

超小型衛星開発の技術継承における新入生教育の試み

井上 祥子^{1,*†}, 藤井 大輔¹, 亀村 裕之¹,
相浦 啓司¹, 屋宮 拓海¹, 斉藤 美幸¹, 間戸場 包弥¹

¹ 日本大学大学院理工学研究科航空宇宙工学専攻,
〒270-8501 千葉県 船橋市 習志野台 7-24-1

An Investigation into the Training of Freshmen for the Transfer of Technology in the Development of Nano-satellite

Shoko INOUE^{1,*†}, Daisuke FUJII¹, Hiroyuki KAMEMURA¹,
Keiji AINOURA¹, Takumi OKUMIYA¹, Miyuki SAITO¹, Katsuya MATOBA¹

¹ Department of Aerospace Engineering, Graduate School of Science and Technology, Nihon University,
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501, Japan

SUMMARY

Many educational and research groups such as university laboratories have some difficulties for transfer of technology in projects concerning satellite development. This is because the turn-over rate for students is very fast while the amount and level of technology increases year by year. In this paper, a freshmen training program will be proposed as an attempt to solve this problem. The scope of our program will encompass methods which will allow freshmen to efficiently acquire basic skills in the development of nano-satellite within a short term. As a result, it will enable us to train freshmen to become leaders for new projects with a minimal work load for graduate students. Additionally it will raise their awareness of the importance of project management and mission design.

KEY WORDS: Nano-Satellite; training program; freshmen training;

* Corresponding author. Student, Member UNISEC.

† E-mail: inoue@forth.aero.cst.nihon-u.ac.jp.

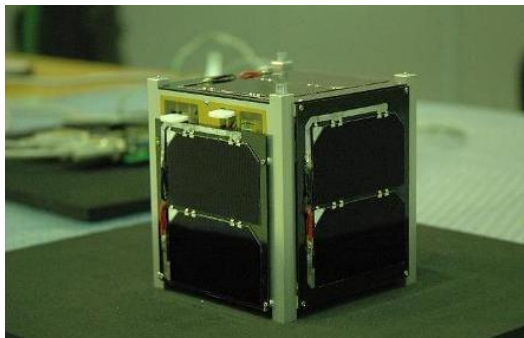
Received and presented December 10th, 2011 in 1st UNISEC Space Takumi Conference, Kitakyushu, Japan.

Revised March 27th, 2012. Accepted November 8nd, 2012.

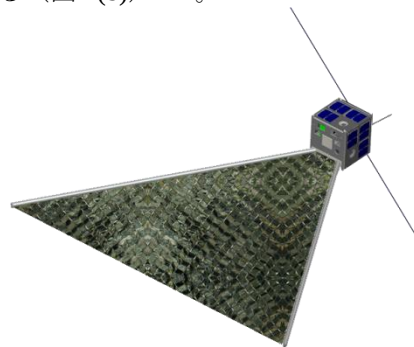
Copyright © 2012 UNISEC

1. はじめに

著者ら研究室では学生を主体とする超小型人工衛星開発プロジェクトを行っており、2008 年 4 月には SEEDS-II が Satish Dhawan Space Centre (インド) から打ち上げられた。SEEDS-II (図 1(a)) は、衛星のバスシステムの実証を目的に 2001 年から開発されてきたものである。各種 HK データ・デジトーカー・SSTV 等の運用をはじめとして、SEEDS-II は打上げから 3 年近くが経つ現在も定常運用を続けている。また、現在はインフレータブル機構を利用した複合膜面構造物の展開実証実験や軌道降下実験、画像配信やデジピータ等のアマチュア無線家を対象としたサービスを目的とした SPROUT (SPace Research On Unique Technology) の開発を行っている (図 1(b))^{[1][2]}。



(a) SEEDS-II



(b) SPROUT

図 1 日本大学の CubeSat

しかし、これら衛星開発プロジェクトを一研究室単位で行うことの問題点として、毎年大きく変わるプロジェクトメンバー、並びに技術継承の不十分さが挙げられる。2008 年度より「特色ある大学教育支援プログラム」(特色 GP) に衛星開発を含む日本大学理工学部への取り組み「未来博士工房による自律性と創造力の覚醒」が採択されたことをきっかけに、我々は衛星開発の関口を「衛星工房」と称し新入生にまで広げた。本論文では、過去の新入生教育の問題を分析し、そこから立案した本研究室独自の教育プログラムの構成と期待する効果を述べ、そして本プログラムの実施結果と受講した 2010 年度新入生の自己評価からプログラムの評価を行い、そこから挙げられる課題点を整理する。更に、教育プログラムと実際の人工衛星開発との関連性、および超小型衛星開発における新人教育のあり方について考察する。

2. 衛星工房での取り組み

本研究室(衛星工房)では、CubeSat の開発を主たるプロジェクトとして複数のプロジェクトを設置し、新入生・研究生らは自らが興味のあるプロジェクトに参加・企画化する環境を用意している。ここで、我々が重きを置いている点は、「与えられたプロジェクトに参加して成果を残すこと」ではなく、「有意義なプロジェクトそれ自体を発起・企画・マネジメントすること」であり、それは衛星の概念設計段階でのミッションの決定、マネジメント・企画・運営を行う上で重要な要素と成り得ると考えるからである。

以下(a)~(c) に衛星工房で取り扱うプロジェクト一覧と概要を示す。

a) 超小型人工衛星開発プロジェクト

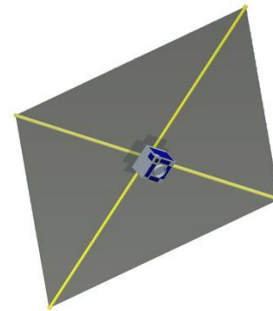
CubeSat に代表される相乗り衛星開発プロジェクトである。2001 年から開発が始められた SEEDS プロジェクトにおいて、2008 年に SEEDS-II が打上げられミッションを成功させている。2011 年現在、現在は SEEDS-II の定常運用を行うと共に、次期超小型人工衛星 SPROUT の開発を行っている。

b) 衛星設計コンテストプロジェクト

日本宇宙フォーラムが企画する、小型衛星をはじめとした様々な宇宙ミッションを創出し、その設計を着想点、創意工夫、基礎的な技術知識や将来性等から総合的に評価するコンテストである。現在開発を行っている SPROUT も、2006 年に本大学が提出した「PRIMROSE」(図 2) が基になっていると言っても過言ではない。PRIMROSE はインフレーターブルチューブをマストとして膜面を展開し、展開した膜面で空気抵抗を受けて徐々に軌道降下技術を実証する衛星であった。尚、第 14 回衛星設計コンテストに置いて PRIMROSE は設計大賞を受賞している^[3]。



(a) PRIMROSE の発表



(b) PRIMROSE 概観

図 2 衛星設計コンテスト

c) Cansat プロジェクト

Cansat と呼ばれる模擬小型人工衛星を企画・開発し、毎年夏にアメリカの Black Rock 砂漠で行われるアマチュアロケットの打上げ実験 ARLISS(A Rocket Launch for International Student Satellites)において、打上げ・帰還を競うコンペティションに参加する。Cansat プロジェクトでは、衛星開発の基礎技術やプロジェクトの運営能力を養い、超小型人工衛星の企画・開発・運用への足がかりとすることができる。そのため我々は Cansat プロジェクトを行うことが衛星開発の近道であると考え、新入生・研究生らへ参加を促している。本研究室では 2000 年から 2009 年まで計 10 回参加しており、SEEDS-II の BBM 機もこの ARLISS で検証実験が行われた。図 3 に日本大学が開発した Cansat と打上げの様子を示す。



(a) 日本大学の Cansat の例



(b) 打ち上げの様子

図 3 ARLISS での Cansat の打ち上げ

3. 新入生教育導入の動機と課題

SEEDS-II 打上げと同時期より、本研究室では衛星開発の間口を新入生に広げることを試みた。それ以前より、本研究室の取り組みに興味を持った学生は学年問わず参加を受け入れてきたが、当年度より学期の初めに衛星工房の取り組みの紹介・ガイダンス等を実施し、学生が学生を教育するピアサポート体制を整えた。これは「衛星開発」という半ば、敷居の高いイメージのあるプロジェクトをより具体的な作業のイメージに変えると同時に、学生の早期育成を図ることを狙ったものである。

基礎技術の習得、技術継承等により自身がパイオニアとなり主力開発メンバーとなるまでにはある程度の時間を要することを考えると、衛星開発という長期にわたるプロジェクトを進める上で研究室での1年ないしは3年という期間は非常に短い。そこで、早期より開発に必要な要素技術・知識・考え方を習得しておくことが各種プロジェクトの、さらには次期衛星開発の主体メンバーとなる近道であると同時に、先代の知識・技術を習得する上でも有意義であると考えたことが、新入生教育導入のきっかけである。間口を広げて受け入れた多数の希望者を目標とする人材にすべく指導することは、指導する側に大きな負担がかかり得るという懸念があるが、後述する前年度までのような、一対一で手間をかけて指導した人の殆どが辞めていくという状況よりも、現実の困難に出会った時にそれを乗り越えられる力を備えた人材をある程度システマチックに残し、そうした人により多くの指導の時間をかけられるようにする効率化が本プログラムの狙いであり、全く手間暇をかけないことが目標ではない。従って指導側のワークバランスを考えた上でプログラムの指導内容を決めることが重要であると考えた。また、衛星開発に特化したプログラム構成により新入生の視野を狭め得るという懸念があるが、これに対しては一般的な数学や力学・工作が実際の開発になぜ必要になるのかという繋がりを考える意識を高める指導を行うことによって対応できると考える。例えば、背景調査や社会的意義など、衛星開発の概念設計におけるミッション創出の考え方をきちんと伝えるような指導を盛り込む事が重要であると考えた。更に、一般的な技能をより多く身につけている事が、概念設計の段階で定めるミッションの幅を広げ、フィージビリティスタディにおける大きな助力となるということを、実学を通して学びとってもらおう場という考え方で臨んでいる。

2008年度は13名の工房参加希望者があったが、間口を広げた初年度には体系だった研修プログラムは存在せず、参加希望を届け出た者は各人のペースで先輩の作業に付き添い技術を習得するという、参加希望者の主体性にかなり依存するものであったため、個人により参加スタイルや習得技術に大きくばらつきが生じた。また、結果として新入生内でCansatプロジェクトと衛星設計コンテストプロジェクトの2つが発足し、先輩後輩間での技術・知識の継承という項目を埋めることは困難であった。

2009年度は16名の参加希望があった。当年度は、SEEDS-IIの後継機でもあるSPROUTのBBM開発と時期が重なっていることもあり、参加者の約半数がCubesatプロジェクトへの参加を希望した。個人のスタンスやモチベーションの違いによる技術力の個人差が浮き彫りになった前年度の反省を生かして、当年度より各人に「PICKit」と称して、SEEDS-IIやSPROUTで実際に使われているマイコン、周辺機器の一部を、こちら側が設定した期限内に課題を完成させてくれることを条件に支給し、基礎的回路技術の習得、学内のソフトウェア、加工機、実験機器の使用法の習得を試みた。しかし、衛星開発という一見して華やかなイメージが先行し、実際に活動を始めるとマイコン、半導体デバイスやプログラミング、幾多の実験データの取得という現実ギャップを感じたためか、あるいは締め切りというものに対する危機感の希薄さからか、課題に対して奮起した学生はあまり多くなく、放棄・やりかけの状態で放置され、結果としてCubesatプロジェクトを希望した学生の約半数が工房参加を辞退する結果となった。

Cubesatプロジェクトへの参加を希望していない学生はCansatプロジェクトをひとつ立ち上げ、2年後のARLISS出場に標準を合わせてプロジェクトを進行させようとしたが、概念設計・ミッション創設の段階で自分たちがやりたい事と自分たちの技術レベルとスケジュールのバランスのとれた論理立った概念設計をまとめることができず、スケジュールの見通しが立てられずにプロジェクト自体が破綻するという結末を迎えた。

これら2年間に明確となった問題点を考慮すると、研修プログラムとして必要と考える項目は以下のようになる。

- ・要素技術の短期習得
- ・先輩・後輩間でのコミュニケーション
- ・プロジェクトマネジメント能力
- ・同世代間での問題解決能力
- ・スケジュール管理能力
- ・要素技術習得期間中のモチベーション維持
- ・困難にぶつかった時、放棄せず成功させるべく取り組む責任能力
- ・実践的な研修プログラムの実施
- ・研修プログラムの体系化

4. 提案する新入生教育の目的、重点

2009 年度までの反省を生かして、2010 年度より新入生教育プログラムを、院生を中心として本格的に行うこととした。研修プログラムにおける目標・包含すべき事項を具体化すると以下の表 1 に示す通りとなる。

表 1 2010 年度新入生教育プログラム包含項目

No. 1	短期間で本大学の衛星開発に必要な基本的な要素技術の習得を可能とすること	No. 6	一定の要素技術・基礎技術、プロジェクトマネジメント・衛星開発のフロー等の知識が身に付いた段階で短期のプロジェクトを企画・運営してもらうことでより実践的な経験を積ませること
No. 2	要素技術のみならず、衛星開発に必要な知識・近年の小型衛星事情等、ミッション定義やプロジェクトマネジメントに対するヒントも提供すること	No. 7	スケジュール管理の大切さを強調し、残作業・定期的な報告会を設け、マネジメント能力の向上を図ること
No. 3	現在の要素技術の習得が実際の衛星開発においてどのように関係しているのかを示唆し、モチベーションの向上に努めること	No. 8	結果を大切にすること、努力すること自体を評価するのではなく、とにかく動くものを、成功させることが大切であるという潜在的意識を植え付けること
No. 4	個人課題は必要最低限にとどめ、極力複数人・班単位での作業内容を提供すること	No. 9	一連の教育プログラムを体系化し、来年度以降の院生並びに新入生に同様の教育プログラムの実現を可能にすること、また教育プログラム提供者側の負担を軽減すること
No. 5	班単位での課題を課すことによって、仲間同士での問題解決能力、コミュニケーション能力、スケジュールリング能力の向上を促すこと	No. 10	世代間のコミュニケーションを重要視し、院生と下級生が密に接する機会を提供すること

5. 教育体制

大学の研究室の一般的な人数を考慮し、本教育プログラムは数名～10 名未満の研究室メンバーで 20 名程度の新入生の教育が可能となることを念頭に考えた。ただし、教育する側も学生であり、授業等による活動の制約があること、および、縦のつながりをより強化することを考え、2、3 年生も支援メンバーとして参加することとした。2010 年度は衛星工房参加者の新入生（20 名）に対して、大学院生（7 名）が教育プログラムを運営し、その他研究生・2、3 年生（約 20 名）がプログラムを支援するという形で計画を進めた。

6. 教育プログラムの内容

前項の内容を踏まえて著者らは表 2 に示す年間スケジュールに沿って新入生教育プログラムを行うことに決定した。本プログラムは大きく分けて 3 つのステージで構成されている。「講習会」「PICKit（個人課題及び班別課題）」「プロジェクトコンペティション」の 3 ステップである。各ステージには達成ノルマと期限が設けられており、これを達成できなかった者は次のステージに進むかどうかを院

生と面談して決めるシステムを定めた。本プログラムスケジュールは現在の院生を中心に構成したプログラムであり、これは主に“もし我々が新入生だったら”と、衛星開発に現在携わる者として、そして当時我々の段階では研修プログラムという教育制度が存在しなかったことを踏まえて、どのようにすれば衛星開発に必要な要素技術・知識・マネジメント能力等を身につけることが“短期間で効率的に”出来るのかを親身になって考えた末の結論である。

表2 2010年度教育プログラム年間スケジュール表

月	区分	内容	対応項目
4月		衛星工房ガイダンス	
5月	講習会	回路作成ソフト・データシートの読み方講習会	1, 3
		基板加工機講習会	1, 3
		半田・工具講習会	1, 3
		定電圧装置・テスターによる動作確認講習会	
		プログラミング講習会	1, 3
6月		衛星設計講習会	2
		確認テスト	1, 2
7月	個人課題	マイコン・LED基板回路個人課題	1, 3, 4
		前期試験期間	
8月	班別課題	マイコン・セグメントLEDダイナミック点灯制御 ADコンバータ・ROM基板回路班別課題	1, 3, 5
9月	プロジェクト	350ml 級 Cansatプロジェクト始動	6, 7, 8
10月		MDR/SDR	
11月		PDR	
12月		CDR	
		1年生Cansat 大会実施	
		結果報告会	
		自己評価シート・報告書作成	
		後期試験期間	
2月・3月		次年度以降の方針決定(個人主体)	

※対応項目とは前項の表1のNo.に対応している

この表に示すように、2010年度の研修プログラムの最終的な目標は新入生同士でCansatプロジェクトを企画・運営し、結果報告会、報告書作成を経て年度を締め括ることにある。ここでのCansatプロジェクトとは2節で示したARLISSとは異なり、高度100m付近まで気球を上げ、350ml缶サイズの構体に納まるような実験機を製作し、上空から地上にパラシュート降下する間に参加者が提案したミッションを遂行というものである(図4)。これは、年間予定にARLISS出場を組み込むことが開発期間・費用的に継続困難であると判断したため、このような疑似的な大会形態を設けた。尚、大会の運営も2年生以上の下級生が行うという形式をとっている。

2009年度は基礎技術・要素技術の習得という要素が大きかった研修プログラムも、2010年度は350ml級Cansatの開発を取り入れることで実学の概念設計、各種レビュー、目的と目標の設定、プロジェクトのありかた、スケジュール管理の大切さと難しさ、報告会・報告書の作成など、身をもって経験してもらおうことができると考える。

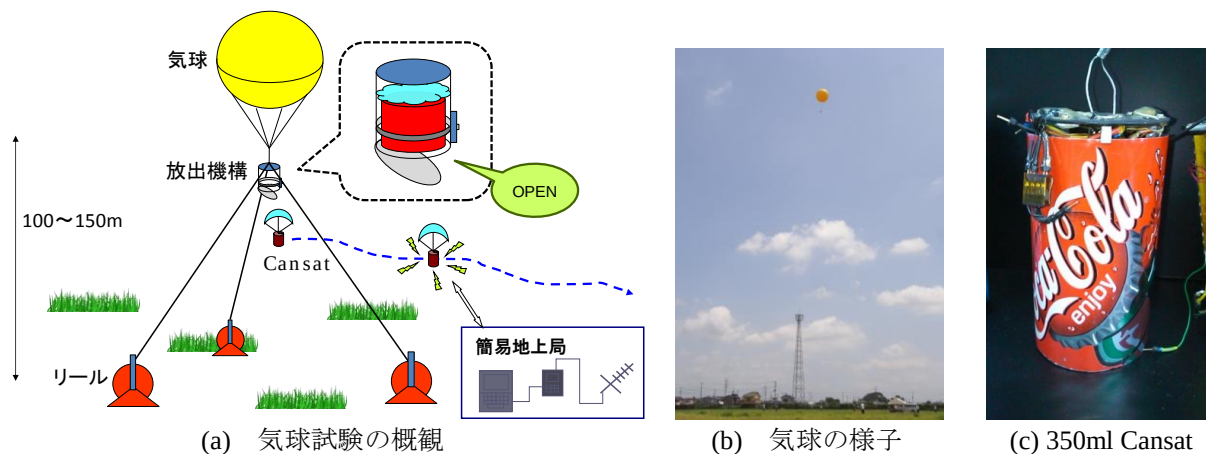


図4 気球を用いた Cansat 投下実験

以下に、プログラムの各ステージ内容を、順を追って説明する。

6.1. 講習会

2カ月の間に、以下の6つの講習全てを参加者に受講してもらった。

- 回路作成ソフト・データシートの読み方講習
- 基板加工機講習
- 半田・工具講習
- 定電圧装置・テスターによる動作確認講習
- プログラミング講習
- 衛星設計講習

衛星設計講習を除く5つの講習は全て工作技能の基礎知識となるものであり、安全や機器を壊さないための注意事項と基本操作を講義した。事前のPCの購入を義務付けており、講習では必要なソフトウェアのインストールを行うと共に、練習基板の削り出し、半田づけ、動作確認を行って体得してもらった。衛星設計講習では人工衛星の歴史や種類に始まり、衛星設計における基本的な設計思想やパスの設計手法の概要を紹介した。参加者は決められた期間中に講習会を全て受講し、全講習会終了後に確認テストを受ける。確認テストは1度きりのテストで採点を下すものではなく、一週間という試験期間を設け、その間に合格点に満たなければ次段階へ進むことを禁ずる仕組みを採用した。これによって参加者は全ての講習内容を何度も復習することが必至となる。また、自分のスケジュールに合わせて受験することができる仕組みになっている為、スケジュール管理能力や合格して先に進む気があるのかどうかという真剣さを見るものでもある。但し、あくまでもこのテストは個別課題支給時における意識合わせという面が大きいので、出題者側は各講習内容からまんべんなく要点を押さえた問題を提示することに注意しなければならない。以下の図5、図6に講習会及び確認テストの様子を示す。



図5 講習会



図 6 確認テスト

6.2. PICKit

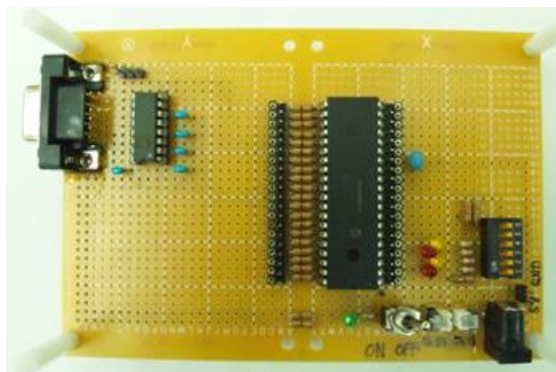
PICKit とは、PIC マイコンを使って電子工作をさせるためのパーツを詰め合わせ、指南書を添付したもので、筆者らの研究室が独自に作成したキットである（図 7）。350ml 級 Cansat のミッション創出時において重要な要素のひとつに、現段階での自分たちの技術レベルが上げられる。よって今回は入学して半年間は徹底して要素技術の向上に努めてもらうよう、「PICKit」を工房参加者全員に支給した。但し、機材支給にあたっては「全講習会への参加」「確認テストでの合格」の 2 つを条件とした。これは前年度に支給した同様の資材が意識の低い学生によって放棄・やりかけの状態で放置されたことへの反省であり、支給の段階では一度意識共有を行うということが必要であるという結論に至ったからである。尚、今回支給したマイコンは SEEDS-II にも SPROUT にも搭載されているものと同様のものであり、同マイコンの操作方法を一通り把握することによって過去の報告資料をはじめとする衛星資料の理解の手助けになるというのが狙いである。

PICKit は「個人課題」と「班別課題」の 2 つのステップに分かれている。各ステップについて、回路図作成後、半田づけ終了後、動作確認終了後それぞれで指導にあたる大学院生がチェックを行う。指示した期日までに最終チェックの合格を受けることを、次のステージに進む条件とした。

個人課題では PIC、6 極スイッチ、PC を使って LED を自在に光らせられるようにする内容で、約 3 週間で完成させてもらう。班別課題は 7 セグメント LED、EEPROM、AD コンバータを PIC で操作させる回路およびプログラムを製作するものであり、個人課題を終えた 2~3 名で班を組んでもらい、この 3 つのコンポーネントを一班に 1 セット支給した。ここで初めて他の新入生とチームを組むこととなり、作業分担をすることになる。作業分担や他のメンバーとの連絡をしながらいかにして一つのものを作るのかを、ここで経験してもらい、担当を受け持つ責任の重さや、統合の楽しさを知ってもらうことを目的としている。班別課題は約 3 週間で完成させてもらう。また、いずれの課題も、コンポーネントは 1 セット分しか支給せず、故障させた場合には自分で新しいものを用意してもらうことにした。これは教育プログラム予算管理の目的の他に、機器の管理の意識を高め、その価値や大切さを知ってもらう狙いがある。



(a) PICKit 個人課題のコンポーネント



(b) PICKit 個人課題の外観

図 7 PICKit

6.3. プロジェクトコンペティション

このステージでは新入生 6 名前後でチームを組み、それぞれのチームでレギュレーションに従った 1 機の 350ml Cansat を設計・製作してもらおう。完成した Cansat は上述のとおり気球による投下試験にてミッションを行い、その結果でプロジェクトの評価を行ってもらおう。最終報告会終了後に以下の表 3 に示す項目について自己評価を行ってもらい、その内容と大学院生の講評を伝え合うミーティングを行って、どのチームがプロジェクトとして優れたものであったかを決定する。この評価はミッションの成果と、チームの開発体制や実際の日々の開発の様子などといったプロジェクトマネジメントに対するものの 2 つの項目について行い、ミッション成果が最も優れていたチームを「優勝」、プロジェクトマネジメントが最も優れていたチームを「敢闘賞」として表彰する。プロジェクトをコンペティション形式で競わせた目的は、競争意識を高めることで自発的な創造力を喚起し、その結果として技術力向上を狙うことと、目標を明確にすることでチームでありながらも当事者意識を高めることである。

表 3 プロジェクトの評価項目

マネジメント	スケジュール管理(スケジュールに沿って進められたか)
	レビュー・報告会での説明の分かりやすさ
	ドキュメント管理・ログ管理
概念設計	そのミッションを行う事に決めた自分たちなりの理由づけがされているか
機体の完成度	見た目の美しさ(公差や指紋, 機体を大事に扱ったか)
	使いやすさ(起動のしやすさ, アクセスポートなど)
	再現性, 信頼性
	気球試験では想定通りに動いたか
	サクセスクライテリア達成度の評価
その他自己評価	

このステージで新入生に学んでももらいたいことは、目的や結果やプロセスやそれらの価値を主観的ではなく客観的に考え、自己正当化や自己満足でプロジェクトを左右させず、常に成功させるためのプロセスを考える思考能力を養うこと、そのプロセスを実行するプロジェクトマネジメント能力を養うこと、ミッション創出における背景調査や社会的意義を考えられる概念設計能力を養うことの 3 つである。

新入生には講習会と PICKit で積み上げた基礎技能を駆使して概念設計、各種レビュー、部品選定と購入、設計・製作、試験計画及び試験、毎週の進捗報告会、報告書の作成までを全て自分たちで行ってもらおう。本物の衛星を想定し、フライトは 1 回しか行わない想定で設計・評価をする。大学院生は報告・レビューの審査や気球試験会場のセッティングを主な役割として行い、技術指導については欠けている考え方の指摘・プロジェクトの消滅や気球試験遂行不可能という事態に陥らないよう持っていくことを目的としてアドバイスを行う程度である。

2010 年度は 2 チームに分かれて開発してもらった。レギュレーションは表 4 に示す通りである。

表 4 2010 年度の Cansat レギュレーション

M/SDRを9/13に行う
PDRを10/10に行う
CDRを11/6に行う
気球試験の本番は11/12,13に行う
気球試験の3日後に試験終了報告会を行う
気球試験から2週間以内に自己評価を提出する
開発は概念設計からFM機完成まで10万円以内で行う
機体は350ml缶に収まるサイズ(φ 58mm, 高さ240mm/パラ込)
機体重量上限350g(パラ込)
パラシュート飛行を行う

概念設計とミッション・システム定義審査 (M/SDR) ではミッション定義の理由について、「なんとなく面白そうだから」などの主観的な理由だけでなく、その成果が何の役に立つのか、既に同じミッションが行われた実績は無いのか、自分たちの技術力とレギュレーション内で本当にできるのか、といったことを中心に質問やアドバイスをを行った。但し大学院生の意見が入り過ぎないよう各院生が意識して話すことが重要であり、本人たちがやりたいと思ったミッションを極力潰さずに妥当な理由づけをしていく方向性でアドバイスする様院生内でも意識統一を行った。PDR では FM 機が完成すると言えるだけのフィージビリティの提示を求め、CDR は試験前の最終確認をする目的で行った。結果、各チームは以下に示す通り、ミッションを定め、設計・製作を行って機体を完成させ、気球試験を行った。図 8 にそれぞれのチームの Cansat の外観を示す。

【チーム A】

- 機体名：Head Shot
- ミッション：パラシュートによる降下中に親機が子機を切り離し、同期を取って子機がセンシングを行う分離ミッション
- 気球試験の結果：センサデータの取得が行えず、失敗。フライトは本物の人工衛星に倣い 1 回のみとする想定であったが、本人たちの原因特定とその実証を行いたいという強い希望があり、結局 3 度目のフライトで成功。
- コンペティションとしての評価：敢闘賞

【チーム B】

- 機体名：Smoother
- ミッション：着陸直前にパラシュートのラインを機体に巻きとり、機体の対地落下速度を小さくすることで着陸の衝撃緩和を図るミッション
- 気球試験の結果：フルサクセスまで成功。
- コンペティションとしての評価：優勝



(a) Cansat “Head Shot”



(b) Cansat “Smoother”

図 8 新入生が製作した Cansat

7. 2010 年度教育プログラムの評価

2010 年度初めの衛星工房参加希望者は 20 人であった。各種講習会、確認テストを終えた段階で 2 人、PICkit を終えた段階でさらに 5 人の工房辞退者が現れたが、13 人の新入生が教育プログラムを修了し、9 人が現在も衛星工房に所属して活動を行っている。

教育プログラムの評価は 3 章にて述べている通り、各種プロジェクトの、さらには次期衛星開発の主体メンバーとなることが確認できて始めて行えるものである。従って、2010 年度の教育プログラムが終了して 1 年も経っていない現段階では完全な評価を行うことは困難であるが、ここでは現段階までの評価として、意図したとおり新入生がスキルを獲得したか、教育プログラムを終えて次に繋がっていったかどうかについて評価を行うこととし、その結果を省みて本プログラムの有効性について考察することとした。

そこで以下では、本プログラム修了者に対してアンケートを実施し、その結果とプログラム運営側

の意図とを比較することで考察する。アンケートは修了者 13 名中 11 名が回答した。プログラム運営側の意図とアンケートの集計結果及び考察を、参加までの経緯、スキルの獲得、プログラム終了から現在まで、プログラムの実施により見つかった課題点の 4 つに分けて以下に説明する。そして最後に、指導教員より普段の授業や成績を通して、本プログラムを修了した学生とそうでない学生との比較による客観的な評価をして頂き、宇宙工学を学ぶ学生としてのスキルの獲得に本プログラムがどのように寄与したか考察する。

7.1. 衛星工房への参加までの経緯

3 章でも述べた通り、新入生は衛星開発という一見して華やかなイメージが先行し、それがモチベーションとなっており、具体的に何をやるのかということ想像できていないのではないかと運営側は考えていた。そこで、実際に新入生が衛星工房への参加を決意するまでに、どこから得たどのような情報がどのようなモチベーションとなったのかをアンケートにて調査した。以下の表 5 に集計結果を示す。なお、%表示の母数について、Q1 は 11 名、Q2、Q3 は Q1 でその項目に回答した人数である。

表 5 参加までの経緯に関するアンケート集計結果

	Q1			ここに より 右 は 左 (Q1)で ✓を付けた情報 について だけ 書いて 下さい	Q2							Q3											
	Q1. 入りたいと思うきっかけとなった情報にいくつでも✓				Q2. その情報源は何だったか？当てはまるものに✓							Q3. その情報から「やってみよう」と思ったモチベーションは？当てはまるものにいくつでも✓											
No.	情報	✓		人	%	人	%	人	%	その他	カッコ良さそう		自分の将来に役立ちそう		興味をそそられる		レベル的に自分にもできそう		とにかくやらなきゃ、という使命感		その他		
		人	%								人	%	人	%	人	%	人	%	人	%		人	%
1	本物の衛星を開発できるかもしれない	7	64%			4	57%	0	0%	2	29%	高校3年の学校説明会(1人)	3	43%	7	100%	6	86%	0	0%	2	29%	0
2	手を動かす開発ができる	6	55%			4	67%	1	17%	1	17%	0	1	17%	4	67%	5	83%	0	0%	1	17%	0
3	海外経験が積める	1	9%			1	100%	0	0%	0	0%	0	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	学生でもできる事がすごい
4	初心者でも大丈夫な教育プログラムが用意されている	3	27%			2	67%	0	0%	0	0%	0	0	0%	2	67%	2	67%	2	67%	0	0%	0
5	友達からの誘い等の影響	2	18%			/	/	2	100%	/	/	0	0	0%	1	50%	1	50%	0	0%	1	50%	0
6	その他1 宇宙産業に携わるための技術・経験・知識を学べると思ったため	2	18%			1	50%	0	0	1	50%	0	0	0%	2	100%	2	100%	0	0%	1	50%	0
	その他2 衛星開発以外にも何か自分のためになる技術を習得できると思ったから	2	18%			0	0%	1	50%	1	50%	インターネット(1人)	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	大変そうだが面白そう

これより、以下の点が考察される。

- 多くの人がスタートガイダンスから参加のきっかけとなる情報を得ている。新入生全体に向けた周知活動は参加のきっかけを与えることにかなり大きな効果があると考えられる。
- モチベーションとしては予想通り実際の宇宙開発に関われる可能性に対する興味を上げている人が多く、自分にもできるかどうか分からないという所を見ると、具体的な設計・開発の内容を想像できている人はいなかった。即ち宇宙開発という華やかなイメージと実際の作業とのギャップが存在することが確認されたと言える。しかし、将来の役に立ちそう、使命感があると答えた人が予想以上に多かった。これより、本アンケートに回答したプログラム修了者の多くが華やかなイメージに魅かされただけでなく、大変なものであるかもしれないという不安に対し、乗り越える覚悟を持っていると捉えることができる。しかし、本アンケートはプログラム修了者に対してしか行っておらず、プログラムの途中脱退者が、こうした覚悟を始めの段階で持っていなかったかどうかは不明である。しかしながら途中脱退者は、仮にこうした覚悟を始めの段階で持っていたとしても各ステージに設けられていたノルマを達成することができず、その際に行った個別面

談で「独力では現在以上には頑張れない」という事実があることが分かった。これらのことから、以下の2つが考察として得られる。

- 前年度までは年度末に衛星工房に残った新入生は年度初めの約20%程度、2,3名の人数であったのに対し、2010年度は約50%、11名が残っていたという結果を考慮すると、2010年度は元々この覚悟のある学生が多かったか、あるいは本プログラムや学年間でのディスカッションによって構成される衛星工房の環境が、イメージとのギャップに対して途中で諦めず覚悟を貫き通す、またはギャップを埋めることのできた環境であったと考察される。
- 途中脱退者の個別面談ではほぼ全てのケースで、本人たちは取り組み方をどのように修正してゆけば良いか説明できないものの、「もっと頑張ります」と述べていた。このことから、「問題に関する基礎分析が不足していることが解決を妨げているにもかかわらず、精神論だけで解決を図ろうとしている」という性質が考察でき、これが客観的なスケジューリングを行う妨げとなっていたと考えられる。この性質があまりに強い場合、本プログラムではそれを本プログラムに沿うように矯正することに、大学院生が労力を割かない、というシステムとしていた。しかし、そうした新入生をどのようにケアし、本プログラムで目指す学生像へと近づけてゆくかは重要な課題であると考えられる。本プログラムでは取り組んでいない、今後の課題である。

7.2. スキルの獲得

本プログラムの3つのステージを通して身につけてもらいたいスキルの習得度合いについて、運営側の期待とどれほど合致しているかを調べるために、実際の参加者の自覚を調査し、比較を行った。この集計・比較の結果を表6(Q4、Q5)に示す。これは表1のNo.1を評価するのに用いている。表6(e)は表6(a)~(c)をまとめたもので、各スキルを行に、各習得項目を列に割り当てたマトリクスであり、スキルの各習得度合いを人数ごとに知ることができる。このマトリクスの各棒グラフは、横軸がスキルの習得項目に対する習得度合いの自己評価(○、△、×)を表わし、○、△、×それぞれについて1stステージ終了時、2ndステージ終了時、3rdステージ終了時それぞれにおける人数の集計結果を色別に示している。赤が1stステージ終了時、緑が2ndステージ終了時、青が3rdステージ終了時である。縦軸が人数を示す。また各グラフ中に運営側が期待していた評価を矢印で示している。赤い矢印が1stステージ終了時、緑の矢印が2ndステージ終了時、青い矢印が3rdステージ終了時の、運営側の期待である。各色における、最も高い棒グラフと矢印が一致すれば期待通りであったことを示し、矢印より右に最も高い棒グラフがあれば運営側の期待以下、矢印より左に最も高い棒グラフがあれば運営側の期待以上、ということになる。また、表6(f)も表6(a)~(c)をまとめたもので、各スキルを行に、各習得項目を列に割り当てたマトリクスであり、これらグラフからは各参加者の習得度合いの遷移をステージごとに追うことができる。このマトリクスの各折れ線グラフは横軸にステージ終了時を取り、縦軸にスキルの習得度合いの○、△、×を取っており、回答者全員のグラフを重ね合わせたものである。このグラフからは人数が分からないため、各プロット点の上に人数を%で表記した。また、赤い丸は運営側の期待を表わし、赤い丸より上の習得度合いの人数が多ければ期待以上、赤い丸より下の習得度合いの人数が多ければ期待以下、ということになる。

更に、衛星開発における重要な考え方をプログラム中のどのタイミングで身に付けたかを調査し、運営側のどのようなアプローチに効果があったのかを調べた。この結果を表7(Q6)に示す。これは表1のNo.2を評価するのに用いている。最後に表8(Q7~Q10)に示す通り、本プログラムから学んだことを自由に書いてもらい、本プログラムの効果を考察した。これは表1のNo.3,5,6,7,8,10を評価するのに用いている。表1のNo.4については、本プログラムの実施を以て達成されたと評価できる。なお、Q4における%表示の母数は、そのスキルに関して○/△/×で回答した人の人数である。Q5、Q6における%表示の母数は11名である。

表 6 スキルの獲得に対する運営側の期待と参加者の自覚の集計結果

(a) 開発スキルの流れについて (Q4-1)

Q4.開発スキルの習得について、各ステージ終了時身についていたと思う度合いを○/△/×/✓で全て埋めて下さい。																					
スキル	Q4-1 流れをつかめた(○/△/×)																				
	1stステージ(講習会)終了時							2ndステージ(PICkit)終了時							3rdステージ(プロジェクトコンペティション)終了時						
	期待	○		△		×		期待	○		△		×		期待	○		△		×	
		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%
回路設計	○	2	18%	6	55%	3	27%	○	5	45%	5	45%	1	9%	○	6	55%	5	45%	0	0%
基板加工	○	3	27%	6	55%	2	18%	○	5	45%	5	45%	1	9%	○	8	73%	3	27%	0	0%
半田づけ	○	8	73%	3	27%	0	0%	○	10	91%	1	9%	0	0%	○	10	91%	1	9%	0	0%
定電圧やテスターを使った動作確認	○	2	20%	7	70%	1	10%	○	5	50%	5	50%	0	0%	○	8	80%	2	20%	0	0%
プログラミング	△	2	20%	3	30%	5	50%	○	5	50%	5	50%	0	0%	○	4	40%	4	40%	2	20%
衛星(Cansat)のシステム全体の構築方法	△	2	18%	2	18%	7	64%	△	2	18%	4	36%	5	45%	○	8	73%	2	18%	1	9%
ミッション創出(社会的意義や背景調査)	×	1	9%	2	18%	8	73%	×	1	9%	3	27%	7	64%	○	8	73%	2	18%	1	9%
プロジェクトマネジメント	×	0	0%	2	18%	9	82%	△	0	0%	5	45%	6	55%	○	2	18%	8	73%	1	9%

(b) 開発スキルと安全について (Q4-2)

Q4.開発スキルの習得について、各ステージ終了時身についていたと思う度合いを○/△/×/✓で全て埋めて下さい。																								
スキル	Q4-2 安全や、機器を壊さないためにきちんと覚えなければならなかった(○/△/×)																							
	1stステージ(講習会)終了時								2ndステージ(PICkit)終了時								3rdステージ(プロジェクトコンペティション)終了時							
	期待	○		△		×		期待	○		△		×		期待	○		△		×				
		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%			
回路設計	○	6	55%	4	36%	1	9%	○	8	73%	2	18%	1	9%	○	9	82%	2	18%	0	0%			
基板加工	○	4	36%	6	55%	1	9%	○	6	55%	4	36%	1	9%	○	8	73%	3	27%	0	0%			
半田づけ	○	8	73%	2	18%	1	9%	○	9	82%	1	9%	1	9%	○	10	91%	1	9%	0	0%			
定電圧やテスターを使った動作確認	○	8	73%	1	9%	1	9%	○	9	82%	0	0%	1	9%	○	10	91%	0	0%	0	0%			
プログラミング																								
衛星(Cansat)のシステム全体の構築方法																								
ミッション創出(社会的意義や背景調査)																								
プロジェクトマネジメント																								

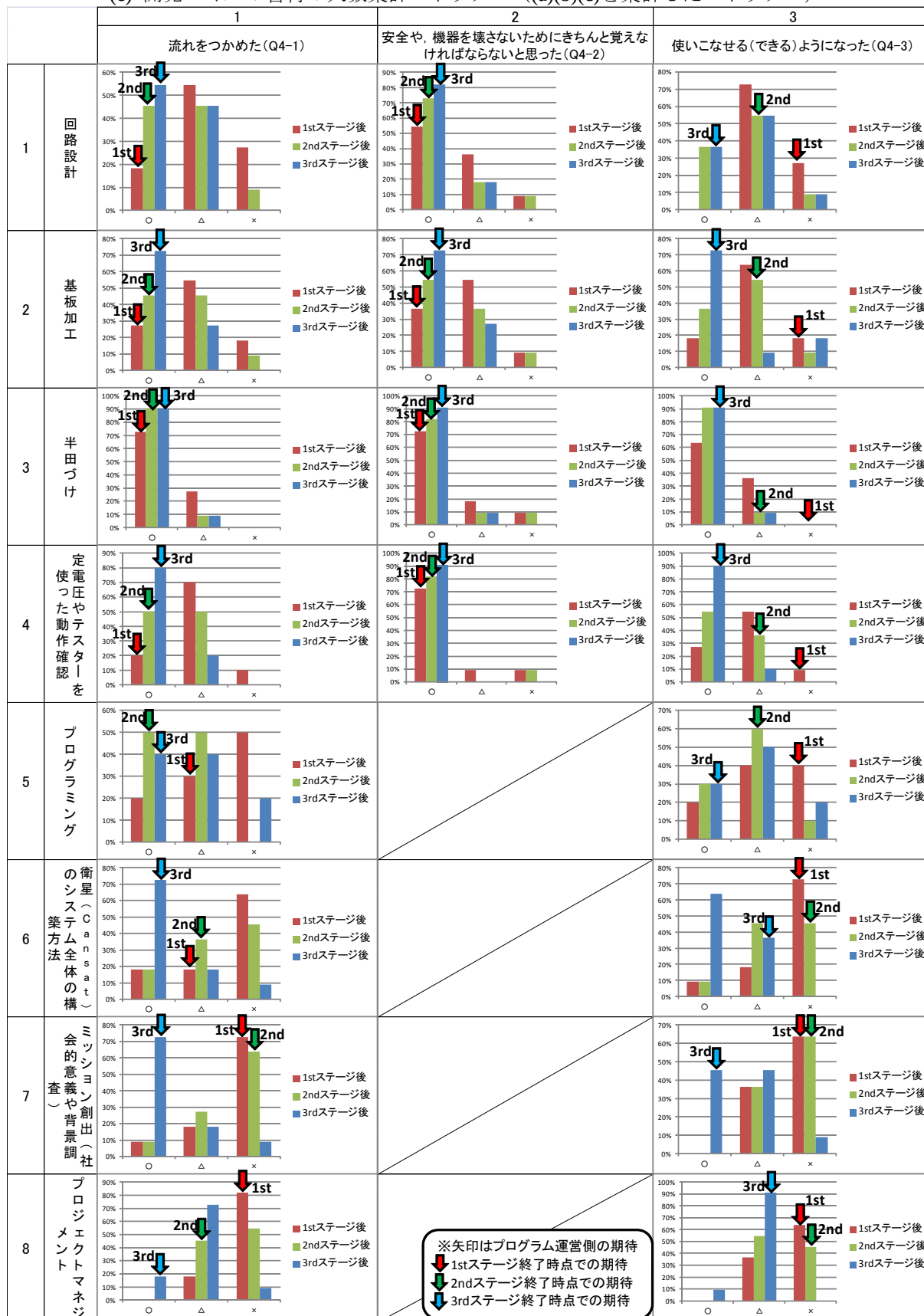
(c) 開発スキルの習熟度について (Q4-3)

スキル	Q4-3 使いこなせる(できる)ようになった(○/△/×)																		未だに理解できていない(✓)				
	1stステージ(講習会)終了時						2ndステージ(PICkit)終了時						3rdステージ(プロジェクトコンペティション)終了時										
	期待	○		△		×		期待	○		△		×		期待	○		△		×			
		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%		人	%	人	%	人	%		
回路設計	×	0	0%	8	73%	3	27%	△	4	36%	6	55%	1	9%	○	4	36%	6	55%	1	9%	1	9%
基板加工	×	2	18%	7	64%	2	18%	△	4	36%	6	55%	1	9%	○	8	73%	1	9%	2	18%	1	9%
半田づけ	×	7	64%	4	36%	0	0%	△	10	91%	1	9%	0	0%	○	10	91%	1	9%	0	0%	0	0%
定電圧やテスターを使った動作確認	×	3	27%	6	55%	1	9%	△	6	55%	4	36%	0	0%	○	9	90%	1	10%	0	0%	1	9%
プログラミング	×	2	20%	4	40%	4	40%	△	3	30%	6	60%	1	10%	○	3	30%	5	50%	2	20%	2	18%
衛星(Cansat)のシステム全体の構築方法	×	1	9%	2	18%	8	73%	×	1	9%	5	45%	5	45%	△	7	64%	4	36%	0	0%	1	9%
ミッション創出(社会的意義や背景調査)	×	0	0%	4	36%	7	64%	×	0	0%	4	36%	7	64%	○	5	45%	5	45%	1	9%	1	9%
プロジェクトマネジメント	×	0	0%	4	36%	7	64%	×	0	0%	6	55%	5	45%	△	1	9%	10	91%	0	0%	2	18%

(d) 開発スキルの内容について (Q5)

Q5. これらのスキルについて、最初とつぎにくかったものと、なかなか理解できなかった部分を教えてください。																						
スキル	とつぎにくかった(✓)		理解に苦しんだ部分																			
	人	%																				
回路設計	5	45%	サーキット、トラックスとは何なのか、何のためにやるのか理解できなかった 途中参加で、何が何を表しているのか覚えるのが大変だった 3rdステージに関しては自分は主に構造体設計を担当したので、回路設計をする機会にあまり恵まれませんでした。																			
基板加工	3	27%	使う機会が少なく、細かな使い方をよく忘れてしまった。 操作手順が複雑な感じがして難しかった																			
半田づけ	0	0%																				
定電圧やテスターを使った動作確認	2	18%	単純に内容が難しかった 2ndステージ後に定電圧を使うことがあまりなかった気がする。いまだ定電圧に関しては曖昧な部分もあるので、使いこなせているかと聞かれると実際には微妙な所です。 定電圧の機能が多すぎて覚えきれなかった。講習では機能をあまり詰め込みすぎず基本的なところだけ教えるほうがいいのかもかもしれない。																			
プログラミング	7	64%	どんな関数を使えばいいか、情報を整理するのが大変だった。 複雑になるにつれ、統合ができなくなりました。理解不足です。 もっとサンプルを多く提示してほしい。 最初はまず、なにをしたらいいのかさっぱりわからなかった。 3rdステージは回路設計同様、機会に恵まれませんでした。																			
衛星(Cansat)のシステム全体の構築方法	3	27%	何から始めたらいいのか分からなかった。先輩方の意見をどこまで反映させればいいのか分からなかった。 3rdステージでは構造体設計を担当していたので人一倍理解できたような気がします。CADで配置などを決めていましたので。作動させるためにはどのようなシステムが必要か、どのような配置にすればシステムがスムーズに作動するかなど考えさせられました。その点が大きいと思います。																			
ミッション創出(社会的意義や背景調査)	5	45%	何から始めたらいいのか分からなかった。先輩方の意見をどこまで反映させればいいのか分からなかった。 ミッション背景より先に方法や手段ばかり先行して考えてしまっ先に進まなかった。 どうしてもミッション背景よりやりたいことが先行してしまう。 ミッションを空中でやる意義を考えるのが難しかった。																			
プロジェクトマネジメント	5	45%	理解してるがどうか実際にやっていないからわからない。 意見してもらう度に混乱して分からなくなっていく。 問題個所の解決順序やミッションをするにあたって重要項目の洗い出しなどが難しかった。 今年に入って新たにプロジェクトを始めてから「ああ、そういうことか」となった部分もありました。 初めてのPMは自分も周りも理解が少なかったので連携がうまくいかず苦しんだ。 これに関しては、自分はあまり関わられませんでした。PMではなかったのだ。																			

(e) 開発スキルの習得の人数集計マトリクス ((a)(b)(c)を集計したマトリクス)



(f) 開発スキルの習得の遷移集計マトリクス ((a)(b)(c)を集計したマトリクス)

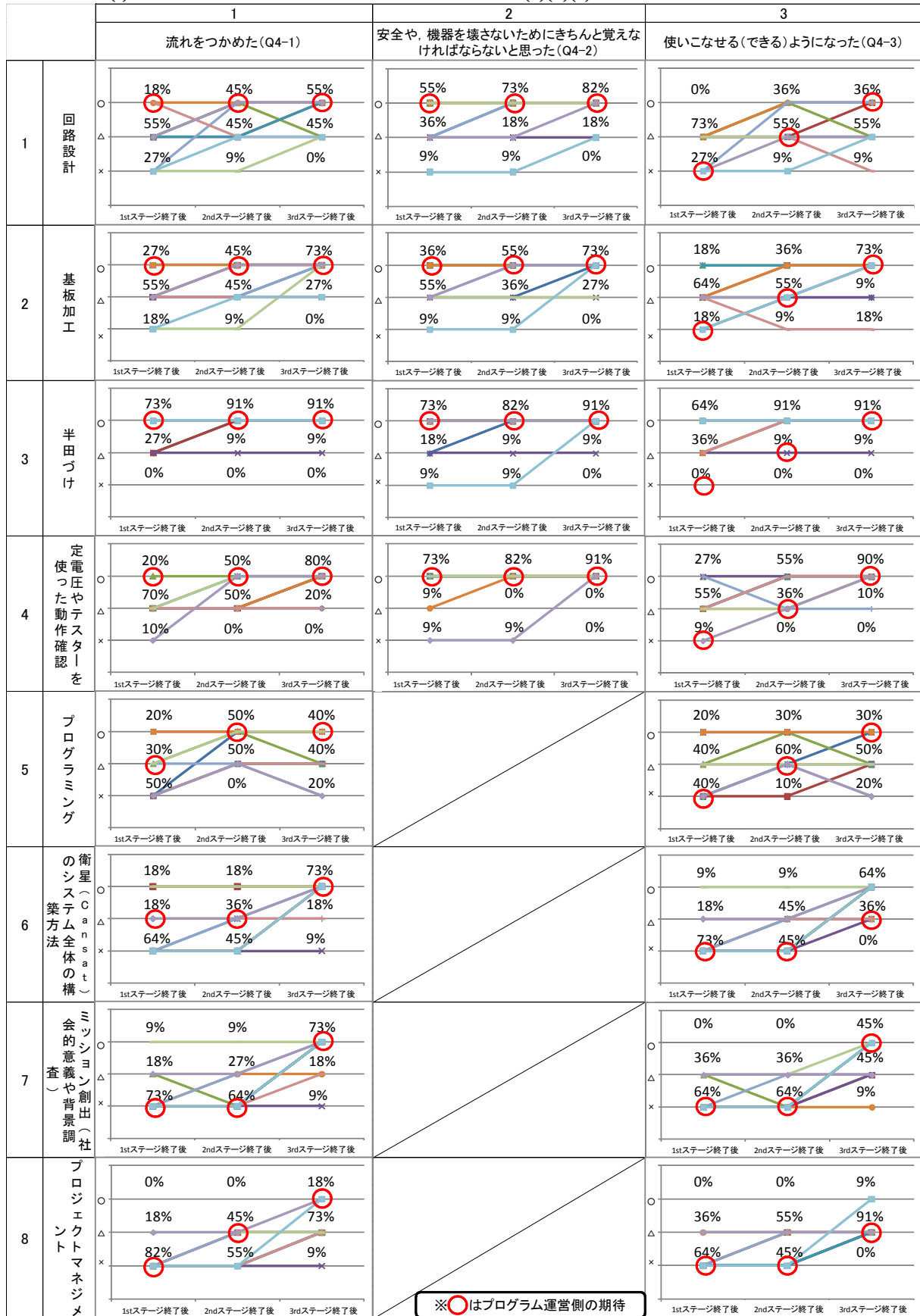


表7 重要な考え方を身に付けたタイミングの集計結果

Q6. これらのスキルは、教育プログラム期間中どこで学びましたか？(✓)															
スキル	座学		設計と 工作		レビュー		毎週の 進捗報 告		普段の 先輩との やりとり		独学		得られて いない		その他 (具体的に書いて下さい)
	人	%	人	%	人	%	人	%	人	%	人	%	人	%	
スケジュール管理の 大切さ	0	0%	5	45%	5	45%	4	36%	3	27%	1	9%	0	0%	最後の最後、Cansatが完成しそうにないと思った時
スケジュール管理の 難しさ	0	0%	5	45%	5	45%	5	45%	3	27%	0	0%	0	0%	ミッションがなかなか決まらなかった時、周りとのモチ ベーションの差に気づいた時。
目標設定(何のため にやるのか)の大切さ	0	0%	3	27%	7	64%	4	36%	1	9%	0	0%	1	9%	0
システム構築能力	0	0%	5	45%	2	18%	1	9%	2	18%	0	0%	1	9%	MSDR以降分かってきた
工作能力	3	27%	7	64%	1	9%	0	0%	4	36%	2	18%	1	9%	0

表8 本プログラムから学んだことの集計結果

意見 番号	
-	Q7. 教育プログラムを通して学んだことを書ける限り書いて下さい。
1	チームワークの大切さ、コミュニケーションの大切さが学んだことの中でもっとも大きいものでした。
2	・自分の趣味ではなく予算をもらって作るの、納得させるような社会的背景と目標が重要。 ・一人でやって分からないことが人数でかかるとすぐに気づいたりする ・いかにモチベーションを維持するか、下がった時にどうやって上げることが出来るかが大切 ・実現可能性も考えてプロジェクトやスケジュールを立てないと破綻してしまう。 ・プロジェクトをやる上でメンバーのプライオリティはそれぞれ違うのでそこで人間関係が悪くならないように意思統一することが大事
3	考え方や開発手順など、班員との話し合いでさまざまな意見が出てきて、それぞれに意見を考えたりと、開発における考え方というものを学んだ気がする。プログラミングやデータ処理などがあり、パソコンの使い方がうまくなり、知識もついた気がする
4	チームの中で人と協力して作業する大変さ。開発のモチベーション維持の難しさ。
5	時間の使い方。受け身ではだめで、主体的に動かなければ、物事は進まないこと。
6	折れない心
7	スケジュール管理の難しさや大切さ。メンバー間のモチベーションの違いが起こす問題(こんな問題が起こるんだということを知ることが出来た。対処法は実践したものの完全には見つかりません)
8	考え方を考える力。スケジュール管理。追い込まれてもやりきる精神力。
9	プロジェクトでの考え方・議論の仕方・進め方について。これを大学1年で学べたことはとてもよかったです。
10	基本的な衛星開発の流れとその技術。物体の構造に対する見方やCADなどの技術。
11	基礎知識。
-	Q8. あなたが学んだ衛星開発における重要なスキルや考え方について、後輩に伝えていきたい事を書いて下さい。
12	プロジェクトを進めるというのはどういうことか、お金と概念と時間の兼ね合い。社会的意義を考えることや背景調査、概念設計、チームワークの大切さ。
13	基礎知識。
14	ともに開発する仲間とのコミュニケーションは大切だとおもった、つらい時やわからない時は他の角度から物事を考えられると思った
15	電子部品を扱って回路を構築していく作業に、先入観をもたず実際やってみると楽しいところもある。
16	プロジェクトの管理がいかに大切か。データの整理の大切さ。すでにプロジェクトを終えた人から多くを学ぶには直接聞くのが一番のこと。
17	何のためにこれをやっているのかというはっきりとした目的意識の必要性です。1年の時よりも2年のプロジェクトを始めてから重要さを最も感じています。今の1年が新しくプロジェクトを始めるときに一番大切にしたいです。
18	期間を決めたら、その期間内でとことんやり切る！というスキルが必要。というか、そういう考えを持ってやらないとずるずるスケジュールもズレこんでしまいます。
19	「これで行けるだろう」と立てたスケジュール通りには、なかなか事を運べないので、計画はより慎重に立ててください。
20	プロジェクトを建てるにあたって社会的にも自分達の成長に役立つかをよく考えて始めた方がいいことを伝えたい。

表 9 本プログラムから学んだことの集計結果（続き）

-	Q9. 衛星工房に入る前と現在では、衛星開発に対して考え方や感じ方が変わりましたか？何がどんな風変わったかを教えて下さい。
21	それまで、本格的にプロジェクトなどを行っていたことがなかったので、プロジェクトを進めるとはどういうことかを体感できた気がします。また、それに伴い、費用と概念と時間の兼ね合いの大切さを学びました。また、衛星開発に限った話ですが、自分はもともと航空にしか興味がありませんでした。しかし、この衛星工房を通して、衛星の面白さを発見することができました。衛星開発の面白さは、やはり、ミッション決定やそれに伴う社会的意義、背景調査、開発、実験、結果、考察などにあると思います。これは他の分野にも通ずることだと思いますが、作業をして作り上げる点も面白いですが、考えて、考えて、考え抜いて、自分が納得するまで意見をぶつけ合う、ここが衛星開発において最も面白い点ではないでしょうか。
22	大学単位でも人工衛星が作れること。
23	開発に至るまでにさまざまな事を考えなければならないことがあると知ったとき、今までに打ち上げた衛星はどんなに大変だったのかと感じた
24	基板が少し身近に感じられるようになった。衛星を開発するにあたって、思っていたよりも人間味溢れていた。
25	ただすごいものから、多くの人が考えを出し合ってきた技術の集約したものへ変わった。
26	勢いが理屈より大事な事もある。
27	正直、入る前と後で衛星に関する考えは変わっていません。ただ、プロジェクトに対する考え方（概念設計の重要性、スケジュール管理の大切さなど）は大きく変わりました。
28	電子工作が主ということ。また、社会的意義を考えることが大変であること。
29	興味のあることをしているのにモチベーションがこんなにも大変だとは思わなかったです。
30	入る前は社会的背景などを全く考えていなかったが、衛星工房で活動していくにあたって考えるようになった。
31	衛星には、いろいろ可能性があると考えようになりました。
-	Q10. どんな事が楽しかった、嬉しかったですか？もし全く楽しくなかったという場合は、それでもなお続けていたモチベーションを教えてください。
32	3rdステージで初めてシステムを統合して動作させた時。気球試験。自分がCADで考えた通りに統合され、実際に組みあがったものを目の前にしたときは感無量でした。
33	自分の作ったプログラムで実際に動作したとき。
34	実際にカンサットを飛ばしたときや、自分の仕事がスムーズに進むとき。その他、仲間との雑談も楽しかった
35	実際にいろいろな部品を扱って回路の仕組みを構築したこと。仲間と一緒に作業に打ち込んだこと。
36	ものができたこと。考えた通りにものが動いたこと。工房のみんなでプロジェクトを進められたこと。ちゃんと終わられた事。
37	動作確認が成功しただけでもお祭り気分だった。それまでは酷くつまらないw成功した時の嬉しさがモチベーション
38	みんなで一つの物を作っていくところが楽しかったです。徹夜で工房に泊まった時もA,Bチーム関係なしに楽しく作業出来ました。
39	みんなで5号館で集まって作業していること自体が楽しかったです。
40	苦労して進めたプロジェクト終了時の達成感。
41	CAD描いた構体を作り、組み立てていくところが面白かった。
42	いきなり、PMを任せられるのはかなりテンパりました。具体的に何をどうしていったらいいのかもわからない状態だったので、開発にも携わっていくのは1年では厳しかったです。宮崎先生とのミーティングがなければやめていたと思います。

これらの集計結果より、以下のことが考察される。

- 表 6(e)の回路設計、半田づけ、基板加工、動作確認、プログラミングに関する集計はいずれの習得項目も○を付けた回答者が 1st ステージ終了段階から 2nd ステージ終了段階では増えており、×を付けた回答者が 1st ステージ終了段階から 2nd ステージ終了段階では減っている。しかし、表 6(e)の 2 行 3 列目と 5 行 1 列目と 5 行 3 列目の集計を見ると、いずれも×をつけた回答者が 1st ステージ終了段階から 2nd ステージ終了段階では減っているにもかかわらず、2st ステージ終了段階から 3rd ステージ終了段階では増えており、5 行 1 列目では○を付けた回答者が、2st ステージ終了段階から 3rd ステージ終了段階で減っている。これについて表 6(f)を見ると、1 行 1 列目、1 行 3 列目、4 行 3 列目のグラフを見ると、1st ステージ終了後から 2nd ステージ終了後も習得度が下がった人がある。1 行 1 列目、1 行 3 列目、5 行 1 列目、5 行 3 列目のグラフで 2nd ステージから 3rd ステージで習得度が下がった人がある。このことから、工作技能は座学・PICkitを通してかなりしっかり得られると考えられるが、PICkitを通して自己評価が下がった者がいる事については 1st ステージで製作した基板が非常に簡単なものであり、2nd ステージの PICkit で急に難易度が大きく上がったため、習得できたと思ったものの後から自己評価が下がったものだと考えら

れる。更に表 6(d)の回路設計、基板加工、動作確認、プログラミングの項目に「使う機会が少なかった」と述べられていることと併せて見ると、CAD などの構体系に関する勉強が無い一方、Cansat で電気系や基板の担当にならない人は電気工作技能を忘れていくということが分かった。

- 表 6(f)の 7 行 1 列目、7 行 3 列目のグラフを見ると、1st ステージ終了後から 2nd ステージ終了後に習得度が下がった人がいる。この理由として、1st ステージの座学で衛星開発におけるミッション創出の話をするものの、2nd ステージの PICkit が要素技術習得に特化したステージであるため自己評価が下がったものだと考えられる。
- 表 6(e)の 8 行 1 列目と 8 行 3 列目では 3rd ステージ終了後でも○を付けた回答者は少ない。プロジェクトマネジメントは座学で殆どやっていない上、Cansat で一度体験するだけであったためと考えられる。しかし、プロジェクトマネジメントとは何かをしっかりと学びたい気になったというのは、大きな成果だと考えられる。また表 7 より、スケジュール管理や目標設定に対する意識が向いたきっかけとしてレビューと毎週の進捗報告を挙げた回答者が多かった。レビューと毎週の進捗報告は先輩との公式のディスカッションの場であり、プロジェクトマネジメントやミッション創出に関してはそうした場での先輩からの指摘が大きく寄与していると考えられる。また、表 7 よりこれらの項目は同じくらい「工作と設計」に寄与している。一方で「普段の先輩とのやりとり」を挙げた回答者は比較的少ない。このことから、プログラム運営側である大学院生が参加者とコミュニケーションを取って影響を与えたのは公式なレビューなどの場が多く、普段の生活の中では参加者は先輩とのコミュニケーションより独力での開発中に得たと自覚していることが分かった。
 - プロジェクトマネジメントとミッション創出のスキルは 3rd ステージで経験するのみであるため、表 6(e)の 7 行 3 列目と 8 行 3 列目を見ると最終的に終了時しっかりと身に付いたと自覚している人は少なかった。しかしミッション創出の重要性について、Q8 では 3 名（意見番号 12,17,20）、Q9 では 5 名（意見番号 21,27,28,29,30）が「なぜ技術を身に付け行使するのか、なぜ作るのか」という背景や意味を考えることの重要性に触れており、プロジェクトマネジメントについては Q7 では 8 名（意見番号 1,2,3,4,5,7,8,9）、Q8 では 5 名（意見番号 12,16,17,18,19）、Q9 では 1 名（意見番号 27）がスケジュール管理やチームワークといったマネジメントに関する重要性に言及しているので、意識を持たせるといことについては結果的には効果を上げていると考えられ、実際のプロジェクトでも上手くやろうとする意識が見られた。
 - プロジェクトマネジメントやミッション創出について、設計や工作が大きくスキルの獲得に寄与したのは、Q6 の「その他」の回答にある様に、作業を共にする上で生じる人間関係やモチベーション、失敗経験といった、運営側の思惑以外の部分から学ぶことも多いことを示していると考えられる。
- 表 6(e)の 6 行 1 列目では 1st ステージ終了後で×を付けた回答者が最も多かった。システム全体の構築方法については衛星設計講習会で一通り説明しているが、殆ど効果が無いらしく、始めのうちは習得の自覚が無い傾向にある。自分たちで Cansat 開発にてシステム構築を行っていく中で実感するのが大きいと見られる。表 7 の「設計と工作」のカラム、表 8 の意見番号 1,3,4,7,14,15,32~41 より、実際に自分たちで設計・工作を行う中でスキルが身につく部分は大きいと、表 7 の「レビュー」「毎週の進捗報告」「普段の先輩とのやり取り」のカラムでもスキルの習得のきっかけとなったと回答している人が多いことから、ディスカッション、レビュー、普段の先輩とのやり取りの中で指摘され、それを設計や工作に反映させようとするのが相乗効果を上げていると考えられる。
- Q9 の意見番号 21,23,25,28 より、衛星開発に対する漠然とした憧れや「やってみたい」という気持ちから、衛星開発の過程をブレイクダウンして認識するようになった人が増えたようである。
- Q10 の意見番号 32~41 より、修了者が楽しかったと答えるのは作業や工作の達成感に偏っていることが分かる。先輩とのやり取りの中に楽しさを見いだせなかったのは、指摘する先輩を論破し、納得させようとする一種の対立関係が成り立っていたことの現れであると考えられる。これは 3 つ目の考察にて述べた「大学院生が参加者とコミュニケーションを取って影響を与えたのは公式なレビューなどの場が多く、普段の生活の中では参加者は先輩とのコミュニケーションより独力での開発中に得たと自覚している」ということとも繋がる。換言すると、楽しさを自分たちの作業の中に見出してモチベーションを維持しようとする力を備え持っていたのがこの 11 名である

とも言える。

7.3. プログラム終了から現在まで

本プログラムを終えて次に繋がっていったかどうかについて評価を行う為に、現在どんな活動をなしているかを調査した。以下の表 10 に集計結果を示す。これは表 1 の No.9 を評価するのに用いている。

表 10 プログラム修了後の活動の集計結果

Q11. 教育プログラムを終えて、今は何をしていますか?また、なぜその道を選びましたか?
普通の学生生活をしています。成績ですかね。
ローバーの開発とSPROUTのADC班 もっと大きなプロジェクトに参加したいと思ったから。
ローバープロジェクト. 衛星探査機に興味があり、模擬的なものを作りたいという思いがあったから
活動は行っていない。その理由はやりたいことが見つからないというのと、単位が心配であること。
SPROUT開発を利用した姿勢決定・制御の勉強。宮崎先生によるゼミに参加して衛星の姿勢について学んでいる。それを衛星の開発に役立てたいと思ったから。
またCansatを作っている。勢いが理屈より大事な事もあるので
新しいプロジェクトを行っています。 去年のプロジェクトの時出来ずに悔しい思いをしたことが多々あったので、そこを克服する為に行っています。
制御系について学びたかったので、制御系を学ぶきっかけを作るという意味でもプロジェクトに参加しました。
2年生のローバープロジェクトに参加してます。プロジェクトを1年通した上でもう1度携わってみたいなど。
一回のプロジェクトではまだまだ不十分と考えたためローバーの構体をやっています。
PMを今後やることを考えて、SEの立場も経験しておこうと思ったので、今はミッション部(モータ)の勉強をしています。

これより、以下のことが考察される。

- 成績が問題で衛星工房での活動を継続していない人が 3、4 名いるようである。それ以外の修了者は独自にプロジェクトを発足させて活動している。
- 修了者のうち 8 名がローバーCan プロジェクトを始動させている。1 年生の時の経験から思うことがモチベーションになっている人が多い。自発的な興味を持ってそれを行動に移していることは成果であり、教育プログラムが次に繋がるものになっているとすることができる。

7.4. プログラムの実施により見つかった課題点

本プログラムを実施して、参加者から見た本プログラムの問題点を調査した。始めから難しいと認識した上で実施したという部分もあるが、運営側が想定していなかった問題点を調べる目的で調査を行った。以下の表 11 に集計結果を示す。

表 11 参加者からみた本プログラムの問題点の集計結果

Q12. 教育プログラムの悪い所を書ける限り書いて下さい。
工房内における横のつながりは強かったが、縦のつながりが若干弱い気がしました。
未来博士工房に院生がいないこと。
教育プログラムとはいっているが、実際には自分達で勉強をしている。その方が自分達の身には着くと思うが、個人的な考えになってしまうが、教育というものであるのだし、もう少し5号館での作業に先輩方からのコンタクトがあったほうが良かったかなと感じた。最初のうちは先輩方に声を掛けるのに気が引けるというか、声をかけていいのかわからなかった。
期日を守って作業をするために多忙になること。
(3rd stageにおいて) 期間のうちにやることがつまってるから自分のことだけで精一杯でteamの人がどんなことをしているかわからない。それによって自分の班以外の技術を知ることではできても理解とまではいかない。そのため違う班のことに興味があっても教育プログラム中では学べない。
これからやること(サーキットやトラックスなど)を一言で言うとなんのか?それは何のためにやるのかをしりたい。もう少し時間をかけて勉強したい。
2ndステージと3rdステージの間にマネジメントに関する講習を入れてほしい。あと、プロジェクトで活動する班によっては1stステージ、2ndステージで基礎を学ぶことが出来ていないことがあるので、その点もサポートして欲しいです。
もう少しプログラミングの指導が欲しかったです。ここは気球試験の時につらいと思うので。
プログラムなど、元々全く知識も馴染みもない技術に対する説明を、もうちょっと噛み砕いてほしかったです。
もう少し具体的な例などを増やして簡単などろでつまづかなくしたほうが良い。
もう少し長い期間でもれなくじっくりやってほしいと思いました。あんまりパソコンとか機械が得意じゃない人からすると。

これより、以下のことが考察される。

- かなりの忙しいスケジュールであったため、他の班や人が何をしているのか知ることが難しかったという意見が出ている。スケジュールの忙しさは運営側も分かった上で実施したが、スケジュールをこなす大変さ以外にもこうした問題が挙げられることが分かった。
- 先輩の普段のケアが手薄という意見が多い。院生が教育プログラムのシステムに頼り普段のコミュニケーションについて院生が期待されていただけの時間を割けていなかった。7.2 節の7つ目の考察を考慮すると、参加者は院生との繋がりが公式な場での一種の対立関係のみでありモチベーションの維持は独力での開発の中で行われたということから、院生とのこうした関係がモチベーション維持において重要であったとも言えることができるが、本プログラムでは表1のNo.10で述べられている通り参加者と院生とのコミュニケーションを重要視しているため、こうした関係によるモチベーション維持は意図するところではない。院生が普段の会話の中で、自分で調べるべきと思った事はそのように伝えるなど、精神的に頼らせすぎないように気を配りつつ、精神論では解決できない問題の補助、例えばフージビリティスタディやミッションの社会的意義のロジック構築などにおいて、本人たちが見えていないコンステレーションを示唆するなどといったことを行うことは可能であったと考えていた。しかしそれができなかった理由は、「期日等のルールを守れるということはモチベーションが高い、それ故何でも自分たちで調べてまとめて主張できるであろう」という論理に頼りすぎ、普段からそんなに見ていなくても大丈夫であろうと考えてしまっていたことだと考えている。また、普段の技術習得への取り組み方を近くで見ると要素技術やインテグレーションに興味を持っているのかいないのか、即ちモチベーションがあるのか、ということを知るのに、惜しむほどの手間や時間がかかるとは考えておらず、実際に数名の参加者のモチベーションが突出しているということを院生は感じていた。それ故モチベーションがあると分かっているが、精神論では解決できない問題の補助ができなかったため、レビューの場で致命的なロジックの欠陥が見つかり、開発スケジュールの面から一部妥協案への方向転換を余儀なくされることがあった。もし普段の関わりの中で指摘していれば、調査や勉強を行うことができ、レビューではもっと院生と参加者の納得がいく結論を円滑に得られたのではないかという反省がある。即ちプログラム終了後の院生たちの自覚として、精神面での自立がある人にも十分な技術指導ができなかったという反省がある。
- 指導ペースが速い為、基礎技能習得での躓きが多かったようである。特にプログラミングに対して苦手意識を持っている人は予想以上に多かった。
- 7.2 節で述べた通り、CADなどの構体系に関する勉強が無い一方、Cansatで電気系や基板の担当

にならない人は電気工作技能を忘れていくため、より効率的に基礎技能を習得する改修が必要と思われる。

- 修了生本人からも希望が出ている通り、SE やプロジェクトマネジメントについては 3rd ステージで難しさを経験した後に、改めて 2 年生や 3 年生で勉強し整理する機会を設けると、経験が活きて効率的に身につくと考えられる。

7.5. 指導教員の視点からの評価

本プログラム参加者が衛星開発を志す学生としてスキルを高めることに、本プログラムがどれほど寄与することができたかを客観的に評価するために、指導教員より以下の通り講評を頂いた。

2010 年度に教育プログラムを経験し、2011 年度も引き続き活動を行っている学生については、実験や設計・製図の授業における教員による審査の際の受け答えの内容から、やはり高い意識を持っていることがうかがえる。実際、もともと平均的に優秀な学生が集まっていたこともあるが、これらの科目に限って言えば、プログラムを経験した学生 11 名の平均と経験していない 113 名の平均とでは、1 年次科目の GPA の差が約 0.6 弱だったのに対し、2 年次科目の差は 1.1 程度と差が大きく広がっており、プログラムの効果がはっきり出ていることがわかる。また、本学では設計・製図の授業の優秀者に対して 2 年次終了時に「設計製図賞」を授与しているが、2011 年度は学年全体の受賞者 4 名中、プログラム経験者が 2 名いたことから、プログラムの効果がうかがえる。加えて、講義科目も含む成績全体に関しても、学部 1 年次前期終了時と 2 年次後期終了時とではその差は広がっており、成績の面でも効果が出ていると考えている。特に、本学では 2 年次のカリキュラムは学生にとってかなりタイトなものになっており、その中でプロジェクトを引き続き行いながら、他の学生よりも成績を伸ばしている点は、教員としてはうれしい限りである。さらに、衛星開発に関しても、プログラム経験者のうちの 2 名が 2010 年 4 月から上級生 4 名とともに 1U の CubeSat の開発に着手することとなった。これらは、上級生との交流の中で学生自身が意識を高めてくれたからであろうと考えている。もちろん、プログラムの効果をより正確に評価するためにはプログラムを毎年度継続して行うことが必要であるが、現時点では効果があったと判断している。

8. おわりに

筆者らは、「衛星開発」という半ば、敷居の高いイメージのあるプロジェクトをより身近なものにすると同時に、学生の早期育成を図る為、学期の初めに衛星工房の取り組みを紹介・ガイダンス等を行い、衛星開発の間口を新入生に広げることを試みた。そして、2010 年度より新入生教育プログラムを実施し、衛星開発という華やかなイメージと実際の開発の作業内容のギャップを埋め、衛星開発に必要な基礎技能と考え方をより短期間で効率的に習得させ、自身がパイオニアとなり各種プロジェクトの、さらには次期衛星開発の主体メンバーとなっていくような技術継承を提案した。本プログラムの目標と、実施後の達成評価を表 1 に対応させて以下の表 12 にまとめる。

表 12 本プログラムの目標とその達成評価

No.	目標	評価	No.	目標	評価
No. 1	短期間で本大学の衛星開発に必要な基本的な要素技術の習得を可能とすること	○	No. 6	一定の要素技術・基礎技術、プロジェクトマネジメント・衛星開発のフロー等の知識が身に付いた段階で短期のプロジェクトを企画・運営してもらうことでより実践的な経験を積ませること	○
No. 2	要素技術のみならず、衛星開発に必要な知識・近年の小型衛星事情等、ミッション定義やプロジェクトマネジメントに対するヒントも提供すること	○	No. 7	スケジュール管理の大切さを強調し、残作業・定期的な報告会を設け、マネジメント能力の向上を図ること	○
No. 3	現在の要素技術の習得が実際の衛星開発においてどのように関係しているのかを示唆し、モチベーションの向上に努めること	×	No. 8	結果を大切にすること、努力すること自体を評価するのではなく、とにかく動くものを、成功させることが大切であるという潜在的意識を植え付けること	○
No. 4	個人課題は必要最低限にとどめ、極力複数人・班単位での作業内容を提供すること	○	No. 9	一連の教育プログラムを体系化し、来年度以降の院生並びに新入生に同様の教育プログラムの実現を可能にすること、また教育プログラム提供者側の負担を軽減すること	○
No. 5	班単位での課題を課すことによって、仲間同士での問題解決能力、コミュニケーション能力、スケジューリング能力の向上を促すこと	○	No. 10	世代間のコミュニケーションを重要視し、院生と下級生が密に接する機会を提供すること	×

また、本プログラムの実施を通して得られた結論として、学生が主体となって超小型衛星を開発する際の新生教育プログラムのキープポイントとなることを以下の通りまとめる。

- モチベーション維持の力を備えた人材をある程度シスマチックに残し、そうした人により多くの指導の時間をかけられるようにする効率化が本プログラムの狙いであり、全く手間暇をかけないことが目標ではないということ。
- 一般的な数学や力学・工作が実際の開発になぜ必要になるのかという繋がりを考える意識を高める指導を行い、一般的な技能をより多く身につけている事が、概念設計の段階で定めるミッションの幅を広げ、フィジビリティスタディにおける大きな助力となるということを、実学を通して学びとってもらう場という考え方で臨むことが重要であること。
- 新生全体に向けた周知活動は参加のきっかけを与えることによりかなり大きな効果があること。
- 工作技能の習得は座学と基礎的なマイコン基板の設計・製作が有効であるということ。
- スケジュール管理能力や合格して先に進む気があるのかどうかという真剣さを見極め、管理できるシステムが、高いモチベーションを持った新生を残す事に有効であるということ。
- 以下の様な指導をプログラムに盛り込むと、自発的な興味を持ってそれを行動に移していけるような、次に繋がるプログラムになること。
 - 「なぜ技術を身に付け行使するのか、なぜ作るのか」という背景や意味を考えることの重要性や、スケジュール管理やチームワークといったプロジェクトマネジメントに関する重要性への意識を高めるような指導を行うこと。
 - 高いモチベーションを持った新生を残すこと。
- 短期間での習得という時間の余裕の無いプログラムの中でも、他の班や人が何をしているのか知りたいというモチベーションを実現させられるようなシステムが必要であるということ。
- SE やプロジェクトマネジメントについて、プロジェクトを通して難しさを経験した後に、改めて勉強し、整理する機会を設けると習得に相乗効果をもたらすということ。
- 困難に会った時に投げ出さないモチベーションを持った新生には、院生が時間をできる限り割いて指導にあたるという意識を忘れないこと。

参考文献

- [1] 椋本佳宏 他:SEEDS 打上げおよび運用について, 第 52 回宇宙科学技術連合講演会, 2C07, 2008.
- [2] 椋本佳宏 他:超小型人工衛星による膜面構造物展開実証, 第 53 回宇宙科学技術連合講演会, 2H19, 2009.
- [3] 衛星設計コンテストホームページ
<http://www.jsforum.or.jp/event/contest/>
- [4] 早瀬亮 他:超小型人工衛星開発における新生研修プログラムに対する取り組み, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会, 3E07, 2010.