

いうまでもなく、光学機器は宇宙開発の場で重要な役割を果たしています。地球観測衛星や惑星探査機、ハッブル望遠鏡などミッション自体が光学計測を主としているものはもちろんのこと、宇宙航空機の運航を支援するエンジニアリング用の光学センサーやモニター用カメラなど、多数の光学機器が搭載されています。

ここで一例として、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部（旧宇宙科学研究所）のホームページ [http://www.muses-c.isas.jaxa.jp/Japanese/spacecraft.html] から、2003年5月に打ち上げられた小惑星探査機「はやぶさ」(MUSES-C)の搭載機器を調べてみることにします(図1)。光学に関するものだけでも、望遠カメラ、蛍光X線スペクトロメーター、広角カメラ、ファンビームセンサー、近赤外線分光器、レーザー高度計、レーザーレンジファインダー、スタートラッカーなどたくさんの装置が搭載されているのがわかります。この探査機は小惑星の岩石サンプルを地球に持ち帰ることをミッションとしていますが、小惑星地表面への軟着陸がひとつの難しい課題です。地球から遠く離れているために、カメラの映像を通して地球から操作をすることができません。そこで登場するのが、各種光学センサーです。まず、高度50km以下になると、レーザー高度計で地表面までの距離を測定します。高度100m以下まで接近すると、レーザーレンジファインダーを用いて

距離と同時に地表面の傾斜も測定するそうです(図2)。さらに、水平方向の位置関係を認識するために、ターゲットマーカを地表面に投下して、航法用カメラによってその画像認識を行い、小惑星地表面に自立的に軟着陸するそうです。

また、上記の光学機器のうちでスタートラッカーとは、人工衛星、スペースシャトルや宇宙ステーションも含む宇宙航空機において最もよく使われるナビゲーション用の光学機器です(図3)。CCDカメラを用いて恒星像を撮影し、そのパターンをもとに、いい換えると星座をもとに、自分の向いている方位を検出するものです。カメラ機能のほかに、全天の恒星の位置と明るさが記録されたスターカタログをメモリーとして備え、恒星同定のための計算機能も備えているので、地球との通信がなくても自立的に姿勢を検出します。一般的な光学センサーの中でスタートラッカーが最も高精度化を実現しており、中には 0.001° 以下で姿勢を検出できるものもあります。光学上の高精度化のポイントは、レンズとCCDを故意にデフォーカスさせて組み立てることです。CCD受光面上に画素ピクセルよりも大きなぼけた星像を作り、輝度重心計算を行うので、一画素よりも細かな分解能で恒星の方位を検出できます。

これら光学機器を宇宙空間という特殊な環境で故障なく動作させるためには、地上仕様にはないたく

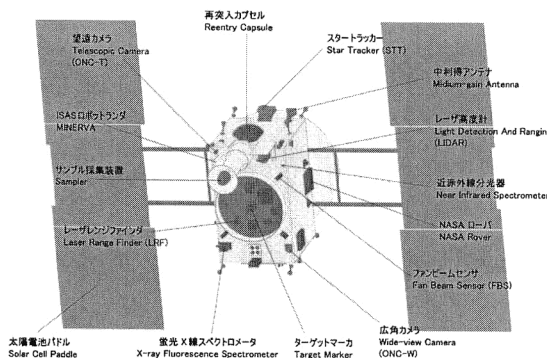


図1 MUSES-Cの搭載機器 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部提供)。

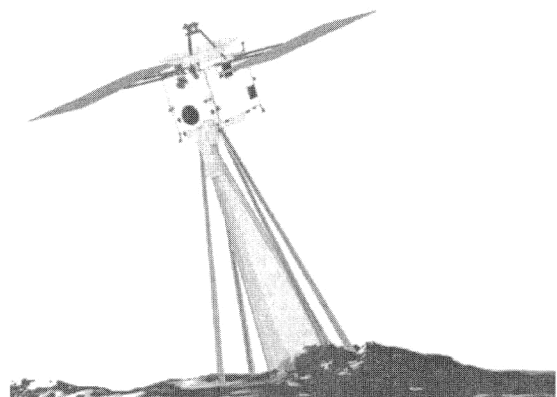


図2 小惑星軟着陸時のイメージ図 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部提供)。

さんの項目を考慮して設計を行い、試験をする必要があります。

まず、過酷な放射線の環境です。太陽から放射される紫外線やX線、フレアからくる高エネルギーのプロトン、地球磁場にとらえられている陽子や電子、銀河に起源をもつ高エネルギーの荷電粒子など、宇宙は放射線にあふれています。ガラス材料は放射線により着色するものがあるので、使用できる材料に制限があります。さらに、レンズ系の最前面には、放射線に最も耐性のある石英を使って、放射線を遮蔽する窓を設置することがよく行われます¹⁾。電子回路を構成する半導体も、放射線により深刻な劣化を起こします。放射線の種類によらず積算吸収量により次第に劣化していくトータルドーズ現象や、たとえ1個の荷電粒子の通過でも一時的あるいは永久的な損傷が起こるシングルイベント現象が知られています。その対策のため、製造工程を厳しく管理し、各種の放射線試験を行った、宇宙環境対応のCCDやICというものが存在します。しかし、信頼性重視であるために性能は一昔前のものであり、かつ非常に高価であるのが一般的です。そこで、民生部品をできるだけ宇宙開発に転用しようというプロジェクトが日本でも進められています²⁾ [http://www.usef.or.jp/project/servis/index.html]。

温度環境に厳しいこともあります。例えば、地上1000 kmの低軌道衛星では1時間45分で地球を一周してしまうので、赤道上空を回る軌道ならば50分あまりで昼と夜が逆転することになります。しかも真空状態ですので、外部空間との熱のやり取りは輻射によるものしかありません。そこで、写真等でご覧になったことがあるかと思いますが、金色の断熱フィルムで衛星を包んだり、逆に放熱板を設置して熱を放出したり等の熱設計が重要になります。その熱設計で抑えられる範囲内で光学機器を設計し、もちろんレンズ鏡筒材料も熱伝導性を考慮します。

真空状態であることも注意が必要です。真空であると、塗料や接着剤などから脱ガスが発生し、レンズを汚染することがありますので、脱ガスの発生し

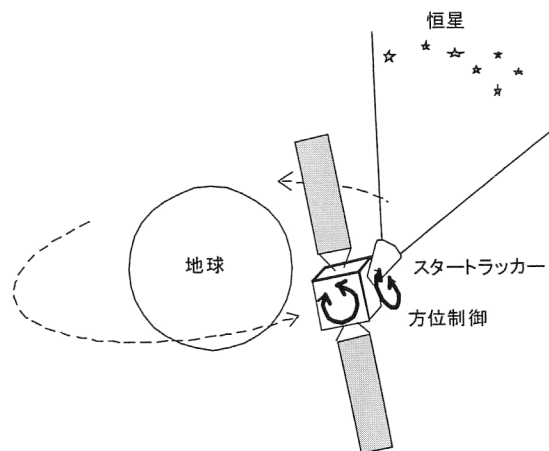


図3 スタートラッカーの概念図。

ない材料を選定します。

ロケット打ち上げ時の振動に耐えられる頑丈な構造にする必要もあります。

コストに大きく関係するので、小型軽量であることも設計技術者には求められます。

以上のことを含めて、絶対の信頼性が求められます。ハッブル望遠鏡はスペースシャトルの飛行士の船外活動によって修理されていますが、通常、人工衛星はいったん打ち上げられたら修理は不可能です。

このように宇宙環境での光学技術の開発には課題が多数ありますが、それらを克服して、最先端の科学計測のために精密な光学計測が行われています。通信衛星などの商用衛星においても、その運航を支えるために宇宙環境での光学技術が駆使されています。

この記事に関するお問い合わせは、kato@optsun.riken.go.jp もしくは ura@dj.kit.ac.jp までお寄せください。

(三菱電機先端技術総合研究所 河野裕之)

文 献

- 1) A. Holmes-Siedle and L. Adams: *Handbook of radiation effects*. (Oxford Univ. Press, 1993).
- 2) 小川秀樹, 小林博行, 戸田一史, 松岡正敏, 田代誠, 池田端穂: “MDS-1衛星と運用の概要”, NAS技報, No. 13 (2002) 41-46.