

初心者のための宇宙人材啓発教材「缶サットキット2015」の開発

丁野 哲^{*1}・中越 彬^{*1}・益岡 葵^{*2}・上田真也^{*3}・高田 拓^{*4}

Development of a Space Educational Tool “CanSat Kit 2015” for Beginners

Satoru CHONO, Akira NAKAGOSHI, Aoi MASUOKA, Shinya UETA, and Taku TAKADA

Summary

CanSat is a nano-satellite; it is a can-sized observatory model that is capable of the main functions of a real satellite. In order to enable students to experience CanSat production, we developed a CanSat kit containing all the necessary parts and simple manuals. The experience of production, experimentation, data analysis, and consideration of the data and results helps students acquire technical knowledge and skills, and also recognize the role of various specialties. We had the opportunity to introduce CanSat production and experiments with our CanSat kit for students of the National Technical Colleges in September 2015. Based on the responses to the questionnaires provided to the students, we considered future possibilities for employing the CanSat kit for educational purposes. The CanSat kit is very beneficial for students with no experience in space technology and would be very useful as teaching material.

1. 序 論

近年、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^[1]。人工衛星には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莫大で、人工衛星開発のための人材や技術が必要である。一方で、電子部品などの高機能化が進んでおり、民間企業や大学などの教育機関が安価で小型な高性能の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、大学や民間を中心に小型衛星の開発・利用は進んでいる^[1]。しかし、アメリカなどに比べると、国内での新規宇宙分野へ参入するベンチャーなどの企業は少なく、宇宙開発に興味を持った技術力のある若い人材の増加が求められている。小型衛星開発へ興味を持ってもらうためのツールの1つとして、空き缶サイズの超小型模擬人工衛星「缶サット」がある^[2]。宇宙に興味のある学生や一般人が模擬人工衛星の開発を経験することで、人工衛星開発に関わる技術や知識を身につけることができる。

実際の人工衛星は、様々な機能を含んだ複合システムであり、電源系、通信系、姿勢制御系などの基本機能をも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ミッションを行うミッション機器が搭載されている^[3]。模擬人工衛星「缶サット」は、同様にバス機器とミッション機器で構成されるようにする。缶サットの製作では、人工衛星開発に較べて、開発の全体像を把握

*1 高知工業高等専門学校 電気情報工学科 卒業生

*2 高知工業高等専門学校 専攻科機械・電気工学専攻 修了生

*3 高知工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術専門職員

*4 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 准教授

することが容易であり、地上での測定実験などを行いやすいため、教育的にも優れていると考えられる。人工衛星に比べてシンプルな構成であるが、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、未経験者にとっては非常に煩雑である。また、缶サットについては、競技を中心に発展してきたため、個々での開発が中心であった。缶サットの部品をセットにしたキットは少ない上、未経験者にとってハードルの高いマイコン（PIC、H8マイコン等）が使用されていることが多く^[4]、一般的に普及しているとは言えない状況である。教育用のキットとして開発されたi-CanSatは高機能であり、組み立て方法などが書籍に詳細に記載されている^[2]。ただし、電子回路などの初心者が気軽に製作できるものではない。

缶サットの製作を通じた活動は、目標設定から始まり、製作、実験、データ解析、考察の各過程を含んでおり、PBL (Project Based Learning)の範疇に入ると考えられる^[5]。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^[6]。缶サットの製作は、1つのプロジェクトを通して、様々な知識・技術力を活かせる機会であり、システム全体を考えることのできる数少ない実地の場合である。缶サットの製作をプロジェクト学習として利用するためには、「缶サットキット」が人工衛星の主要機能を残しつつ、電子回路などの知識が十分でなくとも、短時間で製作可能である安価なキットであることが必要である。

本論文では、人工衛星開発を目指す宇宙人材の啓発教材として開発した缶サットキットについて述べる。缶サットキットは、人工衛星開発の基礎要素を含んだ教育的なコンテンツである。近年発売されている高機能でOS搭載のマイコンボードを利用することで、電子回路に関する特別な知識がなくとも、容易にセンサ搭載の装置を開発することができるようになった。開発した缶サットキットは、缶サット講座で学生に缶サットを製作してもらい、投下実験を実施して、データ取得などを行ってもらった。開発した缶サットキットの詳細とともに、学生による製作・実験の結果を述べ、さらに教育的ツールとしての利用価値について考察する。

2. 缶サットキットの利用環境

缶サットは、製作した缶サットの技術やアイデアなどを競う缶サット大会を目標に製作されることが多い。缶サット大会は、定められたサイズの缶サットを、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。目標の達成度やアイデアのユニーク性、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、上空からの撮像、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。高校生や大学生を対象とした大会が実施されており、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^[7-9]。缶サットを上空に上げるために、モデルロケットによる打ち上げや、係留気球、ドローン（マルチコプター）を用いる方法などがある。

図1に、高専缶サット大会での競技方法について示す。今回は、高度約50m程度に揚げた係留気球からの投下とした。気球には、係留のための紐と別に、地上と気球間を上下するゴンドラ用の紐が取り付けられている。地上でゴンドラ内部に缶サットを入れ、その後、コードリールで紐を巻き取ることで、ゴンドラを高度約50mまで上昇させる。缶サットの投下準備が整ったら、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などの減速装置を機能させ、安全に着地する。同じ缶サットキットを用いるため、缶サットの上昇開始から着地までの間に気圧測定、動画、静止画の撮影を行うことが共通するミッションとなっている^[10]。

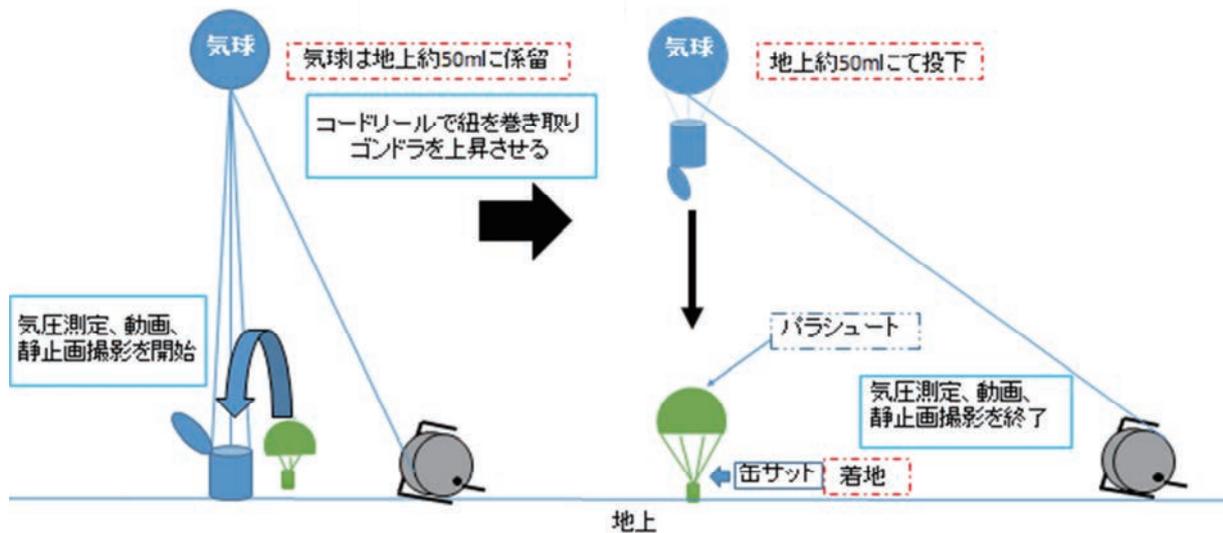


図1 高専缶サット大会での競技方法

3. 缶サットキット

3.1 缶サットキットの構成

図2は、缶サットキットを構成する各種部品の概観を示している。マイコンボードに、気圧センサ付きの基板、Webカメラ、モバイルバッテリー、空き缶、パラシュート用のごみ袋、凧糸、ゴム板、梱包材などで構成されている。マイコンボードと各種センサ類との接続は、図3に示す。マイコンボードのRaspberryPi2 Model Bは、高機能の割に比較的安価で手に入れやすく、使用者が多いので様々な使い方をインターネット等で容易に調べられる。記録媒体としてSDカードを用いており、Linux OSを搭載している。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うことができる。また、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）や気圧センサ（温度センサ付）と接続されている。センサ回路のために、基板を用意したが、ハンダ付け作業は参加者に行ってもらった。電子工作の未経験者であっても、複数のセンサやカメラを制御することが容易である。電源としては、約2時間以上の継続使用が可能な軽量のモバイルバッテリーを使用した。



図2 缶サットキットの各種部品

缶サット投下のため、減速装置としてパラシュートを用いる。パラシュートの形状は様々なものが考えられるが、今回は短時間で容易に作れることを重視した。図4（上）が、今回作製したパラシュートで、広げると円錐状となる。製作方法を図4（下）に示す。大きめの市販のごみ袋を使用し、袋の底辺を下側にし、底辺の長さと同じ半径の円弧上に沿って、袋を切り取るとパラシュートが完成する。ごみ袋の底には、ひだがあるので、袋の裏側が表側になるように裏返しにして、表側にひだがないようにする。最後は、円弧付近

の離れた4ヵ所を養生テープで挟み込み、穴を開けて、風糸で缶サットと繋ぐ。また、缶内への着地の衝撃を和らげるため、底面には、ゴム板を巻いた。このゴム板を付けると、缶サット自体はやや不恰好にはなるが、パラシュートが完全に開かないような場合でも、機器の破損を防いでくれる。

キットの基本構成では、気圧センサ1個としたが、経験者のために、3個のセンサに対応した基板も準備した(図5)。1センサ基板では、気圧センサ(最左)のみであるが、3センサ基板では、気圧センサ(最右)に加えて、ジャイロセンサ(右から2つ目)、加速度センサ(右から3つ目)に対応した回路となっている。また、3センサ用のプログラムをオプションとして別途用意した。3センサ基板であっても、プログラムを調整すれば、1センサのみ機能するようにできる。このように、センサ数を調整することで、参加者のレベルに合わせたキット構成が可能である。

表1に、缶サットキットの部品一覧を示す。部品価格は、1センサ基板の場合で1万円程度、3センサ基板の場合で1.1万円程度となる。部品は、比較的安価で入手しやすいものである。また、Webカメラ、モバイルバッテリーなどは類似の特徴をもつものであれば代用可能である。

3.2 缶サットの製作マニュアル

参加者は高等専門学校生(高専生)であるが、学年や専門は様々であり、背景知識にはばらつきがある。そのため、各々のペースで作業できるように、丁寧な説明の配布資料を準備した。部品と説明書があれば組み立てることができるプラモデルのイメージである。

本缶サットキットの特色の1つは、人工衛星開発につなげるため、①データ処理系(マイコンボード)、②ミッション系(気圧・温度計、Webカメラ)、③姿勢・軌道制御系(パラシュート)、④構造系(空き缶)、等の実際の人工衛星にも必要な機能を持つことである。これらの機能に関しては、順番に作業を進めていくことにより、参加者が人工衛星の主要

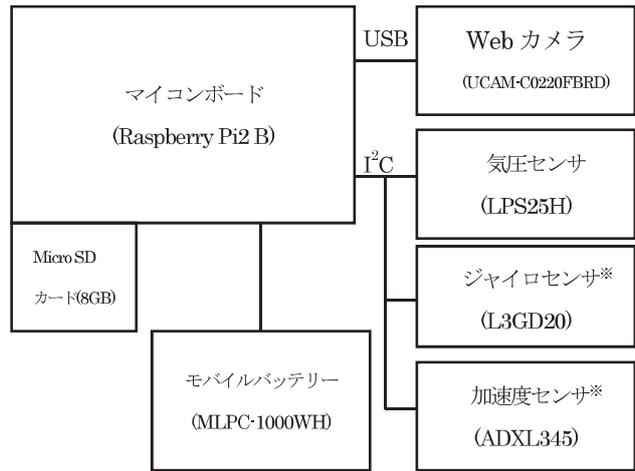


図3 缶サットの構成図
(※3センサ基板の場合)

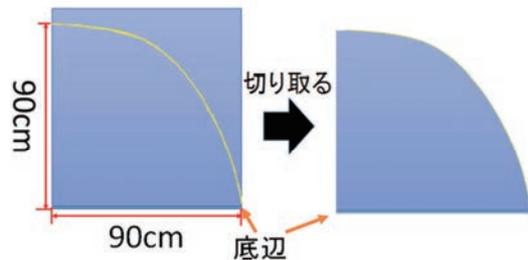


図4 パラシュートの概観図(上側)と
パラシュートの製作方法(下側)

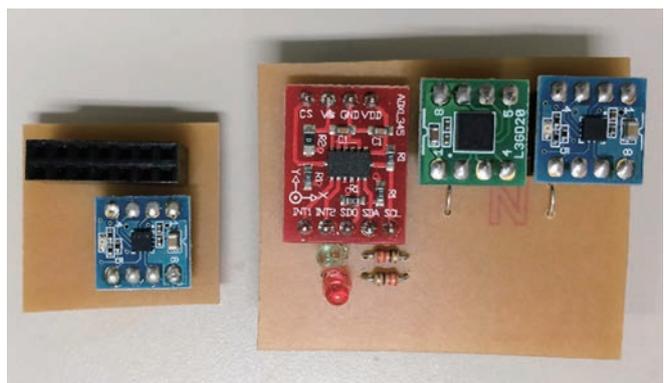


図5 センサ基板：1センサ(左)、3センサ(右)

な構成要素に直接触れ、缶サット製作の全体像を把握できるようになっている。

一方で、講座終了後に、参加者が独力でゼロから缶サットを製作できるように配慮した。実際、講座時間の節約のため、製作に必要ないくつかの項目に関しては、事前に設定を行った。その設定の仕方や、制御プログラムの内容に関しては、事前設定されていることが分かるようにした上で、配布資料に記載した。講座では、配付資料を見ながら、各グループのペースで進めてもらったが、順調に読み進めていくグループが多かったため、高専生対象のマニュアルとしての最低限のレベルはクリアできていると考えている。

表1 缶サットキットの部品一覧

品名	説明	参考価格 (円)
Raspberry Pi2 Model B	マイコンボード	4900
MicroSD (8GB)	記録媒体	500
LPS25H	気圧センサ	600
ADXL345	加速度センサ	450*
L3GD20	ジャイロセンサ	750*
UCAM-C0220FBRD	Web カメラ	1400
MLPC-1000WH	モバイルバッテリー	800
AD-B50P200	AC アダプター	1000
Laneed 28AWG 4P 6S	LAN ケーブル	500
その他：ゴム板 (210 mm×50 mm×3 mm)、風糸 (1mm×80 cm×4本)、ごみ袋 (h100 cm×w90 cm)、梱包材、空き缶 (500 ml)		
* オプション (3 センサ基板の場合)		

3.3 缶サット製作の流れ

缶サット製作の作業は、表2のように進める。マイコンボードの設定に関しては、時間短縮のため、OSや動画・静止画撮影ソフト (motion) のインストール、IPアドレスの設定を事前に設定済みとする。ただし、実際には必須事項であるので、マニュアルに記載した上で、一通りの説明を行う。ミッション機器の設定では、Webカメラの取り付け、カメラの動作確認、基板のはんだ付け、マイコンボードへの基板の取り付けを行い、センサの制御プログラムの動作確認などを行う。構造系に関しては、空き缶の加工、パラシュートの製作を行う。最後に、全ての部品を組み合わせ、実験手順の確認を行う。また、実験後の缶サットの取り扱いや取得データの転送方法や解析について説明を行う。

講座では、高校生から大学生の年代の学生を対象としており、教育システムとして、特にプロジェクト型学習の1つのテーマとしての活用を目指している。今回開発した缶サットキットは、PBLのための教材として、利用可能と考えている。今回のように短期集中的に実践できる一方、週に一回の頻度で複数回実施することも可能である。

表2 缶サット製作講座の作業工程

1	マイコンボードの設定
2	ミッション機器の設定
3	減速装置 (パラシュート) と構造系の構築
4	各部品の組み立て
5	実験手順の確認

4. 高専スペースキャンプでの製作事例

4.1 高専スペースキャンプについて

高専スペースキャンプ in 四国2015は、2015年9月3日～6日に、愛媛県新居浜市で、宇宙に興味をもつ全国の高専生を対象に実施された。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、他7高専参画) の一環である。2機の超小型人工衛星の基礎開発を目的に、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の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、モデルロケットの製作講座と大会^[11]、缶サットの製作講座と大会^[10]、成果発表会が行われ、期間中に40名の学生が参加、缶サット講座には30名の学生が参加した。



図6 製作された缶サット

4.2 缶サット製作講座について

缶サットの製作は、本来、オリジナルなミッションを立案し、缶サット製作を通して、ミッションを達成することを目標としていた。そのため、汎用的な缶サットの製作講座はあまり実施されてこなかった。今回の共通の目標は、係留気球から投下中にデータ取得する缶サットを製作することとした。さらに、参加者独自のアイデアや工夫を入れることを要請し、得られたデータなどの考察をプレゼンする。製作講座の特徴の1つは、目標設定から説明、製作まで含めて、2時間程度という非常に短時間であった点である。実施場所は、高専の実験室を使用し、工具類や電源等を利用しやすい環境であった。参加者には、ノートPCを持参してもらい、事前に2つのフリーソフト（Tera Termなどのターミナルソフト、および、WinSCPなどのファイル転送ソフト）のインストール作業を課す。講座では、概要を説明した後、各グループのペースで作業を行ってもらい、3名程度の講座担当者の学生が適宜サポートする体制をとった。実際に、講座で製作された缶サットを図6に示す。教育的な面を考慮しつつ、予算との兼ね合いから、1機の缶サットを2人1組で製作することにした。結果的には、短時間の講座で全員が缶サットを完成させることができた。

4.3 缶サットキットによる取得データ

缶サットキットを用いて製作された缶サットによって得られたデータを示す（図7）。約50mの高度までゴンドラで上昇させてから、缶サットの投下を行った。気圧データは、4 Hzサンプリングで取得されており、地上では気圧が高く、上空では気圧が低いことが確認できる。気圧の時間変化から、上昇速度と降下速度が大きく異なることも分かる。温度データに関しては、プログラムを走らせた後、一律に温度上昇しているが、これは、センサがマイコンボードのCPU近くにあり熱が缶内にこもっていたためと考えられる。

成果発表会でのプレゼンを基に、学生のデータ考察の状況について述べる。学生の多くは、温度データの上昇に関して、CPUの温度上昇の可能性を指摘していた。また、気圧・気温データを用いると単純な仮定によって、高度計算などを行うことができる。この推定高度を計算していたグループが半数以上あった。このように、製作された缶サットによって、質の高いデータを容易に得られる。また、取得したデータから、実際の缶サットの様子などを考察することができ、学生にとっては、有意義な思考トレーニングとなる。

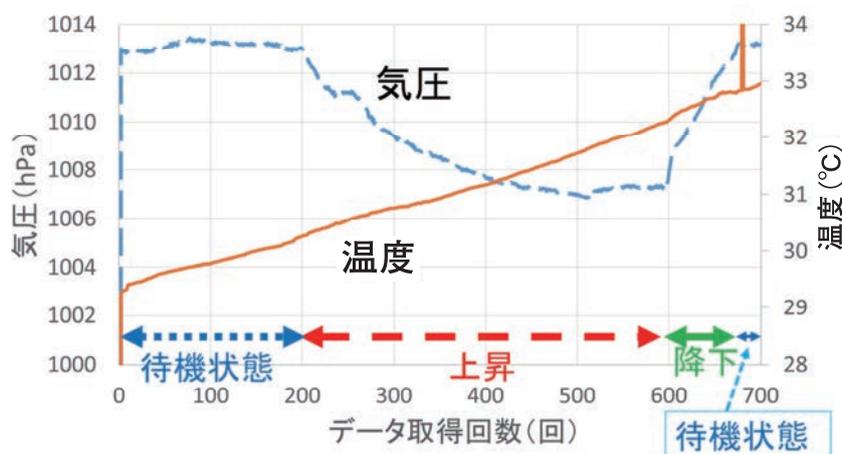


図7 缶サットの取得データの例：気圧、温度

4.4 缶サット講座の質問調査の結果

表3に、缶サット講座参加者に依頼した調査項目とその結果を示す。缶サットキットを用いた初めての講座であったが、学生にとっては、興味を惹くもので(1)、講座においても、適切な内容(5)、進行(6)、時間配分(7)であったと考えられる。今回、2人組で1機の製作を行ってもらったが、人数も適切と考える者が多かった(8)。ただし、背景知識や技術力の差があるため、2人組の選び方などで、今後、工夫が必要である。また、人工衛星開発のための人材教育的な観点から見ると、全ての学生が、缶サットを自分で製作できる人材となるまでには(2、3)、まだ課題があることが分かる。特に学生が興味を持ってくれたものとして(4)、マイコンボードが挙げられているが、比較的新しいRaspberry Piを使用したことが学生に興味深く感じられたようである。また、電気・電子系以外の学生にとっても、電子回路によるセンサ制御が比較的容易にできることに興味をもったとの感想がいくつかあった。

全体を通して、参加学生は興味をもって、製作や実験に取り組んでくれ、自身にとっても有意義な経験となったと考えられる。参加者の感想として、自分たちで製作したものが実際にデータなどを取得したことや、取得したデータを解析することで缶サットの投下時の様子が推測できることに、特に興味・関心をもった者が何人かいた。投下中のデータ取得という大きな目標があり、それを達成するために、様々な工夫が可能であること、また、取得したデータの読み取り方や表現の仕方に個人の技量

表3 調査項目と結果 (単位：名)

調査項目 (4段階)	4	3	2	1
(1)講座内容に興味をもったか (4:もった, 3:, 2:, 1:もてなかった)	16	11	2	0
(2)新たな缶サットを自分で製作できるか (4:できる, 3:, 2:, 1:できない)	10	13	4	2
(3)缶サットを使って缶サット大会に参加したいか (4:したい, 3:, 2:, 1:したくない)	10	13	6	0
(4)有意義だった項目はあるか (4:マイコン, 3:カメラ, 2:センサ設定, 1:パラシュート製作)	21	7	10	7
調査項目 (3段階)				
(5)講座内容はどうだったか (3:適切, 2:難しい, 1:簡単)		27	1	1
(6)講座進行はどうだったか (3:適切, 2:速い, 1:遅い)		26	2	1
(7)講座の時間(2時間程度)はどうだったか (3:適切, 2:長い, 1:短い)		22	2	4
(8)二人組での製作は良かったか (3:適切, 2:1人, 1:3人以上)		26	2	1

や経験が影響を及ぼせることなど、PBLとして、充分利用できると考えている。また、今回の缶サットキットは、比較的短時間で製作できるため、週に一度の頻度で行うようなPBLの場合には、製作の工夫や動作試験、データ解析などに十分な時間を配分することが可能である。

5. まとめ

人工衛星開発に携わる人材育成のために、特に未経験者向けとして、空き缶サイズの模擬人工衛星「缶サットキット」を開発した。高専スペースキャンプで、高専の学生30名を対象として缶サット製作講座を実施し、2人1組で缶サットキットを用いて、缶サットを製作してもらった。参加者は、熱心に取り組み、すべてのチームが缶サットを完成させ、翌日の投下実験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チームは半数以上あり、また、独自の工夫を缶サットに施すチームがあるなど、創意工夫した点が見られた。未経験者でも製作できる一方、経験者でも独自の工夫を入れ込むことができるキットであり、更にキットを発展させることもできると考えられる。少なくとも、開発した缶サットキットは、缶サット製作講座・投下実験を行うのに、十分なレベルであったと考えられる。

缶サット製作や投下実験では、電子回路や制御プログラムの技術や、落下と空気抵抗などに関する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った。また、システム全体を俯瞰することのできる数少ない実地の場ともなる。今回、缶サットキットを用いて、缶サットの製作、さらに、各グループ独自の工夫点を詰め込むことを要請したことで、アイデア出し（今回は、安定したパラシュート開傘や、着地時の衝撃対策、カメラの視野の調整などが見られた）、機器の動作確認や実験、得られたデータの解析や、考察などを体験してもらった。学生実験などの与えられた課題をこなすための実習に比べると、競争原理が働く中で、2人組による議論を行うことで、より深く考えを巡らせることができたのだと考えている。缶サットキットは、複合的な工学技術が含まれると共に、宇宙あるいは人工衛星という誰もが想像しやすい対象であり、PBLのための教材としても、適していると考えられる。技術者にとって、装置などのハードに対する知識や技術とともに、制御などのためのソフトウェアに対する知識や経験の双方が必要であるが、両者の重要性を理解できる機会は意外と少ない。缶サット製作においては、双方の知識や技術があることで、より良いアウトプットへ繋がるのが体験できる。今後、様々なオプションを加えて、より学生自身の学びになる教材となるように、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始めとする高専スペース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。缶サットキット開発には、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、ここに記して感謝いたします。

参考文献

- [1] 矢部志津、松尾尚子、込山立人、藤平耕一、古賀勝、八幡忠良、宮下直樹、有川善久、松浦直人、JAXAにおける最近の小型衛星関連の取組、写真測量とリモートセンシング、53(6)：262-268、2014
- [2] 大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC)、CanSat—超小型模擬人工衛星—、オーム社、東京、pp. 16-27、2014
- [3] 宮崎康行、人工衛星をつくる—設計から打ち上げまで—、オーム社、東京、pp.38-48、2011
- [4] 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工学教育センター年次報告書、106、2009
- [5] 米本浩一、宇宙工学PBLによる設計教育（キーンノートスピーチ）、精密工学会学術講演会講演論文集、D01、2012
- [6] GIJBELS, D., DOCHY, F., VAN DEN BOSSCHE, P. and SEGERS, M., Effects of Problem-based Learning: A Meta Analysis From the Angle of Assessment, Review of Educational Research, 75(1)：27-61D, 2005
- [7] 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、1：39-45、2012
- [8] 前田栄一、秋山美穂、小松聖矢、市川緑、國吉龍太郎、上田真也、高田拓、OS搭載型マイコンボードを用いた缶サットの開発：初期開発と実証試験、高知工業高等専門学校学術紀要、60：39-48、2015
- [9] 三木悠生、益岡葵、丁野哲、中越彬、上田真也、高田拓、Raspberry Pi2を用いたローバー型缶サットの開発：実証試験の初期結果、高知工業高等専門学校学術紀要、61：47-53、2016
- [10] 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)：9-13、2017
- [11] 梶村好宏、高田拓、篠原学、若林誠、中谷淳、今井一雅、宇宙人材教育のための連動型「モデルロケット講座・モデルロケット大会」の実施成果、工学教育、65(3)：26-30、2017

受理日：2017年8月4日