

宇宙用小型装置のパッケージングおよびフライト化の事例紹介 (光触媒空気浄化装置の開発)

野倉 正樹^{*1} 山村 宜之^{*1}
Nokura Masaki Yamamura Yoshiyuki

近年、国際宇宙ステーションの民間利用が促進されており、さまざまな客先からの宇宙機器開発も当社では請け負っている。本稿では、有人宇宙システム株式会社向けの光触媒空気浄化装置を例に、宇宙用小型装置の開発の流れについて紹介する。

キーワード：国際宇宙ステーション、宇宙用小型装置、光触媒、JAMSS

1. はじめに

当社では、国際宇宙ステーションの中の微小重力環境を利用して科学実験を行うための各種実験装置の開発・納入を行っている。このたび有人宇宙システム株式会社(以後、JAMSS)より光触媒空気浄化装置の開発支援を受注した。

本装置は、将来的な宇宙への民間旅行を想定し、宇宙環境でのQoL(Quality of Life)の向上を目指して、宇宙ステーション内の空気に含まれるVOC(揮発性有機化合物)を低減させるための光触媒フィルタの技術実証を目的としている。本プロジェクトのコア技術となる光触媒フィルタはJAMSSおよび東京理科大学ならびに東京農工大学にて開発が進められており、当社はその光触媒フィルタを組込んだ実証装置(光触媒空気浄化装置)のパッケージング設計を行い、完成後の環境試験支援を実施した。

本稿では、この光触媒空気浄化装置の開発を例に、宇宙用小型装置の開発から試験までの一連の

流れを紹介する。

2. 開発の流れ

宇宙用小型装置の開発の流れを、「概念設計」、「詳細設計」、「製造・検査」、「試験」の各フェーズにて紹介する。基本的な流れは一般的な装置開発と同様であるが、宇宙用装置特有の項目については重点的に紹介する。なお、プロジェクトによっては詳細設計フェーズの前に検証モデルの設計、製造および試験を行う場合もあるが、近年では開発期間の短縮化、開発費用の削減などにより、フライトモデルのみを製造することが多く、事前のリスク・課題の洗い出しや潰し込みが重要となっている。

2.1 概念設計

客先からの要求仕様を確認し、実現性の検討を実施する。この段階で概要検討し、実現困難な場合には代替提案することで、客先の要求を満たしつつ実現可能な仕様にする。

*1：制御システム事業部 防衛・宇宙システム部 課長

本装置においては前述のとおりコア技術となる光触媒フィルタは JAMSS からの支給品であるため、寸法や質量などの機械的な要求や、宇宙機器特有である使用材料の要求、耐環境性要求の仕様策定が主である。

本装置の基本的な構成を **図 1** に示す。本装置は、筐体前面に設置した DC ファンにより宇宙ステーション内の空気を取り込み、LED 光により活性化した光触媒フィルタに空気を通過させ、VOC を分解する。その後フィルタを通過した空気をステーション内に放出する。電気系は外部からの供給電源を電源基板で受け、そこから DC ファンおよび LED に対し給電する。

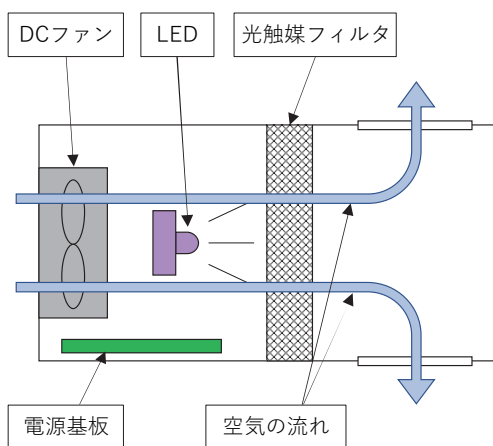


図 1 光触媒空気浄化装置 基本構成図

宇宙用装置は宇宙ステーション内という限られた空間内かつ微小重力下という特殊な環境で運用されることから、一般的な装置とは異なる観点で開発が必要となる。例を挙げると、宇宙飛行士に対する安全性に問題がないこと、他の機器への悪影響がないこと、想定された運用期間内に故障せず健全に稼働すること、また宇宙ステーションへの運搬はロケットでの打ち上げとなるため、その振動に耐えることなどが挙げられる。そのため、装置の信頼性や安全性、EMC 性能、耐振動性能な

どが求められ、詳細設計および試験フェーズでそれらへの対応や検証が必要となる。

2.2 詳細設計

客先と合意した要求仕様に基づき、概念的な設計結果を踏まえ、詳細な設計を組み立てる。

本装置は宇宙ステーション内での設置箇所の自由度を上げるために、寸法が幅:約 80mm、高さ:約 80mm、奥行:約 130mm というコンパクトな筐体サイズの要求があった。構成部品が少ないものの基板面積を確保したうえ、内部ハーネスの固縛やフィルタの交換作業性を考慮したため、設計の際にさまざまな工夫を要した。

また、LED は高輝度タイプのため発熱量が多く、ファンによる強制空冷を行う想定だが、冷やすために風量を上げると光触媒フィルタの効率が落ちるため、JAMSS と打合せて熱解析による検証を複数回行った。

なお信頼性設計では FMEA を使用し、故障時の影響度を考慮した電気部品グレードの選定、冗長化設計の要否を決定し、その結果を詳細設計に反映する。

設計完了後の 3D-CAD モデルを **図 2** に示す。

詳細設計フェーズでは客先による宇宙用装置特有の設計審査を受ける。その一例を以下に紹介する。

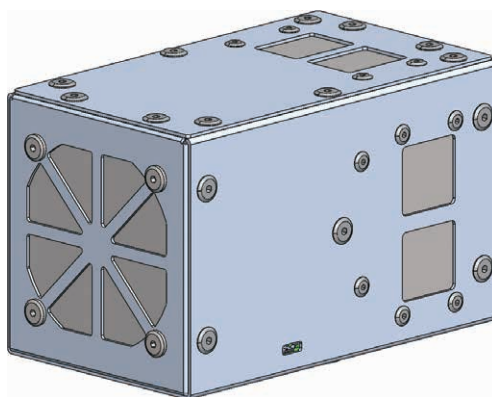


図 2 光触媒空気浄化装置 3D モデル図

(1) PSRP : Payload Safety Review Panel

PSRP では装置の安全面を審査する。ステーション内での運用時に想定されるハザードを識別し、その対策として設計面、運用面からどのようにコントロールするかを設計段階で設定するとともに、その検証結果について審査を受審する。

また使用材料の評価のために MIUL (Material Identification and Usage List) と呼ばれる使用材料リストを作成し、使用材料すべての可燃性、腐食性、オフガス性などが宇宙機器に適合するかを評価する。

(2) SFCB : Structure Fracture Control Board

SFCB では構造を審査する。構造は前述のロケットによる打ち上げ振動や運用時に印加される荷重(宇宙飛行士による作業により加わる外力や、ガス供給などによる圧力荷重など)を想定し、強度面での問題がないことを構造解析により検証する。

微小重力下では機械的な破損は物品の浮遊につながるため、宇宙飛行士の安全を損ない、宇宙ステーション自体の破壊にもつながる可能性があるため、厳しい評価を行う必要がある。

なお構造解析の具体的な内容については IIC REVIEW No.66「宇宙ステーション搭載機器の構造解析」にて紹介しているため参考にしていただきたい。

(3) 設計審査 (CDR : Critical Design Review)

前述の安全面に対する審査とは異なり、その装置のミッションに対する設計の妥当性を審査し、製造フェーズへの移行可否を判断する。各要求仕様に対し個々に要求を満足する設計になっていることを示し、またその検証をどの方法(解析・検査・試験)で行うかを識別し、漏れなく要求を満足することを確認する。

※PSRP、SFCB は詳細設計フェーズ以降も試験結果に対する審査を受け、最終的に打ち上げ可能となる。

2.3 製造・検査

CDR完了により製造フェーズへ移行となる。調達においては正規販売ルートを通したトレーサビリティの確保が必須であり、電気・電子部品 (EEE 部品) では COC (Certificate of Conformance) が、構造部材となる金属材料に関して材料証明書といったエビデンスが必要となる。

製造においては作業計画・作業手順を定めて、これらに基づいて作業をする必要がある。さらに、誰がいつ作業を行ったのかを記録するとともに、各製造工程における記録を残し、後からでも作業記録から作業内容や装置状況を確認できるよう管理している。

例えば、製造以降の試験フェーズや納入後の客先での運用時にトラブルが発生した場合、作業記録を確認することにより、製造に起因したトラブルかどうかの判断材料として使用することができる。

製造後には事前に作成した検査手順書に基づき品質保証部門にて検査を実施する。本装置の検査項目としては外観目視検査、寸法計測、質量計測、導通・絶縁検査、シャープエッジ検査(危険となる鋭利な部分がないことを検査)を実施し、問題ないことを確認した。完成品の写真を図3に示す。

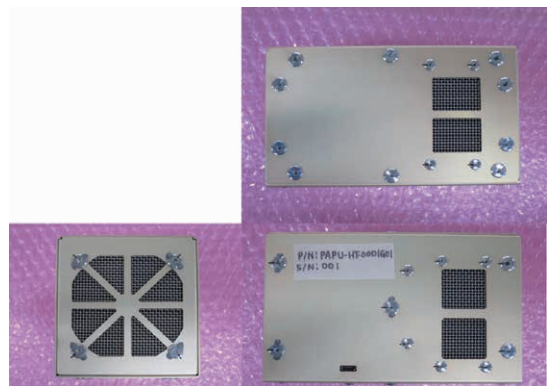


図3 光触媒空気浄化装置完成品写真
(正面、右側面、上面)

2.4 試験

製造した装置が要求仕様を満足しているか評価するため、機能・性能試験を実施する。本装置では下記の3項目に関する試験を実施した。

(1) 機能試験

光触媒フィルタの除去性能については別途大学で実施されるため、当社では電気的特性の確認と、連続動作時の温度計測、ファン動作による騒音計測などを実施し、問題ないことを確認した。

(2) EMC 試験

NASA 規格に基づき試験を実施した。今回は、放射雑音の計測および突入電流の計測を行い、問題ない結果を得た。図4に試験時の写真を示す。

なお EMC 要求の厳しい環境で運用される装置の場合は、放射雑音だけでなく、放射感受性、伝導雑音、伝導感受性についても NASA 規格が要求されることがあり、厳しい要求に応じた設計・評価が必要である。

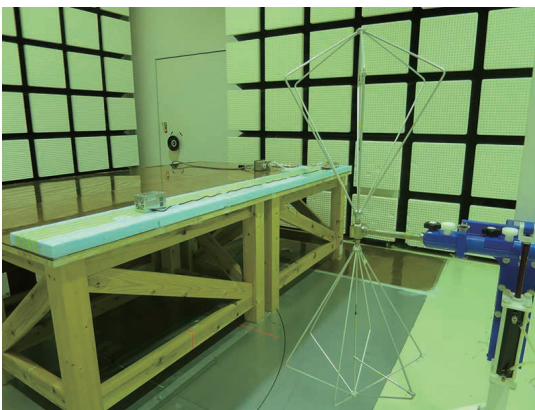


図4 放射雑音計測時写真

(3) 振動試験

ロケット打ち上げ時の振動を想定した振動条件に基づき、定められた加振レベルでの試験を実施する。打ち上げ時のコンフィギュレーションを模擬した状態で加振機に搭載し、X、Y、Z軸の3姿勢で振動を印加。それにより破損やネジのゆるみ、機能への影響がないことを確認する。

図5に試験時の写真を示す。今回の試験では打ち上げコンフィギュレーション模擬のために気泡緩衝材で装置を包んだ状態で振動試験を実施し、加振による影響がないことを確認した。

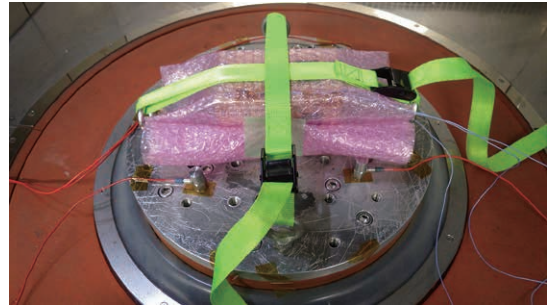


図5 振動試験実施時写真

3. まとめ

光触媒空気浄化装置の開発を例に、一連の開発工程を紹介した。

本装置は既に JAMSS に納品され、2022年3月末のフライトにて宇宙ステーション内での技術実証を行う計画である。

今後も宇宙用装置の開発を通じてお客様ならびに科学技術の進展に貢献してゆく所存である。



制御システム事業部
防衛・宇宙システム部
課長

野倉 正樹

TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320



制御システム事業部
防衛・宇宙システム部
課長

山村 宜之

TEL. 042-523-8319
FAX. 042-523-8320