

第11回宇宙科学シンポジウム
企画セッション「2030年代の宇宙科学」

小型衛星の将来

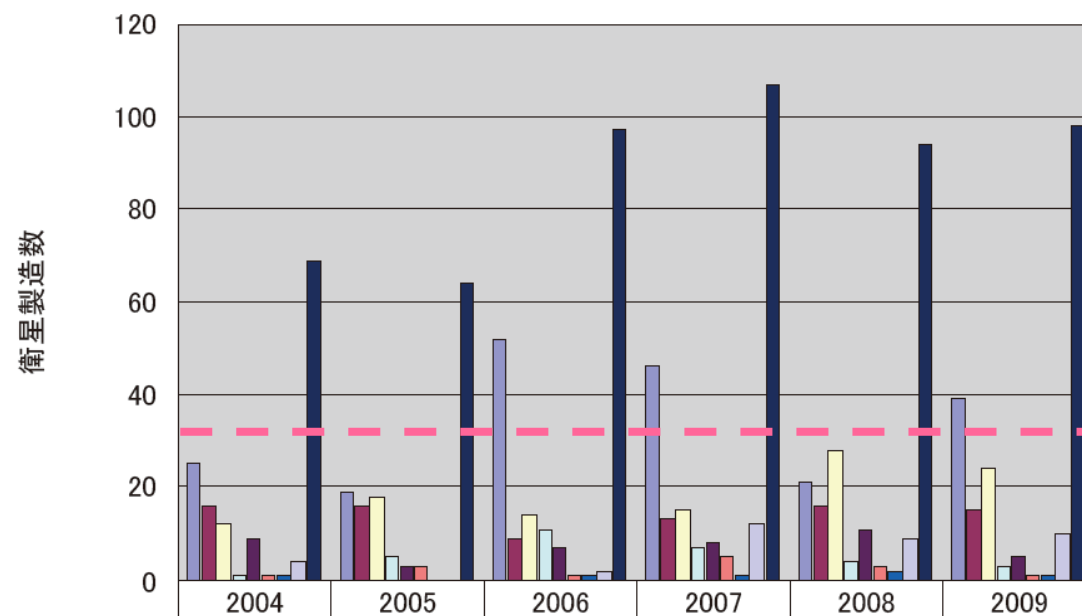
福田 盛介 (ISAS/JAXA)

論点

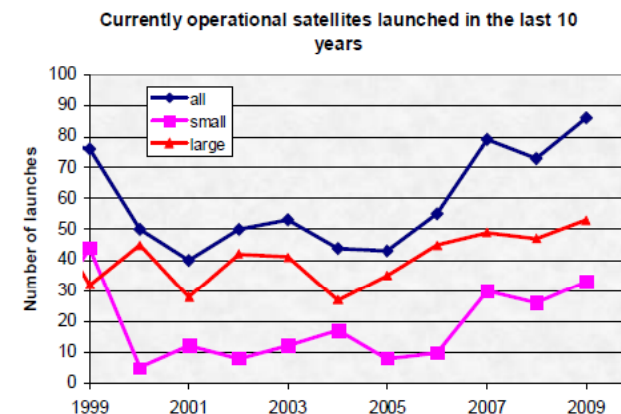
- 小型衛星／超小型衛星は盛り上がっていると言われるが、本当にそうなのか？
- 現在の「ブーム」が収まった後、結局、小型衛星には何が求められるのか？
- 特に、科学衛星、宇宙研ではどうなのか？
- そのために、今からどんな技術を仕込んでおけばよいのか？

注： 本講演で取り上げる「小型衛星」は、おおむね地球周回のを想定している。

小型衛星の打上げ数



	2004	2005	2006	2007	2008	2009
米国	25	19	52	46	21	39
ロシア	16	16	9	13	16	15
欧州	12	18	14	15	28	24
日本	1	5	11	7	4	3
中国	9	3	7	8	11	5
インド	1	3	1	5	3	1
イスラエル	1	0	1	1	2	1
その他	4	0	2	12	9	10
TOTAL	69	64	97	107	94	98



小型衛星も30機/年程度で横ばい

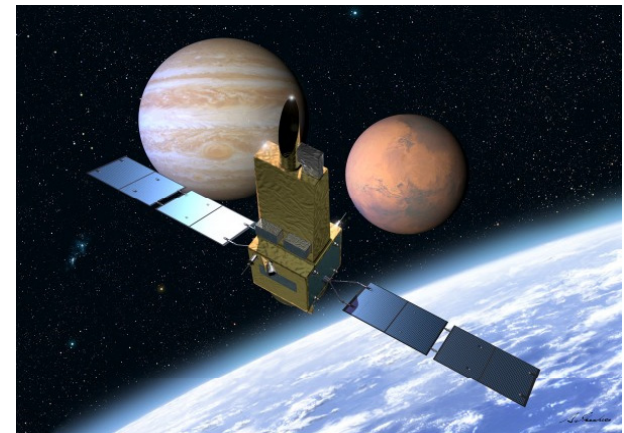
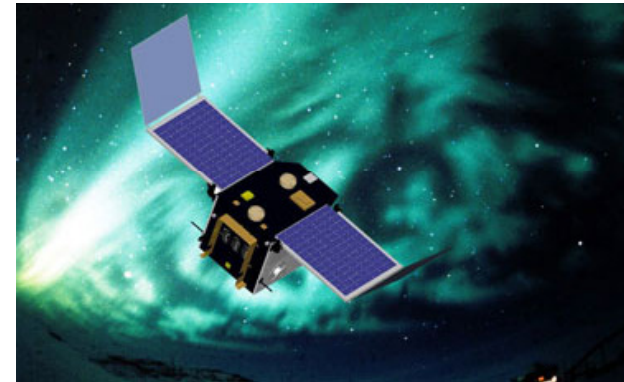
小型衛星の分類

- 0.1 - 1 kg: picosatellite
- 1 - 10 kg: nanosatellite
- 10 - 100 kg: microsatellite
- 100 - 500 kg: minisatellite

現状の整理

「れいめい」の成果とSPRINTシリーズの目標から

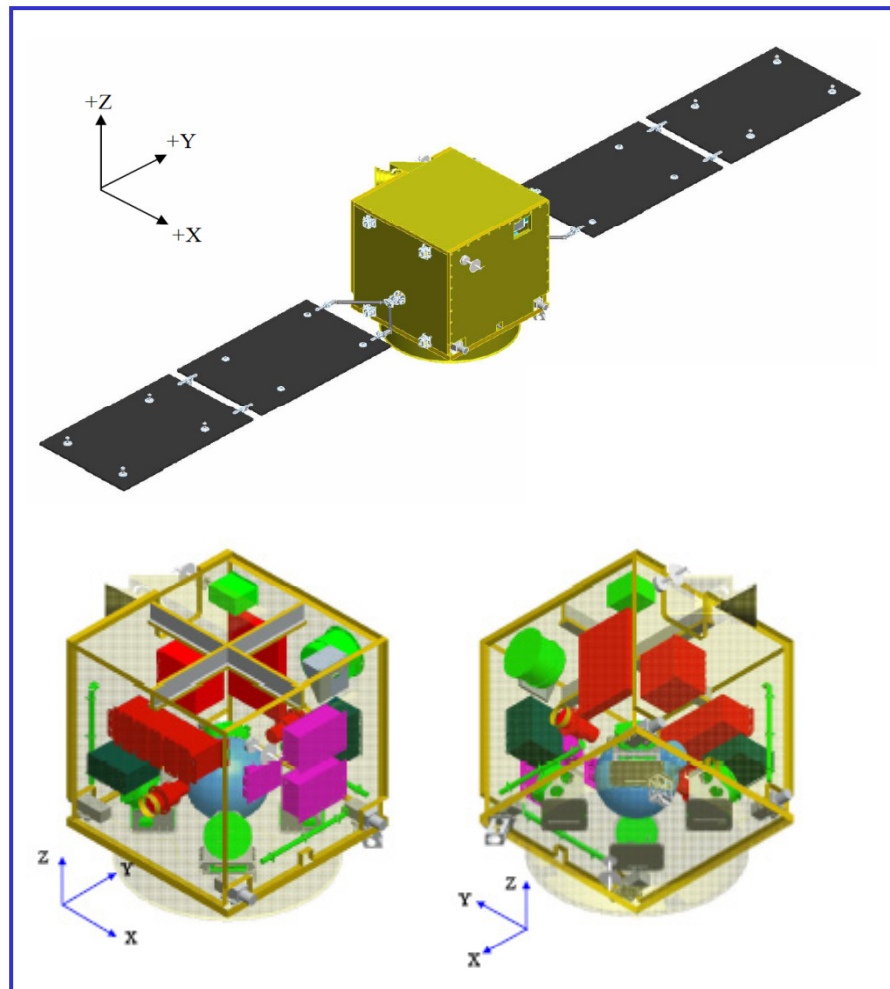
- れいめい
(70kg級microsat)
 - ✓ 機器の軌道上実証
 - ✓ 小型の観測機器(10kg強)
 - ✓ 若手職員や学生への教育効果
- SPRINTシリーズ
(300~400kg級minisat)
 - ✓ 中型科学衛星の補完的役割
 - ✓ 迅速な実験機会の提供
 - ✓ 柔軟な標準バス



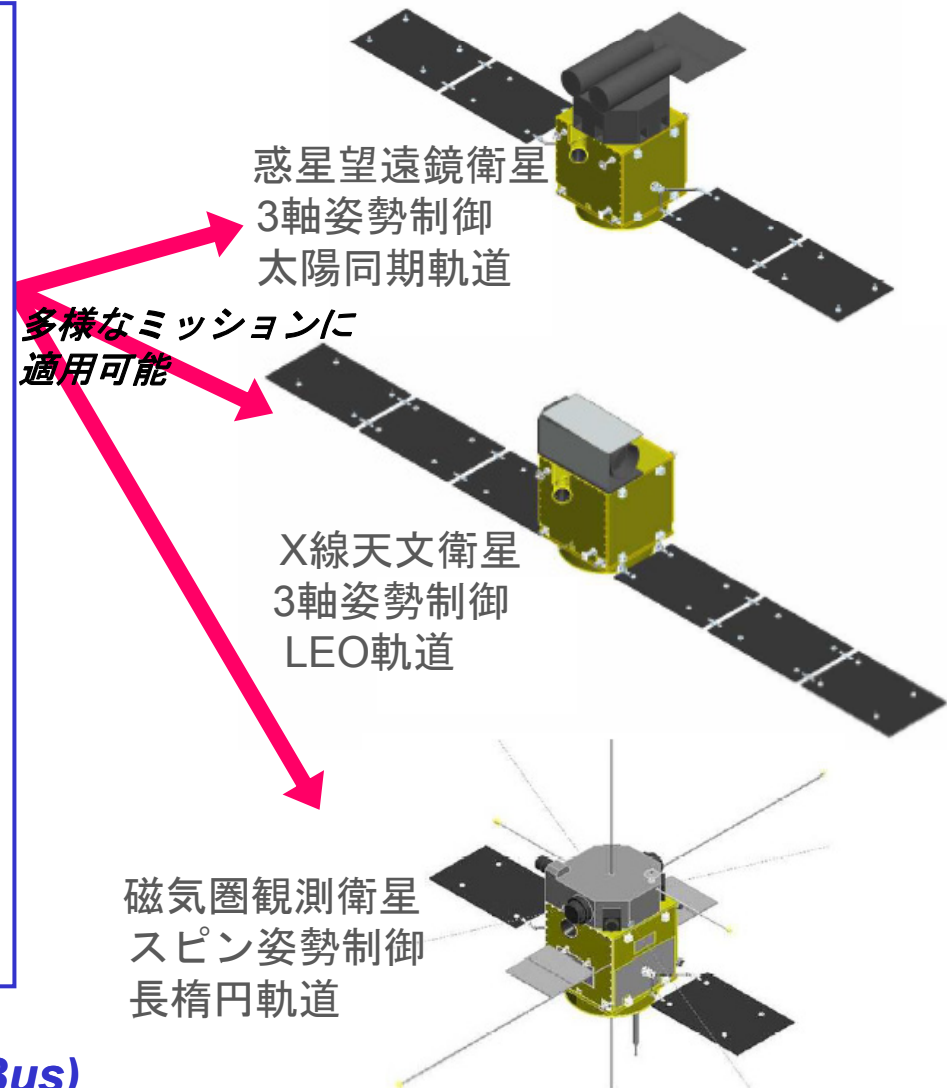
2030年代はどの路線??

現状の整理

SPRINTシリーズにおける「柔軟な」標準バス



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



現状の整理 「セミオーダーメイド」バス

Selectable options (追加型オプション)

パドル回転機構 (SADA)
GPS受信機
X-band送信機
1液推進系
EMC対応設計

要求マトリックス

(プロダクトプラットフォームの手法)

→ 共通性 (commonality) の抽出

function	A B		C 1 2		D E	
mission						
#1	○	○		○		○
#2	○	○		○	○	
#3	○		○			
#4	○	○	○			
#5	○	○		○		○
...						
#N	○	○		○		

core *alternative option* *selectable option*

Alternative options (選択型オプション)

太陽電池パドルの枚数 (1~3枚/翼)
Li-ion電池の容量 (35Ah/50Ah)
姿勢センサ (IRUやSTTなど) の精度
リアクションホイールのサイズ

現状の理解

次世代小型標準バス技術WGの活動から

研究を実施中			
H21年度までに研究を実施			
サブシステム・分野	小型科学衛星標準バスの現状	課題や問題点	対策・本WGでの研究
熱制御系	受動型熱制御素子と放熱面を組み合わせたコンベンショナルな熱制御系	熱制御が成立するか否かは軌道・姿勢・搭載機器・運用モードなどにより、号機ごとの確認が必要。しかも、熱的成立性の確認は、システム設計の最後半で実施されるため、不成立の場合、設計の後戻りの影響が甚大	先進的熱制御デバイス(自動振動ヒートパイプやループヒートパイプなど)を採用した熱制御システムの検討と搭載性評価 ⇒「熱設計フリー」の熱制御システムの実現
構造系	箱形パネルを採用(上部にミッション部を搭載)	ミッション部の荷重がバスパネルに流れる。最大200kgのミッション部をパネルで支えるため、構造質量比が増大	スラストチューブと汎用機器モジュールによる新たな構造様式の検討
		バス機器の機械環境がミッションによって変化(平均的にかなり厳しい)	研究内容検討中(制振シート等のブレイクスルーなど)
	バス構造の標準化	工学実験衛星の多くが、標準バスの構造系では、重量リソース的に不成立	研究内容検討中(標準構体とカスタム構体の中間的なアーキテクチャなど)
通信系	JAXA標準のマルチモードトランスポンダ	重量・電力リソースの厳しいミッションから、代替機器の要望が存在	低リソースミッションのための通信系の検討 ⇒ 高機能な民生部品等を用いて部品点数を削減
	ダウンリンクレートの上限が2Mbps	数10～数100Mbpsのダウンリンクレートが必要なミッション(小型地球観測衛星など)には対応不能。付加的に大型衛星用のシステムを搭載するには、電力・重量リソースが不足	小型衛星に適した高速通信方式の開発 ⇒ 搭載機器を小型・小電力化し、地上復調系を高機能化する発想の転換により、<数100Mbps, 50Wのシステムを実現(別の戦略経費で活動している研究チームと連携)
電源系	Li-ionバッテリーを搭載	厳しい温度管理要求	Li-ionキャパシタの搭載化検討 ⇒ 広い動作温度範囲で柔軟な電源系を構成(定電力充電方法を研究)
データ処理系	SpaceWire及び周辺技術を全面的に採用	(機器コストが目標レベルまで下がるか懸念有り)	—
姿勢制御系	コンポーネントを、中型科学衛星・利用衛星と同一のラインナップから採用	重量・コストともに小型科学衛星のリソースに不向きで、代替機器の選択肢の拡充が必要	ジャイロ: H20年度に低コストなFOGの仕様検討を実施 ⇒ 担当メーカーと相談の上、今後別予算で開発 リアクションホイール: H21年度に海外小型衛星用の低コストな固体潤滑方式ホイールの特性を評価 ⇒ 使用に目途 スタートラック: 戦略を検討中
	AOCPとコンボのI/FにSpaceWireを採用	重量バジェットが厳しいミッションでは、プロトコル変換器(ACIM)の重量リソースが負担	次世代ACIMの検討(小型化・一部統合化など)
	号機ごとに開発・試験する部分が少なくない	複数衛星の開発時期が重なると、ソフトウェア開発や試験において、マンパワー不足が発生	姿勢制御系開発・試験の短工期化の検討 (状態遷移表を用いた試験自動化研究と連携)
推進系	標準としては不搭載。ミッションにより必要な場合は、1液式を搭載	ヒドラジンの有毒性による、ハンドリング性の低下	HAN系推進薬の運用性評価 ⇒ 低毒性を国際ガイドラインで検証(終了) 着火機構の検討

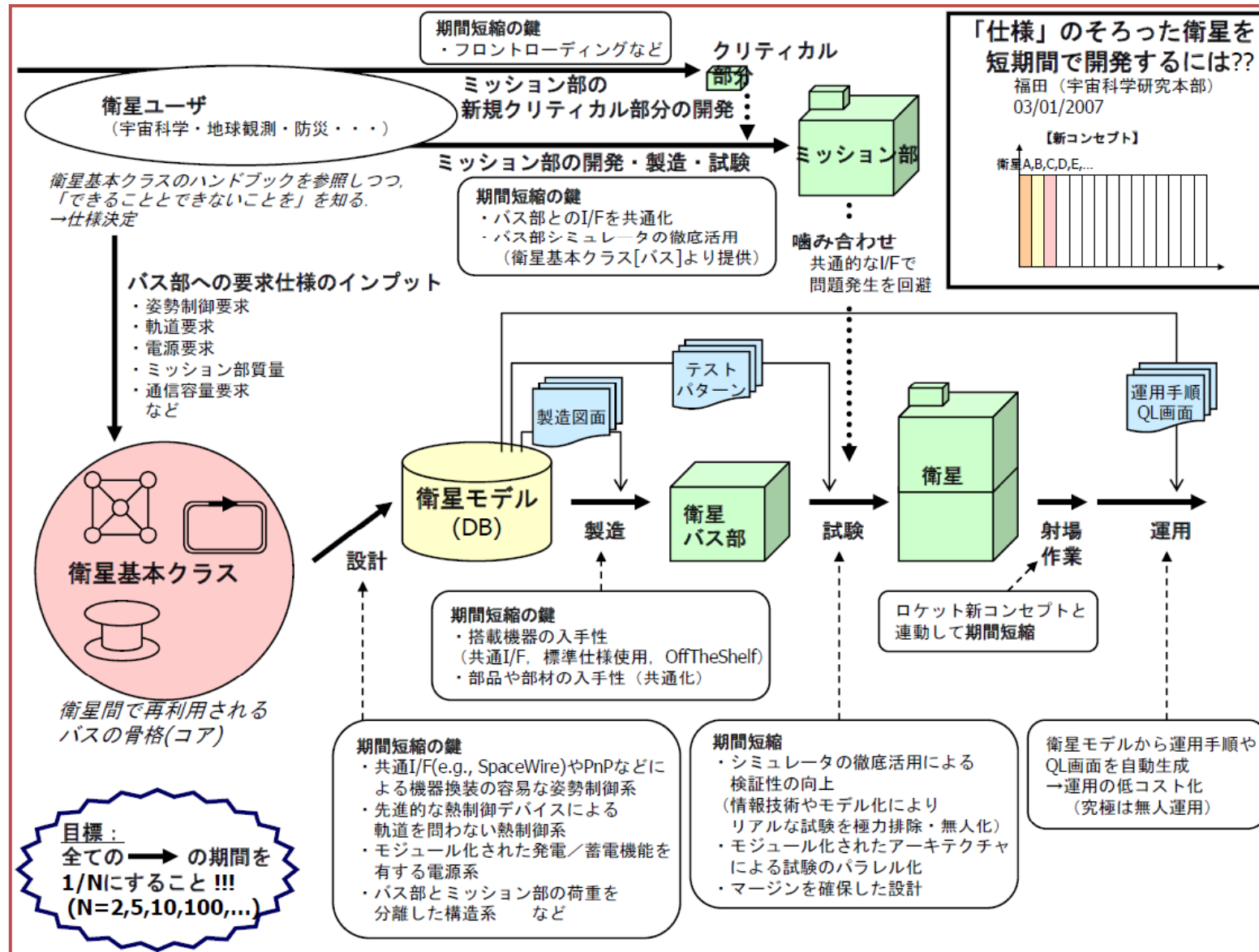
2030年代の小型衛星はこの延長線上にある??

部品レベル	ロジックの制正など
-------	-----------

2030年代の状態規定(?)

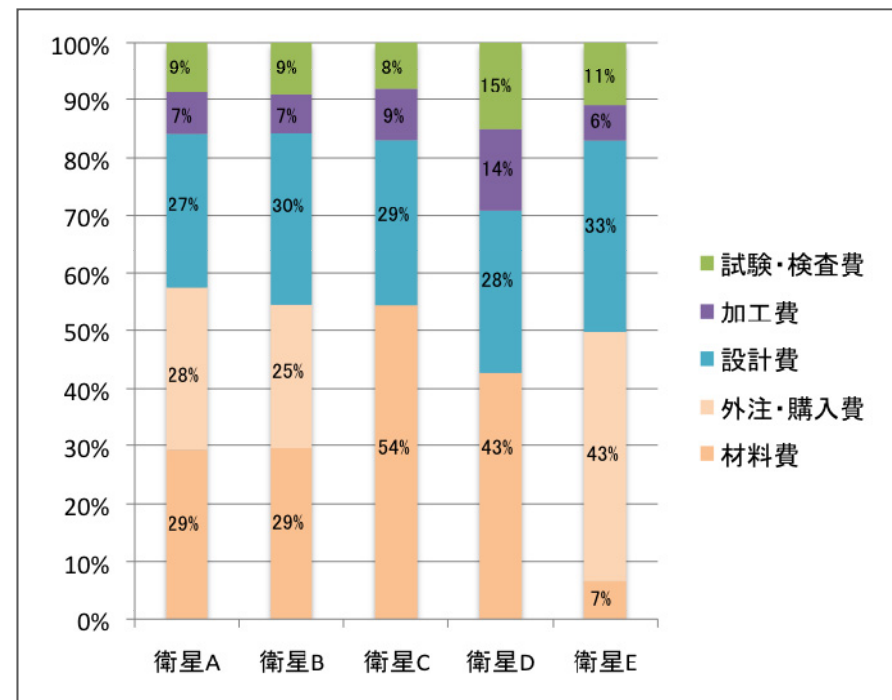
- 地球観測など利用分野では、世界中のほとんど全ての国がミニサットクラスの小型衛星を保有している。
- 大学での小型／超小型衛星の活動はさらに拡がりをみせ、キューブサットクラスの衛星での学生教育と、マイクロサットクラスの衛星での技術実証・小規模ミッションの回転がうまく回っている。
- 宇宙研では、**ミッションの想起から打ち上げまでの期間を革新的に短縮した小型衛星シリーズ**が定着し、チャレンジングな実験が次々と行われている。
- さらには、「**小型衛星ならではの**」**ミッション**が登場し、世界一線級の成果が創出されている。

衛星開発期間短縮のためには?



衛星開発期間短縮のためには？

- 試験・検証期間の短縮が肝
(長納期部品／部材の入手性や、要求分析に多大な時間がかかる等の問題は、別途潰していく必要あり)
- やみくもな試験削減(安かろう悪かろう路線)ではなく、「設計」まで含めた「イタレーションフリー」な開発手法を、先進技術によって切り拓くべき
 - ✓ 革新的熱制御技術
 - ✓ 革新的制振技術、...
- 電気試験の自動化
 - ✓ 他業種との協働
(S/W業界、自動車業界など)
 - ✓ モデルベース、プラグインなどの新規技術の導入
- 開発体制の問題



「小型衛星」ならではのミッションとは？

- 中・大型衛星をshrinkした形態では、「一級の」成果は望めない
 - ✓ どうしても、現状の小型科学衛星の規模になってしまう
(小型衛星として positiveな将来なのか?)
 - ✓ 小型衛星の「ほどほど感」と「一級の」成果との整合性
(ニッチで筋の良いミッションはそう多く残っているのか?)
- 小さいことのメリットを突き詰める必要がある
 - ⇒ 「小型衛星をばらまく」という発想

(スペースデブリ化には注意が必要)

「群衛星」ミッションのイメージ

- 100個規模で小型衛星がフォーメーション(swarm)
 - ✓ 非現実的に巨大となる一体構造物の代替
例) 低周波アンテナ、レーダ??
 - ✓ 1つの小型衛星 = 1ノード
 - ✓ 衛星間の距離はアプリケーション次第
 - ✓ 各衛星ノードの規模は<10kgくらいか

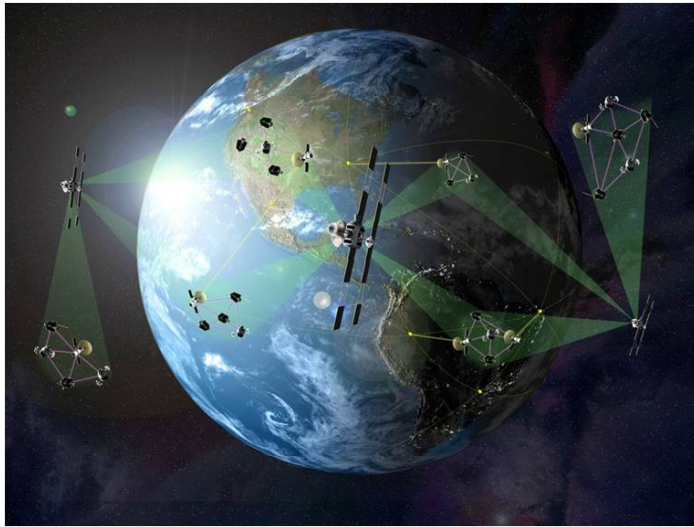


「群衛星」ミッションに必要とされる機能

- フォーメーション形成（ロケット分離から新たな発想が必要）
 - ✓ 超高精度相対位置センシング
 - ✓ アクチュエータ（ある種の「場」の概念?? 超伝導コイル磁気制御??）
- 超低消費電力エレクトロニクス
 - ✓ 1チップ化
 - ✓ 低電圧化（⇔シングルイベント耐性）
 - ✓ さらにその先??
- グリッド／クラスタ技術
 - ✓ ノード（衛星）間通信
 - ✓ 高精度時刻同期
 - ✓ リソース・シェアリング
- 群のself-repair
 - ✓ Adaptive Hardware System

など多数

(参考) DARPA System F6 program



System F6 (Future, Fast, Flexible, Fractionated, Free-Flying Spacecraft United by Information Exchange)

- ✓ Capability for semi-autonomous long-duration maintenance of a cluster and cluster network, and the addition and removal of spacecraft modules to/from the cluster and cluster network
- ✓ Capability to securely share resources across the cluster network with real time guarantees and among payloads or users in multiple security domains
- ✓ Capability to autonomously reconfigure the cluster to retain safety- and mission-critical functionality in the face of network degradation or component failures
- ✓ Capability to perform a semi-autonomous defensive cluster scatter and re-gather maneuver to rapidly evade a debris-like threat

むすび

- 2030年代の小型衛星の将来として私見を述べた。
- 以下がキーワードと考えられ、これに向けて宇宙工学コミュニティとして「腕を磨いておく」ことが必要である。
 - ✓ 衛星開発期間の革新的な短縮
 - ✓ 小型衛星ならではのミッション創出（例えば群衛星）