

小型衛星論シリーズ No.9(SSCnote.版 20140514)→[2>20150101](#)→[3>20150106](#)

小型・超小型衛星の近年の傾向と展望

(http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/s_sat_no9.pdf)

「宙の会」論壇(<http://www.soranokai.jp/>)で、大学等での主に宇宙(工学)教育の実践的な教材としての小型衛星の在り方、利用開拓の必要性や、産業界との連携、確かなモノづくりなどについて期待を込めての応援として、小型衛星論シリーズ No.1~8 を投稿し、貴重なご意見もいただいていた。

我が国では「ふじ」シリーズ(50Kg 級;[複数の学生諸君も参画](#))のアマチュア(無線)衛星から始まった小型衛星分野の発展は、その後の2003年のCubeSat(10cm立方体を1ユニットとした超小型衛星;東工大・CUTE-1(CO-55)、東大・VI-IV(CO-57))は世界の先駆けとなったが、今や世界では小型・超小型衛星の中でもCubesatシリーズの存在は、学生衛星やアマチュア(無線)衛星の分野にとどまらず、民生・商用並びに官需でも技術実証や利用実証で大きな位置づけを得るようになってきた。

私の小型・超小型衛星での宇宙教育や利用市場開拓をとらえた一連の応援を一区切りすべく、ここ10年程度の傾向を概観し、今後の展望を、[新たな私見 2>,3>](#)を加えて述べてみたい。

関連;SSCnote.-HP 手作り衛星製作者の心得

http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/sat_tech.html

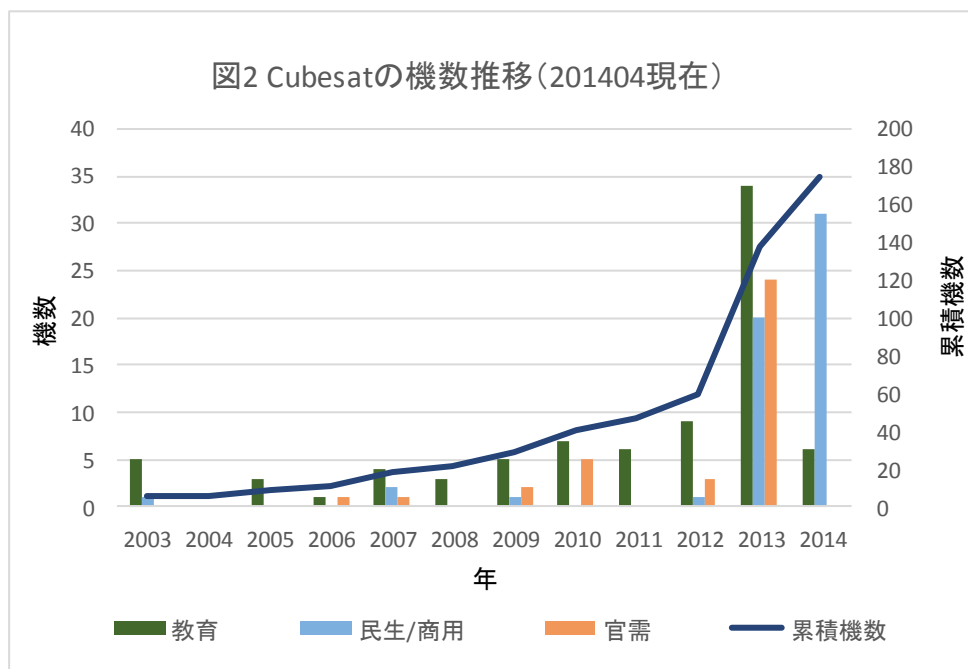
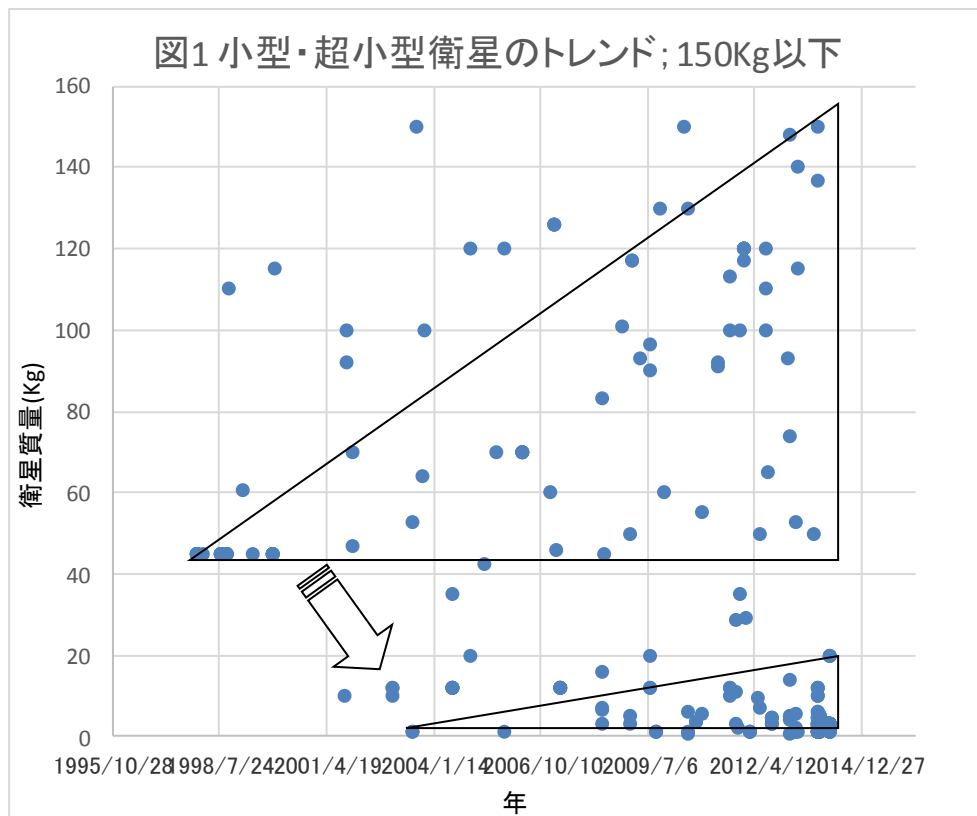
1. 小型・超小型衛星の近年の傾向

1.1 世界を概観

図1に1997年から今年2014年2月までに打ち上げられた約240機の小型・超小型衛星の打上年 vs 衛星質量(150Kg以下)の傾向を示す。(これは大凡の傾向を表しているものと理解していただきたい)これからわかることは、1997年からCubeSatが打ち上げられた2003年までの多くは50Kg超級の小型衛星が中心だったが、CubeSatが出現してからは10Kg以下の超小型衛星が台頭し、その総数は100機超と数えられる。しかも2003年から数年の間はいわゆる宇宙教育目的の学生衛星が主流であったが、ここ2~3年、特に今年(2014年)に入ってから商用目的で24機(地球観測目的)からなるコンステレーションシステムも構築され、今後も同様な計画がみられる。

図2はCubeSatの2003年の初打ち上げから最近までの目的毎の打上機数と総数をプロットした。総数はすでに170機超えで、目的も宇宙教育即ち学生衛星から国家的なプログラムや民生・商用に特にここ数年の間に急速に展開されていることがわかる。宇宙教育目的の純粋な学生衛

星は減少し、ベンチャー/地域企業や専門企業が主力となり、部分的に学生がシェアしている傾向がみられる。



参考;

1) UCS Satellite Database

2) CubeSat Database-Swartzout

1. 2 日本の小型・超小型衛星の現状

我が国では 1U~2U(1~2Kg 級)の Cubesat や 10~50Kg の衛星が学生衛星を含み継続的に JAXA 副衛星打ち上げ機会等を活用して上げられているが軌道上でのその成果は必ずしも十分とは言えない(下記、参照情報)。一方で国(内閣府、文科省、経産省他)が 4~5 年の歳月と 60 億円超の補助金等を拠出した 10Kg~50Kg 級の 10 機程度が 2014 年から順次打ち上げられ一部にはその成果が出始めてきたが今後 1~2 年の軌道上実証と慎重・冷静な評価が望まれる。その上で今後の展開が注目される場所ではあるが、国家的な小型衛星に対する戦略が、多様・加速化する国際的な衛星利用市場で自立して花開くかは現時点では未知数と言わざるを得ない。

いずれにしても小型・超小型衛星と云えども学生衛星を含みフォローのない(やりっ放し)安易な取り組みは厳に慎むべきと感じている。

参照情報;

1) 日本の小型・超小型衛星の足跡(顛末/異常・故障)

http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/j_ssats_trend.pdf

2) 小型・超小型衛星の確かなモノづくりへの思い

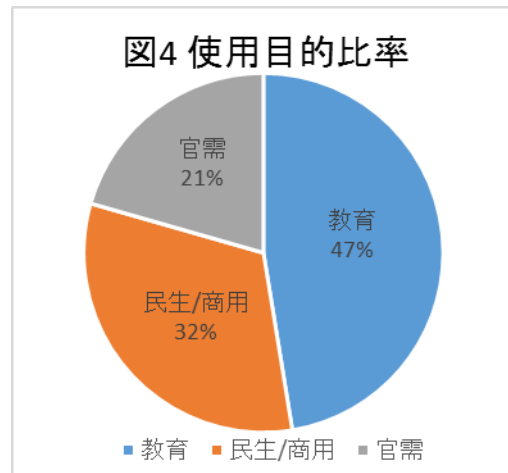
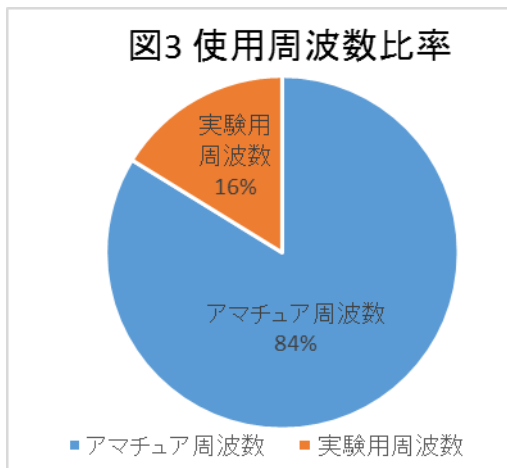
http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/s_sat.pdf

1. 3 近年の課題

一方で、Cubesat を含む小型・超小型衛星計画の急激な打上数の増加はいくつかの課題も浮かび上がっている。例えば、世界中のアマチュア無線家に個人的なアマチュア無線業務として割当てられている衛星用周波数を米国 FCC はその情報公開を遵守し、占有しない、および打上軌道によってはスペースデブリ対策などの条件を付けて政府や企業の実験用に開放する政策をとった結果、一挙に打上・計画数が増加している。

図 3 は小型・超小型衛星で使用されている周波数比率、図 4 は目的比率を示しているが目的では民生・商用、官需が半数を占めているものの、使用している周波数の 80%はアマチュア無線用周波数を使用している。

また、衛星のミッション(役割)も単にテレメトリ発信するだけのもの、それも軌道上で稼働しないものが相変わらず多く、特に宇宙工学教育にとっての学生衛星の位置づけ(教育外を含)と確かなモノづくりが急務となっていると感じる。



2. これからの小型・超小型衛星がブレークスルーするための技術展望

小型・超小型衛星分野での今後の起爆剤は、日進月歩する MEMS 技術を如何に取り込むかは我々の身近な日用品と共通するところまで来ていると感じる。

小型・超小型衛星技術および共通技術は機器の低消費電力・小型化技術となるが、共通のキーワードは、電力(低消費電力、発電効率)、重量(軽量化、重量比率)、そして機器形状の小型化であり、加えて、宇宙機固有の必須技術; **姿勢/指向制御**、推進系システム、インフラータブル構造、スペースデブリ対策を含めた軌道制御他が挙げられる。

衛星システムの観点からは;

小型・超小型衛星にはより低価格、短期間の開発が注目される。そのためには、「確立された技術で確実な開発」から「ミッションに即した先端の技術を利用して、確実に安価・短期に開発」と言う時代になってきており、一口に言われてきた「確実に」に対して「どの技術をどのように使って、確実に開発していくのか」が明確な要求となっている。それを実現するキー技術では MEMS 使用で容易にできるようになってきている。即ち、MEMS を如何にシステム統合に活用し、さらに COTS 使用の吟味力(放射線耐性他)が重要とみたい。

電力システムは;

高効率太陽電池(30%超、重量約 85 mg/cm²)と高比率エネルギーを持つリチウムイオン電池(平均 200wh/kg)が小型・超小型衛星を実現する。とくにリチウムポリマー電池パックはインテグレーションに自由度と効果があると考え(関連技術の実証としてほどよし 3 号で実施中?)。

また、電力制御回路/電源回路では偶発する SEU に対して堅牢で高信頼性が必要。加えて柔軟性がある薄膜太陽電池は新しい太陽電池パネル構造として期待される。

推進・軌道制御系システムは;

小型・超小型衛星分野では現在では未成熟技術だが、多様化するミッションや軌道離脱(デオービット)のための軌道制御を実現するために重要で、コールドガススラスタと固体ロケットモーターの組み合わせが期待される他には、展開膜構造による軌道離脱方法は現実的であろう。
(比推力は小さいが、ほどよし4号でイオンスラスタ実験が始まり、今後長時間作動試験の結果が期待される)

参考;

- ・NASA/TP-2014-216648 Small Spacecraft Technology State of Art
- ・宙の会 HP 小型衛星論シリーズ No3 小型衛星 vs 大型衛星の対峙構図
<http://www.soranokai.jp/>

3. あとがきに変えて; 今後への期待

ユーザーコミュニティがコミットするミッション要求と衛星技術が、衛星規模を含めた能力とコストを形成すると考え、目指すミッションに対して適当な衛星規模/軌道選択があり、ミッションとコストおよび、リスクの明確なトレードオフ(バランス)で、最終的な衛星規模が決まると云ってきた。即ち、小型衛星利用の市場開拓を、「ユーザーコミュニティ(研究/事業主体)の利用目的(ミッション/アプリケーション)に即した技術(先進/既存)を駆使して、確実にかつ少ない投資(安価)で短期間で実現する」ことを目指すことであろう。

それらのミッション(アプリケーション)は、地球観測、宇宙科学、軌道上技術実証、軍事利用実証、教育・技術者育成に分類でき、通信はアマチュア(無線)衛星以外ではほとんど存在していない。

また、これら小型衛星の衛星バス(衛星システム)は10種程度に分類でき、実績あるバス技術の戦略的な使い回しによるシリーズ化(一種の標準化)で、投入コスト/製造期間の低減や品質向上を重視していることが窺える。その代表的な形態が Cubesat であり Cubest は 1U~6U (1~10Kg)・・・現在は 1U と 3U が主流。このほかには 10~20kg 級、50Kg 級超に対する衛星バスに期待が寄せられる。

以下に4点ばかり課題と期待を特記しておきたい。

1) 打上機会の確保とスペースデブリ対策

小型・超小型衛星打上げの手段は大・中型衛星打上げロケットのピギーバック(副ペイロード)、ISS 放出と複数衛星の相乗りの機会がほとんどで、小型・超小型衛星打上げ専用のロケットが少なく、打上げ軌道や時期の選択に自由度がない課題を抱えている。

我が国では、JAXA が従来の教育等に対して無償打上げが主流であったが、2014 年度からの有償打上げも決まった。その打ち上げコストは、H-II A 副衛星・・・2700 万円/1U~1 億 7 千万円/50Kg、ISS 放出・・・300 万円/1U~と公表された。

また、AIAA/USU_CSS での小型衛星打ち上げ手段の将来像として;

LEO/400kg; 約 8~9 億円、500km/110KG; 約 5 億円、1U; 約 1000 万円、3U; 約 2500 万円

一方、スペースデブリ対策の観点での小型超小型衛星は比較的軽量(1Kg~)であることから ISS 放出や H-II B 副衛星時の低軌道においては空気抵抗を受けやすく Cubesat1~3U 規模(1~5Kg)では大気圏突入時期も打上後数か月から 1 年程度と短い、軌道高度が地球観測に適する 800Km 程度になると大型衛星の場合と大差なく数 10 年の単位になることもあるので能動的な軌道離脱の方策を講じる必要がある。

2) 周波数デブリとならないための留意は必須

前出; 1. 3 参照

別出し; JA6XKQ 武安義幸氏編「アマチュアの無線と衛星」・・・アマチュア無線帯は情報公開を遵守

http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/031018unisec_freqwg_ja6xkq_print.pdf

3) 学生衛星に期待する確かなモノづくりへの思い

別出し; 小型・超小型衛星の確かなモノづくりへの思い

http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/s_sat.pdf

別出し; 日本の小型・超小型衛星の足跡(顛末/異常・故障)

http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/j_ssat_trend.pdf

4) 国費(助成・補助金等)を投入した複数のプログラムと、これから

国費投入と大型衛星との対立軸で立ち上げた複数の計画(UNIFORM、ほどよし他)も、その実態と展望について冷静に評価し、今後をどのようにするのが問われる時期を迎えつつあると感じている。

一つには、複数のプロジェクトの体制や費用の使い回し方、今後への展望など、それぞれにはオープンに出来ない部分もあろうが、今後につなげなければならないと感じている。

例えば、当初若手主導でベテランをメンターとした計画(サイズアップ)が、現実には衛星 OB 主導(サイズダウン)になっていること(ほどよしを進めるには経験ある衛星 OB(ベテラン)主導の必要性は提言してきたところ・・・)や費用的な面も含め UNIFORM シリーズと HODOYOSHI-3/4 衛星バスは EM を含め一体開発(それは良いことではある)が実態のようですが表には出ていない(文科省・行政事業レビュー、学会他)。

現実には NESTRA が中心となった UNIFORM、H-3/4 と AXELSPACE の H-1、そして東北大の流れの RISING2→H-2(RISESAT)の 3 つの流れの他にも今後どのように活用、利用するのかに興味を持ち注視したい。大きな課題の一つはやはり今後の費用を如何に捻出するのだろうか？ 再度国費を狙う???

もう一つ、地球撮像カメラが大型衛星のそれとの対峙構造で搭載されましたが、多数衛星の運用性やトータルミッションコストとの費用対効果を考えたとき現状での延長線上で展望があるのか

どうか考えさせられる。規模は小さくても一通りのミッションを実現し、ビジネスに結び付けるには、相当数の数は必要で、トータルミッションをコストと規模で評価してみるとある程度の規模のそれと同等になるのではないか？

加えて設計上の信頼度は従前の衛星設計手法を整理することと新しい技術をどのように組み合わせ実績を積みかを整理することで学術的な意味合いより宇宙を侮らない教訓としての手法を整理することはできるでしょうが、品質については作りこみのステップもあることから、これをどのように組み込んで整理するかが課題と思う。

この後に続く複数の打上と数年後の成果次第となるが、関係者にとってみれば次なる画策はすぐにでも始めなければならないことですので、先生方には、ぜひ衛星規模の対峙構造でなく、ミッションオリエンテッドで小型・超小型衛星ならではの進化を期待し今後を注目したい。

一方で継続的な事業として世界戦略を持ったビジネスプラン、マーケットプランの早期の立案・展開が必要と思うのは私だけか？

5) 小型・超小型衛星利活用発展に関わる法制の認識・理解・整備について

人工衛星に限らず宇宙活動に係る者は、宇宙開発利用に関する条約その他の国際約束(月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約(「宇宙条約」)、宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定(「宇宙救助返還協定」)、宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約(「宇宙損害責任条約」)及び宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約(「宇宙物体登録条約」)他「宇宙諸条約」を実施するために必要な事項等に関する法制の認識・理解・整備が必要である。

加えて、「電波法」、輸出入や武器輸出三原則の管理に関わる国内法、さらには宇宙システムを開発・運用することに関係する諸外国の関係法制を認識・理解することや必要な法整備(喫緊の課題としてはリモートセンシング法・データポリシーは必須:現時点では未策定)が肝要である。

中でも小型・超小型衛星の開発・利用ではともすると法制に関して安易な認識・理解でいると打上が出来なくなったり、運用成果が公表しにくくなる心配も出てくる。特に米国のITAR(国際武器取引規則)、EAR(輸出管理規則;域外適用や再輸出取引も規定)に対する対策(物だけでなく設計ノウハウ等)やリモセンデータのデータポリシーの存在は国際協力ケースや競争の中では一段の配慮が肝要と考える。

以上、身近な小型・超小型衛星利用(主に学生衛星や民生利用)に取り組む際には、上記を十分念頭に置いて、かつ人材育成・維持(技術は人なり)を心がけ、ミッション要求に対してバランスの取れた計画が肝要で、ユーザーコミュニティが鼓舞して具体的な持続性ある計画に発展することを熱望する。

白子悟朗(元 NEC)

技術士(航空宇宙部門登録)

SSC 技術士事務所(個人)

アマチュア無線局 JG1LDV(元 JARL アマチュア衛星委員会委員)

衛星設計コンテスト実行委員

拙作 SSCnote.-HP; 宇宙をもっと身近に!

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

— http://www2s.biglobe.ne.jp/~gshirako/s_sat_no9.pdf —