

# 野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載の FOREST 受信機用超伝導(SIS) ミクサの性能測定

○飯塚吉三、高橋敏一、藤井泰範、佐藤直久（国立天文台先端技術センター）、上月雄人、石田裕之、松本貴雄、小川英夫（大阪府立大学）、南谷哲宏（国立天文台野辺山宇宙電波観測所）

## 1. はじめに

先端技術センター（ATC）の受信機チームの仕事は、これまでの ALMA Band4, 8, 10 受信機カートリッジの開発・製造・出荷からカートリッジ保守をおこなう仕事に移行した。その際、カートリッジ保守チームのメンバーは、受信機チームが再編されて作られた複数の別のチームにも属することになった。そのひとつに「望遠鏡受信機開発」チームがあり、そのメンバーの一部が野辺山観測所の FOREST チームと協力して FOREST ミクサ評価試験をしている。

本報告では ATC での試験の目的・目標、試験経過、試験の概要について述べ、最後に試験を通して見つかった装置の不具合とその改善処置の実例について記述する。

## 2. 試験の目的と目標

試験の目的は、

- ① FOREST へ搭載するミクサの性能測定をする
- ② 新しく設計・製作された SIS 素子の性能測定をして、設計にフィードバックする
- ③ 2SB ユニットと DSB ミクサの最適な組み合わせを見極める

ことであり、最終目標は、

- ① DSB ミクサとして、雑音温度(以下、Trx)が $\sim 30\text{K}$ のミクサを 16 個以上揃えて、
- ② 2SB ミクサとして Trx が  $50\sim 60\text{K}$  の組み合わせを 8 個用意する

(FOREST の構成：受信周波数 100GHz 帯、4 ビーム、2 偏波、2SB)

## 3. 試験経過

2014 年 7 月ころより三鷹 ATC 実験室内に測定装置を設置して、測定系の整備を始め 4 回の冷却予備試験をした。そのうち 2014 年 10 月半ば~12 月半ばにかけて、2SB ミクサ計 12 個の 2SB 測定をした。それらは 2013 年度に FOREST に搭載されていたあるいは予備として保持されていた 2SB ミクサである。測定の目的は 2014 年度観測シーズンに用いる 2SB ミクサ選択をするためのデータを得ることで、性能バランスなどを考慮して測定したデータをもとに FOREST に搭載された。

2015 年 1 月末から現在までは、主に新たに作成した SIS 素子の試験をしている。最初のころは、データ比較のために旧来のミクサの測定もして参考データとした。これまでに 60 数回の冷却試験を実施して、延べ 100 個余りの DSB ミクサの測定をした。その間に数回の 2SB 測定もしているが、大部分は DSB 測定である。

試験の推移を時系列で並べたグラフを図 1 に示す。

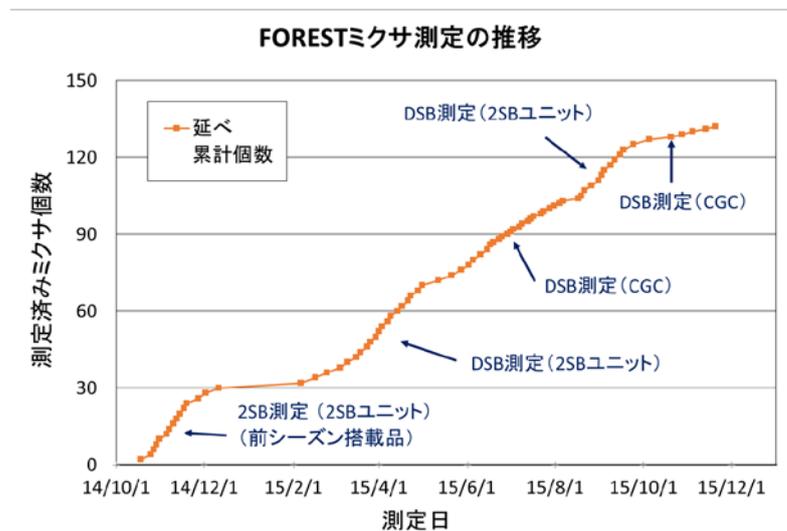


図 1 ATC における試験の推移  
(2SB ユニット：専用 RF-LO カプラ+ミクサ 2 個)  
(CGC：汎用クロスガイドカプラ+ミクサ 1 個)

試験の推移を時系列で並べたグラフを図 1 に示す。

#### 4. 試験の概要

試験は次の手順でおこなっている。(測定の流れ図を図2に示す)

- ① 測定準備
  - ・ミクサブロックへの素子詰め
  - ・2SBユニットあるいはCGCと組み合わせ
  - ・デュワへ取り付け → 夜間冷却
- ② 測定データ取得
  - ・Pythonプログラムをタスクごとに単発実行
  - ・データ確認 → 夜間昇温
- ③ データレポートの作成および測定一覧表の更新
  - ・Web (FOREST用のホームページ)へアップロード
  - ・メーリングリストでメンバーへアップロードのお知らせ
- ④ データの検討
  - ・FOREST SIS meeting (隔週開催、TV会議、Skype) → 12月より改変予定

ATC-Forest-TESTデュワ 測定サイクル

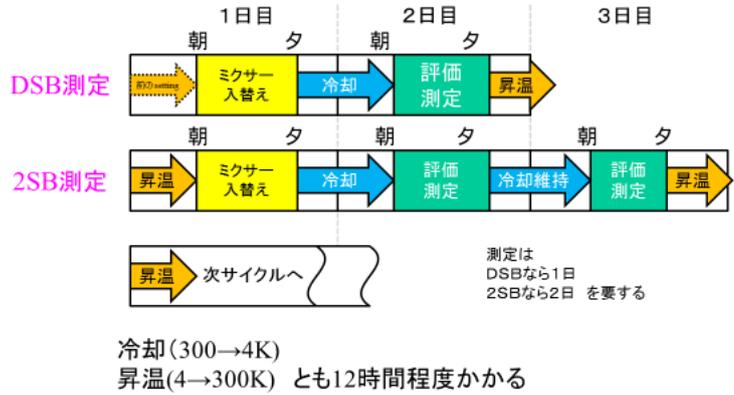
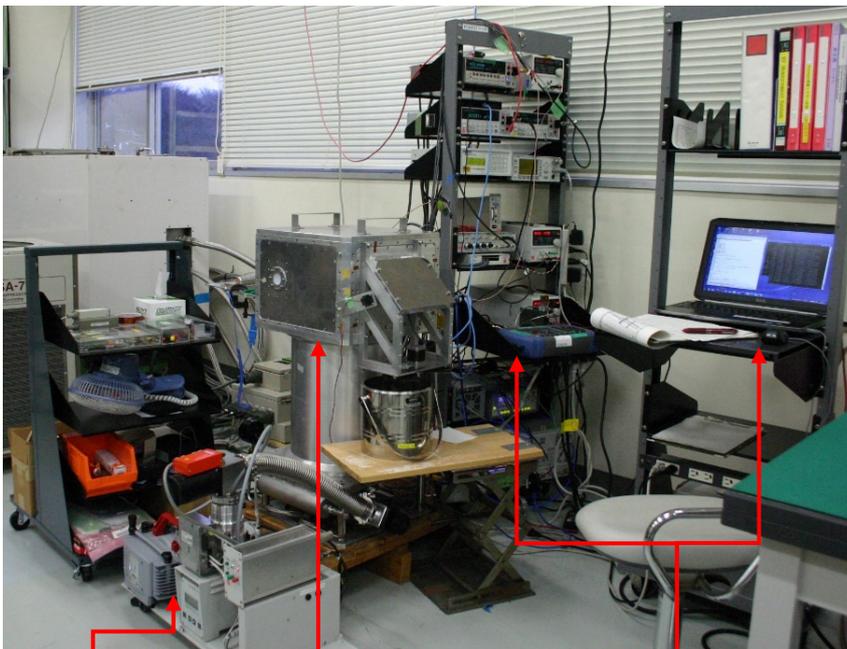


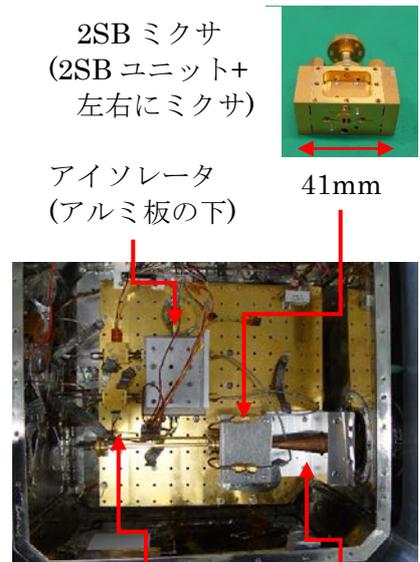
図2 測定サイクル

下記の測定周波数についてデータの取得をしている。

- ・LO 周波数 : 90,95,100,105,108,110GHz
- ・IF 周波数 : 4-12GHz
- ・測定項目 : SIS-IV 特性 (SIS bias スweep)、IF 出力特性&Trx (SIS bias スweep)、IF 出力特性&Trx (IF freq.スweep) → 測定データより Trx(LO)のグラフ



真空ポンプ 真空冷却試験器 (デュワ) 制御・データ取得装置



冷却アンプ(CLNA) ホーン

デュワ内部

図3 実験装置と冷却デュワ内部

必要に応じて下記の三つの設定で試験をしている。(装置のブロック図を図4に示す)

- ① FOREST 専用の 2SB ユニットを用いた 2SB 測定
- ② ①の構成から IF-hybrid を取り除いての DSB 測定
- ③ クロスガイドカプラ (CGC) を用いた DSB 測定

**2SB測定のときの構成**

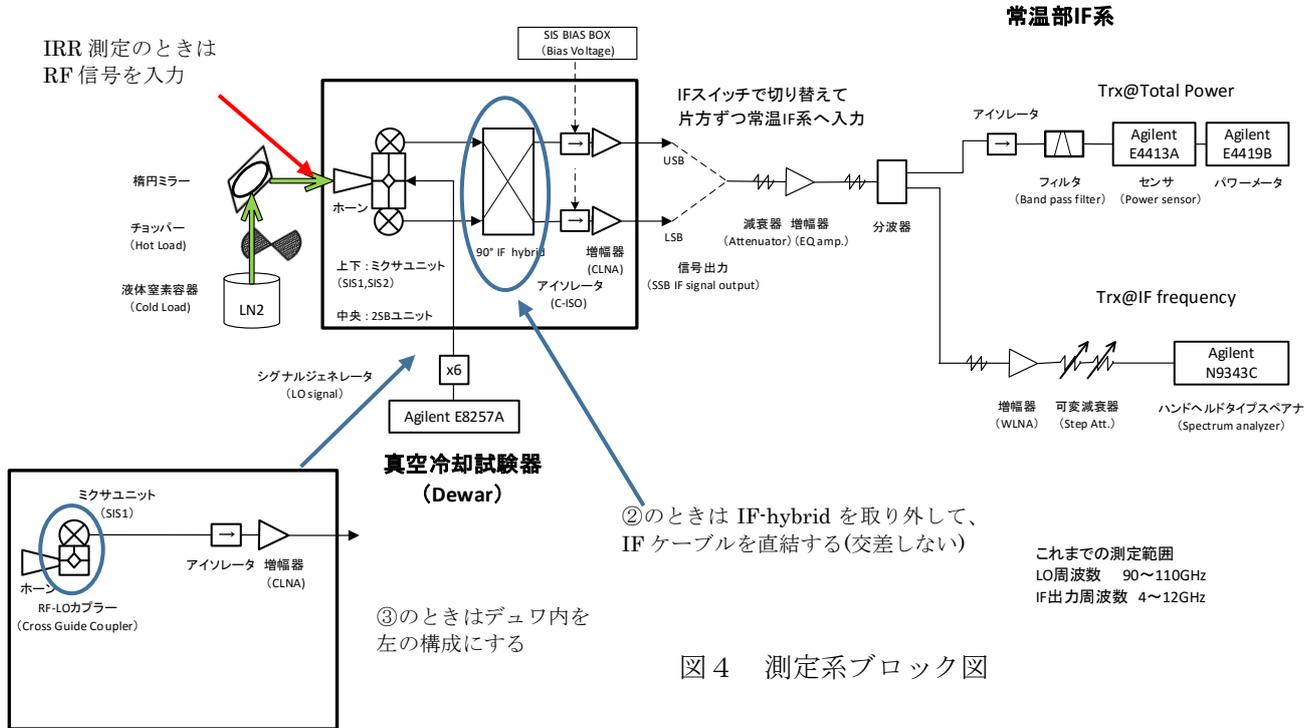


図4 測定系ブロック図

5. 不具合対処の例

① IF 高周波部での Trx 上昇

IF スペクトルデータ取得にはスペクトラムアナライザ (以下、スペアナ) を使用している (図4参照)。スペクトル測定でスペアナへの入力レベル設定が不適切であったため、実際の Trx より高い値となる不具合が生じていた。スペアナの入力アッテネータを自動設定にしていたため 10dB が入って、コールドロード測定時に入力パワーが足りなくなっていた。また、7GHz あたりより上の周波数ではスペアナの感度が変わるため、ノイズフロアに近く正しい測定値とならないことが分かった。

そこでスペアナのアッテネータを手動で 0dB に設定したところ、その操作だけで図5のように高周波側の Trx が小さくなり平坦な特性になった。

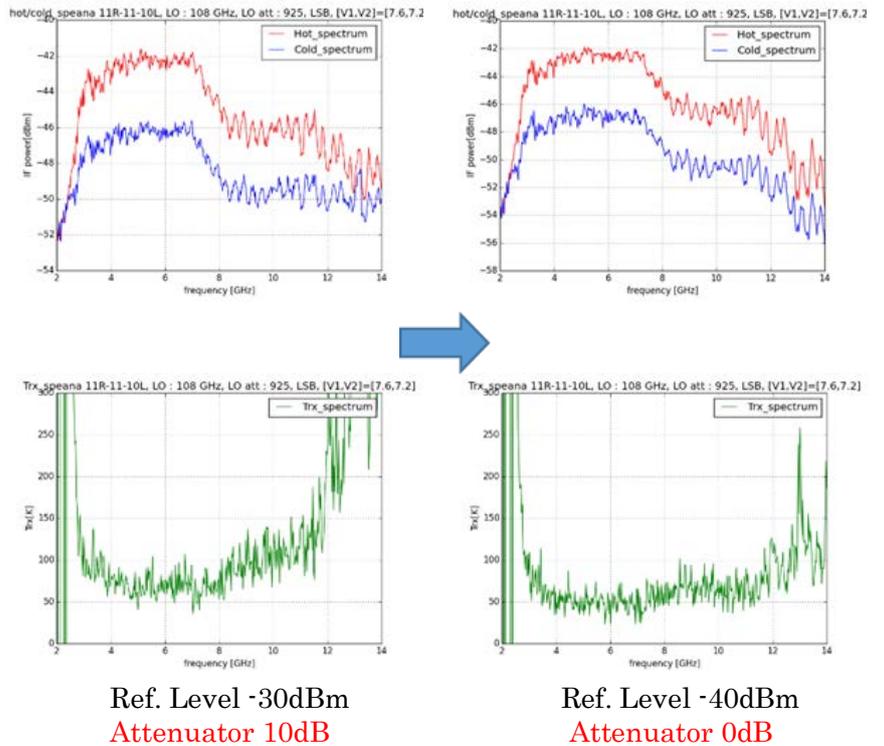


図5 スペアナ設定の変更によるデータの相違

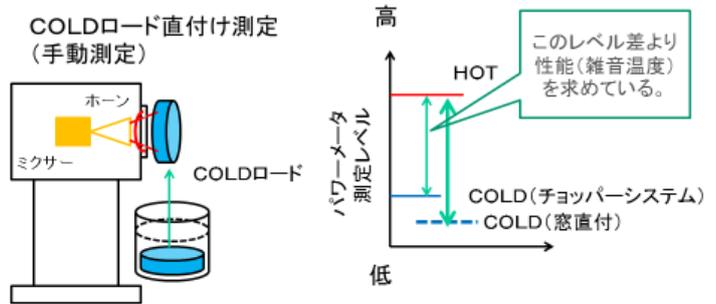
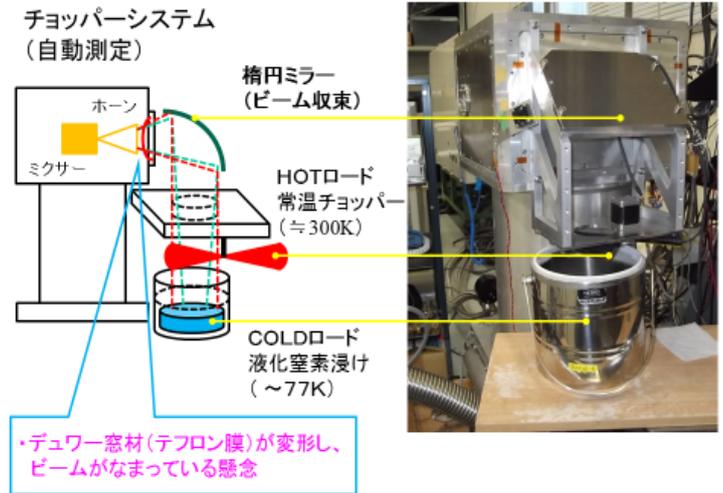
② ビームけられによる  $Trx$  上昇

トータルパワー測定の際、 $Trx$  測定値が常に期待値より大きいので原因を調べた。測定系が原因の  $Trx$  上昇が疑われたためである。

具体的方法としては、最初に常温光学系を取り外して、デュワの RF 窓直前にロード(H/C)を当て Y-factor 測定をし  $Trx$  を求めた。次に常温光学系を取り付けて通常の方法で測定した。(図 6 参照)

両者の  $Trx$  を比較した結果、LO 周波数ごとに違いはあるが前者の  $Trx$  が全体的に小さくなっていた。ホットロードの測定値は両者で同等になっており、 $Trx$  の相違はコールドロードの値の違いが原因だった。そこで  $Trx$  から逆算したコールドロード温度を求め、その値を  $Trx$  計算に用いることにした。

コールドロード温度補正前後の  $Trx$  グラフの例を図 7 に示す。



- ・ 直付け測定してみると...
- COLDロード直付け測定レベルの方が低い(真に近い)
- チョッパースystemでは雑音温度が高く(性能悪く)出ている(懸念通り)ので、補正を加えた

6. まとめ

- ① 現状
- ・ 安定した測定系が整備された。
  - ・ 目標に近い性能のミクサが得られてきている。

- ② 今後
- ・ プログラムを改良し、測定の効率を上げる。
  - ・ 目標に近い性能の DSB ミクサを必要数そろえる。

DSB ミクサ：  
 $Trx \sim 30K \times 16$  個

- ・ そろえた DSB ミクサと 2SB ユニットの組み合わせで、2SB ミクサの評価をする。

図 6 ビームけられの確認試験

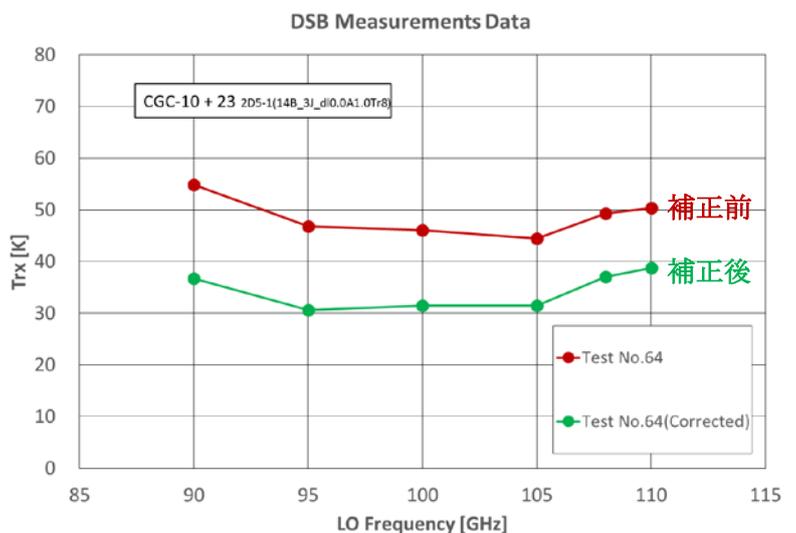


図 7 雑音温度( $Trx$ )補正例