

## 超小型人工衛星における HILS を用いた検証方法の提案 Proposal of verification method using HILS in Nano/Micro satellite

○岸俊亮<sup>1</sup>, 福島のぞみ<sup>2</sup>, 山崎政彦<sup>3</sup>Shunsuke Kishi<sup>1</sup>, Nozomi Hukushima<sup>2</sup>, Masahiko Yamazaki<sup>3</sup>

Abstract: Recently, the number of launched Nano/Micro-satellites(1-50kg) is sharply increasing, and the number is expected to be up to 2800 in the next five years. However, Nano/Micro satellites of about 60% have not been able to achieve the all mission due to failure on orbit. In addition, according to the results of the defect investigation, more than half of the causes are reported to be able to take countermeasures on the ground before launching. Because it is difficult to repair satellites after launch, this research is aimed at reducing defects and improving reliability of satellites through ground-based verification.

### 1. 概要

近年, 1~50kg 級の超小型人工衛星の打ち上げが増加しており, その数は今後 5 年間で最大 2800 機の打ち上げが予想されている<sup>[1]</sup>. しかしながら, 軌道に到達した超小型人工衛星の約 60% が不具合などの原因により Full Mission の達成に至っていない<sup>[2]</sup>. Figure1 に 2000~2018 年に軌道に到達した超小型人工衛星における Mission Status について示す.

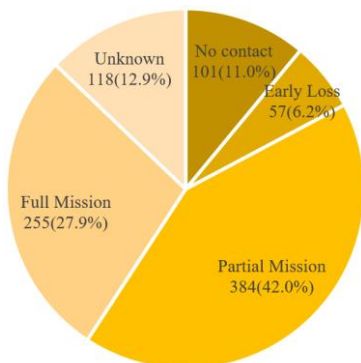


Figure1. CubeSat Mission Status(2000-2018)<sup>[2]</sup>

また超小型人工衛星の軌道上における不具合の調査結果によると, 原因の半数以上が打ち上げる以前に地上で対策をすることができると報告されている<sup>[3]</sup>. 人工衛星は打ち上げ後に修理をすることは困難なため, 開発段階にてもれのない地上試験を実施し検証することが重要である. このような背景より, 本研究は地上での検証により人工衛星の不具合低減・信頼性向上を目標として行う.

### 2. 検証における課題と従来の研究

検証における課題としては, ミッションの高度化によるシステムの複雑化が挙げられる. システムの複雑さは検証の項目の増加をもたらし, 結果的に検証項目の見落としが発生してしまう. さらには順序を考え検証

を行わないと, 開発に後戻りが発生し開発の遅れの原因にもなってしまう. そのため通常暗黙的に行われている開発段階の検証について, 検証項目を洗い出し, タイミングや順序, また検証項目同士の相互関係を可視化し, そのプロセスに沿った検証を実施することが求められる.

課題に対して, 機能とシステムをそれぞれ階層化し分解することに加え, マトリクスを用いて可視化することによって, 検証項目や箇所, 検証を行うタイミング・順序, 影響範囲を明らかにする方法を本研究室では以前から提案してきた. しかし, そのプロセスに沿った検証方法については具体的に提案できていなかった. 一方で既存の検証方法としては衛星モデルやその周りを取り巻く宇宙環境などをコンピュータ上で構築したシミュレーション SILS (Software In the Loop Simulation) が一般的に使用されてきた. しかしながら SILS は実機を使用した検証ができない. それはコンピュータ上で衛星や取り巻く環境など全てを模擬しているため実機と置き換えることが困難だからである.

### 3. 提案手法

前節で述べた課題を解決する手法として HILS (Hardware In the Loop Simulation) を使用した検証が必要であると考え. HILS は SILS と異なり実際に使用する機器 (Hardware) をシミュレーションのループに取り込むことでより精度の高い検証が行える. 具体的にはハードウェアをシミュレーション内に取り込むことで, 宇宙環境のような実際に検証することのできない極限環境においてハードウェアを模擬的に検証することができる. これにより実際に軌道上で不具合が起きる原因を発見しやすくなり事前に対処ができる. そのため, より信頼性の高い検証が行うことができる. さ

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・学部卒・航宇 3 : 日大理工・教員・航宇

らには HILS はコンポーネントごとにハードウェアを使用するかコンピュータ上で模擬をするかを決められるため、開発段階に合わせた検証が容易に行える。そのため開発の後戻りを防ぐことができ短期間および低コストの開発につながる。次節ではその検証方法について述べる。

#### 4. 検証フロー

検証のフローとしては検証のもれを防ぎ開発段階に合わせた検証を行うために、詳細部分の検証から人工衛星全体の評価までを段階的に検証していく必要がある。

開発の初期段階ではソフトウェアのみで構築されたシミュレーション、SILS による検証を行う。ここではハードウェアの選定やソフトウェアの動作確認を実施し、人工衛星に搭載する機器などのハードウェアがない状況下でも検証が行えるのが利点である。

しかしながら、3 節で述べたようにソフトウェアのみでの検証では不十分である。人工衛星に搭載する機器を SILS の対応する部分と置き換えた HILS による検証を行う。HILS では開発段階に合わせコンポーネントの検証から人工衛星のシステム全体の検証まで行える。例えば Actuator の検証を行う場合は、それまで模擬されていた Actuator とその入出力関係をハードウェアで置き換え、それ以外は SILS 同様にコンピュータ上で模擬をする。(Figure2)

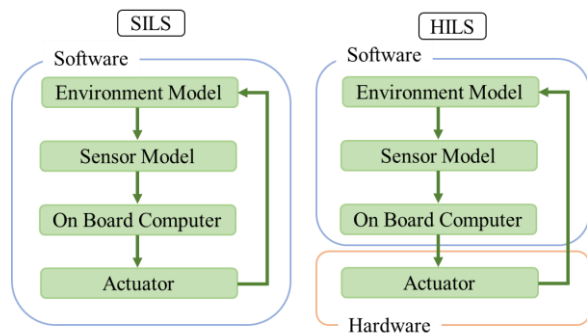


Figure2. SILS と HILS の相違点

シミュレーション内にて使用するハードウェアをコンポーネントごとに段階的に増やす。そうすることで、検証の抜け漏れを防ぐことができる。最終的には宇宙環境のみを模擬した HILS にて EM (Engineering Model) や FM (Flight Model) を用いて人工衛星全体の検証を行う。

このような開発段階に合わせた検証を行うことで、検証もれを防ぐだけでなく、大幅な後戻りがなくなり短期間および低コストの開発の実現にもつながる。

#### 5. 今後の課題

本稿では SILS に加え HILS による検証を行うことの利点とその検証方法を中心に述べた。今後は提案した HILS の構築を行い、また本研究室で開発している地震先行現象検知検証衛星「Prelude」に対してその検証を実施する。さらには軌道上のデータと比較することで宇宙環境の再現性や有効性の評価をする必要がある。

#### 6. 参考文献

- [1] Space Works, 2019 Nano/Microsatellite Market Forecast 9<sup>TH</sup> Edition, <https://www.spaceworks.aero/nano-microsatellite-forecast-9th-edition-2019/>, p8, 2019
- [2] Michael Swartwout, Statistics and Mission Assurance Trends for CubeSats, 2019 NEPP Electronics Technology Workshop, <https://nepp.nasa.gov/workshops/etw2019/talks/0620THU/0830%20-%20Swartwout%20-%20NEPP%20ETW%202019.pdf>, p11, 2019
- [3] Mike Tolmasoff, Improving Mission Success of CubeSats, U.S. Space Program Mission Assurance Improvement Workshop, [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/improving\\_mission\\_success\\_of\\_cubesats\\_tor-2017-01689.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/improving_mission_success_of_cubesats_tor-2017-01689.pdf), p31, 2017