

## 第 2 章 ロケット実験 CIBER-2

### 2.1 CIBER-2 概要

ロケット実験 CIBER-2 とは、前章で述べた CIB の超過成分の起源を明らかにするために、CIB 観測実験 CIBER よりも 10 倍高い感度を持った観測装置を開発し、観測波長領域を可視光から近赤外線に拡大して CIB のスペクトルと空間的揺らぎを高精度で観測する実験である。CIBER-2 は日本、アメリカ、韓国、台湾の 4 ヶ国共同国際プロジェクトであり、日本は光学系の開発、アメリカは検出器を含むエレクトロニクス、韓国は地上系、台湾はレンズ筐筒と分光フィルターの製作を担当する。NASA の観測ロケットプログラムによる 2 回の打ち上げを予定しており、アメリカニューメキシコ州ホワイトサンズでサウンディングロケット Black BrantIV による打ち上げを行う。打ち上げ後、高度 200km 以上の標高に達すると、Bootes、North Ecliptic Pole、SWIRE などの複数の天域を合計 400 秒程度の観測を実施し、パラシュートにより着陸する。観測装置は補修後に再利用し、6 ヶ月の間隔を開けて 2 度目の打ち上げを実施する。

### 2.1 CIBER-2 観測装置

観測装置は図 2.1 に示すように反射望遠鏡と撮像光学系と液体窒素タンクを組み合わせ構成される。液体窒素タンクは観測装置の底部に位置し、これによって装置は観測時におよそ 80K まで冷却され、自身や環境の熱放射による赤外線を遮断する仕様になっている。この観測装置の全体系はロケット内部の真空容器に格納され、液体窒素タンクを取り囲むように設置している 12 枚の G10 プレートと呼ばれるガラス繊維プラスチック (GFRP) 製のプレートを通じてロケット筐体と固定する。この固定方法は CIBER と同じ方法を取っており、ロケット筐体から観測装置への熱流入を遮断し、ロケット打ち上げ時による振動の高振動数成分を吸収する効果がある。観測装置上部に位置するシャッタードアとポップアップバッフルは、観測時に自動で展開し、望遠鏡への迷光の混入を防ぐ。装置を格納するロケットは、外径が 44cm、ペイロード部分の長さが 123cm であり、観測装置をこの空間に収めるために、撮像光学系に 3 枚のベンドミラーを組み込みコンパクトな設計を行っている。本実験の特徴である広視野観測を実現するために反射望遠鏡の主鏡の直径は 28.5cm 必要であり、これを確保するために、撮像光学系は 15 枚の非球面レンズを組み合わせ収差補正を行う。レンズの配置は冷却で鏡筒が収縮した際に最良の結像性能が得られるように設計されている。そのため、観測装置を構成するほとんど全ての部品が同一の素材アルミニウム合金 A6061-T6 で製作されている。構成部品を全て同一の素材で製作することで、冷却時に観測装置は等方的に熱収縮を行う。

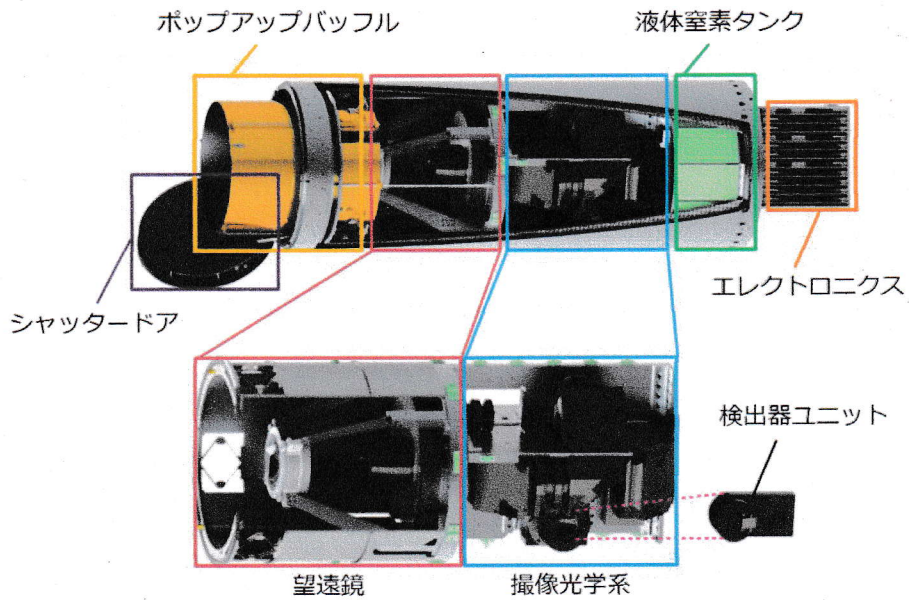


図 2.1 : CIBER-2 観測装置全体図

CIBER-2 観測装置の望遠鏡として、リッチークレチアン式カセグレン反射望遠鏡を採用している。この方式の反射望遠鏡は主鏡と副鏡を組み合わせて構成され、主鏡と副鏡の鏡面はそれぞれ双曲面に近い高次非球面の形状をしており、球面収差とコマ収差がない特徴がある。この望遠鏡は、コマ収差が打ち消されているため広い視野の観測に適している。その代わりに強い像面湾曲が生じるが、この収差は後置の撮像光学系のレンズにより補正される。主鏡は図 2.3 に示すフレクシャと呼ばれる構造を介してベースプレートに 3 点で固定される。フレクシャは 2 層構造であり、1 層目と 2 層目がそれぞれ異なる方向に曲がる柔構造をしているため、主鏡の設置時の機械的応力を緩和して鏡面の歪みを抑える効果がある。望遠鏡の鏡面の面精度は  $\lambda/2$  程度である。鏡面は Ag と  $\text{TiO}_2$  でコーティングされており、図 2.2 に示すように鏡面の反射率は波長域 0.5-2.0 $\mu\text{m}$  が最も大きくなる上、傷が付きにくく鏡面を保護する効果もある。主鏡と副鏡はアルミニウム合金 RSA6061-T6 から製作されており、主鏡の直径は 285mm、副鏡の直径は 110mm である。

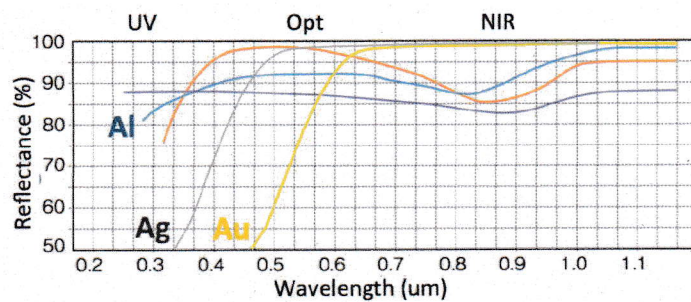


図 2.2 : Al と Ag と Au の各振動数における反射率

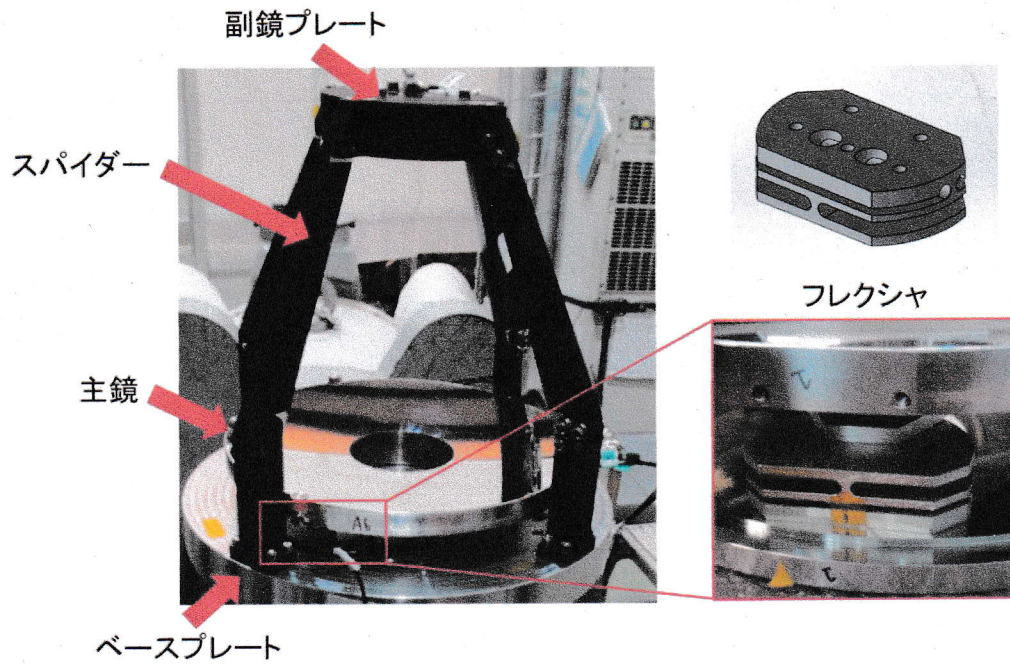


図 2.3：望遠鏡外観図

副鏡は、スパイダーで固定された円形の副鏡プレートに取り付けられる。このスパイダーの配置は、PSF 形状の対称性に対する要求により決定されている。副鏡プレートの上部は図 2.4 に示すような積分鏡構造であり、積分球内部に設置されたキャリブレーションランプの放射は副鏡に開けられた 4 つの穴を通り、主鏡を一様に照らすように設計されている。このキャリブレーションランプは望遠鏡から検出器に入射する光の強度と、検出器の出力信号を対応付けるために存在しており、低温での動作が保証され、かつ CIBER-2 の観測波長域に対応したハロゲンランプと LED を採用することで CIB 強度の絶対値観測を可能にする。ベースプレートや、スパイダーなどの支持構造には、迷光除去のため黒色アルマイト処理が施される。

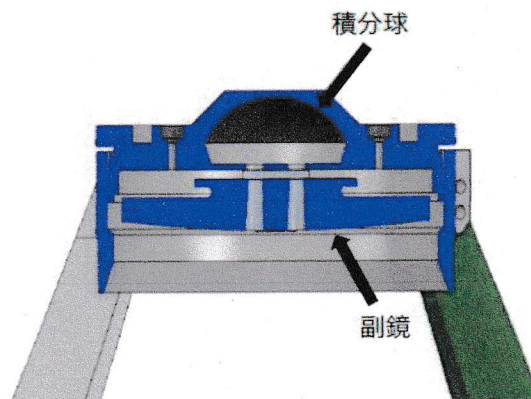


図 2.4：副鏡と積分球構造の断面図

CIBER-2 撮像光学系は、Arm-S、Arm-M、Arm-L と呼ばれる3つの光学系モジュールを有する。望遠鏡により集光された光は、ダイクロイックビームスプリッタによって波長毎に3つの光路に分けられ、収差補正のためのレンズ光学系を通過して、それぞれのモジュールの検出面に結像される。検出器として、2K×2K ピクセルの大型2次元アレイ(HgCdTe)HAWAII-2RG を搭載する。また、それぞれのモジュールの検出面は2つのバンドに分けられており、合計6バンドでの撮像観測を行う。さらに検出面の一部には Linear Variable Filter(LVF)を設置し、撮像と同時に非分解能  $\lambda/\Delta\lambda \sim 20$  程度の分光観測を実現する。LVF の透過波長は、フィルター上の位置によって異なるため、LVF を置いた検出面のピクセル位置と波長を関連付けることができる。

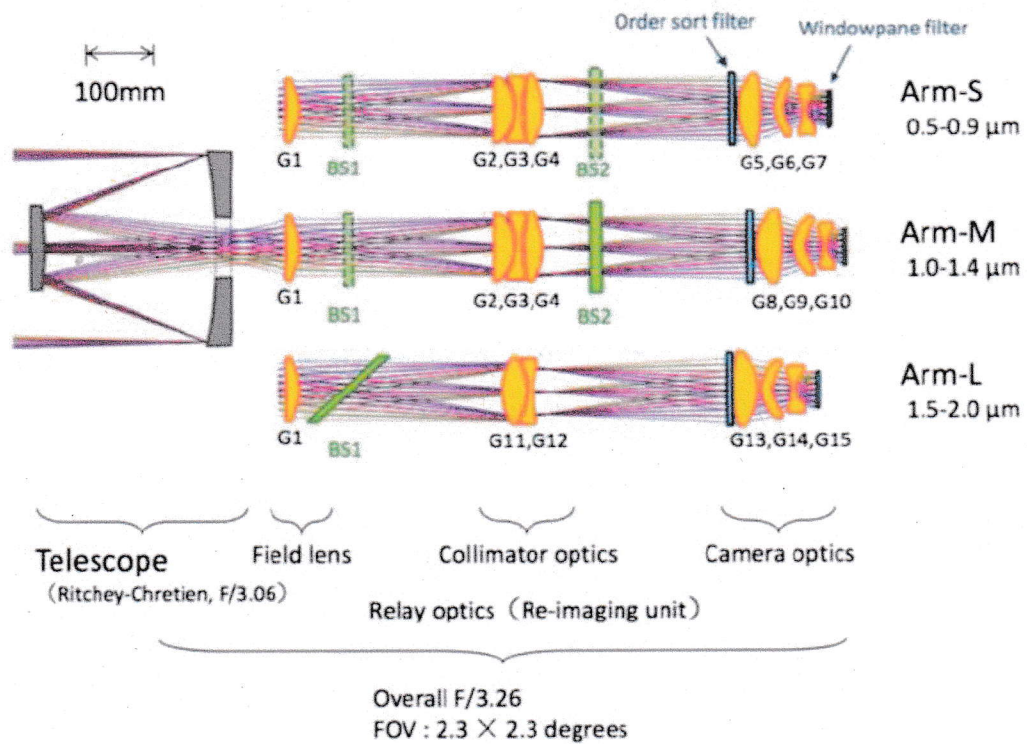


図 2.5 : CIBER-2 撮像光学系の概要[6]

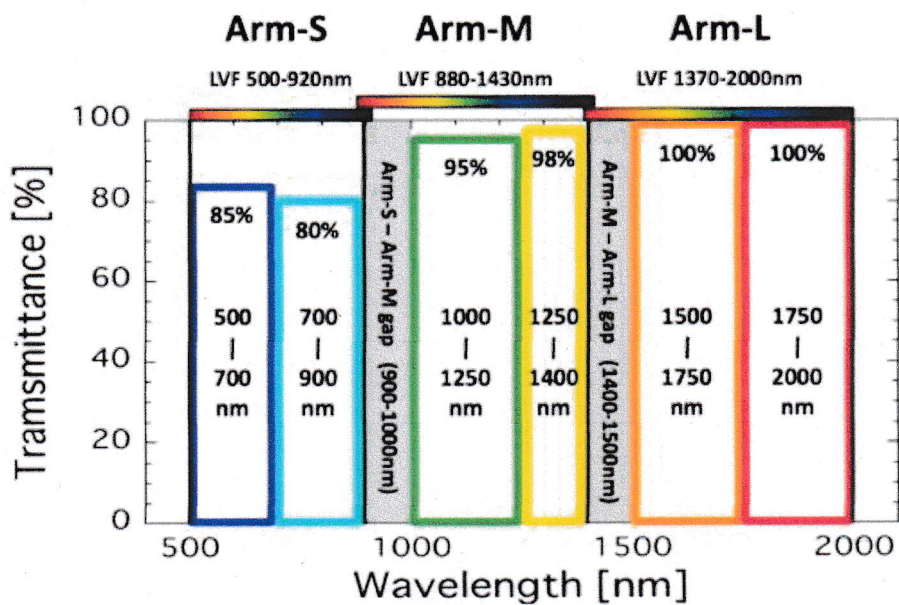


図 2.6 : CIBER-2 での観測波長帯[6]

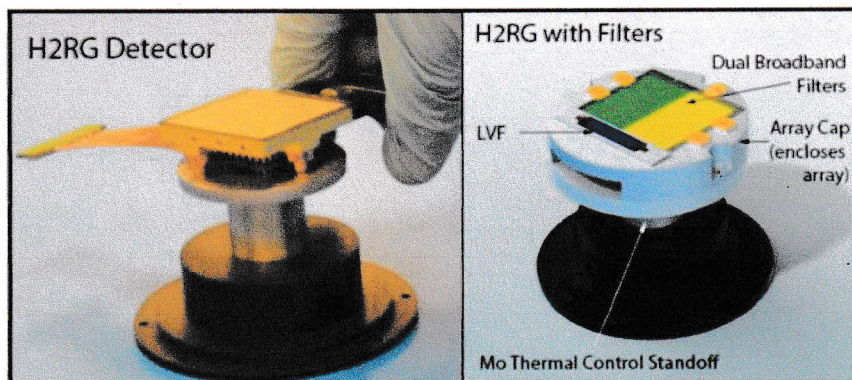


図 2.7 : CIBER-2 で用いる検出器[6]