

小型科学衛星シリーズにおける 標準バスシステムの開発について

2007年11月5日

小型科学衛星プリプロジェクトチーム

標準バス開発の目的

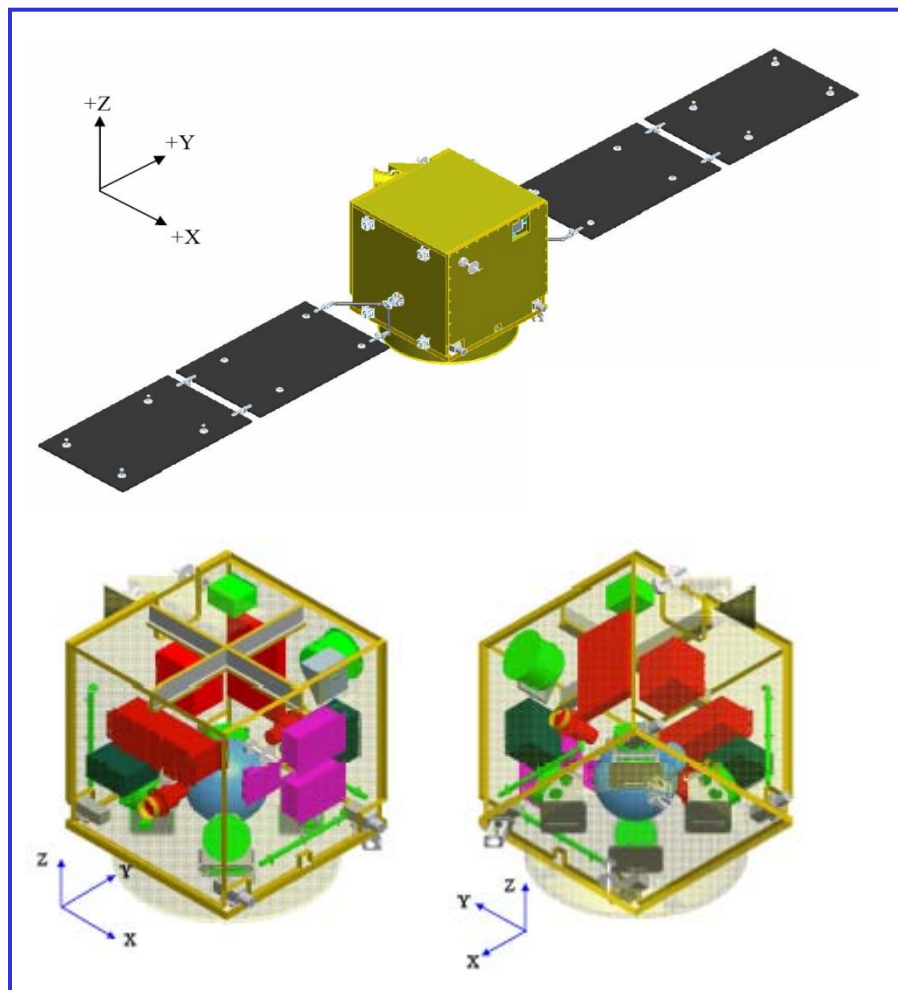
- JAXA宇宙科学研究本部では、従来の中型科学衛星の補完的な位置付けとして、小型科学衛星計画を立ち上げ、特徴ある宇宙科学ミッションを迅速かつ高い頻度で実現することを目指している。
- そこでは、宇宙科学コミュニティが提案するミッションの多様性を十分吸収しつつ、低コストで短期に小型衛星を開発する必要がある。
- 上記を達成するため、「シリーズ化衛星」のコンセプトに基づき、提案されているミッションの要求仕様を包含し得る標準バスを開発する。

(過去の内外における標準バス開発の教訓に十分留意しつつ、開発を進める)

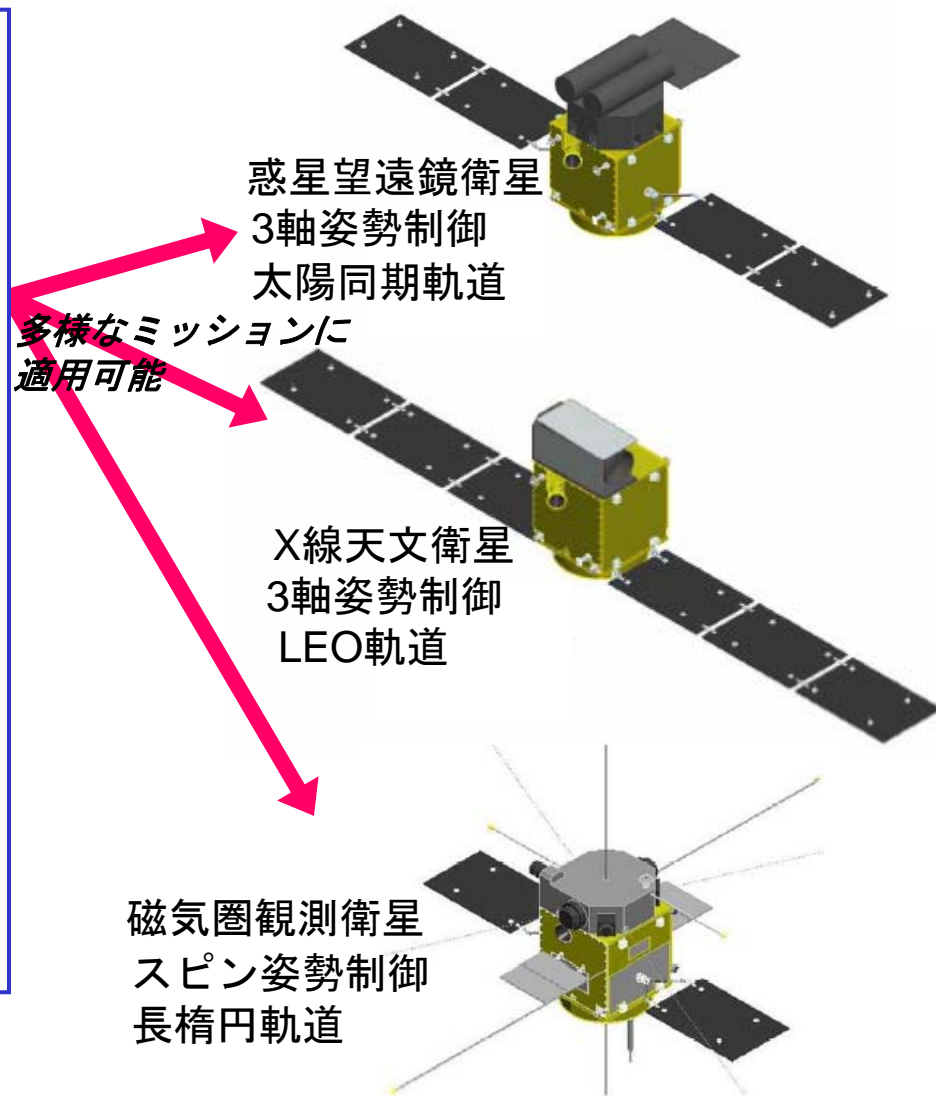
小型科学衛星ワーキンググループ（参考）

| | WG名称 | WGメンバー所属 |
|----|------------------------------------|---|
| 1 | 小型衛星の編隊飛行による高エネルギー領域広天走査衛星 (FFSAT) | 大阪大、名大、JAXA、神戸大 |
| 2 | 超小型精密測位衛星 (PPM-Sat) | 京大、東大、NICT、極地研、国土地理院、気象研究所、北大、奈良産業大、総合地球環境学研究所 |
| 3 | 高感度ガンマ線望遠鏡 (CAST) | JAXA、スタンフォード大、東大、埼玉大、理化学研、大阪大、広島大 |
| 4 | 小型重力波観測衛星 (DPF) | 東大ほか |
| 5 | ダークバリオン探査衛星 (DIOS) | 首都大学東京ほか |
| 6 | 超高層大気撮像観測小型衛星 (IMAP) | 京大、名大、東北大、極地研、東大、JAXA、NICT、北里大、奈良女子大、島根大、駒澤大、京都女子大、北大、九大、電通大、千葉大、岐阜大、電子光法研、立命館大 |
| 7 | 地球電磁環境モニター衛星 (ELMOS) | 首都大学東京、九大、電通大、東海大、千葉大、学芸大、JAXA、IPE、CNRS、UNAM |
| 8 | 惑星観測用小型宇宙望遠鏡 (TOPS) | 東北大、JAXA、極地研、東大、NICT、京大、九大 |
| 9 | 小型衛星によるジオスペース探査 (ERG) | 東北大、立教大、JAXA、東大、東海大、金沢大、京大、富山県立大、名大、九大、NICT、極地研、電通大、吉備国際大、理研、大阪府立大、北大、統計数理研、愛媛大、東工大 |
| 10 | X線ガンマ線変更観測小型衛星 (POLARIS) | 大阪大、金沢大、山形大、理研、京大、JAXA、名大、東工大、立教大、広島大 |
| 11 | 宇宙テザー技術の検証 | 首都大学東京、静大、東北大、東工大、九大、香川大、九工大、核融合科学研、JAXA、ESA/ESTEC、マドリッド大、コロラド州立大 |
| 12 | 小型衛星を用いた太陽発電衛星技術実証 | JAXA |
| 13 | 小型月実験機 | JAXA、横国大、金沢大、東大、東北大、九大、京大 |
| 14 | 小型探査機による金星気球技術実証 | JAXA、東大、名大、筑波大 |
| 15 | 磁気プラズマセイル | JAXA、京大、防衛大、高エネルギー加速器研究機構、静岡大、九大、東京農大 |
| 16 | 小型探査機によるソーラー電力セイルの展開・宇宙実証 | JAXAほか |

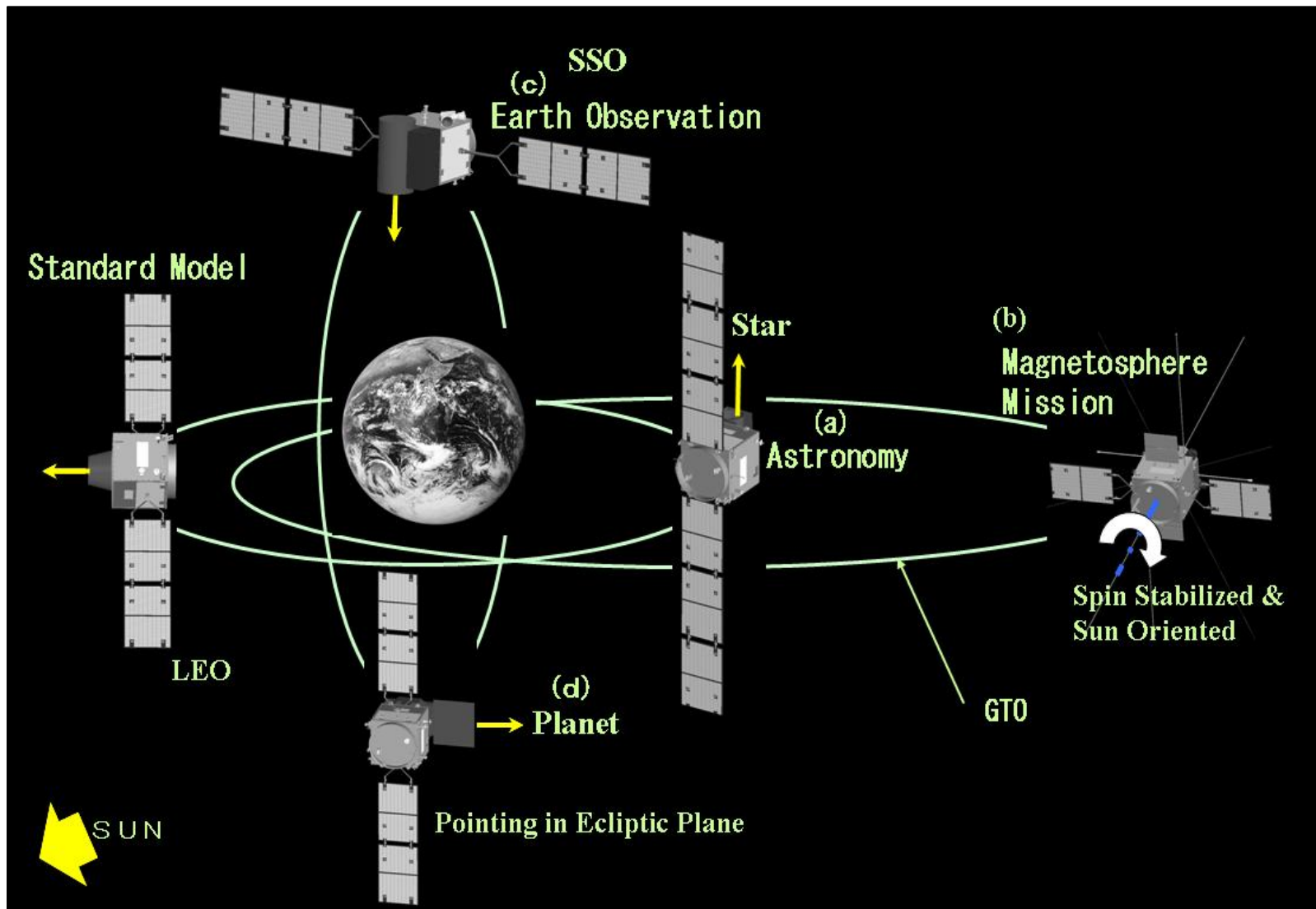
標準バスのイメージ



標準バス



標準バスのイメージ



標準バス開発の方針

- 提案ミッションの要求を十分に吟味して、包括的なバス仕様を設定する。
 - 将来の匿名的なミッション要求に基づいた議論は、標準バス構想の破綻のもとであることに留意して進める。

- 安易な民生部品の使用などによる低コスト化ではなく、

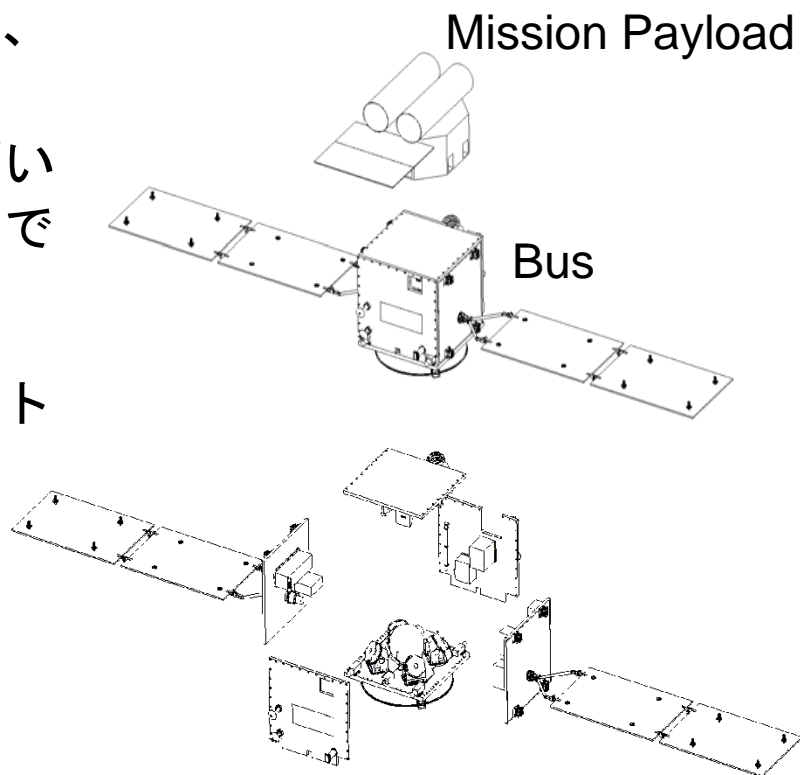
- 標準化レベルの階層化
- 仕様のカタログ化／メニュー化
- モジュール化

などの方法を積極的に採用し、

「衛星バスコア部＋バス部オプション＋ミッション部」の構成におけるバスコア部の再利用性を高めることでコストを下げる。

キーワード

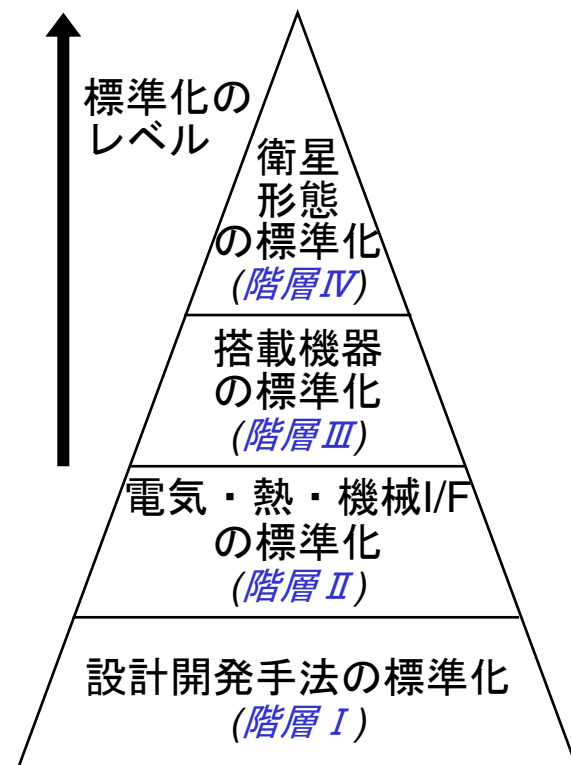
多様なミッション要求を支える **柔軟な標準バス (Flexible Standard Bus)**



標準バス開発の方法

①標準化階層の定義

- 目指すべき標準化の階層を右図の I ~ IV のように定義する。
 - 各ミッションへの標準バスの適用性について、「提案全体の〇割に適用可能」といった画一的な考え方は採らず、右図の階層レベルで仕分けする。
- 多くの理学観測ミッションは衛星形態の標準化（階層Ⅳ）までを狙うことができる。
- 大規模な推進系を要するなどの理由で形態の標準化が困難な場合には（例：深宇宙ミッション）、計算機や姿勢センサなどの機器を標準バスから使用する（階層Ⅲ）。
- 上記を満たすため、データ処理におけるSpaceWireの採用など、各所のI/Fを標準化する（階層Ⅱ）。
- シミュレーションや試験、文書管理などの手法は、大前提として標準化し、開発・製造に係る工数を削減する（階層Ⅰ）。



標準バス開発の方法

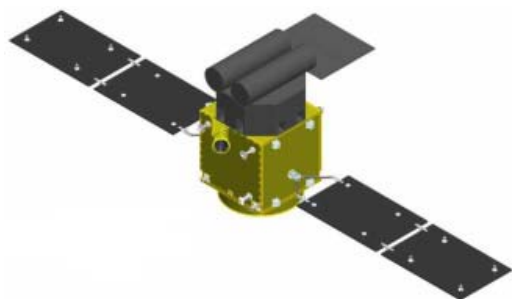
②仕様のカタログ化／メニュー化

- 仕様をカタログ化／メニュー化し、ミッション要求の幅を吸収する。

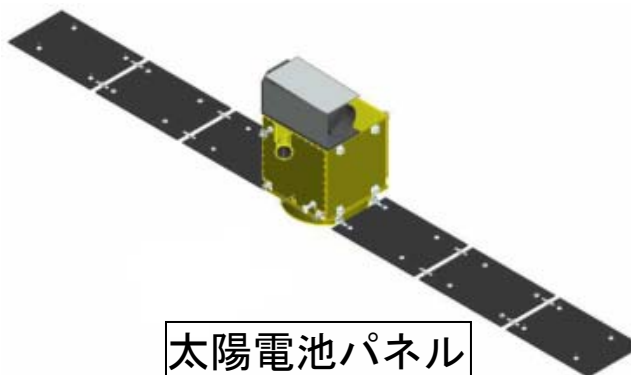
- 太陽電池パネルの枚数
- リチウムイオン電池の容量
- 姿勢センサ（ジャイロやスタートラッカなど）の精度

従来の中型科学衛星を「オーダーメイド」、古典的な標準バスを「既製品」とすれば、「**セミオーダーメイド**」的な位置づけを狙う。

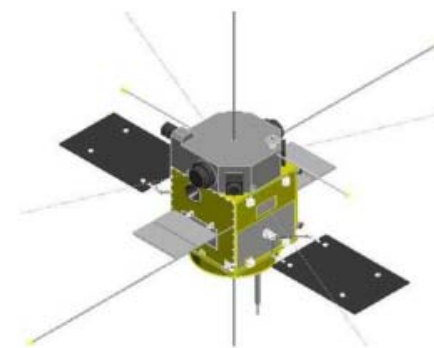
- 機器を容易に換装するためには、標準I/Fが必須となる。



太陽電池パネル
= 2枚／翼



太陽電池パネル
= 3枚／翼

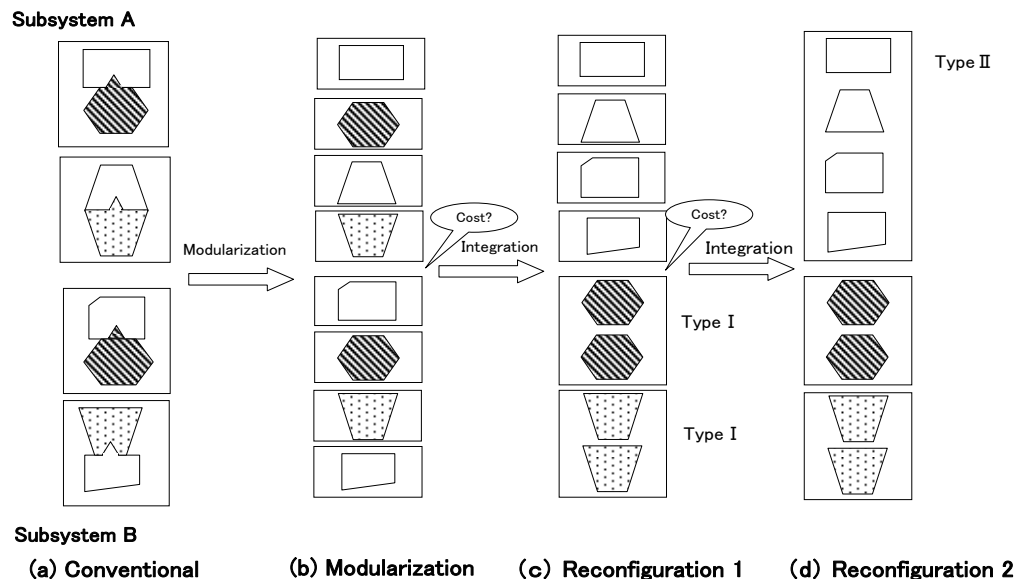


太陽電池パネル
= 1枚／翼

標準バス開発の方法

③モジュール化

- 設計のアプローチとして、衛星機能をグループ／モジュール的な単位に分け、その組み合わせとして、衛星機能を実現していく手法をとる。
 - モジュール化を支える機能素子（SpaceWire ASICなど）は、JAXA横断的な枠組みで開発を進めている。
- 従来衛星のコスト分析では、機器の個数がコストに強い感度を持っており、低コスト化には一定の「統合化」が必要となるが、モジュール化の効果と十分なトレードオフを行った上で、設計を再帰的に収斂化させることが必要となる。



標準バス開発の進捗状況 (仕様案)

ミッション要求を包括する標準バスの仕様案

| | |
|------------|---|
| ペイロード重量 | 200kg以下（衛星全体で400kg以下） |
| ペイロード電力 | 300W以下 |
| ペイロード機器サイズ | 取り付け面積1m×1m程度（高さはTBD） |
| 姿勢制御方式 | 三軸／スピンの両方式に対応可能 |
| 三軸姿勢制御精度 | 1分角以下 |
| 三軸姿勢制御安定度 | 10msで0.1秒角以下 |
| 三軸姿勢決定精度 | 0.5分角以下 |
| 姿勢マヌーバ能力 | 10分間で180度の姿勢マヌーバ可能 |
| データレコーダ量 | 1GB以上 |
| ダウンリンクレート | LEOで8Gbit/dayのミッションデータをダウンリンク可能 |
| 推進系 | 搭載の有無を検討中 （オプションとして燃料15kg程度の1液推進系を搭載する案など） |
| 耐放射線性 | 通常の近地球衛星に準じるレベル （より要求の厳しいミッションには付加的な対応が可能なように設計） |
| 電磁環境 | 特に要求の厳しいミッションには適宜付加的な対応が可能なように設計 |

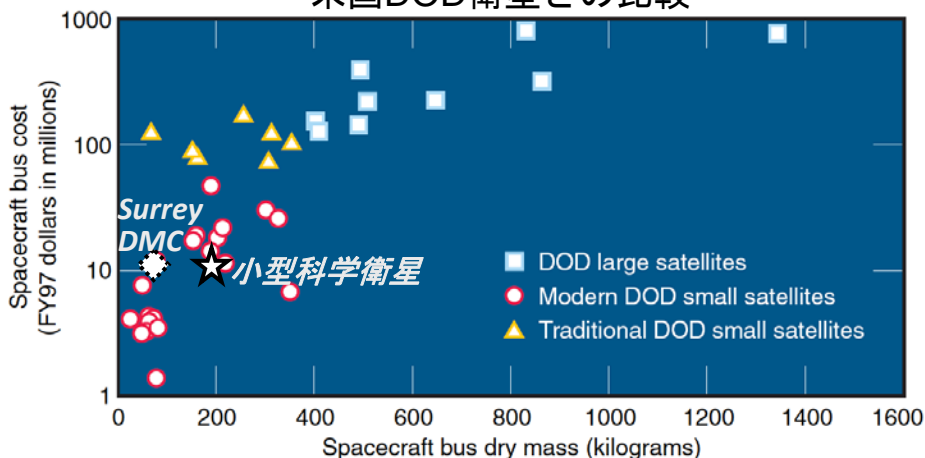
比較

- これまでにJAXAが打ち上げた小型衛星は、ピギーバック打上げによるマイクロサット（マイクロラブサット、れいめい）であったが、本小型科学衛星シリーズはよりミッションを指向したミニサットクラス(250~400kg)である。
- 海外では、標準バスを利用した小型衛星シリーズとしてCNESのMyriadeが有名である。本小型科学衛星計画と比較すると、最大許容ミッション重量は80kg（衛星重量150kg）程度と小さいにも関わらず、バス部コストは10Mユーロと同程度である。
- 小型衛星で有名な英SSTL社のDMC(Disarster Monitoring Constellation)衛星群も、衛星重量100~150kgでバス部コストは10Mユーロである（TOPSATなど）。



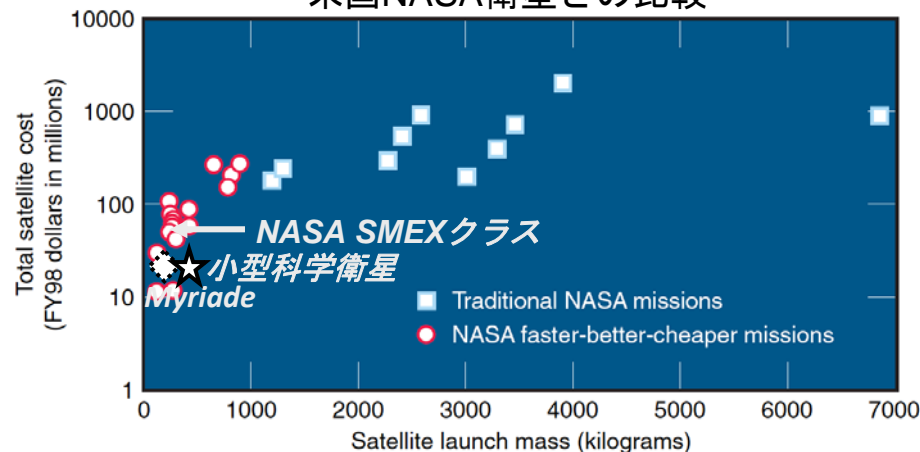
比較

米国DOD衛星との比較



Dollars-per-kilogram comparison of DOD large satellites (500 dollars per kilogram), modern small satellites (100 dollars per kilogram), and traditional small satellites (150 dollars per kilogram). Data points for these three categories cluster differently, and regression analysis shows that each set of points determines a different cost-estimating relationship. This information confirms the need for a new model using contemporary small satellites as its basis.

米国NASA衛星との比較



This graph compares the dollars-per-kilogram ratio for traditional NASA missions (900 dollars per kilogram) with the ratio as noted in NASA's faster-better-cheaper missions (120 dollars per kilogram). It's clear that the different sets of data points determine markedly different cost-estimating regimes.

(出典 : <http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2001/04.html>)

比較的類似のミッション機器が搭載される軍事衛星や地球観測衛星と比較しても、本シリーズで開発するバスのコストは同等程度であるといえる。例えば、小型衛星で有名な英SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd) 社の最新バスであるDMC (Disarster Monitoring Constellation) 衛星群は、衛星重量100~150kgに対し、バス部コスト10Mユーロである (TOPSATなど)。

海外の小型の科学プログラムと比較しても、本シリーズの小型科学衛星のコストは同程度か、あるいはむしろさらに安いものであるといえる。良い比較対象となるNASAのSMEX (Small Explorer) シリーズは180~250kgの衛星重量に対して50M\$である。また、標準バスを利用した小型科学衛星シリーズとして有名なCNESのMyriadeは、衛星重量150kg程度に対して、バス部コストは10Mユーロである。

ミッション選定のしくみ（参考）

- 宇宙科学コミュニティからの設置提案をうけ、宇宙理学委員会・宇宙工学委員会の下に小型科学衛星WGを設ける。
- ミッション選定の中核を担う「小型科学衛星専門委員会」は、理・工学委員会で指名された委員、及び他本部推薦の委員により構成される。
- 小型科学衛星専門委員会は、ミッション意義や検討レベルを鑑み、複数の重点WGを選定する。理・工学委員会は、重点WGに対して戦略的開発経費からPrePhase-A資金を支援する。

現在、重点WGとして、小型衛星によるジオスペース探査(ERG)WG、ダークバリオン探査衛星(DIOS)WG、小型重力波観測衛星(DPF)WG、磁気プラズマセイルWGが採択されている。また、小型月探査技術実験機検討WG、小型衛星の編隊飛行による高エネルギー領域広天走査衛星(FFAST)WGも部分的採択の扱いとされ、戦略的開発経費が支給されている。

- 本部長は小型科学衛星専門委員会の報告をうけて、各号機のミッション候補を決定する。

※但し、1号機については、標準バス開発と同時並行になる特殊事情により、例外的に宇宙科学研究本部内で惑星観測用小型宇宙望遠鏡(TOPS)をミッション候補として直接選定している。

ミッション選定のしくみ（参考）

