

小型・超小型衛星の確かなモノづくりへの思い

— 蓄積技術・経験を生かし、新世代に伝承する(温故知新) —

白子 悟朗

SSC技術士事務所;技術士(航空宇宙部門登録)

E-mail goro-shirako@mui.biglobe.ne.jp

関連ホームページアドレス

・SSC note. ホームページ (SSC=Shirako Space Consulting)

<http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/index.html>

・宙の会 ホームページ

<http://www.soranokai.jp/index.html>

4>20140415 3>20121215 20120122

小型・超小型衛星の確かなモノづくりへの思い

— 蓄積技術・経験を生かし、新世代に伝承する(温故知新) —

新世代の小型・超小型衛星開発の挑戦テーマ

学生衛星・教育利用から実利用へ！;コストとリスクのバランスの枠組み

- ミッションライフサイクルのコストとリスクのバランスを追求・・・ユーザーが投資できる費用とリスクの度合いを合意する
- コスト/リスクのバランスを担保するシステムエンジニアリングには知見と教訓を共有し、高度な経験知を持った人の力量を取り込むことが肝要
- システム構成は単系を基本としリスク低減の工夫を盛り込む・・・故障分離/復帰機能/再構成機能等 ← 耐性と回復性のバランス配慮
- 故障は永久故障を極力排除し/耐性、一時故障は復帰/回復させる
- 先進的な民生品/部品・技術を吟味(廃品/偽物に注意)し最大限活用
- 宇宙を侮らない
- 宇宙システムの臍の緒である通信回線確保は必須(地上系整備を含)
- プロマネ(推進者)はマネジメント(リスク、人、もの、金、スケジュール等)を自らが陣頭指揮を執る
- 開発では効率・効果的な手順/方法を臨機応変に組み合わせる(記録は残し、伝承する)・・・ワイガヤ方式、SW・・・力量と裁量
- 先人の力量(蓄積技術、経験、教訓等)を生かし、OJTによる人材育成を図り、成果の継承・伝承に努める・・・暗黙知を形式知に！←設計過誤撲滅
- 財務と第三者評価・・・特に国の投資(約80億円)の透明性と適正評価
- プロを目指すということは積み上げが大切、ぶっつけ本番や一過性でマニュアルや知識、意欲だけではなく、プロによる本来のOJTが必須
- 一時の思いによるパフォーマンスでは伝承・継承されない？
- 失敗には、許されない失敗と許される失敗？がある/過誤防止

(参考: [日本の小型・超小型衛星の足跡\(顛末\)-\(pdf\)](#))

生かせる蓄積技術・経験の例

- ; テレメータ取得は最小限ミッション;軌道上の状態把握の唯一の手段
- ; 軌道上故障は、偶発故障<<設計(評価)不十分による異常・故障
- ; 寿命確保・・・メカなどの寿命品は2倍程度の評価試験を
- ; 故障は永久故障と一時故障を使い分け、サバイバル性を確保
- ; 単一故障点(SPF)の排除・・・計装を含む
- ; 機能冗長の活用・・・別ルート、機器の再構成
- ; 故障分離機能と復帰機能を駆使する←システムFMEA
- ; 人為的設計過誤撲滅・・・極性、タイミング、接続、単位系等々に内在
- ; 放射線対策・・・ラッチアップ対策;電源リセット必須、誤り訂正、部品耐性
- ; コールドロンチ対応やバッテリーの枯渇対策注視
- ; EMC・・・アナログとデジタルの両刀を使いこなす
- ; 動作環境耐性・・・電源電圧変化/温度変化ほか
- ; 電源のUVC機能/ソフトスタート対応・・・再起動性/復帰機能の確保
- ; 通信系・・・アンテナパターン生成、宇宙システムの臍の緒;回線確保必須
- ; 機能の統合化
- ; 先進的な民生品・部品、小型・軽量技術の吟味・活用
- ; 試験・検証の徹底・・・end to end試験、ロジックのタイミング設計検証他
- ; 機器、I/Fの標準化で使い込みと新規開発のサイクルを回す
- ; 軌道上実証と使い込み
- ; ワイガヤのシステムインテグレーション;SW、イタレーション他
- ; 開発に対するピュアーレビューの重視と知見・教訓の伝承・継承
- ; 経験者の活用・・・OJT(一緒にやる。原理原則を体得)
- ; コスト管理・・・財務管理の徹底、過度な原価低減は落とし穴

図解；学生衛星の確かなモノづくりに期待

— 衛星設計コンテストからの飛躍 —

学生衛星開発の基本は、身の丈にあった計画であること

- 1) ワイガヤチーム体制確保 + 専門家/企業の応援 + 覚悟
- 2) リソースがリスクとミッションにバランスしているか
- 3) 経験者等の応援や知見/教訓を学び体得する
- 4) 衛星規模で開発難易度が全く異なる CubeSat < μSat

システムエンジニアリング上の留意点

- * 一寸考えればおかしいことを見落としていないか・・・”許されない失敗”と”許される？失敗”がある
- * システムは寄せ集めで成立するものでない。弱いところから綻びる
- * リスクを承知(回避でもない)の上で、システム成立への方策・対策を考える(ロバスト性、回復性、寿命、冗長性他)
- * ”挑戦と無鉄砲は違う”



学生衛星で重視する設計技術

- * テレメ取得は最小限ミッション
- * コールドローンチ対応
- * 機能冗長
- * 電源耐性(電圧変動幅、ソフトスタート他)
- * 温度耐性(温度変化幅)
- * EMC耐性
- * ラッチアップ対策
- * 電源リセット/UVC機能必須
- * ロジックのタイミング設計
- * 故障分離
- * 周波数確保と通信確保
- * アンテナパターン
- * COTS活用法
- * コマンド耐性
- * SWの再ロード性
- * テレメ取得
- * 寿命品はミッションライフの2倍評価
- * 非デブリ化
- * 人為的設計過誤撲滅



- * 時間(労)を掛けずして成果は得られず(見えるものも見えない)
- 単に時間を惜しんだ見かけの効率や省力は、無駄や失敗を積み上げるだけ
- * 事前実証(試験)は不可欠だが、自力の知力や先人の経験則・教訓を理解・活用することで効率的な検証が可能となる
- * 地上局整備や運用準備・訓練も同時進行
- * 第三者評価が大切

学生衛星の確かなモノづくりにチャレンジ

衛星設計コンテストは衛星修業の道場だ

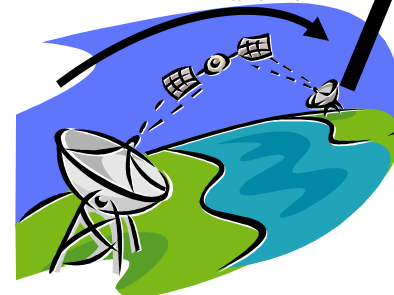


* 学生衛星も”挑戦=失敗してもやむなし”の段階は終わっており、教育現場自らの宇宙工学カリキュラムの整備、継続的教育として回すことが望まれる

* 貴重な副衛星打ち上げ機会を提供する立場のJAXAも、公募審査の技術的明確性と安全審査の理解啓蒙や衛星設計/開発の心得の提供を期待したい

地上系を含めた通信回線確保は必須

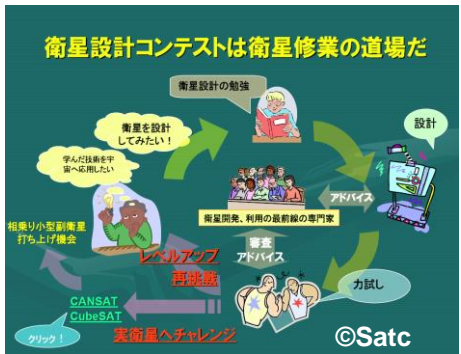
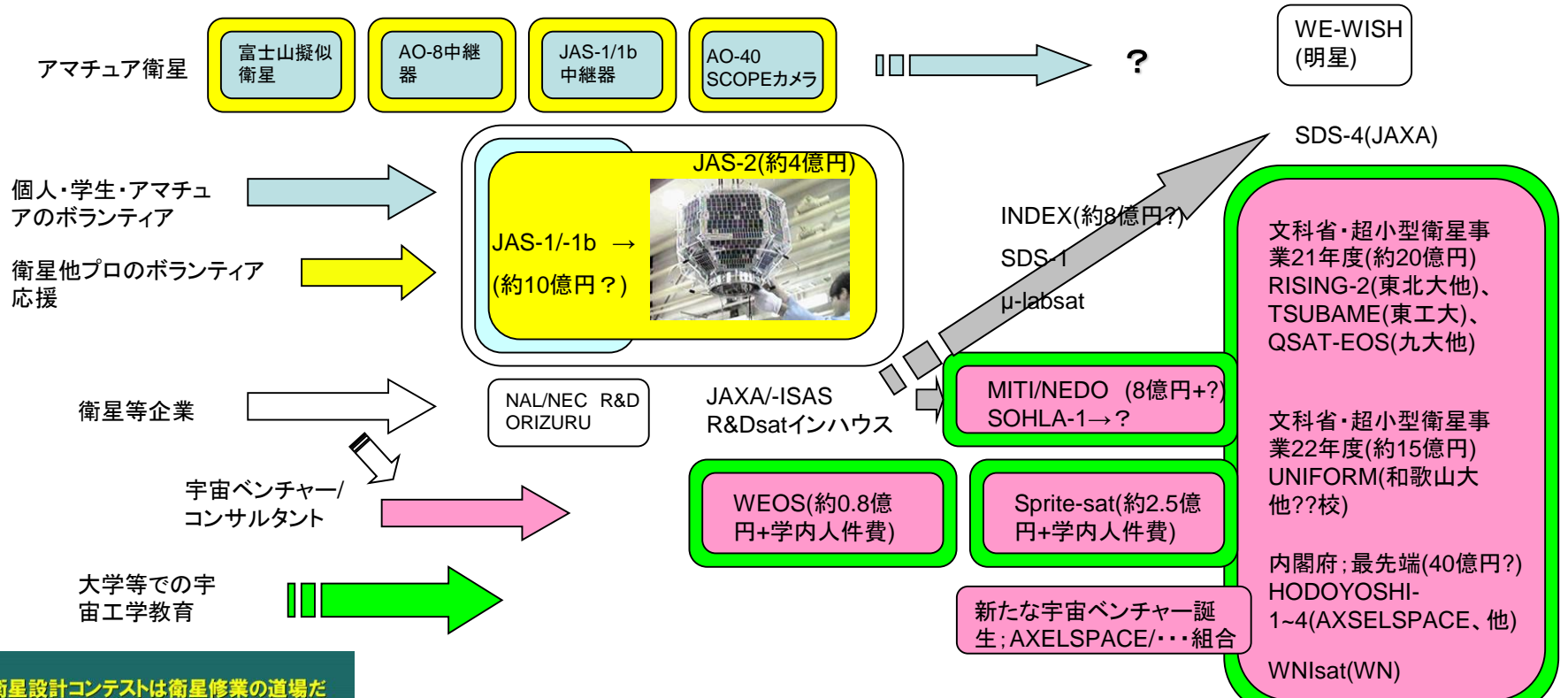
(リカバリーの可能性あり)



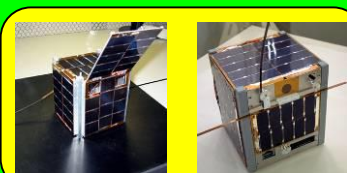
地球周回衛星と惑星探査衛星との違いをSOEで理解

(片道キップ)

日本における小型・超小型衛星を取り巻く環境の変遷

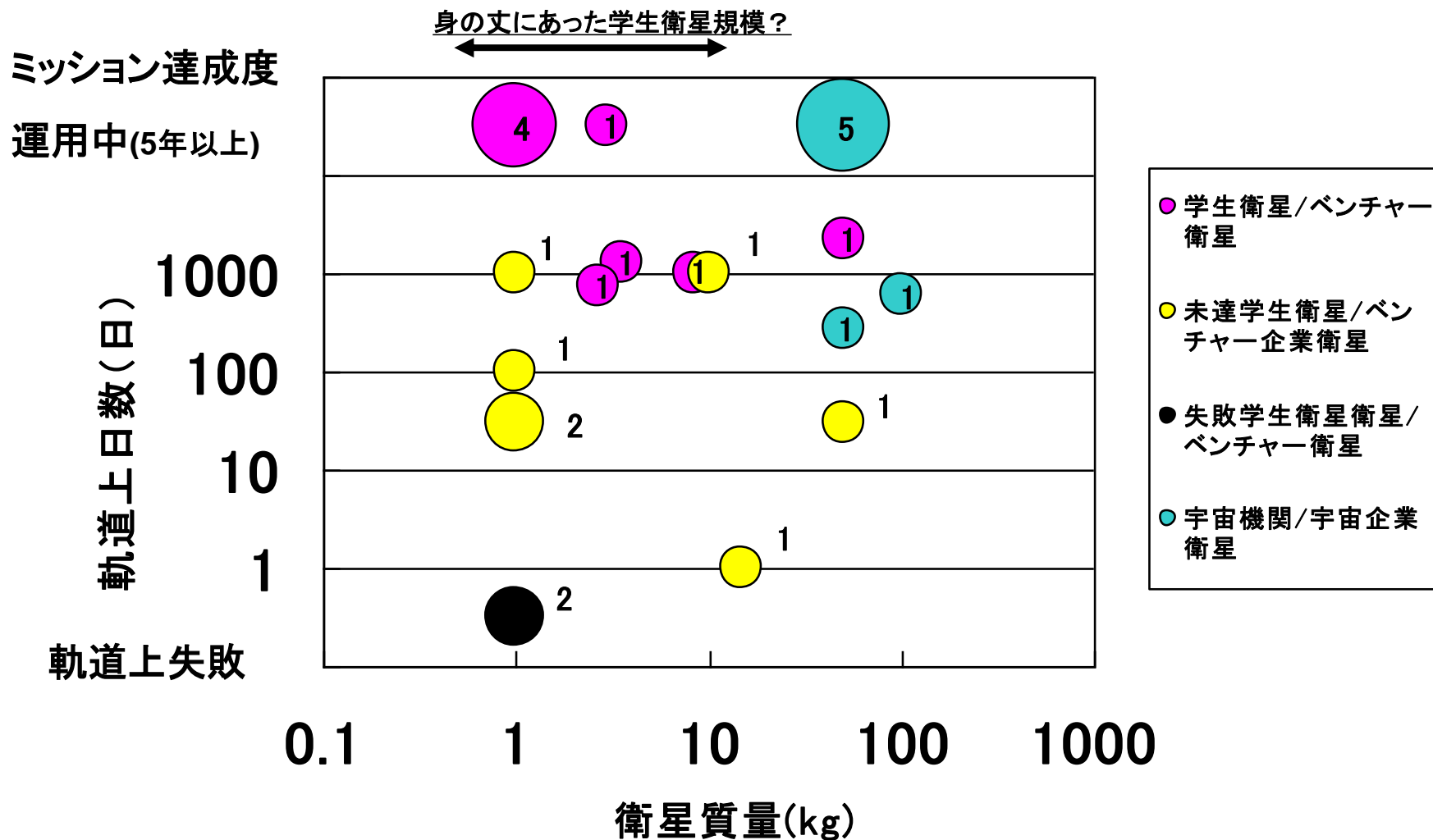


CansatからCubesat、そして・・・？



SEEDS、・・・UNITEC-1・・・今後 nano-JASMINE 他多数機が計画中

日本の超・小型衛星の寿命傾向



小型・超小型衛星における確かなモノづくりとは

学生衛星を含み、国内外を問わず多くの小型・超小型衛星が計画され、打ち上げられるなか、教育からビジネス展開の広範にわたり斬新な発想としてFBC、rapid、「ほどよし信頼性工学」等々の動機づけが続いている。それらは確かに一見すると新たな挑戦といえるが、普遍的な学問として追及するのか、手法・技法となるのか定かでない。いずれにしてもその原点にあるものは温故知新ではないだろうか？

科学衛星の開発で始まった我が国の衛星開発は、その実績・教訓を生かしたアマチュア衛星となり、さらには多くの宇宙技術者等の応援などによりCubesatに代表される超小型衛星や小型衛星の学生衛星やビジネス展開を試みるまでに進化してきているが、その中で最も重視しなければならないことは、確かなモノづくりではないであろうか。

そこで、確かなモノづくりとはいかなるものであるかを、私なりに抽出し、箇条的に列記してみた。

- ・ミッションサクセスクライテリアが明確であること
- ・確かな／良いものを目標として徹底的に追い込む。いい加減では最低線の及第点すら取れない
 - * 最低線の及第点を確保・・・最小限の機能を果たす
 - * ほどほどの点をとる・・・目標の機能を果たし、ほどほどの性能確保(多少のリスク*が発生しても機能停止回避策や運用回避策を考慮する)
 - * 完成度の高い点を取る・・・100点満点を狙う？
- ・確かな／良いモノを開発／設計する事とは
開発者／設計者が持つ、発想やイメージを具体化／具現化する事で当事者のできる範囲のものであり、さらに、その過程で生じる課題や選択肢を選ばなければならないが、それには開発者／設計者の知識、経験、そして発想力に加えて、プロセスを定めることが重要
- ・制約要素;技術+時間+費用のバランス
- ・確かな／良いモノ=確実に機能を果たす>+性能を満足する>+長い時間使える
 - * 機能を果たす=機能が明確+壊れにくい+用途に耐える+機能冗長がある
 - * 機能の確認=設計が簡素+試験・検査で検証ができる
 - * 機能冗長=寿命を延ばせる+簡単には故障しない
 - * 完成した技術／機器等を使い込む=時間短縮+低コスト+壊れにくい
 - * システム的機能はソフト的視点+性能はハード的視点のバランスが大切
 - * システム不在にならないように
- ・専門家や経験者のレビューが大切
- ・力量;少ない人数でも仕事をできるように、人々のマルチ力量化によって実現する
- ・裁量;人の考えによって判断し、処理すること
- ・働く人の力量や裁量は教育・訓練し、そして身についたかを評価する

これらは一般論であって、小型・超小型衛星に見合った適用が必要で、具体的な事例としては前出の“一蓄積技術・経験を生かし、新世代に伝承する(温故知新)―”が参考になろう。

* 後出の“小型・超小型衛星の概念的なリスク表現”参照

小型・超小型衛星における概念的なリスク表現

* リスク計画を持つこと

打上げ機会の確保と代替手段の確保

衛星要件(ミッション要求と軌道条件の整合他)がピギーバックで可能か

資金計画チャークに対する段階的な成果の活用計画は持てるか

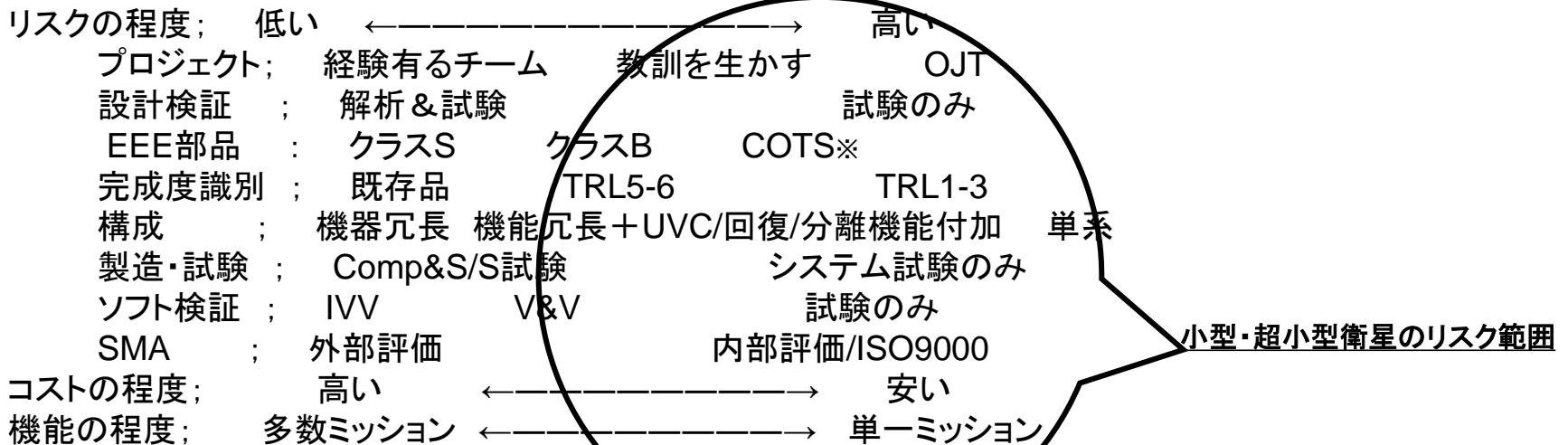
衛星システム支援や製造計画に対するリスク回避策を持てるか

* リスクマネジメント

・設計・製造の完成度識別(TRL)を十分に！ → 見込み妥協しない; 含むMake buy

・リスク・トレードオフ項目; 質量、電力、コスト、機能・性能、スケジュール

・概念的なリスク表現



※COTS使用の教訓

@高機能COTS部品は購入機会の喪失がある

@多くの需要がある部品から選択し、偽物に注意

@クリチカルな機器には高信頼性部品を選択

@~3年のLEOミッションでの放射線環境はかなり緩いが使用実績を把握

@バーンイン試験(例;>70℃、3週間)に注目