

## Small Satellite Conference 2018

### 参加報告

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構  
研究開発部門 第一研究ユニット  
研究開発員 柴田 優一

#### 1. 会議概要

本稿では、2018年8月4日－2018年8月9日に米ユタ州ローガンで開催された32nd AIAA/USU Conference on Small Satellites (SSC : Small Satellite Conference) における海外の小型衛星業界 (特にCubeSat) の動向を紹介する。

本会議は、米航空宇宙学会とユタ州立大学の主催で、2日間のPre-conference Workshopと4日間のTechnical Conferenceの計6日間の日程でユタ州ローガンに所在するユタ州立大学のキャンパスで開催された。学会はオーラルセッション、ポスターセッションおよび展示会で構成される。今回の会議は、参加者3,050人 (900団体)、42カ国、発表230件、展示ブース222社、スポンサー67社と小型衛星の国際会議としては世界最大規模である。学会の設立は1987年であり、今回 (2018年) で第32回



SSC Technical Conferenceの展示会の様子

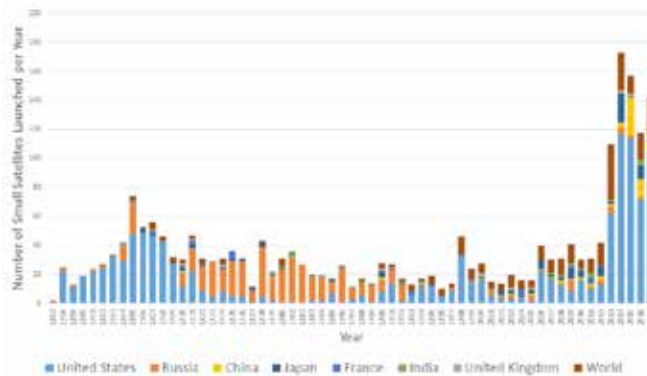
となるが、参加者数は毎年増大しており小型衛星業界が非常に活況であることが窺える。

#### 2. 小型衛星業界の動向

はじめに、小型衛星業界の動向について簡単に紹介する。

Euroconsultによる今後10年間 (2018－2027年) の市場予測によると、500kg以下の小型衛星の打上げ機数は、過去5年間においては平均190機/年であったが2022年までには580機/年に達し、今後10年間で計7,000機の小型衛星が打上げられるという。その市場規模は380億ドルになると予想されている。

小型衛星のアプリケーションとして最も大規模になると考えられているのがブロードバンド通信衛星で、3,500機/10年の打上げが予想され、そのうちの92%の機数を2社のメガコンステレーションによって占めると見込まれている。次点でリモートセンシング衛星が1,400機/10年 (過去10年間では計540機) に増加し、そのうちの57%の機数を3社のコンステレーション (うち2社はCubesatベースのシステム) が占めると考えられている。また、船舶識別 (AIS) や航空機追跡 (ADS-B) システム向けのナローバンド通信衛星も、14社のコンステレーションによって850機規模のマーケットに成長すると予想されている。



小型衛星（200kg以下）の年間打上げ機数の推移 [1]

### 3. 科学ミッション

SpaceWorks [2] によると、CubeSat（1－100kg級）のミッションの割合は、2013－2017年においてはリモートセンシングミッションが58%と最も多く、次点で科学ミッションが26%を占めている。2018－2022年の予測では通信衛星の割合が増えるものの、科学ミッションは16%程度と見込まれている。

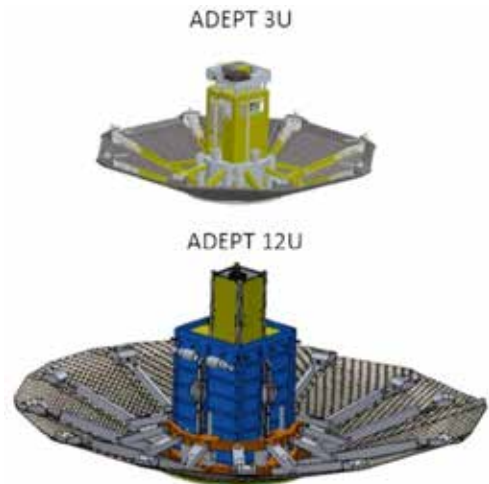
NASAでは小型衛星・CubeSatによる多くの科学ミッションを実行・計画しており、約1億ドル／年の投資を行っているという。科学ミッションのセッションで特に注目を浴びていたのが、NASAジェット推進研究所の火星探査機InSightと共に2018年5月に打上げられたMarCOに関する報告である。MarCOはInSightの通信中継CubeSat（6U）である。UHFおよびXバンドアンテナを搭載し、ダウ

ンリンク8kbps、アップリンク1kbpsの通信速度で中継を行う。NASAによるとCubesatによる火星探査は初とされている。2018年11月にはMarCOによって撮影された火星の画像が公開され話題となった。

また、同じくNASAではCubesatの再突入システムADEPTを開発しており、太陽系惑星の着陸探査やサンプルリターン等のミッションへの応用が期待されている。傘を展開する方式で、3U一体型と12Uディスパンサ型の2種を開発中である。同セッションにて、アークジェット熱試験（表面温度1,500℃）の結果やミッションコンセプトについて報告がされた。



2018年11月にNASA MarCOによって撮影された火星の画像 [3]



NASA ADEPT 展開式再突入システム [4]

#### 4. リモートセンシング

リモートセンシングに関連する話題では、米Spireから発表があった。Spireは、衛星設計・製造から運用・データ解析まで、打上げを除く全ての工程を一社でインテグレートするという。Cubesatコンステレーションによるリモートセンシング（気象観測、船舶・航空機追跡等）のデータ提供・解析サービスを主力とし、これまでに衛星80機以上の打上げ実績があり、地上局も25局以上展開している。また、短期での衛星製造をアピールしており、設計・製造から納品までを3-12ヶ月以内の納期を実現するという。テレメトリデータはWebベースのシンプルなAPIで提供されるため、ユーザは衛星データを容易に取り扱うことができる。

日本からはキヤノン電子より高解像度地上観測衛星の報告があった。キヤノン電子では50kgクラスの小型衛星を開発しており、リモートセンシング技術実証衛星としてCE-SAT-Iを2017年6月に打ち上げた。メインカメラとして焦点距離3,720mm、ミラー径400mmの光学系と、キヤノン製カメラ（EOS 5D Mk. III）ベースのイメージセンサおよび画像処理プロセッサを搭載し、地上分解能は0.9mを実現したという。このクラスの衛星と

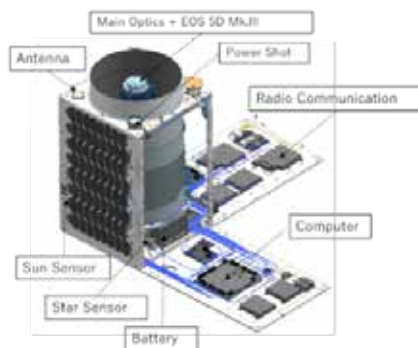
しては非常に高分解能であり注目を集めた。

#### 5. システム・コンポーネント

展示ブースにおいて、非常に多くのCubesatシステムメーカーがせめぎ合っていた。Cubesatサイズのラインナップは3、6および12Uが多く見られた。システムメーカーがバスコンポーネントを一貫して開発・製品化しているケースが多かった。システム構成の代表例として米Blue Canyon Technologiesの製品では、3Uおよび6Uクラスではバス機器の容量が1U、12Uクラスでは2Uとされている。いずれも設計寿命は5年に及ぶという。推進系は含まれていないが、オプションで追加することも可能とのことである。

バスコンポーネント製品を単体で展開している企業もあるが、各社でバスコンポーネントの標準規格の提案や採用は見られなかった。ただし、基板をスタックするようなシステムではPC/104フォームファクタ互換としているメーカーも見られた。

展示会においては多くのコンポーネントメーカーが製品を展示していたが、特に蘭Hyperion Technologiesの非常に小型化された姿勢制御系や推進系コンポーネント等の製品が関心を集めていた。



キヤノン電子 CE-SAT-Iのシステム構成（左）とメインカメラによって撮影された画像（右）<sup>[5]</sup>



クラス	3U	6U	12U
ペイロード容量	2U	5U	10U
太陽電池発生電力	35 W	118 W	250 W
バッテリー容量	75 Whr	75 - 185 Whr	75 - 185 Whr
バス消費電力(連続値)	< 6.3 W	< 6.3 W	< 6.3 W
姿勢制御精度	$\pm 0.002^\circ(1\sigma)$	$\pm 0.002^\circ(1\sigma)$	$\pm 0.002^\circ(1\sigma)$
設計寿命	> 5 年 @ LEO&GEO	> 5 年 @ LEO&GEO	> 5 年 @ LEO&GEO

Blue Canyon TechnologiesのCubesatラインナップ [6]

Hyperion Technologiesの  
Cubesatバスコンポーネント製品 [7]

発中であるが、低軌道（LEO）へペイロード1000kgの投入能力を目標としている。Virgin OrbitのLauncher Oneは空中発射方式による打上げで500km太陽同期軌道（SSO）へ300kgの投入が可能であり、2021年までに実用化を目指す。Rocket LabのElectronロケットはLEOへ400kgの打上げ能力を有し、2017年に初回の打上げ試験を実施したが軌道投入に失敗、その後2018年に打上げを2回成功させた。打上げコストはロケット機体の大きさに比例するが、質量あたりのコストは大型になるほど有利となっている。

## 6. 軌道投入手段

小型衛星の軌道投入手段はコストへのインパクトが大きいため特に注目されている分野であり、低コストな打上げサービスの開発を各社が競っている。現在計画されている小型衛星の打上げ手段として、小型ロケットによる打上げと、大型ロケットを用いた多数機同時打上げプラットフォームの2つに大きく分類される。

展示ブースでは、米Rocket Lab、米Firefly Aerospaceおよび米Virgin Orbitの3社が小型ロケット打上げサービスのアピールを行っていた。Firefly AerospaceのFirefly *a*はこの中で最も大型となり、打上げ実績はまだなく現在開



米Rocket Lab製 Electronロケットエンジン

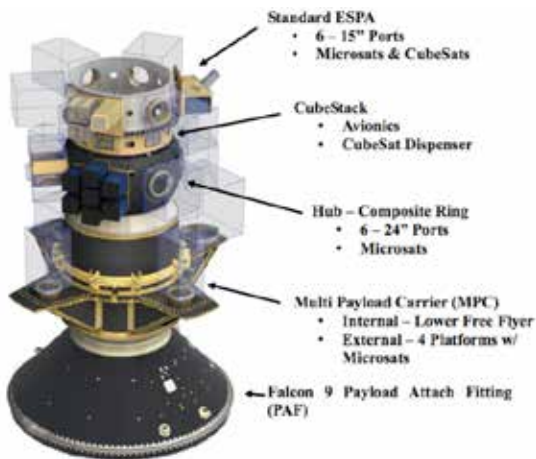


## 次世代小型ロケット（開発中）のコスト見積り

企業	機体	ペイロード	コスト	コスト/kg (500kmSSO)
米 RocketLab	Electron	400kg to LEO 150kg to SSO	\$4.9M	\$33k
米 Firefly Aerospace	Firefly $\alpha$	1000kg to LEO 600kg to SSO	\$15M	\$10k
米 Vector Space Systems	Vector R	60kg to LEO 26kg to SSO	\$2M-3M	\$76k-115k
米 Virgin Orbit	Launcher One	300kg to SSO	\$10M-12M	\$33k-40k

一方で、大型ロケットに小型衛星を複数機搭載して軌道投入する方式も注目を浴びている。

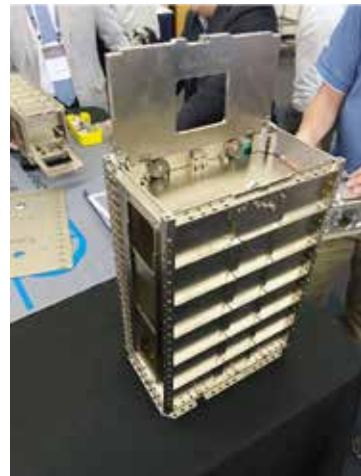
米Spaceflight Industriesでは、Falcon 9ロケットを用いた最大80機の軌道投入プラットフォームを開発中である。0.25U~300kgクラスの衛星に対応可能としている。このシステムは3つのフリーフライヤから構成され、打上げ後にそれぞれが分離して各衛星を放出する。



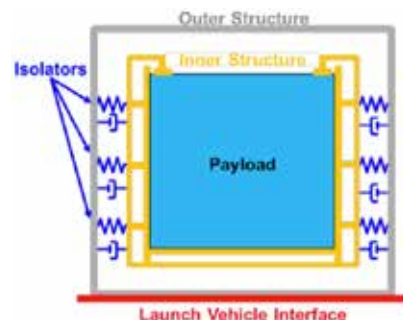
Spaceflight Industries  
多数機軌道投入プラットフォーム [8]

また、Cubesatにおいては、ディスペンサによる軌道投入にトレンドがシフトすると思われる。展示会では、箱状のディスペンサにCubesatを格納して軌道上で放出する機構の展示が見られ、非常に賑わっていた。また、打上げ振動環境を緩和させるために、米

Tyvakからは振動軽減機構を備えた12Uディスプレイサの発表もあり、gRMS応答で70~90%減（ただし、40Hz以下は振動が増大）を達成したという。



Planetary Systems Corp.  
6U Cubesatディスペンサ

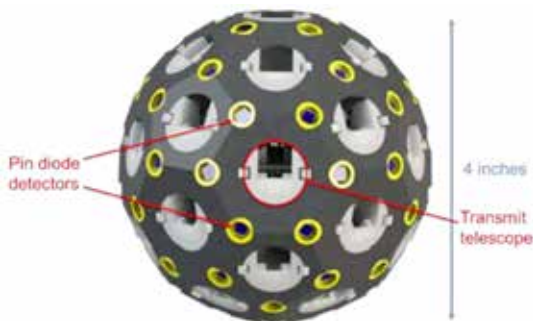


Tyvak 振動軽減機構を備えた  
12Uディスペンサ [9]

## 7. 通信

これからのコンステレーション時代において、特に通信バンドの枯渇が課題であると認識されており、衛星間は効率的な光通信技術が鍵となると考えられる。光通信技術は盛んに研究されているが、一方で、現時点で光通信コンポーネントを製品化している企業は見られなかった。

NASAジェット推進研究所からは、MEMSミラーを用いた衛星間のレーザ光通信の研究の発表があった。全球での同時マルチリンク通信を可能としており、6U Cubesatへの搭載を想定している。送信出力1Wとした場合、200kmの距離で、1Gbpsの通信速度の実現を見積もっている。



NASA MEMSミラーを用いた  
衛星間レーザ高速通信の研究<sup>[10]</sup>

## 8. 所感

Small Satellite Conference 2018は、小型衛星市場は今後も大きく成長していくという予想を裏付けるかのような活況を呈しており、本会議に初参加であった筆者はその強い勢いに圧倒されたというのが素直な感想である。ビジネスおよびサイエンスの両者において、小型衛星の応用の可能性は広がっており、ま

た、短期間で開発が可能という小型衛星の強みを活かした迅速な実証実験により、技術レベルの発展は目まぐるしい。引き続き、今後の小型衛星市場の発展をフォローしていきたい。

- [1] Bhavya Lal et al., "Global Trends in Small Satellites", IDA Paper P-8638, 2017.
- [2] SpaceWorks, "Nano/MicrosatelliteMarket Forecast 2018"
- [3] <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7295>
- [4] Alan M. Cassell et al., "ADEPT, A Mechanically Deployable Re-Entry Vehicle System, Enabling Interplanetary CubeSat and Small Satellite Missions", *Proc. of 32nd Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites*.
- [5] Nobutada Sako, "Utilizing Commercial DSLR for High Resolution Earth Observation Satellite", *Proc. of 32nd Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites*.
- [6] <http://bluecanyontech.com>
- [7] <https://hyperiontechnologies.nl>
- [8] S. Schoneman et al., "SSO-A: The First Large Commercial Dedicated Rideshare Mission," , *Proc. of 32nd Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites*.
- [9] Justin Carnahan et al., "Internally Isolated 12U Rail CubeSat Dispenser with Analyzable Boundary Conditions", *Proc. of 32nd Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites*.
- [10] Jose E. Velazco, "High data rate inter-satellite Omnidirectional Optical Communicator", *Proc. of 32nd Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites*.