

複合システム学習教材としての 超小型模擬人工衛星の開発

田中 怜^{*1} 北村健太郎^{*2}

Development of Simulated nano-satellite as an Educational Tool of Compound System

Rei TANAKA ^{*1} and Kentarou KITAMURA ^{*2}

Abstract

CanSat is a fake artificial satellite to learn a coordinated operation with various subsystems which makes up an integrated satellite system. In order to apply the CanSat to an actual curriculum to be invoked at Tokuyama College in 2017, a prototype CanSat is developed in 2016. The CanSat has basic bus systems including, power, structure, communication, thermal control, attitude control and data handling systems. In this paper, we introduce the basic function of this CanSat and discuss the prospective application to the actual engineering design education.

Key Words : CanSat, CubeSat, Engineering Design Education

1. 序論

スタンフォード大学の Twiggs によって提唱された CanSat は、実際の人工衛星開発を行うためのトレーニングとして、衛星のバス（基幹）システムを空き缶サイズに収めた模擬人工衛星である。これらの CanSat による衛星システム開発のトレーニングを経て、現在では、複数の大学において学生主体の超小型人工衛星（CubeSat）の開発が行われてきており、既に国内で 20 機を超える打ち上げが実施されてきている¹⁾²⁾³⁾。

従来の大学における人工衛星開発は、日本では主に科学・工学ミッションを主軸とした大型プロジェクトを中心に実施されてきており、研究開発に大学院生が関わる機会は継続的に確保されてきたものの、学生教育そのものを目的とする衛星開発プロジェクトは存在しなかった。

これに対し、学生主体で開発される CubeSat は 2003 年に東大と東工大が打ち上げに成功して以来、主に航

空宇宙工学分野における最も実践的な教育として積極的に実施されてきた。しかし、高専においては、2009 年に都立産業技術高専が、輝汐（きせき）の打ち上げに成功して以来の開発実績はない。

このような状況の中、文部科学省が公募した「宇宙航空科学技術推進委託費（実践的宇宙若手人材育成プログラム）」に高知高専を代表とする 8 高専の連携事業として「国立高専超小型衛星実現に向けての全国高専連携宇宙人材育成事業」が採択され、2014 年度より事業を実施した。このプログラムは、2 機の CubeSat 開発を進めつつ、高専において実際に CubeSat 開発に参画できる学生の育成を平行して実施するものであり、最終的に高専での技術者教育へのフィードバックを目指している⁴⁾⁵⁾。

本稿では、上記の宇宙人材育成プログラムを踏まえて、徳山高専で実施を検討中のモデルロケット・CanSat を用いた、実践的な複合技術教育に用いるための教育的模擬人工衛星の開発について報告する。

^{*1} 機械制御工学専攻

^{*2} 機械電気工学科

2. 衛星システムによる技術者教育

文部科学省が公募した「宇宙航空科学技術推進委託費（実践的宇宙若手人材育成プログラム）」に高知高専を代表とする8高専の連携事業として「国立高専超小型衛星実現に向けての全国高専連携宇宙人材育成事業」が採択され、2014年度より事業を実施した。このプログラムは、2機のCubeSat開発を進めつつ、高専において実際にCubeSat開発に参画できる学生の育成を平行して実施するものであり、2015年度は、高専スペースキャンプを愛媛県新居浜市で行い、モデルロケットの製作からRaspberryPiを使った簡易なCanSatの製作教室等を行った。このキャンプにおいては学生41名が参加し、極めて密度の濃いセミナーが実施された。

一方で、プログラムの参画校である徳山高専においては、専攻科において、実際のカリキュラムに宇宙理工学をテーマにしたPBL（Project-Based Learning）カリキュラムの導入を計画している。

平成28年度現在、国立高専には航空宇宙を専攻する学科は存在しない。それにも関わらず、上記宇宙人材育成プログラムにおいてCubeSatを用いた技術者教育プログラムの高専教育への適用を目指す理由は、人工衛星に関わる開発スキームが複合的技術教育に対する好例であるとの認識による。一般的な衛星システムの模式図を図1に示す。

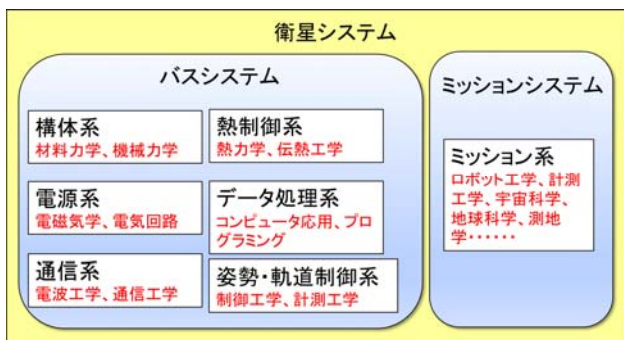


図1. 一般的な衛星システムの構成と工学系授業科目との関係

人工衛星を構成するシステムは、主に衛星の基幹的機能を司るバスシステムと、衛星によって実施するミッションを達成するための機能であるミッションシステムに大別される。ミッションシステムには、科学観測に必要なセンサーや技術実証に供する工学モジュールなどその種類や役割はミッションの目的によって様々である。これに対して、バスシステムは衛星が軌

道上に必要な電力を確保し、地上との通信を通して基本的機能を維持するためのシステムであり、一般的には(1)構体系(2)電源系(3)通信系(4)熱制御系(5)データ処理系(6)姿勢・軌道制御系等のサブシステムに分類される。それぞれのサブシステムは、比較的体系化された技術要素に立脚しており、図1には例として一般的に高専や大学で実施されている工学系の授業科目群を併記してある。すなわち、このような衛星バスシステムを構成する技術的な要素は、必ずしも航空宇宙工学に特化した専門分野によって構成されているわけではなく、幅広い工学分野の専門性を複合的に協調させることによってシステムが成立している。このことより我々は、衛星システムという題材は高専のようなより実践的なモノづくり教育を意図した教育カリキュラムに対して、極めて高い親和性をもつと考えた。特に、規定のミッションに対して明確なサクセスレベルを定義して、仕様策定、設計・開発と進める開発スキームは、エンジニアリング・デザイン教育⁶⁾⁷⁾として理想的な題材であると考えた。

3. 衛星システム教材としての模擬人工衛星の役割

徳山高専専攻科機械制御工学専攻では、2009年度より産業用無人ヘリコプターを題材として、実験と演習を組み合わせた実践的なモノづくりPBLカリキュラムを展開してきた⁸⁾。現在、このカリキュラムを改訂し、上述の実践的宇宙若手人材育成プログラムの成果を生かした、技術者育成プログラムを実際の専攻科のカリキュラムとして導入することを検討中である。導入予定の授業は専攻科1年生と2年生にわたる2年間のプログラムを想定しており、以下の3つの授業において系統的に座学とPBLを織り交ぜて実施する。

- (1年後期) 機械制御総合実験
モデルロケットを打ち上げるための講習会の受講やモデルロケットの構成部品の理解：
材料力学実験（強度解析）、機械力学実験（振動実験）、流体工学実験（風洞実験）、熱工学実験（火葉燃焼実験）、電気工学実験（アクチュエータ実験）
- (1年後期) コンピュータ総合演習
CanSatを製作するための基礎項目の修得、模擬人工衛星を利用したシステム開発演習：
センシング及びアクチュエータ制御に関するプログラミング演習等
- (2年通年) 機械制御総合演習
グループワークによるモデルロケット作成及び

CanSat 作成, モデルロケットによる CanSat の打ち上げと規定ミッションの実施:

8 コマ程度の座学 (衛星システムに関する基礎, 及び開発手順, プロジェクト管理の手法等), その後グループワークによるミッション指向のモデルロケット及び CanSat の製作

特に, 専攻科 1 年後期で実施予定のコンピュータ総合演習では, 基本的な衛星システムの概念を理解することを目的として, 模擬人工衛星を用いた演習等を計画している。

4. 模擬人工衛星の概要

本研究で開発した模擬人工衛星は, (1) XBee を用いた無線による遠隔制御によって, JPEG カメラによる画像撮影, (2) その画像の SD カード上での管理, (3) 無線による画像転送を行い, (4) それらの動作に必要な電力を太陽光パネルにより発電し, (5) バッテリーに蓄電する等の機能を有し, 基本的な人工衛星の構造を再現している。この模擬人工衛星を教材に使用することによりシステム統合技術, はんだ付け技術, コネクタ配線, ポッティング, カプトンテープ, CAD 設計, 3D プリンタ出力方法, タップ切り, リーマーバリ取り, ドリル穴あけ, 電源からのバッテリー充電, 太陽電池からバッテリー充電, DCDC コンバータ, マイコンプログラム技術, XBee 無線技術, SD カード保存, JPEG カメラ動作, 電力収支実測などの技術を総合的に学習することが可能であり (3), きわめて高い教育効果が期待される。模擬人工衛星の外観を図 2 に示す。

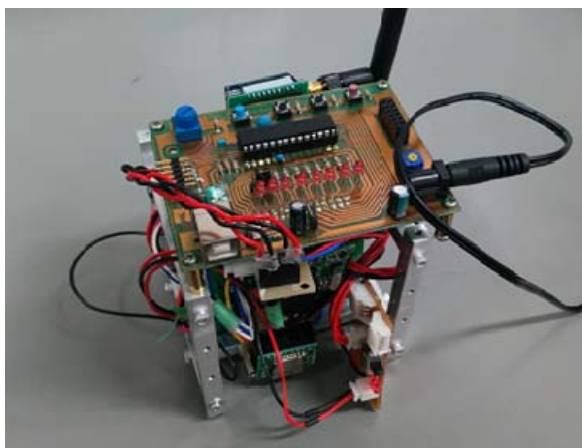


図 2. 模擬人工衛星の外観

模擬人工衛星は, 都立産業技術高専で先行開発された Presat-1⁹⁾ を参考として, 本校のコンピュータ制御に関する授業との接続性を考慮した構成とした。本模

擬人工衛星の CCD カメラは Arduino で制御を行うように最適化されている。すなわち, カメラの制御と撮影画像の SD カードへの保存, PC への送信といった動作はブラックボックス化した Arduino で行い, 各サブシステムを制御する基幹マイコンとして PIC18F2550 を採用した (図 3 参照)。これは, 機械電気工学科においては 3 年次より PIC マイコンを利用した実験演習が行われており, 学生にとって馴染みの深いマイコンの採用を意識したためである。

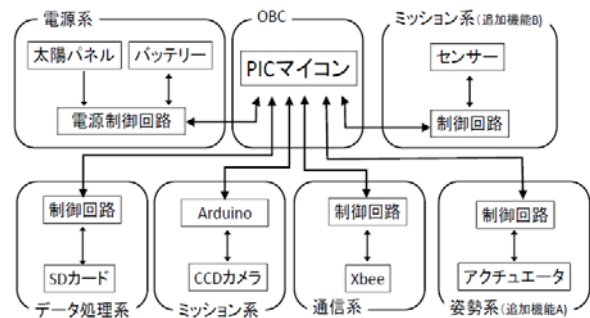


図 3. システム構成図

Arduino に加えて新たに PIC を搭載したことによって PIN の数を PIC の PORTA の 8 ポート, Arduino との接合 PIN を除いた PORTB の 4 ポート, シリアル通信 PIN を除いた PORTC の 6 ポート, 合計 18 本ポートだけ新たな機器を接続可能となった。将来的にはこの PIC を使用してモーメントホイールやバッテリーの保護回路や追加のミッション機器等の拡張が可能となり, より現実に近い高度なシステム設計の学習も期待できる。

PIC18F2550 と XBee 間の通信に関しては, USART を用いて非同期ボー・レート 19.2kbps でのシリアル通信とし, システムのコントロールは RS232C を通じて外部 PC から行う事ができる構成とした。

5. 撮影ミッションのシーケンス

PIC18f2550 は PC と XBee を介したシリアル通信を行い, 地上局に見立てた外部 PC 等より送られてきたテキストに応じて, 指定された PIN を HIGH にするプログラムが書き込まれている。衛星が起動しメイン関数が実行されると最初にスタートメッセージが送信され, メインループが起動すると受信したシリアルデータに応じて RB0~RB3 のいずれかの PIN を 10msec の間 HIGH にする。これによって, CCD カメラの制御を行う Arduino へ必要なコマンドを送信する。

Arduino には外部からの信号に応じ, CCD カメラ, SD カードの制御を行うためのプログラムが書き込まれている。衛星が起動すると Arduino は最初に

configuration 及び必要となる変数の設定を行う。また、この時 analogPIN を入力 PIN として使用するために閾値(215)を変数 thresholddni に格納する。メインループ内で、Arduino の analog0, analog1, analog0, digital6 に入力が生じたとき、それぞれ写真撮影命令およびSD保存を行う関数(Shoot), 画像を削除する関数(Delete), XBee により PC に画像を転送する関数(XbeeImageRead), ケーブルにより PC に画像を転送する関数(PCImageRead)を実行する。図4にそのフローチャートを示す。

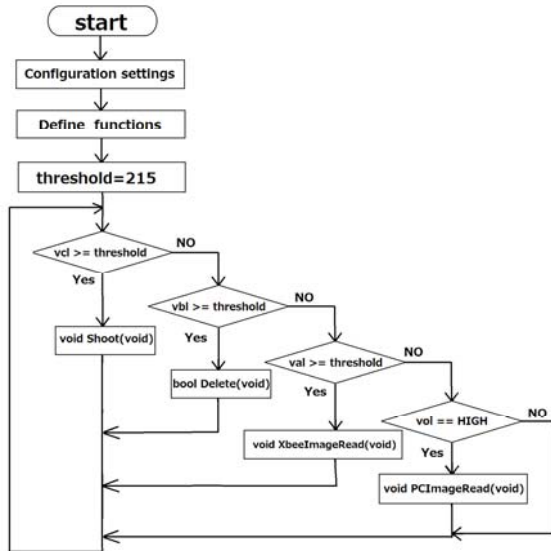


図3. カメラ撮影のフローチャート

撮影した画像は、XBee を用いたシリアル通信を受信した PIC18F2550 が RBO を 10msec だけ HIGH にし、それを検知した Arduino が画像を撮影しSDカードに保存する関数(Shoot)を実行する。

一連のプロセスは、地上局に見立てた PC から模擬人工衛星を遠隔制御して撮像ミッションを行うプロセスを体験するものである。学習者は、このような遠隔撮影ミッションに対して必要なサブシステムの構成を理解し、それぞれのサブシステム間がどのように協動的に機能する必要があるか、擬似的に学習することができる。現時点では、AC 電源を利用したシステムとなっているが、今後太陽電池パネルを採用する予定である。

6. カリキュラムへの適用検討

本模擬人工衛星は先述のように、衛星システムの概念および、システム設計の考え方を学ぶための利用を想定したものである。現在、専攻科機械制御工学専攻では、従来の小型ヘリコプター概念設計に変わるコンテンツとして CanSat を用いた複合的ものづくり技術者育成のためのカリキュラムを検討中である。その中

において、本模擬人工衛星は CanSat 開発の導入として利用が可能であると考えられる。本稿において紹介したのは模擬人工衛星を用いた撮像ミッションのみであるが、模擬人工衛星本体には、十分な拡張性をもたせており、学習者が新たなミッションを規定し必要なサブシステムを追加していく事が可能である(図3追加機能 A, B など)。このような拡張性を駆使する事によって、例えば本模擬人工衛星を上空からパラシュート降下させ、降下中にセンサーやアクチュエータを利用したミッション(観測ミッションやフライバックミッション)を行う事が可能となる。実際に搭載が可能なセンサーと想定されるミッションのリストを表1に示す。

表1. 搭載可能センサーと想定されるミッション

機能	搭載可能センサー	想定ミッション
姿勢制御	GPS 受信機	位置計測
	気圧センサー	高度計測
	ジャイロセンサー	姿勢制御ミッション
環境計測	温度センサー	高度ごとの気象計測
	磁気センサー	電磁波計測
	湿度センサー	高度ごとの気象計測
撮像	カメラ	撮像ミッション

これらのミッションを行う際の手順は以下のとおりである。

- (1) 行うべきミッションを規定する。
- (2) ミッションに対するサクセスレベルを規定する。(フルサクセス: 所定のミッションをすべて達成する, ミニマムサクセス: 不測の事態によってフルサクセス達成が困難な場合のフォールバックプランと最低実施項目の設定, エクストラサクセス: フルサクセス達成後さらに余裕がある場合の付加的なミッション)
- (3) それぞれのミッションレベル達成のために必要となる要求仕様を具体的な緒元として数値化する。
- (4) 見積もられた緒元を満たすための設計及び制作を行う。
- (5) 最終制作物が必要緒元を満たしているかテストを行う。

これらの一連の制作過程は実際の衛星開発において行われている手順であるが、これらの手順を体験する事によって、特にミッション指向のもの作りのプロセスを理解することが可能であると考えられる。

6. 結論

専攻科におけるもの作り教育において適用可能な模

擬人工衛星を制作した。模擬人工衛星は、ミッション達成を目的とした開発スキームと、必要なサブシステム群の協調的な動作プロセスを理解する事を目的とした擬似的ミッションを行える仕様とした。平成29年度以降実施可能な本模擬人工衛星を利用した専攻科カリキュラムの検討を開始しており、一部を平成28年度より指向する予定である。これらの一連のカリキュラムにおいては、衛星開発のスキームを題材とした複合的なシステム開発の手法を学生が実践的に学べる事を目標としている。

教育, 飛行機シンポジウム講演集(CD-ROM),47巻(2009)

- 9) 石川 智浩 , 多田 允建, 佐瀬 順一, 小澤聖司, ”中学校クラブ活動で行った模擬衛星を作る実践的教育報告”第58回宇宙科学技術連合講演会論文集, 3I11 (2014)

(2016. 09. 20 受理)

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号：26560109）による助成を受けて実施された。

文献

- 1) 中須賀真一, “超小型衛星による新しい宇宙開発への挑戦(特別講演集, ものづくりにおける基礎研究と先端技術の融合)”, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集 2010(18), A1-A5, (2010)
- 2) Tsuda, Y. Sako, N. , Eishima, T. , Ito, T. , Arikawa, Y. , Miyamura, N. : Educational Pico-Satellite Project CUBESAT - University of Tokyo's CUBESAT XI and its Operation Plan, 34th COSPAR Scientific Assembly (2002)
- 3) 高橋恭一, “長岡工業高等専門学校における極軌道衛星からの APT(AUTOMATIC PICTURE TRANSMISSION) 信号受信の試み”, 長岡工業高等専門学校紀要 45(2), pp. 81-88, (2009) 八坂哲雄, “衛星通信と小型衛星”, 電子情報通信学会技術研究報告. SAT, 衛星通信 107(497), 17-21, (2008)
- 4) 北村健太郎, 今井一雅, 高田拓, 篠原学, 池田昭大, 若林誠, 高専スペース連携グループ, “CubeSat による超低高度域(<400km)での Sq 電流観測計画”, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, PEM28-P06(2015)
- 5) 今井一雅, 高田拓, 北村健太郎, 平社信人, 高専スペース連携グループ, “高専連携 CubeSat による木星電波観測プロジェクトについて”, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, R009-P14(2015)
- 6) JABEE web site, <http://www.jabee.org/english/>
- 7) National Institute of Technology, <http://www.kosen.k.go.jp/english/index.html>
- 8) 森野数博, 小田和広, 北村健太郎, 西村太志, 無人ヘリコプターを用いたメカトロ技術の総合