

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04488

研究課題名(和文)フルSDRで構成したCubeSat通信システムの開発

研究課題名(英文)Development of CubeSat standard composed full SDR

研究代表者

三橋 龍一 (Mitsubishi, Ryuichi)

北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号：90254698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で目標としていたCubeSatに搭載可能なSDR(Software Defined Radio)モジュールの開発に成功した。また、1Uサイズの展開を必要としないCubeSatのフレームエッジアンテナを開発し、その性能評価を行った。  
開発したSDRモジュールとしての柔軟性は、ソフトウェア・ハードウェア共に世界最高クラスであると言える。サイズや消費電力、さらに市販のマイコンボードで制御して送受信することが可能なSDRモジュールであることから、機能や性能の面ではCubeSat運用管制用無線機として、このままでも搭載することができるレベルである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したSDRモジュールは省電力であるとともに、変調するためのI/Q信号を直接入力可能であることが特徴であり、拡張性が高く無線における変復調の実験が手軽に可能である。CubeSatの運用管制で一般的に使用される435MHzアマチュア無線帯をカバーしている。  
この無線モジュールを搭載したCubeSatの打上げと運用管制に成功した時には、産業界にも大きく貢献できる。本研究で得られた成果はCubeSatでの利用ばかりではなく、手軽に無線通信実験が可能であるSDRモジュールの開発に成功した点も大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：We have successfully developed a Software Defined Radio (SDR) module that can be integrated into a CubeSat, which was our goal in this study. Additionally, we have developed a frame edge antenna for CubeSats that does not require a 1U-sized deployment and conducted performance evaluations on it.

The flexibility of the developed SDR module is considered world-class in both software and hardware aspects. With its small size, low power consumption, and the ability to control transmission and reception using commercially available microcontroller boards, the SDR module can be directly integrated as a CubeSat operational control radio device, meeting the requirements in terms of functionality and performance.

研究分野：宇宙工学

キーワード：CubeSat SDR 無線 ISS J-SSOD E-SSOD JAXA

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

CubeSat とは 10cm 立方(現在は 1U サイズと呼ぶ)であり、サイズ(形状も)や重量を規格化することにより、大学の研究室レベルのチームでも開発が可能であり、かつ安価に地球周回軌道に打上げられることを目的としたものである。

CubeSat の運用において無線通信は命綱であることから、信頼性の観点から運用実績を重視して搭載する無線機などが決定される。CubeSat では失敗のリスクが大きい革新的な実験を行うことが可能であるが、運用管制用の無線通信システムは、CubeSat が誕生してからこの約 20 年間の長期にわたって進歩していない状況であると言える。

さらにアンテナに関しても CubeSat が完全に規格化されたため、放出されて運用開始までのサイズの制約からアンテナ展開機構が不可欠とされている。衛星からの電波を受信できない場合には失敗の原因が全く分からない状態になる。実際に CubeSat からの電波を確認することができない場合には、アンテナ系にトラブルが発生したと推定した事例が多く報告されているが本当の原因を知ることは不可能である。トラブルが発生した箇所や原因が判明しないことは、致命的な問題点である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、日本の CubeSat 運用管制用の無線通信システムに最新の SDR 技術を導入することである。日本で開発されている CubeSat に搭載する運用管制用の無線機は、幾度かの改良はあるが実質的に 2003 年に東大と東工大に搭載され、打上げと運用に成功したものが現在も使用され続けている。CW によるハウスキーピング信号、FM による DTMF コマンドやパケット通信はアマチュア無線技術としては既に 40 年以上前の完全に枯れた技術である。アンテナ展開機構も信頼性と重量の観点からコンベックス(メジャー)製のアンテナをテグス(釣り糸)で固定して、それをニクロム線で溶断する方式をほとんどの CubeSat で採用している。しかし、アンテナ展開に伴うトラブルが発生したと推定される事例が未だに報告されている。人工衛星にとって無線通信の失敗はミッションの実施ができなく完全に失敗したことに等価である。

本研究では、SDR(Software Defined Radio)と FPGA やマイコン、さらにアンテナや電源システムまでを CubeSat に実装する。高性能で実用的なシステムを開発することにより、世界スタンダードとして長期間にわたって世界中で使用される CubeSat の無線通信システムの実現を目的としている。

### 3. 研究の方法

無線通信システムの性能は、8 割はアンテナで残り 2 割は無線機で決まるとされている。無線機はある程度の S/N が確保できればよく、アンテナの性能とアンテナ・ケーブル・無線機のインピーダンスマッチングによって無線システムの性能の大半は決定される。

無線システムの性能としては高いものを研究開発するだけでなく、実際に CubeSat として打上げられることを念頭に置くことは重要である。そこで、CubeSat の打上げ方法として、JAXA が公募を行っていたイプシロンロケットで打上げる E-SSOD(Epsilon Small Satellite Orbital Deployer)および、国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟のエアロックから搬出して放出機構で打ち出す J-SSOD(JEM Small Satellite Orbital Deployer)のうち、1U サイズの CubeSat 規格や JAXA の安全審査に合格するレベルの CubeSat の開発を行った。

#### 4. 研究成果

令和 2~4 年度の研究で、CubeSat に搭載することを想定した新規開発の SDR モジュールを含め無線通信システムの開発に成功した。FM 変調なら電子工作の初心者でも取り扱いやすい Arduino マイコンボードで変復調に成功しており、開発環境が整った STM32 マイコンボードではより高度な変復調の基礎実験にも成功している。

図 1 に示す本研究で開発した SDR モジュールは、市販のマイコンボードなどの外部ハードウェアの接続が端子に直接(外部端子が DIP サイズ)、あるいは手はんだで可能で SDR 本来の機能をフルに試すことができる SDR モジュールである。市販のマイコンボードへの接続が容易なことは、CubeSat に求められる宇宙環境試験(特に放射線試験)に耐えるマイコンなどのチップを選定するうえで重要である。

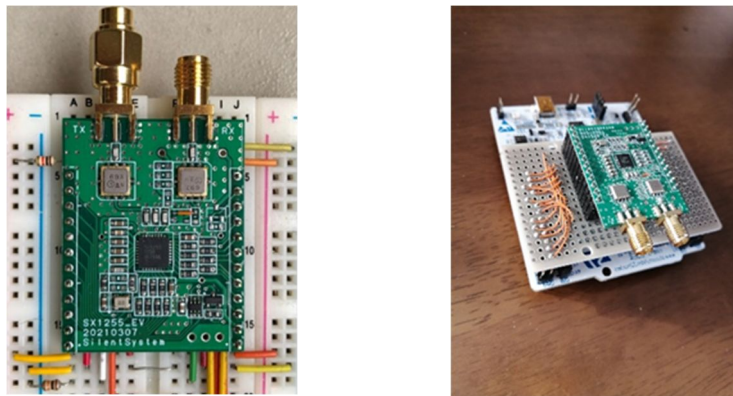


図 1 開発した SDR モジュール(左)と STM32 マイコンボードに搭載した状態(右)

SDR モジュールの基板へのパーツ実装もすべて手はんだで行っている。この SDR モジュールは SDR チップの他、TCXO32MHz、SAW フィルタ、LNA で構成している。使用した SDR チップは省電力であるとともに、変調するための I/Q 信号を直接入力可能であることが特徴であり、CubeSat の運用管制で一般的に使用される 435MHz アマチュア無線帯をカバーしている。

SDR モジュールとしての柔軟性は、ソフトウェア・ハードウェア共に世界最高クラスであると言える。サイズや消費電力、さらに市販のマイコンボードで制御して送受信することが可能な SDR モジュールであることから、機能や性能の面では CubeSat 運用管制用無線機として、このままでも搭載することができるレベルである。

開発した SDR モジュールは機能や性能の面では CubeSat の無線機としては使用できるレベルのものである。しかし、CubeSat 用として普及させるためには地上での宇宙環境試験のみならず、この SDR モジュールで構築した無線通信システムを CubeSat に搭載して軌道上実証をする必要がある。また、無線免許の取得実績を作ることも重要である。

本研究で得られた成果は CubeSat での利用ばかりではなく、手軽に無線通信実験が可能である SDR モジュールの開発に成功した点も大きいと言える。現在では、携帯電話を含めて無線関係の機器に SDR が使用されることが一般的になっており、身近になっている一方で信号処理がソフトウェアで行われるため、最新の高度な無線技術がブラックボックス化している問題がある。例えば、携帯電話の信号処理チップは、ノウハウを持つ世界でもごく一部の企業により独占的に市場に提供されている。無線は最も重要な技術の一つであることから、この SDR モジュールをソフトウェア・ハードウェア共にオープンソースとして公開し、それに加えて手はんだで無線機を

制御するマイコンなどを外部接続できるようにすることが重要である。

日本ではデジタル信号処理用半導体を「利用するだけ」のエンジニアが増えてきており、この状態が長く続くと日本の無線技術の空洞化を招き、最終的には世界に対する日本の技術競争力の低下につながると懸念されている。

この思想は、「イノベーション・ジャパン 2021 ~大学見本市」に採択され、新型コロナウイルス感染症の状況を考慮し、オンライン開催(2021年8月23日~9月17日)され、出展した動画が下記のYouTubeにアップされている。

「超小型衛星を利用した無線通信実験用プラットフォームの提供」

URL : <https://www.youtube.com/watch?v=7Xl8EE4DDeU&t=11s>

本研究に関連して、2021年からJAXA革新的衛星技術実証衛星3号機の公募で採択された静岡大学のSTARS-Xからダミー衛星を放出する「星のかけらプロジェクト」を立ち上げた。JAXAのイプシロンロケットで打上げを目指すこのプロジェクトによって、最新のJAXA基準に基づく超小型衛星の開発に必要な技術と知識を得る経験をした。

「STARS with 星のかけら -STARS PIECE PROJECT」

URL : <https://sites.google.com/view/stars-x>

また、本研究に協力した企業と共同研究契約を締結し、共同で開発を行う1uサイズのCubeSat(HMU-SAT2)の打上げ手段としてISS放出契約を北海道科学大学と宇宙商社であるSpace BD(株)と2022年に締結した。

「北海道科学大学とSpace BD ISS「きぼう」を活用し超小型衛星を打上げ・放出 北科大、独自の通信システムの実証とこどもの科学技術への興味関心の醸成を目指す」

URL : <https://space-bd.com/news/20221108.php>

さらに、HMU-SAT2の開発では、「TEAM IchigoJam ほっかいどう」などとコラボレーションし、子供向け科学教育プログラムとしてCamSATプロジェクトを立ち上げ、その活用を進めている。

「CamSAT IchigoJam Project」

URL : <https://15sat.jp/>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三橋龍一
2. 発表標題 北海道科学大学のかけら
3. 学会等名 第11回 小型衛星の科学教育利用を考える会, No.9
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三橋龍一、芳賀和輝、高橋俊暉、小笠原駿、大湯健介、秋葉鎌二郎
2. 発表標題 SDRと無展開アンテナを搭載したHMU-SATzeroの開発
3. 学会等名 令和3年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, No.10
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池星多、三橋龍一、芳賀 和輝
2. 発表標題 かけら衛星TCU-00の開発
3. 学会等名 第65回 宇宙科学技術連合講演会講演集, 1C02
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川智浩、境大空、芦田燎、菅野陵、作出健太郎、中島啓太、芳賀和輝、高橋俊暉、森大地、石川瑠斗、村上友祐、小笠原駿、大湯健介、三橋 龍一
2. 発表標題 かけら衛星HSE-SAT1の開発
3. 学会等名 第65回 宇宙科学技術連合講演会講演集, 1C06
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芳賀和輝、三橋龍一、高橋俊暉、小笠原駿、大湯健介、秋葉録二郎
2. 発表標題 かけら衛星HMU-SATzeroの開発
3. 学会等名 第65回 宇宙科学技術連合講演会講演集, 1C07
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芳賀和輝、森大地、村上友祐、小笠原駿、三橋龍一、秋葉録二郎
2. 発表標題 イプシロンロケット搭載のCubeSatおよび超小型衛星の環境試験
3. 学会等名 第19回HASTIC学術技術講演会, No.10
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三橋龍一、高橋俊暉、芳賀和輝、小笠原駿、青木由直
2. 発表標題 CubeSat用HKデータの可搬型受信システムの開発
3. 学会等名 令和2年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小笠原駿、高橋俊暉、芳賀和輝、三橋龍一、小島洋一郎、真田博文
2. 発表標題 1UサイズCubeSat搭載用アンテナの開発
3. 学会等名 令和2年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神澤礼成、黒川隼之助、齋藤大悟、戸波大希、三橋龍一
2. 発表標題 HSU-SAT1号機通信系の設計・開発
3. 学会等名 2020年度 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芳賀和輝、高橋俊暉、小笠原駿、三橋龍一
2. 発表標題 CubeSat (HMU-SAT1) プロジェクトの概要と開発活動状況
3. 学会等名 第18回HASTIC学術技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三橋龍一、高橋俊暉、芳賀和輝、小笠原駿、青木由直
2. 発表標題 折返しダイポールアンテナによるCubeSatの低仰角時HK信号の受信
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小笠原駿、芳賀和輝、高橋俊暉、三橋龍一、小島洋一郎、真田博文
2. 発表標題 1UサイズCubeSat用筐体型アンテナの開発
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三橋龍一、芳賀和輝、竹内佑介、小笠原駿、大湯健介、秋葉隼二郎
2. 発表標題 イブシロンロケット6号機相乗り衛星の環境試験
3. 学会等名 令和4年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芳賀和輝、佐々木正巳、一戸善弘、三橋龍一
2. 発表標題 コスモトーレを利用した微小重力環境のCubeSat分離試験
3. 学会等名 令和4年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芳賀和輝、大倉正治、林厚志、竹内佑介、上野宗一郎、大湯健介、北田義孝、青木由直、三橋龍一
2. 発表標題 落下塔を利用したダミー衛星の放出実験
3. 学会等名 第20回HASTIC学術技術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内佑介、上野宗一郎、大倉正治、林厚志、芳賀和輝、大湯健介、北田義孝、青柳賢英、山本強、青木由直、三橋龍一
2. 発表標題 HMU-SAT搭載ミッション機器の耐放射線試験
3. 学会等名 第20回HASTIC学術技術講演会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 超小型衛星の筐体設計と加工
2. 発表標題 大倉正治、林厚志、竹内佑介、上野宗一郎、芳賀和輝、大湯健介、北田義孝、青柳賢英、山本強、青木由直、三橋龍一
3. 学会等名 第20回HASTIC学術技術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究に関連して開設したホームページ

STARS with 星のかけら -STARS PIECE PROJECT-  
<https://sites.google.com/view/stars-x>

CamSAT IchigoJam Project  
<https://15sat.jp/>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関