

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20340045

研究課題名(和文) 東アジア VLBI 観測網を目指した山口 32m 電波望遠鏡の 22GHz 化

研究課題名(英文) Development of a 22 GHz receiver for Yamaguchi 32-m radio telescope

研究代表者

藤澤 健太 (FUJISAWA KENTA)

山口大学・時間学研究所・教授

研究者番号：70311181

研究成果の概要(和文)：

我々は東アジア VLBI 観測網を目指した山口 32m 電波望遠鏡の 22GHz 化の研究を行い、22 GHz の低雑音・両偏波同時受信可能な受信機を製作した。システム雑音温度の校正を行うと同時に、電波伝送路に水滴が付着するのを避けるために、受信機入力部近傍に微小な穴をあけ、標準雑音信号を注入すると同時に、乾燥空気を循環させるという工夫を行った。雑音温度が約 25K の HEMT アンプを使用し、円偏波分離器も冷却することで、受信機雑音温度は 45K 以下を達成した。これは世界的にもトップレベルの低雑音性能である。

研究成果の概要(英文)：

We have developed a cooled low-noise receiver at 22 GHz, which is an important observational frequency of the East-Asian VLBI Network. The 22 GHz receiver is composed of a cooled-polarizer, two Low Noise Amplifiers (LNA) for receiving dual polarization simultaneously, mixers and two amplifiers, and back-end. A unique calibration system using a small hole for noise injection is adopted. This hole is also used for drying the waveguide. The noise temperature of the LNA is about 25 K. Since the polarizer is also cooled with the LNAs, the receiver noise temperature of below 45 K was achieved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：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・受信機・VLBI・観測網・メーザ

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 大学 VLBI 連携

国立天文台 VERA 観測所と 4 大学(山口大学、北海道大学、岐阜大学、鹿児島大学)が連携して VLBI 観測を実施するのが、大学

VLBI 連携観測事業である。この事業には情報通信研究機構、宇宙航空研究開発機構、国土地理院も協力し、観測に参加する電波望遠鏡は 2008 年の時点で 10 台に及んだ。大学 VLBI 連携は 2004 年に研究を開始し、試験

観測による性能評価を経て、定常的な観測が行われている。この大学 VLBI 連携観測事業にはその後、筑波大学、茨城大学、大阪府立大学が参加し、観測に参加する電波望遠鏡の数も 13 台に増加している。

## (2) 国際的な情勢

一方、中国および韓国においても VLBI の観測的研究が開始されており、これらの東アジア観測局との連携が、よりいっそう科学的観測能力を高めると期待される。これを東アジア VLBI 観測網と名づけ、山口大学・山口 32m 電波望遠鏡（以下、山口 32m）はその中核的な観測拠点となることを目指している。東アジア VLBI 観測網の形成により、各国・各機関・大学が連携することでこれまで独自に行われてきた観測的研究を総合的に発展させるとともに、潜在的観測能力を發揮してこれまでにない研究領域を開拓することが可能となる。

2008 年の時点で、大学 VLBI 連携で利用している観測周波数帯は 8 GHz が中心であり、6.7 と 22 GHz で試験的な観測が行われている。科学的研究能力を高めるためには、今後、多周波数帯での観測が不可欠である。中国・韓国の観測局でも中心的な観測周波数帯は 22 GHz である。

## 2. 研究の目的

### (1) 目標

本研究では、大学 VLBI 連携観測の拠点である山口 32m に 22 GHz の受信システムを搭載して大学 VLBI 連携の研究能力を高め、さらに東アジア観測局という大きな枠組みへ研究を展開することを目標とした。

### (2) 期待される成果

大学 VLBI 連携観測網の特色は、輝度温度の低い天体に対する感度が高いことである。口径 32m を超える電波望遠鏡が 4 台、最大で 64m (JAXA/臼田) の大口径アンテナがわずか 800km の範囲に集中して分布していることが重要な役割を果たしている。また超高速通信網を利用した世界最高のデータ速度（感度）を誇る光結合 VLBI 観測システムが導入され、さらに VERA という位相補償技術を全面的に利用した観測システムがサブアレイとして存在する。これらの観測能力を全て發揮すると、きわめて低い輝度温度の天体構造の観測的研究が可能となる。たとえば、次のような研究テーマが期待される：

- ・ 活動銀河核の本質が見えていると期待されている低輝度活動銀河核の観測
- ・ 活動銀河核の両サイドに伸びるジェット構造（カウンタージェットの検出）
- ・ 長期的または過去の活動性の残存物のような輝度温度の低い活動銀河核ジェット

- ・ 低輝度で複雑な構造・分布を持つ水蒸気メーザの画像観測
- ・ 原始星・アルゴルなどの近接連星周囲の磁場が放射する非熱的電波放射
- ・ 活動銀河核との関連が推測される銀河系内マイクロクエーサー天体

すなわち、これまで観測不可能だった天体の研究が可能となる。これは大学 VLBI 連携・東アジア VLBI 観測網が、世界において独自の地位を占める観測網となることを意味する。

ここに挙げたどの研究をとっても、科学的な重要性を増すためには 8 + 22 GHz という多周波数帯の観測が不可欠である。国立天文台の VERA は 22 GHz 帯が主力の観測周波数帯であり、北海道大学・岐阜大学それぞれの 11m、情報通信研究機構の鹿島 34m はすでに 22 GHz での観測実績がある。しかし、22 GHz 帯で大学 VLBI 連携の特長を發揮するために、大口径を有する山口 32m が観測に参加することがきわめて重要な意味を持つ。逆に言えば、山口 32m が 22 GHz で高感度の性能を發揮し、大学 VLBI 連携において中核的な役割を果たすことができれば、この観測網は多くの研究者にとって魅力的なものとなり、東アジア VLBI 観測網の構築へと展開することが期待される。

## 3. 研究の方法

### (1) これまでの開発実績

山口 32m は 2000 年までインテルサット通信用に使われてきたアンテナである。2002 年から本格的に電波望遠鏡としての整備を行い、2003 年には VLBI 観測に成功、2004 年にはメタノール・メーザ天体の大規模サーベイを行い、新天体の検出などの成果を挙げている。この間、追尾システムの製作と改良、8GHz 冷却受信機の設置と総合性能評価、開口能率・ビーム能率の測定、遠隔観測システムの研究など、さまざま角度から観測システムの研究と調製が行われてきた。その結果、8GHz の観測システムは完全に完成し、高精度かつ高能率な観測を行えるようになっていく。

山口 32m を 22 GHz で使うためには、そもそも鏡面精度や追尾精度などアンテナの能力が十分であることが必要である。2006 年には常温の試験受信機を搭載して試験観測を行い、システム雑音温度測定、天体の試験受信、追尾精度の調査、22 GHz での開口能率測定などの試験を行った。開口能率は 30% に達し、観測に十分耐えうる鏡面精度であることが示されている。さらに 2007 年には実験を継続し、安定して VLBI 観測に成功することを実証し、また世界最高のデータ速度＝高感度を実現する 2Gbps の実時間 VLBI 観測 (e-VLBI) の実験にも成功した。

常温の試験受信機を使った試験観測・システムチェックは順調に進んでいる。残された課題は 22 GHz 冷却低雑音受信機の製作と観測の実施である。この開発と試験を、以下の方法で実施した。

## (2) 設計

22GHz 帯の受信機を製作することは、基本的には「枯れた」技術といえる。初年度はほぼ受信機の設計に専念した。まず、受信機設計・製作に実績のある岐阜大学を訪問し、様々な情報を収集した。その他の情報も加味して、受信機は、以下の仕様を満たすことを目指した：

- ・ 山口 32m の給電システムに適合し、設置可能な大きさ・重量である
- ・ 左右 2 円偏波同時受信が可能である
- ・ 受信機単体の雑音温度は 120K 未満、システム雑音温度は 150K 未満である
- ・ ノイズソース注入によるシステム雑音温度校正機能を持つ
- ・ バイアス制御、温度モニタなどの機能を持つ

受信機の製作は、導波部、真空冷却部、制御部（以上、フロントエンド）、および周波数変換部に分かれる。多くの部品は市販されているので、できる限り汎用品を用いてコスト低減に努める。一方、性能にかかわるプリアンプ、電源の安定化などには VERA で利用されている高性能部品を使用する。

フロントエンドは、機械的・電気的な組み立てができた段階で、性能評価を行う。性能評価は真空度、冷却性能、機械的安定度、電気的安定度、増幅率、帯域内平坦特性、反射特性、雑音指数について行われる。これらの試験・評価には各種測定器および測定治具が必要となるので、機器を備えた他機関において実施することを想定した。設計図を図 1 に示す。これは改造後（後述）のものである。

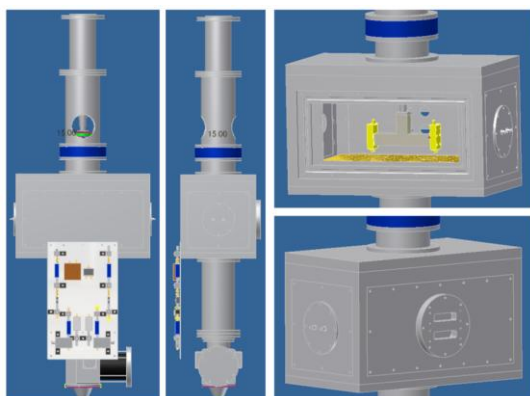


図 1. 山口 32m 用 22GHz 受信機の設計図

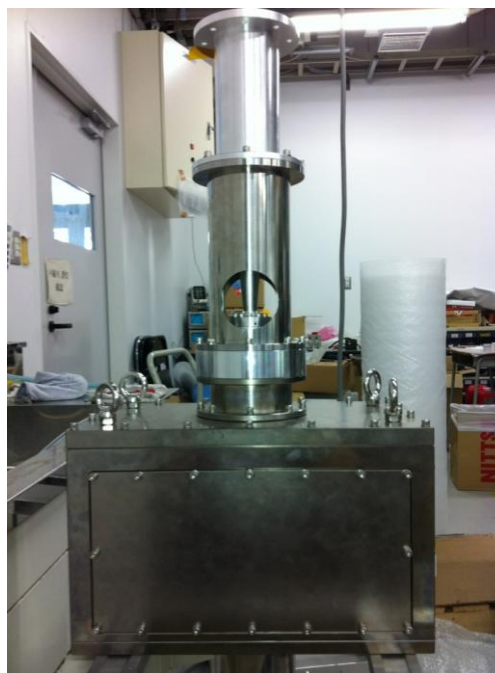


図 2. 製作した受信機

## 4. 研究成果

### (1) 製作

設計に従って受信機の製作を行った。この段階で、大阪府立大学・小川研究室の全面的な協力を受けることになった。製作した受信機を図 2 に示す。

まず、受信機の温度・真空度などを常時モニタする機能を確立し、別のテスト結果と比較して性能の確認をした。これは受信機の能力に直接関係するものではないが、何もない状態での受信機開発には必須の作業である。

次に受信機の機能として必要な真空の達成・保持と十分な冷却能力を有することの確認を行った。真空度は  $10^{-4}$ Pa まで達し、温度は 8 K（発熱物なしの状態）まで達成できた。一方、これらの作業中に、熱流量を考慮すると、現状の設計では温度が少し高くなってしまいう可能性があることに気づいた。この対策として、ステンレスの導波管を設置して断熱効果を高めることにした。

さらに、増幅器などのパーツを取り付け、受信機としての基本的な性能を発揮できる形態とした。製作の過程で、性能向上、観測の安定性などを旨して、受信機・給電部の改造を行った。まず給電用ホーン位置を高めて水滴の付着（雑音上昇の原因となる）を避けた。また校正用雑音信号の注入口を設けた。

### (2) 試験

受信機単体のシステム雑音温度測定を行った結果を、表 1 に示した。

CH1 の受信機雑音温度は 42.8 K、CH2 の受信機雑音温度は 45.0 K となった。初段の

HEMT AMP の雑音温度が 25-30 K なので、プラス 15-20 K という結果になった。これは世界的な水準と比較してもそんな色のない、トップクラスの性能といえる。

表 1. 受信機雑音温度の評価

	CH1 (L)	CH2 (R)
HOT (298K)	-5.31	-6.29
COLD (77K)	-9.85	-10.78
$\Delta$ power	4.54	4.49
Trx	42.8	45.0

### (3) 研究会の開催

22 GHz の観測を中心とした研究のあり方を議論する研究集会は、『大学 VLBI 連携・東アジア VLBI 観測網の 22GHz 観測』と題して予定通り実施した。開催日は 2010 年 11 月 12 日、場所は山口大学である。発表は日本全国、また中国の上海天文台から 16 件、参加者は約 30 人であり、小規模な研究会ながら密度の高い議論を行うことができた。内容は観測システムに関するもの、また科学的な研究の成果報告、および観測の提案である。まとめとして大学 VLBI 連携観測・東アジア観測網を今後どのように利用することでより良い研究成果が得られるか、参加者全員で議論を行った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

① Sugiyama, Koichiro, Fujisawa, Kenta, Doi, Akihiro, Honma, Mareki, Isono, Yasuko, Kobayashi, Hideyuki, Mochizuki, Nanako, Murata, Yasuhiro, Sawada-Satoh, Satoko, Wajima, Kiyooki

"Internal Proper Motions of Methanol Masers at 6.7GHz in Massive Star-Forming Region Onsala 1"

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 63, No. 1, pp. 53--61 (2011) 査読あり

② Kotani, Taro, Miyazaki, Atsushi, Tsuboi, Masato, Endo, Wataru, Fujisawa, Kenta, Kawai, Nobuyuki, Kuno, Nario, Nakanishi, Kouichiro, Yamaoka, Kazutaka, Yonekura, Yoshinori

"Cyg X-3 is flaring in radio"

The Astronomer's Telegram, #3130 (2011) 査読なし

③ Nagai, Hiroshi, Suzuki, Kenta, Asada, Keiichi, Kino, Motoki, Kamenno, Seiji, Doi, Akihiro, Inoue, Makoto, Kataoka, Jun, Bach,

Uwe, Hirota, Tomoya, Matsumoto, Naoko, Honma, Mareki, Kobayashi, Hideyuki, Fujisawa, Kenta

"VLBI Monitoring of 3C 84 (NGC 1275) in Early Phase of the 2005 Outburst"

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 62, No. 2, pp. L11--L15 (2010) 査読あり

④ Sasada, Mahito, Uemura, Makoto, Fukazawa, Yasushi, Kawabata, Koji, Takahashi, H., Itoh, R., Ohsugi, T., Yoshida, M., Yamanaka, M., Sato, S., Kino, M., Fujisawa, K., Kadota, A., Kataoka, J., Kawai, N., Kuroda, D., Yanagisawa, K., Imada, A., Ohta, K., Sakon, I.

"Multi-wavelength photometric and polarimetric observations of the outburst of 3C 454.3 in Dec. 2009"

38th COSPAR Scientific Assembly. Held 18-15 July 2010, in Bremen, Germany, p. 5 (2010) 査読なし

⑤ Doi, Akihiro, Kawaguchi, Noriyuki, Kono, Yusuke, Oyama, Tomoaki, Fujisawa, Kenta, Takaba, Hiroshi, Sudou, Hiroshi, Wakamatsu, Ken-Ichi, Yamauchi, Aya, Murata, Yasuhiro, Mochizuki, Nanako, Wajima, Kiyooki, Omodaka, Toshihiro, Nagayama, Takumi, Nakai, Naomasa, Sorai, Kazuo, Kawai, Eiji, Sekido, Mamoru, Koyama, Yasuhiro, The VLBI Group At Geographical Survey Institute, Asano, Shoichiro, Uose, Hisao

"VLBI Detections of Parsec-Scale Nonthermal Jets in Radio-Loud Broad Absorption Line Quasars"

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 61, No. 6, pp. 1389--1398 (2009) 査読あり

⑥ Sugiyama, K., Fujisawa, K., Wajima, K., Sawada-Satoh, S., Isono, Y., Honma, M., Murata, Y., Mochizuki, N., Doi, A.

"The Kinematics of the Methanol Maser at 6.7 GHz in Cepheus A"

Approaching Micro-Arcsecond Resolution with VSOP-2: Astrophysics and Technologies ASP Conference Series, Vol. 402, proceedings of the conference held 3-7 December, 2007, at ISAS/JAXA, Sagami-hara, Kanagawa, Japan. Edited by Yoshiaki Hagiwara, Ed Fomalont, Masato Tsuboi, and Yasuhiro Murata., p. 392 (2009) 査読なし

⑦ Nagayama, Takumi, Takeda, Koji, Omodaka,

Toshihiro, Imai, Hiroshi, Kamenno, Seiji, Sofue, Yoshiaki, Doi, Akihiro, Fujisawa, Kenta, Habe, Asao, Honma, Mareki, Kawaguchi, Noriyuki, Kawai, Eiji, Kobayashi, Hideyuki, Koyama, Yasuhiro, Murata, Yasuhiro, Sorai, Kazuo, Sudou, Hiroshi, Takaba, Hiroshi, Tamura, Sayaka, Wakamatsu, Ken-Ichi

"H2O Maser Outflow from the Red Supergiant Star NML Cygni Observed with Japanese VLBI Network"

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.5, pp.1069--1075 (2008) 査読あり

⑧ Sugiyama, Koichiro, Fujisawa, Kenta, Doi, Akihiro, Honma, Mareki, Isono, Yasuko, Kobayashi, Hideyuki, Mochizuki, Nanako, Murata, Yasuhiro

"A Synchronized Variation of the 6.7GHz Methanol Maser in Cepheus A"

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.5, pp.1001--1006 (2008) 査読あり

⑨ Motogi, K., Watanabe, Y., Sorai, K., Habe, A., Honma, M., Imai, H., Yamauchi, A., Kobayashi, H., Fujisawa, K., Omodaka, T., Takaba, H., Shibata, K. M., Minamidani, T., Wakamatsu, K., Sudou, H., Kawai, E., Koyama, Y.

"Microstructure and kinematics of H2O masers in the massive star-forming region IRAS 06061+2151"

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 390, Issue 2, pp. 523-534. (2008) 査読あり

⑩ Fujisawa, Kenta, Tsuboi, Masato, Trushkin, Sergei, Kotani, Taro  
"A radio flare of a microquasar Cyg X-3"  
The Astronomer's Telegram, #1838 (2008)  
査読なし

[学会発表] (計8件)

① 藤沢健太、杉山孝一郎 (山口大学)、蜂須賀一也 (上海天文台)、米倉覚則 (茨城大学)、土居明広、望月奈々子 (宇宙研)、澤田佐藤聡子 (国立天文台)、元木業人 (北海道大学)、小川英夫 (大阪府立大学)

茨城・上海を含む東アジア VLBI 観測網によるメタノール・メーザ観測  
日本天文学会 2011 年春季年会  
2011/03/16, 茨城, 筑波大学

② K. Fujisawa (Yamaguchi U.)

RECENT RESULTS AND FUTURE PLAN OF THE JAPANESE VLBI NETWORK

2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10)

2010/09/23, Toyama International Conference Center, Toyama

③ 藤沢健太、青木望 (山口大学)

大質量星形成領域 G12.71-0.11 のメタノール・メーザが示す激しい強度変動

日本天文学会 2010 年秋季年会

2010/09/22, 金沢, 金沢大学

④ 藤沢健太

山口 32 m 電波望遠鏡の 22GHz 冷却受信機

日本天文学会 2010 年春季年会

2010/3/24, 広島, 広島大学

⑤ 藤沢健太

山口 32m 電波望遠鏡計画の経過報告と将来計画

日本天文学会 2009 年秋季年会

2009/9/14, 山口, 山口大学

⑥ 藤沢健太 (山口大)、ほか大学 VLBI 連携観測グループ

大学 VLBI 連携観測の現状について

日本天文学会 2009 年春季年会

2009/03/24, 大阪, 大阪府立大学

⑦ Fujisawa, Kenta

Japanese VLBI Network: recent results and future plan for EAVN

2009 East Asia VLBI Workshop

2009/03/18, Seoul, Korea

⑧ 藤沢健太、石川裕子、澤田昭浩、杉山孝一郎 (山口大)、山口大学研究グループ

6.7GHz メタノール・メーザの長期的変動

日本天文学会 2008 年秋季年会

2008/09/11, 岡山, 岡山理科大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

(1) 大学 VLBI 連携のホームページ

<http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~kenta/jvnhp/index.html>

(2) 研究成果を公表しているホームページ  
<http://www.sci.yamaguchi-u.ac.jp/phy/astro/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤澤 健太 (FUJISAWA KENTA)  
山口大学・時間学研究所・教授  
研究者番号：70311181

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし