

超小型人工衛星を用いた教材開発に関する研究

Development of education tool by using pico-satellite

宮崎・山崎研究室

Miyazaki Yamazaki Laboratory

大野智也

Tomoya Ono

This paper focuses on developing new education tool by using pico-satellite education kit's HEPTA-Sat. HEPTA-Sat provides basic space engineering knowledge and experience of developing satellite systems for learner who are interested in developing pico-satellite. We have selected rover as a theme of the new education tool, in order to acquire and develop a new learner. In addition, it has addressed the algorithm learning, system component evaluation and verification. Introducing those factors into the education tool would make it possible to be more sophisticate and prevailing as an education kit. In this way, we hope to contribute to the aerospace industry in the future.

1. 緒言

1.1 背景・目的

2015年から、文科省の宇宙航空科学技術推進委託事業「持続可能な超小型衛星開発・利用を可能にする国際宇宙人材の体系的な育成」の一環として、NPO法人大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC) では超小型人工衛星教材「HEPTA-Sat」を用いて、学生から社会人に向けてワークショップを行っている。HEPTA-Satはハードウェアとテキストで構成されている。Fig.1にその外観を示す。



Fig. 1 Pico-Satellite HEPTA-Sat

Table.1 Specification of HEPTA-Sat

Specification	Value
Form factor	7×7×7cm ³
Mass	180g
Power generation	5.0V 0.8A, 3.3V 2.0A
Power consumption	1.2W(MAX)
Battery	3.7V, 1000mAh
Uplink/Downlink	2.4GHz
Communication Range	400m
Programming Interface	USB
Device Interface	SPI/I2C/UART/IO
Operating Frequency	100MHz
Data Storage	4GByte

HEPTA-Satは今まで日本大学で打ち上げた衛星「SEEDS-I」, 「SEEDS-II」, 「SPROUT」のノウハウを活かして、超小型人工衛星の開発プロセスを短期間で学べるように考えて開発された教材である。

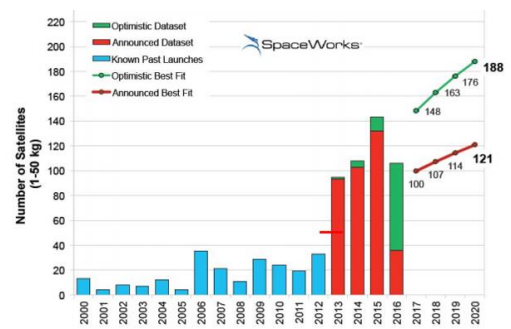


Fig.2 Future prediction of Pico-Satellite⁶⁾

Fig.2の実際の超小型人工衛星の過去の打ち上げ数と将来予測を見ていくと2013年から急激に超小型人工衛星の打ち上げ数が増え、将来的にも増加していく傾向にある。これらのニーズから宇宙開発を行えるような人材の育成が急務となってきている。近年では短期間でそのような人材を育成できるようにHEPTA-Satに限らず、衛星開発の教材キット(i-Cansat⁶⁾, CANduino⁷⁾等が開発されている。これらの教材は衛星教育の第一歩として位置付けられており、主にモノづくりの基本を教えているような、ハードウェア重視(i-Cansat⁶⁾, CANduino⁷⁾のものや、主にモノづくりよりもシステムインテグレーション教えているようなソフトウェア重視のものがある(HEPTA-Sat)。

これまで、国内外でワークショップを行ってきた結果、ワークショップを受講した学習者からは、衛星システムの理解だけでなく、アルゴリズムの組立、実装、全システム統合を通して、プログラミング言語・アルゴリズムの理解もできたという声もある一方で、事前学習、特に、プログラミング言語・アルゴリズムの事前学習の必要性が指摘されている。本研究では、HEPTA-Satをベースとしたローバー型のキットを開発し、プログラミング言語・アルゴリズム学習を、意識的に教材に盛り込み、コンポーネント、サブシステム、システムレベルでの検証を学習するための新たな教材を提案する。また、提案する教材では、学習内容を学習者に深く理解させるために、教材を用いて一連の学習を行った学習者、または、既に一定以上の能力を有する学習者に対して、ユーザーボードを用いた新規サブシステム、ミッションの開発課題を設ける。

プログラミング言語・アルゴリズム学習に関する課題については、アルゴリズム体験学習を実施し解決する。一般に、学習者がプログラムでつまづく主な理由として、プログラム上で何が起きているのかを理解できないことが挙げられる。これは学習者の扱う言語に対する基礎知識の不足の他に、プログラム上で記述されている制御アルゴリズムが理解できていないことが原因である。これらの理由から制御アルゴリズムを視覚的、感覚的に学習・体験できるような教材であれば学習者がより容易にプログラムを理解できるようになると考え、アルゴリズム体験学習をHEPTA-Satの教材に取り入れることにした。

ミッションの検証方法の学習については、今までの衛星教材ではミッション設定からの実証実験までの間にある、各コンポーネントの検証方法、統合システムの検証について触れているものが少なかった。それは衛星教材の特性上、ミッションによって検証項目が変わってしまうので教育するのが難しかったためである。本教材では一通り衛星のシステム開発を経験させることでこれらの検証方法を学ばせる。

2. 開発アプローチ

2.1 アルゴリズム体験学習

アルゴリズム体験学習を、新しい教材に取り入れる際に学習効果の向上と学習方法の2点を意識して教材開発に取り組んだ。

・学習方法

アルゴリズム体験学習の内容としては、まず、モーターを動かす等の簡単な制御アルゴリズムを学んでもらい、その後、段階を踏んでより高度な制御アルゴリズムを学んでもらう。最終的にはこちらで用意した、ミッションのアルゴリズムを学んでもらう。最終段階を完了した学習者には自身でミッションを考えてもらい、実装・検証してもらう。このように段階的・繰り返しアルゴリズム学習を行うことで、学習者に制御アルゴリズムの流れを体感させアルゴリズムの理解をめざす。

・学習効果の向上

初学者にとっては制御アルゴリズムは想像しづらいと考えた。そこで、宇宙開発に興味のある学習者が興味を持ちやすく、かつ、アルゴリズムの構築・実装結果が、物理的な運動として学習者に直接伝わる、惑星探査機(以下ローバー)を題材とした。

2.2 ミッションの検証方法の学習

ミッションの検証方法を学ぶ際に重要となってくるのは開発するシステムがミッションの要求に対して抜け、漏れがないことである。衛星開発の特徴として、打ち上げたらそのまま変更・修正が不可能であるという条件がある。そのために、打ち上げたら成功するようなシステム設計を行わなければならない。そこで本教材はミッションの設定後、ミッション要求の洗い出し→サブシステムの考案→システム要求の洗い出し→コンポーネントの選定→各コンポーネントの検証・実験→統合システムの検証・実験を一通り学習者に経験させることで、抜け、漏れのないシステムの設計方法を学ばせる。ワークショップ中には講義とハンズオントレーニングを行い、講義では主にミッション設定からコンポーネントの選定の段階までを行い、それ以降の各コンポーネントの検証・実験、統合システムの検証・実験の段階ではハンズオントレーニングを行う。本紙では紙面の

都合上、ハンズオントレーニングの部分について説明していく。

・各コンポーネントの検証・実験

コンポーネント選定までは事前に教材の方で行っておき、それ以降の段階に関してはハンズオントレーニングを通して学習者に学んでもらう。その際、各コンポーネントの検証・実験の段階では、各コンポーネント(GPSやモーター、9軸センサー等)の単体動作実験を行い、あらかじめ用意しておいたミッションを実現するのに妥当かどうかを学習者に確認させる。

・統合システムの検証・実験

システムの検証・実験の段階では簡単な統合アルゴリズムから最初に学習者に学んでもらい、段階を踏んでミッションアルゴリズムを学んでもらう。このように段階を踏むことで、システムの検証項目を整理・確認する。その後、実際に検証した項目が設定したミッションを実現するのに妥当だったかどうかを判断する。最後にミッション統合アルゴリズムの実証実験を行い実験結果の評価を行う。

2.3 ユーザーボードを用いて学習者の希望するミッションを実現し、学習効果を上げる

提案教材などを通して、一通りシステム開発の経験を積んだ学習者に関しては自分で能動的に活動できるように、ハードウェアは自由に開発できるよう設計し、学習効果を高める方法をとる。但し、学習者は、ハードウェア上の制約(信号線不足、電力不足など)の中で、制約を満たすシステム設計を行う。

2.4 本教材の概要

本研究で開発したHEPTA-Sat互換ローバーを「ANCHOR」と名付けた。以下にANCHORの外観(Fig.3)、サブシステム(Fig.4)、コンポーネント(Fig.5, Fig.6)を示す。



Fig.3 ANCHOR appearance

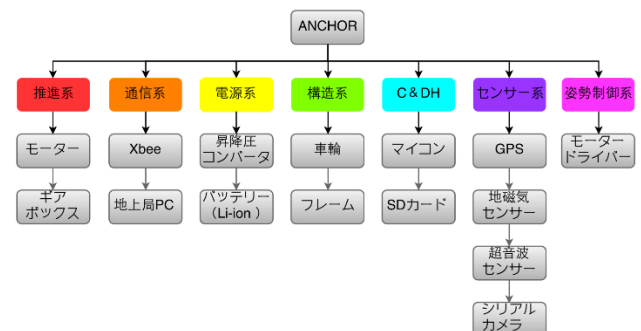


Fig.4 Subsystems

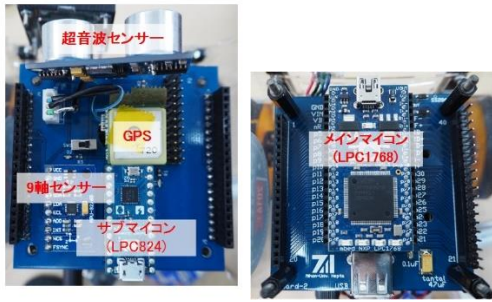


Fig.5 Sensor&CDH Board

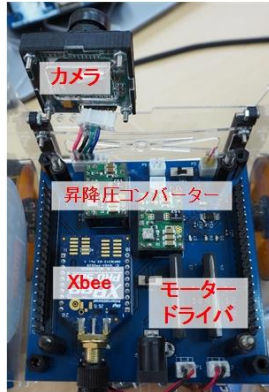


Fig.6 EPS Board

・**拡張性：バッテリー駆動時間の増量**

HEPTA-Satでは現行のバッテリー(3.7[V]1000[mAh])では駆動時間が1.5時間程度(消費電流:710[mA])となっており、長時間のミッションやモーターやサーボのようなアクチュエーターを使用するミッションは難しかった。提案する教材では、大容量のLi-ionバッテリー(3.7[V]/7000[mAh])を搭載することで駆動時間を5時間程度(消費電流:1400[mA])とした。

・**拡張性：信号線の追加**

Sensorボード(Fig.5)はユーザーボードとして使え、使用できる信号線を増やすためにメインマイコンの他に、サブのマイコンを用意した。サブのマイコンにはLPC824を使用し、mbedの開発環境をそのまま利用できるようにした。これにより、LPC1768(メインマイコン)と同じような感覚でプログラムの実装ができるので、新しく使い方を覚えるという学習者への負担を減らすことができる。また、マイコン間通信を本教材を用いて学べるようになるので、学習者は実際の衛星開発を行う際に伴ってくるシステムインテグレーションを疑似的に体験できる。これにより実際の衛星開発に近い内容を学べるようになる。これらの2つのボード(Fig.5左, Fig.6)の変更によってハードウェア上の制約を以前よりも減らすことができた。

・**互換性・その他の設計方針**

HEPTA-Satとの互換性はインターフェース形式の統一と一部使用コンポーネントの統一をすることで互換性を図った。HEPTA-Sat同様の3枚の基板構成(EPS&Communication Board,C&DH Board,Sensor Board)とし、そのうちC&DHボードはHEPTA-Satと同じものを使用した。通信規格としてはZigbee規格を用いることでセンサーネットワークを形成できるよう

にし、群ローバーのようなミッションにも対応できるように設計した。

2.5 これらの開発アプローチによって期待される効果

今回開発アプローチとしてアルゴリズム体験学習、学習者の希望するミッションの実現、ミッションの検証方法の学習の3つを取り上げた。これらの3つを学ぶことで得られる効果について考察する。

・**アルゴリズム体験学習**

アルゴリズム体験学習は学習者のプログラミング技術の獲得を目的として取り上げた。本紙ではアルゴリズムの定義を「ある特定の機能を実現するための手順、方法」とする。どんな開発言語であっても、ある特定の機能(ミッション要求)を実現するための手法・手順(制御アルゴリズム)というのは大きく変わらない。言い換えれば、言語によって使用する関数や文法が異なってもコンピュータが行う処理内容は同じなので、アルゴリズムを理解することができれば、学習者は開発言語によらずシステム開発ができるようになる。本教材ではアルゴリズム体験学習を取り上げることで、どんな開発言語であってもすぐに対応し、システム開発を行えるような人材を育成する。

・**ミッションの検証方法の学習**

本教材では特にコンポーネントとシステムの検証・実験を重点的に取り上げることにした。これは学習者が今後、抜け、漏れないようなシステム設計をできるようにするためである。各開発段階で実現したいミッションに対してその検証方法が妥当かどうかMECE(Mutually Exclusive, Collectively Exhaustive)の考え方をを用いて学べるので学習者は論理的思考能力を身に付けることができる。

・**ユーザーボードを用いて学習者の希望するミッションを実現し、学習効果を上げる**

今回はシステム開発の経験がない学習者とシステム開発の経験ある学習者の2つを考慮して教材開発を行った。これにより、衛星開発を全く行ったことない学習者の取り込みのほか、CanSatを開発したことのある学習者の取り込みも可能になった。また、ローバーを題材に扱ったことでローバー開発に興味のある学習者またはロボット開発に興味のある学習者の取り込みも期待される。さらにEPS&CommunicationボードとSensorボードを現行のHEPTA-SatのCDHボードと互換性を持たせたのでHEPTA-Satのシリーズ化という意味合いを強めることができた。これにより、HEPTA-Satワークショップ受講後の学習者の獲得も見込まれる。

新たな学習者層の開拓の他、教材としての学習効果向上も見込まれる。

3. 実証実験・結果

学習者は初めにTable.2に示したミッションとミッション要求を学ぶ。ミッション要求確認後、学習者はFig.4のようなサブシステム→システム要求の洗い出し→コンポーネントの選定を講義で学ぶことができる。ここでは紙面の都合上、本論にて記載することにした。

Table.2 Rover's mission

ミッション	任意の目的地まで半径3.0mの精度範囲で自立走行してたどり着く
ミッション要求	<ul style="list-style-type: none"> ・ 推進することができる ・ 地上局と通信ができる ・ 電力を供給できる ・ 自重を支えられる ・ 各サブシステムへ指令を伝達できる. ・ 目的地を判別できる ・ 方角を判別できる. ・ 方向転換できる

次の段階の各コンポーネントの検証・実験で、ハンズオントレーニングに移る。具体例としてGPSを取り上げる。

Table.3 Verification list for GPS

GPSの検証項目	<ul style="list-style-type: none"> ・ データ取得できるか ・ 3.3V電圧で駆動するか ・ 計測誤差が半径3.0m以内か
----------	---

学習者はTAまたはチームメイトと共にTable.3のような検証項目を全てのコンポーネントで確認する。その後、統合システムの検証・実験では単純な統合アルゴリズムから複雑な統合アルゴリズムまでをTable.4のような段階を踏んで学ぶ。

Table.4 Combination Algorithm

1	Li-ion Battery+DC-DC Converter + mbed LPC1768+ Xbee-PRO
2	Li-ion Battery+DC-DC Converter + mbed LPC1768+ Xbee-PRO + DC Motor + Motor Driver
3	Li-ion Battery+DC-DC Converter + mbed LPC1768+ Xbee-PRO + DC Motor + Motor Driver +9axis-Sensor
4	Li-ion Battery+DC-DC Converter + mbed LPC1768+ Xbee-PRO + DC Motor + Motor Driver +9axis-Sensor + GPS

Table.4の1~4の流れで学習者は統合アルゴリズムを学ぶことができる。また、コンポーネントの組み合わせ次第でTable.4以外のアルゴリズムも学ぶことができる。

ミッション実証・実験の際に、本当にローバーが開始地点によらず目標地点にたどり着けるのかどうかを確認する必要がある。開始地点はランダムな3地点、各2回ずつ走行試験を行う。またミッション後もどのような条件で走行試験を行い、どの程度の精度で目的地にたどりついたのかを記録しておき、後の考察に役立てる。このようにすることで、論理的な物事の考え方を学ぶ。

Table.5に実際の走行試験の結果を示した。Table.5の開始地点1~3からローバーがスタートし、停止地点と目標地点までの距離が半径3.0m以内に収まれば目標地点に到達したといえる。(試験場：日本大学理工学部・船橋校舎・滑走路)

Table.5 Mission result

回数・地点	距離[cm]
1回目・地点1	82
2回目・地点1	77
3回目・地点2	279
4回目・地点2	157
5回目・地点3	114
6回目・地点3	187

これらの検証プロセスを通してシステム開発を行えばミッションは達成されることが分かった。

拡張性を確認するために、元々搭載していたコンポーネントとは別に環境センサー(BME280)を追加し、ユーザーボードを用いて駆動させた。その結果、ユーザーボードを用いての開発が可能であるということが確認できた。

4. 考察

4.1 システムの評価

今回走行試験を通してANCHORのシステムの評価を行った。ローバーのミッションの一例として、今回は「目的地にたどり着く」を取り上げた。このようなミッション以外にも障害物を回避しての目的地到達や、目標地点での写真撮影など、他のミッションをこなせるようにシステム設計を行った。今後はANCHOR用いて「目的地にたどり着く」というミッション以外のミッションを考え教材として何が教えられ、その結果学習者がどのような能力を身に付けることができるのかという部分を検証していく。

4.2 教材としての評価

実際の衛星開発の手順に従いANCHORの開発を行った。その中でもアルゴリズムの学習、検証方法の学習について重点的に取り上げ、学習できるように教材の開発を行った。今後のANCHORの展望としては実際にHEPTA-Sat同様、衛星開発に興味のある、あるいはロボット開発を行ってみたい学習者に向けてワークショップを実施し、教材としての有効性を確認する必要がある。

5. 結言

本研究で開発した教材を通してアルゴリズム体験学習、ユーザーボードを用いての学習者の希望するミッションの実現、ミッションの検証方法の学習の3点について教えることが可能であることを確認できた。

参考文献

- [1] PBL教材洗練WG: PBL型授業実施におけるノウハウ集. 先導的ITスペシャリスト育成推進プログラム. 2011
- [2] 宮崎康行: 人工衛星をつくる. オーム社. 2011
- [3] 久門玲子: 超小型衛星教材を用いた技術継承法の検討. 日本大学理工学部卒業論文. 2016
- [4] 宮崎康行ほか: 入門用CanSatを用いた出前授業の紹介.
- [5] Space works. At <http://www.spaceworksforecast.com/>
- [6] UNISEC: i-CanSat. At <http://unisec.jp/service/icansat.html>
- [7] CANduino. At http://canduiduo.eu/?page_id=8