

第32回衛星設計コンテスト

ジュニア概要書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名 戸締まり状況確認模擬衛星 SUZUME
副題 民生部品を用いて作る、高校生による高校生のための模擬衛星教材
学校名 長崎県立長崎西高等学校

2. ミッションの概要

校舎の窓の戸締まり状況を画像認識により確認し、閉め忘れがあれば知らせてくれる戸締まり監視システムを製作する。中庭に設置した桶の水面に浮いた本システムは、電源管理、無線通信、姿勢制御、画像認識など、人工衛星と同様なサブシステムをもつ「地上模擬衛星」である。使用したすべての部品が簡単に入手可能な民生部品であることも特徴で、他の高校生が参考にできる、高校生による高校生のための地上模擬衛星製作の教材化の取り組みである。

3. 目的と意義

(a) 目的

宇宙教育の一環として、模擬衛星の製作を教材化する取り組みは、これまで大学や高専で数多く行われており成果を収めている^[1]。人工衛星のサブシステムには、電源系、通信系、姿勢制御系、コマンド・データ処理系（C&DH系）、構体系、熱制御系、計装系、推進系、そしてミッション系があり、これらを学ぶことが宇宙機システムの理解につながる。地上で動作する「戸締まり状況確認模擬衛星」を製作し、システムとして動作させることが本研究の目的であるが、製作過程や使用部品一覧を示すことにより、電子回路技術やプログラミングなど人工衛星開発に必要とされる技術要素を習得できる教材を、高校生目線で開発することも目的である。

また、本ミッションは画像を用いたリモートセンシング技術であり、特徴点を用いた画像認識技術である。このシステムで使用した技術を人工衛星に搭載し、実際に宇宙へ打ち上げることができれば、宇宙からの戸締まり状況の確認・・・ではなく、大規模災害の前後での衛星画像の差分を調査することで、例えば大規模停電が生じた地点を自動で検出する衛星システムとして全世界で活用できると考えられる。本研究の技術は、災害復興に必要なデータを自動収集する人工衛星の製作へ応用可能な技術である。

(b) 重要性・技術的意義等

電子回路技術やセンサ類は年々進化してきており、最新のマイコンボードを利用することで、高校生にも馴染みのあるプログラミング言語（Python）を用いた模擬衛星システムを構築することができる。本研究では、マイコンボードに複数の Raspberry Pi（以下、ラズパイ）、制御プログラムに Python、通信手段に Wi-Fi および AM 音声信号を使用した模擬衛星の製作手順について紹介する。

本研究の取り組みは、宇宙開発への裾野を広げる活動の一環として、高校生や中学生が民生部品で手軽に模擬衛星を作るための先行事例にもなる。地上ミッションを達成できる模擬衛星を製作する過程で、サブシステムの動作が理解できるため、実際の人工衛星に求める機能や性能が把握でき、実現可能性を考慮した宇宙ミッションの設定ができるようになる。

本研究の成功基準としては、すべてのサブシステムを個別に動作させることができればミニマムサクセス、すべてのサブシステムを同時に動作させることができて戸締まりの判定結果をダウンロードできればフルサクセス、窓の閉め忘れがあったときに 40%以上の精度で検出することができればエクストラサクセスとする。

4. アイデアの概要

学校の中庭に設置した模擬衛星（図1はその模型）が、自分で向きを変えながら周囲の校舎を撮影し、放課後の窓の戸締まり状況を知らせてくれるシステムの構築が本研究の目的である。このシステムの構築のために必要な仕組みは、①電力を安定的に自給自足する仕組み、②システム全体を回転してカメラを校舎側に向ける仕組み、③撮影した写真から窓の戸締まり状況を判断する仕組み、④戸締まり状況を外部と通信する仕組みの4つである。これら①～④の仕組みは、3(a) 目的の項で挙げたサブシステムのうち、①は電源系、②は姿勢制御系、③はミッション系、④は通信系に該当すると考えられ、本研究は、これら4つのサブシステムからなる人工衛星の開発になぞらえて活動する。



図1：水に浮いた模擬衛星（模型）

■システム全体の動作について

待機状態の模擬衛星に外部 PC から Wi-Fi で接続して戸締まり確認の開始指示を出すと、2 軸の磁気トルカで向きを変え、校舎の写真撮影する。事前に撮影しておいた、すべての窓が閉じた校舎の写真（基準画像）と差分比較を行い、差分が一定の割合を超えると窓が開いていると判断する。確認結果は Wi-Fi 接続で受信するが、模擬衛星が繰り返し発信している AM 音声信号でも受信できる（図2）。これは、地上局におけるデータアップリンクとダウンリンクおよびビーコンのデータ受信を模擬した通信方式である。

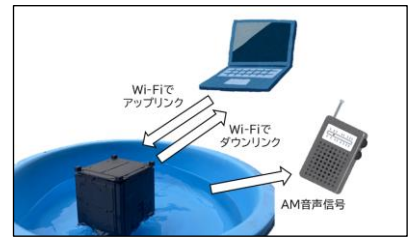


図2：Wi-Fi と AM 音声信号で通信

■製作する模擬衛星の構成

電源には、市販のソーラーパネルと、電力の入出力が同時にできるパススルー方式のモバイルバッテリーである三洋電機製 KBC-L2BS を用いる。通信（ラズパイ A）、姿勢制御（ラズパイ B）、撮影と画像処理（ラズパイ C）、のそれぞれの機能にラズパイを1台ずつ使用し、ラズパイ間は UART シリアル通信で接続する（図3）。ラズパイを3つ使用することで、機能ごとのプログラミングや動作テストを個別に開発できるため、分業の体制を作ることができる。なお、今回製作する模擬衛星システムにおいては、コマンド・データ処理系（C&DH系）、構体系、熱制御系、計装系、推進系については考察しない。

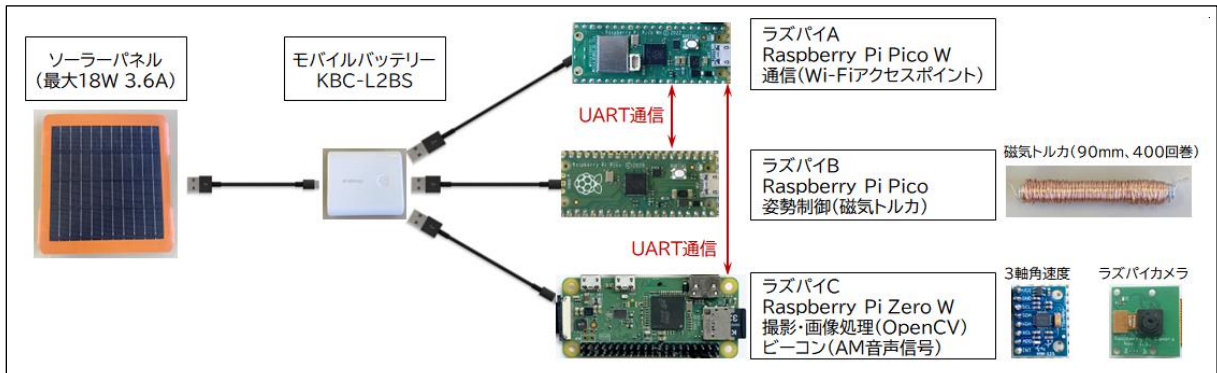


図3：模擬衛星のシステム構成

■ラズパイ A の動作の説明

ラズパイ A には、Wi-Fi 機能を備えた「Raspberry Pi Pico W」を使用する。Wi-Fi アクセスポイントとして動作し、web ブラウザを介して外部 PC と模擬衛星との通信の窓口となる。通常時は戸締まり確認開始指示を待機しており、開始指示を受け取ると、UART 接続されたラズパイ B とラズパイ C へと開始指示を伝達する。その後、ラズパイ C から戸締まりの結果が返ってくるとブラウザに表示する（図4）と同時にラズパイ B へ姿勢制御の停止指示を出し、待機状態へ戻る。

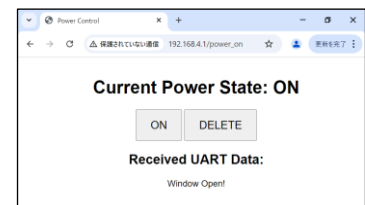


図4：データ送受信の画面
確認開始ボタンと戸締まりの
確認結果が表示される

■ラズパイ B の動作の説明

ラズパイ B には「Raspberry Pi Pico」を使用する。ラズパイ B には、長さ 90mm、400 回巻きの自作の磁気トルカがモータードライバを介して2本接続されており、模擬衛星内部に軸が直角するように

固定してある。磁気トルカに流す電流の向きと強さは PWM 制御で個別に決定できるため、すべての方角を向くことができる。一定の電流を流し続けると、宇宙空間であれば目標の方角の周囲で振動を続けるが、水に浮かべた模擬衛星の場合、水の抵抗によって次第に振幅が減衰し、最終的には目標の方角を向いて静止できる(図5)。そのため、本研究においてフィードバック制御およびそのための姿勢決定は実施していない。その後、ラズパイ A から停止指示を受け取ると、磁気トルカの電流を OFF にして、ラズパイ A からの開始指示を待機する。

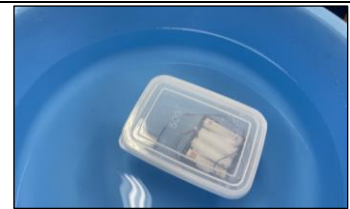


図5：水に浮かべたシステムを自作の磁気トルカで回転させる

■ラズパイ C の動作の説明

ラズパイ C には、OpenCV 等のライブラリがインストール可能な「Raspberry Pi Zero W」を使用する。ラズパイ C には、角速度センサ、カメラ、AM 信号発振 IC が接続されており、ラズパイ A からの指示を待機しながら、指示がない間は模擬衛星の生存確認のために AM 音声信号でモールス信号「SUZUME」を繰り返し送信する。角速度センサで姿勢決定を行い、角速度 0.50deg/s 以下が 20 秒続いた場合を静止とみなせば振動の端を静止と誤認識することもなく写真もぶれないため、OpenCV を用いた画像差分により窓枠の移動を認識でき、戸締まり判定を行うことができる。(図6、図7、図8)



図6：基準画像



図7：窓が開いている画像

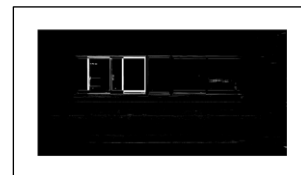


図8：図6と図7の画像差分

戸締まり確認の結果は、UART 接続されたラズパイ A へ返し、AM 音声信号にも「SUZUME」の後に「OPEN」または「CLOSE」を追加して送信する。

5. 得られる成果

- ・ 高校生にマイコンや電子回路技術に触れるきっかけを提供する高校生目線の模擬衛星教材となる。
- ・ 高校生が Python に触れる機会が得られ、OpenCV の画像認識に取り組むことができる。
- ・ 模擬衛星の製作を通して、高校生がシステム工学に触れるきっかけとなる。
- ・ サブシステムごとに分業することで、それぞれのソースコードの把握がしやすくなる。
- ・ 模擬衛星の製作が容易になれば衛星システムが理解でき、衛星に興味を持つ人が増える。
- ・ 放課後の戸締まり状況の確認が楽になり、先生方の働き方改革につながる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ・ 民生部品で模擬衛星を製作する手順を公開することで、宇宙利用の裾野を広げることができる。
- ・ 衛星を水に浮かべることで無重力を模擬でき、磁気トルカが正しく動作できる。
- ・ ラズパイなどの安価なマイコンボードで人工衛星を制御できることを知ってもらう。
- ・ データ送信に、Wi-Fi と AM 音声信号を併用した。Wi-Fi 信号は地上局によるデータアップリンクとダウンリンクを、AM 音声信号はビーコンをそれぞれ模擬している。
- ・ 戸締まり状況の確認以外の地上での用途にも多くの高校生や初心者が取り組むことができる。
- ・ 人が入ることができなくなった地域の被災状況を宇宙から把握できるシステムを実現してみたい。

7. 謝辞

本概要書を執筆するにあたり、九州工業大学大学院工学研究院宇宙システム工学研究系の寺本万里子准教授、北村健太郎教授には、ミッション設定およびシステム工学についてご指導をいただきました。

8. 参考文献

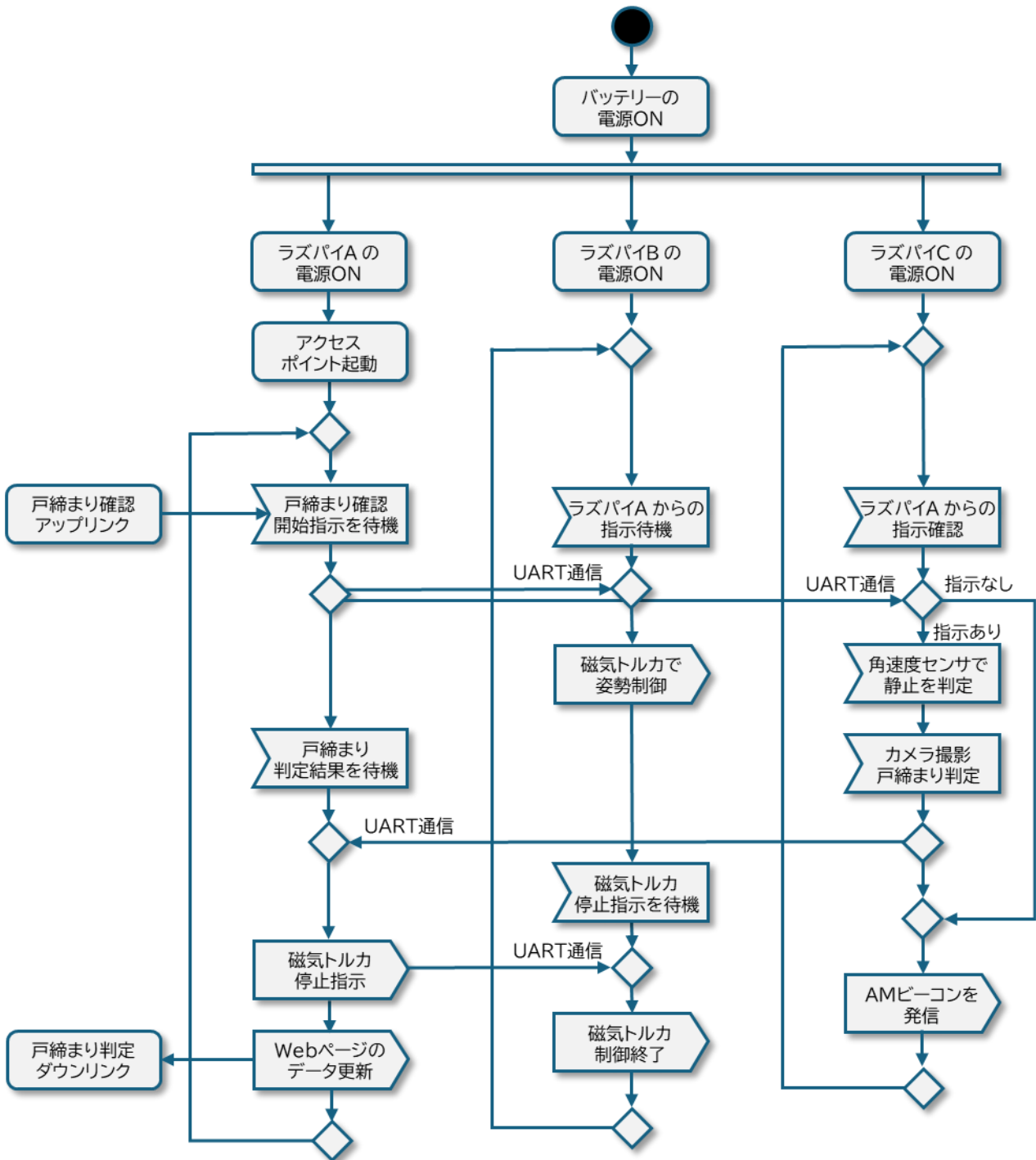
[1] 宇宙技術教育のための CubeSat 地上モデルの開発と活用実践：2. 競技設計と実践
中谷淳ら, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsee/67/2/67_2_101/_pdf

以上

第32回衛星設計コンテスト 補足説明資料

長崎県立長崎西高等学校

■システム全体のアクティビティ図



■ 模擬衛星に使用した機材と価格の一覧

機材の名称	単価(円)	個数	小計(円)
太陽光パネル 18W	13,320	1	13,320
モバイルバッテリー 三洋電機 KBC-L2BS	2,298	1	2,298
Raspberry Pi Pico W	1,980	1	1,980
Raspberry Pi Pico	1,380	1	1,380
Raspberry Pi Zero W	3,760	1	3,760
ブレッドボード	220	3	660
USB スプリッター USB A - USB microB 端子×3	511	1	511
モータードライバ TA7291P	881	2	1,762
Freenove Raspberry Pi カメラ	1,580	1	1,580
3 軸角速度・3 軸加速度センサ MPU-6050	355	1	355
寸切りボルト 鉄 9cm	58	2	116
エナメル線 (ポリウレタン銅線) 直径 0.5mm 25M	1,249	1	1,249
合計			28,971

以上