

超小型人工衛星開発における新規参入者への開発方針決定支援 および情報取得支援に関する研究

Study on Support of Development Orientation and Acquisition of Information to New Entrants in the CubeSat Development

宮崎・山崎研究室

Miyazaki-Yamazaki Laboratory

越智紘輝

Ochi Hiroki

Recently, the technology succession problems occur because of loss of tacit knowledge of CubeSat development. This paper suggested that support of development orientation and acquisition of information to new entrants to solve these problems using the Design Structure Matrix method. Applications of DSM to two models, which are standard CubeSat development process and detailed process about BBM development schedule, are presented and discussed. Process DSM visualizes interaction of each process. The applications show an index of the information that should be acquired and contribute to lowering a man-hour. Furthermore this paper suggested a concept of template item to record and acquire the process information efficiently.

1. 研究背景・目的

近年、国内外において超小型衛星開発はますます盛んになり、今後さらに衛星開発のノウハウに関する情報の共有および新規参入者が容易に開発を始められるような環境作りが必要である。^[1]このような情報の共有化や新規開発者への環境作りの必要性が議論されているひとつの背景として、大学等、人の入れ替わりの激しい研究機関では、プロジェクトの重要な情報が適切に継承されず、損失することにより技術レベルが低下するといった、技術継承問題が発生していることが挙げられる。^[2]その対策として現在までに行ってきたものとして、日本大学宮崎・山崎研究室では学部1年次から衛星開発の基礎を習得できる衛星工房というトレーニングコースを実施してきた。^[3]また、実機を用いた実践的なトレーニングとして、7cm立方の超小型人工衛星 HEPTA-Sat(Fig.1 左)を現在利用している。HEPTA-Satは超小型衛星の開発プロセスを短期に経験し、宇宙工学の基礎知識を獲得することを目指した地上利用用の教育ツールである。^[2]その他の教育ツールとしては、缶の形をした超小型の衛星模擬モデルである Cansat(Fig.1 右)などが挙げられる。^[4]

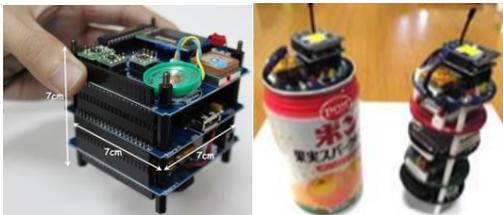


Fig.1 HEPTA-Sat, Cansat^[2]

このように模擬人工衛星を用いたトレーニングにより超小型人工衛星の知識を獲得する取り組みがなされているが、実際に CubeSat を設計・開発し、試験、打ち上げや運用といった工程すべてに関するノウハウを獲得するのは難しい。HEPTA-Sat 等とは違い、CubeSat を数機開発して教育用に使用するということはコストの面から見ると考えにくい。従って、実機を用いない方法で CubeSat 開発に関する技術を継承する方法を考えなければならない。過去には、超小型人工衛星のシステムモデル

を構築・管理・共有すること、モデルベースシステムズエンジニアリング(MBSE)による上流設計を行うこと、過去に開発された超小型衛星のシステムモデルを保存し、再使用することができるといった機能を持つ Web アプリケーション BALUS が開発されている。^[5]また、九州工業大学が各衛星の情報を収集し、超小型衛星搭載民生部品データベースを一般に公開しておりユーザー名とパスワードがあればアクセスできる。^[6]これらのようなツールを用いて情報取得の支援を行うことで技術の継承を目指す試みがあり、本研究ではシステムエンジニアリングの手法を利用した新規開発者への開発方針決定支援について議論し、超小型衛星の開発プロセスに関して残しておくべき情報の指標を提案することで技術継承の強化を図った。

2. アプローチ方法

超小型衛星開発において、ほどよい信頼性を適切なコストで実現するための「ほどよい信頼性工学」の構築が目指されている。「ほどよい信頼性工学」には、大型衛星で標準化されているような開発プロセスから必要最低限のプロセスだけを適用することで工数を下げるプロセスアプローチが提案されており、具体的には各プロセスをなぜ実施するかといった目的であるメタプロセスを考えながら状況によってプロセスを設計し実施する。^[7]本研究では、CubeSat 開発プロジェクトに関しての新規参入者が得るべき超小型衛星開発の情報をプロセスに絞り、それらの情報をデザイン・ストラクチャー・マトリクス(DSM)というモデルを用いて、新規参入者が必要最低限のプロセスだけを適用することで工数を下げる方法を議論する。具体的な議論は3章にて行う。

また、現在まで超小型開発を行ってきた各研究機関において、開発情報が膨大に保管されている状況で、得たい情報を的確に探し出して利用することが容易ではないため、3章で議論される超小型衛星の標準的なプロセスをもとに情報取得を支援するコンセプトの提案を4章にて行う。

3. DSMを用いた衛星開発方針決定支援

3.1. DSM法の説明

デザイン・ストラクチャー・マトリクス(以下 DSM)は、システムを構成する要素とそれらの相互作用を表すために用いられるネットワークモデリングツールである。DSMはN個のシステム要素間の相互関係を写像して、正方形のN×Nのマトリクスとして表される(Fig.2^[8])。以下の Fig.2 の DSM の例はプロセス DSM を表しており、マトリクスの列から行へ赤色に示してあるセルがプロセスのフローを表しており、プロセスのアクティビティのフローを可視化することが可能である。^[9]

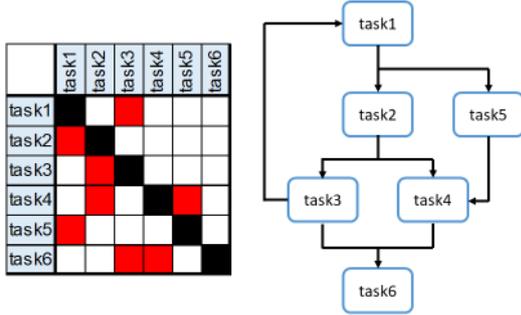


Fig.2 Example of DSM

本研究では、標準的な CubeSat の大まかな開発プロセスにおける各工程の関連度把握支援としてのプロセス DSM, より細かなプロセスとして宮崎・山崎研究室において開発中の大気電気計測による自然災害減災を目指した超小型衛星「PRELUDE」の基本設計前のフェーズでの工程に関する DSM の二つについて議論を行う。

3.2. CubeSatの標準開発プロセスに関する「大工程」DSMとプロジェクトごとの各フェーズでの「小工程」DSMの利用

衛星のようなシステム開発では、ある工程の成果が別の工程を遂行するために必要になることがある。その為、どの工程の成果をどの工程で使用するのかを可視化することで、自分が担当している工程がどの工程に影響を及ぼすか、また及ぼされるかが把握できる。以下では主に CubeSat の各フェーズに関する「大工程」とそれに付随する各衛星プロジェクトに特有の各フェーズでの「小工程」のインタラクションを可視化する。

宮崎・山崎研究室では過去に超小型衛星として「SEEDS」, 「SEEDS-II」, 「SPROUT」の3機の開発を行ってきた。保管されているそれらの設計情報や、システム開発における V 字モデル、大まかな開発プロセスをまとめた書籍^{[11][12]}等を参考に標準的な CubeSat のプロセスを「要求分析, 外部機関との手続き準備, 概念設計, MS DR, 基本設計, PDR, EM 設計, EM 試験, CDR, FM 設計, FM 試験, 外部機関との手続き, 受け入れ審査, 運用」といった 14 個のフェーズに分類した。第一階層を 14 個のフェーズ, 第二階層を各フェーズでの「目的」, 第三階層をその目的を達成するための「大工程」, 第四階層を大工程を構成するプロジェクトごとの詳細な工程「小工程」とした。第三階層までの DSM を Fig.3 に示す。第三階層の「大工程」を決める際の注意点としては、一つの工程が終わると成果物が生じるような工程であることと、各ミッションによって左右されない標準的な大工程を網羅するために各ミッションだからこそ抽出されるような工程は選定しないことである。

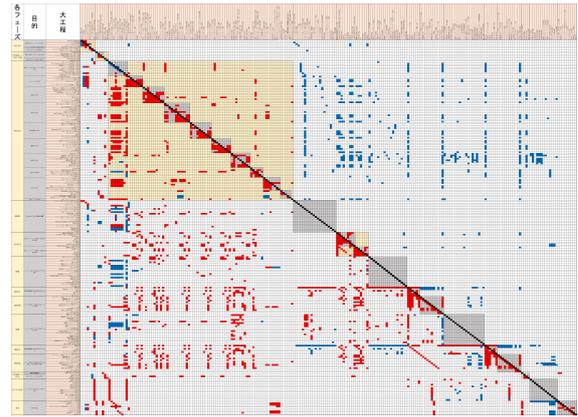


Fig.3 Development Process DSM of Standard CubeSat

Fig.3 の各要素は行・列が増える方向に時間的に後の工程である。Fig.3 の各セルの意味は Fig.4 のようになっている。

	工程1	工程2	工程3
工程1	黒	赤	
工程2	赤	黒	青
工程3	青		黒

Fig.4 Expression of Interaction

- ・工程 1(列)→工程 2(行)の赤セル
対角線の左下のセルであるため、順番通りに工程 1 の成果を工程 2 で使用することを表す。
- ・工程 1(列)→工程 3(行)の青セル
対角線の左下のセルであるため、順番通りに工程 1 の成果の条件によって工程 3 で使用する場合もあること、もしくは必ずしも使う必要はないが工程 1 の成果があると工程 3 を行う援助となることを表す。
- ・工程 2(列)→工程 1(行)の赤セル
対角線の右上であるが、フェーズとしては同フェーズの工程であり、工程 2 の成果を工程 1 で使用することを表す。
- ・工程 3(列)→工程 2(行)の青セル
対角線の右上であり、時系列的に後工程からの前工程へのインタラクションであるため、工程 3 の結果、工程 2 をやり直す場合があることを表す。

Fig.3 の結果から各フェーズでのインタラクション数を示したものが以下の Fig.5 である。

各フェーズ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
要求分析	1	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
外部機関との手続き準備	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
概念設計	3	38	21	73	138	43	38	44	41	38	44	23	37	0
MSDR	4	15	4	114	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
基本設計	5	0	1	118	0	4	0	3	0	0	3	0	6	0
PDR	6	1	8	120	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
EM設計	7	2	0	76	25	18	29	0	18	4	0	2	0	0
EM試験	8	4	0	102	0	30	0	32	0	4	0	0	0	0
CDR	9	11	0	103	27	21	14	15	22	0	0	0	0	0
FM設計	10	2	0	59	25	15	29	0	3	32	0	18	0	4
FM試験	11	4	0	102	0	30	0	9	9	20	32	0	19	0
外部機関との手続き	12	3	12	31	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0
受け入れ審査	13	13	0	26	0	0	4	9	18	4	9	0	0	0
運用	14	6	12	37	0	0	0	6	0	0	0	8	28	0

Fig.5 the Number of the Interactions in Each Phase

Fig.3 の DSM の第三階層の「大工程」の羅列は各ミッションによって左右されない標準的な工程を網羅するために各衛星プロジェクトによって異なるような購入部品、細かい計算方法等の詳細な記述は避けている。新規開発者は保存されているミッションごとの小工程に関する情報を見て、目的に沿った小工程だけを採用し、工数を下げることができるため、Fig.3 のような大工程を基に小工程をプロジェクトごとに残しておく必要がある。各フェーズの小工程を含む DSM を議論するため、その一例として本研究では 14 個あるフェーズのうち基本設計に関して、現在開発中の超小型衛星「PRELUDE」におけるスケジュールを整理したものに DSM モデルを適用し、「小工程」に関する影響を可視化した。Fig.6 に「PRELUDE」に関する BBM 開発での DSM を示す。各系の工程のインタラクション数を示したものが Fig.7 である。各インタラクションの意味は Fig.5 と同様である。

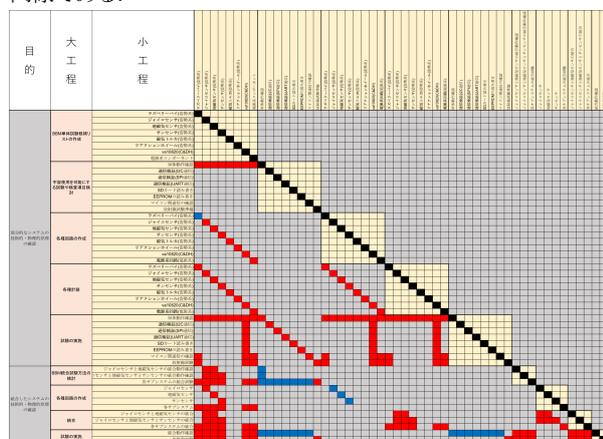


Fig.6 BBM Process DSM of PRELUDE

各大工程	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BBM単体試験候補リストの作成	1	0	0	0	0	0	0	0	0
宇宙使用を可能にする試験や検査項目検討	2	8	0	0	0	0	0	0	0
各種回路の作成	3	8	0	0	0	0	0	0	0
各種計装	4	8	0	8	0	0	0	0	0
試験の実施	5	19	8	19	19	0	0	0	0
BBM統合試験方法の検討	6	11	10	0	0	0	0	0	0
各種回路の作成	7	9	0	3	0	0	0	0	0
統合	8	11	0	0	11	0	0	6	0
統合試験の実施	9	12	8	0	0	8	6	0	6

Fig.7 the Number of the Interactions in Big Process

新規参加者が作業に取り掛かる場合の流れを以下のように仮定した時にこれらの「大工程」と「小工程」に関する DSM の利用方法を Table.1 として提案する。

Table.1 Support of Development Orientation Using DSM

①参入時のプロジェクトのフェーズを把握する。

②自分がこれから行う Fig.3 で与えられるような標準的な大工程を把握する。

その際、これから行う大工程とインタラクションのある前工程に関しての情報を把握すれば、これから行う工程に関して知っておくべき最低限の情報を効率的に獲得できる。

③大工程に付随する過去の衛星における Fig.6 のような小工程を把握する。

その際、これから行う小工程と同じもしくは類似した小工程とインタラクションのある前工程後工程の情報を確認することで方針決定支援となる。

④過去の情報等を参考に新規に行う小工程を決定する。

その際、新規に決定した小工程の DSM を作成し、工程同士のインタラクションが多くなったものは(他の工程への影響が大きいので)重要度が高くその工程が完了しないとインタラクションのある他の工程も付随して完了しないことから、その工程をより時間を割いて行ったり、人材を割いたり、早めに取り掛かる等方針を決める。

⑤自分達が行う小工程を定めたら、Fig.3 に戻り、現在行っている大工程とインタラクションのある後工程に関して、過去のプロジェクトの情報(その工程を行うために具体的に何の情報が必要だったか)を確認して定めた小工程だけで後の工程で必要となる成果を出すに足る小工程になっているか判断する。

⑥定めた小工程を行う。

プロジェクトごとに大工程は多少変化し、小工程に関してはプロジェクトに固有のものが多数存在するため、必ずしも全て Fig.3 や Fig.6 等の工程を採用する必要はない。また課題として、DSM は経験的な暗黙知を根拠に作成されるためインタラクション内容を具体的に確認するには各工程での成果を把握して、何に使用されているかを知る必要がある。その為、Fig.3 における大工程を基準として、その大工程ごとに Fig.6 のような DSM と各小工程の情報(目的・方略・根拠・成果物等)を随時残しておくことで、次期衛星開発時に各作業工程を思索する際の方針決定の支援になる。4 章ではそのような情報把握の支援となりうるコンセプトを提案する。

4. 開発プロセスを基準とした情報取得支援コンセプトの提案

3 章における大工程と小工程に関する DSM の課題を解決するために、膨大に保管されている開発中の衛星の現在までの工程及び過去の衛星の設計情報から得たい情報を的確に探し出して利用することが可能な情報取得支援に関するコンセプトの提案を行う。情報取得システムを構築する場合「ユーザーが取得したい情報」、「情報の検索・提示方法」、「保存しておく情報の形式」、「保存しておく情報の場所」の検討が必要である。本コンセプトでは上記の 4 項目についての具体的内容や手法・機能について提案する。

・ユーザーが取得したい情報

3 章の議論より、各衛星の各フェーズにおいての大工程と小工程ごとの詳細な情報を取得することで開発方針を決める際の支援になる。

・情報の検索・提示方法

仮に Fig.3 で選定したような大工程一覧メニューを最初にユーザーに表示した時、ユーザーがこれから行う大工程を検索・選択する。

→選択した大工程において Fig.3 の DSM におけるインタラクションのある前工程と後工程の一覧を表示する。また選択した

大工程に付随している過去の各衛星の小工程も表示する。ユーザーは以上の表示された情報を 3 章で提案した Table.1 の利用方法に沿って開発方針を決定していく。

・保存しておく情報の形式

開発時の情報は計算結果、選定したコンポーネントの仕様や試験手順等様々な種類の情報であり、excel や pdf ファイル等それぞれの情報に適切な残し方があるため一つの保存形式ですべての情報を残すのは困難であり適切ではない。しかし、それら全てから時間を掛けずに得たい情報を取得するのも困難であるため、ユーザーはテンプレートとして一つの小工程ごとに以下の Table.2 の 7 つの重要な項目に絞って簡易的に記録しておくことを提案する。

Table.2 Template Items of Small Process

テンプレート項目	項目として選定した理由
目的	メタプロセス (なぜその工程を実施したのか) ^[7] が重要であるため
方略	どんな手法で実施したかは暗黙的であり ^[13] 、記録しておく必要があるため
根拠	なぜその成果物が完成形なのか理由を明確にして成果物の信頼度を確保するため
成果物	その工程によって生み出された情報が何であるかを示すため
記録者名	責任の所在を明確にし、プロジェクトに携わっている場合直接話を聞けるため
記録日	同じ工程でもテンプレートの他項目の改訂をする場合があるため
ミッション内容	各プロジェクトに固有の工程が存在するため

ユーザーはこれらの項目を確認後、自分らの衛星開発にも同様の小工程を採用する際はその小工程について過去保存しておいた具体的な計算結果、選定したコンポーネントの仕様や試験手順等の情報を記載したファイルや参考文献の情報を取得する。このように情報の取得時にクッションを置くことで、効率よく得たい情報を取得し開発方針を決定できる。

・保存しておく情報の場所

各小工程に関する詳細な情報を保存しておくハードディスクは必要であるが、各小工程に Table.2 のようなテンプレートを作成する場合は、データベースの保管が有効である。データベースとは表を利用してデータを管理することであるが、データベースにおいては、全て同一な項目を持つ工程の二重登録を防ぐことが容易である。^[13]また Table.2 がテンプレートの場合は、目的等の項目が同じ工程だけを表示することが可能であり、同じ目的の小工程同士でも別項目の記録日やプロジェクト名等を比較することで自分らの状況により近い小工程を選択することが可能となる。

5. 結論と課題

・超小型衛星の開発プロセスに関する DSM モデルは開発方針決定支援および情報取得の支援となり全体を通しての工数を

下げることが可能である。

・方針決定支援や次期開発時での工数を下げるためには継続して各フェーズにおいて大工程に付随する小工程を追加し小工程の DSM を作成していくことが必要である。

・開発プロセスに関して大工程を示し、そのような基準に付随する各プロジェクトの小工程の詳細情報の把握支援方法として、データベース等を用いて小工程を記録しておくときに利用するテンプレート項目や効率良く取得するためのコンセプトを提案した。

参考文献

- [1] 川島レイ (UNISEC), 宮崎康行 (日本大学), 中須賀真一 (東京大学), 木村真一 (東京理科大学), 趙孟祐 (九州工業大学), 佐原宏典 (首都大学東京), 船瀬龍 (東京大学), 山崎政彦 (日本大学): 大学衛星の発展と UNISEC. 第 61 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1112, 2017.
- [2] 河内康輔, 黒瀬正裕, 片山純: 超小型人工衛星教材を用いた技術継承法. 日本大学理工学部卒業論文, 2017.
- [3] 早瀬亮, 池田雅央, 伊藤美樹, 井上祥子, 藤井大輔, 亀村裕之 (日本大学大学院 理工学研究科): 超小型人工衛星開発における新入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講演集, 3E07, 2010.
- [4] 神武直彦 (慶應大), 坂本啓 (東工大), 白坂成功 (慶應大), 山田皓司 (理科大), 須藤雄哉 (慶應大), 土岐周平 (首都大), 梯友哉 (慶應大): Cansat 開発におけるシステムズ・エンジニアリングの適用~PBL 型教育プログラムの構築~. 第 54 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3E05, 2010.
- [5] 南部陽介 (大阪府立大学大学院), 三浦政司 (鳥取大学), 吉澤良典 (東京大学), 萩原利土成 (サイボウズ株式会社), 木村俊介 (JibeMobile 株式会社): 超小型衛星開発のためのオープンエンジニアリングプラットフォーム. 第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1A16, 2013.
- [6] 趙孟祐, 清水達生, 河野誠司 (九州工業大学), 梅里真弘, 前川和彦, 岡範全 (宇宙システム開発利用推進機構): 超小型衛星搭載民生部品データベースの公開について. 第 61 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1101, 2017.
- [7] 白坂成功 (慶應義塾大学), 中須賀真一 (東京大学): ほどよし信頼性工学とその適用. 第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3001, 2013.
- [8] DSMweb.org The Design Structure Matrix(DSM) . At <http://www.dsmweb.org/>.
- [9] Steven D. Eppinger, Tyson R. Browning 著, デザイン・ストラクチャー・マトリクス DSM 複雑なシステムの可視化とマネジメント, 慶應義塾大学出版会, 2014 年.
- [10] 宮崎康行 著, 人工衛星をつくる 設計から打ち上げまで, オーム社, 2011.
- [11] 増田剛志 著, 宇宙技術入門と小型衛星, 東京図書出版, 2015.
- [12] 赤堀侃司, 教育工学への招待 新版 (ジャムハウスの教育書), ジャムハウス, 2013.
- [13] メディックエンジニアリング谷尻かおり著, これだけはおさえたいデータベース基礎の基礎, 技術評論社, 2017 改訂, P.69.