宇宙技術教育に利用できるミッション立案型 缶サットキット Pi2 の開発と成果

Development and Results of Mission Planning Variation of
CanSat kit “Pi2” for Space Technology Education

岡 侑 吾^{※1} 益 岡 葵^{※1} 一 色 優 太^{※1}
Yugo OKA Aoi MASUOKA Yuta ISSIKI

上 田 真 也^{※1} 高 田 拓^{※1}
Sinya UETA Taku TAKADA

CanSat is a can-sized satellite model, which includes the main functions of a real satellite. For students having prior experience with CanSat production, we developed a mission planning variation CanSat kit, which includes electronic devices, control programs, and documentation. A CanSat Production Course was held during KOSEN Space Camp in September 2016. KOSEN students produced distinctive CanSats with CanSat kits. The following day, students competed with each other for CanSat data acquisition. Based on the participants' questionnaires, we evaluated the educational benefits of CanSat production. This CanSat kit enables groups of students to experience mission planning, production, experimentation, and analysis. This is a practical application of Project Based Learning (PBL).

Keywords : KOSEN, Manufacturing, Engineering Design

キーワード : 高等専門学校, ものづくり, エンジニアリング・デザイン

1. 序論

今日では, 人工衛星を用いた研究やビジネスが活発化しており, 人工衛星開発の需要は高まっている. 人工衛星にもさまざまな種類のものがあるが, その研究や開発にかかる費用は膨大である. 一方, 電子部品などの高機能化により, 安価で小型・高性能な人工衛星を多数打ち上げることができる状況にある. 実際, 民間や大学を中心に小型人工衛星の開発は進んでいる. 宇宙に興味・関心のある学生や一般の方に小型衛星開発へ興味を持ってもらう一助として, 空き缶サイズの模擬人工衛星「缶サット」¹⁾が注目されている.

実際の人工衛星は, 様々な機能を含んだ統合システムである. 電源系・通信系・姿勢制御などの基本機能を持つバス機器と, 地球の観測や科学データの収集などの衛星固有の目的のためのミッション機器が搭載されている. 缶サットでは, 人工衛星の基本機能を搭載することができ, 将来的な小型衛星の開発や気象観測などを目的とした小型観測機の試作機として有効である. 缶サットの製作では, 開発の全体像を把握することが容易であり, 実際に測定実験を行いやすい. 複合技術の集まった人工衛星などの宇宙関連技術を概観しやすく, 自ら製作に取り組めるため, 教育的効果が高く, 宇宙人材教育に有効で

あると考えている.

缶サット製作のため, 個人がゼロから様々なセンサや部品を準備し, 各センサのための制御プログラムを作成するのは時間がかかる. そこで, 人工衛星開発を目指す人材育成を目的に, 搭載するセンサ類を選択して独自の缶サットを製作できる缶サットキットを開発した. 缶サットキット開発の試みの例^{1)~5)}はあるが, 製作の自由度を制限するため, キットを使用せずに自前で開発する学生が多いのが現状である. 宇宙に興味のある学生や一般の方が, 缶サットキットを通して, 人工衛星開発の現場へつながっていくことを期待している.

今回は宇宙に興味をもつ高等専門学校生(高専生)を対象とした缶サット講座&缶サット大会で, 開発した缶サットキットを用いて, ミッション立案型の缶サットを製作, 投下実験などをしてもらい, ミッション達成度などを競ってもらった. 著者らは, 缶サットキットの開発を行い, 缶サット講座の担当者として参加者の缶サット製作のサポートを行った.

2. 缶サットキットPi2の開発

2.1 缶サットキット2015

2015年9月に開催された高専スペースキャンプでは, 缶サットキット(以下, 缶サットキット2015と呼称)を開発し, 缶サット講座・大会を実施した. 講座と大会を連動させ, 缶サット製作未経験者に缶サット製作と競技

2017年2月7日受付

※1 高知工業高等専門学校

図1 缶サット2015と缶サットPi2の外観

の魅力が伝わるように設定した。2015年の高専スペースキャンプでの運営面での取り組みについては参考文献²⁾を参照されたい。缶サットは、気圧センサ、webカメラの2つの計測部をもつ単純な構造であったが、多くの参加者が缶サットを完成させ、投下実験でデータ取得することができた。参加者の多くは、缶サット製作の未経験者であった。図1左に缶サットキット2015の外観を示す。一般的な500 ml缶のサイズ（径62mm、高さ164mm）であり、缶の中にマイコンボードやバッテリーを入れる。缶サット2015の特徴は、2～3時間程度で製作可能な簡易製作型の点であった²⁾。参加者からは好評を得たが、センサ類の個数が少なく、選択できなかったことから、より自由度の高い缶サットキットへの要望があった。

2.2 缶サットキットPi2の構成

今回は、より多くのセンサ類を選択できる自由度の高い缶サットを開発することにした。多機能化した缶サット（以下、缶サットPi2と呼称）の外観例を図1右に示す。キット2015と同じマイコンボードであるRaspberry Pi2 Model Bを使用（図2右）しているため、缶サットの大きさを変えないことが可能である。ただし、缶サットPi2では、3.2で述べるレギュレーションに則る限り、缶サット全体の大きさは自由に決めることができる。機能面では、表1に示す14種のセンサ・アクチュエータ・カメラから、最大7種類を選択して搭載できるようにした。ミッション機器の選択肢を増やすことで、前回の参加者の要望だった、自由度の高い缶サットキットを実現した。センサ類の取り付けには、ユニバーサル基板（図2中）と3センサ用の両面プリント基板（図2左）のいずれかに、はんだ付けすることで、回路を組んでいくことができる。センサ類をはんだ付けした基板や、マイコンボード、電源等は全て500ml缶に収めて一つの缶サットにする。

缶サットPi2の製作の前には、より小型のマイコンボードであるRaspberry Pi Zeroを用いた缶サット（以下、缶サットZeroと呼称）の製作を実施した³⁾。缶サットPi2講座と異なり、電気系の基礎知識や技術をもたない未経験者でも取り組むことのできる初心者向けの缶サットZero講座である。3つのセンサ（気圧センサ、加速度センサ、ジャイロセンサ）のみを使用し、回路が組み込まれているプリント基板（3センサ用）にはんだ付けをして製作するため、初心者でも比較的容易に缶サットを

図2 (右)マイコンボードRaspberry Pi2 B(55mm×86mm), (中)ユニバーサル基板(40mm×140mm), (左)3センサ用の両面プリント基板(30mm×65mm)

表1 缶サットキットPi2で利用できるセンサ類一覧

センサの種類	型番
加速度センサ	ADXL345
気圧センサ	LPS25H
ジャイロセンサ	L3GD20
地磁気センサ	HMC5883L
GPSセンサ	AE-GYSFDMAXB
ダストセンサ	GP2Y1010AU0F
紫外線センサ	ML8511
超音波センサ	HCSR04
赤外線センサ（長距離）	GP2Y0A02YK
赤外線センサ（近距離）	GP2Y0A21YK
フォトランジスタ	L-31ROPT1C
サーボモータ	ES08A
モータ	RA2250100-58Y91
Webカメラ	UCAM-C0220FBRD

完成させることができる。この缶サットZeroは、今までにない超小型軽量の缶サットである。缶サットZeroについては、参考文献³⁾を参照されたい。

缶サットZero講座で使用した3センサ用のプリント基板（図2中）は、缶サットキットPi2でも利用でき、ユニバーサル基板（図2中）とピンヘッダを用いて、マイコンボードの上に3階建てに組み立てられるため、500 ml缶に収まるサイズとなる。センサ類は多数準備する必要があるため、比較的安価なものを選択した。缶サットの位置や姿勢の計測につながる加速度センサや気圧センサ、対象物との距離を計測できる超音波センサや赤外線センサ、光量を測定できるフォトランジスタや紫外線センサ、物を動かすモータやサーボモータ等を用意した。製作者が各々ミッションを考えて使用するセンサ類を選

図3 缶サットPi2の構成例

択できるようにしたことが、缶サットキットPi2の大きな特徴である。回路製作の難易度は上がったが、設計の自由度が上がり、知識や技術力をより高められるキットになると考えられる。

缶サットPi2の構成例を、図3に示す。マイコンボードは、LANポートありのモデルを使用し、参加者は持参したノートPCとLAN接続して、マイコンボードの設定等を行った。また、マイコンには、4つのUSB端子や多数の汎用入出力ピン（GPIO）が備え付けられており、webカメラ（USB接続）や各種センサと接続できる。電源としては、約10時間以上の継続使用が可能なモバイルバッテリーを使用した。また、缶サット投下のため、ごみ袋から容易に作成できる円錐状のパラシュートを用いた。

2.3 開発面での特徴

今回の缶サットキットでは、参加者が講座終了後に自ら缶サットの製作を行えることを最終の目的としている。そのため、センサの制御プログラムは、コードがシンプルで扱いやすく設計されたPython言語で記述した。初心者向けの缶サットZeroでは、3センサとカメラの個々のプログラムと、それらを統合したプログラムを準備した。缶サットキットPi2では、選択できるすべてのセンサ類の制御プログラムを準備したが、複数のセンサを同時に動作させるための統合プログラムに関しては、参加者が作成することにした。個々のプログラムでは、共通のモジュールを使用し、豊富なコメントをつけている。センサのオプションを変更する場合の方法についても、プログラム中にコメントしている。

また、初心者向けの缶サットZero講座では、ブレッド

ボードでセンサの動作試験をして、基板へのはんだ付けをする順に進めている。ブレッドボードは電子回路の試作用の基板のことであり、回路のはんだ付けなしで、センサなどの動作試験を実施できる。缶サットPi2の製作においても、ブレッドボードを利用し、各センサの動作試験をした上で、はんだ作業に移れるようにしている。

3. 缶サット講座と缶サット大会

2016年9月1日～4日に、愛媛県新居浜市で、宇宙に興味を持つ全国の高専生を対象に高専スペースキャンプを実施した。このキャンプは、文部科学省の平成26年度宇宙航空科学技術推進委託費・実践的若手宇宙人材育成プログラムに採択された、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プログラム（3年計画：高知工業高等専門学校代表、8高専参画）の一環として前年度に続き開催された。2機の超小型人工衛星の開発を目的に、高専ロケット・缶サット大会を通じて、宇宙産業に関わることでできる学生人材の発掘と教育を行うことが、プログラム全体を通した目標である。キャンプ中には、第一線の研究者による講演、モデルロケット&缶サットの製作講座、ロケット&缶サット大会、成果発表会が行われ、約40名の学生が参加した。表2にキャンプのスケジュールを示す。

3.1 缶サット講座

2015年度に実施した缶サット講座では、多くの参加者から好評を得たが、説明から製作まで約2時間と非常に短時間であったため、より長い製作時間を希望する意見が多かった。2016年度の缶サット講座では、製作時間を6時間としたが、初心者向けの缶サットZeroと自由度の高いミッション立案型の缶サットPi2の2機の缶サットを製作することにしたため、所定の作業時間を超えて、夜遅くまで作業をする参加者が多かった。図4に夜の作

図4 夜の作業風景

表2 高専スペースキャンプ2016のスケジュール

	午前		午後		夜
9/1(木)					特別講演 はやぶさ2
9/2(金)	モデルロケット講座	缶サット製作講座	缶サット製作1	缶サット製作2	Welcome Party
9/3(土)	モデルロケット打ち上げ	高専缶サット大会	高専缶サット大会	高専缶サット大会特別デモ	交流会
9/4(日)	情報交換会	成績発表 表彰式	解散		

業風景の様子を示す。初心者向け講座では2人1組での作業だったが、缶サットPi2では回路製作の難易度が上がったこともあり、ミッション立案型のために1グループの人数を増やした。専門学科・学年・所属校が異なるようにバランスよくグループ分けを行い、1グループ4～5人とした。初心者向け講座での2人組は、缶サットPi2製作では同じグループになるようにし、チューター役の学生が各グループに分散して入るようにした。講座では概要を説明した後、各グループのベースで作業を行ってもらい、全てのグループ（学生8組、教員1組）が缶サットPi2を完成させた。

3.2 缶サット大会

缶サット大会は、定められたサイズの超小型模擬人工衛星缶サットを、高度数十mから投下し、投下中および投下後に、設定したミッションを実行する競技である。

缶サット大会では目標の達成度やアイデアのユニークさ、機体に施された技術の高さが評価される。ミッションの自由度は、大会によっても異なるが、参加者が任意に設定できることが多く、気圧や気温の測定、上空からの撮影、自動制御による指定地点への移動および、それらのデータ解析などがミッションとして設定される。高校生を対象とした大会では缶サットが降下中に行うミッションの内容を競っている^{6),7)}。大学生対象の大会では、ミッション競技に加え、カムバック競技も行われている^{4),8)}。カムバック競技とは、指定したある目的地に对

して、缶サットの降下中もしくは降下後に缶サットを最も目的地に近い場所にカムバックできるかを競う競技である。技術的にかなり高度な缶サットの製作を行う学生もいる。

今回の缶サット大会では、各グループで設定したミッションを降下中に行うことを競い、約40m程度の高度に上げた係留気球（容積8m³のミニ飛行船型）からの投下とした（図5）。缶サット投下の準備が整ったら、ゴンドラ下部の蓋をラジコン操作で開き、缶サットの投下を行う。缶サットは空中でパラシュートを展開させ、安全に着地する。缶サットのレギュレーションは、ゴンドラに収まる大きさを基本としており、径154mm以下、長さ300mm以下、重量1050g以下である。缶サットで行うミッションは各グループで異なるため、アイデアの獨創性、技術力、設計の安定度を総合的に評価する。参加者は同じマイコンボードを使用するため、ユニークな缶サットを作成するには他のチームにないようなミッションを考え、それに適したセンサ類を14種から選択し、缶サットを設計する必要がある。また、各々が得意な技術を持ち寄って、缶サットを設計する必要もあるため、より缶サットへの理解が深まると考えられる。

4. 缶サットキットPi2による取得データ

4.1 各グループのミッション

各グループは缶サットで行うミッションのアイデアを出した後、それに適したセンサを選んで缶サットを設計し、ミッションを設定する。今回は、ミッションの設定自体を評価の対象としたため、学生たちの自主性に任せた。ただし、参加者全員での夕食などの機会に、各チームにミッションの一言紹介などをしてもらった。他チームの状況を知ること、自分たちの状態を振り返って、修正してきたチームなどもあった。ミッション設計などへの他者（教員や他グループなど）からのコメントのあり方については、今後検討していきたい。表3は各グループのミッションの内容と、使用したセンサである。グループ毎にユニークなミッションを設定し、缶サットを完成させることができた。図6は、表3に対応する製作された缶サットの写真である。例えば、Aグループは、上空の風向きを測ることを目的とした。そのため、自作し

図5 2機の缶サット投下の様子

表3 各グループのミッションと使用センサ

	ミッション	使用センサ
A	吹き出しとGPSを用いた風向測定	GPSセンサ・ダストセンサ・webカメラ
B	ダストと紫外線の高度変化測定	加速度センサ・気圧センサ・ジャイロセンサ・ダストセンサ・紫外線センサ
C	サーボモータを用いた着地時のダスト回収	ジャイロセンサ・ダストセンサ・超音波センサ・サーボモータ
D	ほこり密度の高度変化測定	加速度センサ・気圧センサ・ジャイロセンサ・GPSセンサ・ダストセンサ・webカメラ
E	今日のお天気・紫外線・花粉のお知らせのための測定	気圧センサ・GPSセンサ・ダストセンサ・紫外線センサ・フォトトランジスタ・webカメラ
F	着地時にできるクレーターの深さとダストの測定	加速度センサ・気圧センサ・ダストセンサ・紫外線センサ・フォトトランジスタ
G	ダストの鉛直分布と地表面からのダストの舞い上がり方の測定	加速度センサ・ダストセンサ・webカメラ
H	フォトトランジスタとwebカメラを用いた太陽の位置測定	紫外線センサ・フォトトランジスタ・サーボモータ・webカメラ
教	webカメラとサーボモータの組み合わせによる360°写真撮影	紫外線センサ・フォトトランジスタ・サーボモータ・webカメラ

図6 各グループの缶サット

た吹き流しをカメラで撮影することで風向きを知ろうとした。また、パラシュート落下中の缶サットが風に流されることを想定し、GPSの位置の変化から風向きを推測できると考えた。自分たちの目的を達成するための解決方法をグループ内でよく吟味した結果、出てきたアイデアだと思われる。別の例としては、Gグループでは、砂埃などのダストがどのように舞い上がるのかに興味を持ち、ダストセンサを鉛直方向に3つ配置する缶サットとした。また、重心や羽根の取り付けを工夫して、缶サットが鉛直方向に長く維持されるような構造とした。以上のように、缶サットの形状や大きさなども様々で、学生たちの発想力には可能性があると感じた。

4.2 缶サットPi2の観測データ例

図7は、今回の缶サット大会で取得できたデータの一例である。缶サット降下前後のデータのみ示しているが、気圧の絶対値は一般的な気圧と比較しても正常な範囲の値である。気圧の値が小さな値から大きな値に変化しており、缶サットが係留気球から降下して地表に着地したことを示している。

フォトトランジスタによる光量の値は、電圧値で与えられており、相対的な光の強さを示している。光量の絶対量を得るためには、較正が必要であるが、今回は短期間の製作であり、想定していない。また、紫外線センサの値も電圧値であるが、センサのマニュアルには、出力電圧と紫外線量の関係がグラフで示されている。光量と紫外線のグラフから、ゴンドラ内部にあり完全に遮光された投下前の缶サットが、投下と同時に太陽の光に当たる様子が確認できる。缶サット着地後、光量と紫外線の大きさが減少している原因は、缶サットの倒れ方やパラシュートによりセンサ部分が覆われてしまったことが考えられる。

全9グループの中で、何らかのデータが取得できたグループが5グループ、ミッションに比較的沿ったデータを取得できたグループが内1グループであった。講座内

図7 気圧（上）、光量（中）、紫外線（下）のデータ

での設定の説明や、マニュアルに関して改善が必要な部分もあるが、グループ学生だけではミッションを完遂させることは難しいことが分かった。今回は、技術的な質問は常時受け付けして対応していたが、今後に関してはミッション達成全体を見守るメンター的な存在が必要ではないかと考えている。

5. アンケート結果

表4に、参加者に依頼したアンケートとその結果を示す。今回の缶サット講座は学生にとって興味を惹くものだったと言えるが、講座内容が難しく進行が速いという意見が多かった。各グループの人数に対しては適切という意見が大半を占めた。難易度が高い缶サットであったこともあり、グループ製作としたが、時間不足を埋め合

表4 アンケート項目と結果（単位：名）

アンケート項目（4：肯定的→1：否定的）	4	3	2	1	無回答
(1) 講座内容に興味を持ったか	19	15	2	0	1
(2) 講座内容はどうだったか （3：適切，2：難しい，1：簡単）		9	27	1	0
(3) 講座進行はどうだったか （3：適切，2：速い，1：遅い）		13	22	2	0
(4) 講座の時間ははどうだったか （3：適切，2：長い，1：短い）		9	1	27	0
(5) チームによる製作は良かったか （3：適切，2：より少人数，1：より多く）		31	2	4	0
(6) 缶サット大会に参加して良かったか （3：よかった，2：まずまず，1：よくなかった）		27	9	0	1
(7) 今後、新たな缶サットを自分で製作できそうか	7	20	9	0	1
(8) 缶サットを使って、缶サット大会に参加したいか	9	11	14	2	1
(9) 缶サット講座の内容は 宇宙人材の養成に役立つと思うか	20	13	4	0	0

わせることはできなかった。一方で、自由記述から、グループでミッションを考案し、共同作業する経験を楽しみ感じた者が多かったことが分かった。4～5人のグループによるミッション立案型の製作自体は、学生にとって好評と言えそうである。講座の時間や進行に関しては、今後の工夫が必要である。また、缶サット講座は宇宙人材の育成に役立つと感じた学生が多く、缶サット講座としては成功であるが、全ての学生が缶サットを自分で製作できるまでには、講座の時間配分やグループのメンバーや人数調整等の課題があることがわかった。

6. まとめ

宇宙技術教育に使える教材として、空き缶サイズの模擬人工衛星「缶サットキットPi2」を開発した。本キットの特徴は、自由度の高い設計が可能なことであり、各グループが独自性を打ち出しやすく、グループによるミッション立案を形にできる教材として利用できる。

2016年9月に開催された高専スペースキャンプで、高専の学生約40名を対象として缶サット製作講座を実施し、4～5人1グループで缶サットキットPi2を用いて缶サットPi2を製作してもらった。参加者は熱心に取り組み、全てのグループが缶サットを完成させ、翌日の缶サット大会を行うことができた。投下実験によるデータ取得に成功したグループは、9グループ中5グループだった。グループで考えたミッションを達成するため、独自の工夫を缶サットに施し、創意工夫していた。しかし今回の缶サットキットは缶サット製作講座・缶サット大会を行うにあたって、難易度が高いという声が多かったため、今後は参加者のアンケート等を反映させて、より教育効果のあるキットの開発を進める。

缶サットキットを用いた今回の一連の活動は、PBL (Project Based Learning) の実践例である⁹⁾。PBLは、プロジェクト型学習や問題解決型学習と呼ばれており、学生の主体的な学習方法の1形態である。また、複数の技術や分野の知識を総動員して作業に当たるため、若い学生にとって、実際に活かせる知識・技術力を得る機会であると共に、システム全体を考えることのできる数少ない機会である。今回、缶サットの製作にあたって、グループ独自の工夫を要求したことで、ミッションを考え、アイデアを出し合い、機器の動作確認、実験、データ解析・考察等を学生たちが主体的に行うことができた。参加者の感想の中には、アイデアを具体化していく過程が新鮮で楽しかったという感想や、同じような部品しかないのに、他グループが全く異なる構想やアイデアを形にしていたことに驚いたという意見などもあった。今までの受動的な教育では得られなかった力が身についたのではないかと考えている。一方で、技術面やアイデアをさらに磨くために、ミッション設計などに対して、他者(教員や他グループなど)からのコメントをフィードバックすることは1つの方法である。これらを含めた講座の運用形態に関しては、今後、検討していく必要がある。

今回開発した缶サットキットPi2は、PBLのためのツールとしても適しており、今後様々なオプションを加え

ることで、様々な対象者や実施機関に対応できるように開発を進めていきたい。

謝 辞

高知工業高等専門学校の今井一雅教授、東京都立航空工業高等専門学校の島田一雄名誉教授、新居浜工業高等専門学校の若林誠講師、香川高等専門学校の村上幸一准教授をはじめとする高専スペースキャンプ連携のメンバーには、高専スペースキャンプの運営面等、大変お世話になりましたので、感謝いたします。缶サット開発および、缶サット講座・缶サット大会の実施にあたっては、文部科学省平成26年度宇宙航空科学技術推進委託費の支援を受けましたので、感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 大学宇宙工学コンソーシアム: CanSat-超小型模擬人工衛星-, オーム社, 東京, pp.16-28, 2014
- 2) 高田 拓, 若林 誠, 村上幸一, 今井一雅, 益岡 葵, 上田真也: 宇宙人材教育のための連動型「缶サット講座・缶サット大会」の実施成果, 工学教育, 65-2, pp.26-30, 2017
- 3) 一色優太, 岡 侑吾, 益岡 葵, 今井一雅, 上田真也, 高田 拓: 宇宙技術教育のための小型軽量缶サットキットZeroの開発と成果, 工学教育, 65-5, pp.87-92, 2017
- 4) Y. Miyazaki, and M. Yamazaki: A practical education of space engineering by using CanSat and pico-satellite-Fruitful collaboration with UNISEC for success of student satellite program, RAST, 2013 6th International Conf. on IEEE, 2013
- 5) 波多英寛: 簡易型 Cansat キット開発プロジェクト, 熊本大学工学部附属ものづくり創造融合教育センター年次報告書, 106, 2009
- 6) 藤木郁久, 石塚 互: 缶サット甲子園2年連続全国優勝に向けた科学部の取り組み, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 1, pp.39-45, 2012
- 7) 缶サット甲子園: Webページ, <http://www.space-koshien.com/cansat/>, 参照日: 2017-2-5
- 8) 種子島ロケットコンテスト: Webページ, <http://jaxa-rocket-contest.jp/>, 参照日: 2017-2-5
- 9) 米本浩一: 宇宙工学PBLによる設計教育(キーノートスピーチ), 精密工学会学術講演会講演論文集, D01, 2012

著 者 紹 介

岡 侑吾

学 歴 高知工業高等専門学校電気情報工学科在学中
専門分野 電気情報工学
連絡先 e5106@gm.kochi-ct.jp