

levii

超小型衛星を使った 宇宙科学研究の動向と OPUSAT-IIプロジェクトの紹介

株式会社レヴィ 代表取締役
大阪府立大学 工学研究科 助教
南部 陽介

京都大学宇宙総合学研究ユニット
第17回宇宙学セミナー

A man with dark hair and glasses, wearing a light-colored short-sleeved shirt with a blue and white pattern of sailboats and waves, and white trousers. He is standing outdoors with his arms crossed, smiling slightly. The background features a light-colored wall and green foliage. A semi-transparent dark grey rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the text '略歴' in white.

略歴

略歴（教育）

2001年4月～2005年3月

早稲田大学 理工学部 機械工学科卒業

2005年4月～2007年3月

東京大学大学院 工学研究科

航空宇宙工学専攻 修士課程

2007年4月～2010年3月

東京大学大学院 工学研究科

航空宇宙工学専攻 後期博士課程

2010年4月～

大阪府立大学大学院 工学研究科

航空宇宙海洋系専攻 助教

略歴（仕事）

2010年12月～2014年12月

OPUSATプロジェクト 実施責任者

2014年8月～2016年8月

OPUSAT-KITプロジェクト 共同研究代表

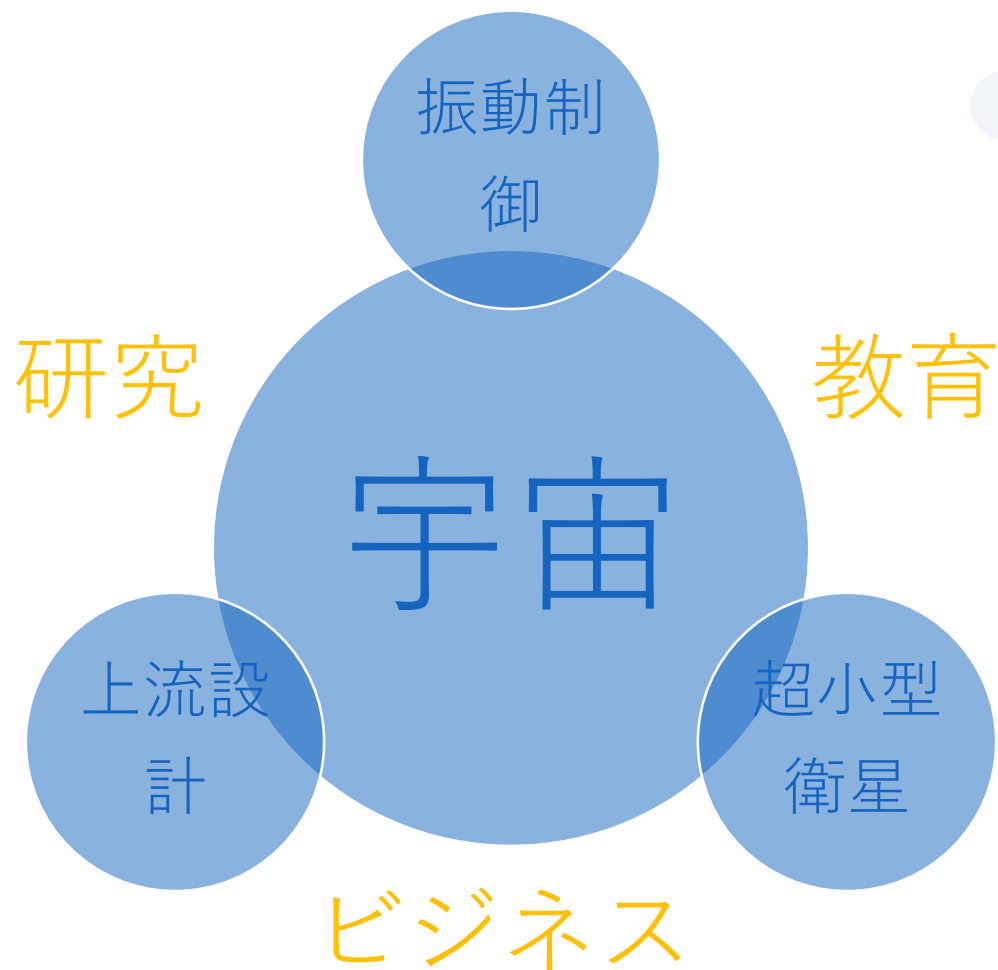
2015年10月～

OPUSAT-IIプロジェクト 実施責任者

2016年5月～

株式会社レヴィ 代表取締役

いま、興味があること





スタートアップ



JAXA 宇宙科学研究所の学友7名で起業

博士号保有者3名，修士号保有者4名

ソフトウェア，ハードウェア，研究など様々な分野でシステムの複雑さに直面し，ひたすらに複雑さへの挑戦を考え続けてきた

複雑さの中に価値と
面白さを見つけよう

Levii ができるまで

■ ～2010年頃

- レヴィのメンバーは全員、大学院生としてJAXA宇宙科学研究所に在籍
- 高校生向けの体験型教育プログラム「君がつくる宇宙ミッション」のスタッフとして活動する中で出会う

■ 2012～2013年

- 南部が小型人工衛星の開発の中で感じていた課題意識をきっかけにメンバーが集まり、人工衛星設計支援ツールとしてプロジェクトが始動
- 放課後開発や月1の合宿でプロジェクトを進める中、独自のワークスタイルや相互の信頼・尊敬を得て、チームを確立

■ 2014～2015年

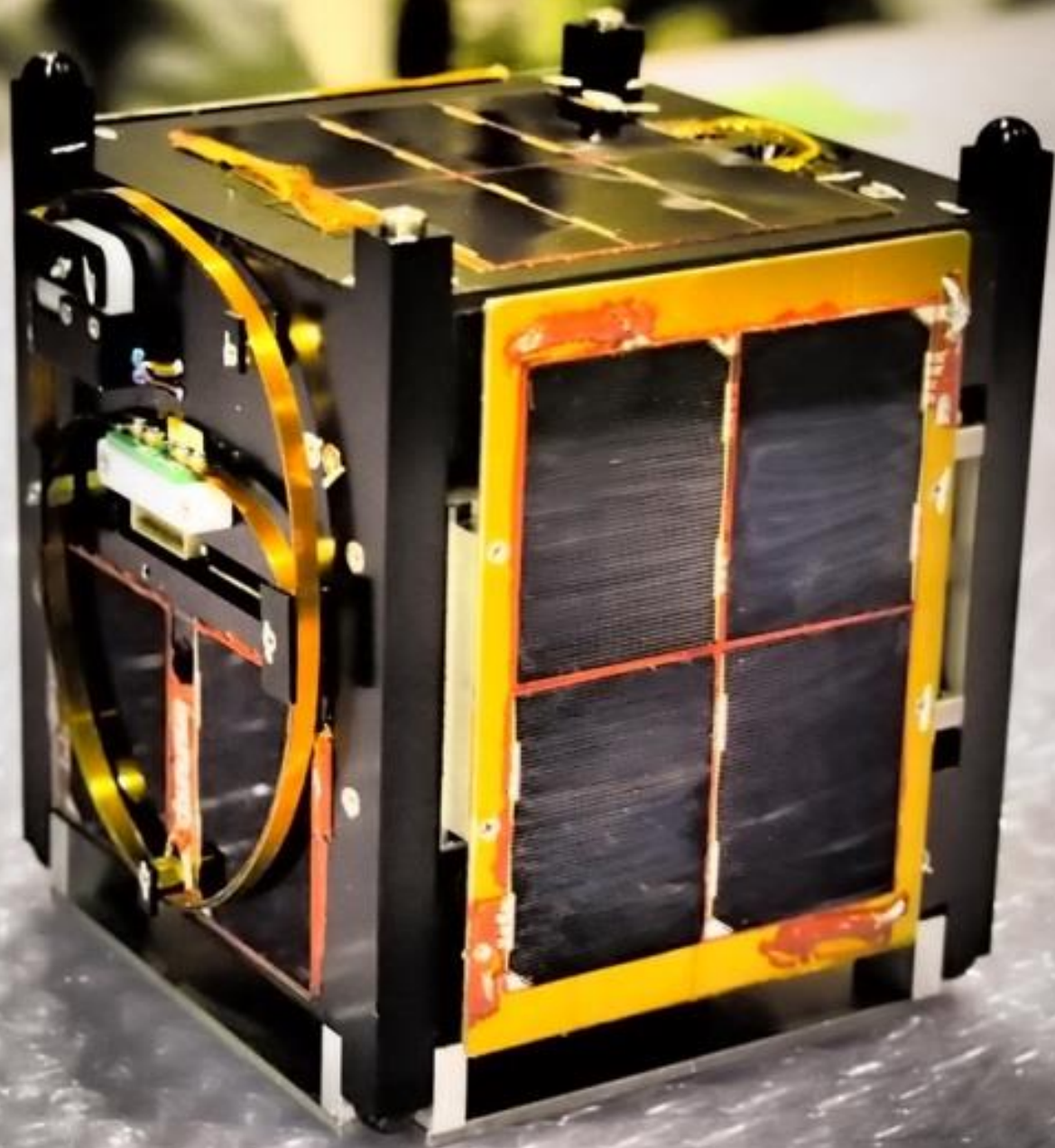
- 一週間のシリコンバレー滞在を経て、ビジネス化を強く意識
- 様々な起業関係者からのサポートを得ながら起業に向けて準備
- 当初の人工衛星の設計支援ツールという枠を超えて「モデルを使ったコミュニケーションで複雑さに挑む」という課題を設定

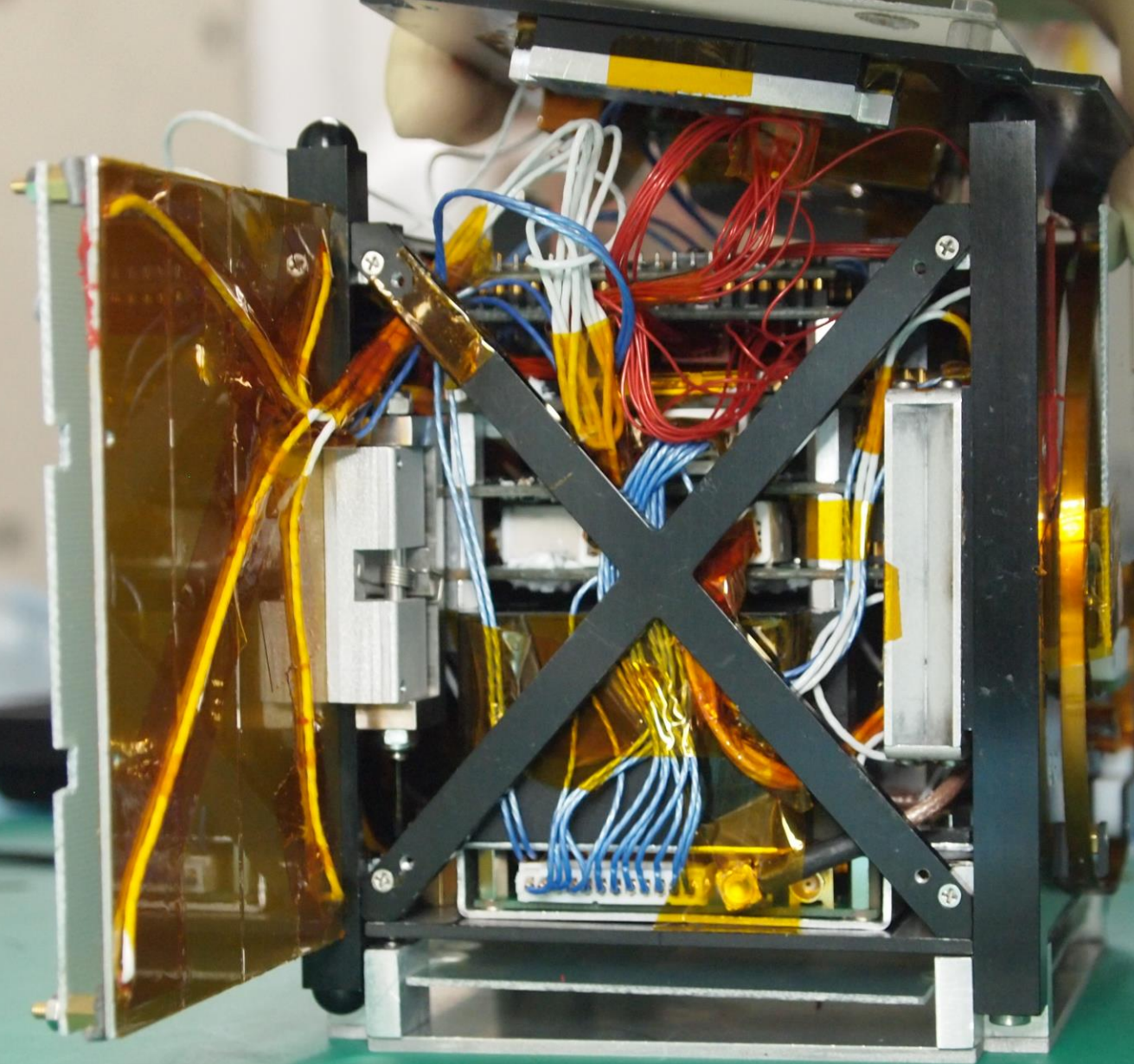
■ 2016年

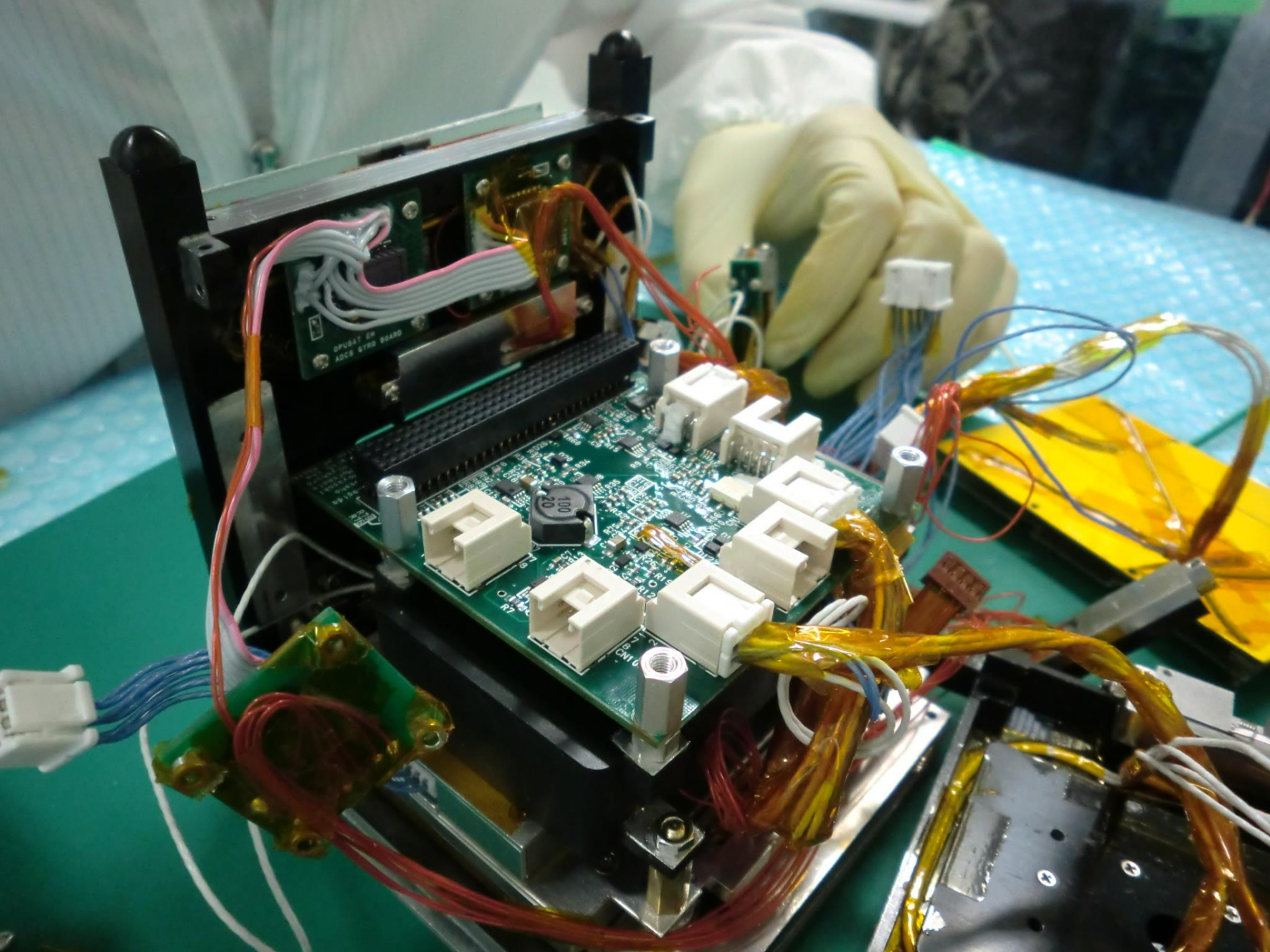
- 株式会社レヴィを設立

A photograph of a rocket launch at night. The rocket is a tall, slender vehicle with a white body and orange accents, ascending vertically. A massive, bright orange and white plume of smoke and fire emanates from the base, spreading out in all directions. The launch is taking place on a dark, silhouetted landscape. In the background, a tall, white, lattice-structured tower is visible. The sky is dark, and the overall scene is illuminated by the intense light of the rocket's engines.

超小型衛星開発









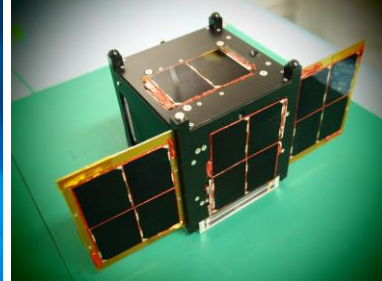
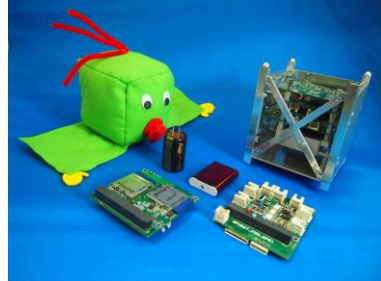
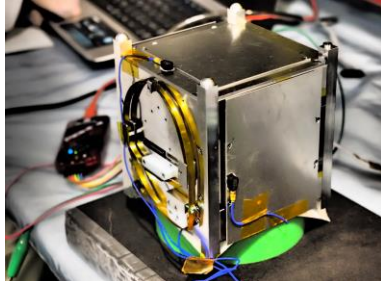
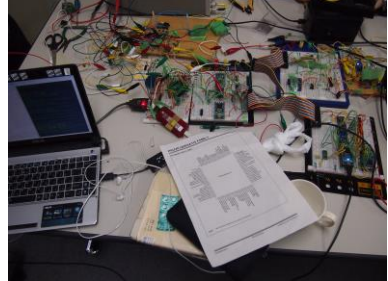




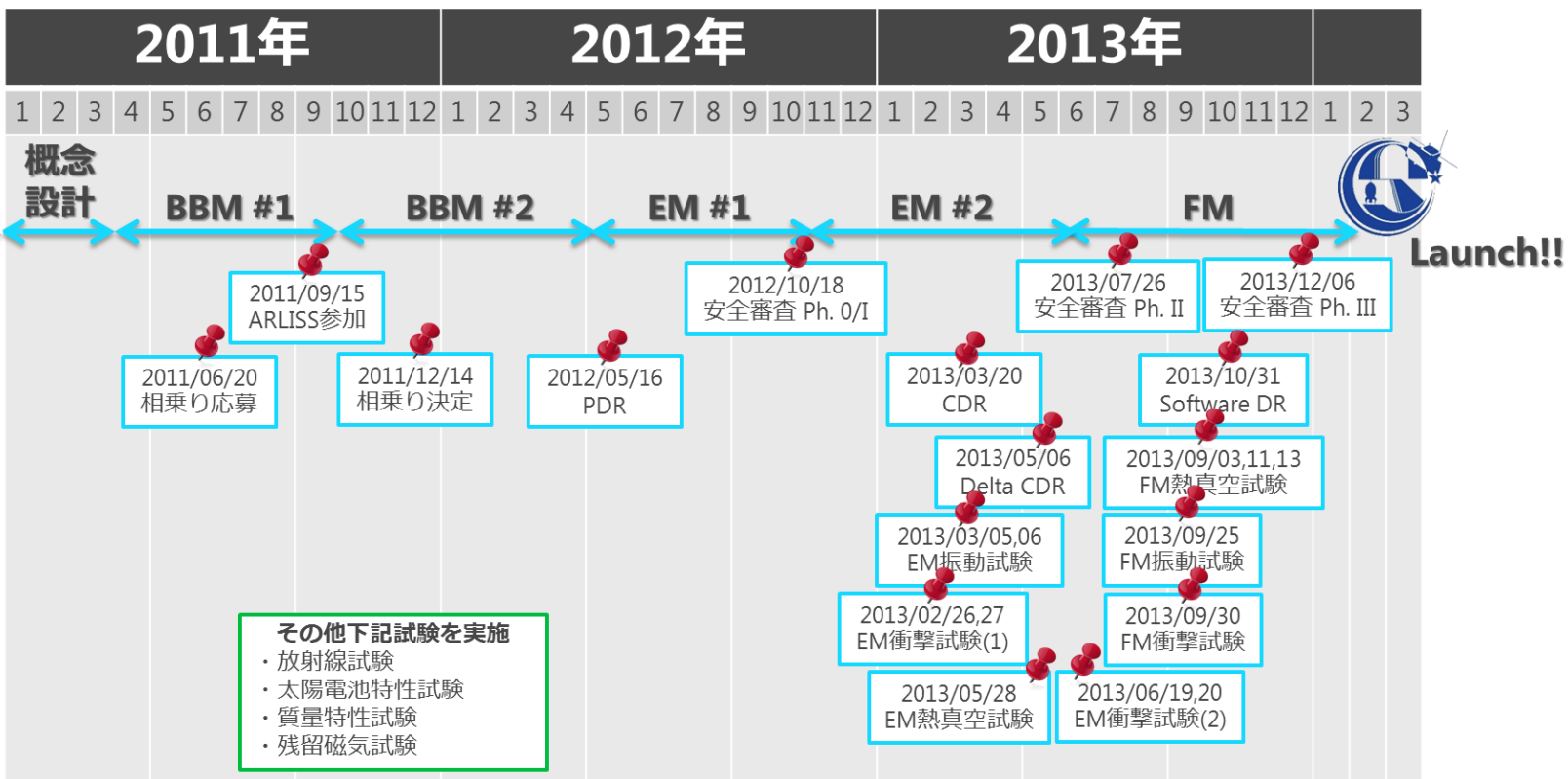
超小型衛星OPUSAT「CosMoz」

世界中の大学生が人工衛星を作る時代

OPUSATは、2014年2月にH-IIAロケット23号機で打ち上げられた。このサイズで世界で初めてとなる太陽指向制御を実現。リチウムイオンキャパシタを用いた衛星電源サブシステムも世界で初めての試み。



プロジェクト
立ち上げ

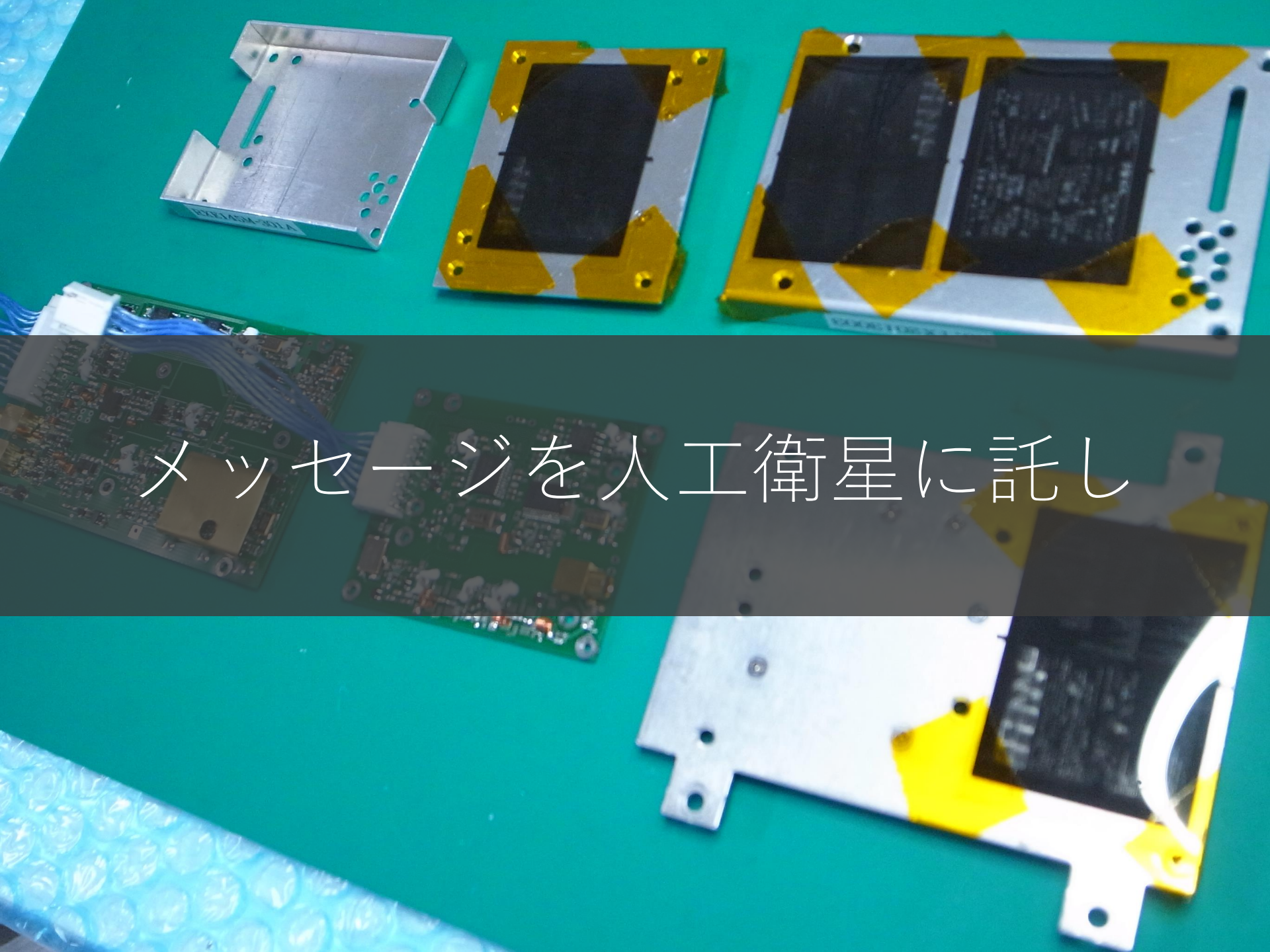


OPUSATの開発スケジュール

約3年間に渡る挑戦



衝撃実験の様子



メッセージを人工衛星に託し

みんなに感謝 未来を 夢を叶えよう! 次につなげる

高島 耕司

OPUSATと一緒に宇宙に
送っけますように 佐々木 貴広

切り拓け!

火又保樹

宮原一樹

2年分の
本気をこめて
中西大樹

不撓不屈
伊藤琢博

熱さに負けず寒さに負けず

宇宙を楽しんでね!

榊林 聖子

無事宇宙まで届きますよう。

Good Luck!

齋藤 亮祐

待てろ宇宙!

角間大輔

あつかれ
さまで
した

☆成功祈願☆

夢が現実となる瞬間...

そしてまた、夢の続きへ...

この夢が、花開くのを

願って、

OPUSAT

想いを宇宙へ

成長できました!!

ありがとう!

松本 将吾

OPUSAT シートが成功し、7人のメンバー
全員が、得難い経験を得られますように。
山本 智宏

感謝

窪田 智之

大江 佐知子

みんなの努力が
報われますように

竹原 諒一

皆の願いが叶いますように
真鍋武嗣

誠心誠意

船越 貴寛

津地 歩

解陽 介

早崎 一彬 谷口 基

一生懸命

一ピン

入魂

元気なモールス
が聞けますように

柴原 幸弥

佐野 明子

直向に! 輝け! OPUSAT

上村 美久 山元 翔太

羽所 昂

柳田 尚志

小野 達也

この一瞬に懸ける

村本 陽拓

OPUSAT.proj
仲 智彦

成功祈願

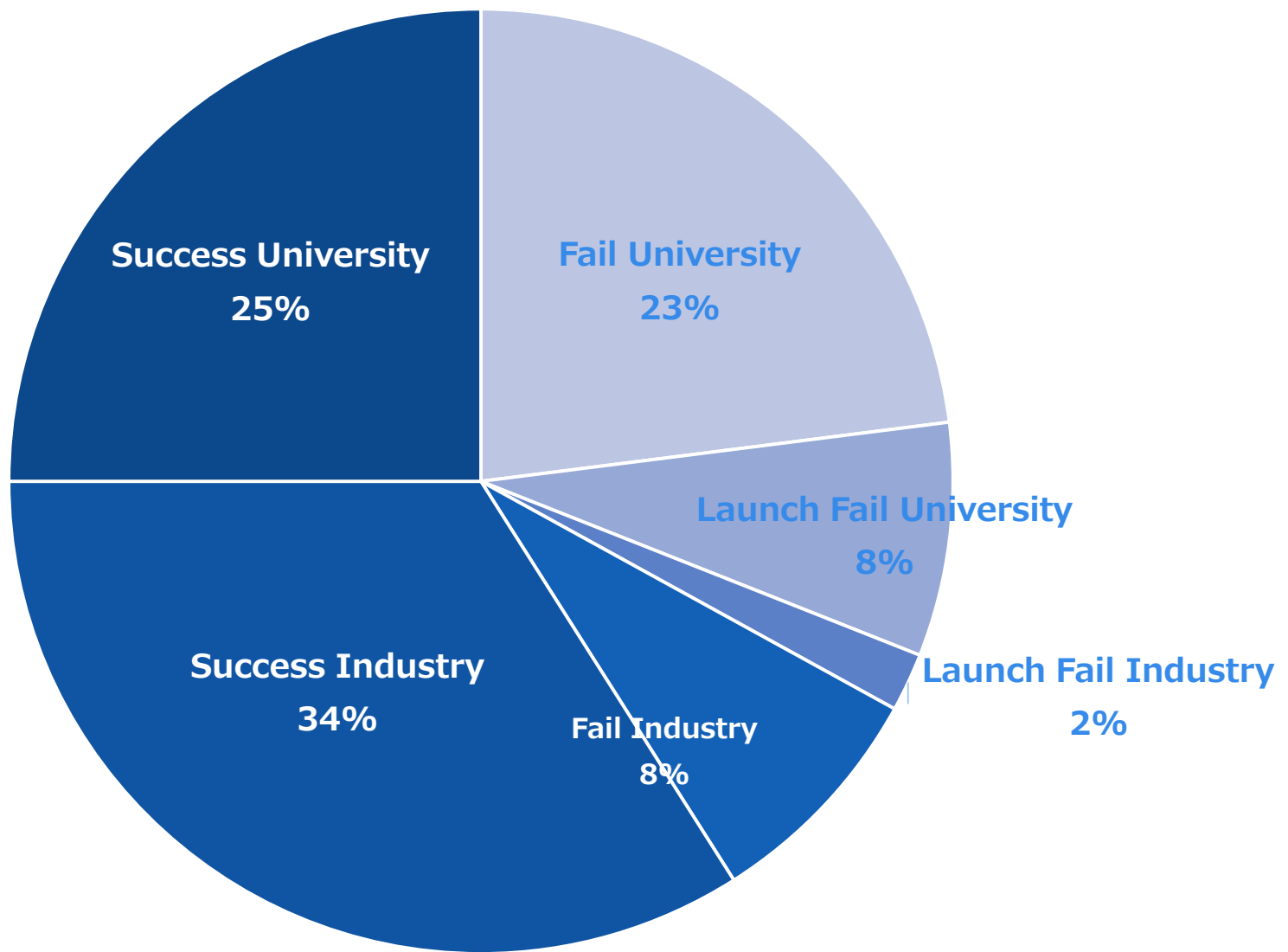
西崎 ひとみ

- 打ち上げ動画

2014年2月28日 打ち上げ

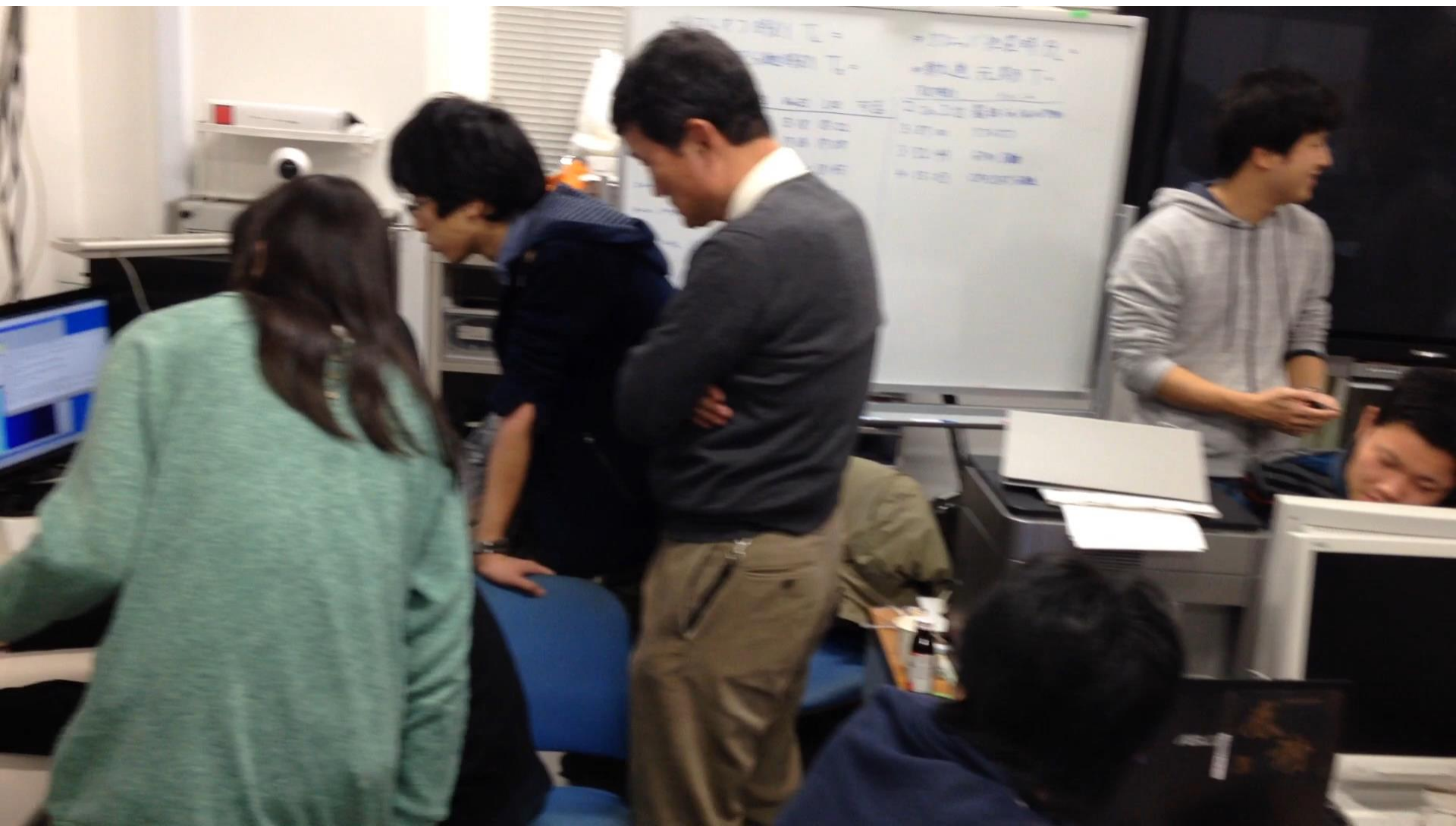
H-IIA 23号機によって、NASA・JAXA・NICT共同開発のGPM主衛星と共に打ち上げられた

52 %



Swartwout, M. (2013): JoSS, Vol. 2, No. 2, pp. 213-233

大学衛星の成功率は低い



OPUSATからのファーストパス



秋

桜



こすもず

デスマとお酒は二十オになってから

こすもず

純府大吟醸衛星「秋櫻」は大阪府立大学の学生達によって、
約3年をかけ丹精込めて手作りされたうすにごりの逸品です。



リチウムイオンキャパシタならではのピリリとした刺激、
学生達の汗とか涙とかのまろやかで豊潤な香りをお楽しみください。

* 実際の製品に人体由来の成分は含まれておりません

- ・ 打上げ前は直射日光を避け、クリーンルームで保管してください。
- ・ 打上げ後は適宜直射日光を当て、一年程度を目安にお早めにミッション完了して下さい。
- ・ 未成年者の飲酒と飲酒運用は法律で禁じられています。デスマは禁じられていません。



醸造元 小型宇宙機システム研究センター

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町一番一号

小型衛星 10cm³ 詰

軌道傾斜角：65度 高度：400km

原材料名：A7075(米国産) LIB LIC

太陽電池 (GaAs) ガラスエポキシ

努力 友情 (遺伝子組み換えでない)

打上年月日

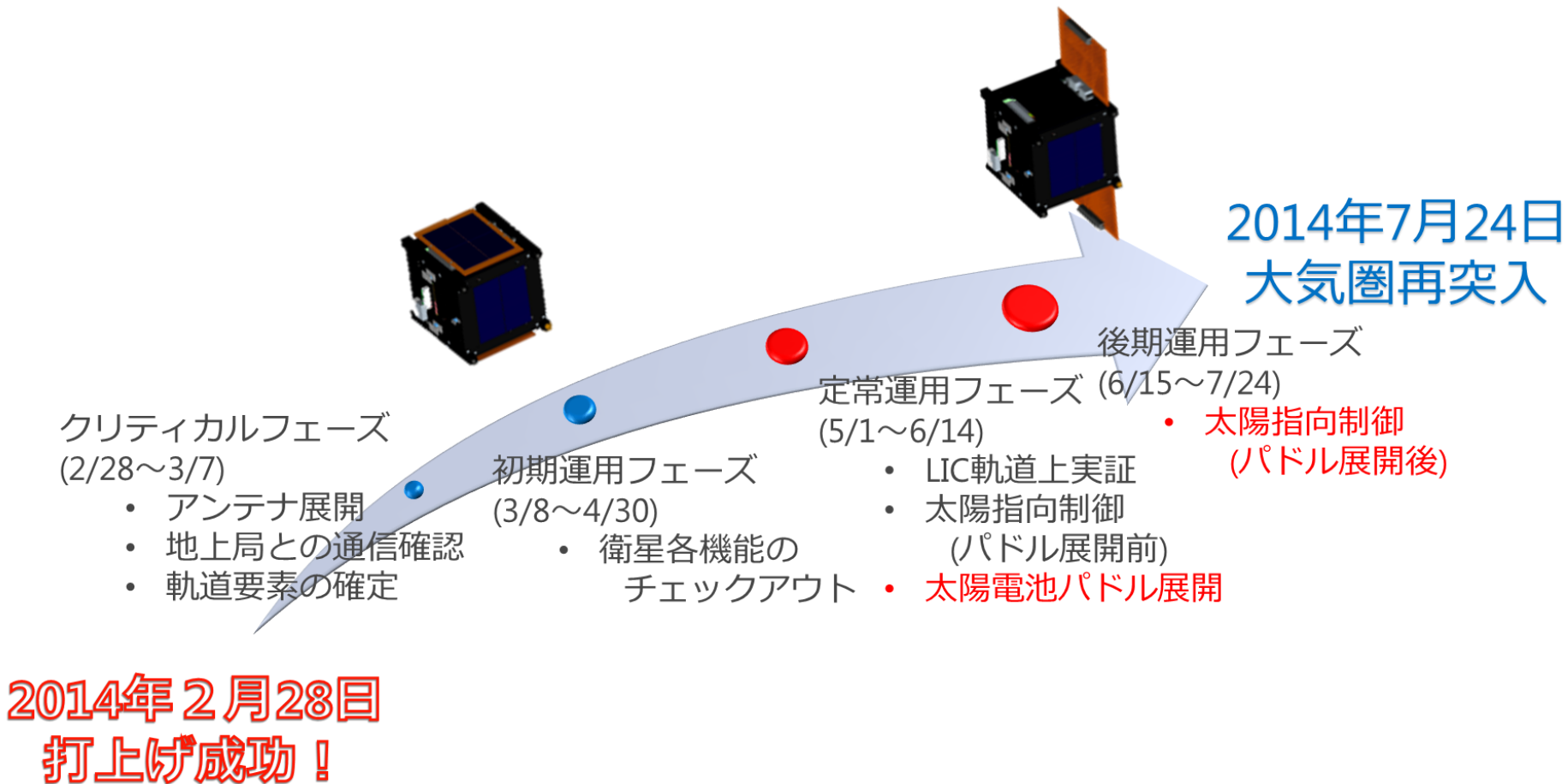
'14.02.28AE



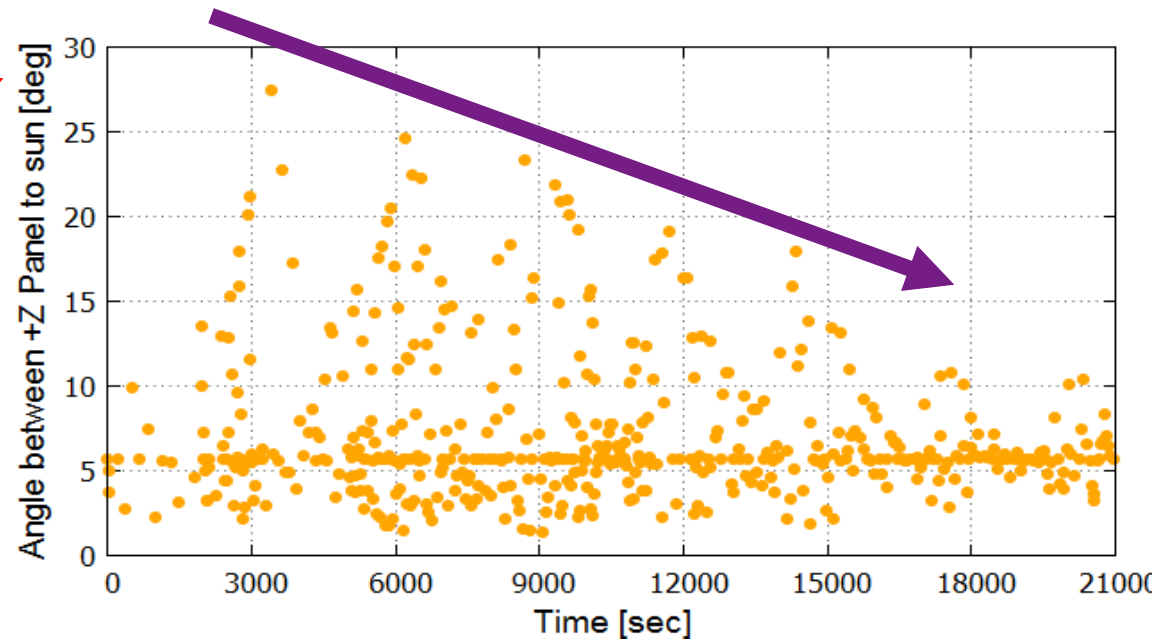
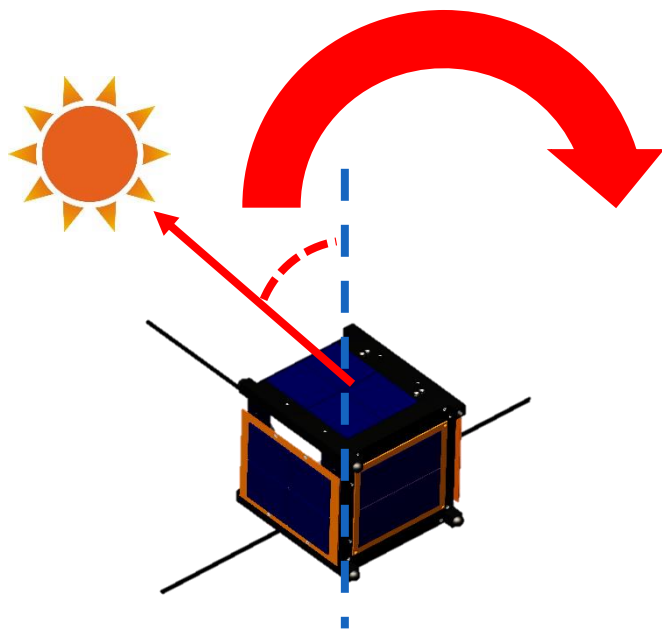
OPUSAT



FMによるデータ受信



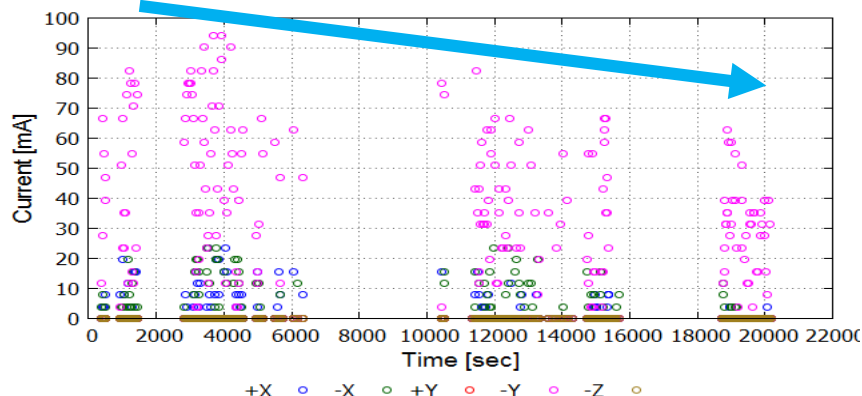
5ヶ月間の運用



指向目標面と太陽とのなす角が次第に減少

太陽指向制御実験の結果

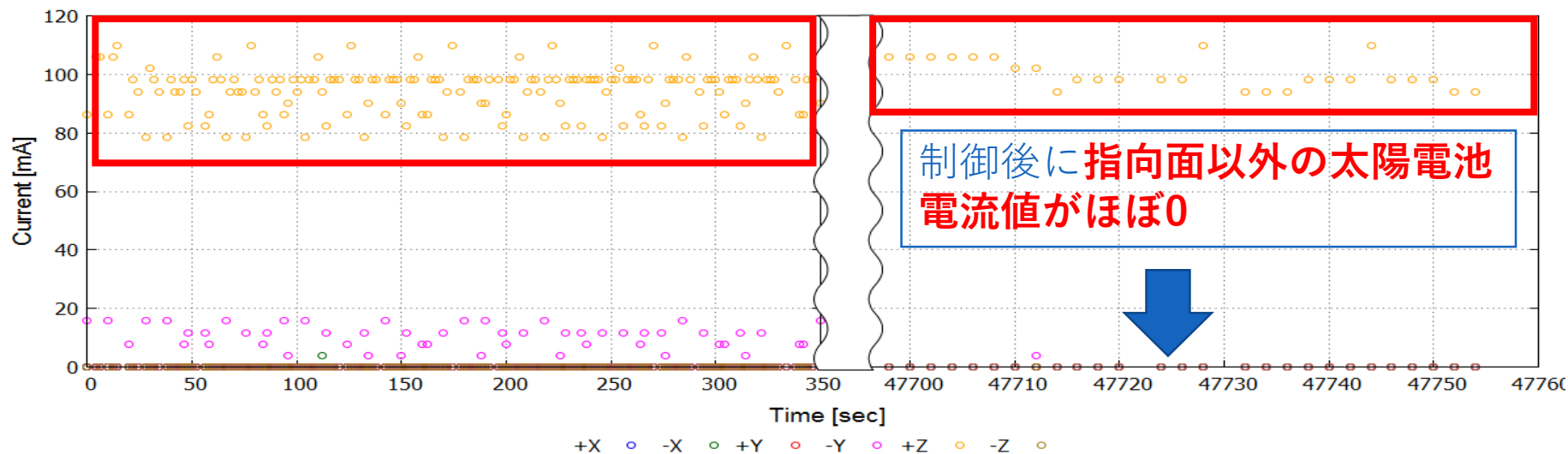
○太陽電池電流(制御中_指向面以外)



指向面以外の太陽電池電流が
次第に減少

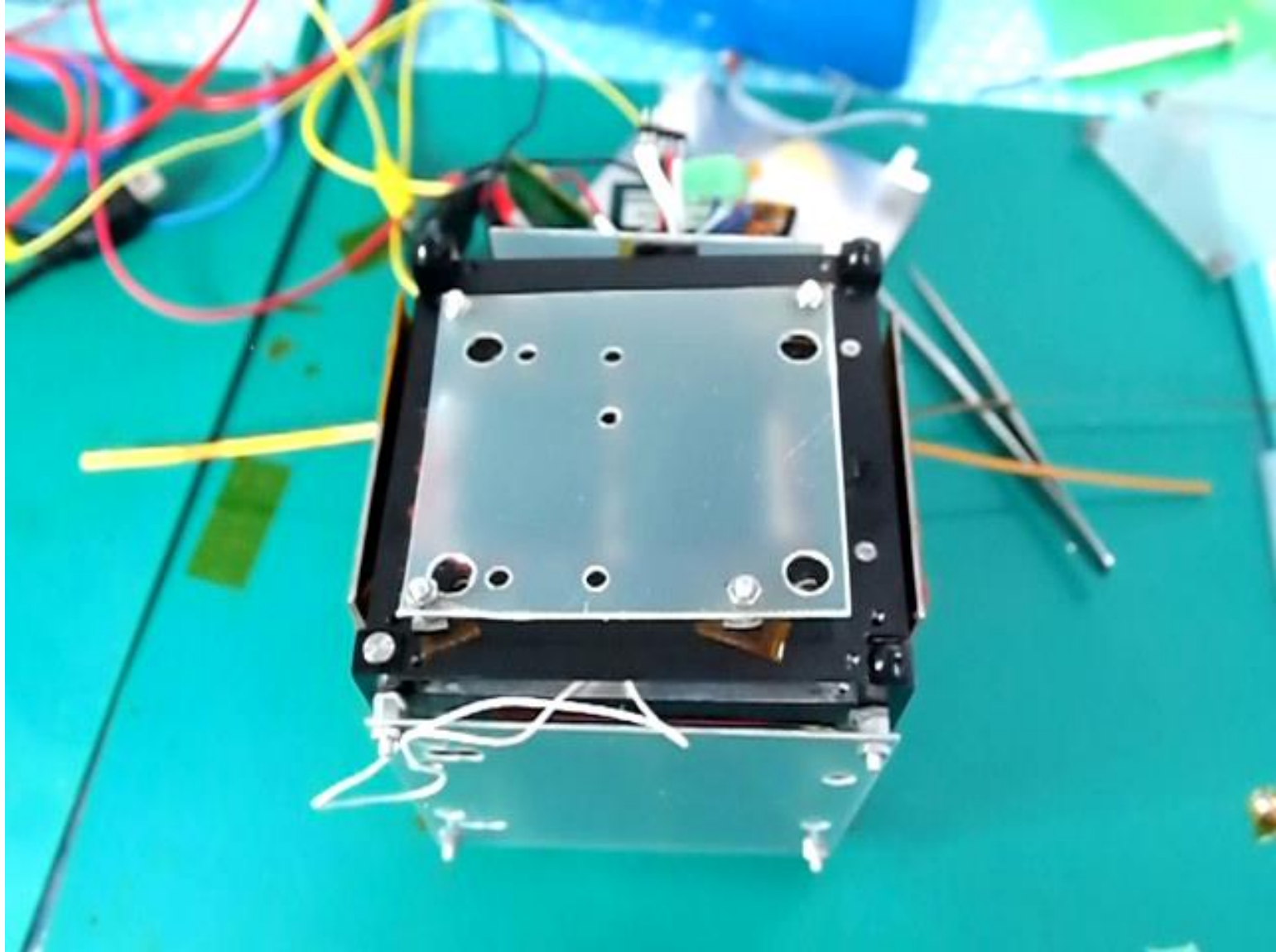
指向面電流の分散が減少
64.5(制御前) ⇒ 25.3(制御後)

○太陽電池電流(制御前後)



制御後に指向面以外の太陽電池
電流値がほぼ0

太陽指向制御実験の結果



パドル展開の地上実験

Minimum	モールス信号によるデータ受信	達成
	AFSKによるデータ受信	達成
Full	リチウムイオンキャパシタの軌道上での充放電確認	達成
	太陽電池パドル展開前の太陽指向制御	達成
	太陽電池パドルの展開	未達成
Extra	LIB-LIC複合電源による運用（FMモード）	達成
	太陽電池パドル展開後の太陽指向制御	未達成
	GFSKによるデータ受信	達成

ミッションサクセスクライテリア

パドル展開以外の全てのミッションを達成

最後は流星に





世界で今なにが起きているのか

インドのロケットが104機の人工衛星を同時に打ち上げ

- 写真

うち88機の人工衛星がCubeSat

- 写真

Dove 衛星の基本スペック

- 3U cubesat, 5 kg
- 90 mm aperture optical payload
- RGB imaging with commercial-grade CCD, 3 – 5 meter GSD
- Fold-out solar arrays and antenna flap
- Magnetorquers, reaction wheels, star camera, GPS
- 3 year operational lifetime (predicted)
- X-band Downlink, S-band Uplink

<https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2015-prague-small-sat/Presentations/Planet-Labs-Safyan.pdf>

応用例：農業、測地、資源開発、都市化、
自然災害、海上監視、代替エネルギー

• グラフ

500 kg以下の人工衛星の打上数の推移と予測

(FACTS & FIGURES ON POSSIBLE FUTURE DIRECTIONS OF THE SMALLSAT MARKET, EUROCONSULT, THE 4S SYMPOSIUM, 2016)

小型衛星の打ち上げ数は驚異的に成長している

このデータに加え、SpaceXは、4425機の衛星をインターネット網構築のために打ち上げると発表している。

• グラフ

宇宙関係スタートアップへの累計投資額

(Start-Up Space Rising Investment in Commercial Space Ventures, January 2016, THE TAURI GROUP)

宇宙関係スタートアップへの投資も加熱

2014年には、googleがSkyboxを5億ドルで買収した。2015年には、ベンチャーキャピタルによる投資額が急激に成長した。

- イメージ

衛星コンステレーションによるインターネット網の構築 (Credit: OneWeb)

ソフトバンクがOneWebに10億ドルを出資

2018年に700 機の人工衛星（150 kg以下）でインターネット網を構築する。衛星一機あたりの通信容量は6 Gbpsの見込み。一日に4 機の人工衛星を製造する計画。

- グラフ

T.H. Zurbunchen, Achieving Science with CubeSats: Thinking Inside the Box, Small Satellite Conference 2017

NASAを中心にCubeSatによる
科学ミッションがすでに多く実施されている

- 図表

T.H. Zurbunchen, Achieving Science with CubeSats: Thinking Inside the Box, Small Satellite Conference 2017

要素技術の向上によって応用範囲が広がる

- グラフ

T.H. Zurbunchen, Achieving Science with CubeSats: Thinking Inside the Box, Small Satellite Conference 2017

姿勢制御技術は急速に進歩した

Photo: NASA/LASP, <http://spaceflight101.com/cygnus-oa4/minxss/>

太陽フレア軟X線放出観測衛星 MinXSS

地球近傍の太陽X線エネルギー分布を計測する3UのCubeSat（2015年12月打ち上げ）最大発電量20 W（太陽指向）、指向精度 $\pm 0.003\&0.007$ deg

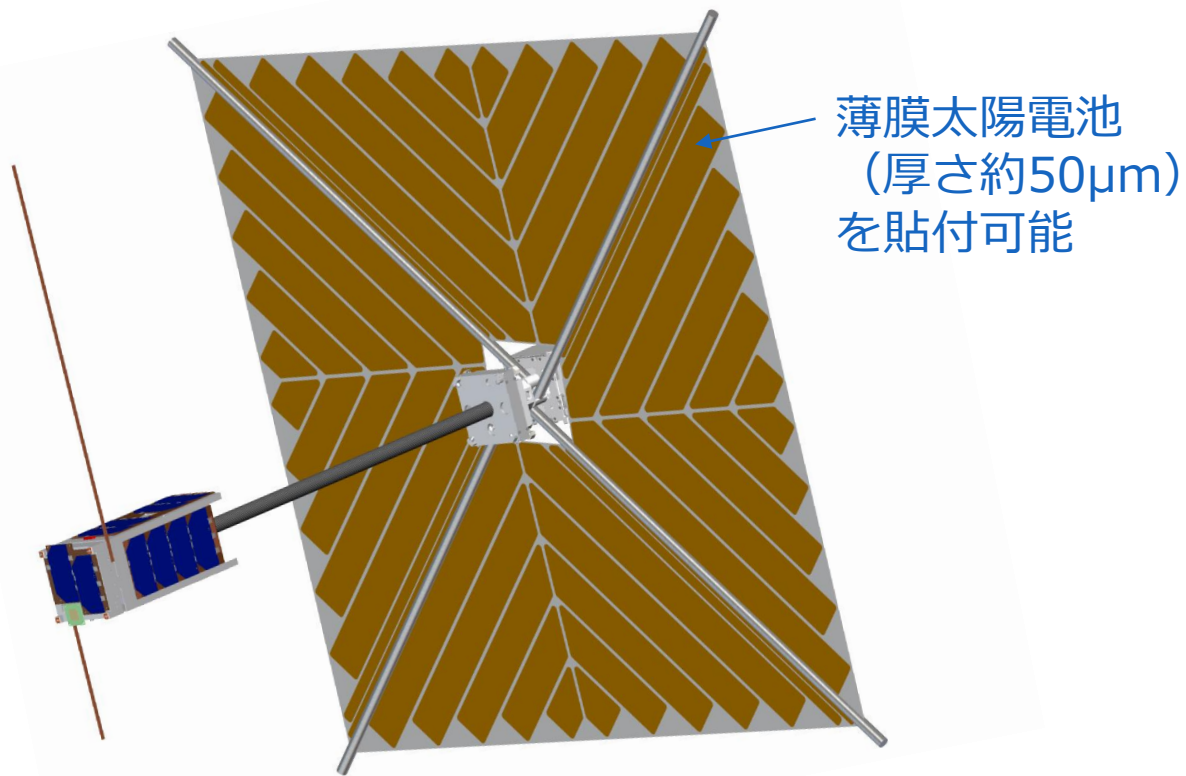
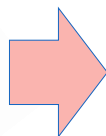
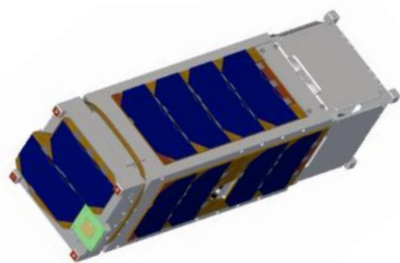
- イメージ

<http://issl.space.t.u-tokyo.ac.jp/equuleus/>

深宇宙探査用CubeSat “EQUULEUS”

地球一月ラグランジュ点への航行を通じて太陽－地球一月圏での軌道操作技術を実証する超小型深宇宙探査機(6U CubeSat) NASAのSLS初号機にて2018年に相乗り打ち上げ予定

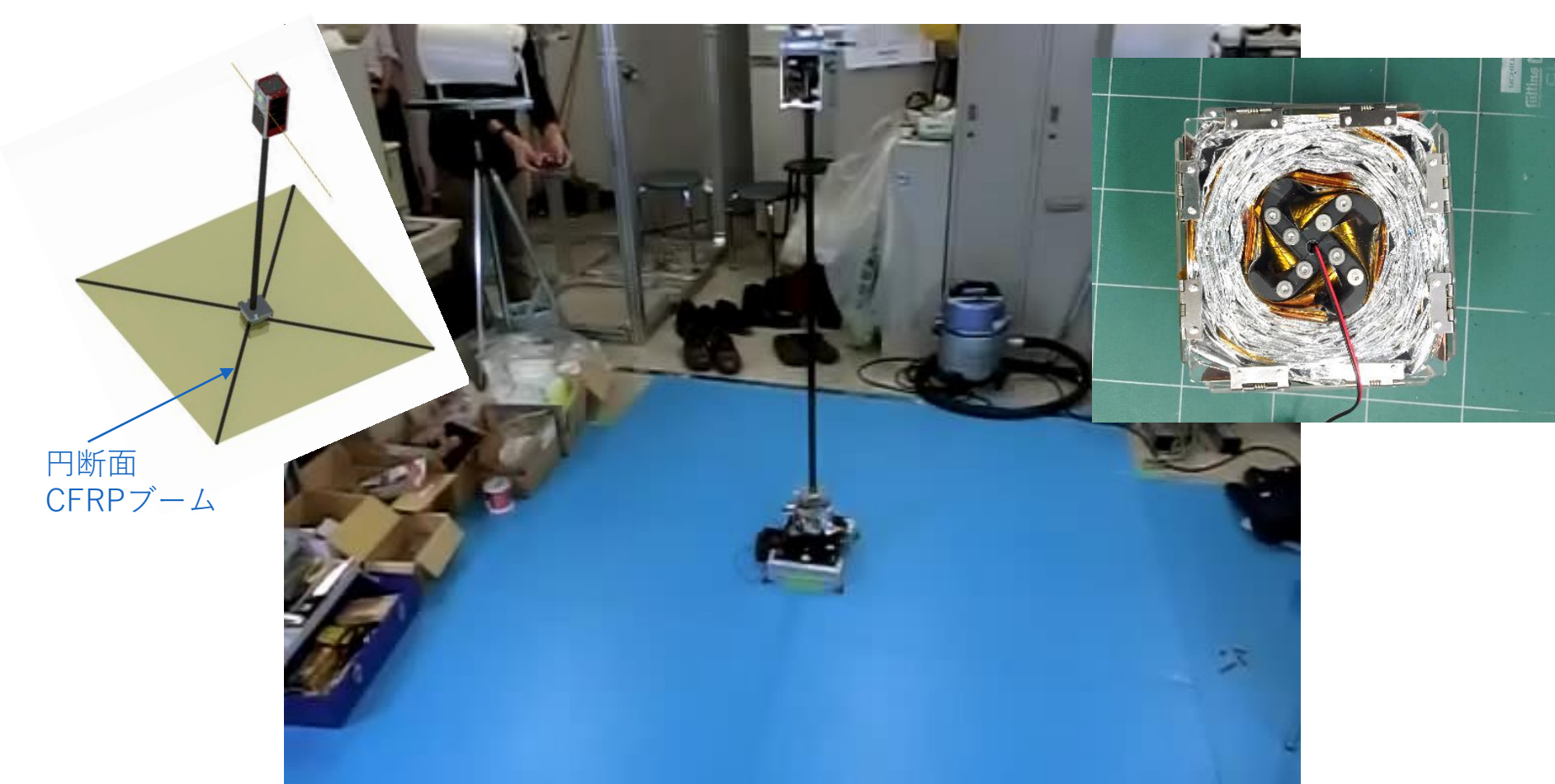
- ✓ 東工大
- ✓ 日本大学
- ✓ (株) ウェルリサーチ
- ✓ サカセアドテック (株)



画像提供：東京工業大学

展開構造技術実証衛星 OrigamiSat-1

折り紙の技術を使って、これまでになく軽量・高収納率の太陽電池アレイを宇宙で展開(3U CubeSat: X: 100 × Y: 100 × Z: 340.5 mm, 3.99kg)

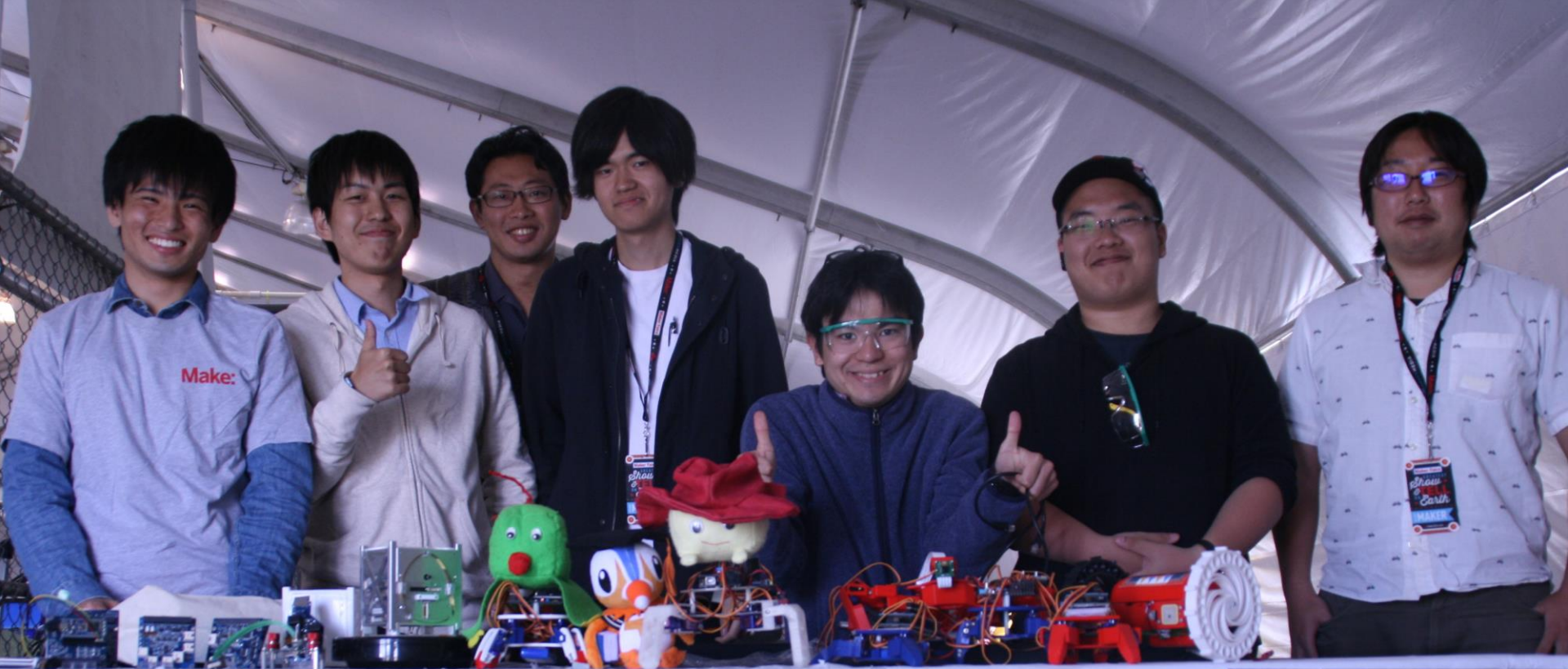


OrigamiSat-1高機能膜の地上展開実験 (2016年8月@東工大古谷研)

展開構造技術実証衛星 OrigamiSat-1

折り紙の技術を使って、これまでになく軽量・高収納率の太陽電池アレイを宇宙で展開(3U CubeSat: X: 100 × Y: 100 × Z: 340.5 mm, 3.99kg)

小型衛星をやらない理由
を探す方が難しい



MAKE YOUR LAB ON ORBIT

Maker Faire 11

OPUSAT-KIT and
TETORA



OPUSAT-KIT is a standard bus system following the design of the successfully CubeSat-type satellite. TETORA is a quadruped-type walking robots developed by students. It achieves amusing motions with B servomotors and various sensors.

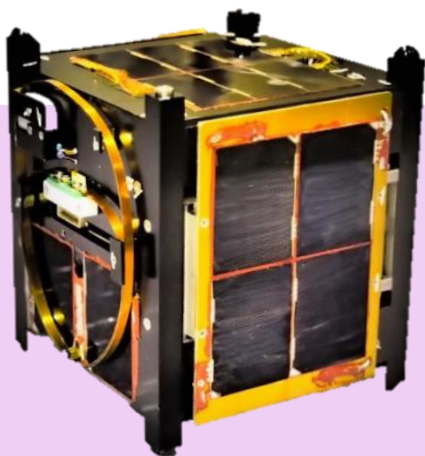
OPUSAT-KIT Project and TETORA Project
11 students in Osaka Prefecture University belongs to
OPUSAT-KIT Project and 5 students in Tohoku University belongs
to TETORA Project. Both projects aim to conduct project based
learning for education of systems engineering.



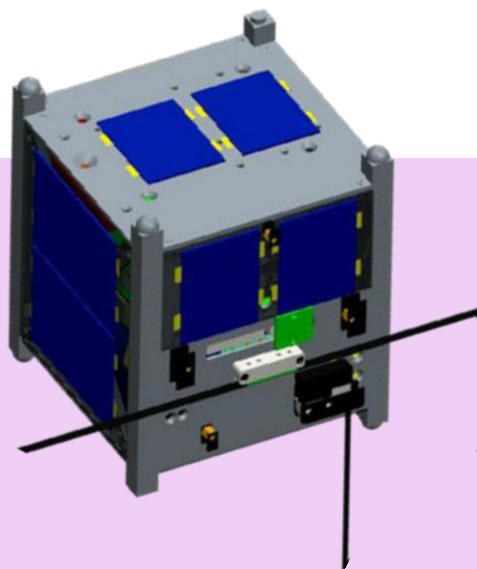
BALUS

Share and Reuse
Your Knowledge

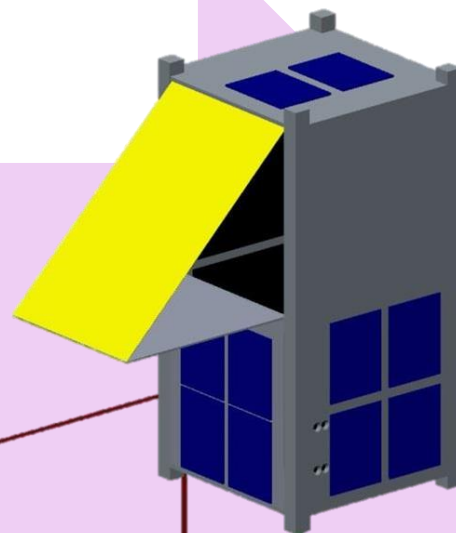
OPUSAT後の活動



OPUSAT

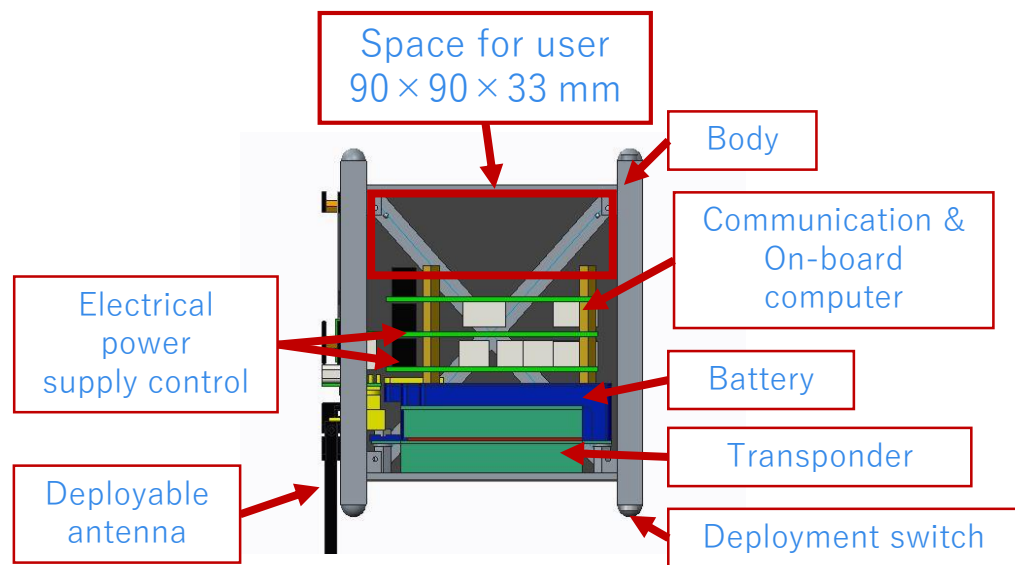
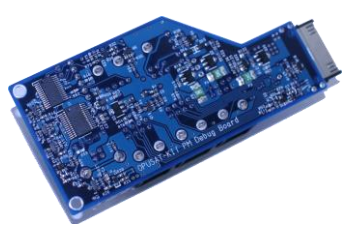


OPUSAT-KIT



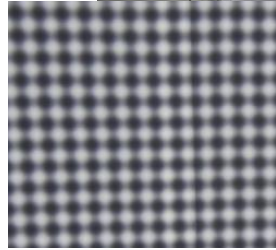
OPUSAT-II

OPUSATの実績を次につなげ
継続的な衛星開発の流れをつくる

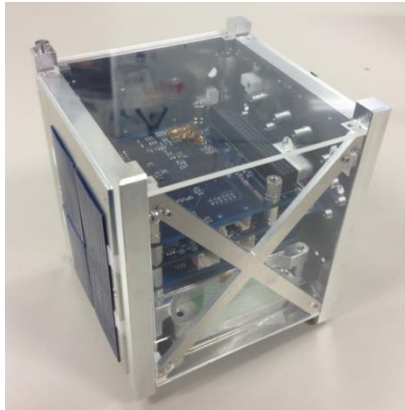


CubeSat用標準バスOPUSAT-KIT

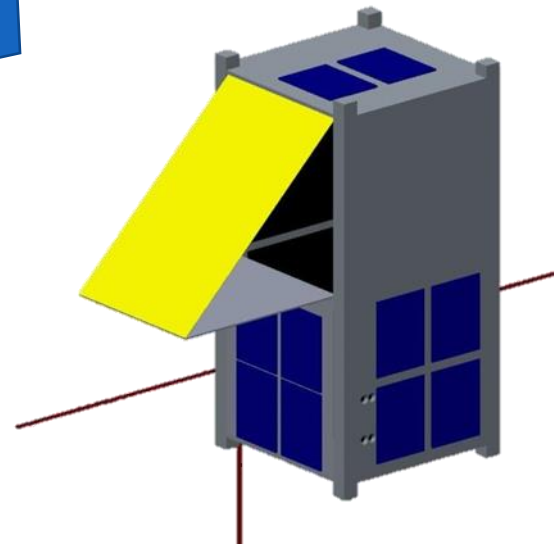
はじめてCubeSatを作る人がミッション部開発に集中できるように...



高精度計測システム



標準バスシステム



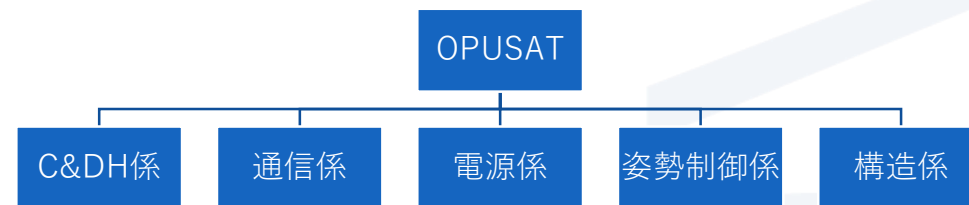
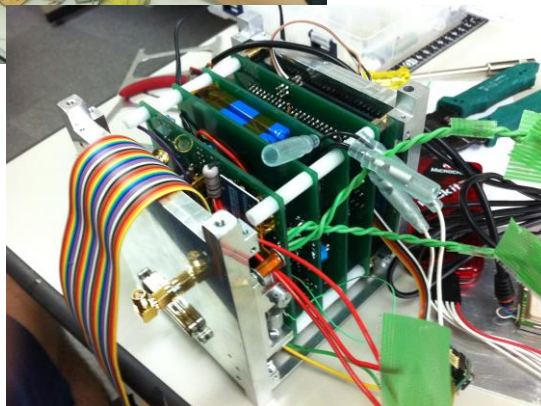
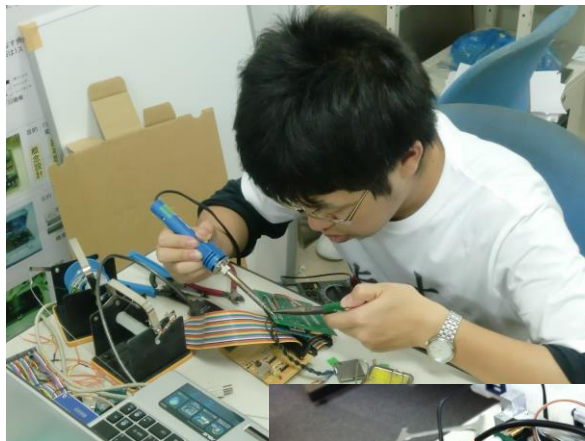
超小型衛星OPUSAT-II

軌道上で、構造物の形状を計測する。摂南大 岸本准教授，室蘭工大 樋口教授・勝又助教，鳥取大 岩佐准教授，福井大 藤垣教授，千葉工大 秋田准教授のご協力の元，「板ミウラ折り展開構造×平面度の測定」を軸にコンセプト検討中。

上流設計

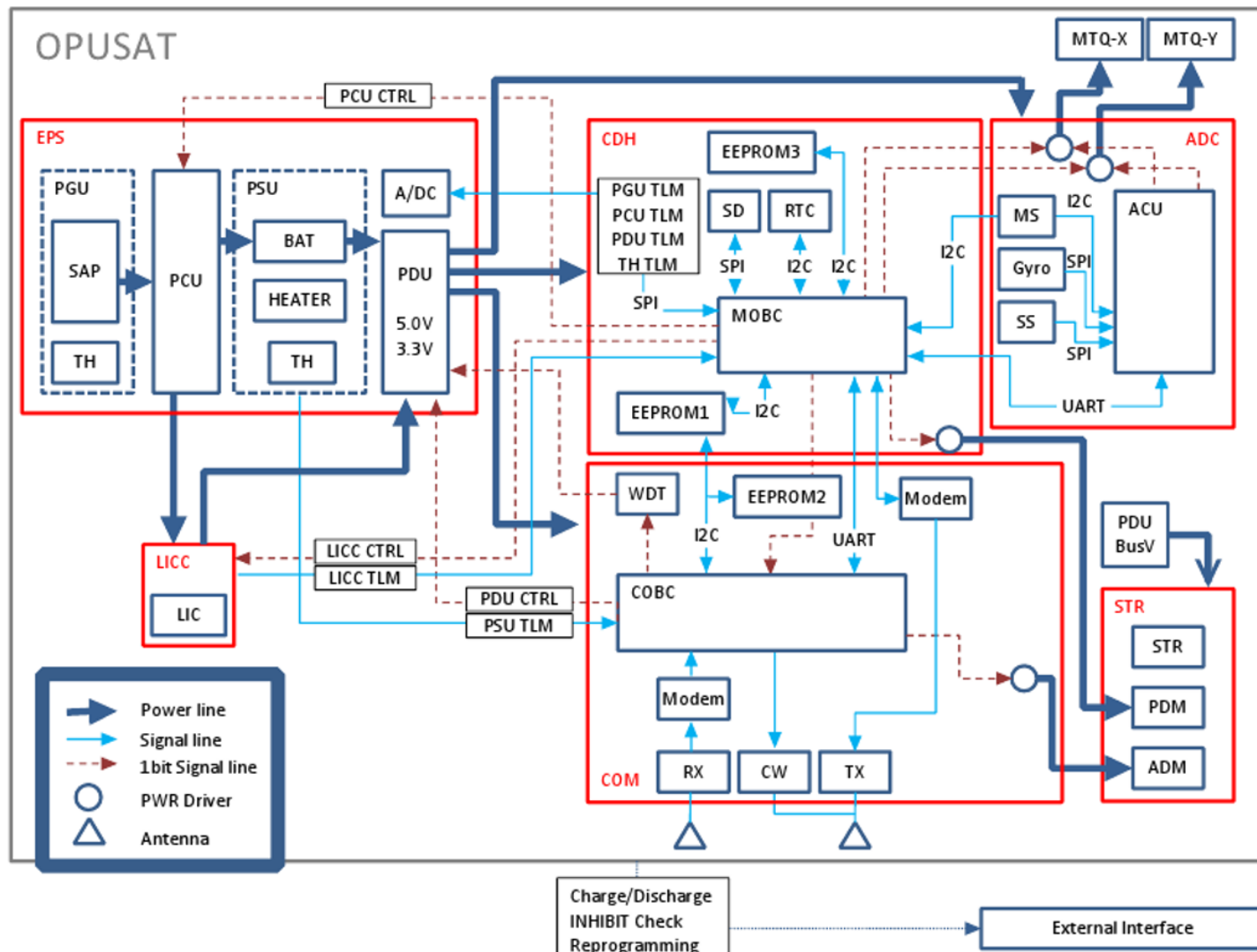
OPUSAT初期の謎過ぎた活動

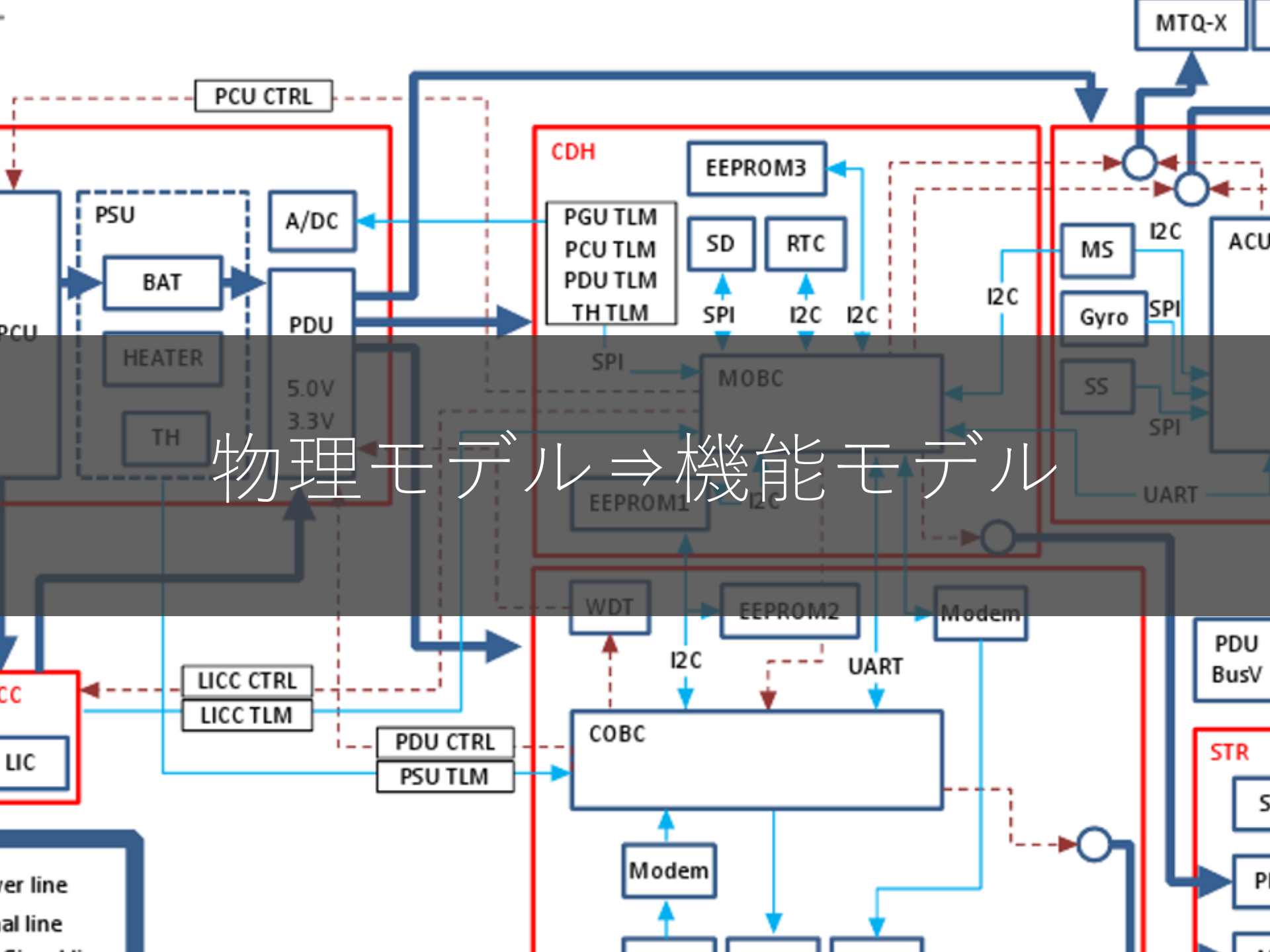
衛星全体の機能やインターフェースに関する議論が皆無にも関わらず、サブシステム（！？）の物理設計と実装が進んでいた



〇〇系ではなく、〇〇係に
分割されていた

4機目の試作機でようやく...









モヤモヤに形を与え
実現するための語り場



こんなシャンパングラスがほしい



どんな形状？

どんな加工が必要？

持ちやすい重心の位置は？

どれくらいの予算と期間で作れる？

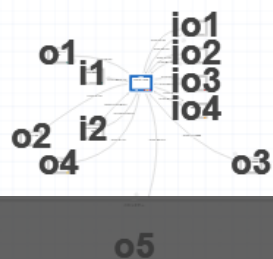


最初は曖昧だったアイディアに経験者からのアドバイスが集まり，徐々に形になっていく

EDIT

MOBCモード管理

■ **Linked Nodes**



io1. **← ミッション完了フラグ**

- ミッションモードID → 振動計測

io4. **← ミッションモードID →** **← ミッション完了フラグ**

■ 撮影対象展開

In

i1. **←ミッション異常ステータス→** MOBC異常判断i2. **←コマンドミッションモードID→**

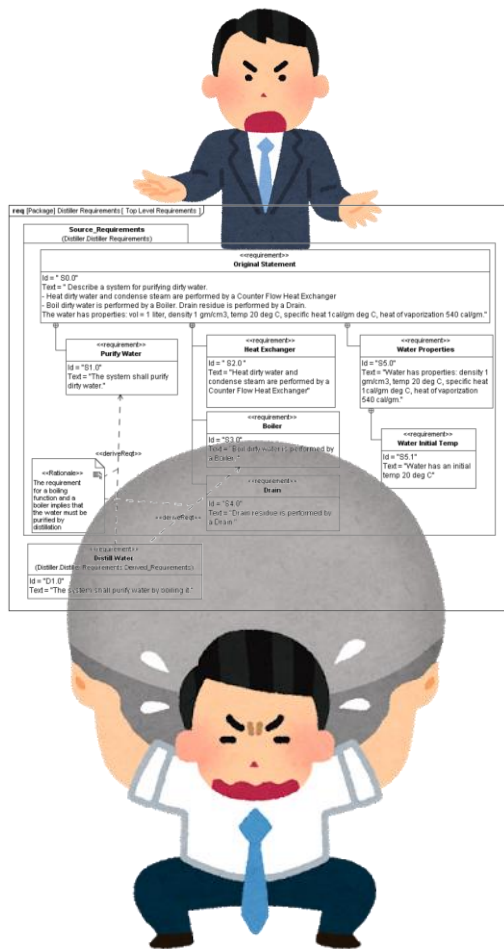
◀UARTチェックサム一致フラグ BOBCからのデータ受信

Out

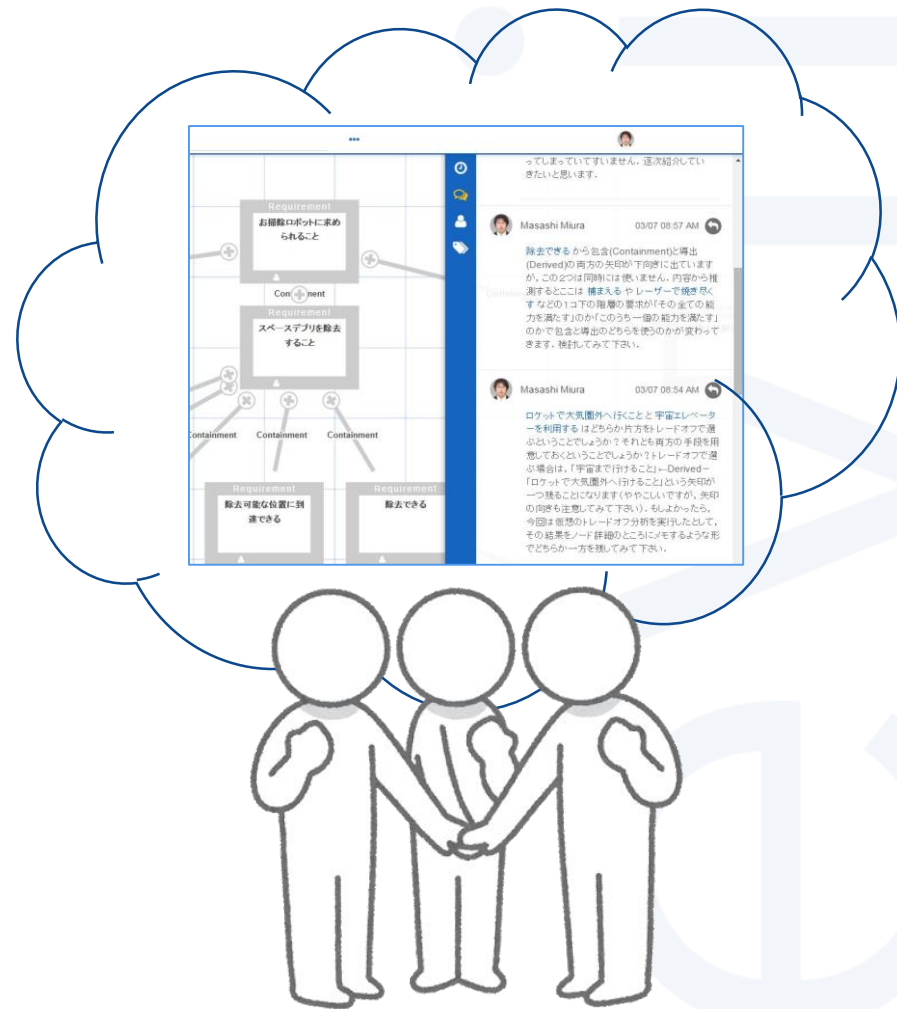
01. **ーミッションモードID →** Sバンドテレメトリ生成

02. **－ミッションモードID→** FMテレメトリ生成

トップダウンではなくコラボレーション



従来のモデリングツール



レヴィのモデリングツール

電子回路設計へ応用



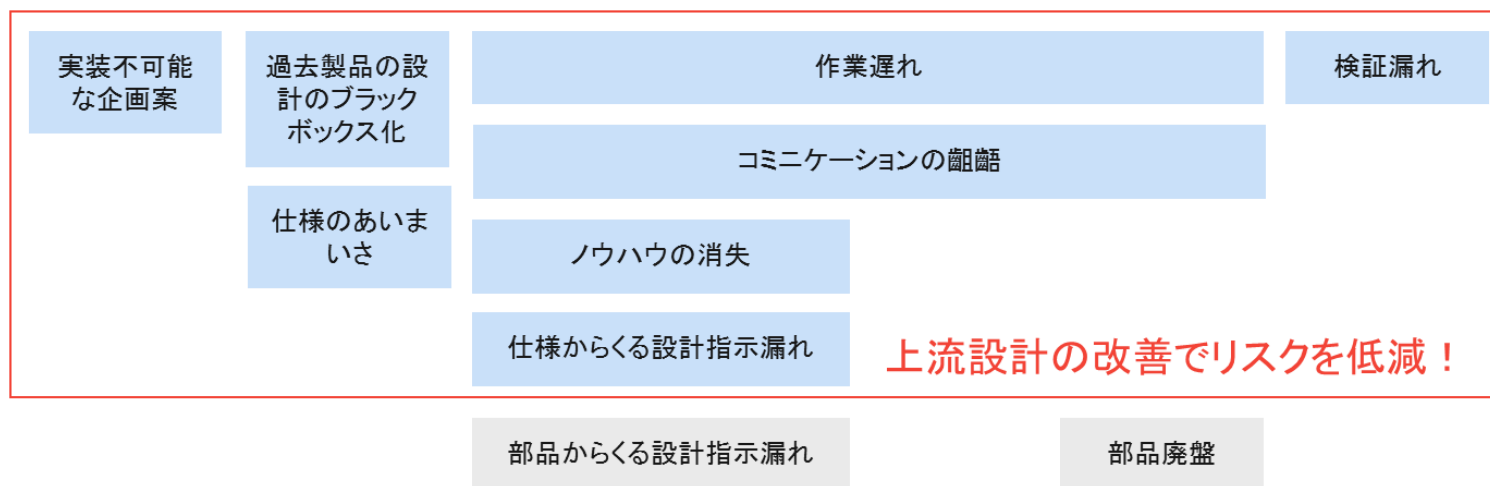
上流設計

下流工程

製品開発プロセス



各プロセスで発生するリスク



電子回路設計における情報の共有と管理をサポート

クラウド型PDMソリューション

Quadcept Force

複雑かつ断片化されたデータを
シームレスに統合・管理

お客様の課題を解決



企画から設計、製造、実装までの全ての工程を一括管理

Quadcept Force は CAD と直接連動するクラウドソリューション
製品開発における QCD 向上をサポートします。

超小型衛星 × スタートアップ

- イメージ

<https://www.axelspace.com/>

株式会社アクセルスペース

日本の超小型衛星ベンチャーの牽引役

100 kg以下のGRUS衛星を2017年の3基を皮切りに2018年から年10基ずつ打ち上げ最終的に50基体制を実現する（地上分解能2.5 mのパンクロマティックと5 mのマルチスペクトル）

- イメージ

<https://www.infostellar.net/>

株式会社インフォステラ

地上局アンテナのシェアリングサービス

「宇宙最大の通信インフラの構築を通じて人類の生存圏拡大に貢献する」をミッションに掲げている

- イメージ

<http://www.star-ale.com/info/detail/news/50>

株式会社ALE

人工衛星によって流星を人工的に作る

2018年に打ち上げ、2019年に広島上空にて実施予定

A person wearing a white lab coat and a white hairnet is working on a circuit board. The person is using a pair of tweezers to place a small component on the board. The circuit board is populated with various electronic components, including resistors and integrated circuits. A green tape is used to secure a component on the board. The background is a clean, white surface.

「衛星を作る」だけでは
スタートアップにはなれない

• グラフ

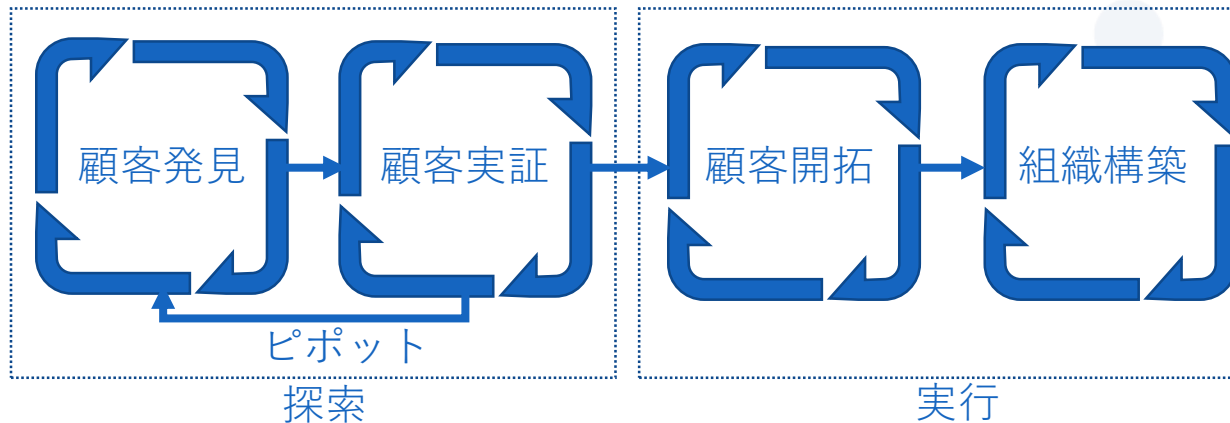
Credit: Masayuki Tadokoro

Ref: Masayuki Tadokoro, Startup Science 2017

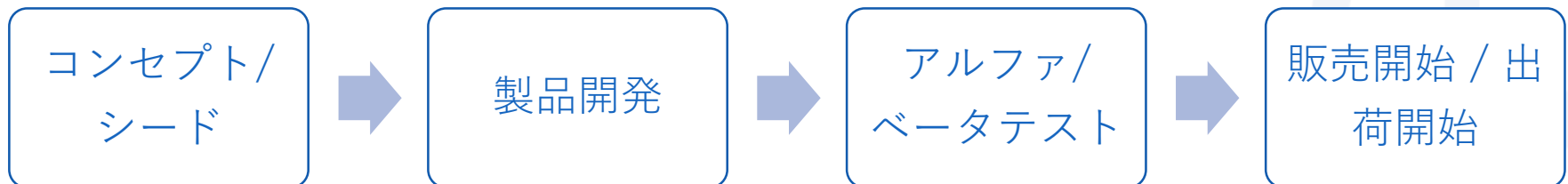
スタートアップはJカーブを描く

スタートアップには顧客開発が必要

顧客開発モデルでは、後戻りすることは
学習と発見における重要な過程



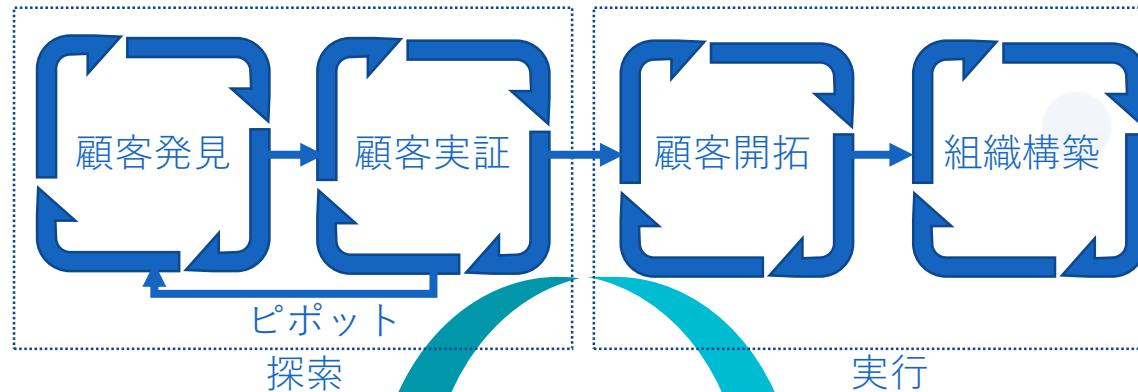
既存のよく定義された市場に新製品を投入する場合は、製品開発モデルが有効だが、多くのスタートアップはその場合に該当しない



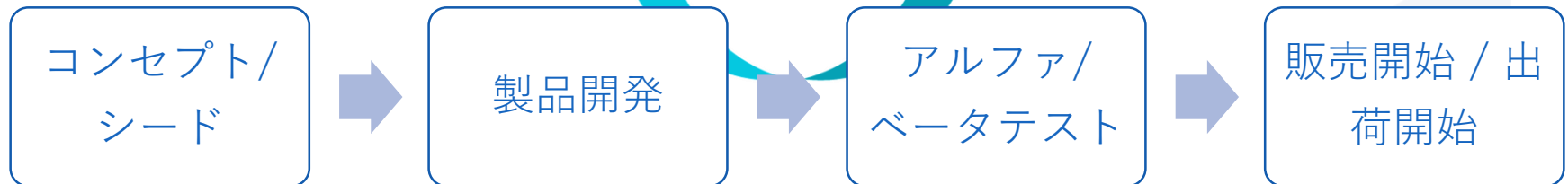
(Ref: スティーブン・G・ブランク アントレプレナーの教科書)

モデルを用いて顧客開発と製品開発の同期を実現する

Operational View



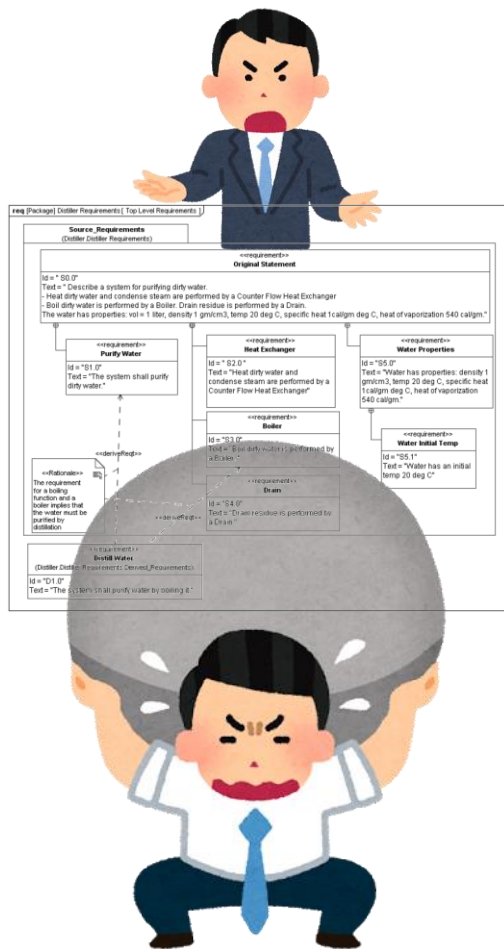
Functional/Physical View



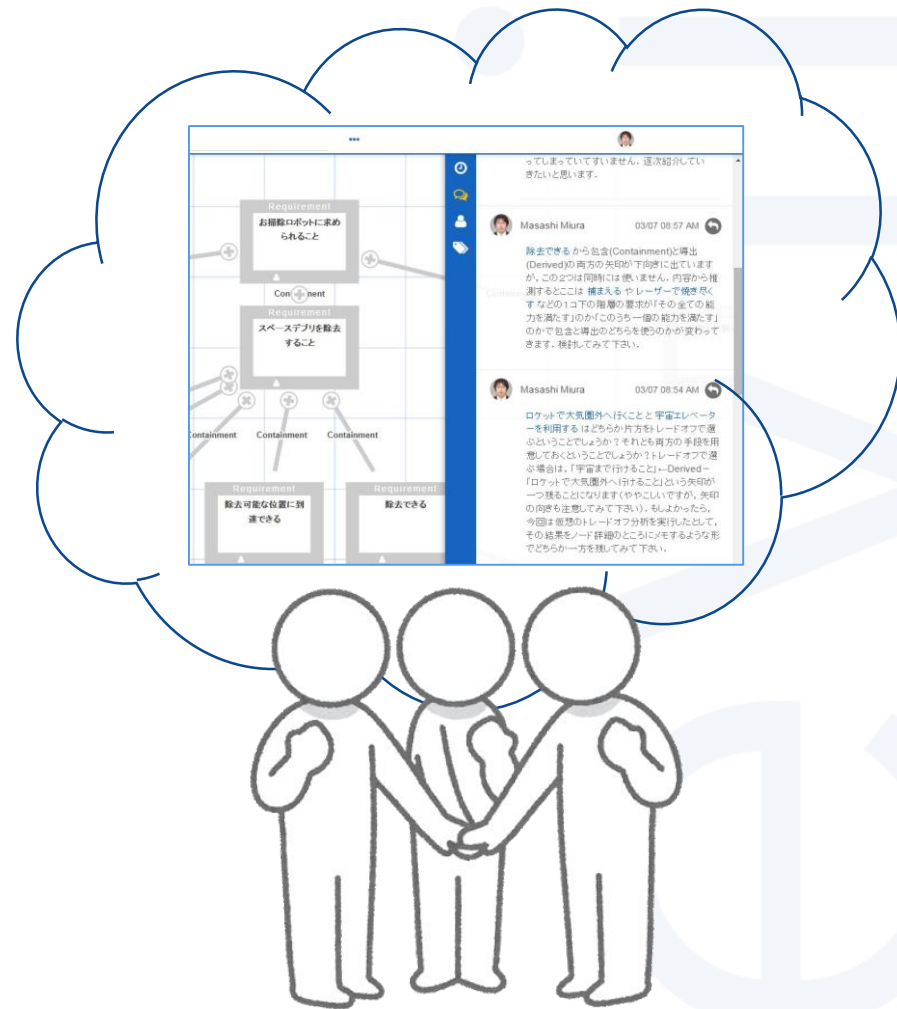
大型衛星と同じ発想で超小型衛星を
作ってはいけない



トップダウンではなくコラボレーション



従来のモデリングツール



レヴィのモデリングツール

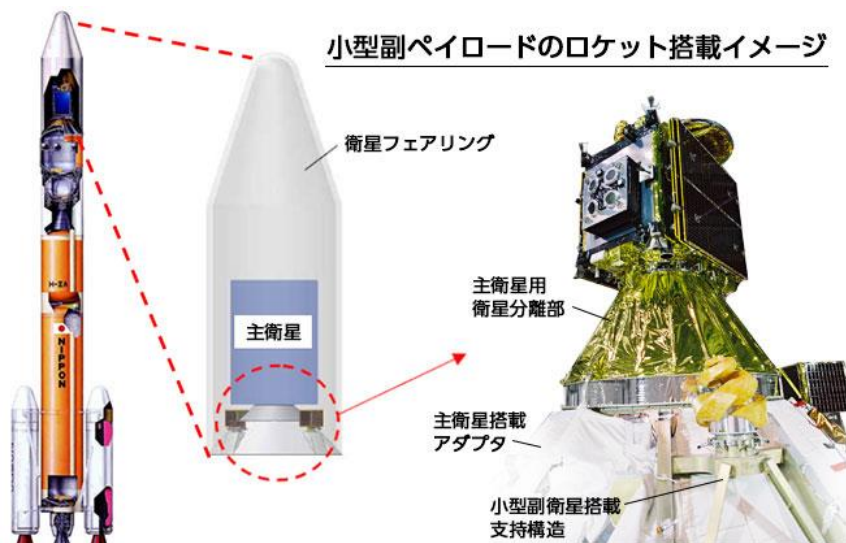
複雑なやり方しか通用しない
複雑な課題を解決するための
複雑なシステムを実現したいときには
私たちにご相談ください



打ち上げ手段

H-IIAロケット相乗り

(画像出典：JAXA)



国際宇宙ステーション

「きぼう」モジュールからの放出

(画像出典：JAXA)

