

三菱電機の衛星ミッションサクセス “BMS100.00%”活動の歩みと成果

佐々木俊昌*
山森康博*
森 康**

History and Achievements of Mission Success Promotion Activities "BMS100.00%" for MELCO's Satellites
Toshimasa Sasaki, Yasuhiro Yamamori, Yasushi Mori

要 旨

三菱電機は、当社衛星の製品品質検証力向上の中心的な役割を担う組織としてBMS(Brand of Mission Success)推進センターを設立し、第三者の有識者による各種審査及び不具合予防活動を展開してきた⁽¹⁾⁽²⁾。その結果、2002年9月から2013年8月にわたり衛星27機の打ち上げ及び軌道配置に成功するという大きな業績への貢献を果たした。

この打ち上げ成功の裏には、当社の宇宙開発・製作の核である鎌倉製作所の全従業員が一丸となって取り組んだ、製品の高い品質と信頼性を確保するための実践的な活動がある。

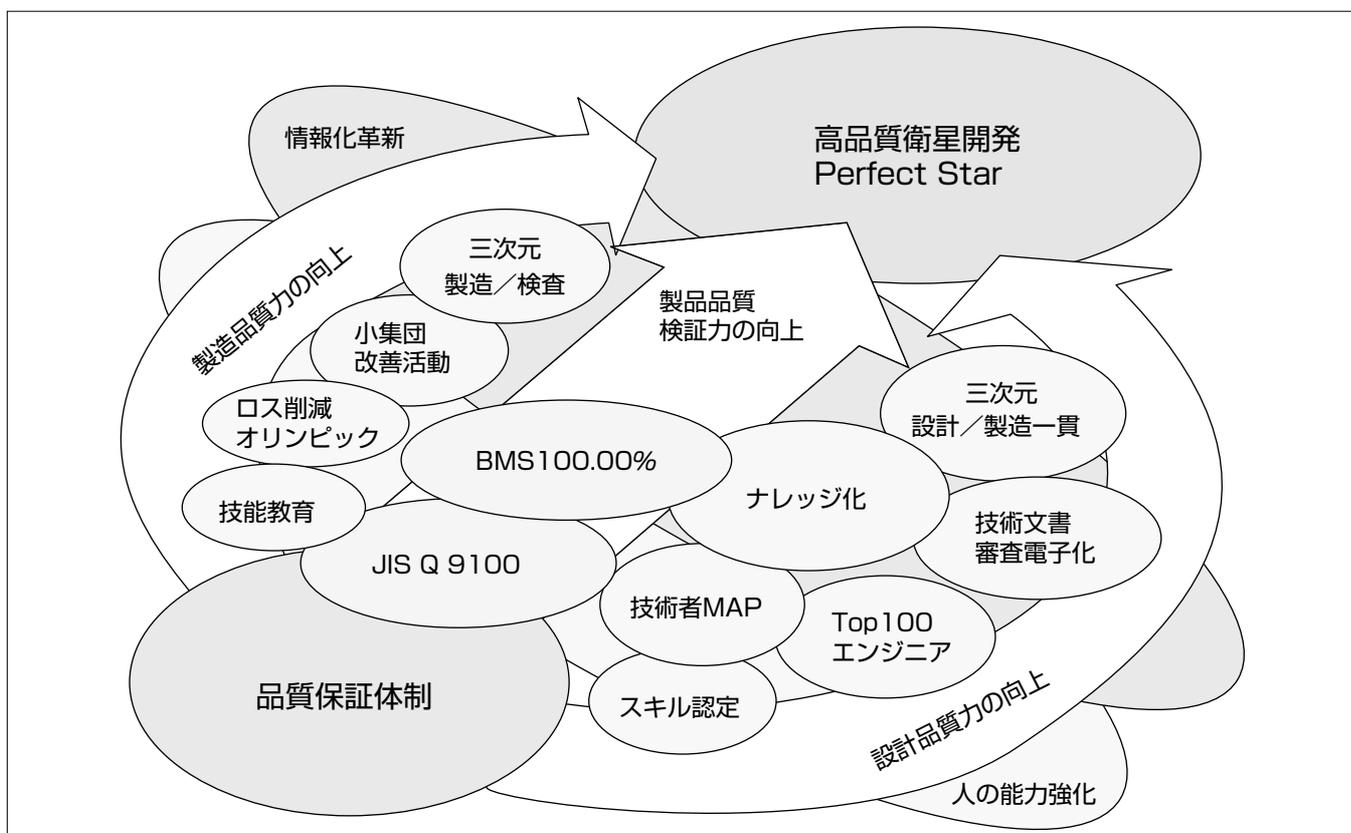
当社は、高品質という企業イメージを確立するために、

設計品質力、製造品質力、製品品質検証力のそれぞれに対して競争力向上施策を展開してきた。また、従来の高い品質と信頼性を確保する活動の中に衛星自体と作業現場の“安全”を確保するシステム安全管理活動も加え強化してきた。さらに、2008年10月には、信頼性技術センターを設立し、デブリ^(注1)、放射線、帯放電といった宇宙独特の環境に対処して衛星システム設計段階から品質・信頼性を作り込む体制を強化した。

本稿では、これらの活動の歩みと成果及び今後の活動の展望について述べる。

(注1) 地球の周回軌道上にある不要になった人工物体のこと。

特集
I



衛星の品質信頼性向上施策

従来の品質保証体制の上に“BMS100.00%”活動によって第三者検証機能を強化し、製品品質検証力を向上させるとともに品質を作り込む設計品質力及び製造品質力の向上施策を展開して、高品質衛星開発を達成するための品質信頼性向上施策を示す。

*鎌倉製作所 **同製作所(工博)

1. ま え が き

当社は、製品品質検証力向上の中心的な役割を担う組織としてBMS推進センターを設立し、第三者の有識者による各種審査及び不具合予防活動を展開してきた⁽¹⁾⁽²⁾。その結果、2002年9月から2013年8月にわたり衛星27機の打ち上げ及び軌道配置に成功するという大きな業績への貢献を果たした。

この間、通信衛星や気象観測衛星などの分野を中心に、ひまわり7号☆、Super Bird-C2☆、みちびき☆、ST-2☆、Turksat-4A/4B○、ひまわり8号/9号○、準天頂衛星3機○、その他プロジェクトでの受注を重ね、当社が独自に開発した静止衛星の標準プラットフォームであるDS2000バスをベースとした国内外の衛星の製作を進め、ロケット調達、射場での管理、軌道上初期運用などを含むより広範な業務の経験と実績を蓄積してきた(☆印は軌道配置済み、○印は設計、製造、試験中)。

2. BMS100.00%活動

2.1 高品質衛星開発の取組み

顧客の要求仕様を100%満足させる取組みは当然のことであるが、当社の鎌倉製作所では顧客満足のための絶対的な信頼獲得のためには100%に加えて2ランク上の品質レベル100.00%を目指すこととし、要旨の図に示すように製品品質検証力向上の柱として衛星のミッションサクセス活動“BMS100.00%”を継続している。

この活動では、第三者が、いわゆる“独立した確認と検証”といった活動に従事し、各種審査及び不具合予防活動を展開する。BMS推進センターは宇宙関連部門が行うすべての活動を監視し、品質に関する問題が生じると警告、追跡調査に取りかかる。この活動は週一回鎌倉製作所の所長室に報告される。主なBMS100.00%活動を図1に示す⁽¹⁾⁽²⁾。

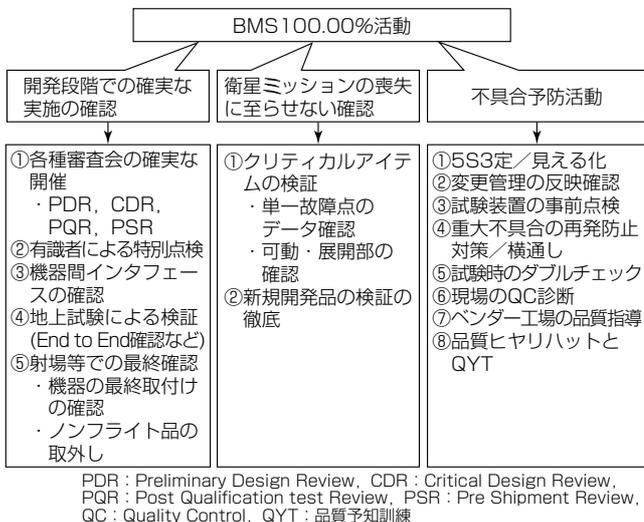


図1. 主なBMS100.00%活動

2.2 商用衛星での活動事例

DS2000バスをベースとした商用衛星での高品質維持に向けた活動事例を述べる。

2.2.1 現品会議

有識者、電気設計技術者、機械設計技術者による基板、機器、サブシステム、システムの各階層における現品の出来栄を確認する特別審査を物品の難易度や過去の経験から抽出して実施・継続している。特に、ケーブルや熱制御材などの実装状態、機構部のクリアランスや動作状況については、設計者の意図や有識者の指摘を各関連の設計者、現場作業者との間で協議し合うことで、不安点を取り除いた確実な状態に製品を仕上げ、また、有識者の経験やノウハウなどの暗黙知を形式知に変えて認識共有する機会として役立てていくように心がけている。

2.2.2 衛星運用準備会

有識者を交えた第三者検証としては、先に述べた衛星ハードウェアに対する現品会議とは別に運用準備の状況確認を行うフェーズ移行前確認会による審査強化を実施している。運用の準備は運用準備会(OROCB: Orbit Raising and Operation Control Board)の場で進められているが、それらの準備状況を有識者が確認する複数回のフェーズ移行前確認会を図2に示すように開催し、運用者の意図が正しく反映されていることを確認している。

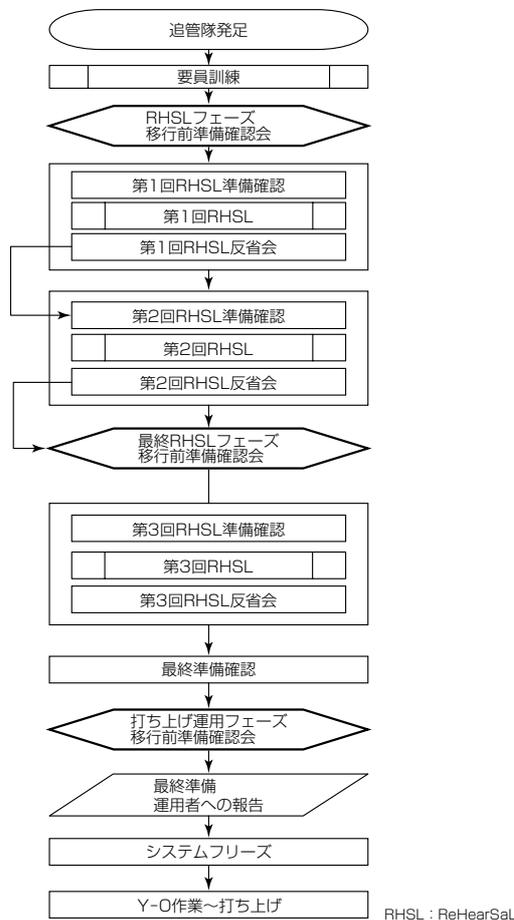


図2. 運用準備会に対するフェーズ移行前確認会による審査強化

2.3 更なるミッションサクセス活動の強化

衛星システムで高い信頼性を確保していても、衛星や機材の射場への輸送や射場での作業でトラブルや事故が発生したとしたら、衛星ミッションを成功に導けないどころか、プロジェクト自体が存続しえない。また、標準化が進んでいる世界の商用衛星市場でさえも、設計や製造の致命的の不具合によっていまだに失敗する衛星が一定数ある。これらの不具合の中には、設計段階から注目し対処すべき品質・信頼性上の課題が存在している。

当社では、図1に示した従来実施・継続されているミッションサクセス活動に加えて、次の2つの取組みを展開している。

2.3.1 システム安全管理からの衛星開発への取組み

衛星開発における衛星自体及び関連作業の安全性の確保は、システム安全管理活動として衛星プロジェクトの初期段階から実施される。“システム安全”という用語は、“システムの安全”という意味ではなく、ISO14620-1 Space Systems-Safety Requirements Part 1で規定される“システムティックな安全管理の手法を指す固有名詞”として用いられている。

DS2000バスをベースとした商用衛星でもシステム安全の考え方を踏襲した本質安全設計優先の安全性の作り込みが行われている(図3)。

製品動作の確実さを追求する信頼性と不慮・不測の動作を防止する安全性は、必ずしも両立しない概念であることは広く知られている。

安全性を優先するために動作の信頼性が低下する、又は、その逆に信頼性確保のために安全性が制約を受けることは、決して洗練された製品設計、システム開発とは言えない。このような課題への対応として、衛星バスの構成品や関連する作業・機材に内在する危険性に早い段階から目を向け、安全確保のキーファクタが新規のプロジェクトでも保たれていることをプロジェクトの初期段階から確認していくことが重要となる。また、製品・作業の変化点、変更点が及ぼす影響について第三者を交えた審査を客観的に行うことも必要となる。

当社では、このようなシステム安全管理活動を取りまと

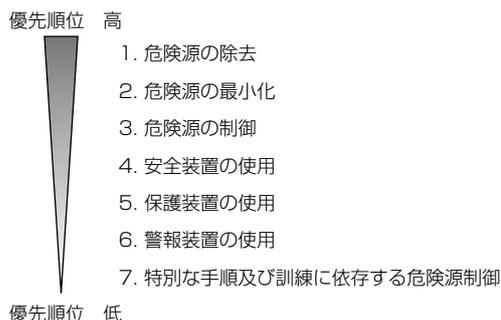


図3. 安全設計の優先順位

め、標準化推進を担う専門の第三者的組織として2003年6月からシステム安全管理グループを組織し、10年間にわたって継続的な活動を推進してきた。この間、各プロジェクト、設計者、品管、品証への教育プログラムの提供やリスクアセスメント、FTA(Fault Tree Analysis)等の手法を用いた共通的な危険源(ハザード)の見える化、制御法の標準化、結果の蓄積等を行い、関係者との認識共有と管理レベル向上を図ってきた。2013年4月からは宇宙事業の品証部門にシステム安全管理の業務を統合し、システム安全管理活動を継承しつつ、より製品開発・製造の各業務に木目細かく密着した形で、安全性と信頼性の両立を図ることを目的に安全信頼性管理課を設立し、強化を図っている。

2.3.2 品質・信頼性からの衛星開発への取組み

当社では2008年10月に信頼性技術センターを設立し⁽²⁾、デブリ、放射線、帯放電と言った宇宙独特の環境に起因する現象に対する衛星システム設計上の課題を検討し、更なる品質・信頼性の作り込みを行う体制強化を実施した。ここではその後の活動事例を述べる。

(1) スペースデブリ対策

人工衛星を取り巻くスペースデブリ環境は近年悪化している。そのため無人の人工衛星でもスペースデブリの防御対策が必要となっている。当社ではISO TC20/SC14/WG7デブリ分科会、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙機設計標準ワーキンググループなどの活動に積極的に参加し、各国、各宇宙機関の動向を含めた情報収集や衛星メーカーとしての意見表明及び原案作成に携わっている。また、これらの活動を通じて得た国内外の標準・規格の動向を踏まえ、衛星システム設計へのフィードバックを図っている。

人工衛星の設計で検討すべきデブリ対策には、①デブリ発生防止(軌道上デブリ環境の悪化防止)、②デブリ防御(機器故障を誘発する衝突被害の防止)、③地上安全(大気圏突入時の残存物による人的被害の防止)がある。特に②では、参照するデブリ環境モデルの差異による衝突頻度の違いが衛星設計に大きく影響するため、利用する解析プログラムやデータに注意が必要である。

現在、衛星のデブリ環境予測に用いられるシミュレーションモデルにはMASTER2005、MASTER2009(ESA:欧州宇宙機関)、ORDEM2000(NASA:アメリカ航空宇宙局)などが利用されており、これらのシミュレーションモデルの差異や特徴を正しく理解することが必要となる。静止軌道衛星のデブリ環境例を図4に示す。

また、中国の衛星破壊実験(2007年)や米露衛星間衝突事故(2009年)といった軌道上破砕事象による軌道環境急変といった事態への対応が必要となる場合も予想される。このような課題への対応には、外部の関係機関や有識者との意見交換、ネットワーク作りが今後ますます重要になると考える。

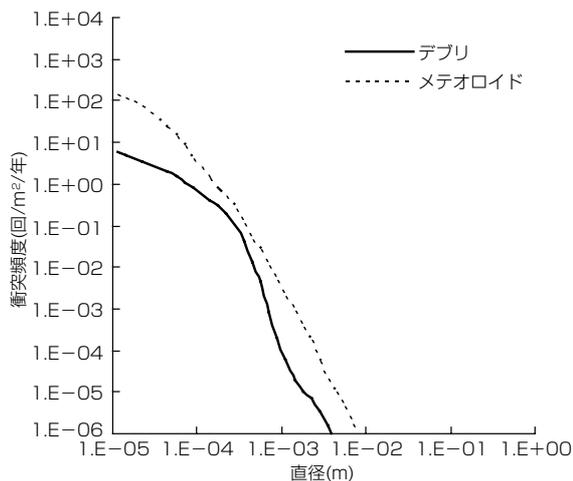


図4. 静止軌道衛星のデブリ環境

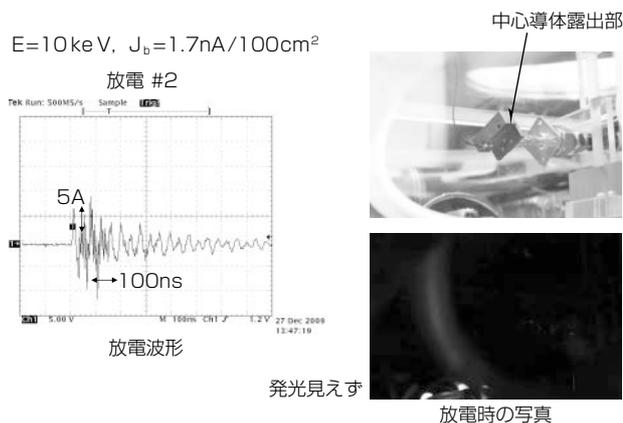


図5. 帯放電試験

特集
I

(2) 帯放電評価

衛星システムに使用される材料・部品への宇宙環境の荷電粒子による帯電状態把握のため、電子線照射による帯電の度合いや放電の有無を確認し、帯電解析を行うための帯電特性データ蓄積を外部研究機関と共同で継続的に進めている。例えば、最新の同軸ケーブル、ガラスクロステープ、白色ペイント、メタルマウント等をサンプルとして試験を実施した。これらの部品・材料は、いずれも宇宙空間に直接露出する、又は遮蔽がほとんどなく帯電電位が高いことが見込まれる物品である。試験の結果から実装状態を考慮したリーク特性や放電しきい値が確認でき、ミッション期間中の帯電電位予測や放電回数予測を行う根拠を得ることができる。このように蓄積したデータを用いて帯電解析を行うことによって早期に設計の見直し・処置・対策を行うことが可能となる(図5)。

3. ミッションサクセス活動の展望

2002年9月から開始した当社衛星のミッションサクセス活動も、その活動期間が10年を超え新しい段階を迎えている。ミッションサクセス活動を実施したプロジェクトから得た経験や課題を次の改善機会へとつなげるPDCA (Plan, Do, Check, Act) サイクルは、事務局であるBMS推進センターや各有識者を中心に積極的に行われてきた。これらの取組みを通じて社内のコミュニケーションが活性化し、実際の業務手順や標準に修正を加えた事例も多くある。しかし、今後の宇宙事業における更なる飛躍のためには、過去のミッションサクセス活動によって得た多くの情報をより効果的に、また、より積極的に活用できるように工夫し、次の世代の実務担当者に生きた知恵として伝えていくことが大切である。

そのために対応すべき課題には、次のような事柄がある。

(1) 知見の活用促進

業務の一層の効率化や予防型品質管理活動強化の観点か

ら、ミッションサクセス活動で得た知見をより木目細かく上流工程で活用できるよう実務担当者のためのガイドを再整理し活用を促進する。

(2) 教育・訓練へのフィードバック

関係者が受ける教育内容の選別や根拠資料として、ミッションサクセス活動で得た知見を参考とすることで、新たなコンテンツ準備や既存資料の改訂に役立てる。

(3) 標準化活動・変更管理へのフィードバック

ミッションサクセス活動で得た知見から社内の標準化活動や変更管理に対する新たな施策展開を促す。

4. むすび

本稿をまとめるに当たり、今回改めて当社の衛星ミッションサクセス活動の歩みを振り返る機会を得た。そして、各業務に取り組む関係者一人ひとりが取り組んだ飽くなき安全・品質・信頼性の作り込み活動と各課題への果敢な挑戦が衛星の打ち上げ及び軌道配置の連続成功を支えていることを再認識した。今後のミッションサクセス活動でも関係者一人ひとりが果敢に挑戦する姿勢を貫き、その経験を次代へ伝え育むことが成功継続への必須要件と考える。当社の宇宙事業のミッションサクセス活動は更に一段高いレベルを目指し、衛星ミッション成功の品質ブランドを追求する。

参考文献

- (1) 稲川美之：衛星開発における品質信頼性向上活動，三菱電機技報，79，No.8，559～562 (2005)
- (2) 稲川美之：衛星の品質力向上施策，三菱電機技報，83，No.3，231～234 (2009)
- (3) 森 康，ほか：定性的リスクマトリクスを用いた予防型安全管理のフレームワークに関する考察(リスクアセスメント改善のためのリスクコミュニケーション)，日本機械学会論文集(C編)，76，No.772，3760～3767 (2010)
- (4) 金井典子：人工衛星のスペースデブリ対策，日本信頼性学会誌，34，No.31，178～185 (2012)