

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 17日現在

機関番号：62616
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22740126
 研究課題名（和文）ミリ波・サブミリ波帯2SB受信機用サイドバンド分離比較正装置の開発
 研究課題名（英文）Development of the Measurement System of Image Rejection Ratio for Millimeter/Sub-millimeter Sideband-Separating (2SB) Receiver
 研究代表者
 中島 拓 (NAKAJIMA TAKU)
 国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・研究員
 研究者番号：90570359

研究成果の概要（和文）：本研究では、ミリ波・サブミリ波帯のサイドバンド分離型（2SB）受信機の重要な性能の一つであるサイドバンド分離比を測定し、天体からのスペクトルの強度を較正するための装置を開発し、この装置を国立天文台野辺山宇宙電波観測所にある45mミリ波望遠鏡に搭載することで実用化を行った。本較正装置は、シグナルジェネレータから発振した較正信号をミリ波帯に通倍して受信機に入力し、中間周波として出てくる較正信号の強度を測定することにより、サイドバンド比を±5%の精度で測定することができる。

研究成果の概要（英文）：I have developed the measurement system of image rejection ratio (IRR), which is one of the important performance of sideband separating (2SB) receiver in millimeter/sub-millimeter wave band and have installed on the 45-m millimeter wave telescope in Nobeyama Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan. The IRRs were evaluated by measuring the relative amplitudes of the IF responses in the USB and LSB injecting a continuous wave (CW) signal generated by multiplying the output of the signal generator (SG) with the frequency multiplier to observation frequency band. I confirmed that we can measure IRR with an accuracy of ±5% with my system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：電波天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波天文学、ミリ波・サブミリ波、超電導 SIS ミクサ、2SB 受信機、サイドバンド分離比

1. 研究開始当初の背景

導波管型 2SB 受信機 (Claude et al. 2000) は、南米チリに建設中の大型干渉計 ALMA (Atacama Large Millimeter / sub-millimeter Array) に搭載される受信機

において、そのうちの多くの周波数バンドで標準仕様となっている高性能な超伝導受信機である。従って、ミリ波・サブミリ波帯での次世代受信機として、現在活発に世界的な開発及び実用化が進められている。

この受信機の特徴は、導波管回路によって両サイドバンド (upper sideband; USB および lower sideband; LSB) を分離し同時に受信することで、従来よりも広い帯域を一度に観測できることである。しかし、使用する 2 つの DSB (double sideband) ミクサの利得差、出力信号の位相差などにより、USB と LSB の信号は完全に分離することは困難で、混ざった状態で IF (intermediate frequency) 信号として出力される。この両サイドバンドの信号の分離度を示すのが「サイドバンド分離比」であり、2SB 受信機のひとつの重要な性能である。

しかし、サイドバンド分離比の較正システムを実用化し、実際の電波望遠鏡に搭載した例は無く、本研究ではそのような装置の開発と実用化を目指した。

2. 研究の目的

これまでに私は、100 GHz 帯でサイドバンド分離比較正装置のプロトタイプを開発し、45 m 望遠鏡で試験を行ってきた (Nakajima et al. 2010)。この較正装置により、2SB 受信機の最適なチューニング (雑音温度が低く、サイドバンド分離比が高くなるバイアスポイントの探索) が可能となるとともに、分子スペクトルの観測結果に対する絶対的な強度較正が可能となった。

しかし、この装置は測定精度が $\pm 10\%$ 程度と低く、さらに定在波が発生するなどの問題点があった。そこで本研究では、上記の考えられる問題点の解決を軸として新たなミリ波・サブミリ波帯用のサイドバンド分離比較正装置の開発を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

初年度は、実験室レベルにおいて、これまでに開発した較正装置のさらなる性能の改善を目指す。具体的には、その心臓部である信号の発振器周りの開発、定在波を防ぐための放射部の改良、新型受信機の間周波数帯域である 4~8 GHz に対応した新たな評価プログラムの開発を行うことで、 $\pm 3\%$ という高い精度での測定を目指す。

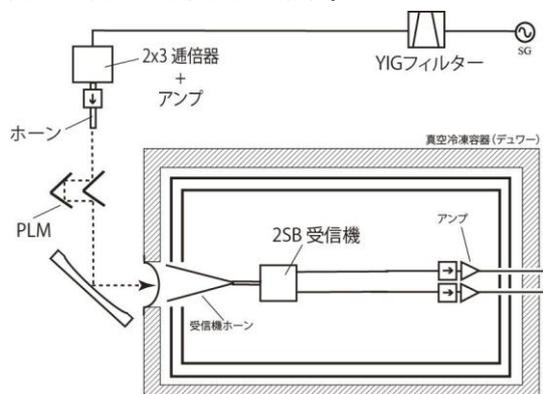


Fig.1 新たな較正装置の構成

新たな装置の構成は、Fig.1 に示す。具体的な開発の内容は以下の通りである。

(1) 信号源の高調波成分が測定精度を悪くしている可能性があるため、出力部に周波数が可変で狭帯域の YIG フィルターを挿入する。

(2) 従来はハーモニックミクサを用いて通倍波を生成していたため、必要とする周波数成分以外の通倍波が受信機に入力され、測定精度が悪化している可能性がある。そこで、ハーモニックミクサではなく、2x3 通倍器とアンプを使用した局部発振器を使用する。

(3) テストシグナルを放射するホーンと受信機ホーンの間で、定在波が発生しているために、ミラーを周期的に動かして経路長を変化させる PLM (Path Length Modulator) を導入する。

(4) 較正装置の電波放射部と受信機ホーンの間での定在波を防ぐために、反射の少ない新たなホーン的设计・製作を行う。

(5) 新型受信機の間周波数帯域である 4~8 GHz に対応した新たな評価プログラムを開発する。

次年度は、較正装置を実際に望遠鏡に搭載し運用を行う。具体的には、野辺山宇宙電波観測所に設置された世界最大のミリ波望遠鏡である 45 m 望遠鏡に搭載し、100 GHz 帯の超伝導受信機システムに対して、較正システムを用いる。較正システムを用いて測定されたサイドバンド分離比の値と、実際に分子スペクトルを観測したときに得られる積分強度の関係を調べることにより、較正値が適正かどうか確認できる。これまでに開発した較正装置で得られている $\pm 10\%$ 程度の測定精度をさらに一桁改善し、 $\pm 3\%$ という高い精度での測定を目標とする。

さらに、これまでの装置は、一台の受信機に対して専用設計されていたが、新たな較正装置はビーム伝送系の途中に設置することにより、複数の受信機に対して使えるように設計する。

4. 研究成果

初年度は、実験室レベルにおいて、これまでに開発した較正装置のさらなる測定精度の改善を目指した。

具体的には、本較正装置の心臓部である信号の発振器周りの開発として、従来はハーモニックミクサを用いて周波数を通倍していた信号源に、100 GHz 帯の周波数通倍器 (2x3 通倍器) と増幅器を使用することで、信号強度と安定性を向上させた。また、定在波を防ぐための放射部の改良として、従来用いていたフィードホーンをプローブホーンに変更する

とともに、電波終端（エコソープ）の形状を改善し、伝搬経路も従来よりも長い距離に変更した。さらに測定周波数帯域を従来の5~7 GHzから、新型受信機の4~8 GHzの広帯域に対応した新たな評価プログラムをLabVIEWを用いて開発した。

以上のように新たに開発を行った較正装置を用いて、2SB受信機のサイドバンド分離比を測定したところ、テスト信号を放射するホーンと受信機ホーンの間で発生していた定在波の発生が大幅に低減したことが確認できた。これは、従来よりも高い精度でサイドバンド分離の測定が期待できることが確認されたことを意味する。

次年度は、昨年度までに実験室において開発・評価実験を行ってきた新たな評価システムを実際に45 m望遠鏡に搭載し、共同利用で用いられている2SBタイプの100 GHz帯2SB受信機システムでのサイドバンド分離比の評価において、本格的な利用を開始した。Fig. 2 に搭載状況を示す。

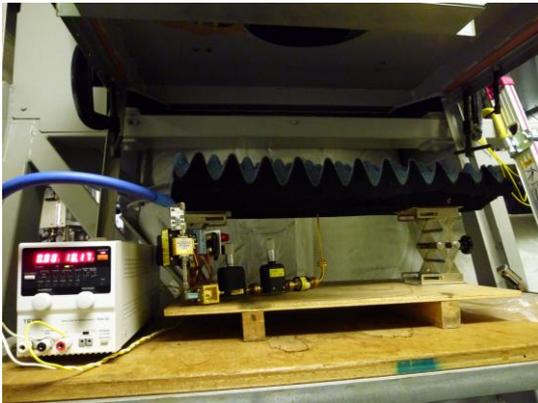


Fig.2 較正装置の電波放射部の様子

これにより、観測シーズン前のミクスチャーニングパラメータ（最も受信機雑音温度が低くなり、サイドバンド比が高くなるバイアスポイント）の測定とパラメータの決定、共同利用観測毎のIF周波数に対する観測周波数でのサイドバンド分離比の測定と測定値を用いた絶対強度の較正などが行えるようになった。測定例をFig. 3に示す。

この新たな較正装置によって測定されるサイドバンド分離比の値と、実際に観測される天体の輝線から求められるサイドバンド分離

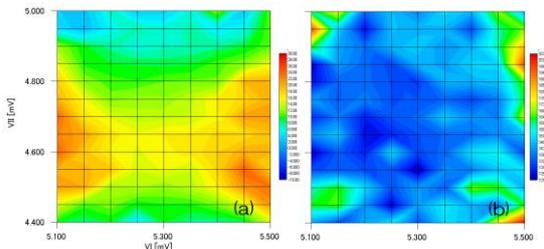


Fig.3 測定例((a)サイドバンド分離比、(b)雑音温度)

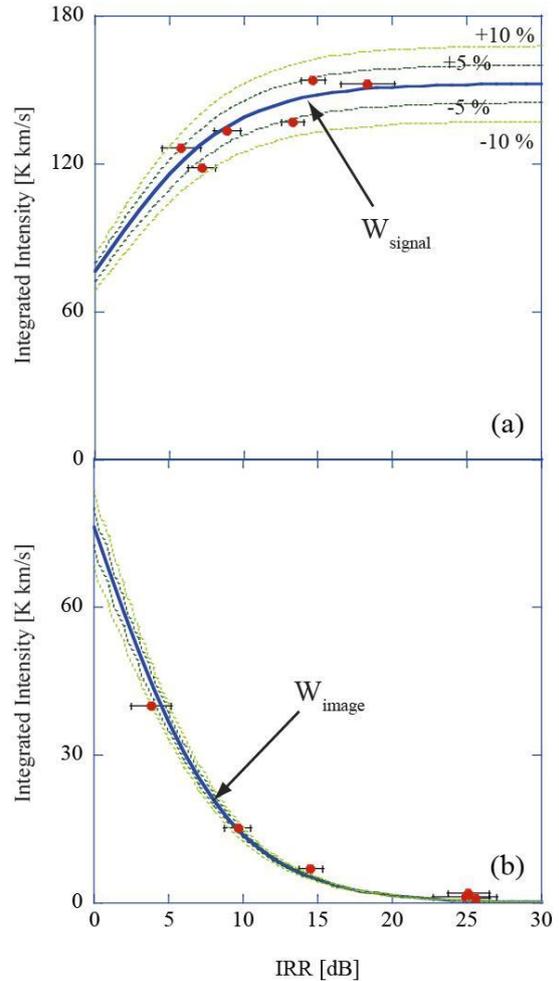


Fig.4 測定装置による分離比と実測値の比較

比の値を比較したところ、その精度は、 $\pm 5\%$ の誤差範囲内に収まっており、従来の較正装置の誤差をおよそ半分到低減させることに成功した(Fig. 4)。

さらに、この較正装置を昨年度から新たに45 m望遠鏡に搭載された100 GHz帯2ビーム2SB受信機(Nakajima et al. 2012 submitted to PASJ)にも使用したところ、同様にサイドバンド分離比の測定が可能であることが確認できた。これは、本較正装置の仕様が汎用性に優れ、他の望遠鏡システムにも応用が可能であることを示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 中島 拓、高野秀路、河野幸太郎、井上裕文、Detections of C_2H , cyclic- C_3H_2 , and $H^{13}CN$ in NGC 1068, The Astrophysical Journal、査読有、728 巻、2012、L38-L42、DOI: 10.1088/2041-8205/728/2/L38

[学会発表] (計 21 件)

- ① 中島 拓他、野辺山 45 m 鏡新観測システムと新マルチ受信機 FOREST の現状、日本天文学会 2012 年春季年会、2012 年 3 月 22 日、龍谷大学 (京都)
- ② 古家野 誠他、野辺山 45m 鏡に搭載する新マルチ受信機「FOREST」開発の進捗、日本天文学会 2012 年春季年会、2012 年 3 月 22 日、龍谷大学 (京都)
- ③ Taku Nakajima et al.、Development of the Sideband-Separating (2SB) Receiver Systems for the NRO 45-m Millimeter Wave Telescope、12th Workshop on Submillimeter-wave Receiver Technologies in Eastern Asia、Dec. 5, 2011、Seoul, Korea
- ④ 中島 拓他、野辺山 45 m 鏡新観測システムと 2SB 受信機システムの現状、日本天文学会 2011 年秋季年会、2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学 (鹿児島)
- ⑤ 片瀬 徹也他、野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載する新マルチ受信機「FOREST」デューワーの開発、日本天文学会 2011 年秋季年会、2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学 (鹿児島)
- ⑥ 古家野 誠他、野辺山 45 m 鏡新マルチ受信機「FOREST」用新 2SB 受信機の評価、日本天文学会 2011 年秋季年会、2011 年 9 月 20 日、鹿児島大学 (鹿児島)
- ⑦ Taku Nakajima et al.、100-GHz Band Sideband-Separating (2SB) Receivers for the NRO 45-m Telescope、Large Aperture Millimeter/Submillimeter Telescopes in the ALMA Era、Sep. 12-13, 2011、大阪府立大学 (大阪)
- ⑧ Tetsuya Katase et al.、Development of 100 GHz-band 4-beams receiver for Nobeyama 45-m radio telescope、Large Aperture Millimeter/Submillimeter Telescopes in the ALMA Era、Sep. 12-13, 2011、大阪府立大学 (大阪)
- ⑨ Taku Nakajima et al.、Development of a New Multi-Beam Array 2SB Receiver and the Measurement System of Image Rejection Ratio for 2SB Mixer、ALMA EA Development Workshop 2011、Sep. 8, 2011、国立天文台 (東京)
- ⑩ Nario Kuno et al.、New Observing System of the 45-m Telescope at Nobeyama Radio Observatory、The XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science、Aug. 13-20, 2011、Istanbul, Turkey
- ⑪ 中島 拓他、野辺山 45 m 鏡用 100 GHz 帯 2SB 受信機開発の進捗 IV、日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 16-19 日、筑波大学 (茨城)
- ⑫ 酒井 剛他、野辺山 45 m 望遠鏡 100 GHz 帯受信機の IF 広帯域化、日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 16-19 日、筑波大学 (茨城)
- ⑬ 片瀬 徹也他、野辺山 45 m 鏡用 100 GHz 帯新マルチビーム受信機 Dewar 開発の進捗、日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 16-19 日、筑波大学 (茨城)
- ⑭ Taku Nakajima et al.、The New Observation System for the NRO 45-m Millimeter Wave Telescope、11th Workshop on Submillimeter-wave Receiver Technologies in Eastern Asia、Nov. 14, 2010、名古屋大学 (愛知)
- ⑮ Kimihiro Kimura et al.、Optical Design of a New 4 Multi-Beam 100-GHz Band Receiver for The NRO 45-m Radio Telescope、11th Workshop on Submillimeter-wave Receiver Technologies in Eastern Asia、Nov. 14-15, 2010、名古屋大学 (愛知)
- ⑯ Tetsuya Katase et al.、Development of a New 2×2 Multi Beams Receiver for Nobeyama 45m Radio Telescope、11th Workshop on Submillimeter-wave Receiver Technologies in Eastern Asia、Nov. 14-15, 2010、名古屋大学 (愛知)
- ⑰ Taku Nakajima et al.、100-GHz Band Sideband-Separating Receivers for NRO 45-m Telescope、2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10)、Sep. 22-26, 2010、国際会議場 (富山)
- ⑱ 中島 拓他、野辺山 45 m 鏡用 100 GHz 帯 2SB 受信機開発の進捗 III、日本天文学会 2010 年秋季年会、2010 年 9 月 22-24 日、金沢大学 (石川)
- ⑲ 久野 成夫他、野辺山 45 m 鏡用新観測システムの開発 III、日本天文学会 2010 年秋季年会、2010 年 9 月 22-24 日、金沢大

学 (石川)

- ⑳ 木村 公洋他、野辺山 45 m 電波望遠鏡用
新 2 × 2 マルチビーム受信機ビーム伝
送系の開発、日本天文学会 2010 年秋季年
会、2010 年 9 月 22-24 日、金沢大学 (石
川)

- 21 片瀬 徹也他、45 m 電波望遠鏡に搭載す
る新 2 × 2 マルチ受信機 Dewar の開
発、日本天文学会 2010 年秋季年会、2010
年 9 月 22-24 日、金沢大学 (石川)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 拓 (NAKAJIMA TAKU)

国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・研究員
研究者番号：90570359

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし