

K7-73

Nano/Micro-Satellite の異常検知と異常対処におけるフローの提案

Proposal of the Flow for Anomaly Detection and Proper Countermeasure to Anomalies for Nano/Micro-Satellite

○二又領¹, 山崎政彦²*Ryo Futamata¹, Masahiko Yamazaki²

Abstract: The demand of Pico/Nano-satellite(1~50kg) has increasing, and many satellites has been developed by universities and private companies. However, operators need extensive experience and high technical skill for operation and health monitoring of satellites. Therefore, the purpose of this study was a proposal the flow that is composed of Anomaly detection method, clarification of relation between anomaly data and the cause and the method of handling anomalies. This flow reduces the burden on the satellite operation for inexperienced operators and improves reliability in satellite design. Here I describe about the flow and the importance and necessary technologies for this.

1. 概要

2017年に、Nano/Micro-Satellite(1~50kg)は300機以上の打ち上げが行われ、今後も引き続き需要の増加が見込まれている。Figure1は、その市場予測を示している。

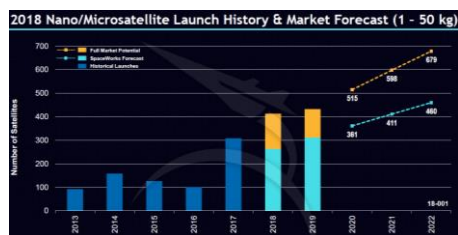


Figure 1 2018 Nano/Microsatellite market data [1]

日本大学理工学部航空宇宙工学科宮崎・山崎研究室で打ち上げた超小型人工衛星の1つに「SEEDS-II」がある。その機体を以下の図に示す。



Figure 2 Nano Satellite 「SEEDS-II」

新規参入企業や大学での衛星開発では、開発期間の長期化やミッション失敗することも多く、2002年~2009年の打ち上げ成功した大学衛星のうち61%はフルサクセスまで至っていない。[2] また、「SEEDS-II」では運用での異常検知や異常対処のシステムが構築されておらず、運用時の信頼性は低い。このような背景から、Nano/Micro-Satelliteの需要を継続させるためにも、未熟な開発者の支援が必要だ。そこで本研究は特に運用者の負担低減を目標とし行う。

2. 運用フェーズでの課題

1：日大理工・学部・航宇， 2：日大理工・教員・航宇

運用では衛星の異常検知が必要がある。この異常検知には従来、専門的知識や経験を必要とするルールベースでの診断法やモデルベースの異常検知や診断法などが使用されてきた。また、専門家でない未熟な開発者や運用者にとってはルールベース・モデルベースの異常検知システムは構築が困難で広く普及はされなかった[3]。これに代替して、近年では機械学習・データマイニングの技術が注目されている。この手法は、センサやシステム内のデータを解析し、異常を見つけるためのルールを見つけ、異常判定を行うものである。つまり、データからルールが決まるので、未熟な運用者でも異常検知が可能になるのである。

人工衛星の異常検知に関する研究は多く行われてきたが、検知した異常から対処までの繋がりには深く論じられてこなかった。しかし、運用時の信頼性確保と運用者の負担軽減するには、検知した異常と原因との間にある写像関係から対処法探索までの一連の繋がりが必要である。その繋がりを示すフローを中心に次章から説明する。

3. 異常検知と異常対処における一連のフロー

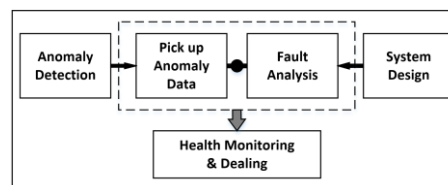


Figure 3 Anomaly Detection & Handling Flow

Figure3のフローは、異常検知・故障解析、そして異常対処までの繋がりを示したものである。まず異常検知フェーズでは、機械学習を使用した異常検知を行い、異常の原因となるテレメトリデータを抽出する。そし

て設計フェーズでは、ミッションなどから決まった衛星の構成要素に対し故障モード解析を行う。この際に、異常データと故障モード解析との間にインタフェースを持たせ、有機的に繋げることで、異常対処が可能となる。具体的には、4章にて説明する FMEA シート (Figure4)がそのインタフェースの役割もになっている。また、異常検知の精度向上には、異常検知対象となるテレメトリ設計(ソフトウェア設計)と、それに準じたハード設計へのフィードバックが重要になる。人工衛星「SEEDS-II」のテレメトリを対象とし、設計へのフィードバックする例を1つ説明する。

人工衛星「SEEDS-II」の温度に関するテレメトリデータは、二次電池2つ、送信機、受信機の4つで設計されている。ここでハード設計にて姿勢決定・制御系の基板で長時間動作により発熱が見られ、故障モード解析で発熱による他の素子への影響が見つかった。そこで、ハード設計では各系の基板に温度センサを搭載するという設計の変更、テレメトリ設計ではその温度データを追加し、異常検知の学習材料に加え、異常検知を行うようにする。この例のように、設計段階の衛星においては異常モードの分析に有効であるデータをテレメトリ (ソフトウェア) 設計に加えたり、衛星の健康把握に関与すると考えられるデータを取得するためにハード設計に対してフィードバックを与えることで、信頼性の高い異常検知・衛星設計となる。

4. 機械学習を用いた異常検知手法

超小型人工衛星ではデータの保持容量、ダウンリンクできるデータ量にて限界がある。つまり限られたリソースの中で、有益なテレメトリデータの選定が重要になる。また、テレメトリデータの特徴として、超高次元性や多モード性、非ガウス性ノイズなどがある。これらをアルゴリズムに組み込むことも大切である。以上の2つの観点を考慮することで超小型人工衛星に適した異常検知アルゴリズムとなると考えられる。「SEEDS-II」のEM機を用い、データの持つ特徴の抽出し、アルゴリズム構築を現在計画している。

5. 故障モード解析と異常検知とのインタフェース

異常データから、どんな異常が生じるかを明らかにするには、予め起こりうる故障・異常モードの分析が必要である。この故障モード解析法の1つとして、FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)の適用を考えている。これはシステムの構成要素にある故障モード

が生じた場合に上位システムにどのような影響が現れるかを予測し、考えられる原因や影響度を事前に解析・評価し、対策を講じることでトラブルの未然防止を図る手法である。^[4]超小型人工衛星用の故障解析用に FMEA Sheet として以下のものを提案する。

故障モード番号	コンポーネント	所属サブシステム	機能	故障モード	原因	影響度	関連する他のコンポーネント	単一故障 or 致命的故障	検出テレメトリ	対処法
A-1.1	解析対象のコンポーネント名を記載	どのサブシステムのコンポーネントかを記載	どんな機能・役割を持つかを記載	どのような壊れ方が考えられるかを記載	原因や故障のメカニズムを記載する	A故障のレベルで評価	対象が関連するコンポーネントを記載	故障の影響範囲がどの程度か記載	検出できるテレメトリデータを記載	どのような対処が必要かを記載

Figure 4 FMEA Sheet

異常への対処法を提案するにあたり、テレメトリデータと故障の対応関係を明瞭化する必要がある。この FMEA シートは、検出方法をテレメトリデータのうち関係するものを全て選択し行うものとする。このようにし、異常検知で検出した異常なテレメトリとの対応関係を確認できるインタフェースを持たせる。その結果、異常を検知したら、この表に従い異常コンポーネント・機能を絞り出し、推奨する対処法を容易に運用者に提示することが可能になるのである。

6. 今後の課題

本稿では Figure 3 で示したフローの重要性と必要な技術について中心に説明した。今後は「SEEDS-II」のEM機を使用し、このフローを適応させる必要がある。また、設計段階の衛星にこのフローを当て、設計へのフィードバックとその評価までを行う必要がある。

7. 参考文献

- [1]SpaceWorks, 「2018 Nano/Microsatellite Market Forecast 8th Edition」, <http://www.spaceworkscommercial.com/>
- [2]SaintLouisUniversity, 「CubusatDatabase, University-Class Mission Status(Successful Launches 1994-2017)」, <https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/smallsat2018>
- [3]矢入健久:「次元削減とクラスタリングによる宇宙機テレメトリ監視法」, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.59, No.691, pp.197-205, 2011
- [4] 海上技術安全研究所:「構造化知識研究所,FMEA(故障モードおよび影響解析)実施手順」, 海上技術安全研究所報告, 6(2)(通号 32), p.101~137, 2006