

資料21-5-3

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第21回) H27.6.3

衛星の設計寿命に関する考え方

～ TRMM・あけぼのの寿命に関する考察 ～

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
統括チーフエンジニア 本間正修

1.経緯

- 第19回文部科学省宇宙開発利用部会(平成27年1月16日開催)において“熱帯降雨観測衛星(TRMM)の運用終了”に関する報告を実施。その後の質疑応答において、委員より衛星寿命に関する下記指摘があった。
 - TRMMが設計寿命(3年2か月)を大幅に超えて(17年間)運用が可能となった要因は何か。また、得られた成果は後継衛星に活かされているのか。
- また、第20回文部科学省宇宙開発利用部会(平成27年4月9日開催)の“磁気圏観測衛星「あけぼの」の運用終了”に関する報告を実施。その後の質疑応答において、委員より衛星寿命に関する同様の指摘があった。
 - 設計寿命と実際の運用期間が乖離している要因は何か。また、得られた成果は後継衛星の設計寿命の確度向上に繋がっているか。
- 上記指摘に対する考察を以降に示す。
 - 設計寿命とは：定義と主要因
 - TRMMに関する考察
 - あけぼのに関する考察

2. 設計寿命とは：定義と主要因

- 「設計寿命」とは、「所定の機能・性能がすべて維持されて運用可能である期間」を言う。寿命を律速する主要因とその対応策を表1に示す。
- 一方、衛星の運用は、一部の機能が正常で部分的にミッションが達成できれば、運用継続の可否を判断の上、継続することが多い。このため、設計寿命を過ぎても運用されている衛星は多い。
- 寿命に関する設計にあたり、確率的な事象に対しては、冗長系の確保などシステム構成を決め、設計寿命末期まで正常に機能する確率(信頼度)を、例えば0.6以上とする。このため、確率的には所定の機能・性能がすべて維持される期間は、設計寿命を超えることが多い。一方、確定的事象に対しては十分なマージンを確保して設計する。

表1 寿命を決定する要因

No.	主要因	確率的/確定的	設計における対応策
1	電子・電気部品の故障	確率的が主	<ul style="list-style-type: none"> 高信頼性部品の採用 冗長系の確保
2	可動部の摩耗	確定的が主	<ul style="list-style-type: none"> ミッション期間の2倍に相当する試験による耐久性の確認
3	バッテリー・太陽電池セルの劣化	確定的が主	<ul style="list-style-type: none"> 劣化の予測モデルに基づく設計余裕の確保
4	姿勢・軌道保持用の推薬量	確定的が主	<ul style="list-style-type: none"> ミッション期間に対して、マージンを持った十分な量を搭載

3. TRMMに関する考察

「指摘：設計寿命を大幅に超えて運用が可能となった要因は何か。また、得られた成果は後継衛星に活かされているのか」に対する考察を以下に示す。

- 所定の機能・性能がすべて維持された期間は、データ精度に影響する高度変更実施までの3年9ヶ月であり、設計寿命(3年2ヶ月)との大きなかい離は無い。
- その後、長期間運用可能となった要因を、以下に述べる。
 - **【確定的な要因を低減する運用の実施】** 2001年8月、サイエンス側からの要求を受け、ミッションデータの分解能等はやや劣化しつつも、推薬を節約可能な軌道高度に変更した(350km→400km)。さらに、2005年に制御再突入分の推薬を軌道保持に使用するよう計画を変更した。
※ 運用主体はNASAであり、軌道変更の最終的な判断はNASAが行った。
 - **【確定的な要因に対する十分な対応策】** バス機器については、2003年以降、パドル駆動部の不具合のため、これを固定したが、電力的に余裕のある設計であったため、ミッション運用を継続できた。
 - **【確定的な要因を低減する設計の採用、確率的な要因の発生無し】** ミッション機器(降雨レーダ)は、機械的可動部を全く使わず、送受信部をアクティブフェーズドアレイで構成し、かつ送信機を固体電力増幅器(SSPA)とした。

- 後続のGPM/DPRに対しても、TRMMと同様の設計方針が採用されている。

4. あけぼのに関する考察

「指摘：設計寿命と実際の運用期間が乖離している要因は何か。また、得られた成果は後継衛星の設計寿命の確度向上に繋がっているか」に対する考察を以下に示す。

- オーロラ撮像カメラは1年で故障しており、所定の機能・性能を維持する期間との観点では、設計寿命(1年)とのかい離は無い。設計寿命を過ぎた後、その他のミッション観測機器も、徐々に観測を停止（9種のうち最終的には3種のみ稼働）していった。
- 長期間運用可能となった要因を、以下に述べる。
 - **【確率的、確定的な要因に対する十分な対応策】** 強放射線環境下での「その場」観測を行うという挑戦的ミッション目的に対応して、当時は放射線帯の知見が少なく、安全側で設計した。
 - **【確率的、確定的な要因を低減する設計の採用】** バス機器は、スピン衛星であることから、クリティカル要素になりやすい可動部（ホイールや推進系バルブ、太陽電池パドル等）を持たなかった。
また、機器構成がアナログかつ部品点数も少ないことから、故障する確率のある箇所も少ない設計であった。

- あけぼのの成果により、ヴァン・アレン帯について知見が飛躍的に高まったことから、後続衛星(科学・探査、地球観測・静止衛星等)の放射線耐性に関する設計等に反映されている。例：放射線試験のモデル、最悪条件の設定など

- 運用の継続性については、以下の観点により判断を行っている。
 - 部門内あるいはJAXA経営レベルの審査会において、衛星の運用状況を鑑み、ミッションの達成状況、今後の運用に必要なリソース(資金、人材)と得られる成果、教訓の識別などきめ細かく外部有識者を含めて運用継続の確認を行う。その後、文部科学省宇宙開発利用部会(以前は宇宙開発委員会)において、審査結果を報告すると共に運用継続について付議し、定常運用から後期運用へ移行する判断を行っている。
 - 科学衛星に関しては、さらに理工学委員会において、論文出版や観測データ公開等の科学的成果創出状況、科学的意義・価値の評価を行っている。
 - 後期運用においては、24時間監視から間欠的な運用体制にするなど、必要最小限の運用費で成果を得るようにしている。
- 衛星の軌道上実績にもとづく教訓は、後続衛星へ引き継いでいる。特に重要な知見は設計標準に追記し、設計技術の向上を組織的に図っている。

以上