

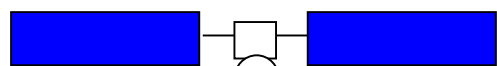
宇宙における「デザイン」とは

東京大学 航空宇宙工学科

中須賀真一

太陽電池展開

衛星切り離し



衛星の業務(ミッション)

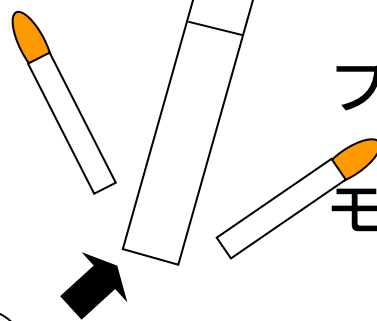
- ・通信・放送
- ・GPS (カーナビ)
- ・リモートセンシング
(地球の写真を撮る)
- ・宇宙科学・探査
- ・無重量実験
など

1段切り離し

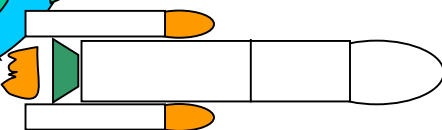


フェアリング分離

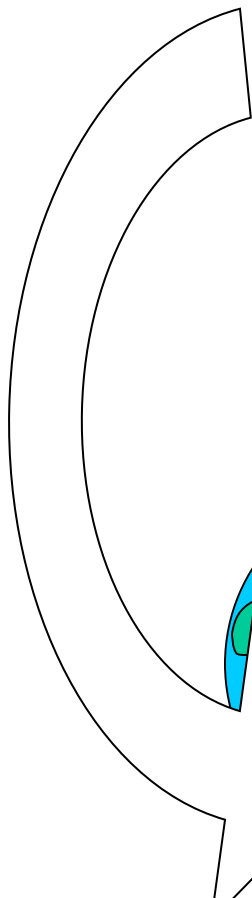
モーター分離



ロケットによる打上げ

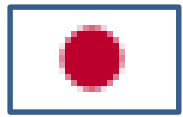


地球を回る



宇宙の2大システム：ロケットと人工衛星

H-IIA,-IIB (50/51)



開発者

NASDA → JAXA →
三菱重工

運用機関

NASDA (1 - 5号機)
JAXA (6、8、10 - 12号機)
RSC (7、9号機)
三菱重工(13号機以降)

使用期間

2001年- 現役

打ち上げ数

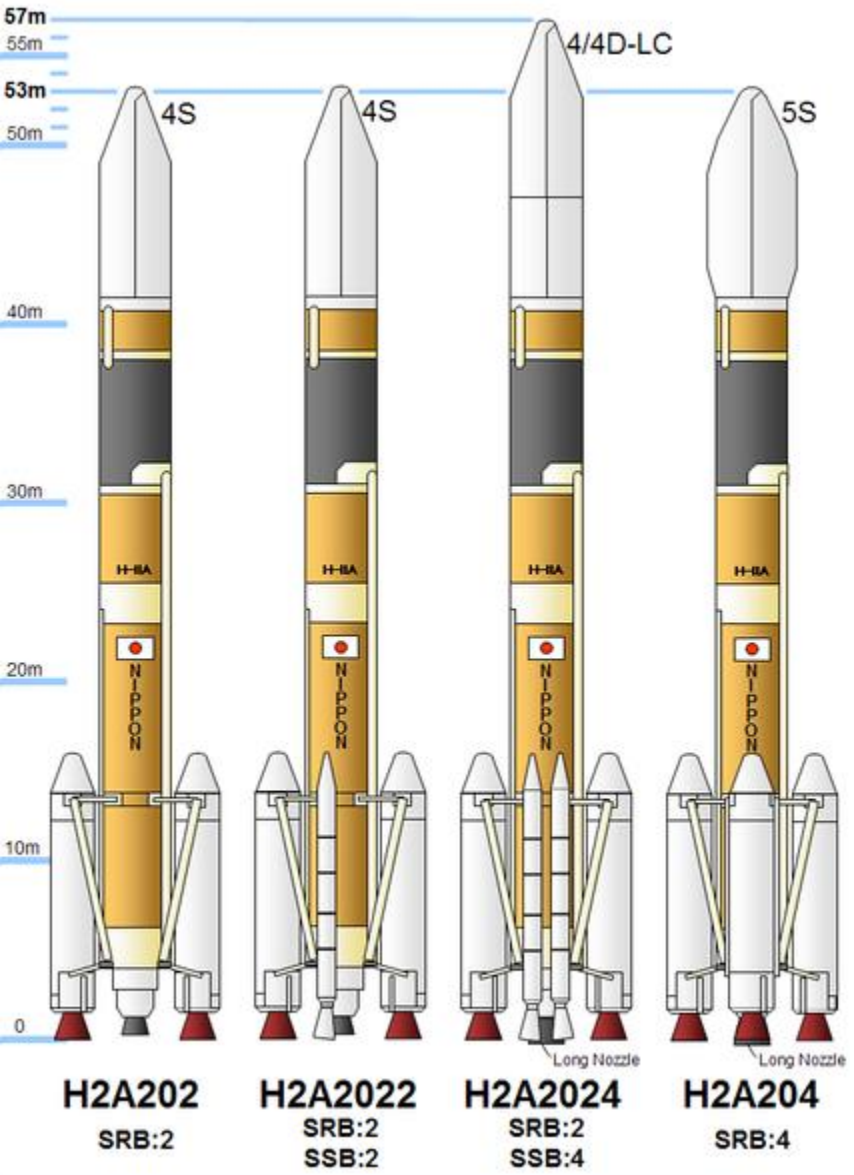
22回(成功21回)

開発費用

1,532億円

打ち上げ費用

85 - 120億円



物理的特徴

段数

2段

総質量

289 t / 445 t (4基)

全長

53 m

直径

4 m

軌道投入能力

低軌道

10,000 kg / 15,000 kg (4基)

300 km / 30.4度

太陽同期軌道

3,600 kg (夏) / 4,400 kg (夏以外)

800 km / 98.6度

静止移行軌道

4,000 kg / 6,000 kg (4基)

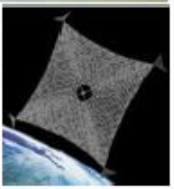
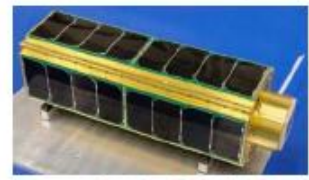
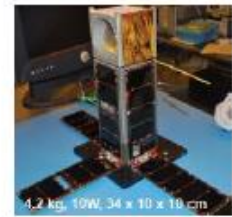
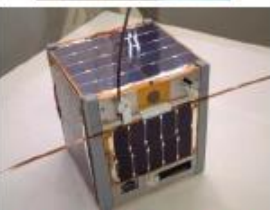
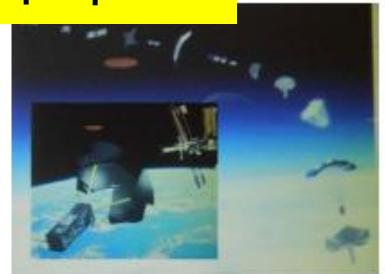
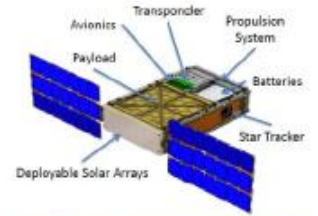
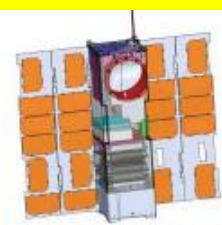
250 km x 36,226 km / 28.5度

最近UAEの火星探査機打ち上げに成功！

それ以外の様々な宇宙システム

- 宇宙輸送系(特殊なもの)
 - 軌道間輸送機(HTV「こうのとり」、Dragonなど)
 - 再使用型ロケット(Blue Origin, Space-X Falcon, Space Shuttle)
- ロボットシステム
 - 軌道上サービス機、デブリ回収サービス機(ビジネス化)
 - ISS内ロボット、惑星上ローバー
 - A-SAT(衛星破壊兵器)
- 有人宇宙関係
 - 有人ロケット(ソユーズ、スペースシャトル、長征)
 - 宇宙ステーション(ISS、神舟)
 - スペースプレーン(宇宙往還機)、サブオービタル、宇宙旅行
- 新しい動き
 - 小惑星からの資源回収(Planetary Resources社など民間で)
 - 月探査(Artemis計画:2024年までに有人探査、月開発)
 - 世界協力で月周回の宇宙ステーション(Gateway)目指す活動開始
 - 火星への競争(米、UAE、中国、インド、UAE、日本、Space-X ----)

新しい「宇宙システム」 超小型衛星による宇宙革命！



教育衛星(大学・高校)
OPUSAT (1U: 1kg)
XI-IV (1U: 1kg)

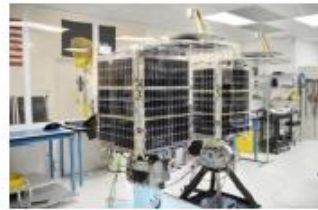
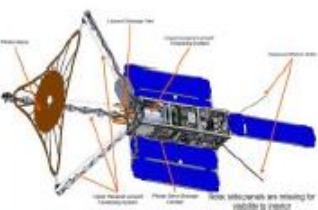
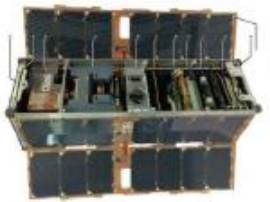
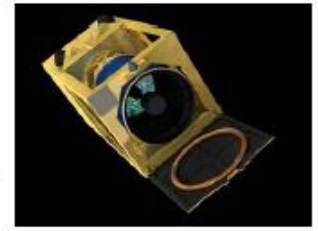
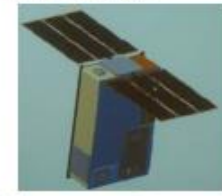
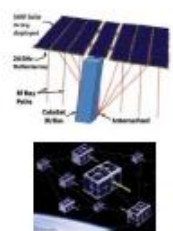
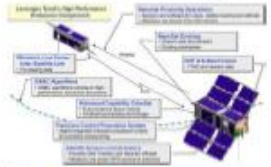
リモートセンシング
AeroCube(1.5U: 2kg)
Dove, Flock (3U: 4kg)

宇宙望遠鏡
AAReST

気象観測
MiRaTA (3U)
MicroMAS (3U)

バイオ実験衛星
BioSentinel計画案(6U)
SPORESAT (3U: 5.5kg)

Re-entry De-Orbit
再突入回収 (3U)
Sunjammer



ランデブー
ドッキング衛星
INSPIRE (3U)

通信衛星(低速・高速・戦域)
高速通信・ISARA (3U)
低速通信・AISAT-1 (6kg)

サイエンス衛星
RACE (3U)
FS-7 (3U)

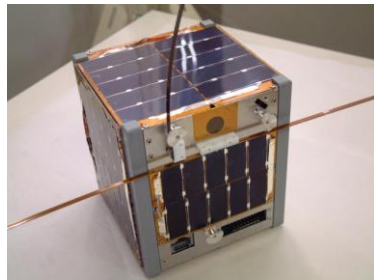
大気汚染観測衛星
(可視・近赤外)
NEMO-AM (15kg)

探査
LWaDi (6U)
CAT (3U)

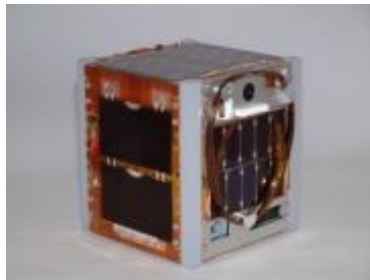
高分解能光学
SCOUT (50kg)
Skysat (120kg)

主として大学・ベンチャーがプレーヤー。ビジネス化のためファンドが投資
アメリカなどは国も大型投資でいっせいに技術開発し、中大型の代替に

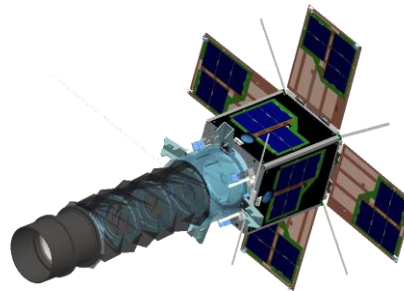
東京大学の超小型衛星プログラム(11機打ち上げ,5機待ち)



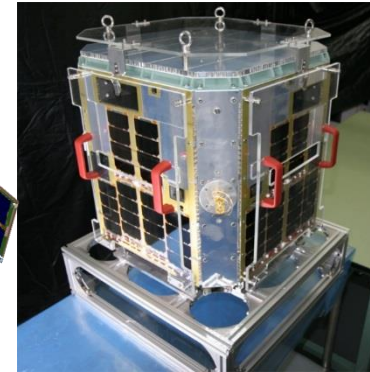
世界初の1kg衛星
成功 XI-IV(2003)



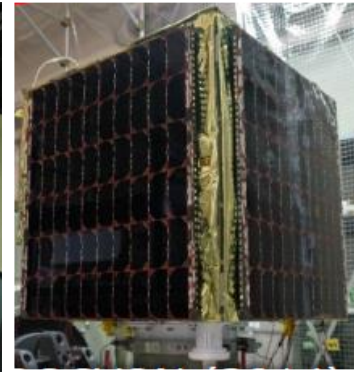
新規技術の宇宙
実証XI-V(2005)



8kgで30m分解能
PRISM(2009)



最先端の宇宙科学
Nano-JASMINE
(打上げ待ち)



世界初の超小型
深宇宙探査機
PROCYON(2014)

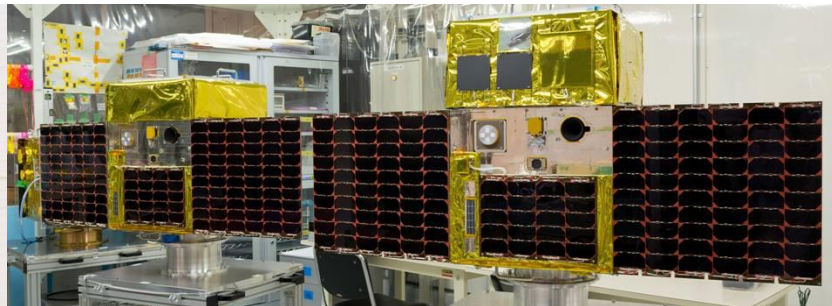
- ・宇宙・工学の教育目的からスタート
- ・実験をしながら、だんだん高機能に
- ・2010年「ほどよしプロジェクト」で
実用化、ビジネス化に挑戦、起業も



- ・Axelspace (光学衛星)
- ・Synspective (SAR衛星)
- ・Space Edge Lab (3U Cube)
- ・Infostellar (地上局)

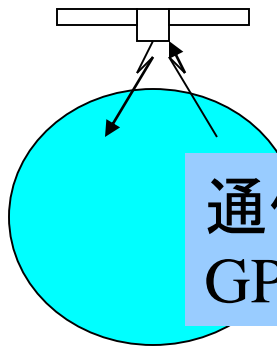
60kg級の6m分解能リモセン衛星(3億円、2年で開発)
ほどよし1号 ほどよし3号および4号(2014年打上げ)

TRICOM-1R MicroDragon
通信(2018) 海外教育支援



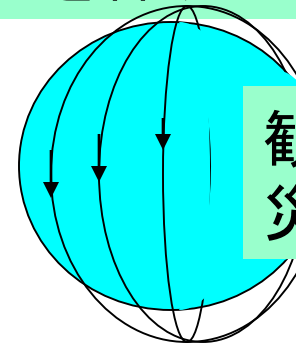
人工衛星のミッションデザイン(宇宙利用) 「宇宙の特徴を利用する」

① 3次元的な広い視野



通信・放送・
GPS・気象・観測

② 広い範囲を短時間でカバー (同じ地点上を繰り返す)



観測・
災害監視

③ 大気より上にあること

・宇宙望遠鏡、宇宙観測、
太陽発電

④ 長時間の微小重力環境

・材料・薬品製造実験、ライフ
サイエンス実験

⑤ 調べたいものがあること

・粒子、磁気等の観測、惑星

⑥ 宇宙に行くこと自体が目的

・宇宙旅行、宇宙ホテル

スペース・ミッションのデザイン

(1)宇宙の利用が役に立つ分野

- 地球観測
- 通信放送
- 無重量環境利用・実験
- 宇宙科学・探査
- 教育・エンターテインメント(旅行含む)
- 安全保障
- 国威発揚・国際的地位の確保
- **宇宙の特徴**
 - 「巨額の投資に見合う価値」か
 - 開発開始から実際の利用までの時間遅れに耐える
 - 国内外に与えるインパクトが大きい(国民の熱狂も)

スペース・ミッションのデザイン

(2) ミッション特有の要求と制約条件

• 地球観測衛星の場合の要求条件

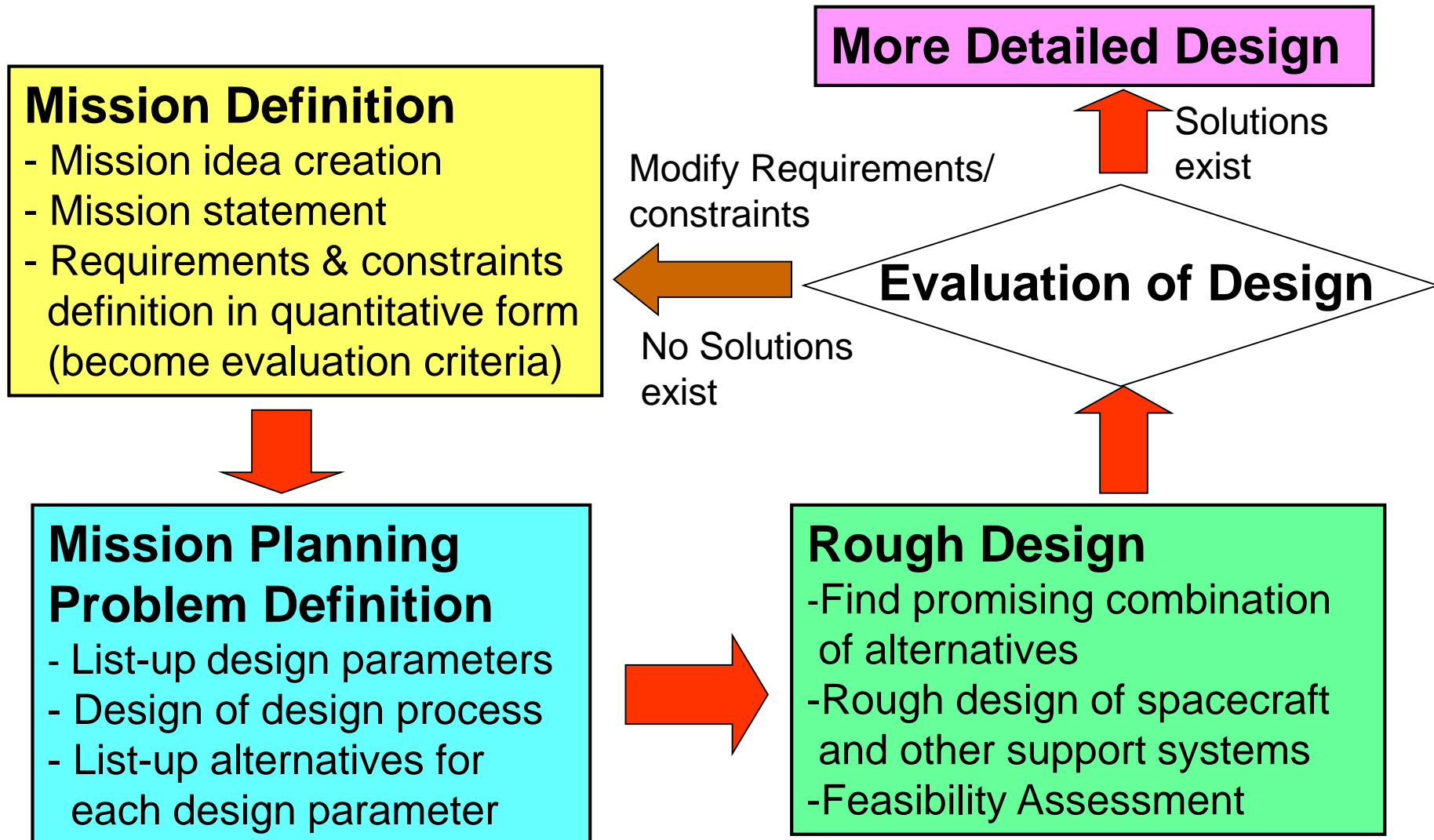
- ① 地球観測がどんな価値を生むか？
 - 災害監視？ 農業における水不足・病虫害発見？
- ② それを見るにはどんな観測が必要か？
 - 観測波長、分解能、S/N比、頻度、カバー領域
- ③ その観測に必要な衛星バスの機能は？
 - 軌道、姿勢制御(安定度、指向性など)、通信容量、必要電力
- ④ その観測に必要な地上局は？
 - 数、配置、能力(アンテナ径、電力、ノイズなど)、運用頻度(人手)
- ⑤ 開発する人と期間、打ち上げは？
 - 開発企業、開発に要する期間、開発場所、打ち上げロケット
- ⑥ 法制度、手続き、環境との関係は？
 - 周波数免許、デブリ規制、安全保障貿易管理、活動法等各種手続き

多くの要件・制約の間のTrade-offで「いい点」に設定することが重要

• 各種制約条件

- コスト、ロケットからくるサイズ制約、開発期間

ミッション計画の流れ





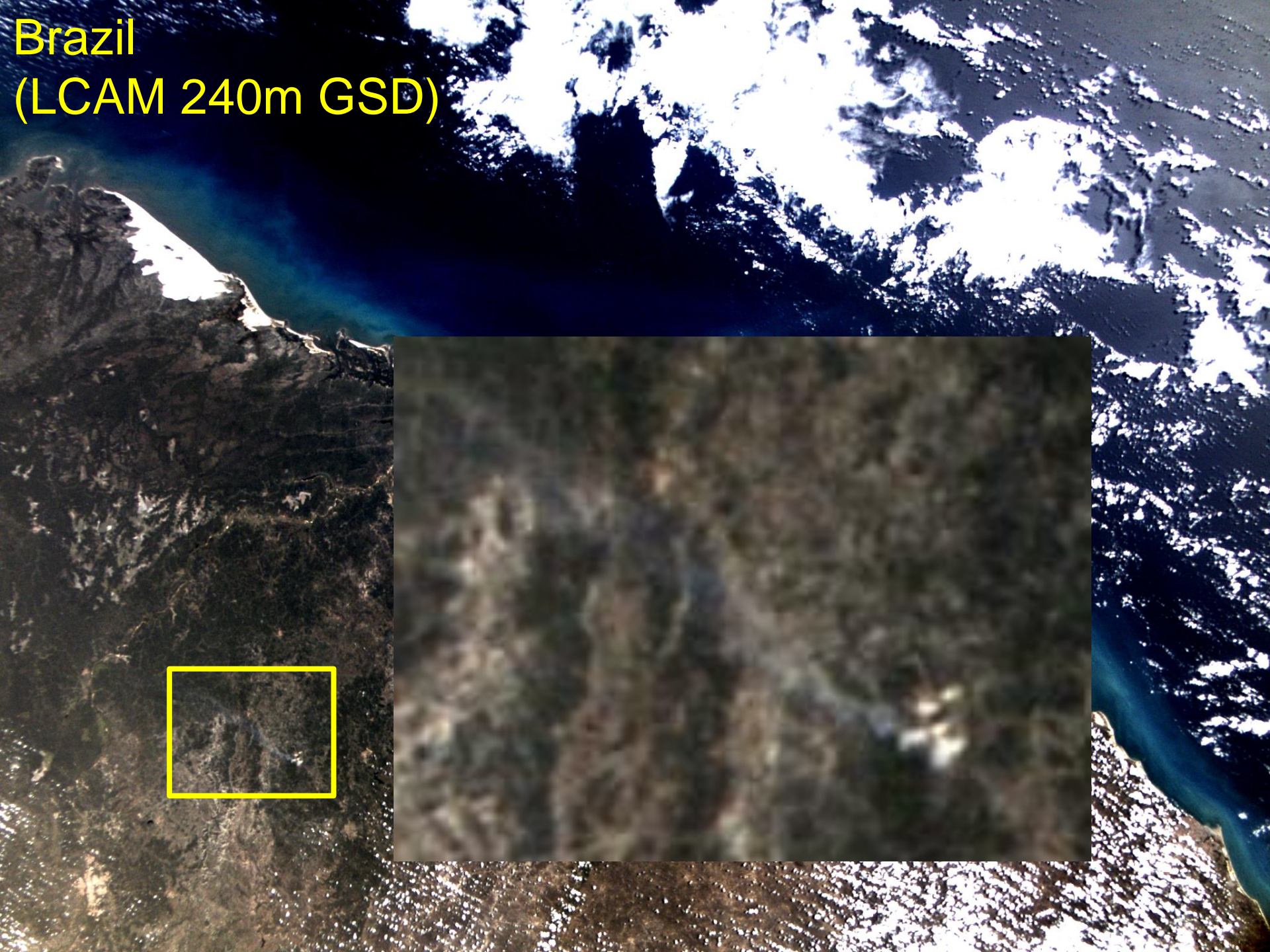
完成したほどよし3号(左)および4号のフライトモデル(FM₁₁)

広視野角カメラ



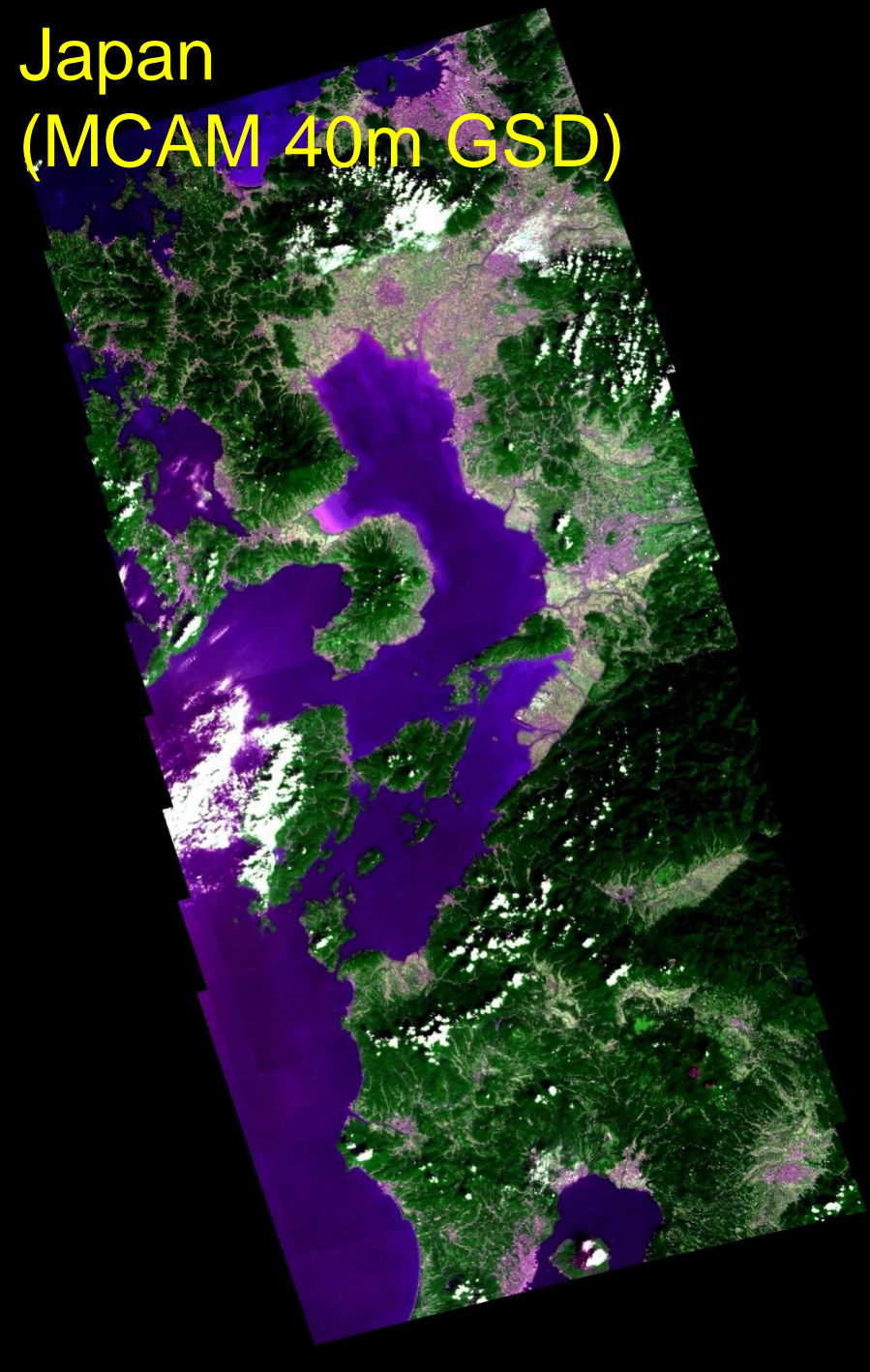


Brazil
(LCAM 240m GSD)

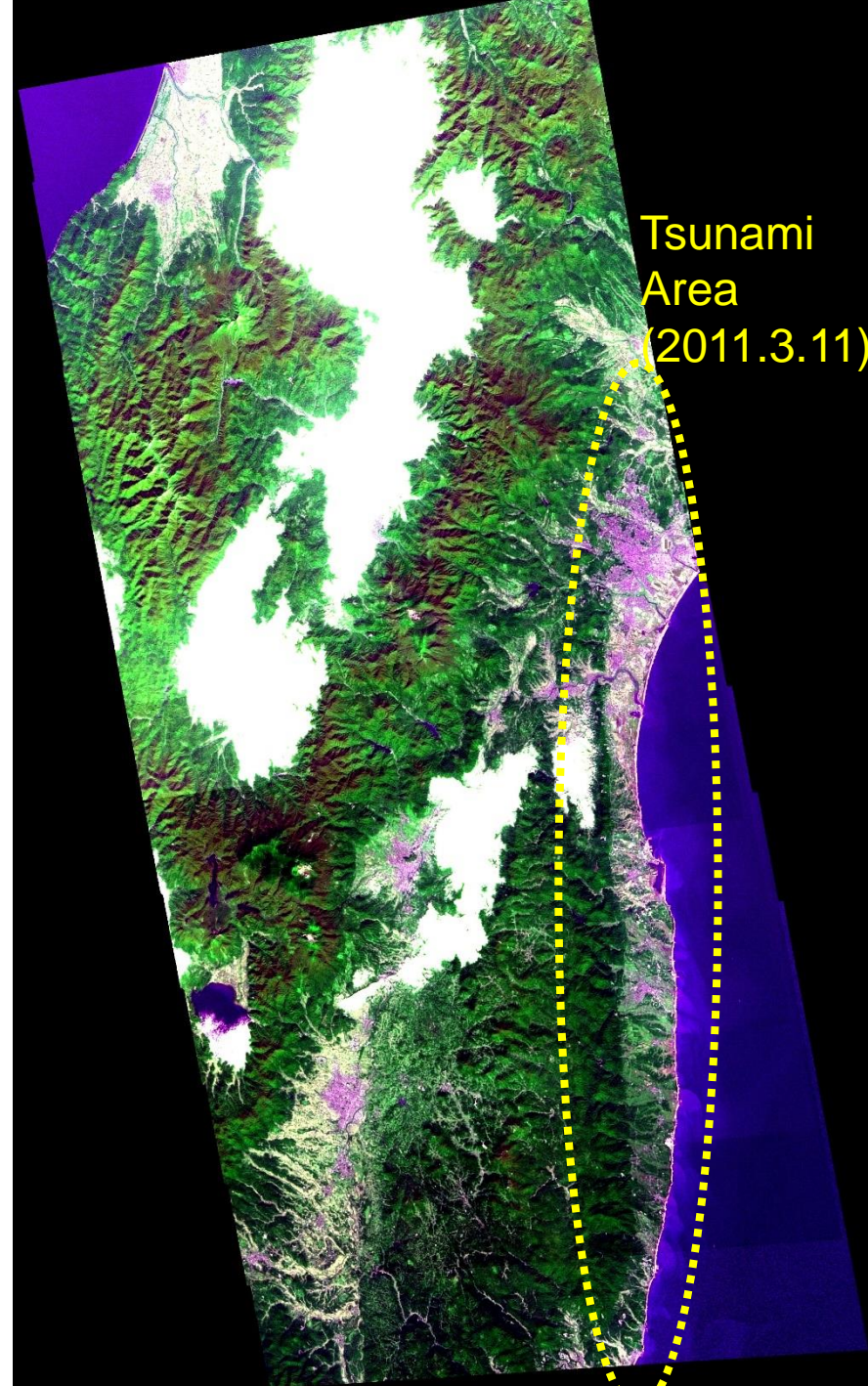




Japan
(MCAM 40m GSD)



Tsunami
Area
(2011.3.11)





Chiba
(6m GSD)

スペースミッションのデザイン

(3)ステークホルダと価値の多様化

- 少数の大国政府→多数の国・新興国に広がり
- 大手老舗企業→多数のベンチャー、大学、地方も
- 資金：政府予算→民間ファンド、宇宙外企業も
- 利用者：大国の政府→小国、民間の独自の利用も
- 価値観(宇宙利用ニーズ)の多様化：
 - 国が求める宇宙利用(安全保障、防災、通信、科学、教育)
 - 民の自由な意思での利用(ビジネス、科学、エンターテイメント、フロンティアスピリット、趣味……………)
- 多様な価値観で、多様なステークホルダーが多様な宇宙アセットを作り出して運用する宇宙開発利用時代に
 - どうコントロールすべきか？ ビジネスは？ 国際連携は？

スペースミッションのデザイン

(4)倫理的側面

- 宇宙に兵器を置くことはできない(宇宙法)
 - それ以外の宇宙法はほとんどが無効(大国の批准なし)
- 宇宙のデブリ問題 (安全な宇宙利用への脅威)
 - デブリにならないことを証明しないと打ち上げられない時代にやがてなるであろう
 - すでにあるデブリを誰がどのお金で除去するか？
 - **ステークホルダーの道徳的な意識改革が必須**
- 限られた周波数資源の取り合い問題
- 静止軌道の位置における南北問題
- 他国を覗くことが容易にできることをどう考えるか？
 - 高度100km以上は領空の概念なし
 - どんな高分解能で覗いてもOK(各国の法律のみで規制)
- 月や天体で資源が見つかったら占有できる？

超小型衛星が宇宙インフラを変えつつある

衛星の仕様を**与件**に
利活用方法を考えざるを得ない。

衛星のデザインや軌道、機数から、統合的なデータ利用による社会実装まで
End to Endの最適化を実現できる！

