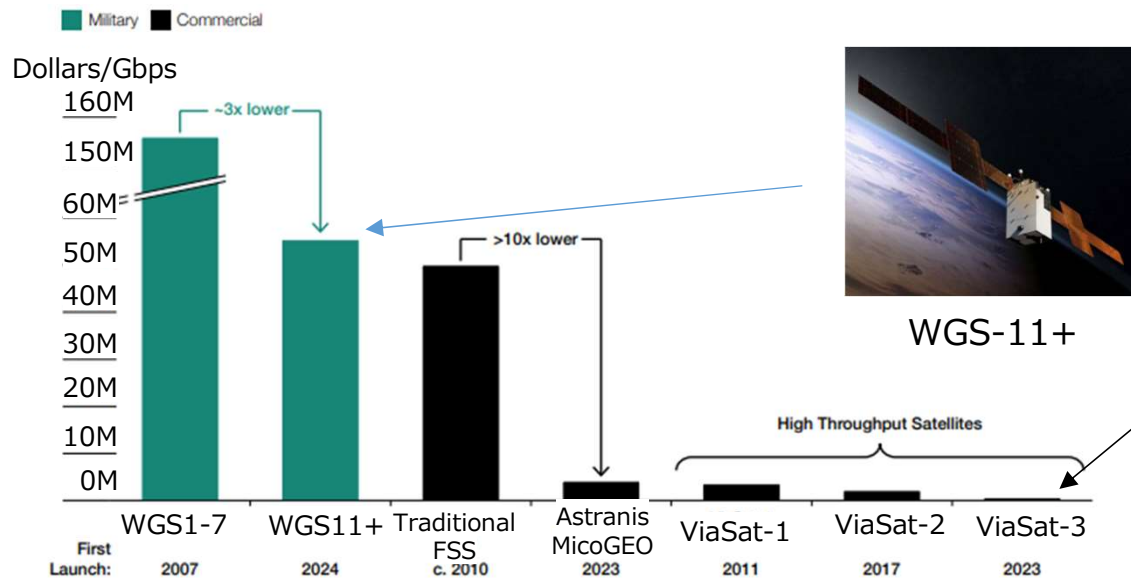
Sierra Space

民間宇宙ステーション構想

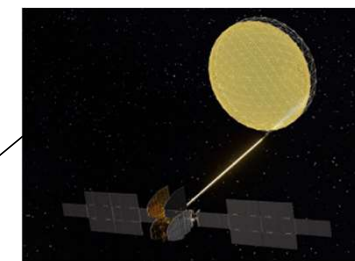
ロケットと通信衛星のコスト/性能指標



Space X Falcon 9

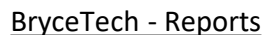


WGS-11+



ViaSat-3

Buy before You Build, Hudson
Institute
Buy+Before+You+Build+-
+Peter+Cunniffe+Megan+Lewis+
Bryan+Clark+-
+Oct+2023+(1).pdf



宇宙産業の市場予測

In M\$ (1\$=140円)

\$1500000

(210兆円)

日本の目標:

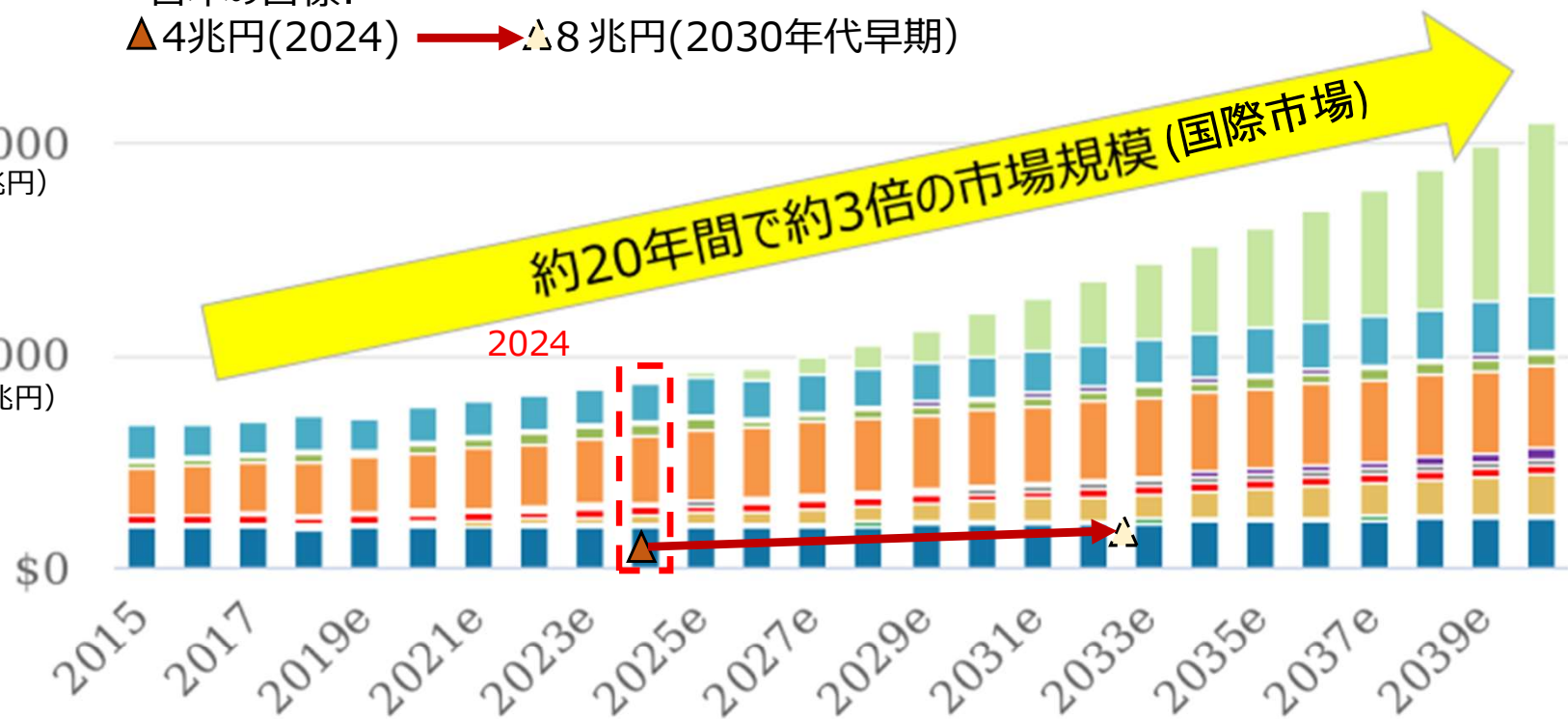
▲4兆円(2024) → ▲8兆円(2030年代早期)

\$1000000

(140兆円)

\$500000

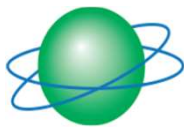
(70兆円)



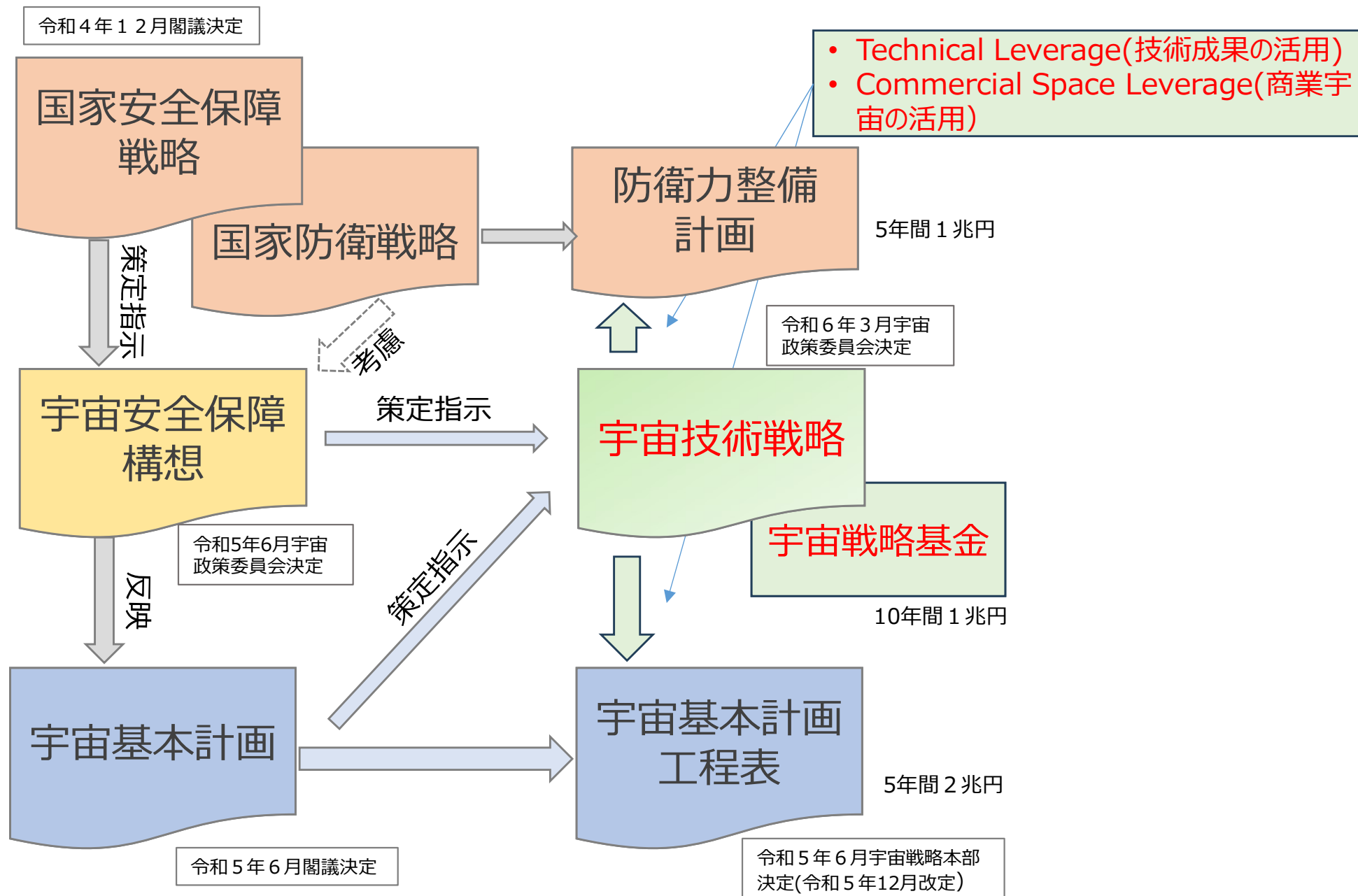
- Consumer TV
- Consumer Broadband
- Mobile Satellite Services
- Ground Equipment
- Satellite Launch
- Second Order Impacts
- Consumer Radio
- Fixed Satellite Services
- Earth Observation Services
- Satellite Manufacturing
- Non Satellite Industry

目次

1. 商業宇宙の概況
2. 我が国の防衛分野での商業宇宙利用
3. 米国防省「商業宇宙統合戦略」
4. まとめ
～日本版防衛・商業宇宙統合戦略に向けて～

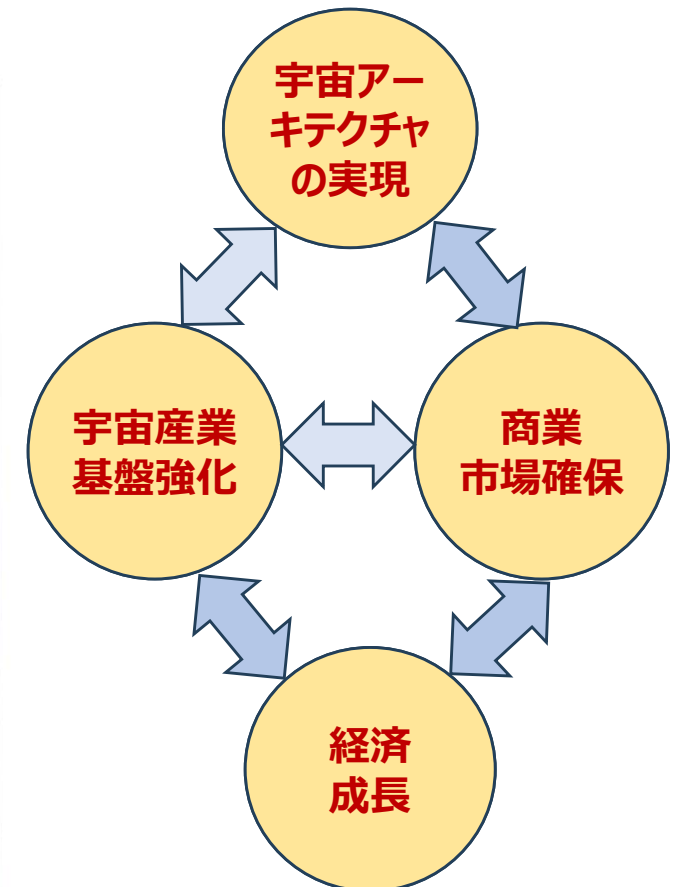
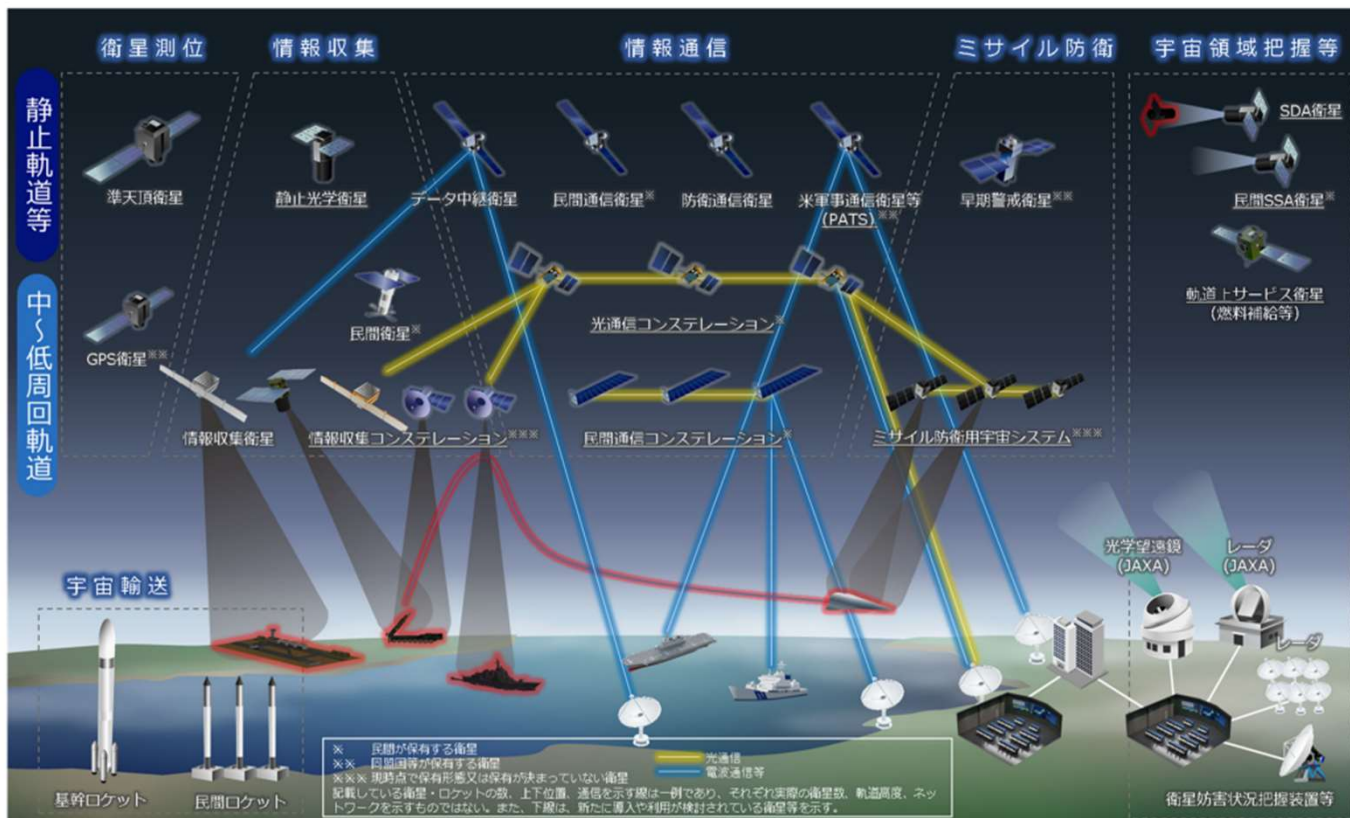


防衛、宇宙、商業宇宙政策に係る戦略、計画等の体系



宇宙安全保障構想

- 我が国が、宇宙空間を通じて国の平和と繁栄、国民の安全と安心を増進しつつ、同盟国・同志国等とともに、宇宙空間の安定的利用と宇宙空間への自由なアクセスを維持すること
- その際、防衛力の強化と宇宙産業の発展の好循環を促し、安全保障と経済の両面に裨益する、国際的競争力のある持続的な宇宙産業基盤を確立すること



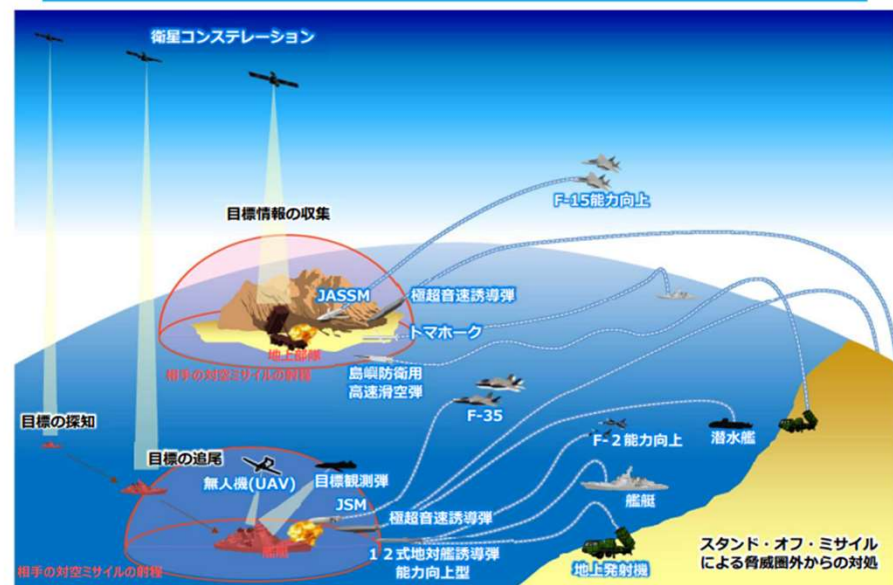
「安全保障(①宇宙からの安全保障、②宇宙の安全保障)のための宇宙アーキテクチャ」 「③宇宙産業の支援・育成」

防衛力整備において宇宙利用が不可欠な主要分野

統合防空ミサイル防衛のイメージ (HGV、弾道ミサイル迎撃のフェーズ)



今後のスタンド・オフ防衛能力の運用(イメージ)



将来の領域横断作戦のイメージ



SSA/SDAと対処



注) スタンドオフ能力防衛、統合防空ミサイル防衛、無人アセット防衛、領域横断作戦、指揮統制・情報関連機能、機動展開・国民保護、持続性・強靱性

Ref. 令和6年度防衛省概算要求資料、令和6年度防衛省宇宙関連概算要求説明資料

宇宙アーキテクチャ構築の選択枝と防衛力強化に必要な機能の対応

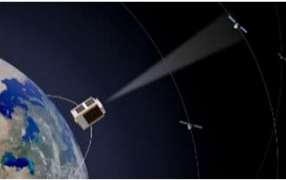
宇宙アーキテクチャの機能	宇宙アーキテクチャ構築の選択枝				防衛力強化の分野			
	我が国が保有、または保有を計画	同盟国が保有	民間が保有	保有形態、将来の保有の有無が未定	統合防空ミサイル防衛	スタンド・オフ防衛(反撃能力)	領域横断作戦	SSA/SDAと対処
PNT	準天頂衛星	GPS	—	—	✓	✓	✓	✓
情報収集	情報収集衛星(IGS) 静止光学衛星	—	リモートセンシング衛星	情報収集コンステレーション	✓	✓	✓	—
情報通信	防衛通信衛星(きらめき) データ中継衛星	米軍事通信衛星(PATS)	通信/光通信コンステレーション	—	✓	✓	✓	✓
ミサイル防衛	ミサイル防衛用宇宙システム(探知・追尾コンステレーション)	早期警戒衛星	—	ミサイル防衛用宇宙システム(探知・追尾コンステレーション)	✓	—	—	—
宇宙領域把握	SDA衛星 レーダ/望遠鏡	—	民間SSA衛星/レーダ/望遠鏡	—	—	—	—	✓

✓:主に使用する機能

PNT: Positioning, Navigation, and Timing

GPS: Global Positioning System

防衛省の商業宇宙を利用した技術実証研究

	事業の概要	契約先等
衛星を利用した HGV探知・追尾	新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)に搭載した赤外線センサを用いてHGV探知・追尾実証試験を実施  HTV-X	株式会社IHIエアロスペース (令和6年3月6日契約)
小型ロケットの能力向上	小型ロケット打上げ能力の増強、軌道投入の高精度化のために、メタン上段ロケットエンジンを適用する燃焼実証試験を実施  <カイロス増強型のイメージ図> <カイロス現行型>	スペースワン株式会社 (令和6年3月5日契約)
衛星共通キー技術の先行実証	小型衛星で取得した画像データ等の高速オンボード処理や光通信によるデータ伝送に関する宇宙実証を実施 	株式会社QPS研究所 (令和6年2月28日契約)
多軌道観測衛星の実証	SDA (宇宙領域把握)能力の向上のため、軌道上の光学衛星による低軌道から静止軌道までの衛星の動きの検知実証を実施 	キャノン電子株式会社 (令和6年3月29日契約)
即応型マルチミッション衛星の実証	搭載センサのインターフェースの共通化等、軌道投入後即応的に機能性能を発揮できる衛星の実証試験を実施 実証衛星に形状・材料ステルス性を持たせ、地上や軌道上の他の衛星からの観測実証を実施 	川崎重工業株式会社 (令和6年3月29日契約)

宇宙技術戦略

- 世界の技術開発トレンドやユーザニーズの調査分析を踏まえ、**安全保障・民生分野で横断的に我が国の勝ち筋を見据え、我が国が開発を進めるべき技術の見極め**と、その開発のタイムラインを示した**技術ロードマップ^注**を含む戦略

注)ここでの戦略は将来のあるべき姿を実現するための具合的道筋を示すもの（バックキャスト）ではなく、将来の技術予測（フォアキャスト）に近い（筆者注釈）

- 10年間で1兆円の支援を目指す「**宇宙戦略基金**」を含め、**会計省庁・期間が予算要求、執行**において参照する
- 必要な宇宙活動を自前で行う能力を保持（自立性の確保）するため、下記に資する技術開発を推進

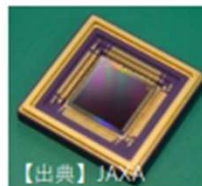
①我が国の技術的優位性の強化 ②サプライチェーンの自律性の確保

衛星	宇宙科学・探査	宇宙輸送
防災・減災、国土強靱化や気候変動を含めた地球規模問題の解決と、民間市場分野でのイノベーション創出、SDGs達成、Society5.0実現をけん引： 【出典】独TESAT-Spacecom  ① 通信 ② 衛星測位システム ③ リモートセンシング ④ 軌道上サービス ⑤ 衛星基盤技術 大容量のリアルタイム伝送を可能にする光通信	宇宙の起源や生命の可能性等の人類共通の知を創出し、月以遠の深宇宙に人類の活動領域を拡大するとともに、月面探査・地球低軌道活動における産業振興を図る： ① 宇宙物理 ② 太陽系科学・探査 ③ 月面探査・開発等 ④ 地球低軌道・国際宇宙探査共通  【出典】TOYOTA JAXA/TOYOTAが研究開発中の有人圧ローバ（イメージ）	宇宙輸送能力の強化、安価な宇宙輸送価格の実現、打上げの高頻度化、多様な宇宙輸送ニーズへの対応を実現： ① システム技術 ② 構造系技術 ③ 推進系技術 ④ その他の基盤技術 ⑤ 輸送サービス技術 ⑥ 射場・宇宙港技術  【出典】JAXA CALLISTO（カリスト）プロジェクト：日・仏・独の宇宙機関共同で、2025年度にロケット1段目の再使用を実施予定

分野共通技術

上記の衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送分野共通となる技術について、継続的に開発に取り組むことが、サプライチェーンの自律性確保、国際競争力強化の観点から不可欠：

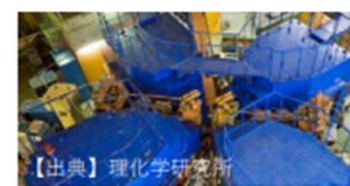
- 機能性能の高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術（デジタルデバイス等）
- 小型軽量化とミッション高度化を支える機械系基盤技術（3Dプリンティング等）
- ミッションの高度化と柔軟性を支えるソフトウェア基盤技術（AI、機械学習等）
- 開発サイクルの高速化や量産化に資する開発・製造プロセス・サプライチェーンの変革
- 複数宇宙機の高精度協調運用技術



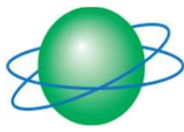
【出典】JAXA
宇宙用高性能デジタルデバイス
マイクロプロセッサ



【出典】Oneweb
製造試験ラインを自動化しているOneweb衛星



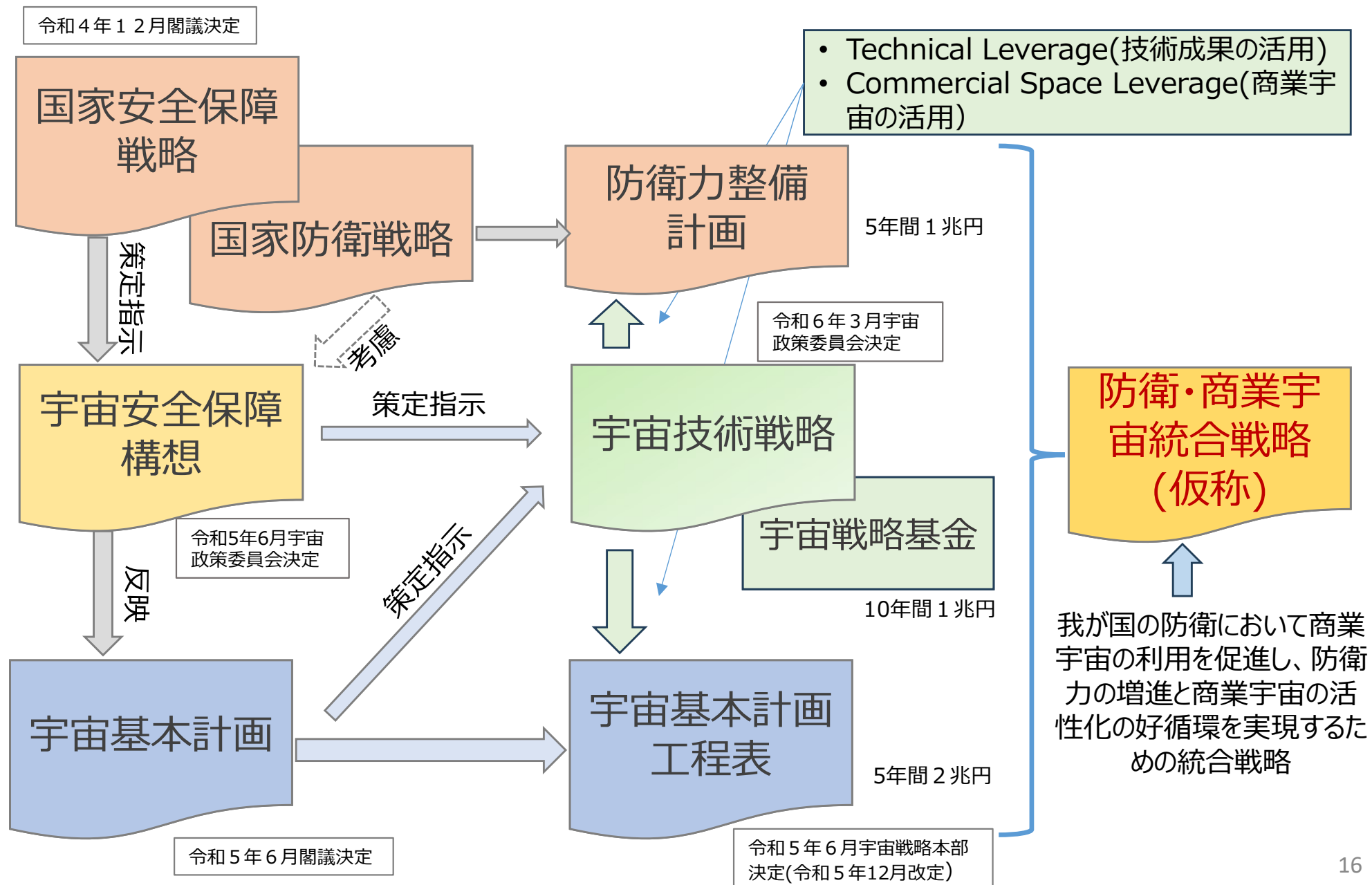
【出典】理化学研究所
COTS品の活用に重要となる耐放射性試験等の環境試験



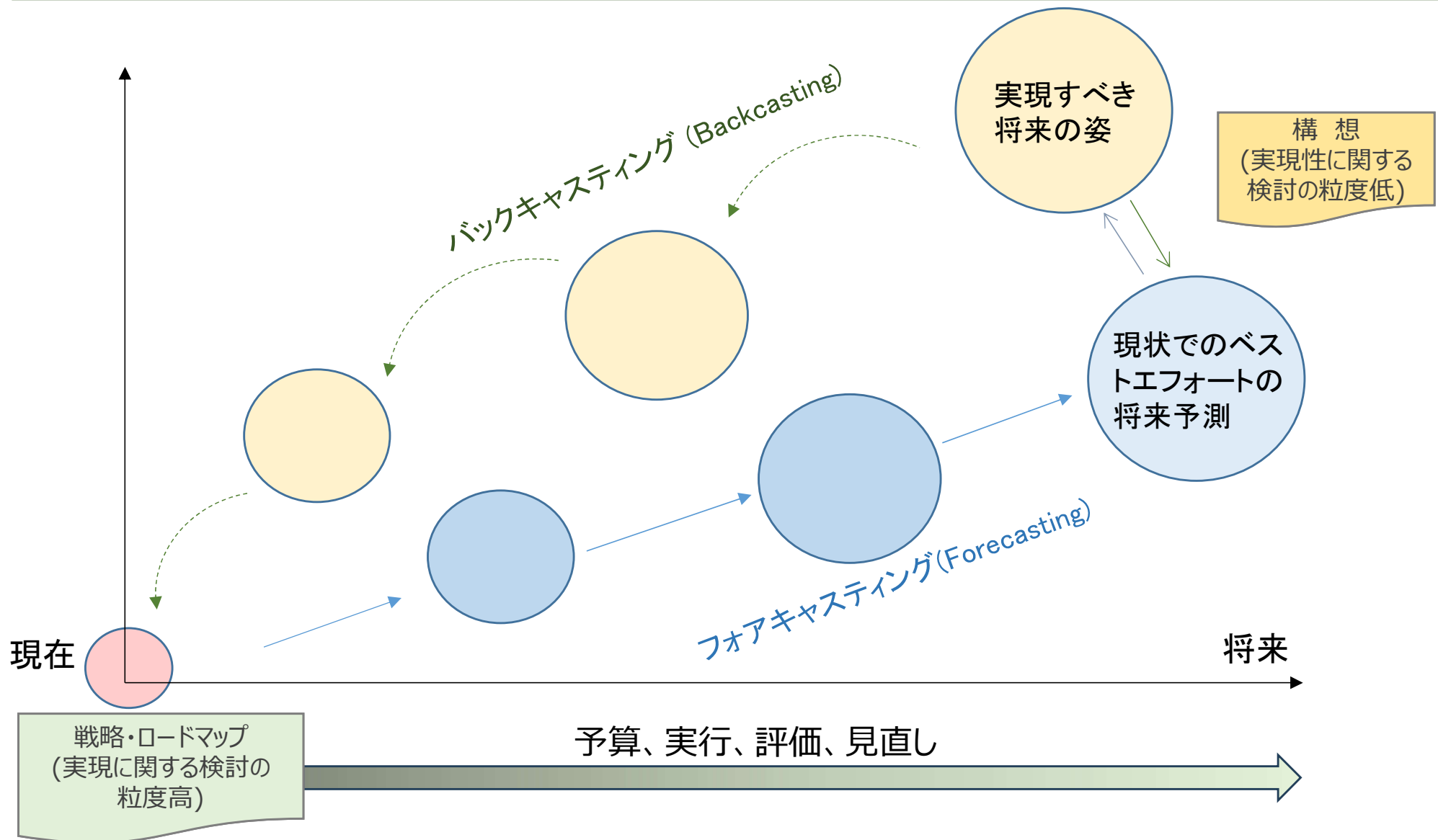
防衛省が関係省庁、防衛・宇宙関連企業等に期待する技術研究開発

宇宙安保構想で掲げる目的	宇宙安保構想における記載	宇宙技術戦略において具体化した記載
衛星コンステレーションを積極的に活用し、宇宙利用を拡大していくための技術	量産を見据えた設計・製造・検証技術の高度化	- 複数の宇宙機で汎用的に利用できるコンポーネントやソフトウェア等を実現するCOTS品 ※の宇宙機への適用拡大 ※非宇宙分野で既に製品化されているコンポーネントや機材 - 耐放射線性、耐真空性、耐熱性、及び耐衝撃性等の環境試験、信頼性評価、対策等
		- 多種衛星の協調観測技術や運用自律化技術を含むコンステレーション技術 - 光通信技術等による高速度・高頻度ダウンリンク技術 - IoTを活用した地上リファレンスデータ取得等によるスマートタスキング技術
	衛星コンステレーションにおけるネットワーク最適化	データ取得と同時にデータ解析を行うオンボードエッジコンピューティングの高度化や省電力化
		- 高発熱を伴うフルデジタル通信システムを衛星に搭載するため、機械式二相流体ポンプループによる能動的効率的排熱システムを実現する研究開発 - 柔軟な通信ビーム制御を実現するデジタルビームフォーミング（DBF） - より広い通信領域を実現する広角・低利得アンテナ（DRA：Direct Radiation Antenna）等のフェーズドアレイアンテナ※ ※多数のアンテナ素子を配列し、それらの位相を微調整することで高い指向性・制御性を可能とするアンテナ - 固体化電力増幅器（SSPA：Solid State Power Amplifier）
増大する通信所要を確保するための技術	衛星のフルデジタル化やソフトウェア定義化	高周波（Ka/Q/V/W/E）・高効率RF機器※の開発 ※無線機器
		EHF帯域※の活用 ※30-300GHz帯、KaやVバンド等
	各種バスやセンサ等の小型・軽量化	宇宙機の小型軽量化とミッション高度化を支える3Dプリンティング技術等の機械系技術
	衛星運用の自律・地上システムの分散化	- 多種衛星の協調観測技術や運用自律化技術を含むコンステレーション技術（再掲） - 地上局仮想化技術を活用することによって、地上局設備のコスト低減に加え、地上局の共通機能以外の個別機能の開発
SDAや任務保証等に資する技術	宇宙実証・回収機会の確保	- 利用者が回収したいタイミングでタイムリーに回収できる、少量高頻度の物資回収システムの実用化 - 大気圏突入・空力減速・着陸技術

「防衛・商業宇宙統合戦略（仮称）」の位置づけ



「構想」と「戦略・ロードマップ（工程表・計画）」の定義



構想、戦略、ロードマップ、予測等において実現性に関する検討の粒度について明確な定義はない
→ 言葉の使い分けは曖昧でしばしば混乱する場合あり

目次

1. 商業宇宙の概況
2. 我が国の防衛分野での商業宇宙利用
3. 米国防省「商業宇宙統合戦略」
4. まとめ
～日本版防衛・商業宇宙統合戦略に向けて～

米国防省「商業宇宙統合戦略」

原則 (Principles)

1. バランス



一企業への過度な依存を排除した、ミッション毎での政府主導と商業ソリューションのバランス

2. 相互運用性



商業セクターのイノベーション、スピード、スケールを損なわないMIL規格の適用、目的毎のシステム構築における商業規格と商業インターフェースの考慮

3. 強靱性

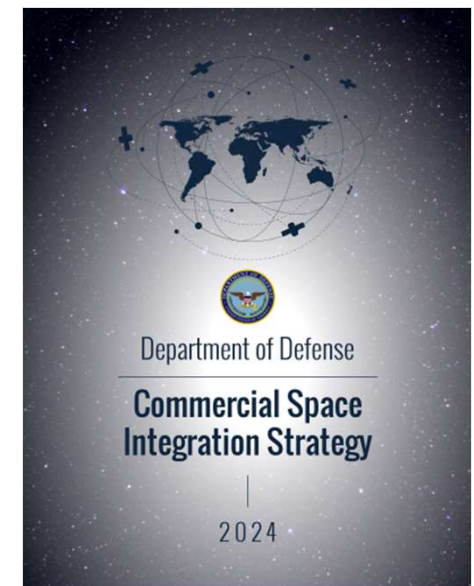


商業ソリューション提供企業数の増加、サプライチェーンの多様化、ソリューションの種類や数の拡大による国家安全保障アーキテクチャの強靱化、商業ソリューション自身のサイバー攻撃に対する国防省の支援による抗たん性の強化

4. 責任ある行動



国防省の国際的規範・基準並びに宇宙での責任ある行いの信条に基づく行動、商業セクターと協働する際の国防省の倫理行動の長期コミット

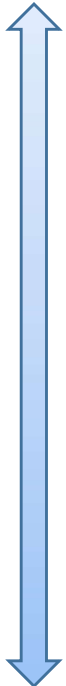


米国防省
「商業宇宙統合戦略」
Apr. 2, 2024, DoD

米国防省「商業宇宙統合戦略」

優先事項	アプローチ（手段、方策）
1.紛争時の商業ソリューションへのアクセスの確保（紛争時の商業能力の増強を含む）	- 国防省は、紛争時の商業ソリューションへのアクセスを担保するために契約またはその他の取極を結ぶ - これらの契約または取極は、商業者が満たすべきサイバー、データ、並びにサプライチェーンセキュリティを明記する - 必要な場合には、契約は国防省の要求を他の商業的顧客より優先することを可能にする
2.紛争や危機に際しシームレスに利用するために事前の統合を達成（運用計画、訓練などの日々の支援を含む）	- 国防省は、商業ソリューションを用いて、技術試験並びに戦術構想の立案のために、図上/訓練演習を行う - 堅牢な民間と国防省の関係は、サイバー、データ、並びにサプライチェーンセキュリティのリスクや脆弱性を軽減し、運用構想の立案を助ける
3.商業宇宙の実施者のリスクを低減し安心・安全な運用環境の促進	- 必要な状況においては、民間のアセットを守るため軍事力の行使が行われる - 通常は、国際的な規範と基準、脅威情報の共有^{注1)}、経済的保護^{注2)}を通じて守られる 注1)マルチレベルの秘密を含むSDA、サイバーセキュリティ脅威情報 注2)民間保険、政府戦争リスク保険、米政府提供保険、Public Law 85-804による補償
4.統合軍のための新たな商業宇宙ソリューションの支援と開発	- 国防省は、商業技術を装備化またはその技術を評価し、個人投資家や商業金融家の投資意欲を向上させ、国家安全保障上必要不可欠な分野でのハードルを取り除き、最終的に兵士に迅速に商業ソリューションを届けるために、可能な財政、契約、政策的手段を用いる - 国防省は、倫理的行動にコミットし、商業宇宙統合に際し知的財産を保護する

米国防省「商業宇宙統合戦略」

商業宇宙利用の 3 分類	任務分野
Build  Buy 政府主導の任務 分野 (Government Primary Mission Areas)	1. 戦闘力投射(Combat Power Projection) 2. 指揮統制 (C2:Command and Control) 3. 電磁波戦(EW: Electromagnetic Warfare) 4. 核爆発検知(NUDET: Nuclear Detonation Detection) 5. ミサイル警報(MW: Missile Warning) 6. 位置・航法・時刻(PNT: Positioning, Navigation, and Timing)
ハイブリッドの任務 分野 (Hybrid Mission Areas)	1. サイバー空間運用(Cyberspace Operations) 2. 衛星通信(SATCOM: Satellite Communication) 3. 衛星運用(Spacecraft Operations) 4. 戦術情報、監視、偵察(TacISR: Tactical Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) 5. 宇宙領域把握(SDA: Space Domain Awareness) 6. 環境モニター(EM: Environmental Monitoring)
商業主導の任務 分野 (Commercial Primary Mission Areas)	1. 宇宙へのアクセス、移動、補給整備(SAML: Space Access, Mobility, and Logistics) 2. 任務横断的な能力とサービス(Crosscutting Capability and Service, i.e. decision support, software and tools, rapid prototyping, AI, data management, ground support, modeling and simulation)

カテゴリー分けは商業宇宙能力や任務要求の変化によって変わり得るが、時々都合による統一性のない分類を排除する必要

目次

1. 商業宇宙の概況
2. 我が国の防衛分野での商業宇宙利用
3. 米国防省「商業宇宙統合戦略」
4. まとめ
～日本版防衛・商業宇宙統合戦略に向けて～

まとめ

日本版防衛・宇宙統合戦略（仮称）の検討に当たっての前提事項とポイントの整理

■ 検討に当たっての前提事項

- ✓ 喫緊の重要事態（台湾危機(2024～)）等に対処する防衛力に必要な**Space Architecture**の明確化
- ✓ 米国との協力(Allied by Design^注)は必須であるものの、**米国との防衛構想の差異の明確化**

米国：グローバルな**PWSA**(Proliferated Warfighter Space Architecture)

↓
Qualification(適正化)
↓

日本：東アジア地域の**RWSA**(Regional Warfighter Space Architecture)



- ✓ 我が国の**商業宇宙規模は小さく、現状、信頼できる防衛サプライチェーンとして脆弱**
(経産省の努力目標→2030年代初頭で国際市場の約8.5%(8兆円)、その後は？？)

注) Allied by Design: Executive Director SSC(Space Systems Command)/IA, Ms. Deana Ryals at 25th Global MILSSATCOM, 2023 in London, UK

まとめ(続き)

日本版防衛・宇宙統合戦略（仮称）の策定に当たっての前提事項とポイントの整理（続き）

■ 検討に当たってのポイント



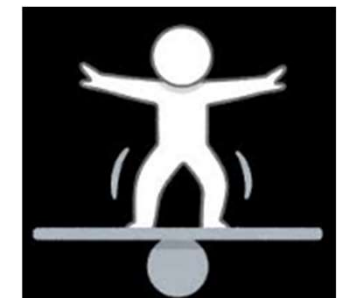
1. 我が国が優先して構築すべき**RWSAの全体像と工程表**を明示

2. 米国防省「商業宇宙統合戦略」に示された、「原則」、「優先事項とそのアプローチ」、「商業宇宙利用の3部類」を参考に、我が国に**必要な防衛・商業宇宙統合戦略の考え方**を整理



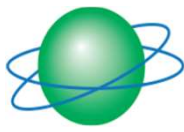
3. 平時、グレーゾーン、有事での**主権的なISR¹⁾、Targeting、JADC2BM²⁾の確保**や**迅速、効率的なSpace Architecture構築のため、以下のバランスを考慮**

- ① **国内商業宇宙の最大活用**
- ② 防衛サプライチェーンとして信頼できる**国内宇宙防衛産業基盤の創出**
- ③ 同盟国・同志国間での互いの**政府保有アセット**や**商業宇宙の相互利用・共同開発(Allied by Design)**



1) ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

2) JADC2BM: Joint All Domain Command & Control and Battle Management



**防衛分野での商業宇宙利用を
Buzz Word
にしてしまわない事を願って**

ご清聴ありがとうございました