

# 展開型エアロシエル実験超小型衛星「EGG」の大気圏突入

## 発表者

鈴木宏二郎(東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授)

今村 宰 (日本大学生産工学部 准教授)

山田 和彦(宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 准教授)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)

東京事務所 地下1階 プレゼンテーションルーム

2017年6月23日 記者発表

## ■名称の由来:

EGG(エッグ)衛星 = re-Entry satellite with Gossamer aeroshell and GPS/Iridium  
(超軽量空気ブレーキとGPSおよびイリジウムSBD通信による運用を行う大気圏突入衛星)

■衛星の大きさ、カテゴリー: 大きさ約11cm × 11cm × 34cm 重さ約4kg、  
超小型衛星(ナノサイズ衛星)、ISS放出衛星(3Uサイズ)

■開発者: 東京大学、日本大学を中心とした大学と、JAXA宇宙科学研究所の研究者

## ■衛星の特徴:

- 1) ガス充填で展開する空気ブレーキ傘(エアロシェル)を有する(展開時の直径約80cm)
- 2) イリジウム衛星通信サービスのみによる衛星運用

## ■飛行実験の実施概要:

2017年1月16日 国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」から放出

2月11日 エアロシェル展開

5月15日 太平洋上の高度95km(推定)での通信を最後として、大気圏突入、焼失。

## ■主な成果と意義:

- 1) 通信ネットワークを利用した地上アンテナ不要の低コスト衛星運用、
- 2) 超小型衛星が宇宙からものを持ち帰る新サービスにむけた技術実証、
- 3) 超小型着陸機による低コスト惑星探査の実現にむけた技術実証

### イリジウムSBD通信:

- ・アメリカ・イリジウム社が提供するグローバルな通信サービス(日本ではKDDI社が窓口)。
- ・SBD(ショートバーストデータ)は、メールの添付ファイルのイメージでデータ通信を行う。
- ・イリジウム衛星ネットワークとイリジウム地球局を介して、EGG衛星はインターネット接続。
- ・地上ではグローバル通信インフラとして確立されている。
- ・宇宙空間でのグローバル通信としての有効性については、これまで明らかになっていない。

### 超小型衛星放出機会提供:

- ・CubeSat規格衛星(1~3U、1Uサイズ=約10cm×10cm×10cm)と50kg級の超小型衛星を、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」から放出機構(J-SSOD)で打ち出す。
- ・JAXAが提供しており、有償と無償の制度あり。※今回は無償の制度を利用。

<http://iss.jaxa.jp/user/opp/jssod/>

### エアロシェル:

- ・人工衛星が大気圏に突入する際に、機体を**空力加熱**や風圧から守り、かつ、空気抵抗を発生させて減速させるための構造体。
- ・表面全体が熱防御材料でできており、衛星本体を内部に搭載するカプセル型がほとんど。(例:はやぶさサンプルリターンカプセル)。

### 空力加熱:

- ・大気圏に突入した飛行体表面では、ぶつかってきた大気分子がせき止められる。
- ・運動のエネルギーが熱に。飛行体は高温の気体に包まれる(火の玉状態)。
- ・表面は高温気体から加熱(空力加熱)を受ける。

- 宇宙空間から地上へ物資や人員を輸送する際の大気圏突入飛行技術の成熟なしに宇宙活動の隆盛はあり得ない。
- 最も厳しいハードルのひとつは、空力加熱による火の玉対策
- パラダイムシフトの提案：  
「予測と防御法の高度化」から「空力加熱そのものを低下させる」ことへ
- 軽くて大きな空気ブレーキ傘(エアロシェル)は空気ブレーキの効きがよい。
- 大気密度の薄い高高度で効率的に空気ブレーキがかかれば火の玉は弱くなる。(密度が低くなるため)
- 耐熱性かつ強度に優れた膜面材料を用いて軽量大面積のエアロシェルにより、上記のシナリオは実現可能

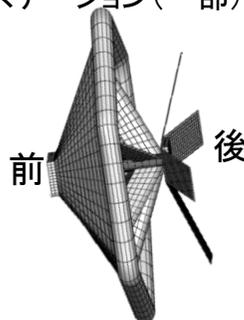
国際宇宙ステーション  
を出発(高度約400km)



EGGが撮影した宇宙  
ステーション(一部)

飛行高度

軽量大面積の展開型  
エアロシェル  
(EGGスタイル)の飛び方



空気ブレーキ展開後  
のEGG衛星(想像図)

100 km

軽量大面積化

空力加熱で  
焼失処分

高速かつ低高度の  
飛行で加熱は厳しく

従来の機体の飛び方

0

飛行速度

秒速8km

### ■ 折りたたみ展開式膜面エアロシェルに期待されるメリット:

- 1) 低密度の大気中でも効率よく空気ブレーキがかかること  
→ 火星への応用に期待
- 2) 軽量で、使う前は折り畳んでコンパクトに収納することが可能  
→ 小型、超小型衛星でも搭載が可能
- 3) 大気が濃くなる前に減速を済ませてしまえること  
→ 火の玉を弱くし、空力加熱を弱くできること、安全性の向上
- 4) 耐熱かつ高強度の国産の優秀な膜面素材を利用できること  
→ 国産民生品を素材として利用、コストの低減

## 開発の特徴

- ・飛行実証を重視
- ・大学—JAXAの研究室連合
- ・学生や若手研究者が中心
- ・国内業者の協力による手作り体制
- ・JAXA飛翔体、設備の利用機会活用

### MACFT



### miniMAAC



### MACFT2



### sMAAC



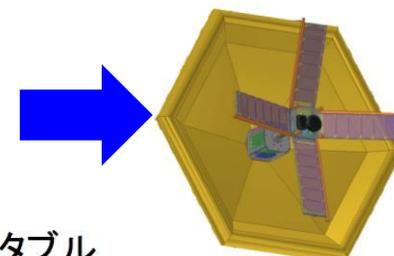
飛行実験日 2003,9,1  
 打上げ 大気球  
 実験場 三陸  
 最高高度 40km  
 全機重量 69kg  
 エアロシェル直径 1.35m  
 半頂角 45度  
 展開方式 バネ  
 最大速度 —  
 弾道係数( $C_D=1$ ) 48kg/m<sup>2</sup>

2004,8,28  
 大気球  
 三陸  
 39km  
 106kg  
 1.45m  
 45度  
 バネ  
 M=0.94  
 64kg/m<sup>2</sup>

2009,8,25  
 大気球  
 大樹町  
 25km  
 3.4kg  
 1.26m  
 60度  
 インフレータブル  
 低速  
 2.7kg/m<sup>2</sup>

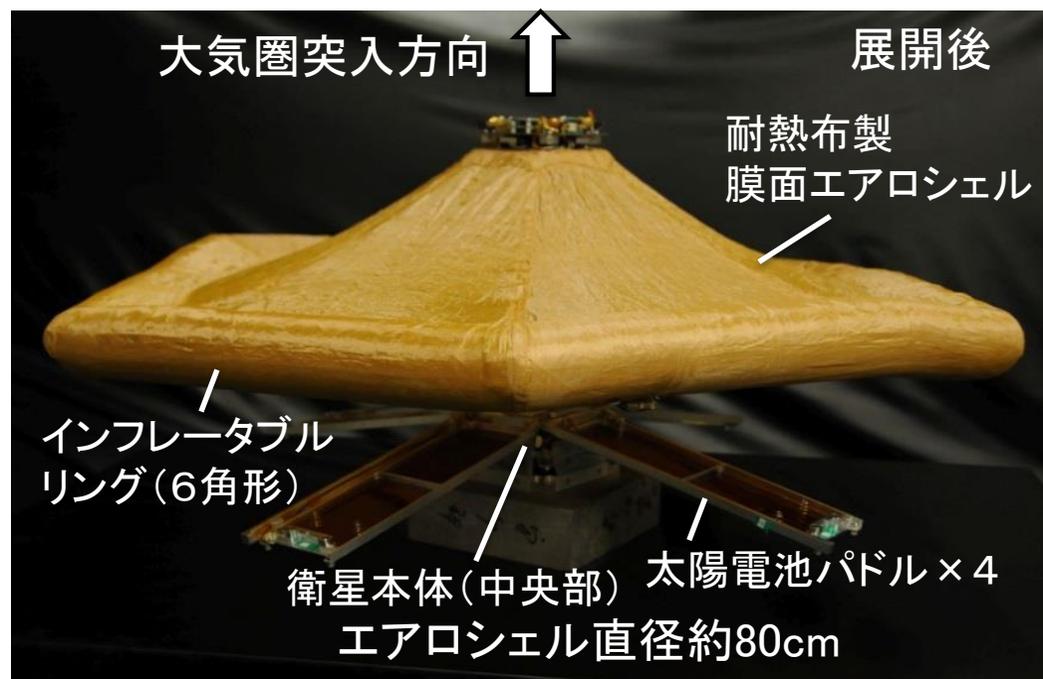
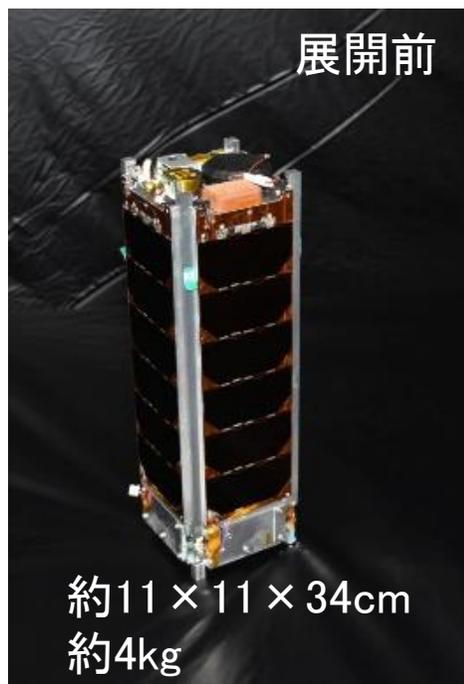
2012,8,7  
 観測ロケット  
 内之浦  
 150km  
 15.6kg  
 1.2m  
 70度  
 インフレータブル  
 M=4.6  
 14kg/m<sup>2</sup>

### EGG



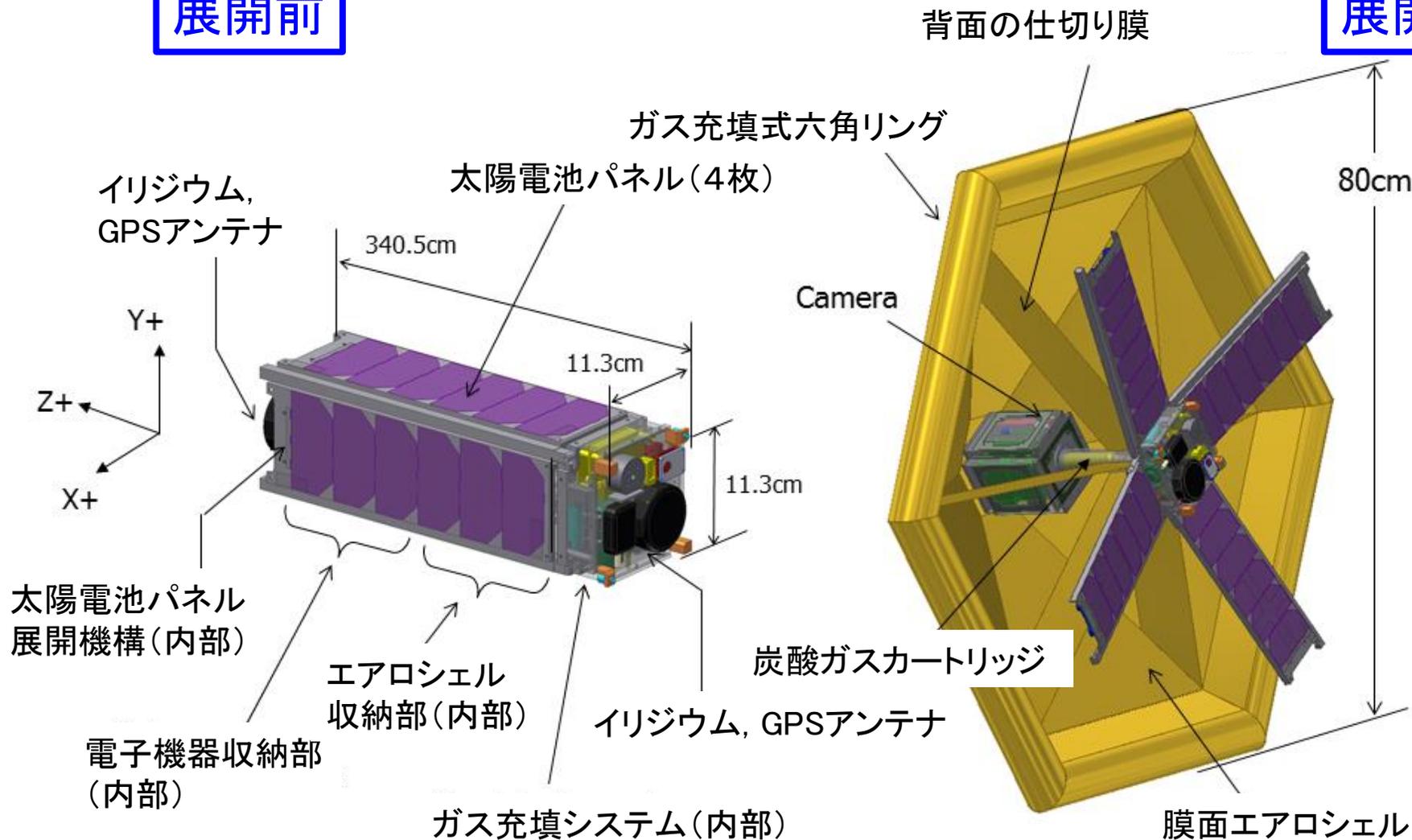
直径80cm(展開時)  
 重量4kg

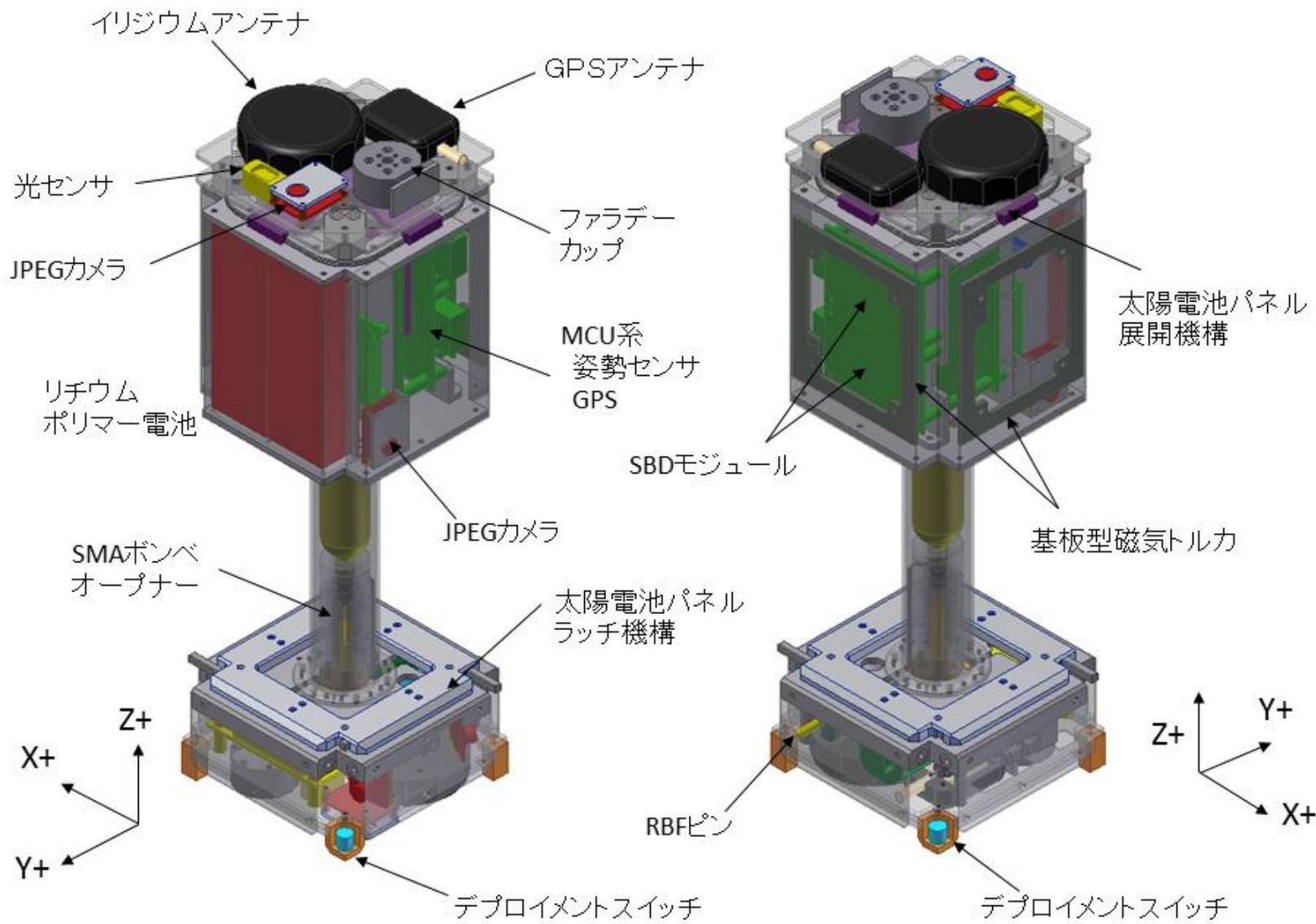
- 1) 宇宙でのGPSを利用した位置情報取得とイリジウムSBD通信実証  
(専用基地局不要の超小型衛星運用実験)
- 2) 軌道上での展開型膜面エアロシェル展開実験  
(ガス圧で展開するインフレータブル(浮き輪方式)リング支持構造)

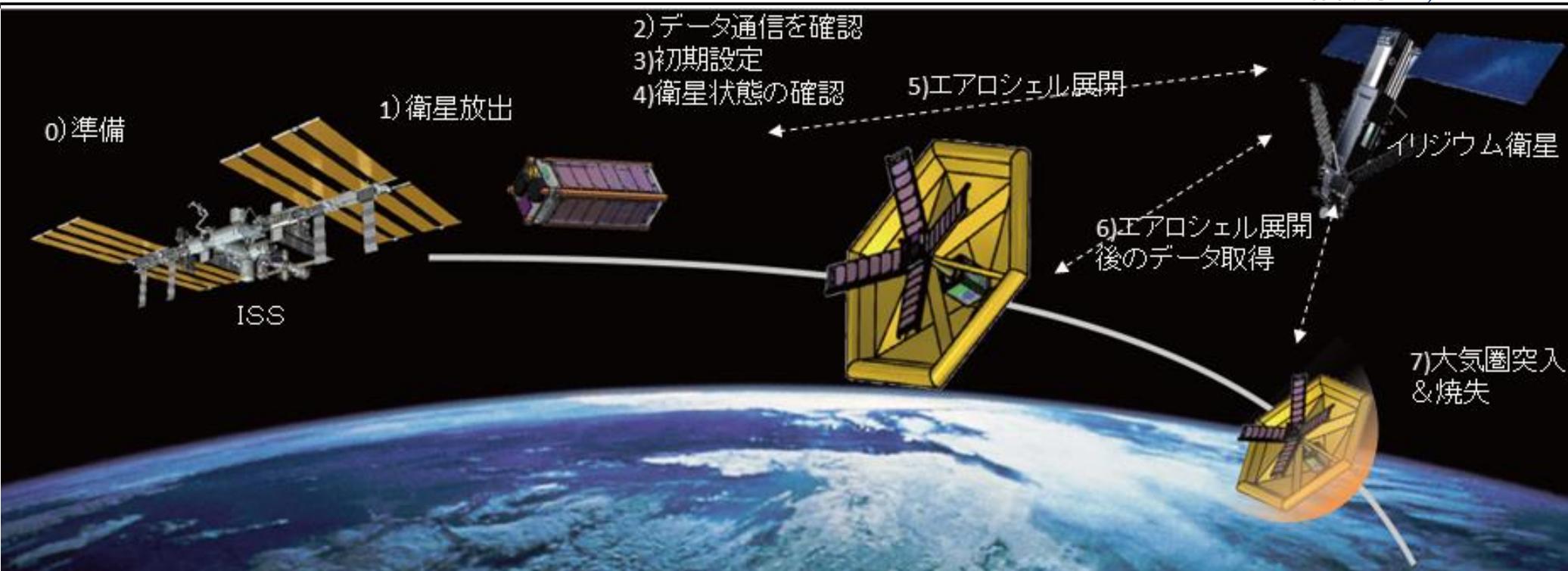


展開前

展開後

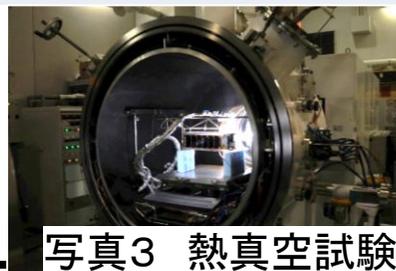
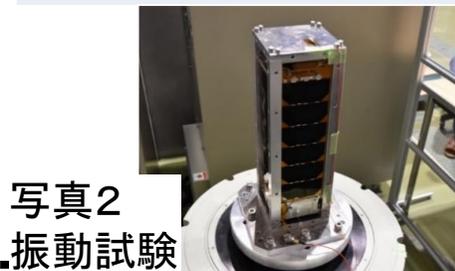
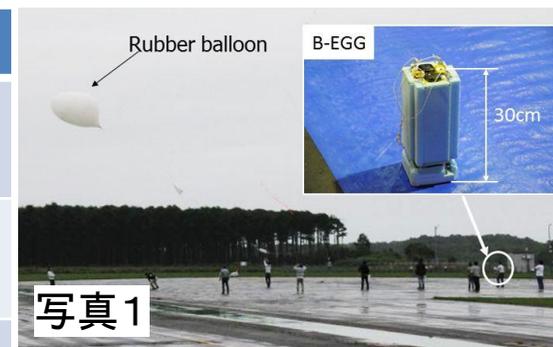






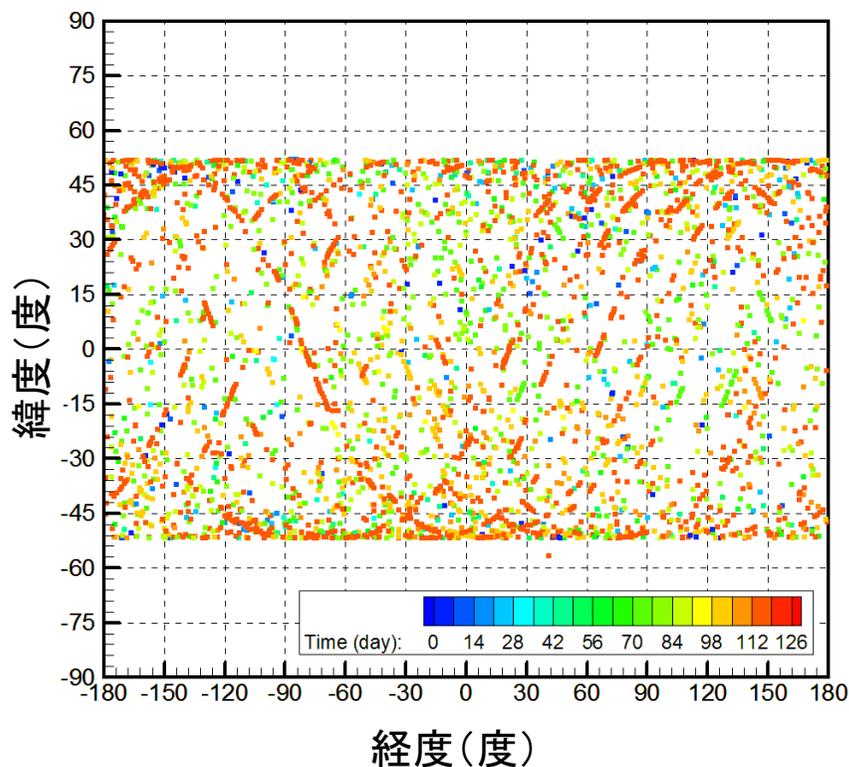
- 1) 衛星放出 & スイッチON、30分後にイリジウム通信開始
- 2) データのダウンリンクとアップリンクを確認
- 3) 衛星の状態確認、JPEGカメラ画像確認、GPSデータによる軌道同定など
- 4) エアロシェル展開シーケンス実行  
 太陽電池パネル開放→SMAボンベオープナー開放→ガス注入→展開
- 5) 大気抵抗による軌道落下中の各種データ取得
- 6) 大気圏突入、焼失

日付	できごと
2014年9月	EGGが平成28年度上期「きぼう」放出超小型衛星として採択される
2015年8月	JAXA気球を用いたEGG主機構に関する飛行実証 B-EGG (写真1)
2016年1月より	EGG開発、各種環境試験実施(写真2、3)
2016年11月7~9日	EGG衛星引渡し、JSSODへの搭載
2016年12月9日	HTV-6に搭載されH-IIBでISSに向け打上げ
2016年12月14日	HTV-6がISS到着(写真4)
2017年1月16日	EGG衛星がJSSODによりISSから放出に成功(写真5、6)
2017年1月17日	イリジウム衛星を用いた最初の通信に成功
2017年2月11日	エアロシェル展開
2017年5月15日	EGG衛星放出から120日目、大気圏突入、焼失

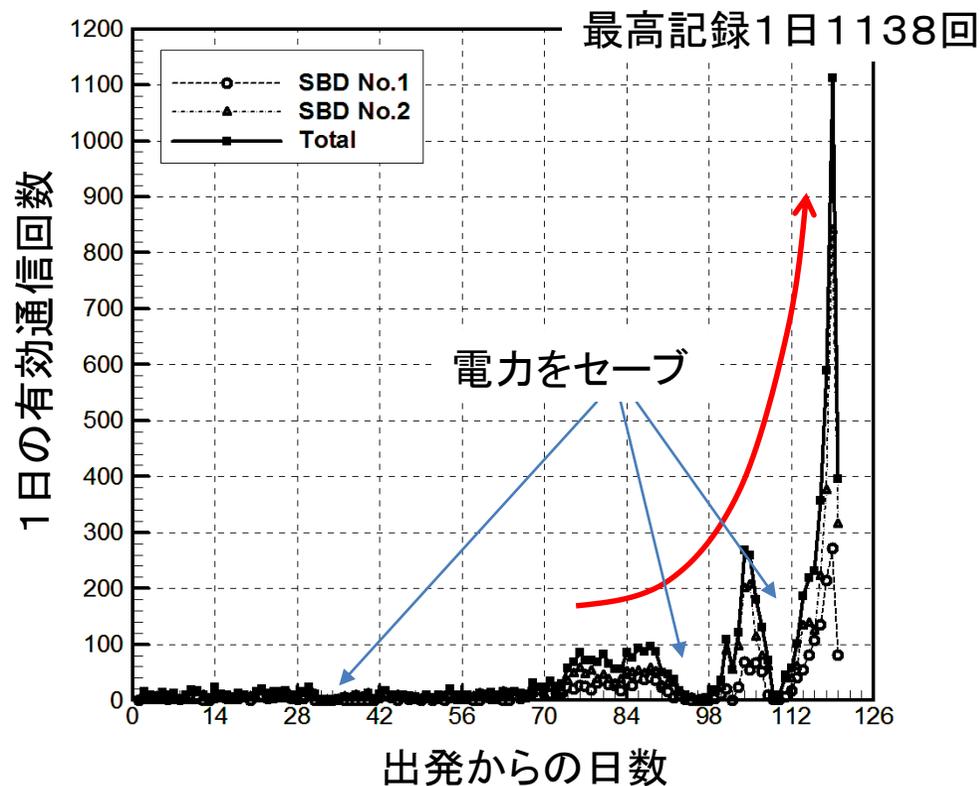




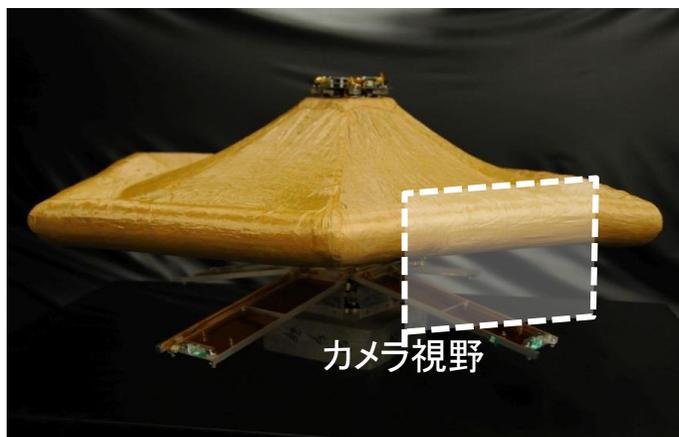
受信地点:  
宇宙空間でもグローバルにつながることを実証



高度が下がるにつれ、通信頻度が増す



## 搭載カメラ映像



カメラ視野



2017年4月14日



2017年4月29日



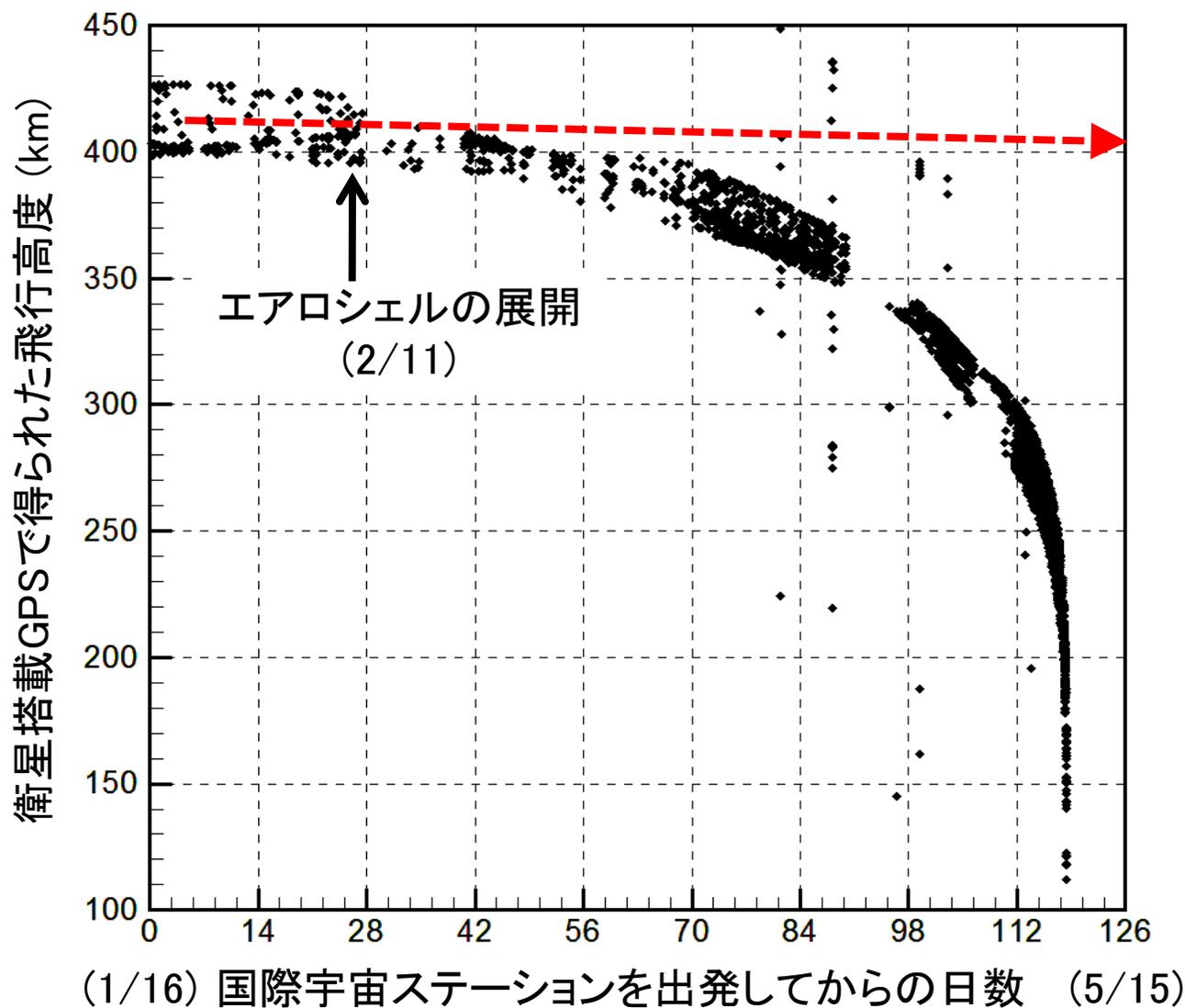
2017年5月8日



2017年5月15日



2017年5月15日  
最後の写真(途絶)



- 1) 宇宙でのGPSを利用した位置情報取得とイリジウムSBD通信による衛星運用実証。  
→既存通信ネットワークインフラを利用した地上アンテナ等専用地上設備不要の低コスト衛星運用が可能に。
- 2) 軌道上でのガス充填方式によるエアロシェル展開
- 3) 低弾道係数化による軌道崩壊データの取得
- 4) 将来の大気圏突入システムにむけた突入初期飛行データ取得  
→超小型低コスト大気圏突入システムの開発。  
超小型衛星が宇宙からものを持ち帰る  
新サービスへの展開。超小型着陸機による低コスト惑星探査の実現へ。
- 5) 国際宇宙ステーションからの放出衛星システム→実験衛星として有用



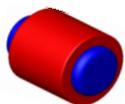
イリジウム地上アンテナ

インターネット

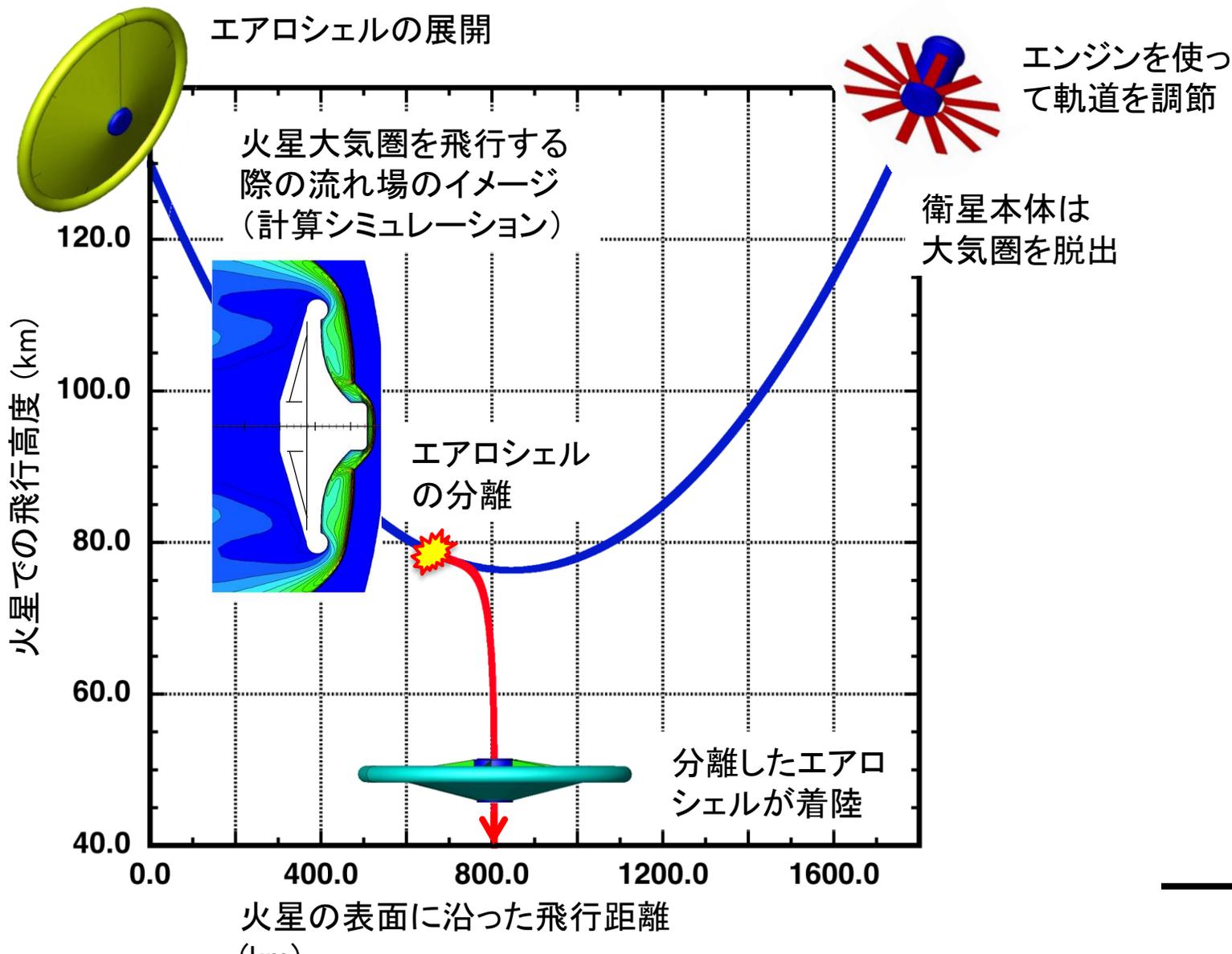


さらに、イリジウムSBD通信を利用した「インターネット接続機器」感覚での簡便かつ低コストな人工衛星運用

100kg以下の  
超小型衛星



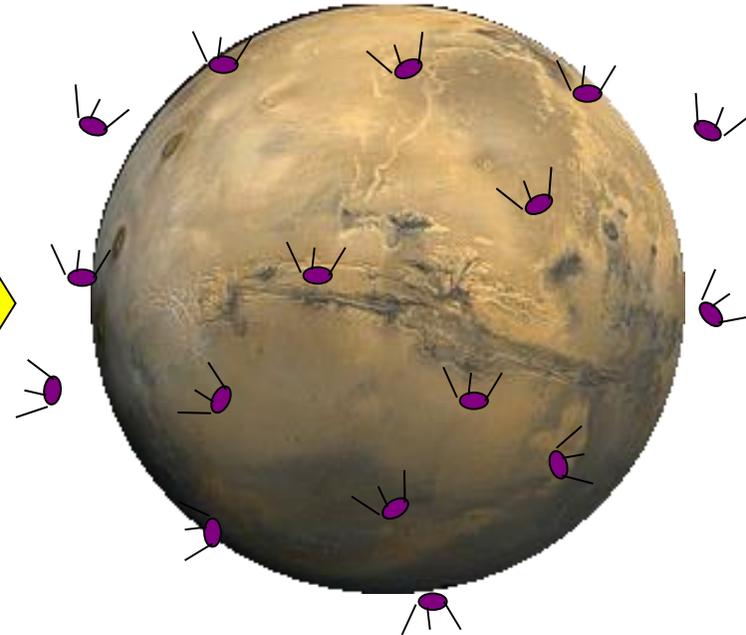
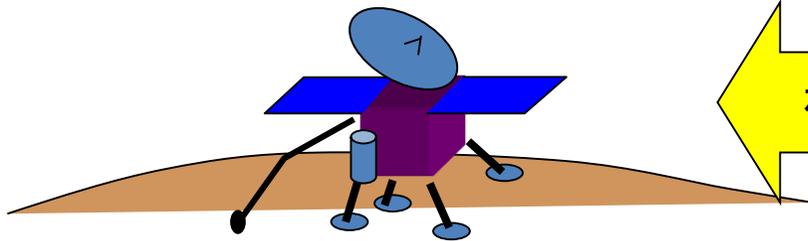
惑星間飛行の  
後、火星到着



## ピンポイント探査

と

## 分散的探査



- ・精密だが全体像はつかみ難い
- ・移動性の確保  
(ローバー、気球、飛行機 etc.)

位置的に分散した情報から惑星システム  
の全体像を描画する