

# 缶サットにおける通信技術の確立

～親機、子機、地上間の通信技術の確立と可視化～

福井県立高志高等学校 サイエンス部  
多田 優仁 森下 優斗 佐々木 康成 原 誠仁

## 概要

近年の宇宙産業の発達は目覚ましく、今や国家プロジェクトとしてだけでなく、民間企業が参入し、将来性が見込まれる大きな産業となっている。その中でも超小型衛星の研究開発が、全世界において驚異的な勢いで活発に進められている。本研究では、TWELITEを用いて安定した通信を行うことでCanSatでの無線通信の導入の難易度を下げることが目的である。また、それに付随して、地上へのデータ送信を想定した環境の構築や別の機体との通信も行う。

## 研究目的

近年の民間企業等の宇宙開発産業における今後解決すべき課題として、衛星の活動範囲のさらなる拡大と情報収集の安定化の2つがあげられる。この2つの課題の解決には無線通信技術の機能の発達と通信の安定化が重要である。広大かつ過酷な宇宙環境では、衛星が回収不能に陥る可能性が高い。そのような環境の中でも確実に安定して情報を得るために、複数の機体との無線通信を行えるようにすることで、広範囲の情報収集を可能にするだけでなく衛星破損時のリスクマネジメントにもなる。さらに高速かつリアルタイムに情報を収集できることが、データの整理の容易性かつ正確性を確保することで、情報処理技術を向上させることを可能にする。以上の理由より無線通信技術の機能の発達と通信の安定化が重要と言える。そのため私たちはCanSatを作成し、親機、子機の2機体と地上のとの間での安定した通信を試みる。今までCanSatで使用してきた無線通信は安定性や使いやすさに問題があった。そのため、新規でCanSatを始める人でも簡単に無線通信を取り扱える技術の開発を目指し、より安定し、使いやすい無線通信技術の確立を目的として研究を行った。

## 研究方法

CanSatを前年度やそれ以前に本校サイエンス部にて作成したものを参考にして制作した。

## CanSatの名称

制作するにあたって私達が作成した超小型模擬人工衛星及び、ミッション全体に名前をつけた。Sub機がある(aru)計画として、Sub-aru計画より「スバル計画」とした。また、機体全体を「すばる君」、親機を「すばるマザー」、そして子機を「すばるキッズ」と名付けた。

## 機体の作成

今回模擬人工衛星の作成にあたり、機体の破損時のリスクを踏まえ機体の作成に3Dプリンターを使用することにした。そのため3DCADソフトウェアを用いて、機体の3Dデータを作成した。使用したソフトウェアは拡張性、参考にできる情報量など様々な要素を総合的に判断してFreeCADを使用した。

また組み立て方を標準化することで、一定の品質を保った機体を作成できるようにすることを意識した。機体のリソースが非常にシビアであったため、組み立て方を標準化しなければ、リソースが足りなくなる。そこで私達は、計23個のパーツを作成し、また、親機子機間の通信環境を提供するため、機体に分離機構を設けた。3Dプリンターによる印刷ではかかる負荷によって内部密度を変えることで各々に適した強度の部品を作成した。

### \* 機体本体(図1)

親機と子機の計2機体を作成した。両機の内径を統一化することで一部パーツの流用を可能にした。

### \* 保護機構

一辺約15cmの正六角形のパラシュートを作成した。パラシュートの各々の角と機体本体の間に約30cmの釣り糸を装着した。従来はパラシュートの釣り糸が絡まるという問題が発生していたが、これはすばる君の側面に1.5回転釣り糸を巻くこと、釣り糸の長さを適正にするという工夫をし、解消した。

### \* 分離機構

2機間をツメで止め、ラックでツメを曲げることで接合部の引っ掛かりを外し分離するようにした。ラックはパラシュート開傘による衝撃によって機体にはたらく張力で作動する。このツメは、印刷スピードなどを総合的に判断し、FDM(熱溶解積層式3Dプリンター)により作成した。またツメは薄く破損するおそれが考えられるため、子機と分けて印刷し、交換可能にすることで資源の節約にも努めた。

### \* 分離ギア

ラックには両機体の約300グラムの重力とパラシュートの開閉による張力による負荷がかかるため他の部品よりも内部密度を高くして強度を高めた。またギア同士のかみ合わせの観点から、比較的に負荷のかからないスパーギアは光造形方式3Dプリンターを使用することで、精密な部品を作成した。機体のリソースに限りがあるため、機体の外形に沿ったギアを作成することでさらなる小型化を試みた。

## データの取得及び保存

### \* 基板の開発

親機と子機の2機を搭載するには、機体の大きさの制限から省スペース化が必須となった。そのためプリント基板による省スペース化を図った。写真のように従来の手作りの基板と比べて、省スペース化に成功した(画像1)。親機の基板は2枚設計し、1枚目は2層構造にし、表面にはGNSS、9軸センサ、温湿度気圧センサ、TWELITE、電源コネクタ、電源スイッチを取り付けた。裏面にはArduinoを取り付けた。2枚目は1層構造にし、microSDカードリーダーを取り付けた。子機の基板は1層構造に

して、TWELITE、9軸センサ、電源コネクタを取り付けた。基板の設計にはフリーソフトのKiCADを使い、印刷はJLCPCBに依頼した。KiCADは個人的に容易に使用でき、ソースも多いと感じられたため採用した。JLCPCBは国内のPCB製造メーカーより比較的安価に基板を作成でき、信頼性もある程度あるため採用した。

#### \* 電力

スペースを確保するため、これまで使っていた公称電圧が9Vのアルカリ電池(積層電池)から、公称電圧が3.7Vのリチウムポリマーバッテリーに変更した。これにより約78%の体積の削減に成功した。また、リチウムポリマーバッテリーを使用したことにより、充電して複数回にわたり利用することが可能になった。

#### \* ソフトウェア

TWELITEを通信に専念させるため、Arduino nano everyで各種センサを用いてデータの取得を行った。温度、湿度、気圧、三軸加速度、三軸角速度、三軸地磁気、GNSSのデータを取得した。そのデータを、microSDカードに保存し、TWELITEにUARTを用いて受け渡した。

プログラムについては、CanSatForHighSchoolStudentsを元にしてArduino nano everyのデータ取得プログラムを作成した。プログラムは次のリンクより閲覧することができる。

<https://github.com/syurecat/cansat-2024>

通信に使用するTWELITEはTWELITEAPPを元にしてプログラムを作成した。また、受信時に電波強度も取得した。

#### \* 子機↔親機↔地上の通信

通信にはTWELITE REDを使用した。他の通信モジュールの候補として、LoRaWAN、ZigBeeが挙げられた。しかし、LoRaWANは通信速度と部品調達の観点から、ZigBeeはソフトウェア等の扱いに難があるため候補から外した。TWELITE REDは、最大3kmの通信距離と約300kbpsの通信速度を持ち、他の中距離通信技術と比べて通信速度が速く、コストが低いため採用した。親機には同軸アンテナを使用し、子機にはマッチ棒アンテナを使用した。それぞれアンテナに指向性があり、用途にあったものを選定した。

#### \* リアルタイムデータの可視化

TWELITEを用いて親機と通信しリアルタイムデータを受信した。当初の計画では、受信したリアルタイムデータをPythonAPIを用いてInfluxDB cloudに保存し、その後Grafana cloudでの可視化を試みたが、缶サットは屋外での活動が大多数であり、ネットワーク接続の関係上、ローカルに環境を構築することを決めた。よって、受信したリアルタイムデータをPythonAPIを用いてInfluxDBにローカルで保存する方式に変更した。その際、通信強度も随時記録した。その後、GrafanaからInfluxDBにクエリを送りデータを取得してデータの可視化を行った。

#### \* フライト実験

フライト実験は本校の4階からの落下実験と、福井県教育総合研究所にてドローンに機体を搭載し地上50mから落下させて行った。ドローンはDJIのものを使用した。フライト実験時には、機体の落下時の状態とテレメトリデータを正確に保存し、改善した。

## 結果

ミニマムサクセス、フルサクセス100%達成、エクストラサクセス50%達成とした。詳細については以下の通りである。

### \* 構造目標項目について

ミニマムサクセスについては、レギュレーションに沿った機構(機体の全体サイズは、外形φ68mm以下、高さ124mm以下、総重量250g以上300g以下)ができたため、達成とした。これは、従来に比べて基板を設計したことによる省スペース化ができたこと、重量を当初から見積もっていたこと、親機子機の制作に熱溶解積層式3Dプリンターを使用したこと、構造のみで分離する仕組みを作ったことにより達成することができたと考えられる。

フルサクセスについては、テスト時6回も本番時も問題なく子機、親機が分離したため、達成とした。

エクストラサクセスについては、自由落下する子機が破損、親機は6回のテスト時、破損しなかったため達成見込みとした。

### \* 電子系目標1について

ミニマムサクセスについては、センサすべて電源投入されたため、達成とした。  
フルサクセスについては、データが欠損なくSDに保存されたため、達成とした。

### \* 電子系目標2について

ミニマムサクセスについては、地上でのTWELITEとPC間の通信は欠損なく実行されたため、達成とした。

フルサクセスについては、親機と管制局との通信は1秒間に約2回の通信が確認されたため、達成とした。

エクストラサクセスについては、本来親機に使用するはずのTWELITEが破損してしまい、急遽子機のTWELITEを親機に使ったため、子機にTWELITEを搭載することができなかった。そのため、両機体間の通信を行えず、目標は達成見込みとした。

### \* ソフト系目標について

ミニマムサクセスについては、InfluxDBの作成、Grafanaで表示させるDashbordの作成はできたため、達成とした。

フルサクセスについては、ローカルでのデータのDatabase化、可視化は問題なくできたため、達成とした。

エクストラサクセスについては、リアルタイムでのDatabase化と可視化が問題なくできたため達成とした。

## 考察

上記で示したように子機が破損したのは、子機にパラシュートを搭載していなかったためだと考えられる。分離のタイミングに関してはパラシュートの展開とともに分離しており、降下後の機体の状態からも機構が作動されていたため、観測の限りは分離機構は機能していると考えられる。

このように機体の効率化、安定化ができたのは、従来のような人為的なはんだのミスがプリント基板の作成により解消されたためだと考えられる。

## 結論(課題)

福井地方大会では通信に成功し、複数のデータを取得することができたが、通信が安定しなかったため、アンテナの改良などさらなる改善が必要である。また、子機に減速機構をつけなかったため地面との衝突時に破損してしまった。そのため子機にパラシュート等の減速機構をつけるなどの改善が必要である。分離機構に関しても、分離がうまく起きなかったり、意図しない分離が起きることがあったため、分離機構の動作を検知する構造を追加することで分離をより安定したものにする必要がある。また印刷による誤差は紙やすり等で調節し、人の手が加わっているため再現性を高めるにもデータの調整も必要である。フロントエンド・バックエンドに関して、テレメトリへの親機の姿勢の表示を行う。この実現のために、現親機に搭載している三軸角速度、三軸加速度のデータから、姿勢を推測し、画像を作成し、リアルタイム表示をする。また、今回のフロントエンドはローカルネット内でのみアクセスすることができたため、webアプリ化することでどこからでもデータにアクセスして見ることができるよう改良していく。フライト実験に関しては全国大会ではドローンではなくロケットで地上100m以上まで打ち上げる。そのためそれに耐えうる機体の制作、落下時間制限以内に落下しきる必要がある。そのためパラシュートの小型化、機体・通信のさらなる安定化が求められる。

## 参考文献

前田拓海, 多田優仁, 松下千佳, 服部百花, & 清水優希. (2021). 風が強くても安定する缶サット. R3 ふくい缶サットグランプリ. 福井県教育総合研究所 サイエンスラボ.

多田優仁, 服部百花, 清水優希, & 澤崎碧葉. (2022). 缶サット. R4 ふくい缶サットグランプリ. 福井県教育総合研究所 サイエンスラボ.

多田優仁, 服部百花, 清水優希, & 澤崎碧葉. (2022). 福井県立高志中学校 サイエンス部 缶サット班 事後プレゼン. R4 ふくい缶サットグランプリ. 福井県教育総合研究所 サイエンスラボ.

三上慶太, 黒川恵太, 塩谷真大, & 前田拓海. (2022). 缶サット甲子園全国大会に向けて. 令和4年度第70回理科クラブ研修会・研究発表会 兼 第33回福井県高等学校総合文化祭 兼 第66回日本学生科学賞福井県審査 (<https://fukui-koubunren.jp/science/report/fy2022/entry-159.html>).

三上慶太, 黒川恵太, 塩谷真大, & 前田拓海. (2022). 缶サット甲子園2022 事前プレゼン動画. 宇宙甲子園缶サット部門全国大会2022.

三上慶太, 黒川恵太, 塩谷真大, & 前田拓海. (2022). 缶サット甲子園2022 事後プレゼン. 宇宙甲子園缶サット部門全国大会2022.

前田拓海, 塩谷真大, 小池, & . (2023). ふくい缶サットグランプリ 事前プレゼン. R5 ふくい缶サットグランプリ. 福井県教育総合研究所 サイエンスラボ (<https://www.fukui-educate.jp/science/record/archives/55>).

前田拓海, 塩谷真大, 小池, & . (2023). ふくい缶サットグランプリ 事後プレゼン. R5 ふくい缶サットグランプリ. 福井県教育総合研究所 サイエンスラボ (<https://www.fukui-educate.jp/science/record/archives/55>).

GitHub - meltingrabbit/CanSatForHighSchoolStudents: 高校生向け缶サット開発キットと資料 <https://github.com/meltingrabbit/CanSatForHighSchoolStudents>

BME280使用 温湿度・気圧センサーモジュールキットマニュアル [https://akizukidenshi.com/goodsaffix/AE-BME280\\_manu\\_v1.1.pdf](https://akizukidenshi.com/goodsaffix/AE-BME280_manu_v1.1.pdf)

BME280データシート

[https://akizukidenshi.com/goodsaffix/BST-BME280\\_DS001-10.pdf](https://akizukidenshi.com/goodsaffix/BST-BME280_DS001-10.pdf)

BMX055使用9軸センサーモジュールマニュアル

[https://akizukidenshi.com/goodsaffix/AE-BMX055\\_20220804.pdf](https://akizukidenshi.com/goodsaffix/AE-BMX055_20220804.pdf)

BMX055データシート

<https://akizukidenshi.com/goodsaffix/BST-BMX055-DS000.pdf>

KiCADで基板設計入門 | 初心者でもわかりやすく解説

<https://www.kicad.xyz/>

## 謝辞

本研究に当たり、活動資金を提供してくださった高志高校同窓会の皆様、助言をしてくださった東京大学 中須賀・船瀬・五十里研究室の皆様、高志高校の先生方、福井県教育総合研究所の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 図表・画像

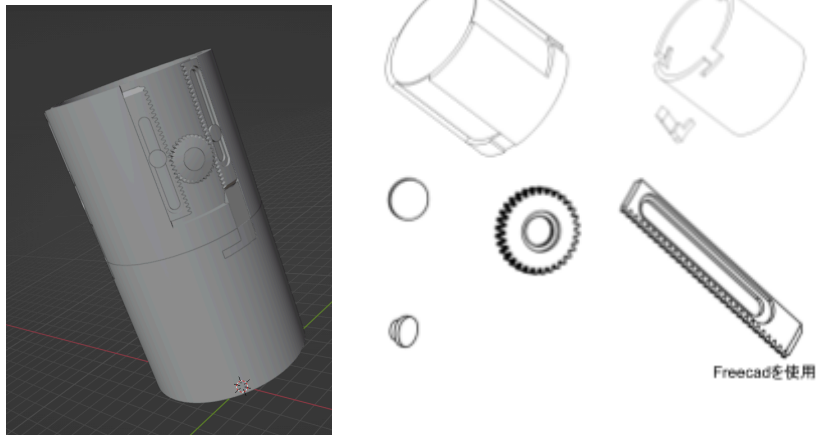
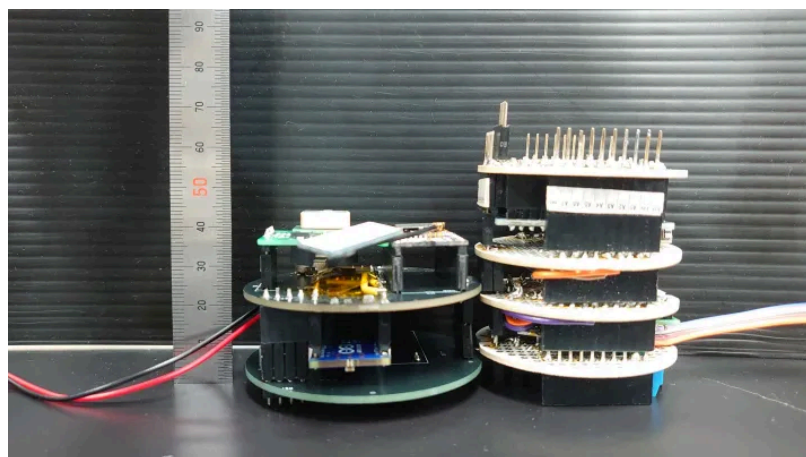


図1 機体の全体図(左)、各部品(右)

ミッション目標	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
---------	----------	--------	-----------

【構造目標】 子機、親機の分離	レギュレーションに沿った機構の作成	空中での分離	地上に落下しても壊れない、何回も使える
【電子系目標1】 データの取得と保存	センサすべてに電源投入される	SDに保存される	N/A
【電子系目標2】 通信機構	地上での通信	親機↔管制局の通信	子機↔親機↔管制局の通信
【ソフト系目標】 データのDatabase化,視覚化	Databaseの用意、Dashboardの作成	ローカルでのテレメトリのDatabase化、視覚化	リアルタイムのDatabase化、視覚化

表1 サクセスクライテリア



画像1 従来とプリント基板の比較

	目標項目	達成状況
	レギュレーションに沿った機構の作成	達成

ミニмумサクセス	センサすべてに電源投入される	達成
	地上での通信	達成
	Databaseの用意、Dashboardの作成	達成
フルサクセス	空中での分離	達成
	取得したデータがSDに保存される	達成
	親機↔管制局の通信	達成
	ローカルでのテレメトリのDatabase化、視覚化	達成
エクストラサクセス	地上に落下しても壊れない、何回も使える	達成見込み
	子機↔親機↔管制局の通信	未達成
	リアルタイムのDatabase化、視覚化	達成

表2 目標達成状況