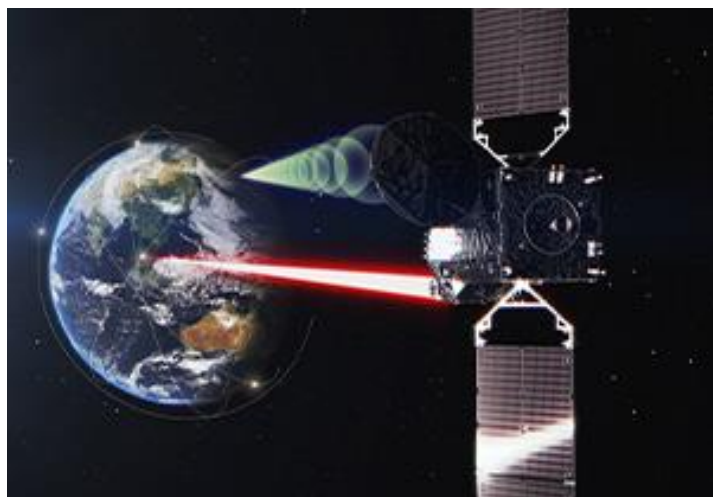


特集 インフラの維持と未来

人工衛星の展開と維持



本間正修
元JAXA 理事（人工衛星部門担当）



©JAXA

はじめに

- 人工衛星は通信・放送、地球観測、測位、安全保障などの分野で、**社会インフラの一端**を担っている。今後さらに質、量ともに発展し、より強固なインフラとなるであろう。
- 近年、多数の衛星が連携して目的を達成する「**衛星コンステレーション**」が出現している。スターリンクがその代表例である。
- また、衛星の数が急速に増加する事態に対応して、**スペースデブリ問題**がより切実になっており、各国が連携してその対策を進めている。

我が国で運用されている人工衛星

政府機関が事業主体

- 情報収集衛星：光学、レーダー各4機。データ中継1機
(内閣官房 内閣情報調査室)
- 静止気象衛星「ひまわり」：2機 (気象庁)
- 測位衛星 (準天頂衛星)：5機 (内閣府 宇宙開発戦略推進事務局)
- 温室効果ガス観測技術衛星：3機 (環境省、JAXA)
- 地球観測衛星：6機 (JAXA。海外との共同プロジェクト2機を含む)
- 天文観測衛星、月・惑星探査機：6機 (JAXA。X線観測、小惑星探査等)
- 防衛通信衛星：3機 (防衛省 「航空宇宙自衛隊 (仮称)」 へ)

民間企業が事業主体

- 静止通信衛星：17機 (スカパーJSAT) <2024年4月時点>
- 小型SAR衛星：21機 ((株)QPS研究所、(株)Synspective)
- 実験衛星：打ち上げ累計数十機。(大学、研究機関、企業など)

<国の衛星は広義の安全保障と科学研究が主であり、
通信などの分野は、主に民間主導で行われている。>



「ひまわり」

©気象庁



「はやぶさ2」

©JAXA



温室効果ガス観測技術衛星

©JAXA、環境省

測位衛星（準天頂衛星）



準天頂衛星はGPSと互換性のある測位信号を送信。ユーザー端末は準天頂衛星、GPSなど世界中の測位衛星（全球測位衛星システムと総称）から最適な組み合わせを選択して測位。

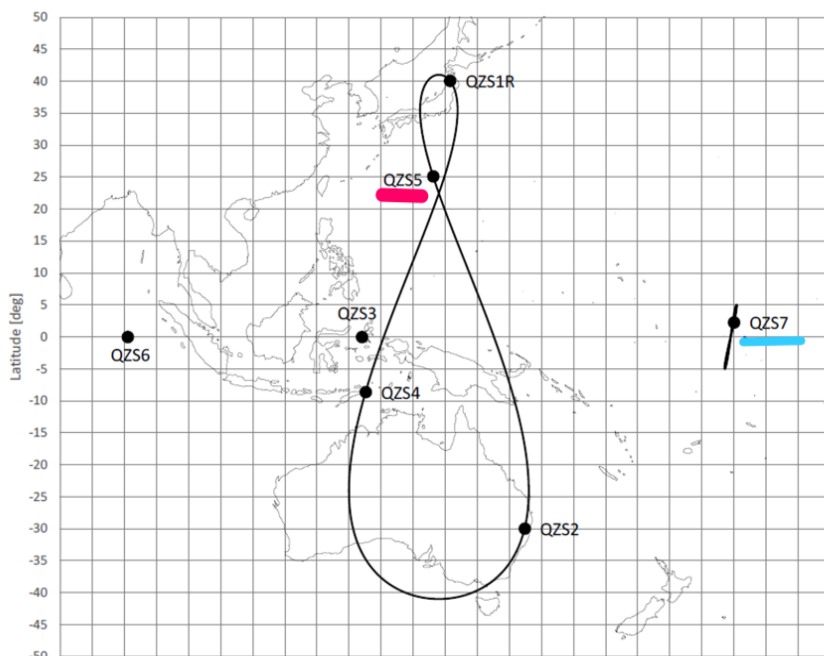
©三菱電機

わが国は安全保障上、自立した衛星測位が可能となる、7機体制構築を進めている。しかし昨年末H3の打ち上げ失敗により1機を失い計画の見直しが必要。

将来的には、1 1 機体制に拡張し、測位サービスの安定供給を目的としたバックアップ機能の強化や利用可能領域の拡大を図る予定。

準天頂衛星と静止衛星の組み合わせ

©内閣府



— 打ち上げ失敗（2025.12.22）

— 打ち上げ延期

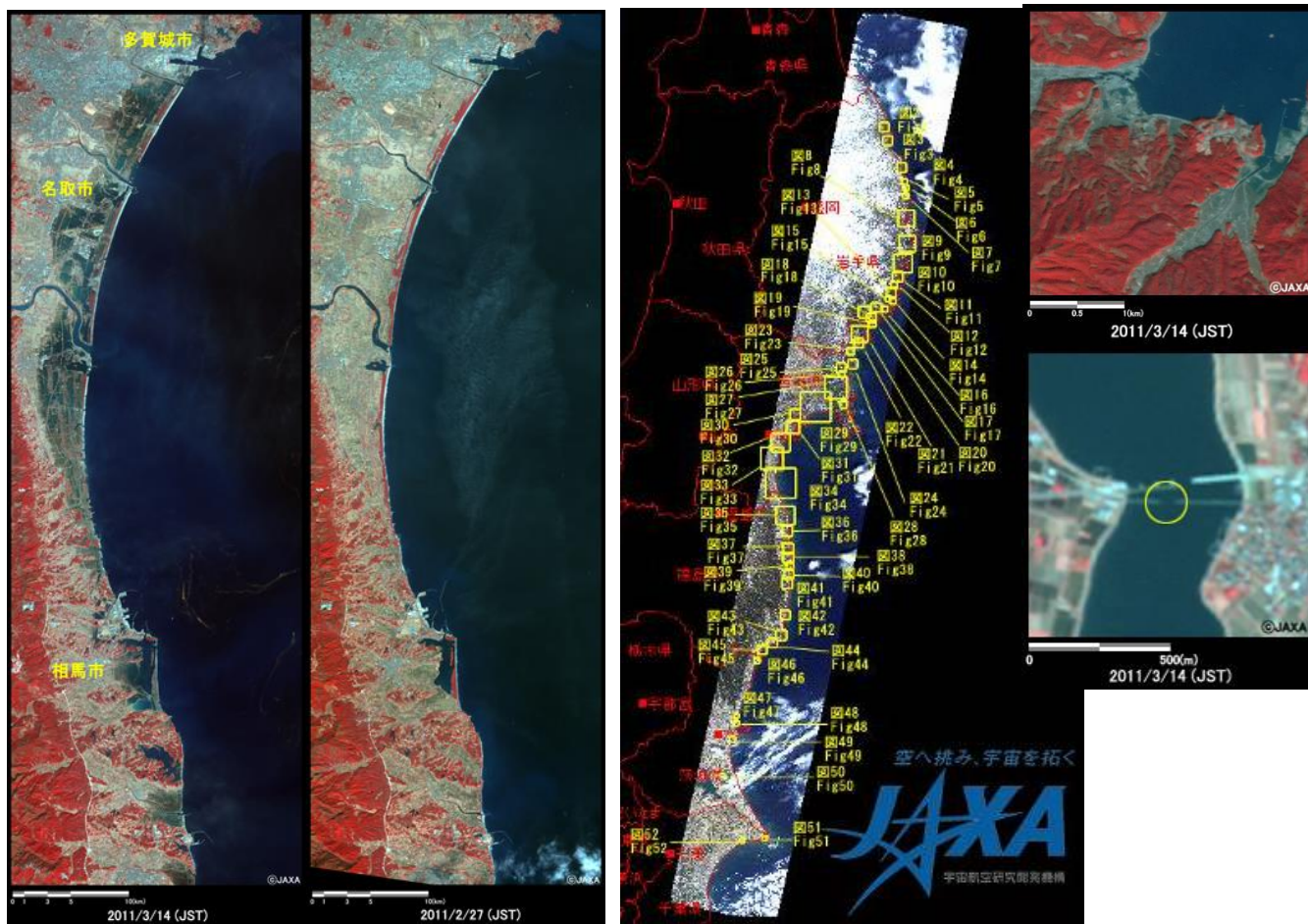
ユーザーからは常に4機の測位衛星が見えるように衛星を配置。

<注>衛星は、8の字軌道の上半分と下半分をそれぞれ12時間かけて移動する。

地球観測衛星

東日本大震災発生時

3/14 仙台沿岸域から相馬にかけての広範囲な津波被害を把握



政府の情報集約活動に貢献することを目的として緊急観測を実施し、観測データを提供した。左端の画像で黒ずんでいる所が津波浸水域。右側の画像は被災の詳細状況。

現在観測衛星の数は増えており、より迅速・詳細な観測が可能である。また、大規模災害発生時には各国が協力する「国際災害チャーター」体制が確立している。

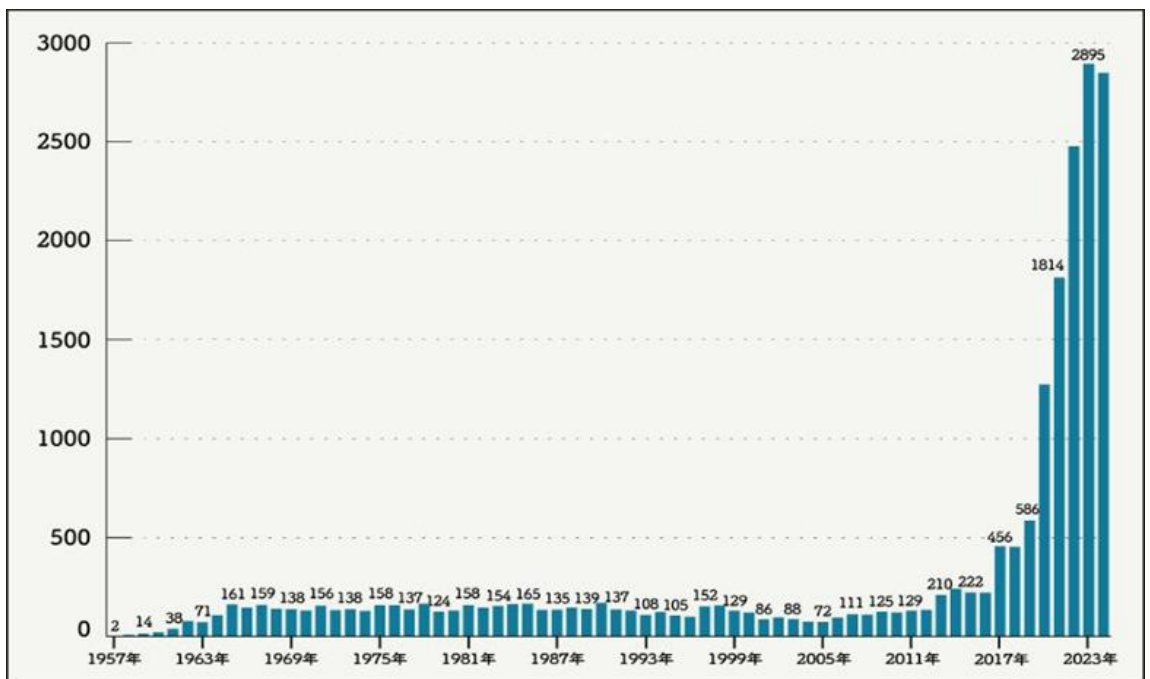
衛星コンステレーションとは

人工衛星に使用される機器の小型軽量化や衛星打上げ費用の低廉化により、小型の人工衛星の実用化が比較的容易になっていることを背景にして、

- ・ 多数の衛星を宇宙に展開し、これまでになかった新しいミッションを実現する。
- ・ 衛星の数は、多いものでは1万機、少ないものでも数10機から数百機
- ・ 衛星は小型であるが、ネットワーク化し全体として巨大なシステムを構成する。
- ・ 通信衛星コンステレーションとして、米国スペースX社のSTARLINKが現在稼働している。これを追従する計画がいくつか進行中である。
- ・ 地球観測の分野でも衛星コンステレーション計画が進んでいる。

なお人工衛星の打ち上げ数は2017年から爆発的に増え始めている。

この変化の元は、衛星コンステレーション（特にStarlink）の実現である。これを見ると明らかに大きな転回点を経て、新しい時代に突入していることがわかる。



人工衛星の打ち上げ数（国連宇宙部集計）

STARLINKの概要

- 提供サービス： 衛星によるインターネット通信
(ユーザーは衛星に直接アクセス)
- 8000機以上の衛星が低軌道上で稼働中。各衛星は光衛星間通信で結ばれ、巨大なネットワークを構成。
- 衛星は地上GATEWAY局を経由し、インターネットに接続。

<注： 衛星重量は第一世代250kg、第二世代800kg。
軌道高度は約350kmと550km >

このシステムは、地上の携帯電話ネットワークと相似形である。各衛星は光通信と電気推進という最先端技術を取り入れている。その維持には年間数百機の新陳代謝が必要である。大量生産になじむ衛星設計とロケットの大幅なコスト減が必須である。



©JAXA

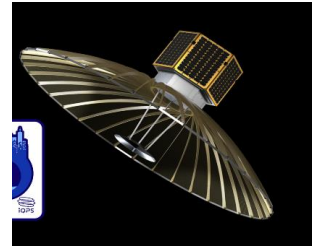
我が国の大型衛星 (ETS-8)



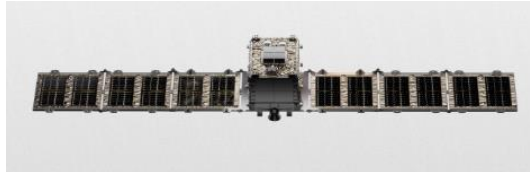
打ち上げ準備中のスターリンク衛星。薄い板状の衛星を30機重ねている。(Credit: SpaceX)
従来の衛星設計の概念と異なる。

我が国における観測衛星コンステレーション計画

- (株) QPS研究所： 36機の小型SAR衛星<注>で準リアルタイムに地球を観測
- (株) Synspective： 世界のあらゆる地域をほぼリアルタイムで観測できる30機のSAR衛星群を構築©JAXA



©QPS研



© (株) Synspective

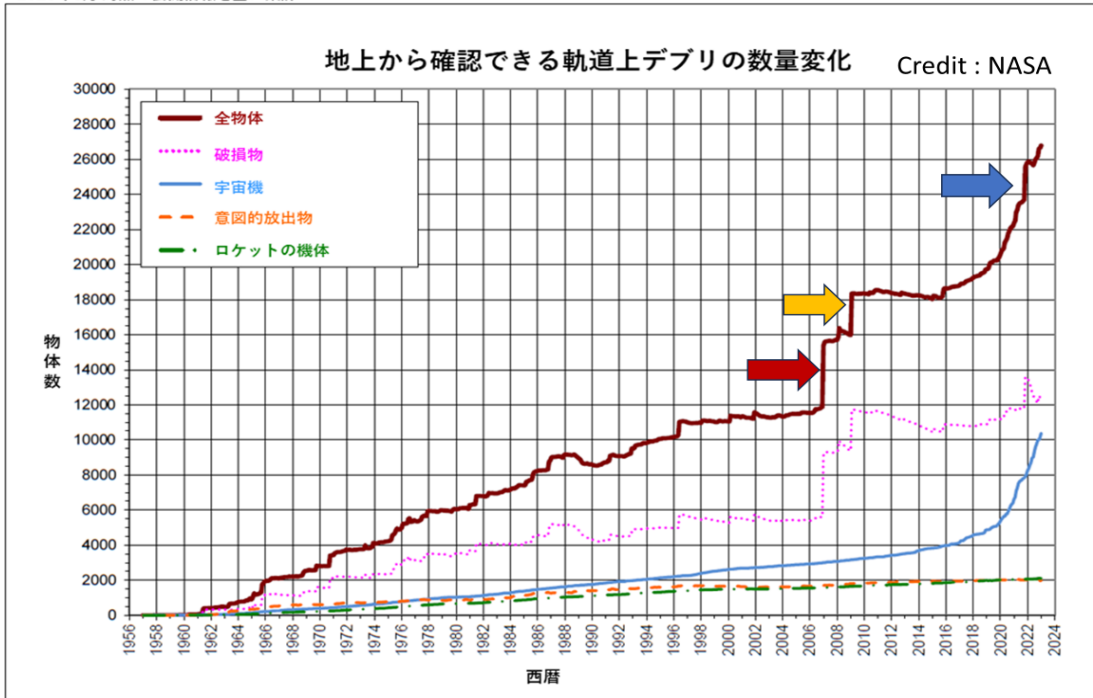
両衛星とも100kg級。データ配布のみならず、ソリューション提供を目指している。

<注：SAR:合成開口レーダ。昼夜、天候を問わず地表の観測が可能>

- スカパーJ SAT社： 光学衛星コンステレーション計画を最近発表。

スペースデブリ問題について

2023年3月時点の公開情報を基に集計



- 中国の衛星破壊実験
- 機能を停止していた「コスモス2251」と、「イリジウム33」が衝突した事故
- ロシアの衛星破壊実験

ソフトボール大以上の物体が観測可能

スペースデブリ対策の概要

スペースデブリ問題は、CO₂排出規制と似た性格を持つ。

1. デブリを放出しないこと。
 - a) 故障しても爆発しない設計（燃料タンク、バッテリーetc.）
 - b) 分離ボルトなどの部品を保持して放出しない
 - c) 衛星破壊実験を厳禁
2. 運用終了時、指定の軌道に移動して、運用中の衛星との衝突を回避する。
（静止衛星：2000km高い軌道へ。低高度衛星：大気圏突入。
ロケット：制御再突入）
3. スペースデブリの状況を監視し運用中の衛星と衝突のリスクがあれば警報を出す。そして衛星の軌道を少しずらし、衝突を回避する。
（我が国も監視局を運用しており、データは米国CSPOCと共有。JAXAはリスク回避支援ツールを無償配布）
4. 機能を失ったロケット上段や故障した衛星などを回収するロボット衛星を開発する。

スペースデブリによるリスクはどの程度なら許容できるか

人工衛星は残存確率0.8で設計（寿命期間中に機能喪失する確率は0.2まで許容）。現時点ではスペースデブリによるリスクは、上記0.2に比べると極めて小さい。一方、**ケスラー・シンドローム**（スペースデブリの密度が臨界点を超えると衝突が連鎖的に発生し、自己増殖的に増え続ける）が発生すると取り返しが困難となる。それを避けるためには、現時点でのリスクは小さいとしても将来の安全を担保するため、既述の対策を遵守することが求められている。

おわりに

国の衛星は広義の安全保障と科学研究が主であり、通信などの分野は、主に民間主導で行われている。この傾向はさらに加速されるであろう。なお安全保障分野の成果が他の分野へも貢献できる仕組みを工夫することは、全体を底上げするために重要である。