

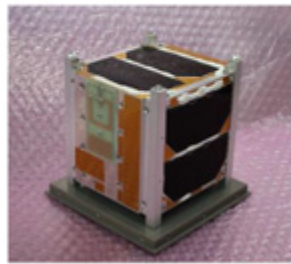
## 5.7. 筑波大学超小型衛星 ITF-1「結（ゆい）」の 紹介と今後の展望

筑波大学 准教授

亀田 敏弘 氏



# 筑波大学超小型衛星 ITF-1「結(ゆい)」 の紹介と今後の展望



筑波大学 システム情報系  
亀田 敏弘

1

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## 内容

- ▶ 衛星の紹介
- ▶ 今後の展望

2

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## 衛星開発へのきっかけとこれまで

- ▶ 平成20年9月 JAXAと連携協力協定締結
- ▶ 平成21年3月 JAXAと連携大学院協定締結  
筑波大学ブレ戦略イニシアチブ  
「地球以遠への発展を目指す宇宙開発技術」  
に対する大学からの支援(平成19～22年度)
- ▶ 平成22年3月 筑波大学宇宙コンソーシアム設立  
筑波大学の学際性・多様性を意識した宇宙へのアプローチ
- ▶ 平成23年 教育・研究の両面から超小型人工衛星の検討・開発  
H-IIAロケットによる相乗り衛星打上げプログラムに応募
- ▶ 平成23年12月 ITF-1「結」がGPM相乗りに採択
- ▶ 平成24年9月 JAXA環境試験技術センターと「衛星環境試験に係る人材育成に関する連携協力覚書」
- ▶ 平成24年12月 西田センター長によるセミナー  
「宇宙機開発における技術とは(試験技術&計測技術&人の技術)」
- ▶ 平成25年 JAXAにて3回の熱真空試験実施。EM/FMの振動・衝撃試験に対する支援

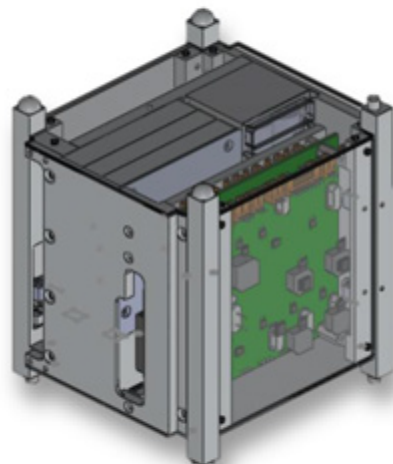
3

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## ITF-1「結」

- ▶ 寸法
  - ▶ 109 × 102 × 130.5 mm (1U CubeSAT)
- ▶ 重量
  - ▶ 1.3 kg
- ▶ 運用軌道
  - ▶ 軌道高度 : 400km
  - ▶ 軌道傾斜角 : 65度
  - ▶ 軌道寿命 : ～半年
- ▶ ダウンリンク
  - ▶ 周波数 : 435MHz
  - ▶ 電波形式 : F2A(周波数変調モジュール)
  - ▶ アンテナ : 1/4 λ モノポールアンテナ
  - ▶ 出力 : 0.3W
- ▶ アップリンク
  - ▶ 周波数 : 435MHz・144MHz
  - ▶ 電波形式 : F2D(DTMF)
  - ▶ アンテナ : 1/4 λ モノポールアンテナ・超小型アンテナ



4

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## ITF-1「結」

### ▶ 開発

筑波大学 ネットワーク衛星「結」プロジェクト  
希望学生は全学から参加可能

### ▶ コンセプト

様々な波及効果を期待した  
衛星による人々のネットワークの構築

### ▶ ミッション

- 「結」ネットワークの構築
- 新型マイコンの動作実証
- 超小型アンテナの動作実証

### ▶ 打ち上げ時期

平成25年度  
(GPM相乗り小型副衛星として H-IIAで)



5

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## 「結」ミッションの新規性と将来性

### ▶ 大学研究室で閉じない大学衛星

→世界からの利用を想定

### ▶ 「結」が世界上空でモールス符号化したHKデータを送出

→宇宙発の信号の簡便な受信機会の提供(ハンディレシーバ)

### ▶ 世界規模の受信データ報告サーバクライアントシステム

→インターネット、スマートフォンを活用したリアルタイムの報告  
基地局は世界のすべての受信体験者

### ▶ サーバ上のデータから報告者同士の交流をサポート

→SNS的な報告者同士の交流の場をインターネット上に提供

**受信共有体験**を持つ人々相互のネットワーク構築

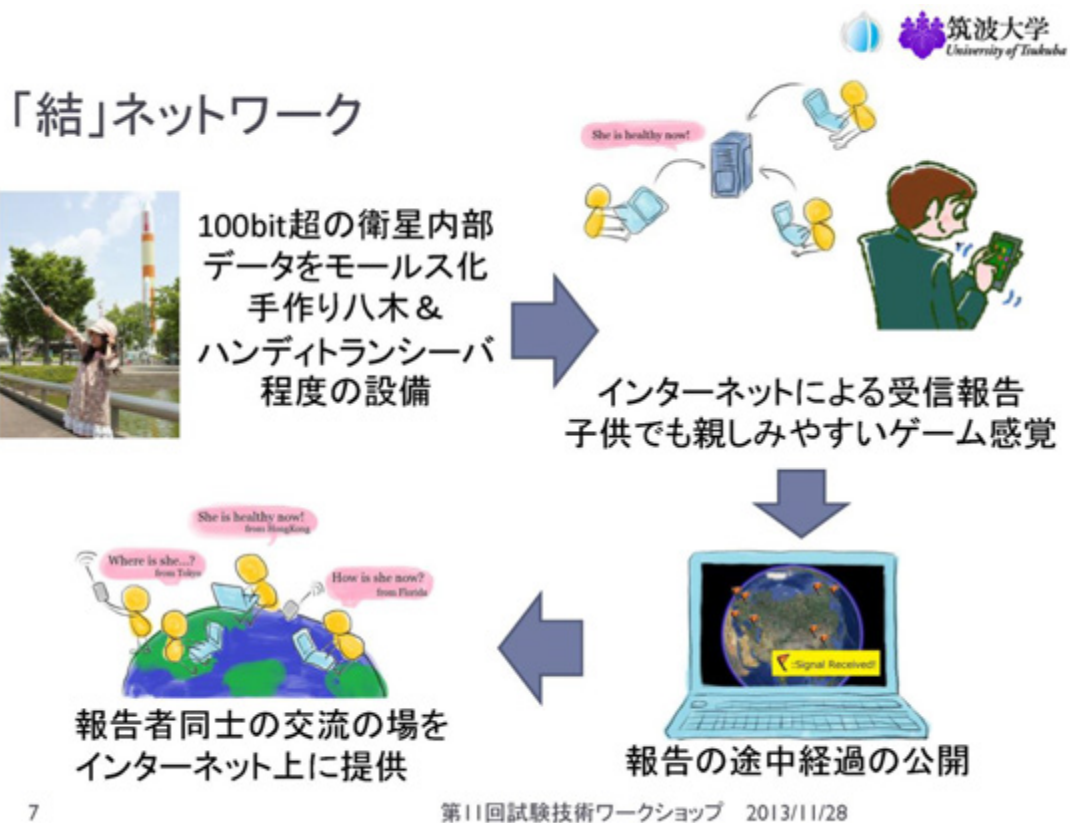
### ▶ 次世代を担う人材育成&将来に向けた無限の可能性

「**宇宙を利用して遊ぶ**」という、これまでにない分野

→人々が理科、宇宙科学、工学に興味・関心を持つキッカケになれば

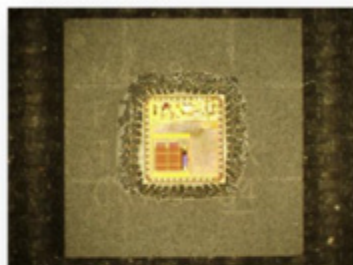
6

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

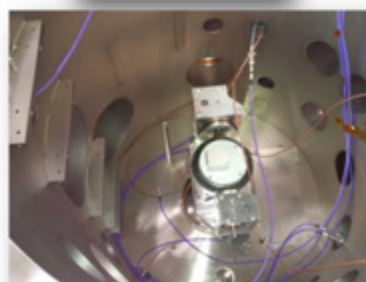




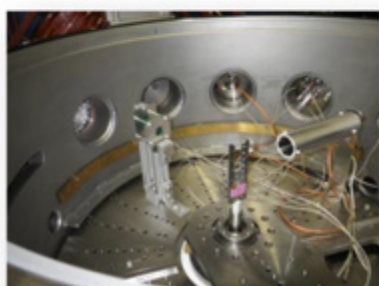
## 試験状況



デキャップ済マイコン (MSP430FR5739)



真空チャンバ内の様子(高崎)



9 真空チャンバ内の様子(東海) 第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## 試験概要

衛星搭載の3種類のマイコンについて試験を実施

- ーデキャップしたマイコンに重イオンを照射
- ーSEU/SELの発生回数をカウント
- ーCREME(軌道上放射線量を考慮したシミュレータ)でSEU発生頻度を算出

照射試験

- ー試験準備に際して、笹准教授、JAXA新藤氏からアドバイス
- ーJAEA高崎(大島氏)及びJAEA東海(左高氏 & 松田氏)

試験体種類及び照射イオン

	PIC	AVR	FRAMマイコン
型番	PIC16F877A -55 ~ 125°C	ATmega128A -55 ~ 125°C	MSP430FR5739 -55 ~ 125°C
動作電圧 (V)	5	5	3.3
試験場所	高崎	東海	高崎
照射イオン	Ar, Kr, Xe	Cl, Br, Xe	Ne, Ar, Kr, Xe

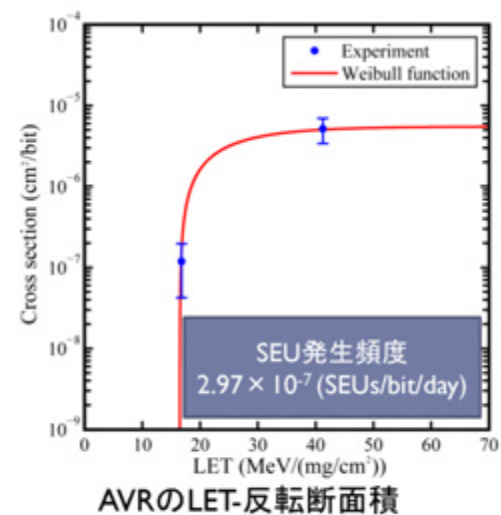
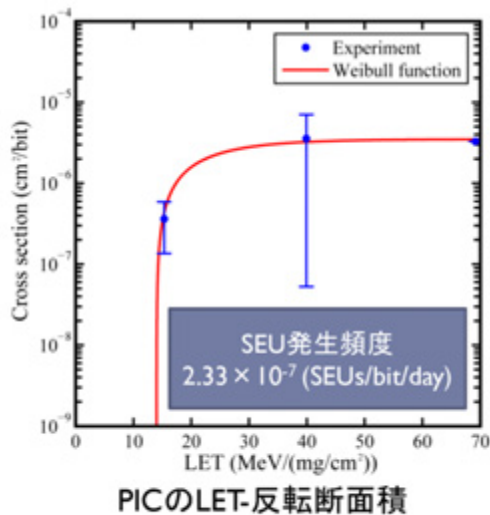


## SEU試験 結果

### ▶ PICとAVRとの反転断面積比較

SEU発生頻度

↑ イオンのエネルギー



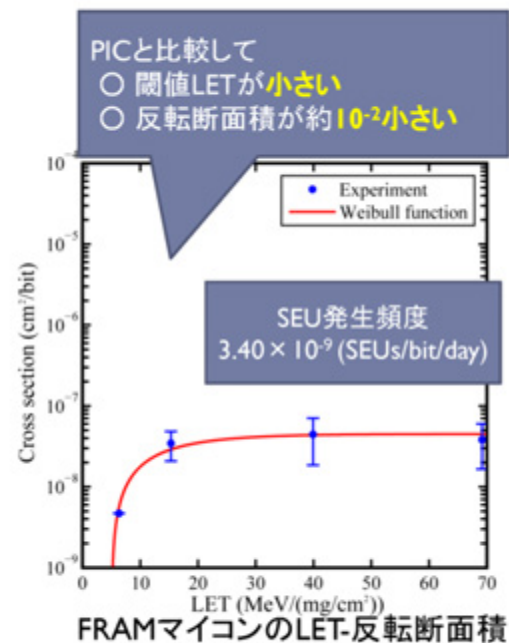
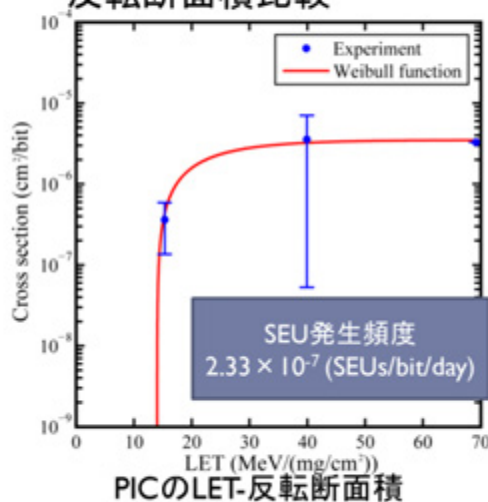
11

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## SEU試験 結果

### ▶ PICとFRAMマイコンとの反転断面積比較



12

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## SEU試験 まとめ

### PICと比較して

#### ○AVR

- －反転断面積, SEU頻度はAVRがやや大きい(オーダーは同じ)
- －閾値LETはPICと同程度
- －SEUが発生したのはPIC同様にSRAM領域

#### ○FRAMマイコン

- －反転断面積, SEU頻度共に約2桁小さい
- －一方, 閾値LETはPICより小さい(<10)
- －FRAM領域読み出しでわずかに書き換わり発生: 非FRAM部のレジスタ領域か?
- －リセットが頻発した

### 結論

ハードウェアリセット(電源断続)で復活: ソースの書き換わりなし  
AVR, FRAMマイコン共に, 耐SEU性はPICと同等のレベルと判断

13

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## 超小型アンテナ実証ミッション

### アマチュアバンド利用の際のアンテナ展開機構

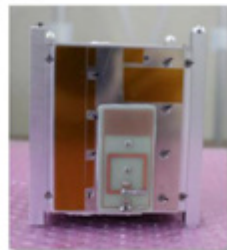
- 144MHz帯, 435MHz帯
- 1/4  $\lambda$  で50cm, 17cm

CubeSATでは展開機構の利用が一般的

信頼性, 加工, スペースなど制約も多い

もし使わなくて済むのなら...

GHz帯以上ではパッチアンテナは広く利用



LEOなら低利得でもOK

### 目的

展開不要の超短縮型パッチアンテナの利用可能性を実証  
(アンテナ設計・通信試験による学生への教育効果)



14

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28





## 特性

	145MHz帯用	435MHz帯用
基板		
パターン長[mm]	490	82
パターン幅[mm]	0.5	1.75
インピーダンス[Ω]	92.11+j0.5965	60.15-j8.411
SWR	1.8	1.2

マッチング用  
コンデンサ

マッチングには温度補償型コンデンサを使用  
( $0 \pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ )

15

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## 利得計測



利得が既知の標準アンテナと受信信号強度を比較

### ▶ 結果

Sメーターの1目盛り=3dBの差

$$8.5\text{dBi} - 3.0\text{dB} = 5.5\text{dBi}$$

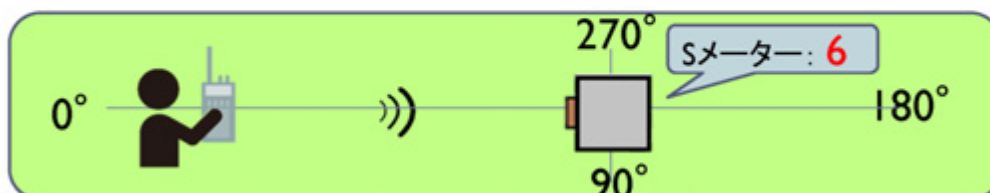
→今回開発した超小型アンテナは充分使用可能



16

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

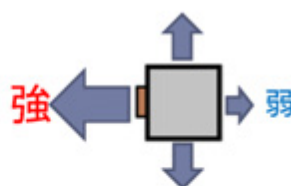
## 指向性測定



アンテナの向きを変えた時の受信信号強度を比較

### ▶ 結果

	0°	90°	180°	270°
144MHz	6	6	4	6
435MHz	6	3	1	4



→正面側に指向性を有する

17

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28

## ITF-1「結(ゆい)」の特徴 (まとめ)

- ▶ 筑波大学が初めて開発する人工衛星
- ▶ 研究室単位の開発でなく、全学の希望学生が開発に参加
- ▶ 回路設計、部品実装、部品設計は学生の手で  
(多層基板、金属加工は外注)
- ▶ 民生用電子デバイスで構成
- ▶ 周回中、常時断続的にデータを送信:世界利用を視野に
- ▶ マイコン放射線試験を行った(教育的効果も期待)
- ▶ 144MHz帯、435MHz帯のパッチアンテナに挑戦

18

第11回試験技術ワークショップ 2013/11/28



## 今後の展望

### ▶ ITF-I「結」の衛星信号の積極的受信に向けた活動

- ▶ さらなる広報活動
  - ▶ 大学定例記者会見の活用
  - ▶ アマチュア無線家に向けた周知活動
  - ▶ 受信報告サーバの試験を兼ねた、試験電波による予行演習
  - ▶ スマートフォン用受信報告アプリの早期開発
  - ▶ 大学内での打ち上げパブリックビューイング企画



## 公式キャラも応援してくれています



「ゆいぬ」  
ITF-I「結」キャラクター公募  
最優秀作品



## 今後の展望

### ▶ ITF-2にむけて

- ▶ JAXAの支援により、筑波大学に環境試験設備が導入
  - ▶ 試験装置の操作も含めた人材育成の場
- ▶ 研究室単位の開発でなく、全学の希望学生が開発に参加
  - ▶ この体制は継続したい
    - 反省点: 学生に対する(言葉は悪いが)強制力が生まれない
      - 一部授業化する予定
- ▶ 回路設計, 部品実装, 部品設計は学生の手で
  - ▶ 反省点: 多層基板, 外注加工は高価. しかし, 失敗して学ぶ機会が重要
    - 2層基盤や太パターン4層で廉価に(P板 ⇒ Fusion PCB ?)
    - シンプルな構造
- ▶ 民生用電子デバイスで構成
- ▶ 無線通信のソフト・ハードの教育
  - ▶ 近年の学生はアマチュア無線の経験が乏しく, 通信の実体験は携帯電話のみ
    - ⇒ 実験用アマチュア局の開設
  - ▶ 既成の通信機は出力や電波型式の自由度が無い: ニーズに合わせた設計開発
- ▶ ミッション提案レベルからの学生の参画



## 今後の展望

### ▶ 周辺の状況

- ▶ 大学はグローバル化の推進が求められている
  - ▶ 欧米のCubeSAT開発大学と交流し、人工衛星開発を軸にした学生の国際化
  - ▶ ミッション提案などのワークショップ形式の科目設置（ビデオ会議等）
  - ▶ 短期派遣型留学（学生支援機構に予算要望）
- ▶ 宇宙開発工学分野の教員増強
  - ▶ 准教授・助教が来年度初めに着任
  - ▶ 連携大学院教員枠の追加要望：指導希望学生数に依存 ⇒ 的を射た広報
- ▶ ITF-I「結」により、AC入試では宇宙開発工学分野受験者が激増
  - ▶ 衛星開発を実践教育の場としつつ、座学の充実も課題
- ▶ African Business Education initiative for youth の受け入れ
  - ▶ ケニアから宇宙工学指向の大学院生の受け入れ可能性
- ▶ 名実ともに **筑波大学 = 宇宙開発工学の拠点**  
というブランドの確立を目指したい



## 質疑応答

質問者① 菱栄テクニカ 松永様

環境試験設備の準備をしているということであるが、九工大とのバッティングはどうなっているか？九工大にはない環境試験設備を準備するのか。

発表者

関東でも九工大に匹敵する試験設備を用意したいという思いから準備を行っている。九工大のポスター等には放射線試験を除くと書いてある。筑波大には加速器があるので、放射線試験の実施も検討して、九工大を超える設備を目指したい。

質問者② JAXA OB 篠崎様

筑波大は MEMS にも力を入れていると聞いているので、MEMS も使用して宇宙に展開していけば面白いのではないかと。

発表者

ありがとうございます。私自身、材料を専門にしており、放射線が当たった時に金属が放射線脆化を起こすといったことも専門にしている。MEMS 等の小さい材料については放射線の影響が大きいですが、この影響がプラスに働くこともある。衛星以外にも分子動力学を用いた材料計算も研究しているので、MEMS に使う材料といった観点から、宇宙 MEMS 等新しい分野が切り開けるのではないかと考えている。