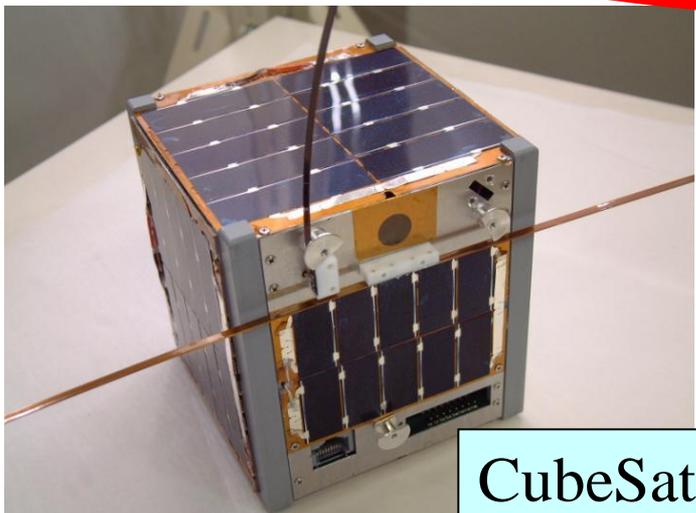


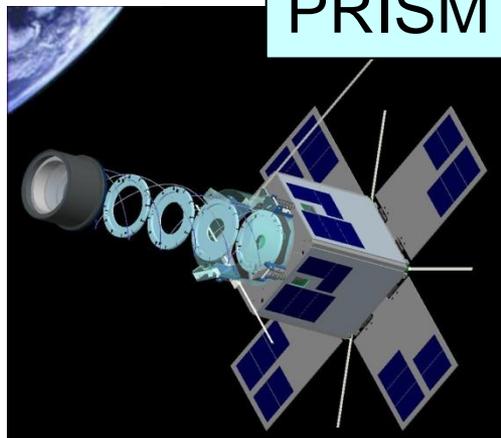
# CanSat とアマチュアロケット実験



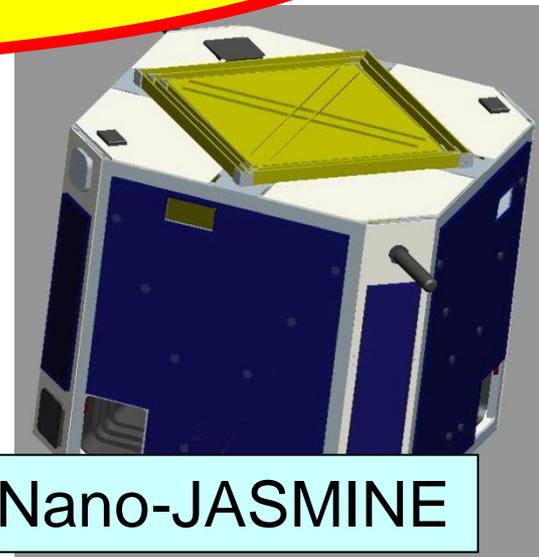
超小型衛星による  
宇宙の特異点への挑戦  
東京大学 中須賀真一



CubeSat



PRISM



Nano-JASMINE

# 目次

---

- 宇宙開発の基本：ロケットと衛星
- 小さな人工衛星の意義
- CANSATからCUBESAT、そしてその先へ  
～大学学生の挑戦
- 超小型衛星が宇宙開発を変える！
- 特異点を目指して

太陽電池展開

衛星切り離し

衛星の業務(ミッション)

- ・ 通信・放送
- ・ GPS (カーナビ)
- ・ リモートセンシング (地球の写真を撮る) など

1段切り離し

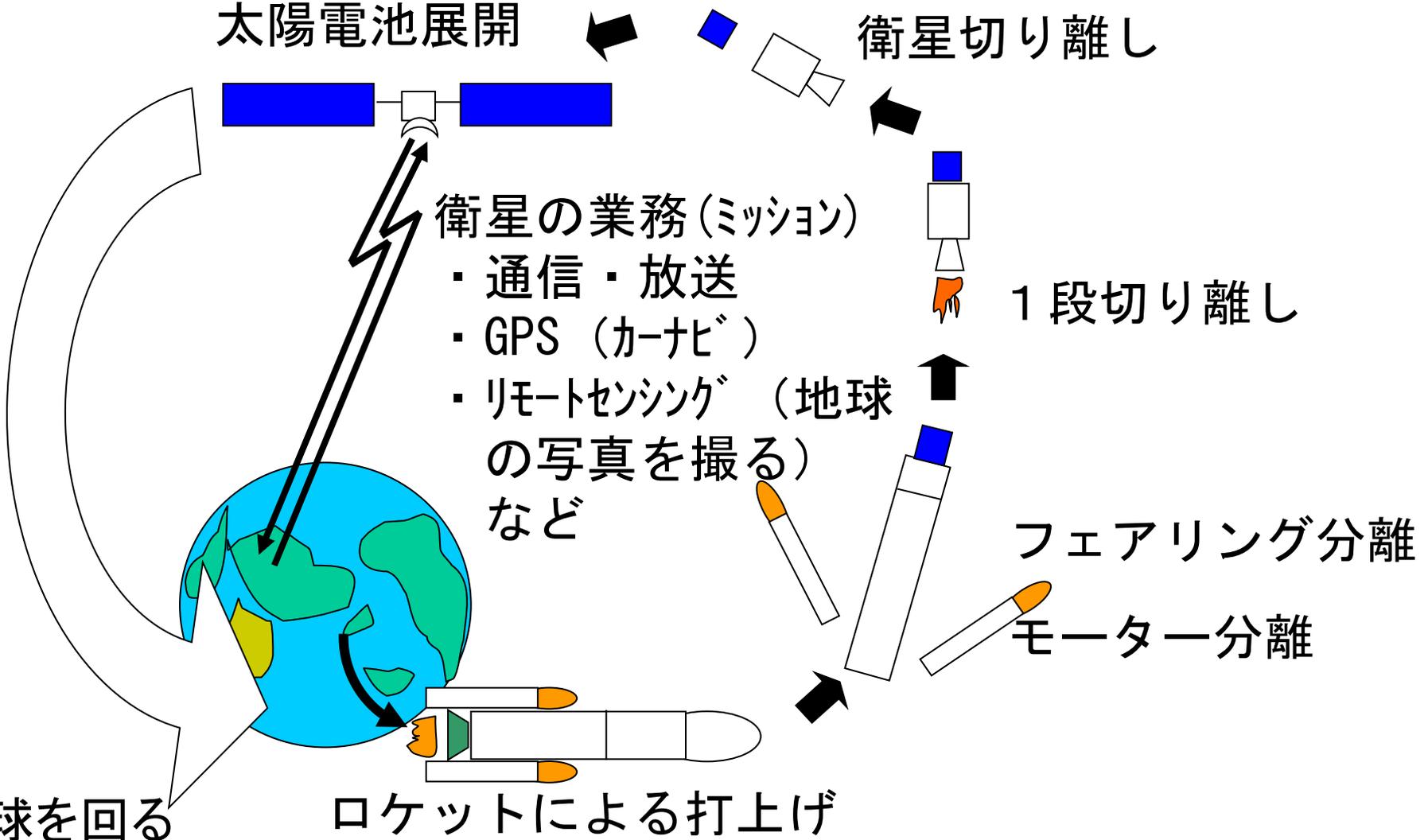
フェアリング分離

モーター分離

ロケットによる打上げ

地球を回る

打上げから人工衛星切り離しまで



# 宇宙輸送系(1) H-IIA



1, 2段とも液体酸素と液体水素  
エンジン性能世界最高レベル

ペイロード能力:

LEO: 10~11t

GTO: 4~5t

2005年2月 MTSAT1R(ひまわり6)

2006年1月 ALOS(だいち)

2006年2月 MTSAT-2(ひまわり7)

2007年9月 SELENE(かぐや)

2009年1月 GOSAT(いぶき)

## (2) M-V



全段固体ロケット  
宇宙研の科学衛星用  
固体ロケットとしては唯一  
深宇宙に衛星を送り込  
んだ。

○ペイロード能力：

LEO： 1.8t

極軌道：1.3t

2005年7月 すざく

2006年2月 あかり

2006年9月 ひので

の打ち上げに成功

# 放送衛星



宇宙開発事業団提供

BS-3a「ゆり」(1990~1998) 静止軌道  $1.5 \times 1.6 \times 3.2\text{m}$  1.1 t

# 宇宙望遠鏡



Hubble Space Telescope (ハッブル宇宙望遠鏡)  
(1990～) 直径2.4mの望遠鏡 11 t

# 深宇宙探査船

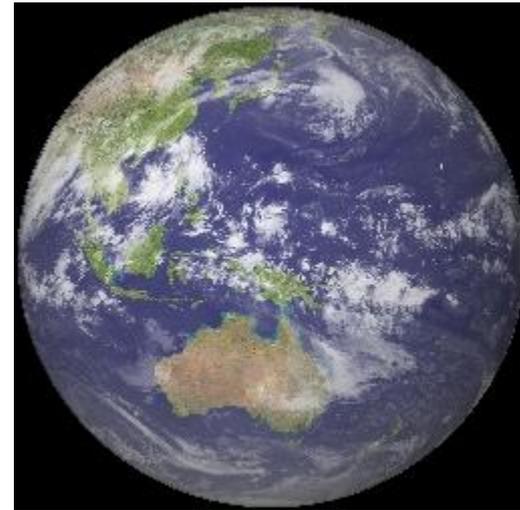
---



はやぶさ(MUSES-C)  
2003年打ち上げ

小惑星「いとかわ」にランデブー  
しサンプル・リターン

# 気象衛星、航空管制衛星



MTSAT-1R (ひまわり6号)  
2005年2月打ち上げ 3.3t

国土交通省の航空機管制システムの実験衛星＋気象衛星

# かぐや (SELENE): 9月14日打上げ成功



3トン

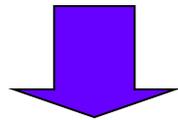
日本で初めての月周回衛星

月の起源・進化の解明(組成、地下構造、磁気・重力等の調査)

# 大きな人工衛星のデメリット

---

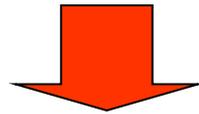
- お金がかかる(1機 数100億円！)
- 開発期間が長い(5年～7年)
- 大勢の人間が必要である(数100人)
- 大きなロケットが必要



- 失敗が許されない→新しい技術に挑戦できない→技術進歩が遅い
- 失敗したときの損失が大きいの→ビジネス困難
- 大学などで手軽に作れない

# その結果：宇宙開発・利用の現状

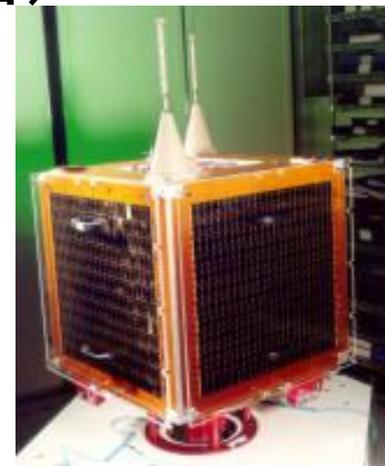
- 1機数百億円、5年以上の開発期間の衛星
  - 国のみが「顧客」、民間利用は一部
  - 通信・放送・観測・科学等に限定
  - リスク大、数が出ない、動きが遅い



- 小型衛星 (50kg~500kg) の登場 (外国)
  - 10億~50億円衛星：地球観測、通信、等
  - 後発国の最初の衛星、宇宙科学 (国)

民間企業、個人が宇宙を利用するには依然として高すぎる「しきい」 → 参入者少なく、広がらない宇宙利用、宇宙産業化

ALOS  
「だいち」  
4 ton  
>400億

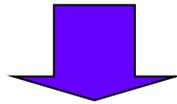


MicroSat100 (SSTL)

# では、小さな人工衛星は作れないか？

- 小型化が進んでいる身のまわり！

携帯電話、コンピュータ(特にパソコン、ノートパソコン)、カセット・CD・MDプレーヤー、電子辞書、液晶テレビ、時計、GPS、---



小型化は可能。でも大型衛星をただ小さくしただけではだめ！

鍵

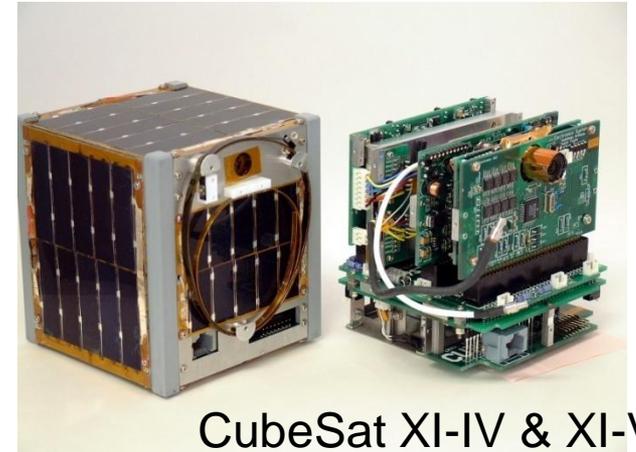
発想の転換。既成観念の打破。

- ・別のメカニズムでの機能の実現
- ・単純機能化
- ・小型化できるものだけ(全ては無理)

# 衛星革命！：超小型衛星の出現

東大のCubeSat(1kg世界最小衛星)世界に先駆けての成功(2003.6 & 2005.10)

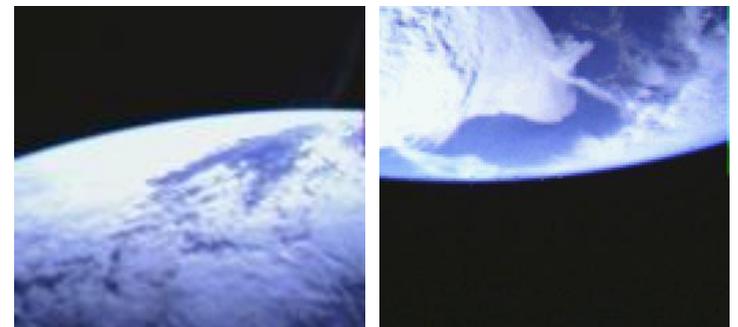
- 大学レベルの予算での開発
- 開発期間:1.5年
- 民生品でも5年を超える寿命
- 自前の地上局(屋上のアンテナ)での運用実績
- 宇宙利用の「しきい」を下げる  
Breakthrough
  - 多くの潜在利用者が顕在化
  - 企業とのコラボ開始



CubeSat XI-IV & XI-V

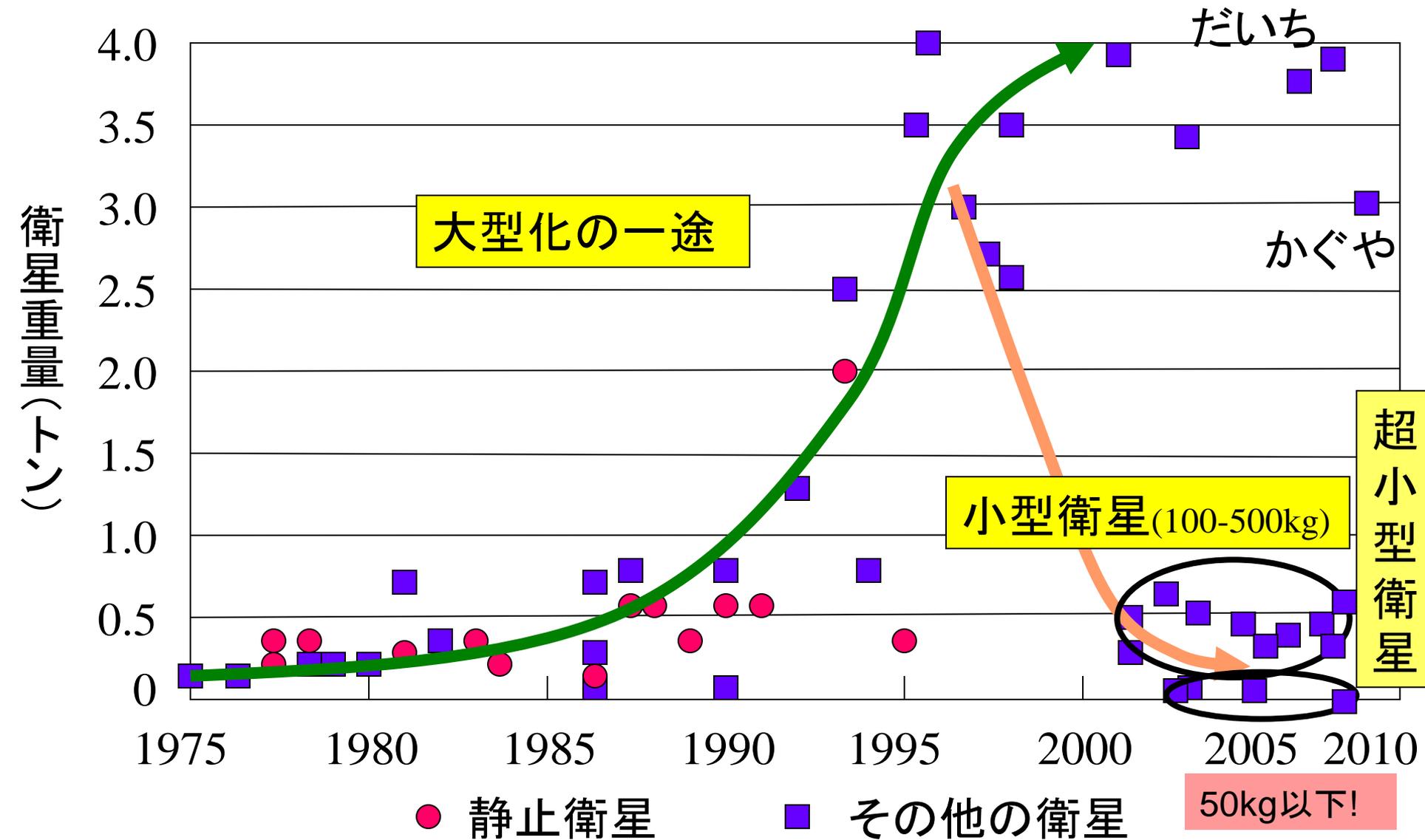


ロシアでの打ち上げ

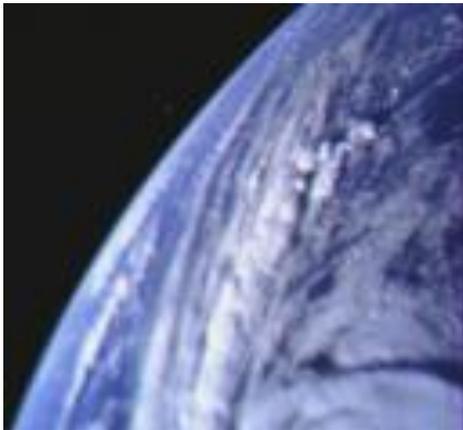
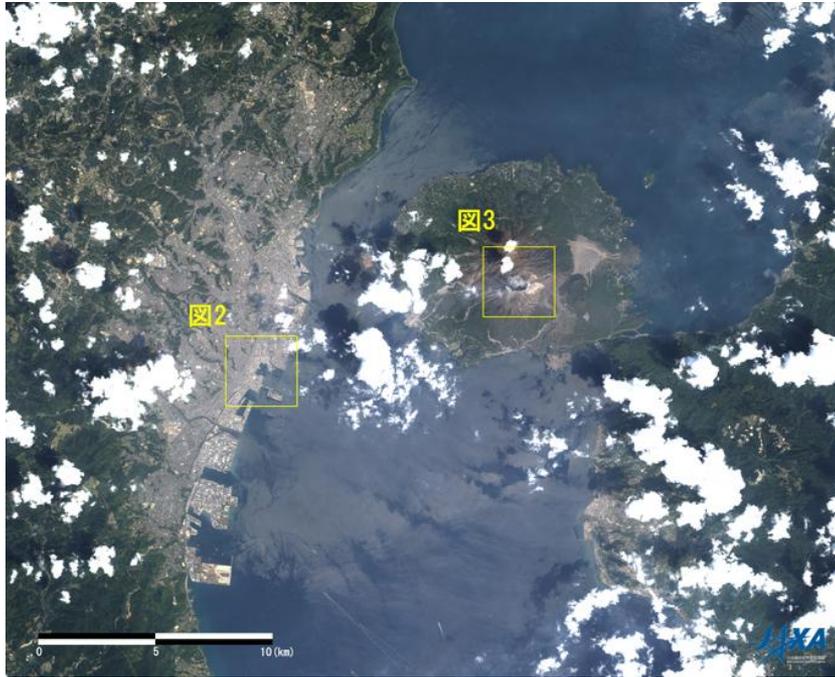


CubeSat による地球画像

# 小型・超小型衛星化



# 衛星サイズ等の比較



# (超)小型衛星へのチャレンジ

## サイズ

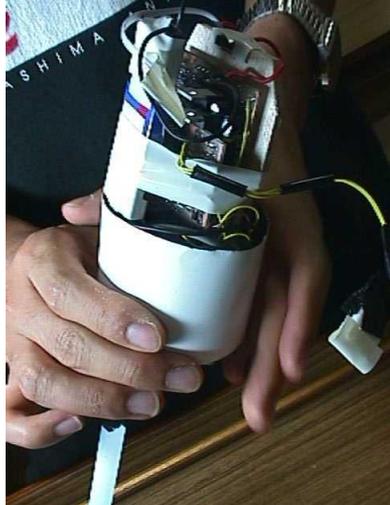
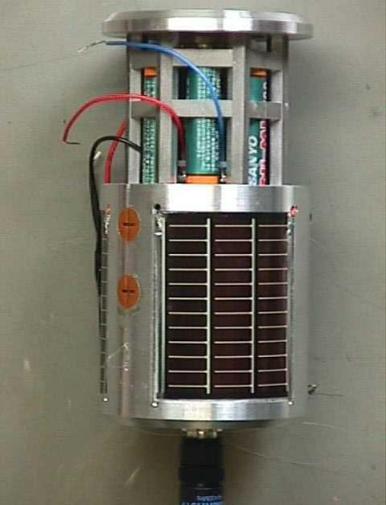
マイクロサット(～50kg)／ナノサット(～5kg)  
／ピコサット(1kg未満)

## 目的

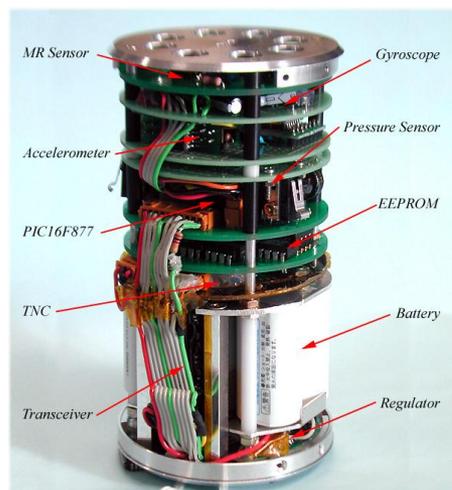
どこまで小さな衛星ができるか(工学的挑戦)

小型衛星による新しい宇宙開発の道を探る

宇宙工学教育のすばらしい題材！



# 登竜門: 訓練の場 CanSats 1999-2009



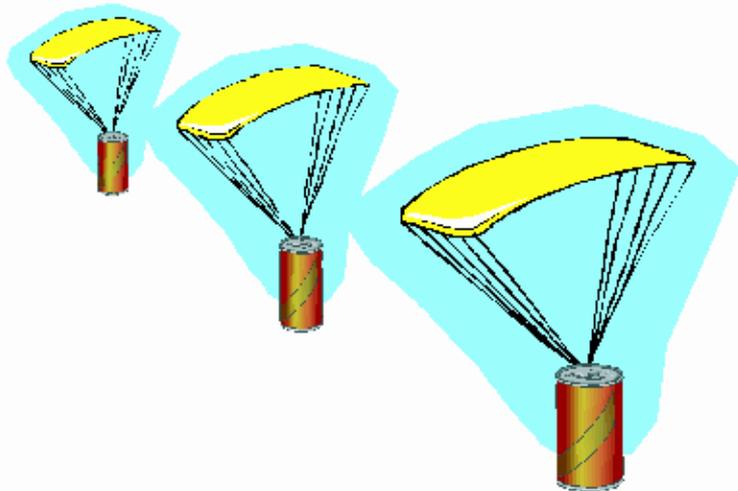
# ARLISS (アメリカでのロケット実験)

- **ARLISS 1999**: Sept. 11
  - 東大、東工大、アリゾナ大学, 1大学ごとに3 CanSats (350ml)
- **ARLISS 2000**: July 28-29
  - 東大、東工大、日大、九大、アリゾナ大、スタンフォード
- **ARLISS 2001**: August 24-25
  - 日本5大学、アメリカ3大学、14ロケット
- **ARLISS 2002**: August 2-3
  - 日本7大学、アメリカ3大学、15ロケット
- **ARLISS 2003**: 日本6大学、アメリカ2大学、17ロケット
- **ARLISS 2004**: 日本7大学、アメリカ3大学、18ロケット
- **ARLISS 2005**: 日本7大学、アメリカ3大学、22ロケット
- **ARLISS 2006**: 日本8大学、アメリカ3、欧州1 : 30ロケット
- **ARLISS 2007**: 日本10大学、アメリカ3、韓国1 : 32ロケット
- **ARLISS 2008**: 日本11大学、アメリカ3、韓国1 : 43ロケット

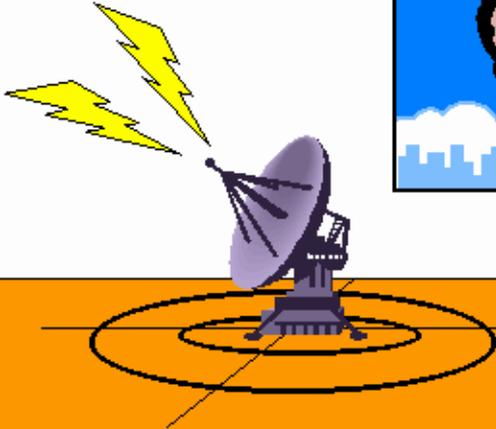


2001年～ Comeback Competition

# Competition



*Call Back Your  
CANSAT!!*



**ARLISS2001 PROJECT**

# Participating Universities 2002

**Univ. of Tokyo**



**Kyushu Univ.**



**Nihon Univ.**



**Tohoku Univ.**



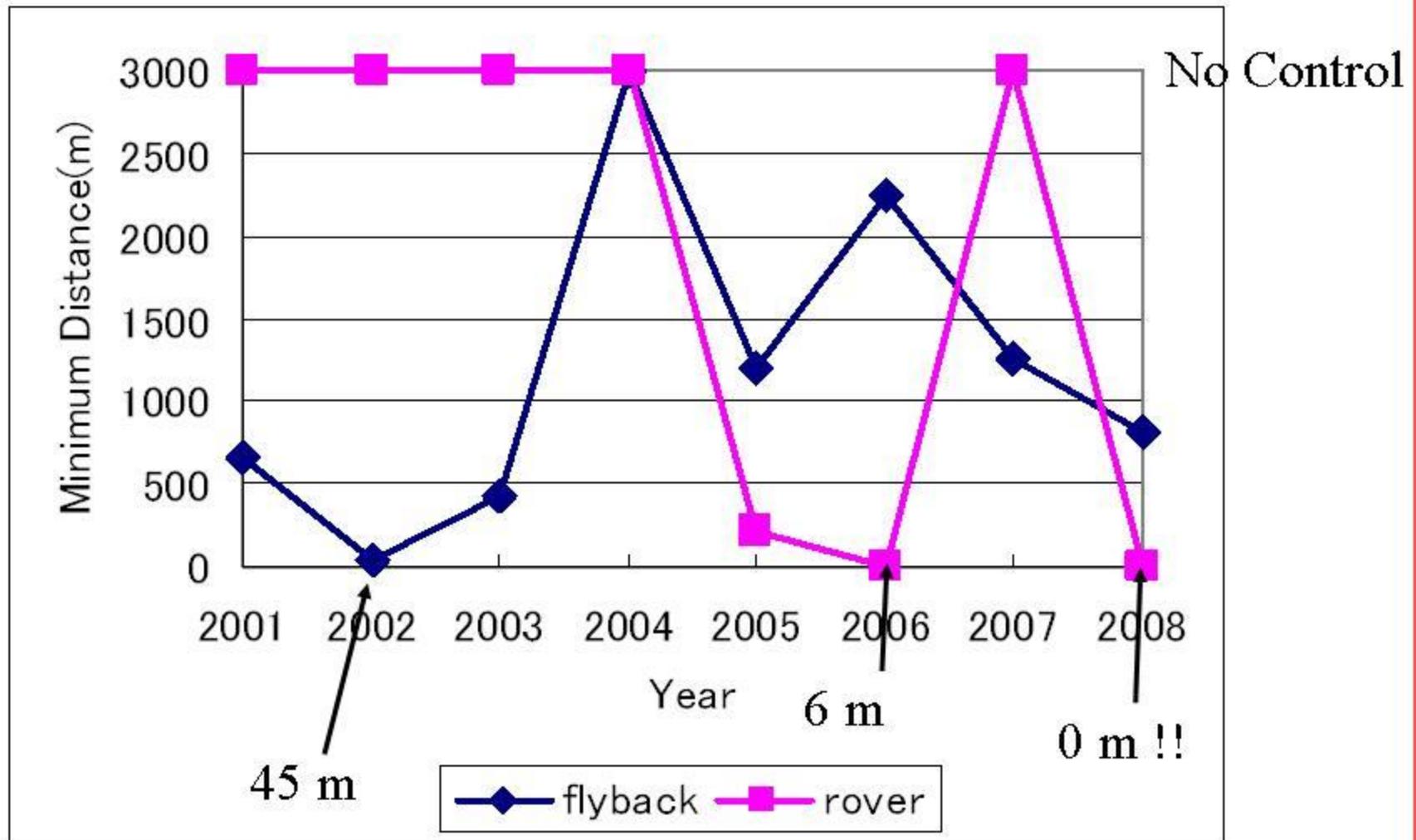
**Tokyo Institute  
of Technology**



**Stanford Univ.**

ROVER

# History of Flyback vs. Rover



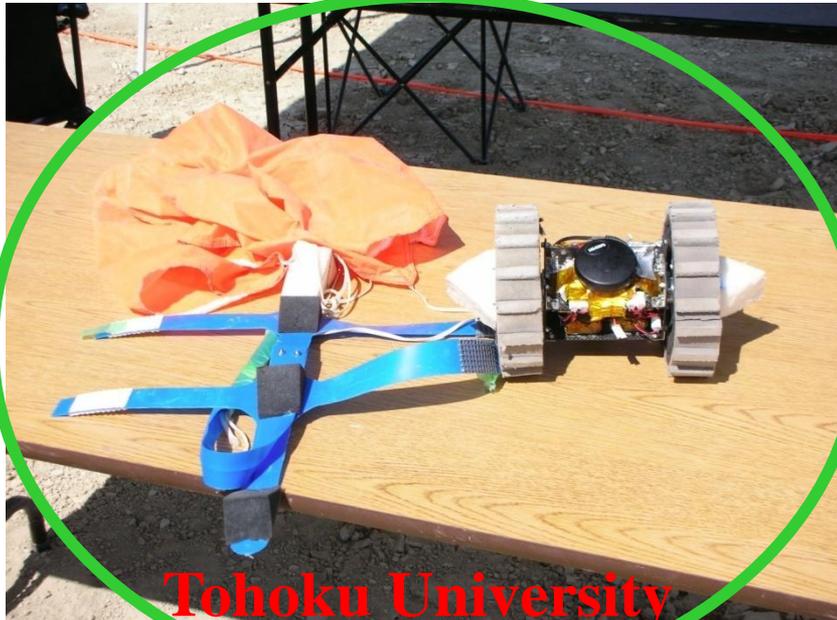
Rovers



University of Tokyo B3



Tsuyama College



Tohoku University

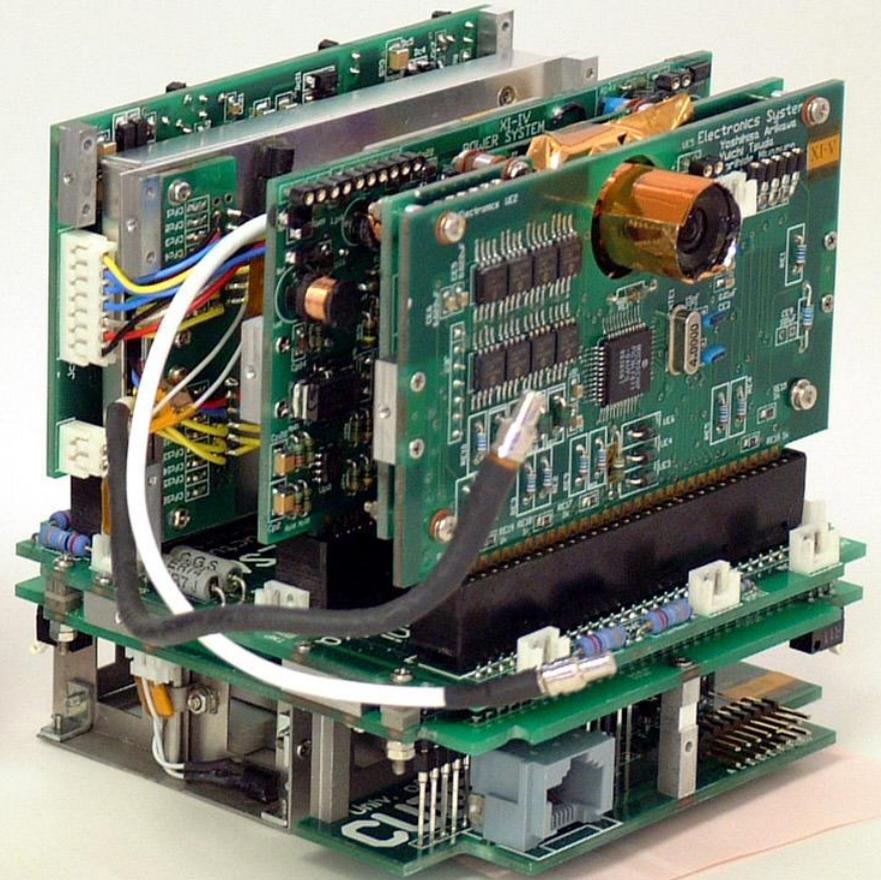


Univ. for Electro Comm.

# *University of Tokyo's CubeSat Project "XI"*



XI-IV(サイフオー)  
2003.6.30打ち上げ



“CubeSat” XI-V(サイファイブ)  
2005.10.27打ち上げ

# “XI-IV” 外観

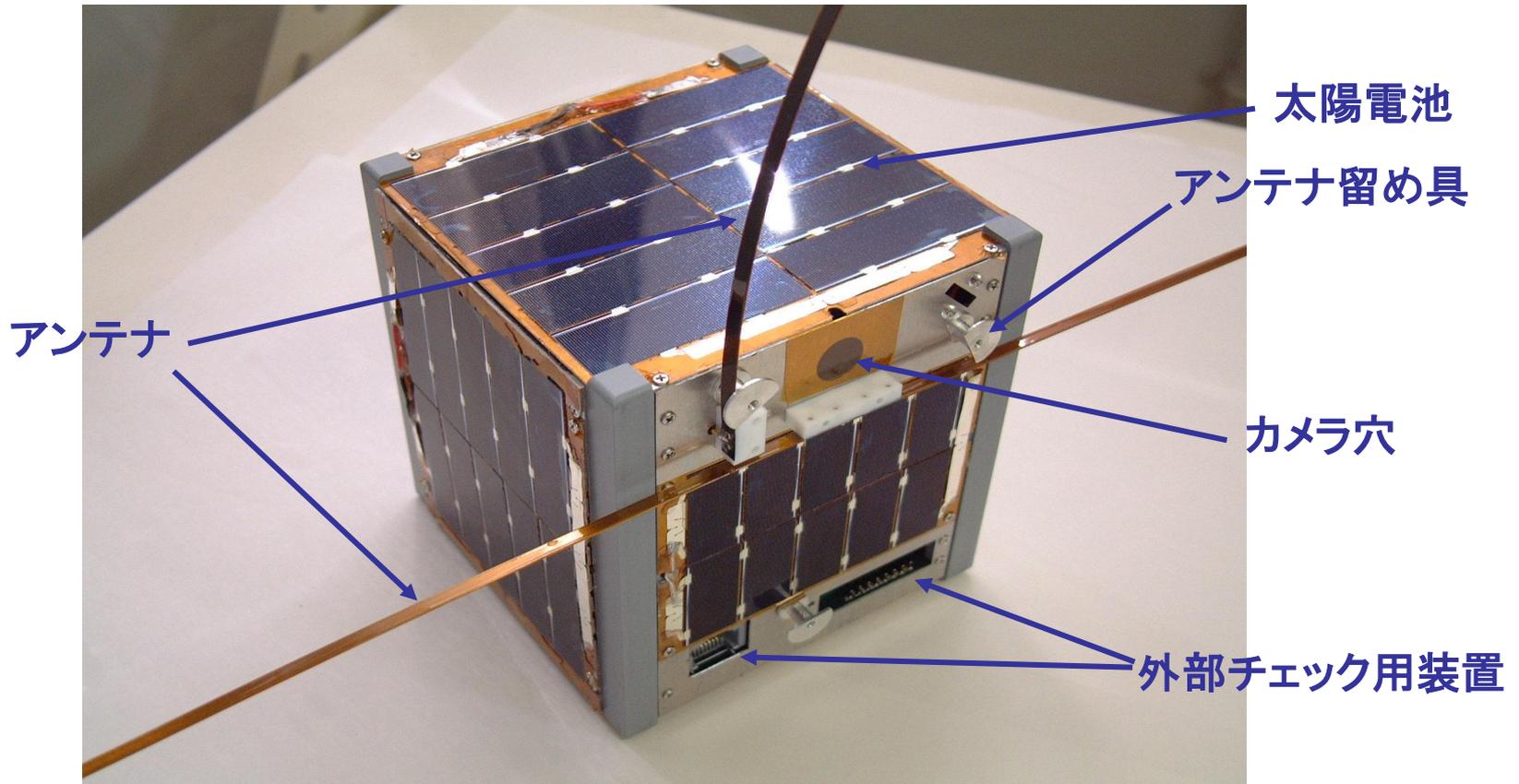
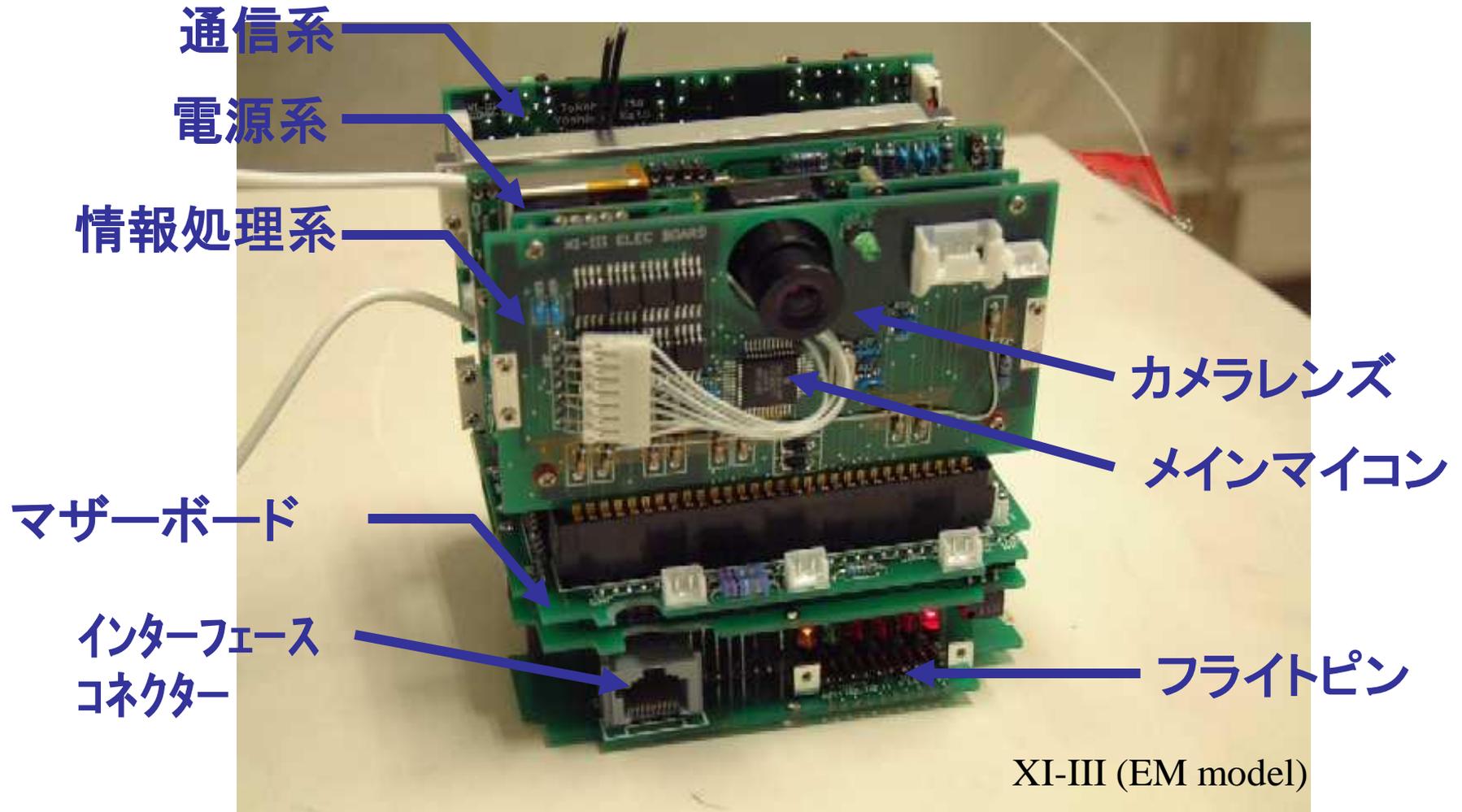
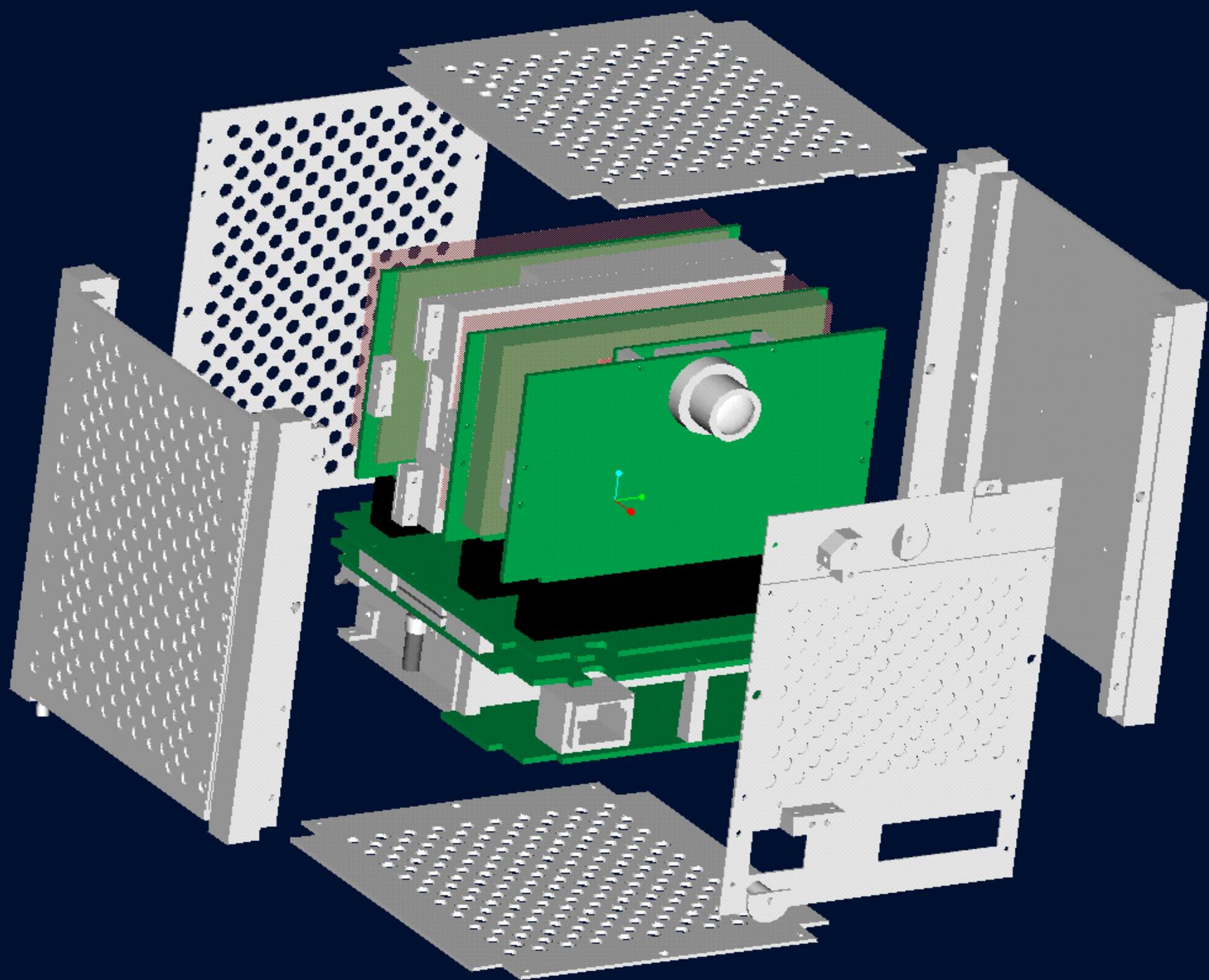


photo: XI-IV (Flight Model)

# XI-IV内部構造





# 宇宙で使用するためには

## ■ 真空環境

蒸発、焼き付き(cold welding)、潤滑、放電、  
素材の変化、熱の集中、等

## ■ 放射線環境

電子部品の誤動作、破壊、太陽電池劣化

## ■ 熱環境

高温—低温、熱衝撃、温度勾配、等

## ■ 打上げ環境

加速度荷重、振動、音響、衝撃、等

## ■ 長距離通信

500km以上の通信、トラッキング、ドップラーシフト

# 小さいながらの工夫

- 部品は「秋葉原品」→宇宙で使えることを一つ一つ、試験で確認(1000点のオーダー)
- 何が起こっても、完全な動作停止を避ける
  - マイコン間の相互監視(ただし、同じものを複数つけられないので、単純な冗長化は無理)
  - 壊れていなくても定期的にはリセットをかける。
  - 万が一だめでも、何らかの情報が地上に降りる。
- 「シンプル」is the best!
- 一番「不器用な人」でも作れる設計。
- たかが「はんだ」、されど「はんだ」: 訓練と資格
- 各系担当の全員が、全体を把握できる体制

# 打上げ: MOM (Multiple Orbit Mission)



打上げ

日時: 2003 6/30  
23:15:26 (JST)  
場所: Plesetsk  
軌道: 830km SSO

ROCKOT



Launch Vehicle Provider



Eurockot



other satellites

60kg級



Separation System Developer



CalPoly



CubeSat Developer



Stanford Univ.

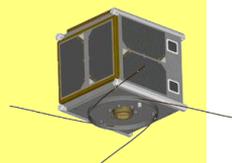


U of Toronto



Aalborg Univ

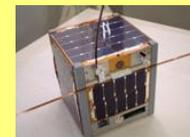
Denmark T.



CubeSat & Separation System Developer



U of Tokyo



Tokyo Inst. Tech.



上段ロケットBREEZE-KM  
により8個の衛星を順次分離

# 衛星の運搬は手荷物で !!



CubeSat XI-V Exportation @ Tokyo-Narita Airport, May, 2005

# 打ち上げ

2003/06/30 18:15:26 (現地時間)

XI-IV 宇宙へ！！！！



# 衛星捕捉第一報

6/30(月)

23:15 ROCKOT打上げ(日本時間)

7/1(火)

0:46 衛星放出

3:00 ヨーロッパよりCW捕捉の報

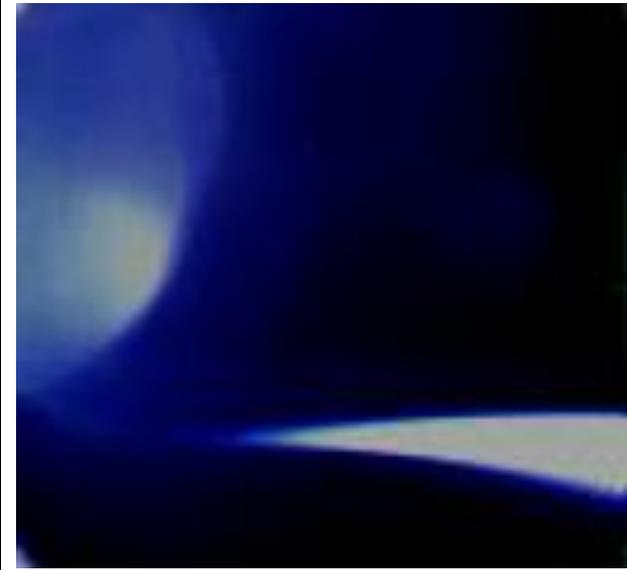
4:36 菅平局がCW受信

直後に本郷もCW受信

6:18 FMアップリンクに対しダウン  
リンク受信



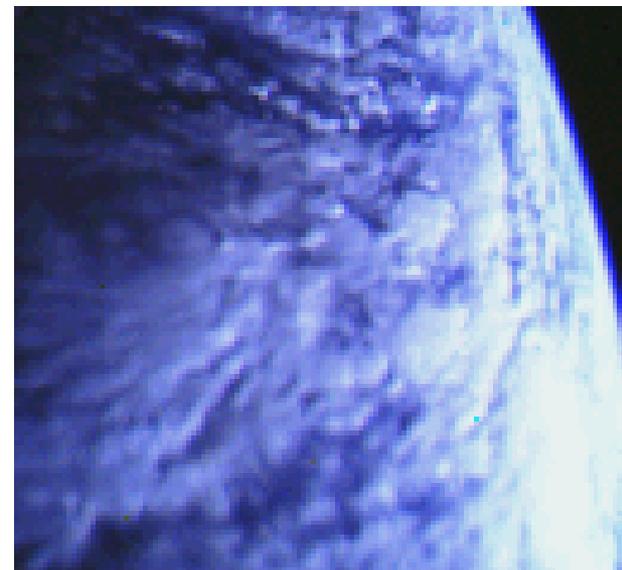
CubeSat XI-IV Photo Gallery July – November 2003, University of Tokyo ISSL



7.30 南大西洋上空



9.14 アラスカ諸島上空



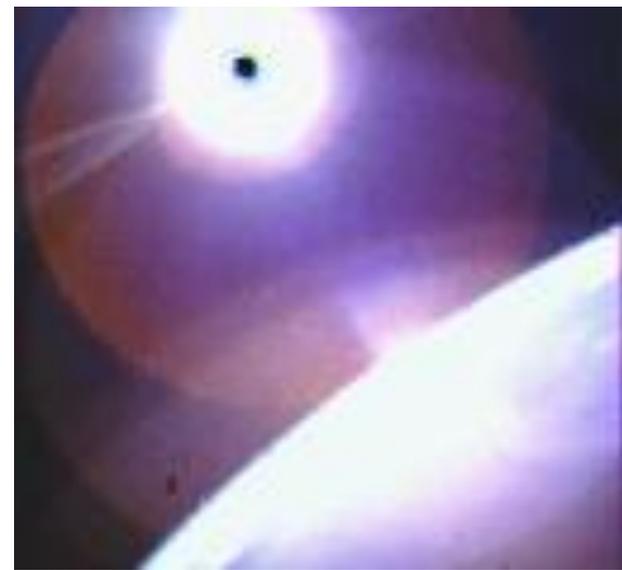
9.17 東ティモール上空



10.5 バングラデッシュ上空

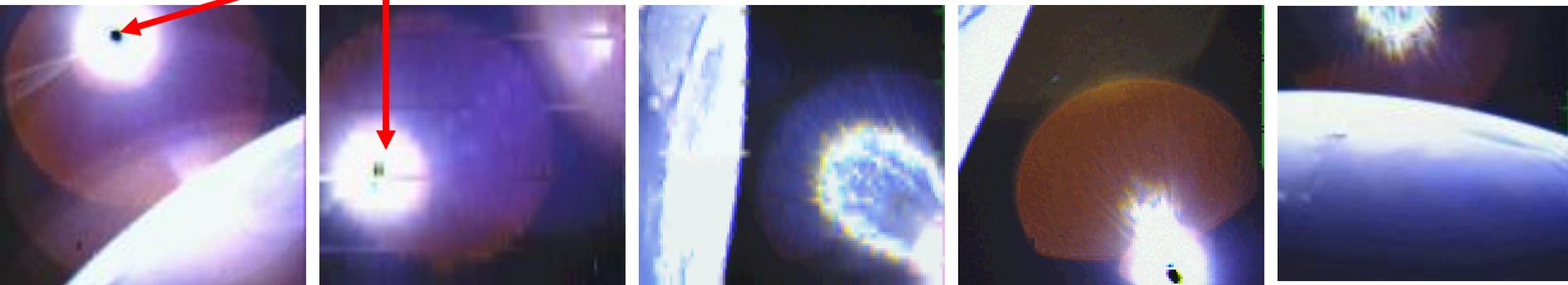


10.5 チベット上空



11.03 エジプト上空

太陽が写るとカメラの特徴で黒くなってしまふ



# データ配信サービス

- XI-IVから取得したデータを広く一般の人に提供し、宇宙を身近に感じてもらうことを趣旨としたサービス
- ステータス・画像をPCあるいは携帯電話へ配信
- 当初の目標を大きく上回る、約2200人の方からの登録
- 現在も募集中！

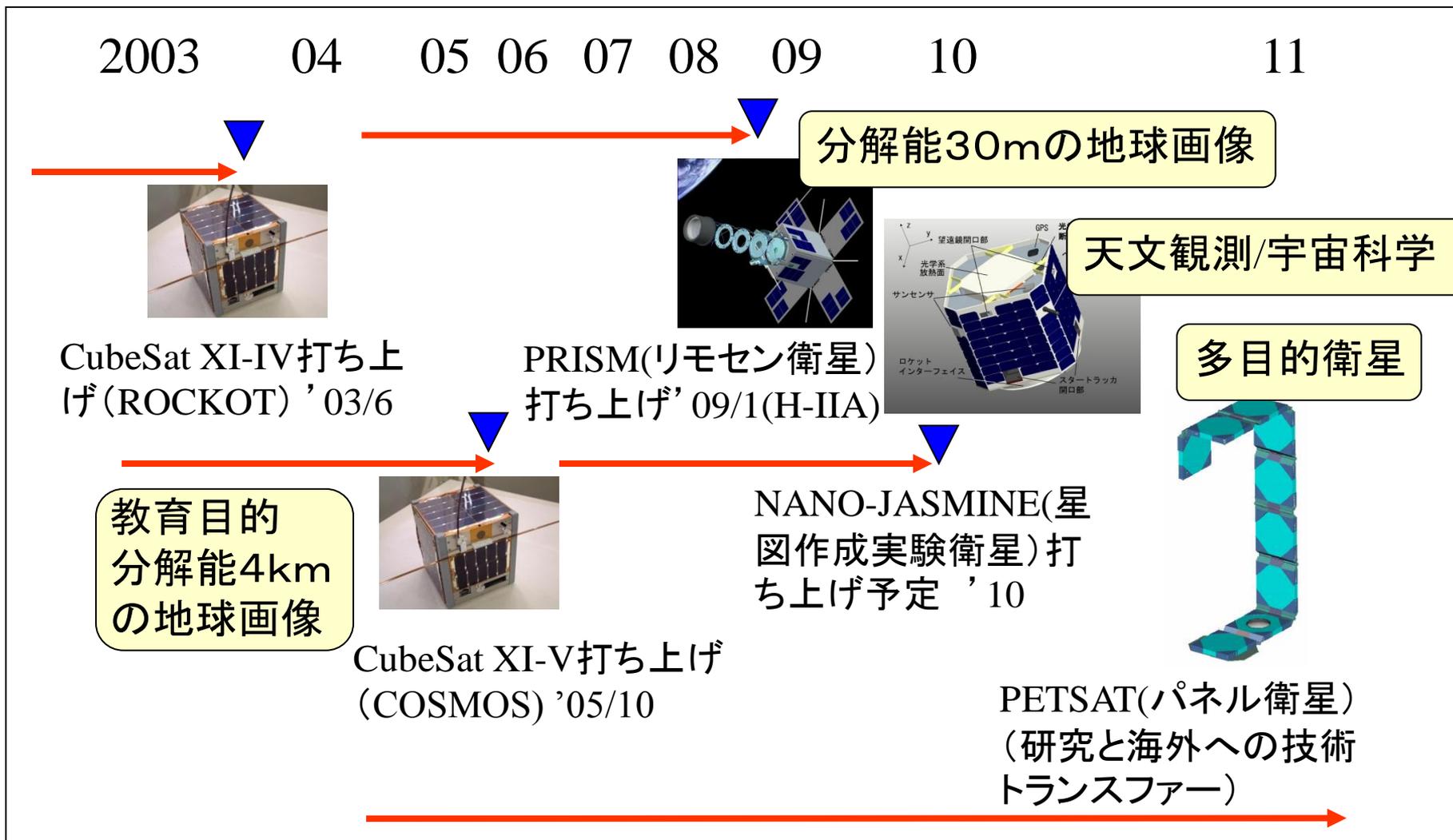
ビジネス化への誘い多数  
アマチュア周波数帯使用  
のため実現せず  
しかし、可能性は明確

携帯電話は衛星！



<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/ximail/>

# 東京大学中須賀研究室 (ISSL) 超小型衛星プロジェクト 超小型衛星を使った宇宙の利用拡大をめざして

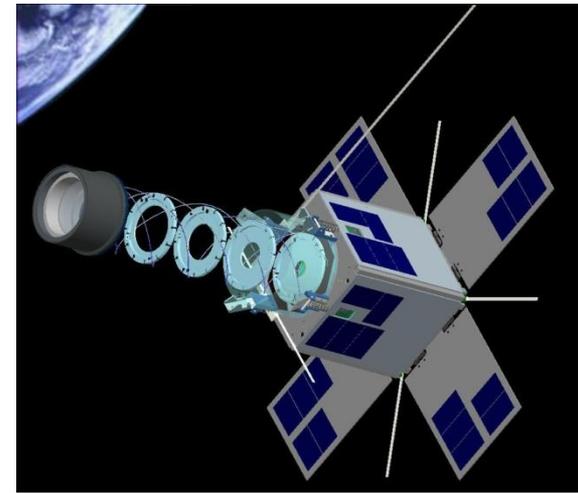


→ 開発    ▼ 打ち上げ

# リモセン衛星PRISM「ひとみ」

○サイズ: 8 kg 20cm × 20cm × 40cm

打上げ年	衛星名	分解能 [m]	重量 [kg]
1999	UoSat-12	10 (pan) 32 (color)	312
2002	AlSat	32	90
2005	TopSat	2.5	110
2009.1.23	PRISM	20~30	8



1/23 H-IIAによる相乗り  
打上げ成功。初期運用中

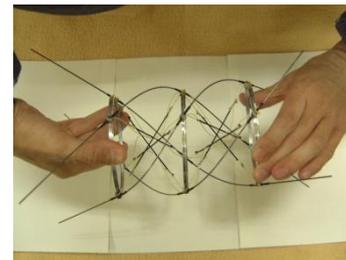


- 伸展式・屈折光学系による高分解能化
- OBC、バス、通信系、制御系高性能化
- 超小型衛星実用化に向けた標準バス

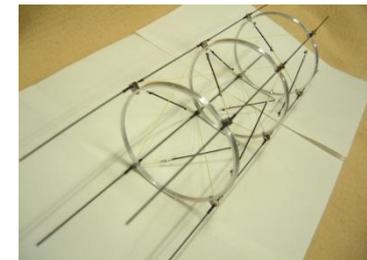
1, 伸展前

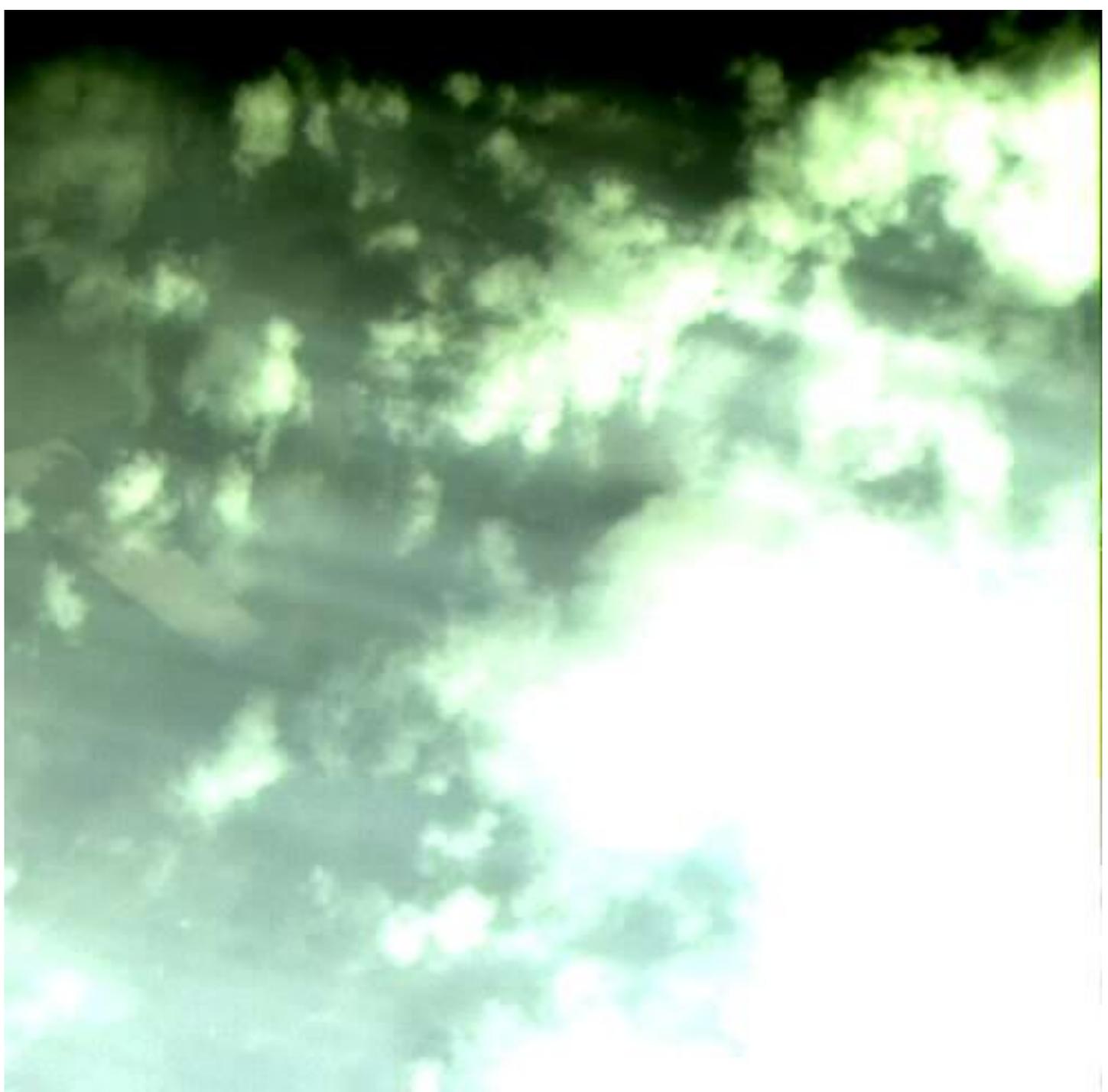


2, 伸展中



3, 伸展完了!!









その他...

地図

航空写真

地形



km  
マイル

©2009 Google 画像 ©2009 TerraMetrics 地図 株式会社 ©2009 Tele Atlas



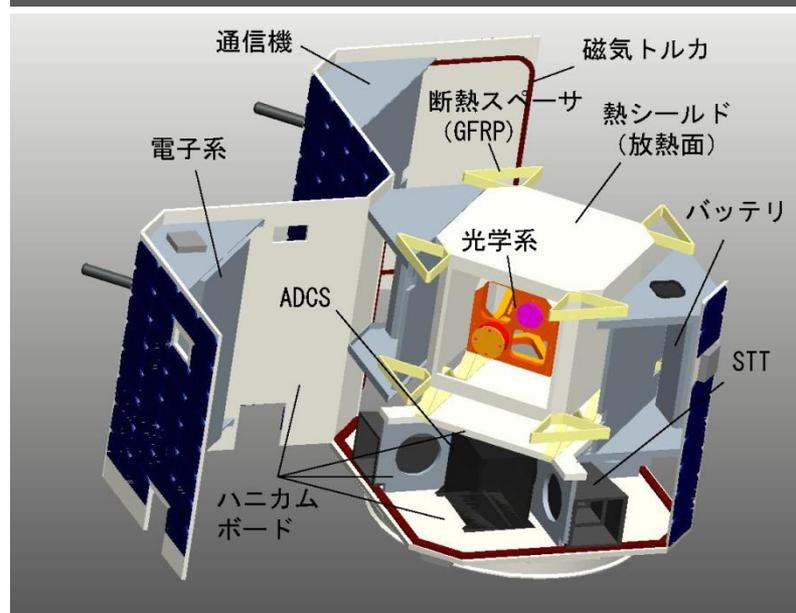
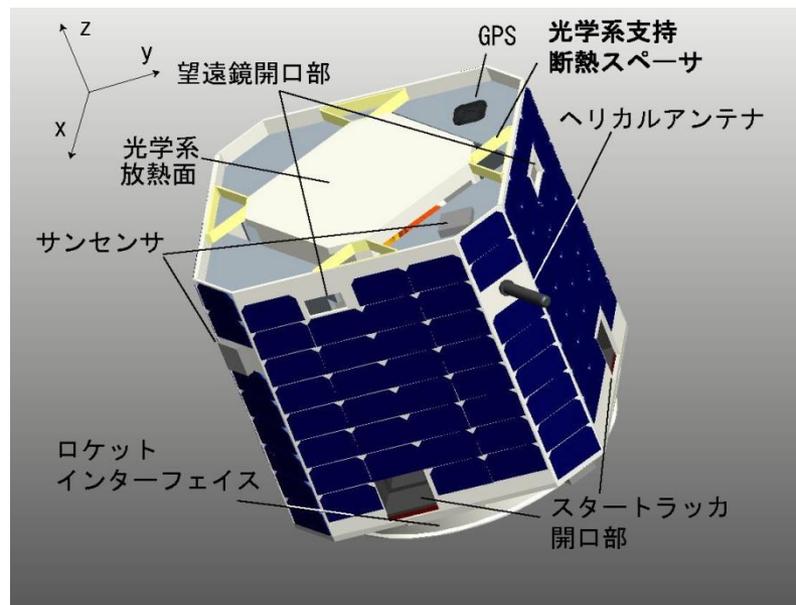
# Nano-JASMINE

## 国立天文台と共同の宇宙科学衛星（「位置天文」ミッション）

衛星サイズ	50[cm立方]
質量	20[kg](本体) +11[kg](分離機構)
姿勢制御	3軸安定方式
通信速度	S帯 100[kbps]
ミッションライフ	2[年]

### 89年のHIPPARCOS衛星レベルの性能

- 高精度姿勢安定化（1秒角レベル）
- 高精度温度安定化（0.1Kレベル）
- FPGAベースの高機能情報系
- 通信系の高速化（9.6→100kbps）
- 科学衛星用の高機能標準バス



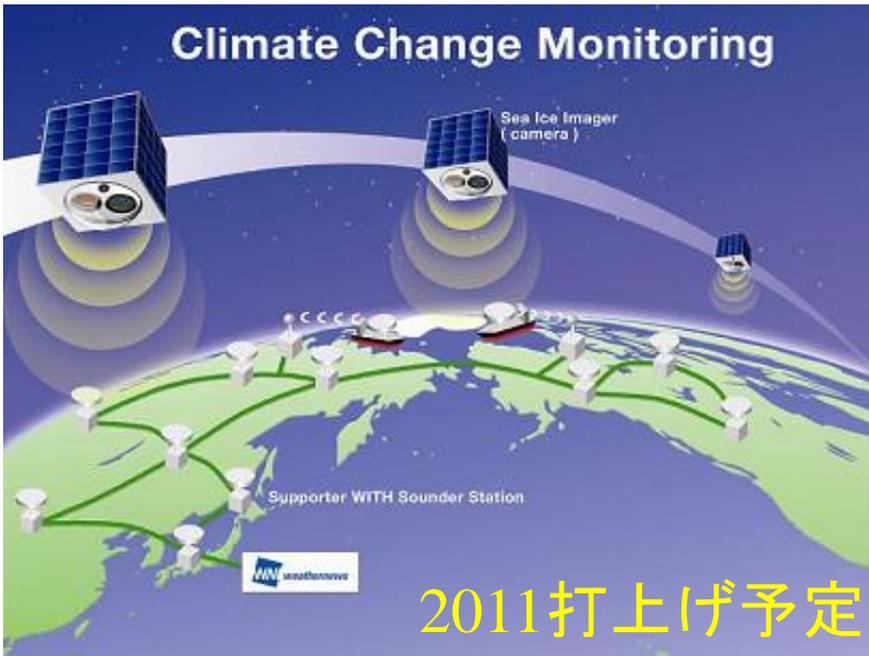
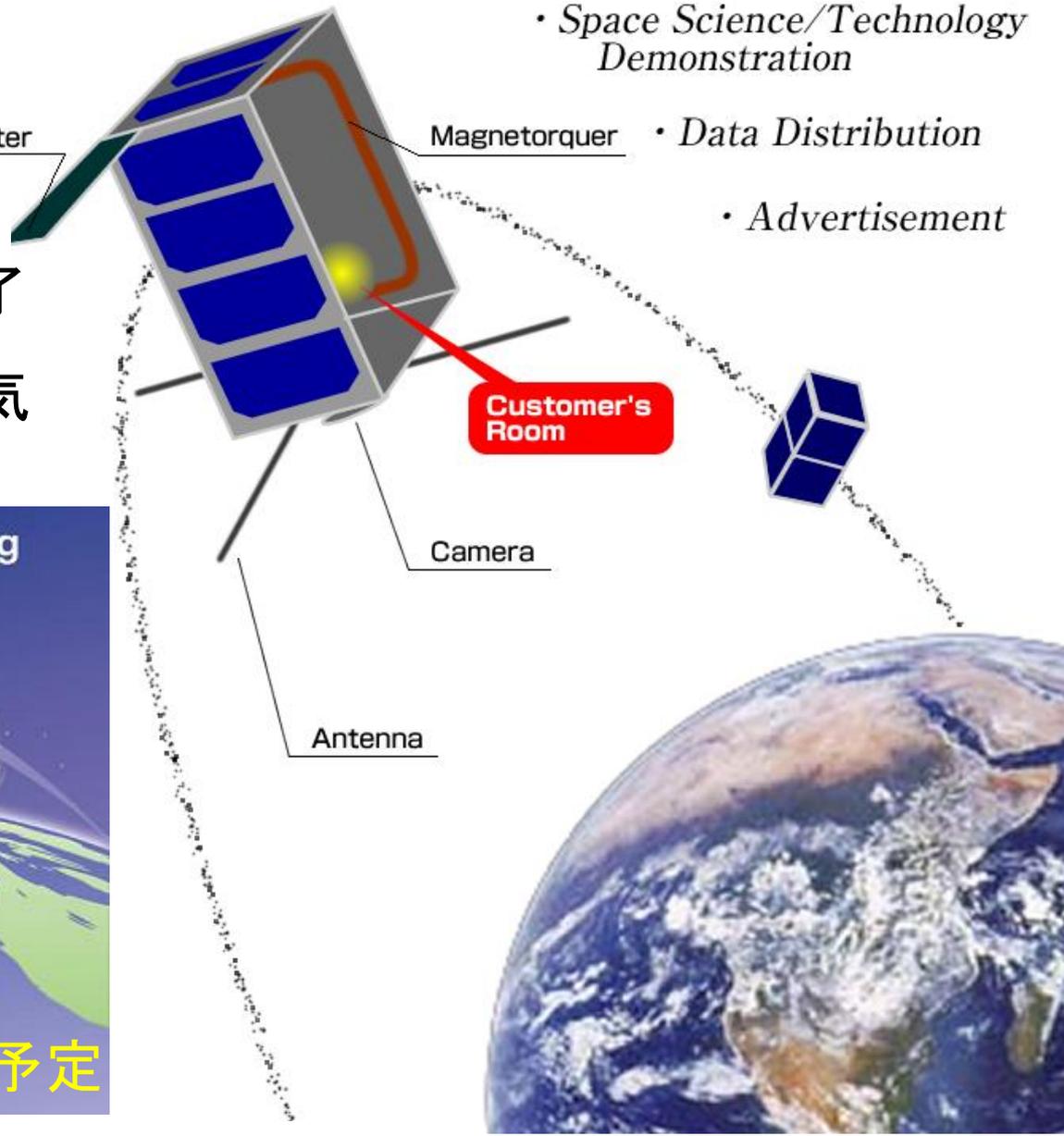
2010年ウクライナのロケットによりブラジルで打上げ

# 5-20kg汎用(商用)標準バス

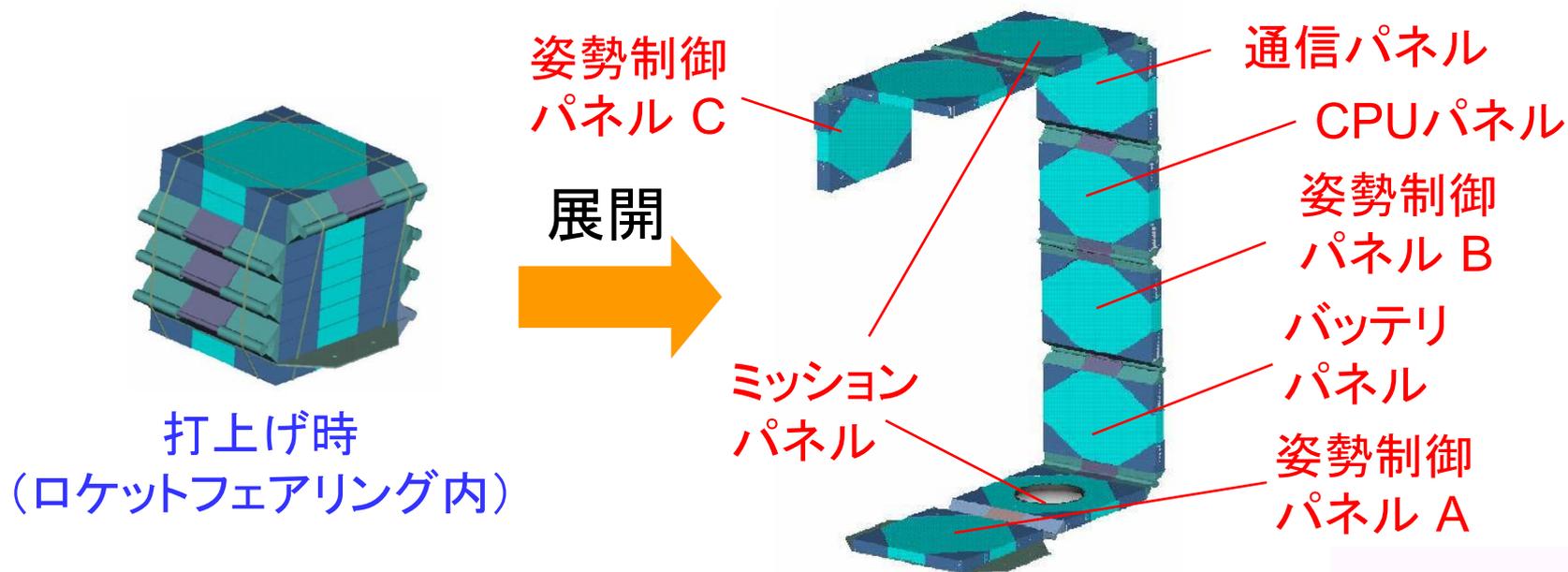
## 弥生 YAYOI

- 種々のミッションに対応可能な汎用標準バス開発完了
- ウェザーニューズ社の大気観測・冰山観測衛星に

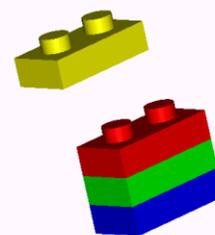
- Earth Observation
- Space Science/Technology Demonstration
- Data Distribution
- Advertisement



# 低コスト・短期開発を目指した多目的衛星 PETSAT(Panel ExTension SATellite)



何通りかに標準化した機能ブロックの必要枚数のつなぎ  
合わせで衛星を構成し、様々なミッション要求に対応

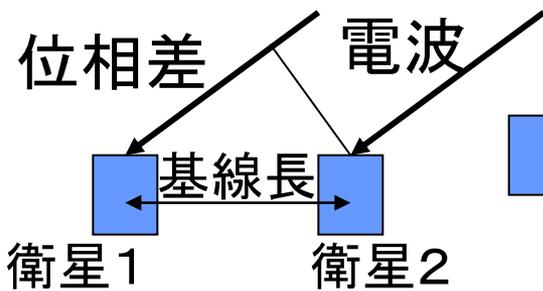


- ブロックの大量生産による低コスト化・信頼性向上
- パネルのプラグイン性による開発・試験期間短縮
- インターフェースの公開による「パネル単位の企業参入」が可能に
- パネルの展開により、小さな衛星を「大きく使う」

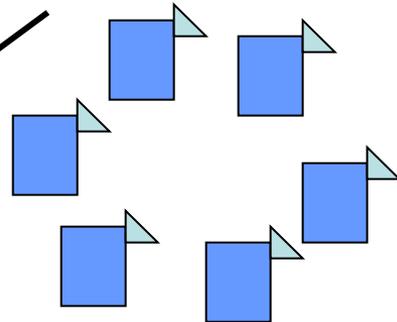
衛星の全く新しいコンセプト(特許申請中)による価格破壊めざす

# なぜ超小型か？

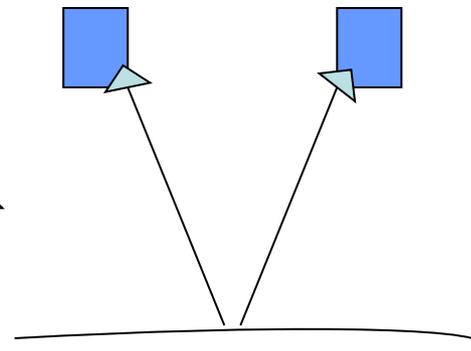
- コスト(<1億)、開発期間(<2年)低下により、「しきい」を根本的に下げる→新しい宇宙利用ニーズの顕在化
- 多数機打上げ・複数衛星による共同ミッション容易



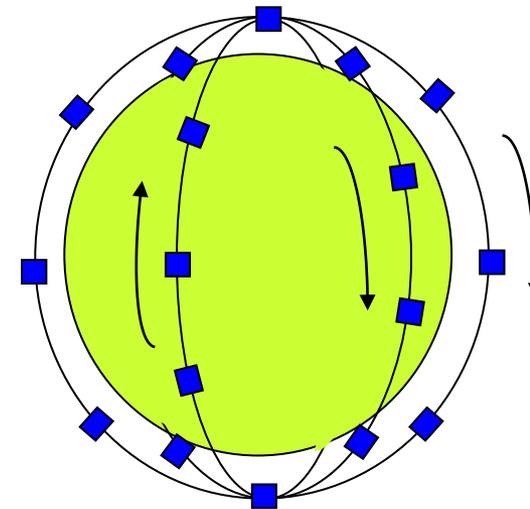
干涉計測



多点同時計測



ステレオ視

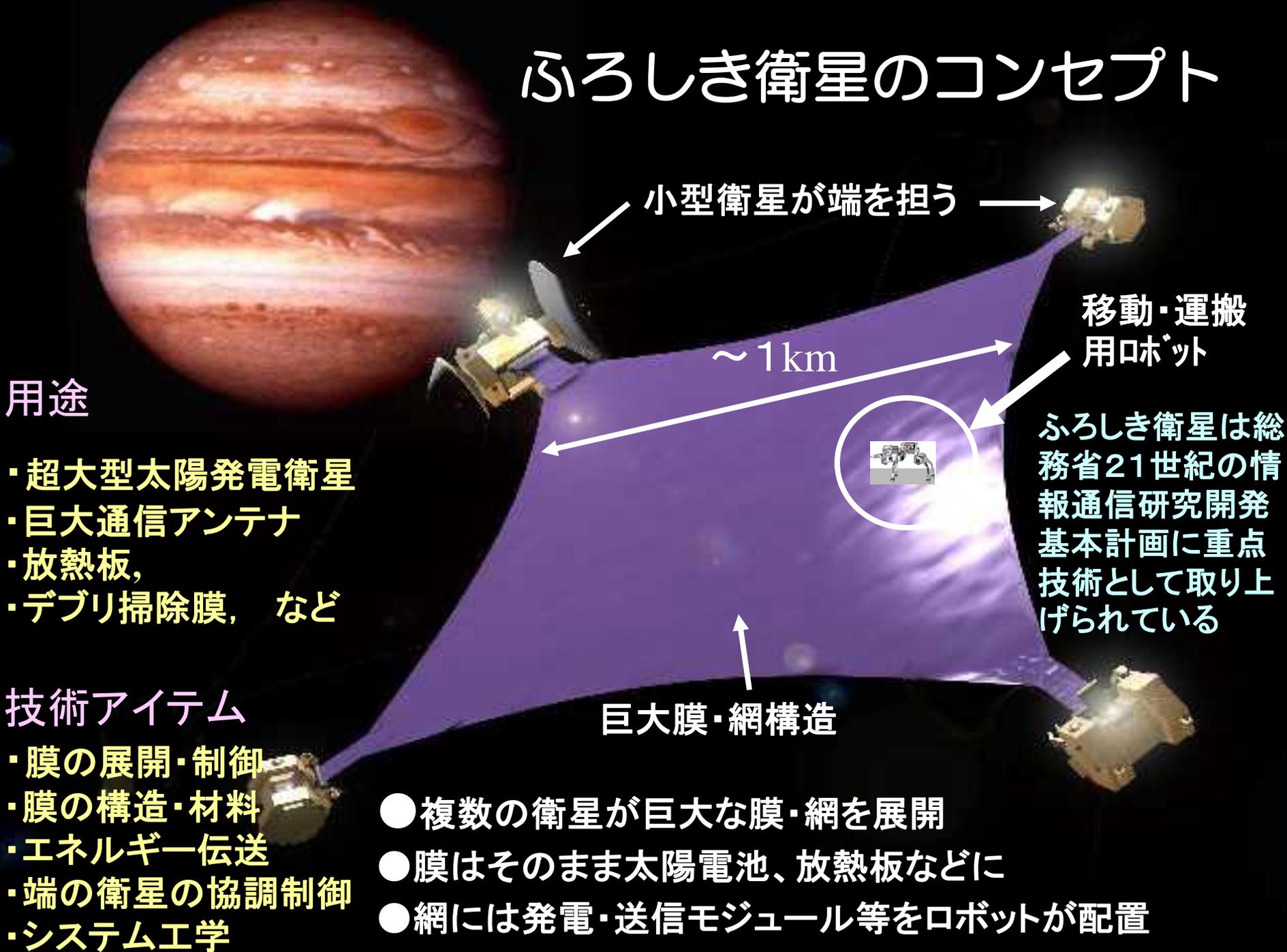


コンステレーション

## <複数衛星による宇宙利用のための技術>

- フォーメーションフライト(高精度な相対位置誘導・制御)
- コンステレーションの軌道設計・維持技術
- 干涉計測(光学干涉、SARなどの電波干涉)

# ふろしき衛星のコンセプト



## 用途

- ・超大型太陽発電衛星
- ・巨大通信アンテナ
- ・放熱板,
- ・デブリ掃除膜, など

## 技術アイテム

- ・膜の展開・制御
- ・膜の構造・材料
- ・エネルギー伝送
- ・端の衛星の協調制御
- ・システム工学

小型衛星が端を担う

~ 1 km

移動・運搬  
用ロボット

ふろしき衛星は総務省21世紀の情報通信研究開発基本計画に重点技術として取り上げられている

巨大膜・網構造

- 複数の衛星が巨大な膜・網を展開
- 膜はそのまま太陽電池、放熱板などに
- 網には発電・送信モジュール等をロボットが配置

# 2008年まで:

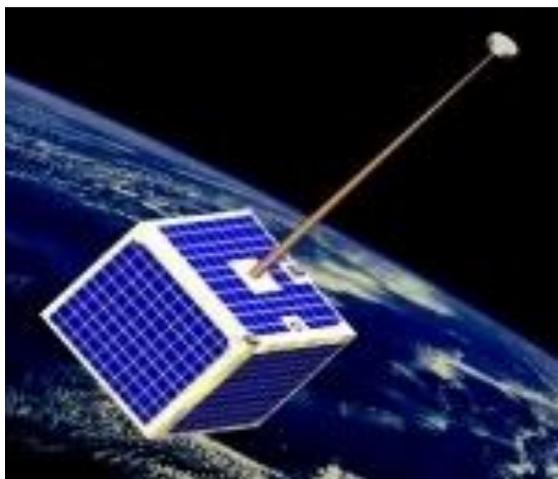
## 日本の大学が開発した7衛星が軌道上に!

(r: Russia)

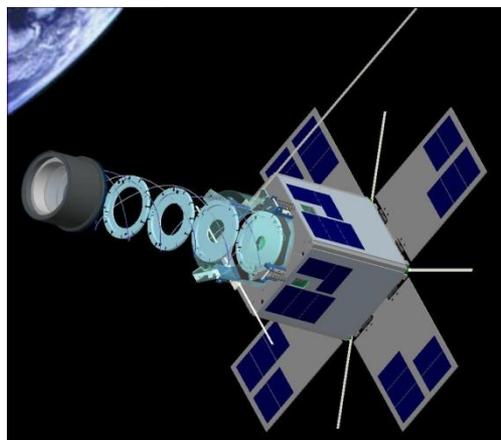
大学	衛星名	年	ロケット	外観
東大	XI-IV	2003	ROCKOT(r)	
	XI-V	2005	COSMOS(r)	
東工大	CUTE-1	2003	ROCKOT(r)	
	C-1.7+APD	2006	M-V(Japan)	
	C-1.7+APDII	2008	PSLV (India)	
北海道 工大	HITSAT	2006	M-V(Japan)	
日大	SEEDS	2008	PSLV(India)	

# 2009年1月23日 さらに4機の 大学・高専衛星が打ちあがる！

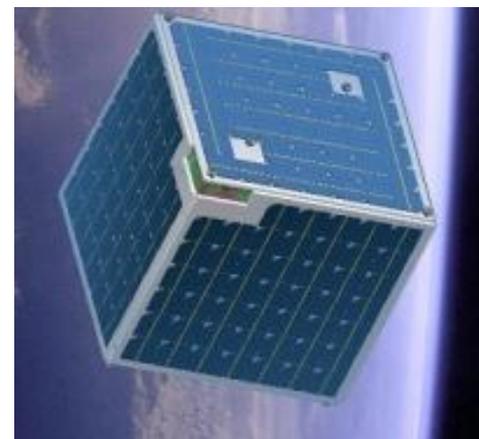
東北大  
**SPRITE-SAT**



東京大  
**PRISM**

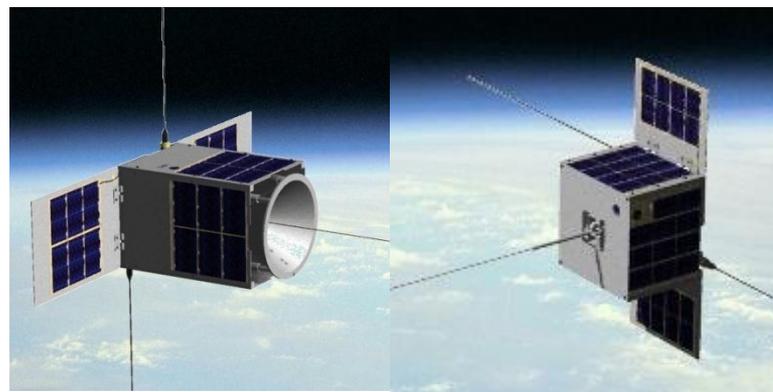


東京都立高専  
**KKS-1**



大阪府立大(協力)  
**SOHLA-1**

東海大(機器提供)  
**Kagayaki**

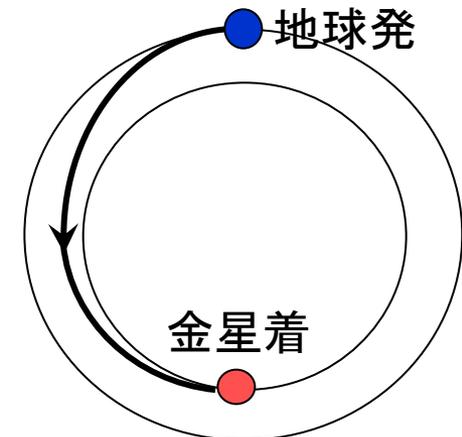
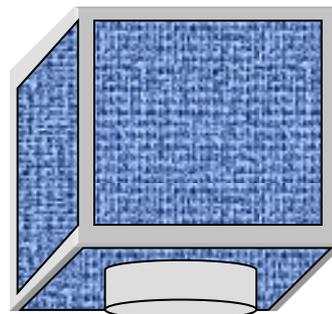
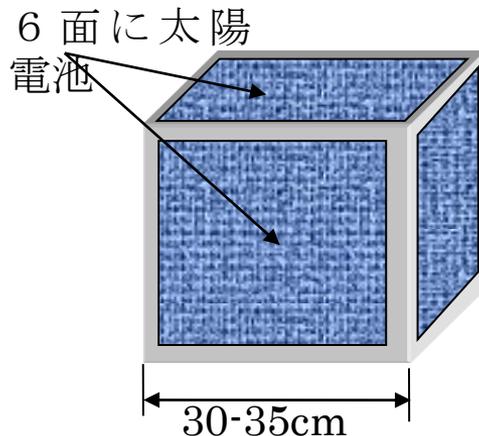


香川大 **STARS**

# 次はいよいよ金星行き！

- 2010年H-IIAのPlanet-Cミッションの相乗り
  - 金星の方向に向けて深宇宙に打出し
- UNISEC大学それぞれのコンピュータを搭載し、誰が最後まで生き残るかを競争
  - 放射線、熱、振動等の環境耐性の評価
  - 深宇宙からの通信実験

世界初の大学発人工惑星！



# 超小型衛星で「しきい」を下げる！

---

- 宇宙利用・ビジネスの**根本的なアイデア不足**
- 「**宇宙部落**」から出る利用の**アイデアは限界**
- キーコンセプト:「**宇宙で何かをやらうと考える人の数を100倍にしよう**」
- **以下のような現状を打破したい！**
  - 「しきい」が高すぎる。100億が30億になっても**彼方の世界**であることに代わりはない。
  - **3, 4年も衛星も待つ**のではビジネスチャンス・実験観測機会逸する。
  - 「**良い宇宙利用のアイデア**」があっても、それをどうやって実現すればよいか、わからない。

# 宇宙開発の「特異点」を目指して

衛星開発のプレイヤーの  
特異性(大学・高専)

衛星サイズ、コストの特  
異性(2-50kg,1000万)

衛星の作り方の特異性  
(秋葉原品、シンプルさ)

•新しい宇宙開発の  
「やりかた」の創出

•新規の衛星利用  
方法の創出

•新規の衛星利用  
ユーザーの創出

超小型衛星を作る、使う、打ち上げる  
コミュニティの創出を目指したい！

「超小型衛星」100基打ち上げ  
格安画像で産業創出支援  
2009年4月15日 読売新聞 夕刊1面

超小型衛星は新しい宇宙開発を開くポテンシャルを十分に持っている。  
どう利用するか、のアイデアを作り出すことが最大の鍵である！