もう一つの月世界へ: 火星衛星探査計画MMX その16 ～SHV超高精細カメラシステム～

三橋 政次[1]，小畑 ひかる[1]

（要旨） NHKは，史上初となるMMXの挑戦を超高精細映像で記録･映像化し，放送などを通じて広く伝えるため，2020年にJAXAと共同研究開発契約を締結して宇宙空間で4K，8K撮影が可能な超高精細カメラシステム（SHV）を開発しました．振動試験による機器破損など多くの技術的課題を克服し，さらにJAXAの専用シミュレータを活用して撮影計画を検討することで，火星接近時の迫力ある映像やフォボスから見える「火星の出」など，これまでにない宇宙映像の取得に挑戦しています．

1. はじめに

NHKは，これまで宇宙を舞台にした番組を数多く制作してきました．ここで，いくつかご紹介したいと思います．

ひとつめは，スペースシャトルで行われた事例です．1998年，当時NASDA所属の向井宇宙飛行士がハイビジョンカメラを使って美しい地球の撮影に成功しました(図1)．宇宙飛行士しか見る事の出来ないスペースシャトルからの特別な景色を，鮮明なハイビジョン映像で届ける事が可能になりました．

2006年には，舞台を国際宇宙ステーションに移してハイビジョンの生中継を実現しました．その後，国際宇宙ステーションからは超高感度カメラによるオーロラの生中継や4Kカメラによる美しい星々の撮影に成功しています．

次の撮影は舞台を月に移しました．地球から約38万km離れた月を周回する探査機「かぐや」にハイビジョンカメラを搭載し，宇宙空間における撮影に挑みました．2007年9月に種子島宇宙センターからH-2Aロケットで打ち上げられた「かぐや」は，無事に月に向かう軌道に乗りました．その途中で撮影した地球の画像が図2です．地球から約11万kmの距離で青く美しい地球の撮影に成功しました．図3は，月の周回中に望遠のカメラで撮影した月面から昇る地球です．50年前のアポロ計画で，当時の宇宙飛行士が見たであろう，感動的で幻想的な景色をハイビジョンの映像で届けることができました．

そして今，我々はさらに難易度の高い火星圏の撮影に挑もうとしています．火星衛星探査計画MMXの探査機に，JAXAと共に開発したスーパーハイビジョンカメラを搭載して火星や火星の衛星の撮影を計画しています．

次の章からカメラのシステムや開発の裏側を解説し，現在検討を進めている撮影計画とその想定映像をご紹介します．

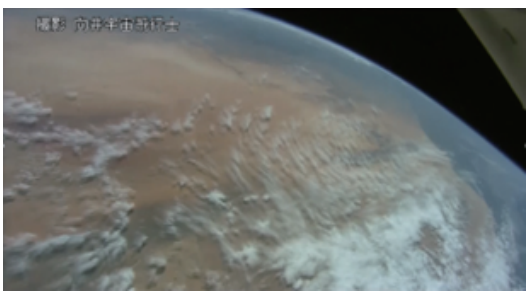


図1. 向井宇宙飛行士が撮影した地球．

1.日本放送協会
mitsuhashi.s-jo@nhk.or.jp



図2.「かぐや」がとらえた地球.



図3.「かぐや」がとらえた地球の出.

2. 探査機に搭載するカメラ

2.1 スーパーハイビジョン

探査機に搭載するNHKのカメラシステムは「SHV」という名称です. SHVは「Super Hi-Vision」の略ですが, これはスーパーハイビジョンという放送方式に由来しています.

ここでスーパーハイビジョンについてご説明します. ご家庭で広く見られているのはハイビジョンテレビですが, スーパーハイビジョンとは, その名の通りハイビジョンを超える超高精細な映像の規格です.

NHKが1995年から開発を進めてきたテレビ方式で, 2012年にUHDTV(Ultra High Definition Television)として規格化されたものです. 4Kや8Kの「K」は1000を意味しており, 4Kは横方向の画素が約4,000ピクセルで8Kは同じく約8,000ピクセルあります. 家庭のテレビはハイビジョンまたは4Kが普及していますが, 8Kはさらに高精細な映像で臨場感や没入感を感じることができます.

2.2 システムの概要

探査機には, 2式のスーパーハイビジョンカメラが搭載されています. 探査機の進行方向に取り付けられているのが, メインに使われる8Kのカメラです. Main SHV Cameraの名称が付けられ, 通称「MSC」と呼ばれています. 徐々に近づいてくる火星やフォボス降下時に直下の映像を撮影できます.

もうひとつのカメラは側面に取り付けられている4Kカメラで,「Side SHV Camera」の名称が付けられました. 通称名は「SSC」です. 側面には, このSSC以外に撮像機器がないため, 他の観測機器では捉えられない映像の取得が可能です. フォボスへの着陸時には水平線方向を撮影できます.

さらに, これらMSCとSSCを制御するための機器「SHV-E」があります. SHV-Eは2つのカメラに対して「撮影」や「画像転送」など各種制御コマンドを出力するCPUや画像データの処理や探査機のシステム通信などを担うFPGA, さらに画像データを一時的に保存するフラッシュメモリで構成されています. 2つのカメラ「MSC」と「SSC」, さらに「SHV-E」の3つを合わせた全体のシステムがSHVです. システムの概要を図4にまとめました.

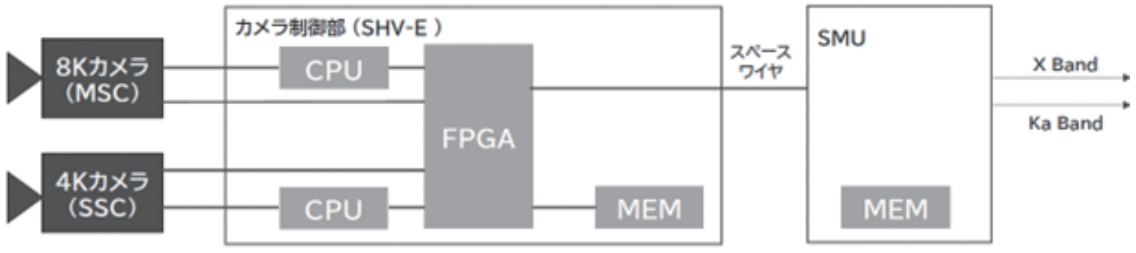


図4. SHVのシステム概要.

表1. MSCとSSCの仕様.

	MSC	SSC
画素数（H×V）	7680×4320	3840×2160
水平画角	約 65 度	
撮影間隔	最大で 10 秒に 1 枚	
保存形式	JPEG	
データサイズ	約 9MB/枚	約 4MB/枚

2.3 SHVのカメラ

MSCとSSCはどのようなカメラなのか・・・．主な仕様を表1に示します．それぞれのカメラには30 mm相当のレンズを付けていますので，広い画角の映像を撮影することができます．

撮影には最大10秒に1枚の「タイムラプス」の手法を用いています．スーパーハイビジョンのような超高精細の画像ではデータ量が膨大になり，地球に伝送するには相当な時間がかかります．宇宙空間では被写体の時間変化量が小さいことを想定し，この手法を採用しました．タイムラプスで撮影した画像をさらにJPEGでデータ圧縮してフラッシュメモリに保存します．

図5と図6はそれぞれのカメラの外観です．それでは，次の章で開発の裏側をご紹介しましょう．

3. SHV開発の裏側

3.1 開発の着手

NHKがSHVの開発に着手したのは，2017年頃のことです．最初は2，3名でスタートした技術体制ですが，メンバーの変遷を経ながら現在8名のチームとなっています．一大プロジェクトを動かすには心もとない人数に思われるかもしれませんが，この8名を中心に，各メーカーの専門家やJAXAの皆様から多大な協力を頂きながら開発を進めてきました．

メンバーの経歴は様々で，カメラ開発・研究の専門家や番組制作の技術メンバー，放送用伝送設備専門のメンバーもいて，宇宙用カメラの専門家集団とは言い難いチームです．

NHKは「放送用カメラ」に関する知見は持ち合わせていても，「宇宙用カメラ」についての知見はほぼありません．NHKでは，前述の通り「かぐや」搭載のカメラを開発した実績がありますが，今回の行き先は火星近傍であり，距離も環境も，これまでとは大きく異なるため，知見はほぼないに等しいのです．そのような状況の中で開発を進めることは，期待と同時に，大きな緊張感と常に隣り合わせでした．

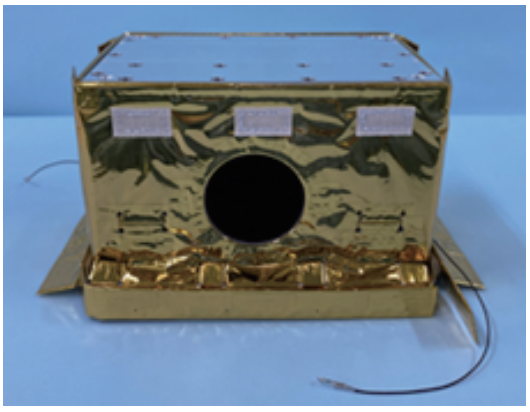


図5. MSCの外観.

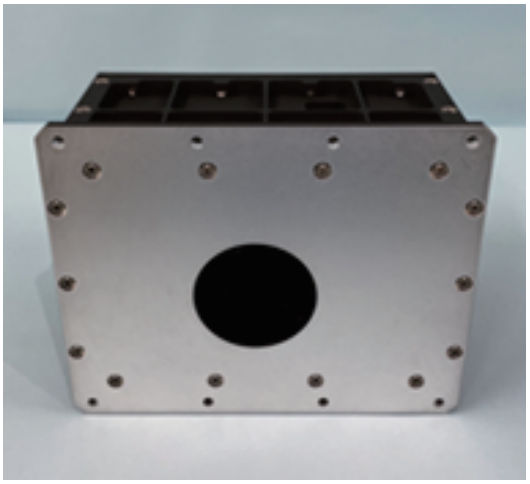


図6. SSCの外観.

3.2 環境試験

打ち上げに向けた試験や準備は最終段階を迎えていますが，振り返ると特に印象に残っているのは，数多くの環境試験です．宇宙線や真空環境，零下100℃以下から数十℃まで大きく変化する温度環境など，様々な条件下でも壊れず，機能を維持できるかどうか，類似環境を用意して試験する必要がありました．

また，探査機には，SHV以外にもさまざまな観測機器が搭載されています．私たちのカメラだけが動けばよいわけではなく，万が一にも他の機器へ悪影響を与えることは許されません．私たちの機材から部品が飛び出して何かを傷つけたり，真空の状態で気化した塗料の成分が，科学観測に悪影響を及ぼしたりすることはあってはならないので，そのようなことが起こらないことを確認するために試験が必要でした．その中からいくつかご紹介します．

3.3 レンズの試験

宇宙空間では強い紫外線に長期間さらされるため，レンズの経年劣化を検証する必要があります．そのため紫外線の照射試験を実施しました．宇宙環境を再現するための紫外線強度や照射時間の条件定義から実施して試験に臨みました．

紫外線を照射する装置はレンズ用の設備ではないため，どのような治具でレンズを固定するのか，どうすれば求めるデータが得られるかを考えるのも一苦労でした．アルミ板を積み重ねたり，当日薬局で買って用意したアルミホイルでレンズ以外の部分を覆って固定したりと，できる工夫を現場合わせで行ったのが印象に残っています．

試験結果としては，レンズ表面にわずかな変化が確認されたものの，撮像品質への影響は許容範囲内であることを確認できました．

3.4 振動試験

そして，最も冷や汗をかいたのは振動試験でした．STM（熱構造モデル）の完成後，一度目の振動試験は試験室内で手に汗握りながら観察していると，それまでの振動とは異なる音がしてきた瞬間がありました．最初は小さな違和感でしたが，時間が経つにつれ，カメラから「ガタガタガタガタ」と明らかな異音が・・・．試験後に撮影した画像を見ると，画面を大きく横切る黒い線があり，カメラは破損していました．

分解調査を経て原因となる部分を特定し，対策を講じて二度目の試験を迎えました．試験中は装置が揺れる音のみで，前回聞いたようなガタガタ音もありません．途中何度かの撮影を挟みながら試験は進行しましたが，最後の撮影で画像に薄い斑点が多数発生していることを確認し，2度目の試験も失敗．改めて分析すると，前回とは異なる破損の仕方をしていることが判明し，新たな対策を施しました．

原因調査して対策し，再試験を行う・・・．言葉で書けば簡単ですが，実際はそう簡単ではありませんでした．分解，分析に対応できる人材を集めなければなりませんし，試験のために外部の設備を借りる必要がありました．ようやく再試験の日程を確保し，対策にも手応えを感じながら臨んだ3回目の試験でようやくクリアとなりました．

3.5 開発を通じて感じたこと

様々な試験や改良を手探りの状態で5年ほど続けて来ました．地上では当たり前に動く機器でも，宇宙では当たり前ではありません．そのことを何度も実感しました．また，事務室の片隅で作業台を囲み，はんだごてと虫眼鏡片手に電気的な仕組みを検討したことや，ホワイトボードを囲んでソフトウェアの仕組みを議論したことも記憶に残っています．

SHVチームだけでなく，他のミッション機器チームやメーカーの皆さんの仕事ぶりを見ていても感じるのは，火星衛星探査のような最先端プロジェクトも，地道な作業と人の連携の積み重ねによって支えられているということです．これは宇宙開発に限らず，放送をはじめとする様々な分野に共通することではないかと思います．

4. 撮影の計画

4.1 何を撮影するか

スーパーハイビジョンという超高画質カメラを使って火星圏の撮影をするという願ってもないチャンスを与えられた我々ですが，実際に何を撮るのか・・・？これが最も大きな課題です．

火星やフォボス，ダイモスを撮影する・・・とは漠然と考えてきましたが，どのようなタイミングやアングルで撮るのかという詳細検討までは及ばず，皆目想像が出来ません．ましてや，それをシミュレーションするためのツールなどはNHKにありません．

かぐやのハイビジョンカメラでは，当時高知大学で教鞭を執られていた本田理恵先生に完璧なシミュレーションツールをご提供いただき，また月の専門家である白尾元理さんのサポートもあって，月面の様々な地形やクレーターの撮影，月の向こう側から見えてくる地球のなどの撮影にタイミングや日時を検討して無事に成功しました．

今回のMMXではそのような環境ではなく大きな壁に当たっていた時に，JAXAが開発した「MMXiSIM」というシミュレータの存在を教えていただきました．まさに我々が欲していたシミュレーションツールが存在し，これで撮影タイミングの検討が進む！・・・と救われた気がしました．

4.2 シミュレータ

筑波宇宙センターでMMXiSIMによるシミュレーションを実施し，SHVによる撮影タイミングや撮影対象の本格的な検討に入りました．本ツールは使いこなすのにハードルが高く，JAXAの皆様にご協力をいただきながらMSCとSSCで，それぞれ最適な撮影タイミングの検証をしました．

NHK側で撮りたい撮影候補をリストアップしてMMXiSIMでシミュレーションして具体的なタイミングや想定される映像を検証していきます．

MMXが火星圏に初めて踏み入れたタイミングで，火星の表面をダイナミックに撮影して皆を驚かせたい．軌道高度の違いで見られる様々なフォボスの表情を美しくとらえたい．フォボスだけでなくダイモスにも焦点を当てて，なるべく近くで撮影したい．フォボスの向こうから徐々に見えてくる「火星の出」というタイミングを見つけたい．

これらNHKの要望に応えてくれる素晴らしいツールで，このシミュレーション結果をもとにSHVの撮影計画を練り上げました．

4.3 想定画像

ここで，シミュレータを使った検証の結果をいくつかご紹介したいと思います．図7と図8はシミュレータMMXiSIMの画面で，画面の左側にある黄色のウィンドウはSSCの視野を図示しており，右側にある緑色のウィンドウはMSCの視野を示しています．まさにカメラで撮影する画面そのものをシミュレーションできます．また，それぞれ画角は映像の縦横比である16:9となっています．画面の影も忠実に再現されており，撮影する日時が決まればそれに応じた太陽の位置や角度から影の状態を忠実に再現します．さらに，背景に映る恒星や星々も正確に再現されます．

我々にとって最も大きな撮影チャンスは，MOI（Mars Orbit Insertion）と呼ばれる火星軌道への投入タイミングです．最初のMOIは探査機が火星に最接近するため，非常にダイナミックな映像を捉える貴重な撮影機会です．そのため，想定される探査機の姿勢とカメラの方向が非常に重要です．図7はシミュレーションの結果ですが，SSCで撮影できることが分かりました．シミュレーションの動画では，画面上部から徐々に火星がフレームインし，表面の細かい地形を捉えていることが分かります．

図8はQSO（擬周回軌道）期間中にどのような映像が撮影できるか検証した結果です．特にQSO-LCはフォボスから探査機の高度が最も低い期間のひとつであるため，フォボスと火星を同時に撮影する絶好のタイミングとなります．今回行ったシミュレーションでは，フォボスの地表から徐々に現れてくる火星のダイナミックな映像を捉えることができました．地上で見られる日の出のように，フォボス地表からの「火星の出」が撮影できることが分かり，我々は非常に興奮しました．

今回シミュレーションした画像は想定であり，探査機の打上げ時期や姿勢，さらに他のミッション機器による運用等で変わる可能性は十分にあります．これらの条件を十分に考慮したうえで，今回のシミュレーション結果をベースにMSCやSSCによる撮影タイミングを入念に検討して，SHV全体の撮影および運用計画に反映していきたいと思います．

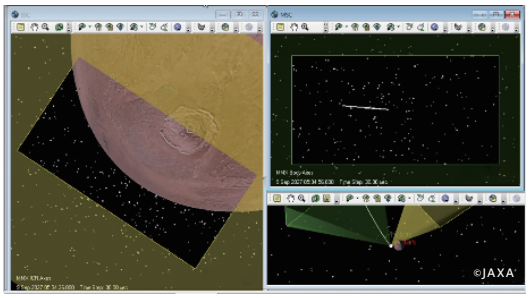


図7. 想定画像1(MOI-1).

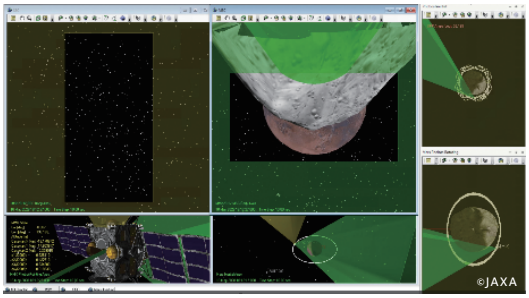


図8. 想定画像2(火星の出).

5. おわりに

この原稿を書いている今現在，種子島宇宙センターで最終的な試験を終了し外観の検査を残すのみとなっています．また，実際の運用に向けた計画の立案訓練に参加し，各種ファイルの作成やツールの運用スキルの獲得に取り組んでいます．これまで様々なトラブルや課題に直面しましたが，何とかここまでたどり着きました．

開発当初から，毎月開催される会議の場でJAXAの皆様に丁寧にアドバイスをいただいた事が大きな財産となっています．また各種ワーキングチームでもJAXAの皆様はもちろん，大学の先生や関連機関の皆様にも様々なご助言をいただきました．さらにメーカーの方々も宇宙機器の開発に不慣れな我々に辛抱強く対応いただきました．この場を借りて皆様に感謝を申し上げます．ありがとうございました．

これまで積み上げてきた経験や知見を十分に活かして，かつて見たことのない素晴らしい映像を取得できるようメンバー一丸となって進めていきたいと思います．

著者紹介

三橋 政次
1995年にNHKに入局し番組制作や撮像設備の開発，整備に従事する．月周回衛星「かぐや」のカメラ・レンズの開発など宇宙関連の業務にも多く携わる．現在は火星衛星探査計画（MMX）のSHVで撮影計画の策定などを担当する．

小畑 ひかる
2009年にNHK入局し音声を中心に関連設備の開発や整備、番組制作に従事する．2020年より火星衛星探査計画（MMX）のSHV開発チームに加わり、現在はSHVで主に撮影計画と運用を担当する．