

HEPTA-Sat を用いた持続発展型宇宙人材育成プログラムの開発

Development of Sustainable Evolutionary Space Human Resource Development Program Using HEPTA-Sat

宮崎・山崎研究室

Miyazaki Yamazaki Laboratory

前後 太河

Zengo Taiga

In recently year, although it is expected that the market of space industry will be higher in the future, there is shortage of human resources in the space field. Such as CubeSat Project, OJT type education, although it can gain knowledges which suit its area, have some problem which is not to be able to conduct to multiple people, to take a long time and not to get a global understanding about the system. In addition, many tacit knowledges, which are gained through experience so far, may be lost without being inherited to next generation because it was not be formalized. In this paper, in order to solve these problems and develop human resources, we developed an education program. It extracts and inherits tacit knowledge at the same time in a classroom which composed of instructors, students, and teaching materials, and makes it possible to understand nano/microsatellite system engineering. And we clarified its usefulness from the results of the implementation at home and abroad.

第1部 序論

1. 研究背景

1.1. 宇宙産業の発展と人材不足

近年の世界の宇宙産業は、欧米を中心に国家事業から民間事業(商業)へとシフトが進んでおり、宇宙産業の技術革新に加え、第四次産業革命により、宇宙とITが結節する多数の新規ビジネスが興隆し、世界の宇宙産業全体としては、2030年代には約70兆円規模の市場となると予測されている^[1]。このような宇宙産業への新規参入者の増加や、宇宙法の整備の必要性に伴い、宇宙工学やITなどの専門知識を持った人材の需要が高まっている。しかし、日本の宇宙産業では、航空宇宙工学を専攻した学生が必ずしも宇宙産業へ就職していないことや、非宇宙産業から宇宙産業への人材の流入が乏しいことなどを理由に、宇宙分野における人材不足が課題となっている^[2]。そこで、今後の宇宙産業を支えるためには、宇宙分野の専門知識を持った人材の育成、すなわち、知識・技術の継承を広く実施し人材の裾野を広げる試みが必要となる。

1.2. 人材開発における知識・技術継承問題

個人がそれぞれの経験から培ったノウハウのようなものを「暗黙知」と呼び、それに対し言語化された知識を「形式知」と呼ぶ。

宇宙分野に限らず技術開発の現場では、重要な知識や技能を持った熟練者がその暗黙知を十分に形式知化することなく、卒業や退職をしてしまうことは少なくない。開発に関するノウハウや重要な情報が適切に継承されず、損失してしまうことにより、組織の知識・技術レベルの低下が指摘されている。また、熟練者が仕事を成功させることができるのは、「このケースではこうする」といった、これまでの経験から得た暗黙知によるものが大きい。熟練者の暗黙知を形式知化することができれば、人材育成においても効果があると考えられる。このように、人材育成と暗黙知の損失防止の両方の観点から、暗黙知の形式知化が必要不可欠である。

一般的に、知識・技術継承には、大学の講義のように過去に体系化された知識を大人数相手に伝達する方法と、OJT(On-

the-Job Training)のように、少人数を相手に、先輩や上司がそばにつき、実務の中で、その道にあった生きた知識を習得させる方法の二つがある。技術開発においては、ノウハウのような暗黙的な知識を継承していく必要があるため、OJTが有効とされ、実践的な宇宙工学教育として、CanSat(空き缶サイズの模擬人工衛星)プロジェクトやCubeSat(数kgの超小型衛星)開発などが行われてきた。実際の開発を通して学んでいくため、上司や先輩がいる場合には非常に高い研修効果が得られるが、こうした教育機会を得られるのは、航空宇宙工学専攻を有した大学の大学院生や学部生高学年に限られ、教育を受けられる人数は少ない。また、たとえその機会に恵まれたとしても、このような衛星開発をベースとしたOJT型の教育は、通常、1年から2年もしくはそれ以上の長い時間が必要となる。また、開発規模や打ち上げまでの猶予期間などの関係から、担当者が複数の系を担当することはあっても、全ての系を担当することは難しい。そのため、システム開発全体を経験することができないことも多く、自分の担当箇所について局所的最適化を行う能力は身に付けても、衛星システム全体を通してシステム開発に必要な不可欠な全体最適の考え方を理解し、身に付けることは容易ではない。

以上のことから、多くの教育機会を提供でき、システム開発全体を経験することで、全体最適の考え方を養うことが可能で、かつ、暗黙知の継承と形式知化を可能にする新しい教育が必要であると考ええる。しかし、それらを可能とする教育であっても、同じコンテンツを繰り返し実施しているだけでは、技術の進歩に伴い、陳腐化していくことが容易に想像できる。そのため、必要とされる知識・技術を教育できるように、技術の進歩に合わせ、コンテンツ自体も持続的に発展させていく必要がある。

2. 研究目的

本研究では、高い頒布性を有する知識・技術継承が実施可能な宇宙人材育成プログラムの構築を目指し、短期間に体系的な宇宙工学および超小型衛星システム工学を習得でき、かつ、暗黙知の抽出・継承・形式知化を可能とする持続発展型の

教育モデルの提案および教材の開発を実施し、国内外での教育プログラムの実施結果を考察することで、教育モデル・教材の有効性を示す。

第2部 持続発展型宇宙人材育成プログラムの開発

1. 教育モデル

本稿で提案する教育モデルは、Fig. 1に示すように、

- ① 参加者がHEPTA-Satの開発を通じて形式知を習得する。
- ② 参加者とインストラクタとのコミュニケーションの中で暗黙知の継承・抽出を行う。
- ③ その場で暗黙知を記録し、ある程度蓄積された時点で教材に反映することで形式知化する。

以上の3ステップから構成されている。また、インストラクタが衛星開発などのプロジェクトに参加し、その中で経験を積むことで暗黙知が蓄積され、新たな技術に関する知識や暗黙知を教材に取り込むことが可能となる。この流れを繰り返すことで、新たな教材を持続的に発展させることが可能となる。1.1節では①について、1.2節では②と③について詳しく説明する。また、1.3節では理解度の評価に触れ、1.4節では頒布性を実現するための取り組みについて述べる。

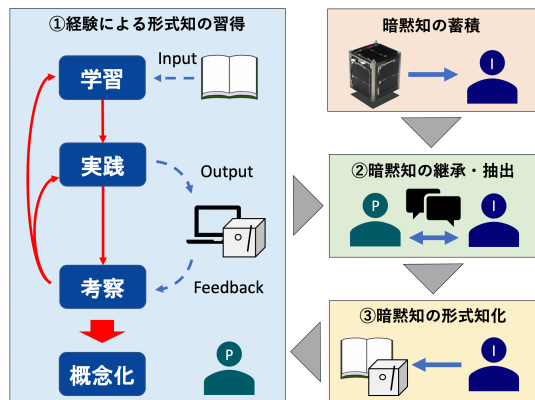


Fig. 1 Learning Model of HEPTA-Sat Training

1.1. 経験学習による知識の定着

HEPTA-Sat Training は、ハンズオン型の教育プログラムである。大学などの講義や書籍による独学では、講義や書籍の内容を読んだり聞いたりして知識をインプットするだけになりがちである。一方、HEPTA-Sat Training では、教科書兼手順書となっているテキストを読みながら、モデル衛星の「HEPTA-Sat」を開発していく。学習者はテキストを読んで知識をインプットしたのち、組み立てやソフトウェア統合、機能テストなどでアウトプットすることで各フェーズにおいて、電源がつかない、プログラムがコンパイルできない、取得データがおかしいなどのフィードバックを HEPTA-Sat から受けることができる。そのフィードバックから、その事象に向き合い、なぜそのような振る舞いをしているのか、なぜ正常に動作しないのかなどを、後ろ向き推論や前向き推論を繰り返して、原因や理由を探り、考察する。その結果、解決した際に、それが自身の教訓として蓄えられる。HEPTA-Sat Training では、この一連のサイクルを短い間隔で繰り返せるように構成しており、かつ、各ステップの差分をできる限り小さく設計しているため、トレーニングの間、似たようなシチュエーションにおいて常にインプットとアウトプットおよびその考察を繰り返すことになる。これによ

り、ある一つの事象に対する原因、理由、解決策だったものが概念化され、他の場面にも応用できる知見として蓄えることが可能となり、それを再び実践することでさらなる学びに変えていく。

1.2. 暗黙知の抽出・継承・形式知化と教材の持続的発展

単なる教育ではなく、暗黙知の抽出・継承・形式知化を実現するために、HEPTA-Sat Training の場合は、衛星開発経験者もしくは衛星開発プロジェクト参加者であるインストラクタ、参加者、教材の三者で構成する。

知識創造に注目したナレッジマネジメントの枠組みとして、SECI モデル⁴⁾が知られている。SECI モデルは、知識変換モードを4つに分け、それぞれの場を設けることで知識変換を行い、知識をマネジメントしていくモデルである。HEPTA-Sat Training における知識変換を SECI モデルに即して説明する (Fig.2)。

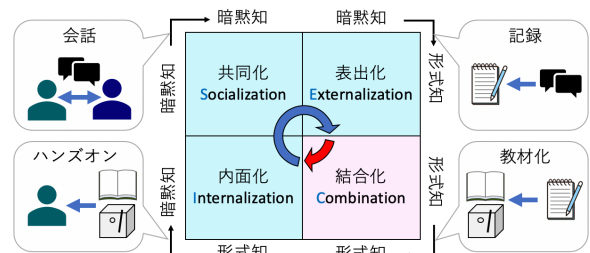


Fig. 2 SECI Model Applied to HEPTA-Sat Training

参加者はモデル衛星の開発を行っていく過程で、体系化された形式知を個人の暗黙知として吸収していく (内面化)。その後、インストラクタと参加者の間で繰り返されるコミュニケーションの中で、暗黙知の継承が行われる (共同化)。そして、その内容を記録しておくことにより、暗黙知を形式知化することができる (表出化)。プログラムを数回実施したのち、形式知化した知識をテキストやモデル衛星に反映させる (結合化)。これにより、インストラクタの持つ暗黙知が教材という形に形式知化される。

参加者のバックグラウンドは多様であることから、インストラクタとの間で生じるコミュニケーションの内容もそれぞれ異なると考えられるため、様々な暗黙知を抽出することができる。また、インストラクタは自らが所属するプロジェクトの中で経験を積むことで、新たな暗黙知を蓄えることができるため、プログラムを実施するたびに新たな暗黙知の抽出・継承・形式知化が行われ、教材を持続的に発展させることが可能となる。

1.3. 理解度の評価

プログラムの有効性を評価するために、参加者の理解度および満足度をプログラム実施前後に行うアンケートによって調査する。また、アンケートによる理解度調査はあくまで自己評価のため、客観的に評価するために理解度確認テストをプログラム実施後に行う。

プログラムおよびテキストは衛星サブシステムに対応した Lab という単位で構成されており、その Lab ごとの理解度を計測するために、アンケートでは Lab に対応したサブシステムについての理解度を5段階評価の設問を設定する。また、理解度確認テストでは、Lab ごとに重要な語句や考え方についての問題を設定する。自由記述形式で回答した根拠を答える設問も設定しており、何を理解していて、何を理解できていないのかを認識させることで理解度を深めることにつながる。将来的には、間違えた

選択肢を回答すると、どうしてそれを間違えたのかを特定し、自動的に復習すべき箇所を指摘するシステムの構築を目指す。

また、超小型衛星システム開発や他のシステム開発に適した人材の評価システムとして本教材・トレーニングが利用できないか検討している。そのためには理解度だけではなく、問題解決力やマネジメント力、急な出来事や要求変更などへの対応力など、能力をいかにして測定するかが問題となるため、能力の可視化なども検討していく必要がある。

1.4. 国際的に展開可能なパッケージ

第1部で述べたように、人材育成の現場では、OJT が広く採用されているが、長い時間を要する上に、1対1など少数相手では知識や技術を伝えることができないため、知識・技術を広く展開する上では適していない。一方で、HEPTA-Sat Training はコンテンツを1つの箱に詰め、キット化することにより、国内外問わず、インターネット環境とPC、キット、インストラクタさえあればどこでも複数人を相手に研修を行うことが可能となり、知識や技術を広く展開するのに適した形とした。

また、多くの人に提供するためには、展開の容易さだけではなく、教育機会の増加が必要である。インストラクタや広報活動をするファシリテータとして HEPTA-Sat Training Program に賛同する協力者を国内外で募り、活動拠点を各地に築く試みも実施中である。さらに、インストラクタを育成するためのプログラムも毎年実施しており、修了者が母国や周辺国においてプログラム実施できるようなライセンス制度を構築中である。

2. 教材・カリキュラム

2.1. モデル衛星「HEPTA-Sat」

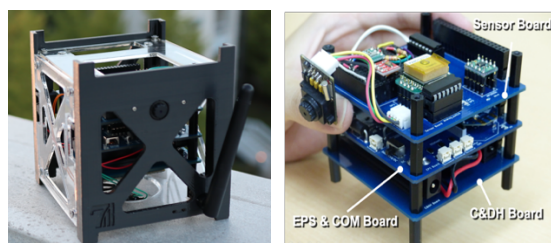


Fig. 3 HEPTA-Sat (Right: inside of structure)

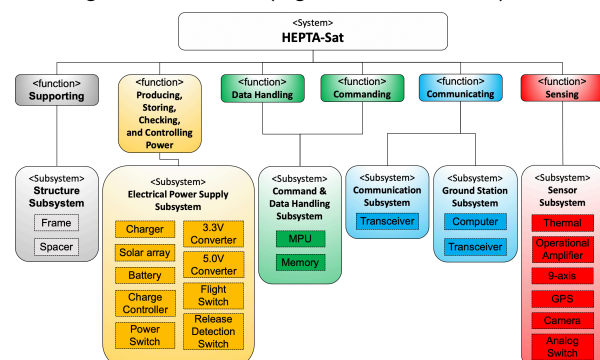


Fig. 4 System Architecture of HEPTA-Sat

超小型衛星教育キット「HEPTA-Sat」(Fig. 3)は、世界的に活発に開発されている1U(10cm立法)サイズのCubeSatと同じ大きさで、ほぼ同様の機能を有している。3枚の基板に各コンポーネントが搭載されており、6つのサブシステム(構造、電源、コマンド&データ処理、通信、センサ)が、6つの機能を実現している(Fig.

4)。PCにHEPTA-Satと同様の通信機を接続することで、衛星-地上局間の通信を模擬することもできる。ほとんどのコンポーネントはDIP化(ソケットに差し込むだけで実装できるようにすること)されており、半田付けなどの技能は必要としないうえ、インターネットとPCさえあれば誰でもどこでも簡単に開発することができる。

2.2. 教科書×手順書を目指したテキスト

テキストは、Table 1 に示すように、超小型衛星の定義や有用性を理解するための Introduction とプログラミング言語、衛星を構成する各サブシステムの役割や設計・組立・統合方法を理解するための Lab0~Lab7 の7つの要素で構成した。構成されている。内容は超小型衛星の概要に始まり、プログラミングの基礎、衛星を構成する各サブシステムの章へとつづく。各サブシステムの章では、一般的な衛星における機能やそれに関する専門用語の説明をする Lecture Part と、組立・統合・試験方法が手順書のように細かく段階的に記述されている Hands-on Part に分かれている。理論と実践が交互に組み込まれており、一つ一つのステップが飛躍しないよう、できるだけ差分が小さくなるように構成されているため、独学でも超小型衛星開発に必要な最低限の知識が得られるように構成されている。キットおよびテキストは、定期的に改定を繰り返すことで、プログラム中に抽出された暗黙知の形式知化を実現している。

Table 1 Contents of Textbook

Chapter	Descriptions
Intro.	What is CubeSat? How to develop it?
Lab#0	Components Specification and Selection
Lab#1	Construction of Development Environment for Hands-on Training and Programming Practice
Lab#2	Electric Power Supply (EPS) Subsystem Design and Management
Lab#3	Command & Data Handling (C&DH) Subsystem Design
Lab#4	Sensor Subsystem Design
Lab#5	Communication (COM) Subsystem and Ground Station (GS) Subsystem Design
Lab#6	Structure (STR) Subsystem Design
Lab#7	Mission Design, System Design and Implementation

2.3. カリキュラム

超小型衛星システム教育プログラム「HEPTA-Sat Training」は、Fig. 5に示すように、基本部と応用部の2部構成になっており、IntroおよびLab0~Lab6からなる基本部と、Lab7からなる応用部で構成される。基本部ではモデル衛星の開発を通し、衛星システムアーキテクチャの理解を目指し、応用部ではミッションの考案することで実際に自分たちの衛星を成功させる上で何が必要かを考え、システムズエンジニアリングの考え方の獲得を目指す。

1章で述べたように、超小型衛星開発プロジェクトによるOJT型の教育の場合、システム開発全体を経験するのに1~2年の長い時間を要し、開発は各系に分かれてしまうためシステム全体を俯瞰して理解することは難しい。一方、HEPTA-Sat Trainingでは、約1週間という短い期間に、HEPTA-Satの開発に加え、それを用いたミッションの考案から開発、試験、成果報告会を行うなど、

衛星システム開発プロセス全体を経験することができる。また、HEPTA-Satの開発段階では、機能の理解・組立・統合・試験の行程をコンポーネントレベルからサブシステムレベル、システムレベルとシステムが構成されるまで段階的に繰り返し実施することで、コンポーネントがどのようにサブシステムやシステムを構成しているのか、コンポーネントがシステムやサブシステム内でどのように振る舞うのかなど、局所的な理解ではなくコンポーネント・サブシステム・システムのつながりを意識した上で全体的な理解が可能となる。

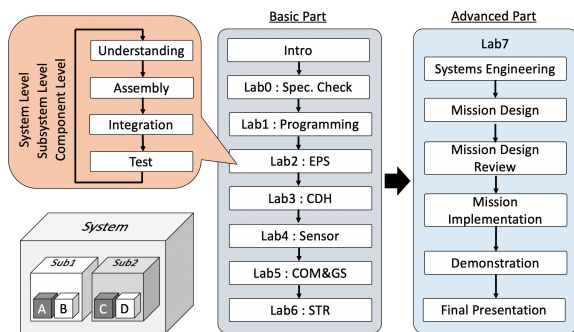


Fig. 5 Curriculum of HEPTA-Sat Training Program

3. 実施結果

3.1. 実施実績

2017年9月から本格的な海外へのプログラムの展開を開始し、2019年2月までに、産学官、文系・理系の様々な組織・人物を対象としたトレーニングを計12回実施し、37カ国から212人が参加した。Fig. 6は、参加者の分布を表わしており、緑の国はHEPTA-Sat Trainingを実施した国を、青の国はHEPTA-Sat Trainingに参加した人の出身国を表している。日本だけでなく、世界各地から参加者が集まり、多くの人々にプログラムを提供できていることから、頒布性の高さが伺える。

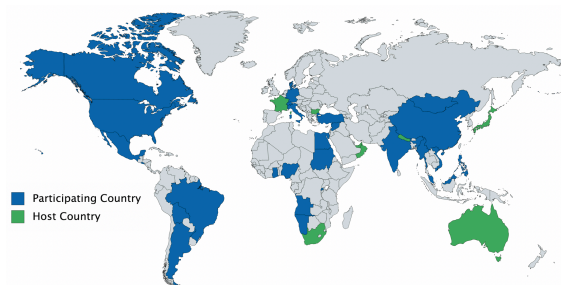


Fig. 6 Distribution of Participants

3.2. アンケート結果と考察

Fig. 7にアンケート項目および参加者のエンジニア/非エンジニアの割合を、Fig. 8に、これまでに参加者に対して実施したアンケートの結果を示す。

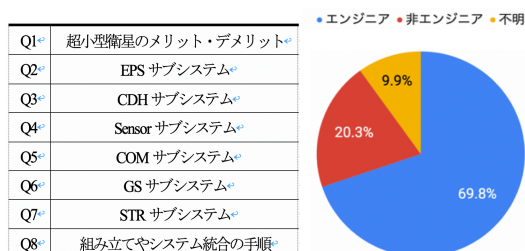


Fig. 7 Contents of Questionnaire / Rate of Participants

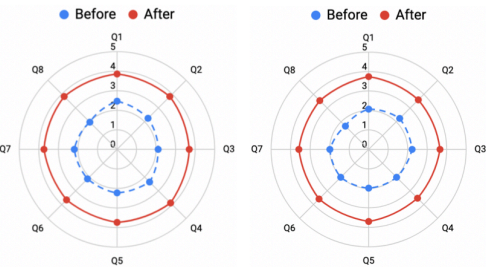


Fig. 8 Results of Questionnaire (Left: ALL, Right: non-Eng.)

アンケートの理解度評価に関する項目は、プログラムの実施前と実施後において同様の質問を5段階評価方式で設置し、各実施前後においての変化を計測できるようにした。Fig. 7, 8より、エンジニアかどうかに関わらず、全ての項目において、プログラム実施前よりも、実施後の数値が上回る結果となった。これにより、参加者はプログラムを通して、各サブシステムの理解を深め、衛星システム全体についての知識を身につけることができたと言える。また、アンケートから「宇宙でのものづくりの要諦を短期間で学ぶことができた」「衛星システムの機能について理解できた」とあり、このプログラムが開発者・利用者関係なく宇宙分野の人材開発に有効であると言える。

また、参加者から「各 Lab でハンズオンを始める前に、簡単なレクチャーがあると良かった」という意見が多かった。現状、ハンズオン学習に重点を置き、各々のペースを尊重していたため、インストラクタが説明するのはプログラムの最初に行う Introduction のみであったが、進みの早い人・グループに合わせて簡単な説明をするなど検討が必要である。

4. 結論・今後の課題

本研究では、高い頒布性を有した知識・技術継承が可能な宇宙人材育成プログラムの開発を目指し、短期間に超小型衛星システム工学を習得でき、かつ、暗黙知の抽出・継承・形式知化を可能とする教育モデル・教材を提案し、国内外での実施結果から、提案する教育モデル・教材が有効であることを示した。

HEPTA-Sat Training では超小型衛星を題材にしているが、超小型衛星は、システムという点でロケットや自動車、ソフトウェアなどと変わりはない。また、様々な学問分野の知識の集合体であるため、システム教育として宇宙分野の人材だけでなく、他分野の人材育成として利用できると考えている。そのため、今後は、より抽象的な概念として、知識を体系化することや、複雑なシステム開発に有効とされる Model Based Systems Engineering (MBSE)の導入することでより高度なシステム教育を目指す。また、評価に関するコンテンツを充実させ、参加者の理解を支援するシステムや人材評価システムを構築することを目指す。

参考文献

- [1] 経済産業省, 宇宙産業分野における人的基盤強化のための検討会報告書, At <http://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180501001/20180501001-2.pdf>, 2018, P12
- [2] 宇宙政策委員会 宇宙産業振興小委員会, 宇宙産業ビジョン 2030, At https://www8.cao.go.jp/space/public_comment/vision2030.pdf
- [3] 野中郁次郎, 知識創造企業, 東洋経済新報社, 1996