

宇宙政策委員会 第17回基本政策部会

衛星システムにおけるオンボード情報処理技術について

2021年3月29日

三菱電機株式会社 電子システム事業本部

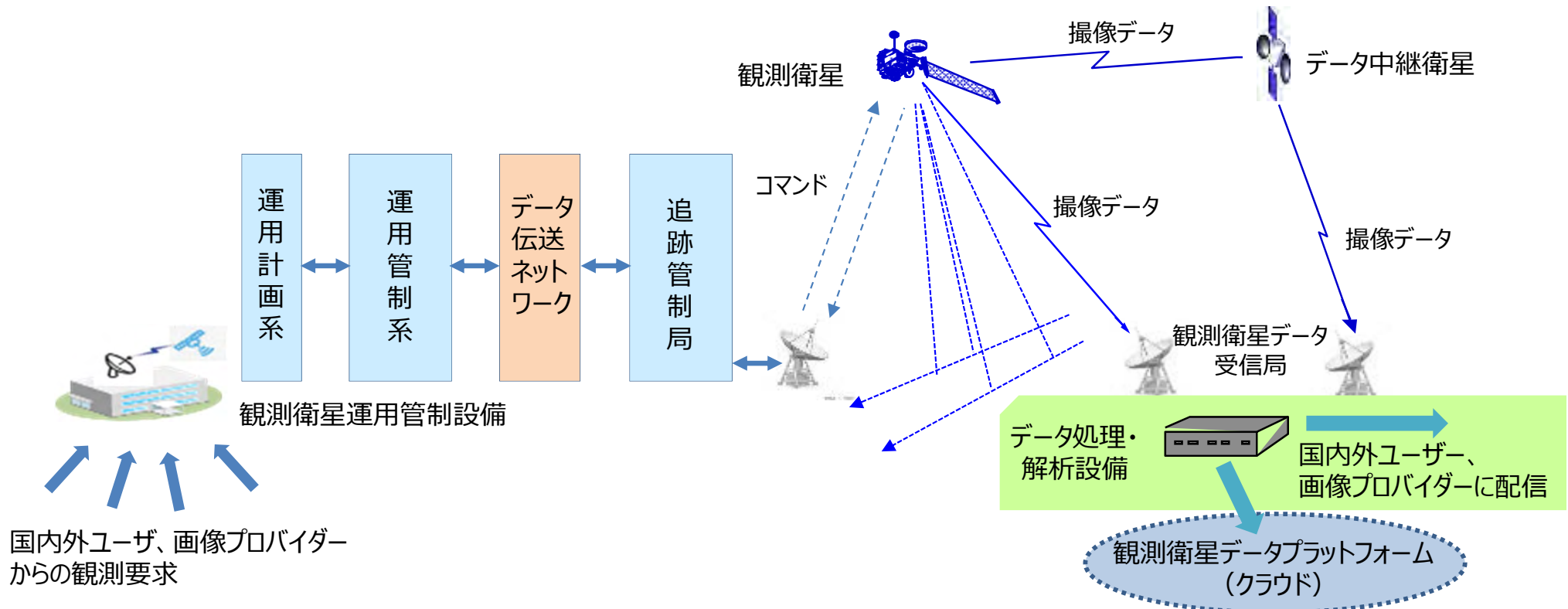
主席技監 小山 浩

三菱電機株式会社

これ迄の観測衛星データ処理

■これ迄の観測衛星運用の流れ

- 観測衛星データの利用ユーザ要求を取り纏め、衛星による観測計画を立案
- 観測計画に基づき、衛星に対するコマンドを生成、衛星に送信
- 観測計画に基づき各地点を撮影
- 撮影したデータ（生データ）を専用の受信局に直接ダウンリンク、または、静止軌道上のデータ中継衛星を経由し、専用の受信局にダウンリンク
- ダウンリンク後、データ処理・解析設備にて画像化後、幾何補正等の画像補正を実施、ユーザに配布、または、アーカイブ(含、データプラットフォーム)に登録
- 利用用途に応じ、2次処理（AI等の活用）、他の情報付加等を実施し、ユーザに配布



オンボード情報処理の必要性

■観測データ量の著しい増加

- 中大型観測衛星における観測幅、観測時間の拡大、小型観測衛星コンステレーションの整備進展等に伴い、観測衛星により取得される観測衛星データの総量が著しく増加
- すべてのデータを地上にダウンリンクし、必要な画像処理を行うことは不可能

■コンステレーション衛星の実用化

- コンステレーションを構成する数十～数百機の衛星毎に、撮像要求～ダウンリンク迄の運用を運用オペレータのみにより実施することは困難

■処理の迅速化

- 観測衛星の飛行位置、ダウンリンク局の配置により、観測衛星データの入手に時間を要する
- ユーザへの配布には、その後の画像処理も必要
- 防災・減災への提供、安全保障上の活用においては、観測衛星の一連の運用手順の大幅短縮が必要

■米国NDSA構想の登場

- 上記に加え、米国SDA*が提唱するNDSA**構想実現に向け、軌道上での大規模データ処理技術が急速に進展（*Space Development Agency, **National Defense Space Architecture）
- 各種処理を時間遅れ無く、高速で実施することが必要



上記課題を解決する抜本的な手段がオンボード情報処理

■ 合成開口レーダ画像のオンボード画像化

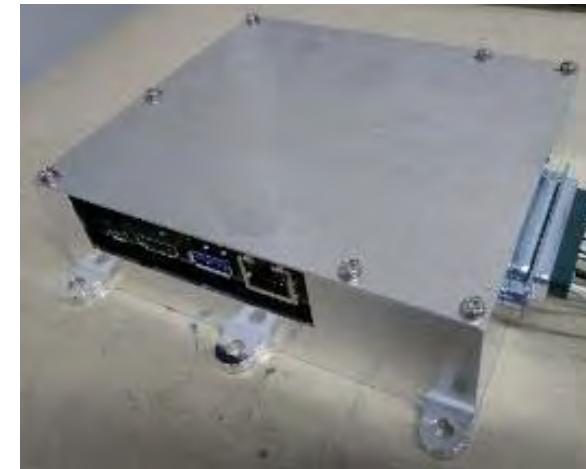
- 合成開口レーダ情報の画像化には計算機パワーが必要、これ迄は地上システムにて実施
- 高速処理のためのCPU、FPGA、GPUの性能向上に伴い、オンボードでの画像化に向けた取り組みが進展
- 具体的には、“撮像→ダウンリンク→画像化・画像補正”のプロセスを省力化、短縮

【事例】民生用GPUの軌道上評価およびモデルベース開発(2022年度打ち上げ)

- ・革新的衛星技術実証3号機の実証テーマの一つとして採用
- ・高性能GPUの搭載により、従来では地上処理でしかできなかった大容量・高速処理をオンボード化



合成開口レーダ画像のオンボード画像化を実現、
必要な情報を迅速に提供



革新的衛星技術実証3号機に搭載する
高性能GPU実証機器(EM)の外観

■ AI/ML（人工知能/マシンラーニング）技術

- ESAの事例では地球観測衛星は1日あたり150テラバイトのデータを生成
- アナリストがこれらデータをすべて処理することは不可能
- 衛星側で何を画像化し、どのデータを地上に送るかを決定する機能が必要
- 大量のデータは機械学習と人工知能アルゴリズムのための教師データとして活用

【事例1】PhiSat-1(2020年9月打ち上げ)

- ・極地の氷と土壌の水分を監視するミッションの衛星のペアの1つ
- ・ほぼ常時、地球表面の約3分の2は雲で覆われているが、これ迄はダウンリンク後に破棄
- ・オンボードAI処理（Neural Compute Stickを活用）により曇りの画像を特定して破棄、観測したい地域の雲のない画像のみをダウンリンク、帯域幅の約30%を節約

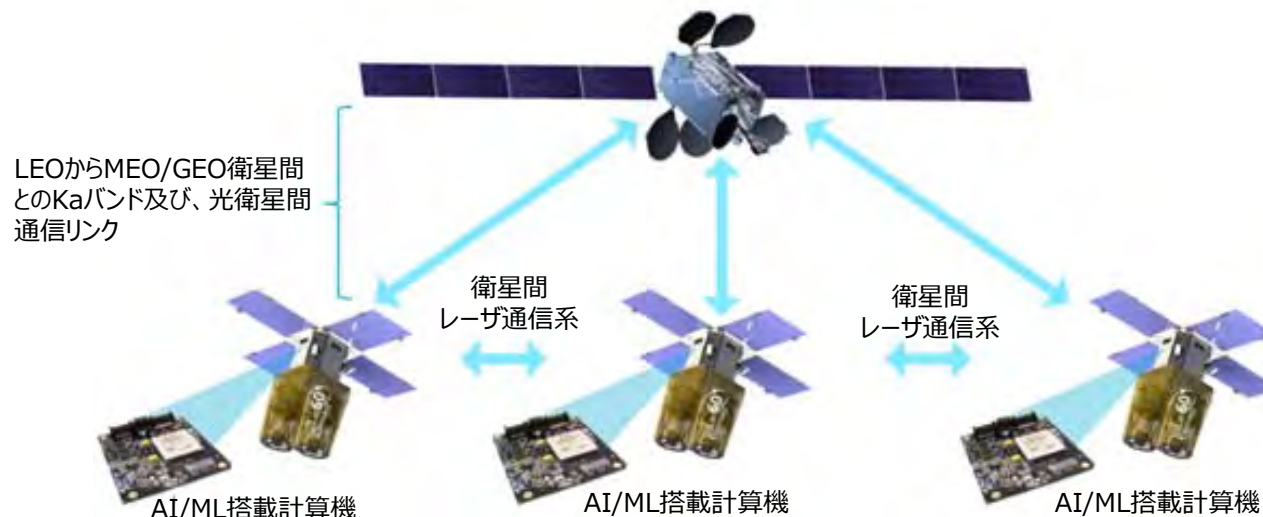


PhiSatの外観

<https://techcrunch.com/2020/10/20/intel-is-providing-the-smarts-for-the-first-satellite-with-local-ai-processing-on-board/>

【事例2】LatConnect60

- ・オーストラリアのスマート衛星システム
- ・オンボード人工知能(AI)を搭載した2つの「スマート」小型衛星を2022年に打ち上げ予定
- ・可視、近赤外、赤エッジを含む7つのスペクトルバンドで1メートルの空間解像度画像を撮像、2025年までに16機の小型衛星を打上げ予定
- ・500GBを超えるメモリに、軌道上で大量のデータを保存・分析を実施、AI/ML機能の実行にはFPGAを使用
- ・オンボード自動分析によりTip & Cueのトリガーをかけ、自ら追加画像をキャプチャを行う他、他衛星(または直下を飛行中のドローン)に撮像を実行させ、対象領域に渡り、より多くのデータを取得
- ・タスクコマンドとデータは衛星間光通信リンクを介して中継、オンボードAIにより最適な通信経路を選択



LatConnect60のシステム構成

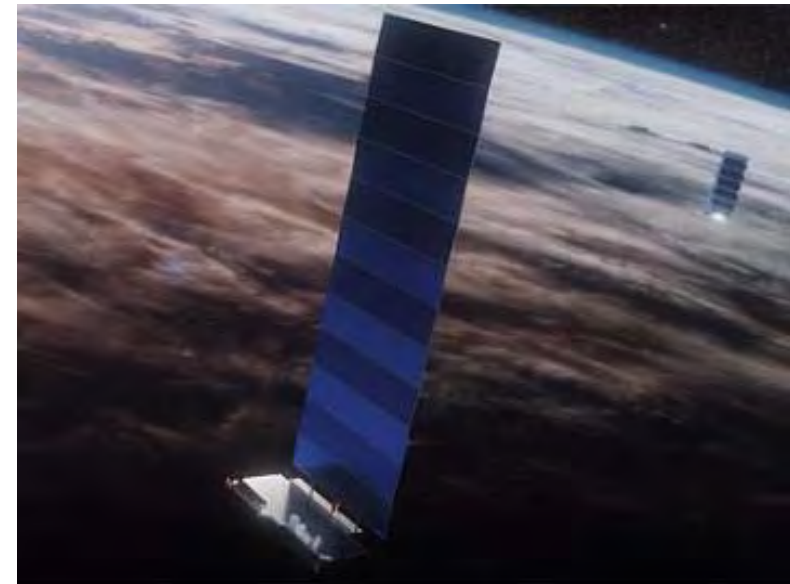
<https://latconnect60.com/services/satellite-connectivity-value-proposition/>

■ 自律的衝突回避技術

- Space-Xが整備中のStarlink衛星は国防総省が提供するデブリの位置データを使用し、**オンボード処理**による軌道上での近傍のデブリの識別、自律的な衝突回避を実施
- 軌道上での位置調整、高度の維持、衝突回避、軌道離脱のため、ホールスラスタを使用
- 寿命末期にはオンボード処理により、自ら軌道離脱し、再突入を実施

【事例】 Starlink

- ・米スペースX社が開発を進めている衛星コンステレーション
- ・低コスト・高性能な衛星バスと地上の送受信機により、衛星インターネットアクセスサービスを提供
- ・総数約**12,000基**の衛星を、2020年代中頃までに3階層に渡って展開
 - ・高度550km : 約1,600基
 - ・高度1,150km : K_u/K_a バンドを用いる約2,800基
 - ・高度340km : Vバンドを用いる約7,500基



StarLink衛星

https://space.skyrocket.de/doc_sdat/starlink-v1-0.htm

■軌道上システムにおける大規模データ処理技術

- 米国SDAが検討中のNDSA構想においては軌道上システムにおける大規模な軌道上データ処理を想定
- 本システムによりLEOを活用した、抗たん性を有する安全保障用の観測データ処理、データ伝送能力を提供
- 下記レイヤー構成を想定

①Transport Layer	②Battle management Layer
③Tracking layer	④Custody layer
⑤Emerging Capabilities Layer	⑥Navigation Layer
⑦Support Layer	



Ref: Space Development Agency Next-Generation Space Architecture Request for Information
SDA-SN-19-0001

■ NDSA各レイヤーに求められる軌道上情報処理能力（1）

レイヤー区分	必要となる軌道上情報処理能力
① Transport Layer ・通信衛星コンステレーションによる低遅延のデータ提供、すべてのプラットフォームとのコネクティビティの提供（既存の衛星とのリンク機能も提供） ・コンステレーション衛星間は光衛星間リンクにより通信	・通信セキュリティ機能（周波数ホッピング等） ・独自の最先端ウェーブフォーム ・自動動的ネットワークング、ルーティング技術 ・暗号化システム ・ブロックチェーン技術 ・マルチレベルセキュリティ 等
② Battle management Layer ・戦闘管理等の処理アプリケーションを提供（コマンドアンドコントロール、タスキング、ミッション処理等の自動マネージメント機能等）	・低遅延の軌道上メッシュネットワーク制御 ・分散型コマンドアンドコントロール ・自動スケジュール最適化とセンサのタスキング ・軌道上でのアップグレードを可能とするSWアーキテクチャ ・信頼しうる自律化、人工知能 ・強化されたサイバーセキュリティ 等
③ Tracking layer ・極超音速ミサイル等の追尾機能を提供（高度なミサイル脅威の検知、警告、追跡、ターゲティング等）	・ミサイル警戒、ミサイル防衛機能に関する処理 等 （画像の校正、背景ノイズの抑制、軌道生成処理等）

<https://www.sda.mil/home/about-us/>

■ NDSA各レイヤーに求められる軌道上情報処理能力（2）

レイヤー区分	必要となる軌道上情報処理能力
④Custody layer ・Time-sensitive Targetの管理機能を提供	・観測センサ（可視、赤外線、RF、合成開口レーダー、マルチスペクトルなど）データの自動処理及び、融合処理 ・Time-sensitiveなターゲティング処理 ・衛星間のターゲット情報の伝送 等
⑤Emerging Capabilities Layer ・シスルナー領域における抑止能力を提供（静止軌道から月迄の空間における監視能力）	・GEO以遠のオブジェクトを検出および追跡するためのセンシング処理 ・密集した星の背景やシーンで暗いターゲットを検出するためのセンサ情報処理 等
⑥Navigation Layer ・GPS機能停止時のPNT代替機能を提供	
⑦Support Layer ・宇宙アーキテクチャをサポートするための地上システム、打上げシステムを提供	

<https://www.sda.mil/home/about-us/>

■ オンボード情報処理のための電子デバイス技術

- 電子デバイスはオンボード情報処理を実現するためのキー技術
- 欧米においては、衛星システム全体の制御を司る、次世代高性能CPUを開発中

【事例1】

- 欧州
 - ・通信衛星の競争力確保のためARTESプログラムにて現行の10倍の性能を有する高性能CPUを開発中
- 米国
 - ・SHREC(center for Space, High-Performance and Resilient Computing)にて宇宙科学、地球科学、防衛用途に供するための高性能、高信頼性計算機を開発中
 - ・上記で開発された宇宙用高性能CPUをLM社はSmart Satに適用、Space Transport Layer用の小型衛星として活用を予定
- 一方、AI/ML処理においては地上機器においても多用されているGPUの活用が進展

【事例2】

- 国内
 - ・革新実証衛星3号機にて民生GPUの評価実証を予定
- 国外
 - ・海外においても民生のデバイスをボードとして宇宙で使用する取り組みが行われている
 - ・Deep Delphi iX5 MOOG (AMD 75GFLOPS)
 - ・EDGE ibeos (NVIDIA 300GFLOPS) 等

■衛星間光通信技術

- 観測データ、オンボード情報処理結果を衛星間にて共有するためには衛星間（光）通信技術が不可欠

【事例1】

- 米国NDSA
 - ・Transport Layerの各衛星は光衛星間リンク(OISL:Optical Inter-Satellite Link)により相互接続される
 - ・OISLにより低損失かつ、低遅延でのデータ通信が可能
 - ・将来的には、米軍の使用している通信回線、Link-16、IBS(Integrated Broad System)との統合も想定

【事例2】

- LatConnect60
 - ・衛星間光通信リンクにより他衛星等に撮像を実行させ、対象領域に渡り、より多くのデータを取得するためのタスクコマンドとデータを送信

- 防災・減災、安全保障分野を中心に、各種ソリューション提供に向けたオンボード情報処理の進展は今後の潮流
- オンボード情報処理により一連の観測運用プロセス*の自動化、処理時間の短縮、処理高度化を実現(*撮像要求⇒撮像計画⇒撮像指示⇒撮像⇒ダウンリンク⇒画像処理⇒配布)
- 米国NDSA構想により、オンボード情報処理技術は一層高度化、かつ、急速に進展
- 国内においても、オンボード情報処理への本格的取組が必要
- 早期実証、国内衛星システムの実装に向け、下記技術を包含した戦略的プログラムの創出が求められる
 - オンボード画像化技術
 - AI/ML技術
 - 自律的衝突回避技術
 - 米国NDSAとの連携に向けた軌道上システムにおける大規模データ処理技術
 - オンボード情報処理を支える高性能デバイス技術
 - オンボード情報処理結果の衛星間共有を可能とする通信（光通信等）技術 等