

内閣府宇宙政策委員会
調査分析部会
(第3回)

世界の観測衛星コンステレーションの概要

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

五百木 誠



1.はじめに

- 1.1 本資料の目的
- 1.2 対象システムの定義

2. 全体像

- 2.1 光学衛星コンステレーションの整備状況
- 2.2 SAR衛星コンステレーションの整備状況

3. 個別事例紹介

3.1 光学衛星コンステレーション

DMC
Pleiades/SPOT
RapidEye
Digital Globe

3.2 SAR衛星コンステレーション

Terra-SAR-X
Cosmo-SkyMed
Radarsat Constellation Mission
Nova SAR-S

3.3 トピック1（中国の観測衛星整備状況）

トピック2（Skybox imaging社サービス紹介）

1.1 本資料の目的

- ・ 現在サービスが提供されているか、具体的な整備計画が存在する観測衛星コンステレーションの概要を整理し、現状への理解を深める

1.2 対象システムの定義

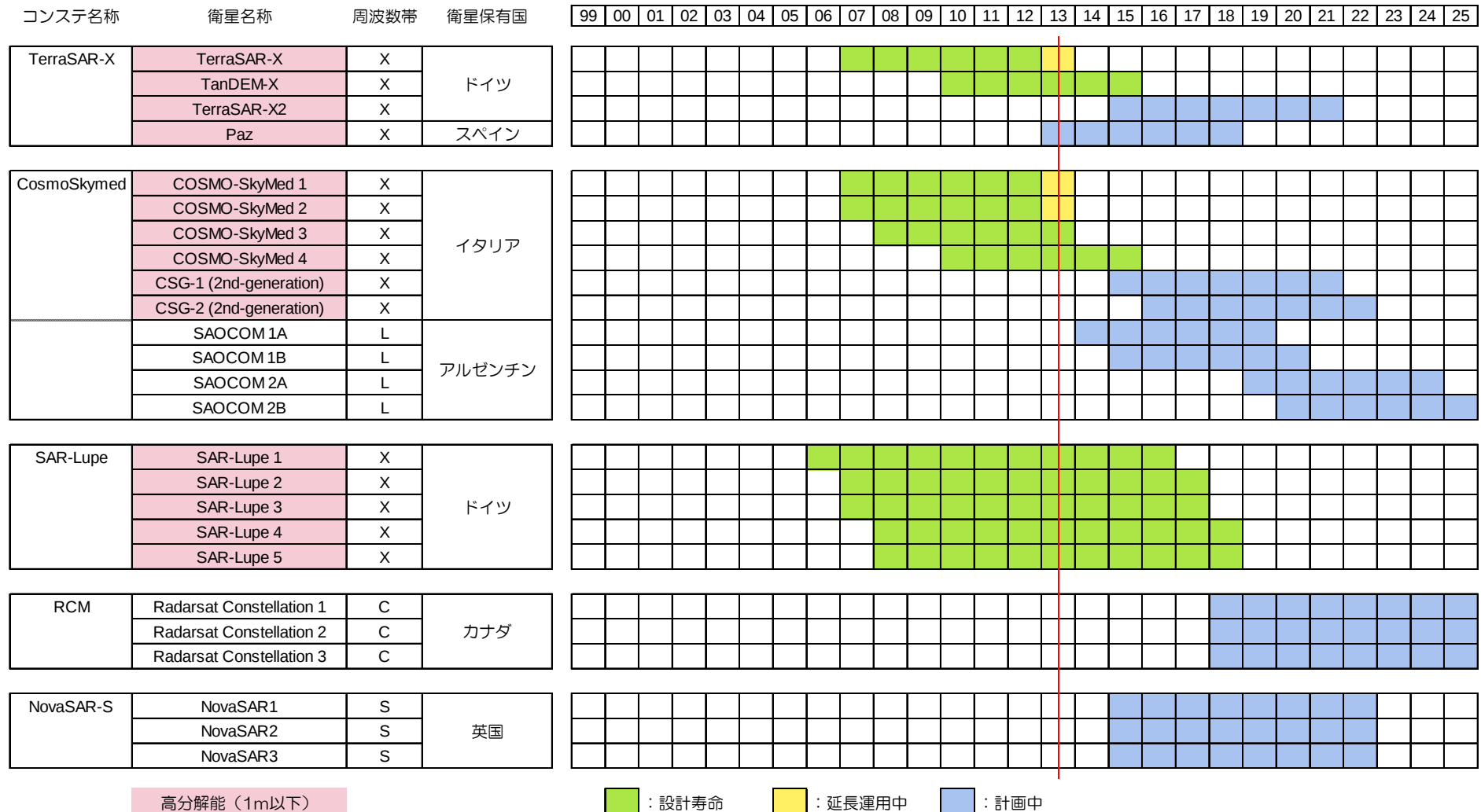
- ・ 陸域観測衛星を対象とし、環境観測・気象等の大気や海洋観測衛星は除外
- ・ 商用・Dual-useシステムを対象とし、偵察（軍用）システムは除外
- ・ 本資料では2機以上の衛星から構成されているシステムを「コンステレーション」と呼ぶ
- ・ 分解能については、GSD1m以下の衛星を「高分解能」と呼ぶ
GSD：地上分解能（Ground Sampling Distance）

2.1 光学衛星コンステレーションの整備状況



コンステ名称	衛星名称	衛星保有国	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
DMC2	Beijing 1	中国																											
	UK-DMC2	英国																											
	Deimos-1	スペイン																											
	Nigeriasat-NX	ナイジェリア																											
	Nigeriasat-2	ナイジェリア																											
DMC3	UK-DMC3A	英国																											
	UK-DMC3B																												
	UK-DMC3C																												
Pleiades/Spot	Pléiades-HR 1A	フランス																											
	Pléiades-HR 1B																												
	SPOT6																												
	SPOT7																												
RapidEye	RapidEye1	ドイツ																											
	RapidEye2																												
	RapidEye3																												
	RapidEye4																												
	RapidEye5																												
Digital Globe (GeoEye)	Quickbird	米国																											
	WorldView1																												
	WorldView2																												
	WorldView3																												
	IKONOS																												
	GeoEye-1																												
	GeoEye-2																												
			地上保管中（打ち上げ年：TBD）																										
高分解能（1m以下）																													

2.2 SAR衛星コンステレーションの整備状況



3.1 光学衛星コンステレーション（DMC）



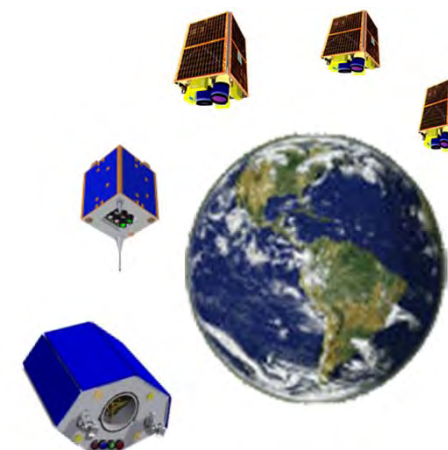
<DMC（Disaster Monitoring Constellation）の概要>

- 同一軌道面上で運用する小型衛星コンステレーション
- 運営主体のDMCii（International Imaging）社はSSTLの子会社として2004年に設立され、衛星運用・取得データの販売を担当
- 災害監視、土地利用等の調査が主要な用途
- 個々の衛星にはそれぞれ所有者（外国政府または海外企業、DMC自社保有）があり、基本的には各保有者が実際の運用業務を行っている。
- DMCii社は、他社保有衛星で撮影された画像の販売権を有する。
- 国際災害チャーターにも参加

<DMC2>

■ システムの特徴

- 光学衛星**5機によりほぼdailyのRevisit**を確保
- 搭載センサは「光学・広い撮像幅・中分解能」
- 第一世代1機と第二世代4機の衛星から構成
- 公的支援ではなく、個別のオーナーの負担でコンステレーションを構成



（出典：DMCii社 HP）

■ 衛星諸元

<名称>	<所有者>	<センサ性能>	<観測幅>	<質量>	<打ち上げ年>
Beijin-1	中国（21AT社）	4mパンクロ/32mマルチ	24km	166kg	2005
Deimos-1	スペイン（Deimos社）	22mマルチ	600km	100kg	2009
UK-DMC2	英国（DMCii社）	22mマルチ	600km	120kg	2009
Nigeriasat-X	ナイジェリア	22mマルチ	600km	100kg	2011
Nigeriasat-2	ナイジェリア	2.5mパンクロ/5mマルチ	20km	300kg	2011

3.1 光学衛星コンステレーション (DMC)

<DMC3>

■ システムの特徴

- 1 m分解能の光学衛星 3機によるコンステレーション
- 3機を同一軌道面に配置し、**ほぼdailyのRevisitを確保**
- 衛星運用はすべてDMCii社が担当
- 2014年に3機同時に打ち上げの予定

■ 背景

- 中国の21AT社 (DMC1 シリーズBeijing-1衛星のカスタマ) が
**衛星3機分のシャッター権/撮像データを7年間得るための費用
として110Mポンド (約165億円)**を支払うという契約を締結
- 衛星自体を相手国に引き渡すことなく、撮像権という形式で収入を得るビジネスモデル (通信衛星の回線リース料収入に類似)
- 既存の中分解能コンステレーション (DMC第二世代) とは独立に運営

注: 1ポンド=150円として計算

■ 衛星諸元

UK-DMC3 × 3機: パンクロ1m/4バンドマルチ4m、観測幅23km
質量350kg、設計寿命7年



(出典: SSTL社 HP)

3.1 光学衛星コンステレーション（Pleiades/SPOT）

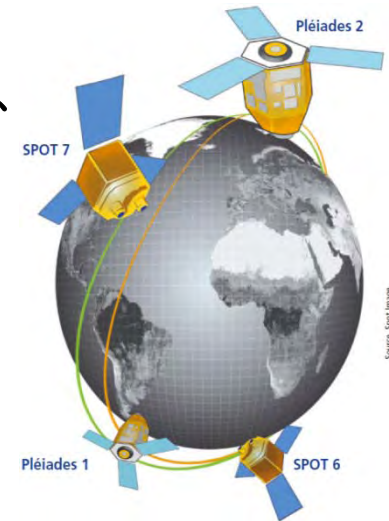


■ システムの特徴

- 高分解能光学衛星Pleiadesシリーズと中分解能衛星SPOT6,7を組み合わせたコンステレーション
- 4機の衛星によりdailyのRevisitを確保

■ 背景

- PleiadesはCNES（フランス国立宇宙研究センター）が衛星開発費の大半を負担、残額はデータを手に入る周辺諸国が負担
- Pleiadesはdual-use衛星であり、防衛用はFrench Defence Systemが、民間向けはAstrium Geo-information Servicesが担当
- 取得データの配信も Astrium Geo-information Services社が担当
（同社はPleiades/SPOT衛星以外にTerraSAR-X/TanDEM-Xの配信も担当）
- SPOT6,7はAstrium社が自社投資として衛星開発費を負担



■ 衛星諸元

- Pleiades1,2：パンクロ0.5m/4バンドマルチ2m、観測幅20km
設計寿命5年、質量970kg
- SPOT6,7：パンクロ1.5m/4バンドマルチ6m、観測幅60km
寿命寿命10年、質量712kg
- 製造：4機ともAstrium社



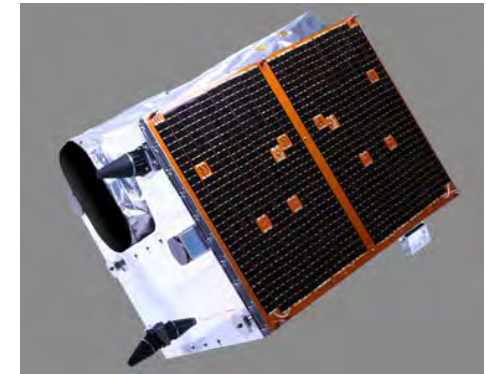
(出典：Astrium社 HP)

3.1 光学衛星コンステレーション (RapidEye)



■ システムの特徴

- 中分解能光学衛星5機によるコンステレーション
- 5機を同一軌道面に均等配置し、dailyのRevisitを確保
- 農業・森林等を主要なサービス対象に設定（マルチバンドセンサにRed-edge等5バンドを採用し作物の生育状況・異常を検出）
 - ・ 農業保険分野-生育状況モニタリング・マッピング
 - ・ 農産物の生産量把握
 - ・ 災害監視
- 後継機の計画は無いが、設計寿命を越えて2019年ごろまで延長運用される見通しが発表されている

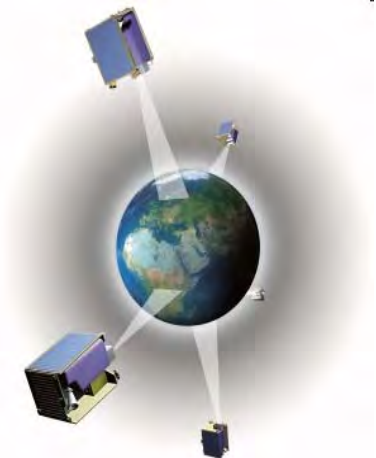


■ 背景

- 初期投資にはDLR（ドイツ航空宇宙センター）等の政府機関が関与するも、その後は商用サービスとして運営
- 2011年に運営する独RapidEye社が米国で言う「Chapter 11」相当の状況に陥ったが、その後カナダの会社を買収してRapidEye Canada社を設立し、事業を継続中
- 2011年には米国NGA（国家地球空間情報局）からデータ買い上げの契約を受けている

■ 衛星諸元

- マルチ6.5m、観測幅78km
- 製造：MDA（カナダ、主担当）、SSTL（英国、衛星バス）
- 設計寿命：7年、衛星質量：約150kg



(出典：RapidEye社 HP)

3.1 光学衛星コンステレーション（Digital Globe社）



- システムの特徴
 - 合併前のDigital Globe系の高分解能衛星が3機でDailyのRevisitを確保
 - 旧GeoEye系の高分解能衛星2機はDailyではないが、高頻度観測を実現
- 背景
 - Digital Globe社がGeoEye社を吸収したことにより、高分解能衛星6機を保有する企業となった
 - 後継機としてWorldView 3とGeoEye-2が計画されているが、GeoEye2は製造完了後地上保管となり、当面は打ち上げ凍結
 - 米国NGAから、コンスタントな画像データ購入を受けることで衛星開発費・運営費を捻出（アンカーテナンシー）



（出典：Digital Globe社HP）

■ 衛星諸元

<名称>	<センサ性能>	<質量>	<製造>	<打ち上げ年>
Quickbird	0.6mパンクロ/2.4mマルチ	1100kg	Ball Aerospace	2001
WorldView1	0.5mパンクロ	2500kg	Ball Aerospace	2007
WorldView2	0.5mパンクロ/1.8mマルチ	2800kg	Ball Aerospace	2009
WorldView3	0.31mパンクロ/1.24mマルチ	2800kg	Ball Aerospace	2014
IKONOS	0.82mパンクロ/3.2mマルチ	817kg	Lockheed Martin	1999
GeoEye-1	0.41mパンクロ/1.65mマルチ	1955kg	General Dynamics	2008
GeoEye-2	0.34mパンクロ/1.36mマルチ	2087kg	Lockheed Martin	TBD（地上保管中）

3.2 SAR衛星コンステレーション（TerraSAR-X）



■ システムの特徴

- 近接した軌道をフォーメーション飛行する2機SAR衛星によるコンステレーション（TerraSAR-X・TanDEM-X）
- 観測頻度の向上ではなく、高精度DEM作成が主目的
 - ・ 地形、陸地表面、土木計画作成
 - ・ 環境モニタリング
- 後継機としてPaz（スペイン）及びTerraSAR-X2の計画あり

■ 背景

- DLRとAstrium社による官民連携事業（PPP形式）として運営
- 1機目となるTerraSAR-Xでは、打ち上げまでの総費用1 億3000 万ユーロ（約169億円）を**DLR が全額負担**
- TanDEM-Xについては、総費用85MEuro（約110億円）の内、66%に相当する56M Euro（73億円）をDLRが負担
- 科学・学術目的のデータ利用についてはDLRが窓口となり、商用を含むその他のデータ利用については、Astrium GEO-Information Services社が販売権を獲得

■ 衛星諸元

注：1ユーロ=130円として計算

- 地上分解能1m・観測幅10km(spotlightモード)
- 製造：EADS Astrium
- 設計寿命：5年、質量：1230kg、



（出典：DLR HP）

3.2 SAR衛星コンステレーション (Cosmo-SkyMed)



■ システムの特徴

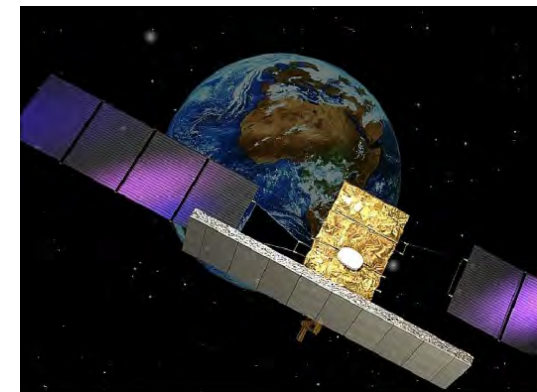
- イタリア宇宙機関(ASI)とイタリア防衛省(MOD)による、Dual-useのSAR衛星
- 主要用途は、偵察、地上構造物の把握や、自然災害による被害状況の把握
- 衛星4機が同一軌道面を周回し、1日から半日程度のRevisitを確保
- 4機同時ではなく、3年半かけて1機ずつ個別に打ち上げを実施
- 世界中で自然災害の重要ポイントをあらかじめ設定し、リクエストによる撮像が無いタイミングで重点観測を実施 (バックグラウンド観測)
 - 地震：東京・バンクーバー・LA・イスタンブール
 - 火山：富士山・ベスピアス火山・エトナ山・ハワイ

■ 背景

- プログラム費用は、ASIが75%、MODが25%を負担
- 政府機関向けと研究目的のデータ配信はASIが担当し、商用のデータ配信は新たに設立されたe-GEOS社が担当
- 他国との共同運用の枠組み
 - ・ ORFEO：仏Pleiades(高分解能光学衛星)とのコンビネーション
 - ・ SIASGE：アルゼンチンSAOCOM (L帯SAR衛星)とのコンビネーション
- 後継機Cosmo-SkyMed 2nd Generation (CSG) 2機の計画あり

■ 衛星諸元

- 地上分解能 1 m、観測幅 10km (spotlightモード)
- 製造：Thales Alenia Space-Italia
- 設計寿命：5年、質量：1700kg



(出典：ASI HP)

3.2 SAR衛星コンステレーション (RCM)

■ システムの特徴

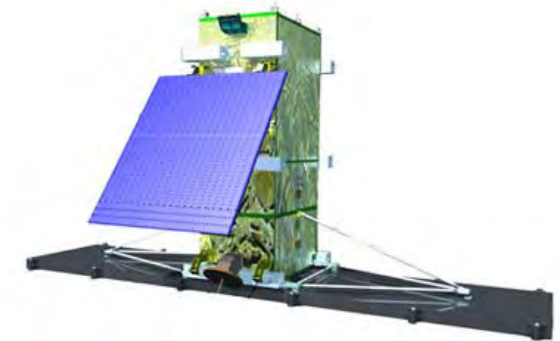
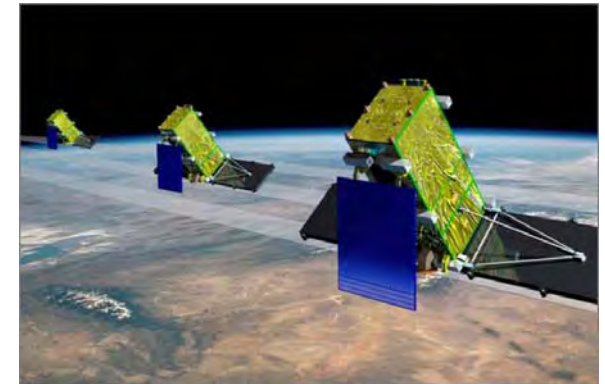
- C帯SAR 衛星3 機によるコンステレーションでdailyのRevisitを確保
- 主要用途は、主としてカナダの国土における海洋監視・・災害監視・エコシステム監視など
- CバンドSAR (分解能3m)
- 副ミッションとしてAIS (Automatic Identification System) 機器を搭載

■ 背景

- 予算はすべてCSA (カナダ宇宙庁) が負担
- 既存のRadarsat1及び2は単独の衛星であったが、分解能を下げても高頻度観測を実現するため、第三世代は3機コンステレーションとなった
- 衛星プライムのMDA社は13年1月に、衛星製造・打ち上げ費用として706Mカナダドル (706億円) で契約
- 地上設備はRadarsat1及び2用を改修して使用
- 運用主体はCSA

■ 衛星諸元

- 地上分解能3m、観測幅 10km
- 製造: MDA社 (プライム)、Bristol Aerospace社 (バス)
- 設計寿命: 7年、質量: 1400kg
- 2018年打ち上げ予定



(出典: CSA HP)

<注>RCM: Radarsat Constellation Mission

3.2 SAR衛星コンステレーション（NovaSAR-S）



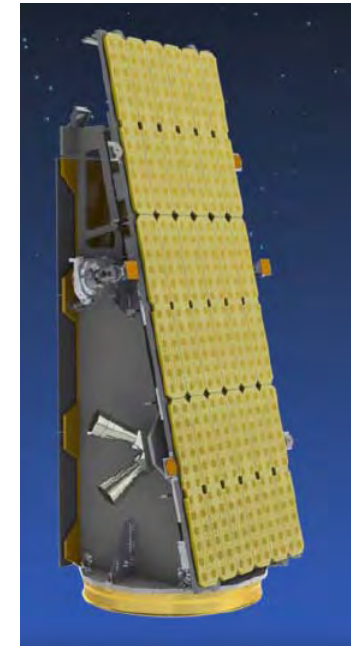
■ システムの特徴

- S帯SAR衛星3機によるコンステレーション
- 廉価版のSAR衛星コンステレーション構築のため、あえて中分解能に設定
- センサには、実績のある航空機用S帯SAR技術を流用
- 既存のL/C/X帯SARとは一線を画す低コストを実現し、利用拡大を目指す
- 用途は、海洋監視・熱帯降雨監視・洪水監視などを想定
- 英国政府から、1機目の衛星製造・打ち上げへの支援として21M ポンド（約32億円）を獲得 →残費用154Mポンド（231億円）はSSTLが投資

注：1ポンド=150円として計算

■ 衛星諸元

- 分解能6m、観測幅15km（stripmapモード）
- 製造：SSTL社
- 設計寿命：7年、質量：400kg
- 副ミッションとしてAISを搭載予定
（他機器搭載への対応も容易なI/F設計）



（出典：SSTL社 HP）

3.2 SAR衛星コンステレーション（SAR-Lupe）

■ システムの特徴

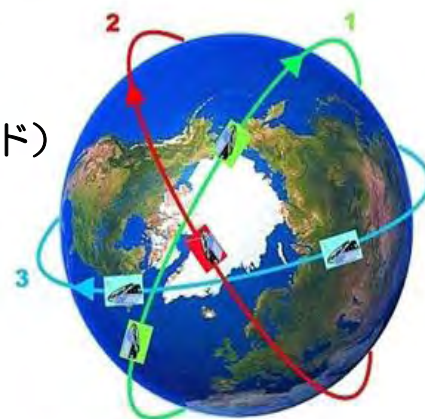
- ドイツ国防省によるレーダ偵察衛星5機のコンステレーション
- 主要用途
 - ・ レーダ偵察衛星
 - ・ 環境保全、資源開発、災害管理地理データ
- ミッション機器
 - ・ Xバンドレーダ（分解能 1 m）
 - ・ 即応時間 10 時間
- コンステレーション
 - ・ 3つの極軌道面に対して5機の衛星を配置
 - ・ ドイツ等特定監視域のデータ即応性を高めるように配置を最適化
 - ・ 軌道上での衛星間通信によるコマンドリンクを具備
 - ・ 地上局1局、即応時間：36時間以内



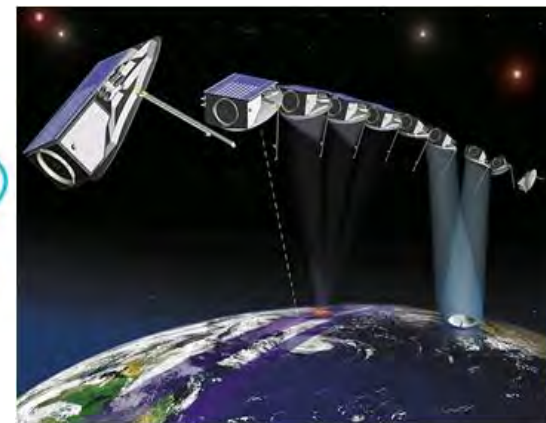
（出典：OHB 社 HP）

■ 衛星諸元

- 衛星数：5
- 分解能1m・観測幅 10km（stripmapモード）
- 製造：OHB-Systems
- 設計寿命：10年、質量：720kg



（出典：OHB 社 HP）



（出典：ドイツ連邦軍HP）

3.3 トピック1（中国の観測衛星整備状況）

■ 概要

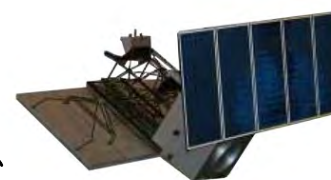
- 06年から20年までの15年間の長期計画に基づき整備される、主な陸域観測衛星の概要を整理した
- 情報源が限られていて衛星の個別仕様については十分把握できていないが、高頻度でシリーズ衛星打ち上げが継続されており、結果として一定機数のコンステレーションが構成されているものと思われる

■ 主なシリーズ名称

- dual-useの観測衛星「遥感（Yaogan）」シリーズ
- 民間利用の高分解能観測衛星「高分（GaoFen）」シリーズ
- 資源探査衛星「資源（ZiYuan）」シリーズ

（ブラジルとの共同プロジェクトCBERSと同シリーズ）

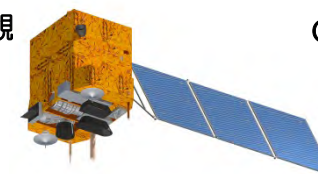
CBERS: China-Brazil Earth Resource Satellite



YG-1外観



GF-1外観



CBERS-3外観

（出典：sinodefence.com）

コンステ名称	衛星名称	センサ種類	打ち上げ年
遥感シリーズ YaoGan	YG-1	SAR	06
	YG-2	光学	07
	YG-3	SAR	07
	YG-4	光学	08
	YG-5	光学	08
	YG-6	SAR	09
	YG-7	光学	09
	YG-8	光学	09
	YG-9A,B,C	SAR	10
	YG-10	SAR	10
	YG-11	光学	10
	YG-12	光学	11
	YG-13	SAR	11
	YG-14	光学	12
	YG-15	光学	12
	YG-16A,B,C	SAR	12

コンステ名称	衛星名称	センサ種類	打ち上げ年
高分シリーズ GeoFen	GF-1	光学	12
	GF-2	光学	13
	GF-3	SAR	15
	GF-4	静止光学	15
	GF-5	光学	15
	GF-6	光学	16
	GF-7	Hyper-spectral	18
資源シリーズ ZiYuan	ZY-1C	光学	11
	ZY-3A	光学	12
	ZY-1D(CBERS-3)	光学	13
	ZY-1E(CBERS-4)	光学	14
	ZY-1E2(CBERS-4B)	光学	16

3.3 トピック2 (Skybox imaging社サービス紹介)

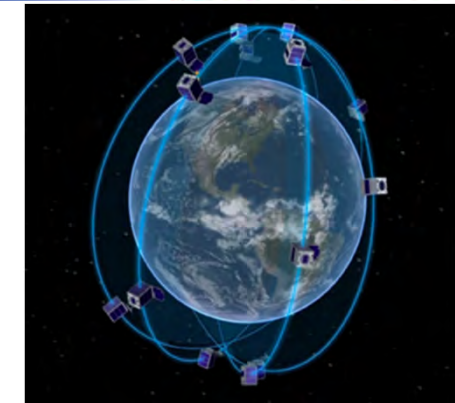


■ システムの特徴

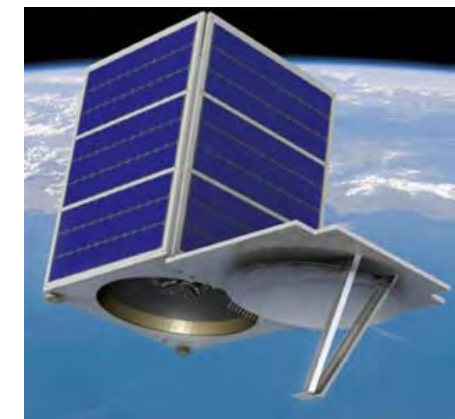
- 1m分解能の小型衛星のコンステレーションで、地上のあらゆる場所を、**1日3-4回観測可能**なシステムの構築を目指す新規ビジネス
- 衛星としては初めて、1m分解能・80秒間の**動画撮像**が可能
- 衛星製造・運用を担当するSkybox imaging社は2009年設立で、すでに約91億円を調達済み（政府支援・アンカーテナンシーは一切なく、すべて**シリコンバレーのベンチャーキャピタルから調達**）
- システム全体コストを抑えることにより、高頻度・高分解能画像を安価に提供し、新たなニーズを喚起することを企図

■ 衛星諸元

- 衛星数：20機以上（軌道面、衛星配置等 不明）
- 分解能：1m、4バンドマルチ、観測幅：不明
- 製造：自社製、9か月で製作完了
- 設計寿命：4年、質量：100kg
- 民生品グレードの部品と民生用エレクトロニクス機器の使用により、安価（打ち上げ費用込みで1機当たり約50億円）かつ軽量を実現
- 打ち上げ機は3号機以降、Virgin Galactic社LauncherOneとの情報あり



コンステレーションのイメージ



SkySat外観



衛星組立風景

(出典：Skybox imaging社/JSI社 HP)