

ALMAカートリッジ受信機の リモートによる修理サポート

高橋敏一：国立天文台・野辺山宇宙電波観測所
(先端技術センター・ALMA受信機チーム併任)

1. はじめに

ALMA-BAND4カートリッジ(受信周波数：125-163 GHz = 以降「BAND4カートリッジ」または「カートリッジ」という)は全10バンドのALMAカートリッジ受信機の一つで、「ALMAフロントエンド」と呼ばれる受信機クライオスタットに組み込まれており、ALMA望遠鏡(以降「ALMA」と呼ぶ場合あり)を構成する66台のアンテナに搭載され、科学運用に供されている。

国立天文台・先端技術センター(ATC)-ALMA受信機チームは3バンド(BAND-4, 8, 10)のカートリッジの量産を行い、引き続き現在はカートリッジのメンテナンスを担当している。

ALMAの科学運用がコロナ禍の影響で約1年間程停止し、運用再開の起動後にBAND4カートリッジ複数台の故障が判明して修理が急務となった。カートリッジの修理(メンテナンス)拠点である国立天文台・先端技術センター(東京都・三鷹市)への出張が難しい状況の中、リモートでの修理サポートを行った。

2. ALMAフロントエンドのメンテナンスについて

BAND4カートリッジは「ALMAフロントエンド」と呼ばれる受信機クライオスタットに挿入され、ALMA望遠鏡を構成する66台のアンテナに搭載されている。

「ALMAフロントエンド」は冷凍機部に機械的動作部品を有するため、一定の運転時間毎(約15000時間)のメンテナンス(定期部品交換)が必要である。この「ALMAフロントエンド」メンテナンスは、アンテナ毎に搭載された66台が一年半で一周するサイクルで行われており、順次差し替え交換により降ろされてOSF(ALMA山麓施設)-ADE(:ALMA Department of Engineering)へ運ばれて行われる。

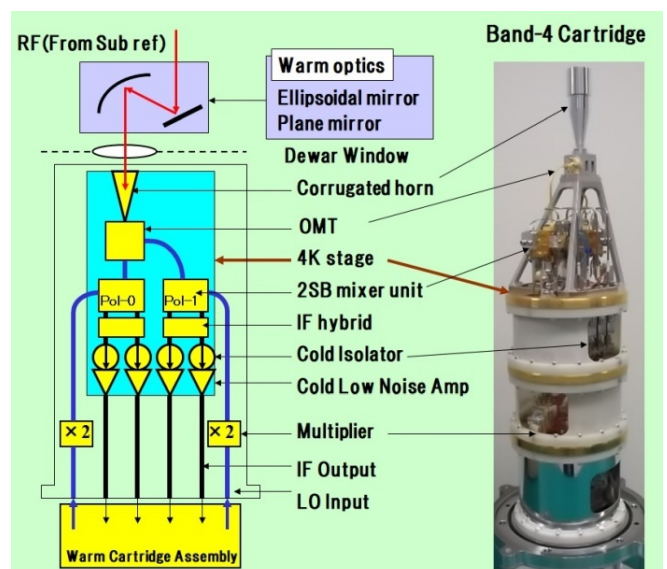
不具合カートリッジはこのメンテナンスのタイミングでALMAフロントエンド内より交換により取り出され、日本が担当するBand-4,8,10カートリッジは国立天文台・三鷹ATCに返送されて修理を行う。

3. BAND4カートリッジの主な故障箇所

【図1】にBAND4カートリッジ構造としてブロック図と部品位置対応図を示す。

受信した信号の通過順に ホーン > OMT (偏波分離器) > 2SBミキサー > アイソレーター > CLNA (冷却低雑音アンプ) を経て出力コネクタからIF信号を出力する。

これまでに故障頻度の高かった箇所は、2SBミキサーに内蔵されたSIS素子とCLNAのバイアスパスで使用しているケーブルのコネクタ部で起こる接触不良と、Lo通倍器の出力低下による不具合が多く、SIS素子の電氣的破壊による故障はほとんど無かった。



【図1】 BAND4カートリッジ構造

4. 修理の切迫状況

【図2】にカートリッジの量産期以降の修理状況をまとめた年表として示す。

ALMA望遠鏡が科学運用期に入った後、筆者が野辺山に移動となった2018年までの間に、BAND4カートリッジは2台の修理を行ったが、それ以降の修理は無かった。

2020年3月から2021年3月頃まで、コロナ禍のためALMA運用停止期間があり、その再起動後にBAND4カートリッジ2台の不具合が判明し、以前から確認されていた不具合品と合計3台を修理しなければならない状況となった。

「ALMAフロントエンド」はアンテナ搭載の66台と、メンテナンスの際に差し替える4台の計70台で運用されている。各BAND毎のカートリッジの所持台数は73台であるが、その内70台はALMAフロントエンドに搭載されており、カートリッジ単体のスペアとしては3台しかなく修理が急務となった。



【図2】BAND4カートリッジ修理年表

5. 修理作業内容

カートリッジ修理としての作業項目は次のとおりである。

1. 組立（不具合部品交換）
2. 評価（動作と性能試験）
3. テストレポート作成及び提出

項目2で問題がある場合は、1に戻り、問題解消まで繰り返す。

6. 修理の人員体制

かつての量産期には三鷹ALMA-ATC受信機チームには、3バンドそれぞれで7、8名程度所属していたが、現在では退職や移動などで減少しており、2021年の故障発覚時点のBAND4カートリッジ修理経験者となると、2017-18年の修理を筆者と共に担当した1名のみであった。

今回の一連の修理においては、修理担当者を維持するばかりでなく増員するねらいもあり、新たな担当者にも細かなノウハウも伝授し、深く経験を積んでいただく必要があった。

そこで、今回予定している修理作業では、カートリッジ1台につき、下記のような3人を中心とするチーム体制で望む事とした。

- 1：主担当（修理の責任者となる）
- 2：副担当（補佐全般）
- 3：サポート（精通者として助言：1台目の修理では筆者）

1台目の副担当は2台目では主担当となり、1台目の修理から主担当、副担当の2人が深く取り組むような体制とした。

筆者は併任業務としてカートリッジ修理を担当する事になっているが、コロナ禍で出張が難しい為、リモートでのサポートを試みた。

7. BAND4カートリッジの評価系について

修理の際、最も重要なのが動作試験と性能評価である。これまで用いてきたBAND4カートリッジの評価系一覧表を【表1】に示す。

量産初期からは「ノイズ系」、「ビーム系」と呼んでいる2系統の評価系デューアを用いており、量産中期頃より（現在では）「メンテナンス評価系」と呼んでいるノイズ系とビーム系の全ての評価を行える3系目の整備を進めてきた。

「メンテナンス評価系」が旧来の「ノイズ系」、「ビーム系」と相違無く評価できるかの検証を2017～2018年にかけてのカートリッジ2台の修理において完了したため「メンテナンス評価系」のみ維持し、「ノイズ系」と「ビーム系」の2つの評価デューアは廃止した。

評価測定系 デューア	ノイズ系(旧)	ビーム系(旧)	メンテナンス 系
測定項目	・チューニングパラメタ(Tuning Parameter) ・ノイズ特性 (Noise Performance) ・サイドバンド分離比(Image Rejection Ratio) ・ゲイン直線性 (Gain Compression) ・IF出力レベル (IF output power) ・振幅安定度 (Amplitude stability)	・偏波直交度 (Polarization Alignment) ・ビーム能率 (BEAM efficiency) ・偏波分離度 (polarization efficiency) ・位相安定度 (Phase Stability) ・起動安定性 (Stabilization Time)	・全ての項目の 評価
所要日数 (最短)	2～3日	2～3日	1週間程度

【表1】BAND4カートリッジ評価系と測定項目

8. リモートでのサポート手法

リモートでのサポート手法を【表2】としてまとめた。サポートではMicrosoft office365の会議ツールの「Teams」を使用した。これは国立天文台で導入しており全職員が使用可能である。測定系のカメラ映像や共有PC画面を見ながら音声会話を行って進めた。チャット機能でのやり取りの内容やビデオ録画の記録も残せる。

またVNC (Virtual Network Computing) により、制御PCの画面を通してのサポートも試みた。VNCではプログラムのコーディング等も可能であるが、実際の操作は可能な限り現地担当者が行う事とした。

作業項目	組立(部品交換)	性能評価	テストレポート作成
サポート手法	・作業中はTeamsで接続 ・映像を見ながら作業指示	・作業中はTeamsで接続 ・PC共有画面を見ながら指示 ・装置の状態が知りたい場合はカメラを向けてもらう ・VNCで操作可能	・主担当者が作成

【表2】 リモートでのサポート手法

9. まとめ

結果として、1台目修理では（一度も出張する事なく）サポートはリモートのみで終了し、次の2台目の修理に移行している。

・メリット（どちらかと言えば良かった部分）

出張旅費（交通、宿泊）と移動時間がかからない。待機時間不要で必要時だけリモート接続すれば良い。実演しないと伝えるにくい事でも現地作業担当者にか伝え、実施してもらう事となる。それが返って工夫等に対応する事となり、より深く体得されるのではないかと考えている。

一台目の修理では一か月以上を費やした。これは修理（部品交換）が一度では済まず、複数回に及んだ作業もあった。これにより経験が深められたと思われる。

1台目修理の主担当（Aさん）は2017-18年の修理を筆者と共にに行ったので相当理解しており、細かなノウハウもリモートで伝え易かったと考えている。1台目の副担当で2台目の主担当となったBさんは旧BAND-8量産チームに所属していたため、BAND4カートリッジ修理に応用できる部分が多いと思われる。

・デメリット

装置の状態等をカメラを向けてもらって確認するなど現場作業よりも時間がかかる。

紙ファイルのマニュアル等の手書きメモを参照したり、周辺や別の部屋などの物品を探したりできない。細かいノウハウを言語化して伝えるのは難しい。お互いストレスとなった部分もあると思われる。

記憶が薄れた事は、状況がリアルでないため思い出せなかったり、数時間から数日後になって思い出すという事もあった。

・今後の課題について

Teams等のビデオ会議システムの録画機能は便利だが、素材が蓄積されるだけでは必要な部分を探すのに時間がかかってしまう。アーカイブ化するなど整理しておかないと使い物にならない。

本題とは逸れるが、故障頻度が少ないのは良い事のはずだが、それは反面として修理担当者の維持、増員（修理の実経験）するのが難しくなってしまう。以前から修理の予行演習を定期で行うという案があるが実施した事が無い（モチベーションと人的リソースの負担）のが課題である。