

# 宇宙科学研究所報告

第 110 号

臼田宇宙空間観測所水素メーザ  
標準周波数時刻システム

廣澤春任・横山幸嗣・山本善一・山田三男・  
加藤隆二・森謙二郎・津田正宏

2000年8月

宇宙科学研究所

この報告書は宇宙科学研究所が、研究成果を公表するために発行する不定期継続刊行物です。

本報告についてのお問い合わせは下記にご連絡下さい。

宇宙科学研究所 管理部庶務課法規・出版係

## 臼田宇宙空間観測所水素メーザ標準周波数時刻システム

廣澤春任\*・横山幸嗣\*\*・山本善一\*・山田三男\*・  
加藤隆二\*・森謙二郎†・津田正宏†

(2000年7月7日受理)

## The Hydrogen Masers Frequency-and-Time Standard System of the Usuda Deep Space Tracking Station

By

Haruto HIROSAWA\*, Koji YOKOYAMA\*\*, Zen-ichi YAMAMOTO\*, Mitsuo YAMADA\*,  
Takaji KATO\*, Kenjirou MORI†, and Masahiro TSUDA†

**Abstract:** A frequency and time standard system composed of three hydrogen masers has been operating at the Usuda Deep Space Center of the Institute of Space and Astronautical Science since 1998. A three hydrogen masers system is an ideal frequency standard for a deep space tracking station, since hydrogen masers can be operated with high reliability through relative phase comparisons among the masers. This paper describes the design and the operation of the three hydrogen masers frequency-and-time standard system that we have developed for the Usuda deep space tracking station.

### 要 旨

臼田宇宙空間観測所に設置した水素メーザ標準周波数時刻システムについて述べている。深宇宙追跡局において水素メーザを周波数標準器として用いるに当たって、高い信頼度を確保するには3台を並列運転することが望まれるが、臼田宇宙空間観測所においては1998年に3台の水素メーザからなる標準周波数時刻システムを実現することができた。3台の水素メーザを並列運用するために開発した位相比較、時刻監視などの運用監視システムは予定した機能を果たし、良好に動作している。

**重要語:** 水素メーザ, 周波数標準, 標準時刻装置, 深宇宙探査局

---

\*宇宙科学研究所 Institute of Space and Astronautical Science

\*\*宇宙科学研究所 (現在 千葉工業大学) Institute of Space and Astronautical Science; presently with Chiba Institute of Technology

†アンリツ株式会社 ANRITSU Corporation

## 1. はじめに

深宇宙探査機の追跡を目的とする臼田宇宙空間観測所には、直径64mのパラボラアンテナをもつ追跡受信管制設備が備えられている。その設備の中に、基本的なサブシステムの一つとして、標準時刻設備がある。標準時刻設備は、観測所内の送受信設備や変復調装置、測距・距離変化率計測装置、運用管制設備などに安定度の高い基準周波数信号や正確な時刻信号を供給する。標準時刻設備には基準信号の発生源となる原子周波数標準器が必要であるが、1984年の観測所開設の時点では、セシウム原子標準器が採用され、それにルビジウム原子標準器を補助発振器として用いる並列冗長構成が取られた。

一方、深宇宙探査追跡局の周波数標準器としては、周波数安定度のより優る水素メーザ原子周波数標準器が望ましいことが知られており、例えば、米国NASAのDeep Space Networkでは、1970年代半ばに、その導入が図られた[1]。深宇宙探査追跡局の大型アンテナは、しばしば、電波天文観測や電波科学上の観測にも使われるが、それらの分野の観測のためにも、位相安定度の高い周波数標準として、水素メーザは欠くことのできないものとなっていた。

臼田宇宙空間観測所においても、水素メーザを備えることは、観測所開設当初から強く要望されていたが、当時、水素メーザは極度に精巧な装置であると考えられていたことから、信頼性と保守の即応性が強く配慮され、国内において信頼度の高い水素メーザが製作、市販されるようになるのを待つこととなった。1980年代の後半になって、郵政省電波研究所（現在、通信総合研究所）における研究・開発の成果を土台に水素メーザの国産市販化が実現し[2,3]、それを機に、1989年、臼田宇宙空間観測所において、水素メーザ装置1台の導入がなされた。観測所開設から6年目に当たる年であった。この水素メーザは、まずNASAの惑星探査機ボイジャー2号の日米共同オカルテーション観測[4]に使用された。水素メーザは、当時まだ、その運転自体に実験的な要素があったため、臼田局の標準時刻設備の原子標準器を既設のセシウム・ルビジウム系から水素メーザに直ちに置き換える、ということとはなされなかった。

以後、パルサーの電波観測、VLBIによる局位置精密決定、およびVLBI天文観測などに使用されたが、続いて2台目の水素メーザの導入が図られた後、1997年2月、科学衛星「はるか」[5]が打ち上げられ、「はるか」によるスペースVLBI観測では、衛星への位相基準信号の伝送において、並びに、64mアンテナを電波望遠鏡として使用するに当たって、水素メーザは、必須のものとして、重要な機能を果たした。

水素メーザは、現存する周波数標準器として最も安定度の高いものであり、そのため、1台のみでは、最高性能のもとに動作しているかどうかの確認が出来ない。2台ある時には、その相互比較により2台が共に安定であることの確認はできるが、差異があるときに、そのどちらかについての同定ができない。このことから、精巧で、微細な調整のもとに動作している水素メーザ装置を深宇宙局に要求される高い運用信頼性をもって動作させるためには、3台が並列運転されることが極めて望ましい。3台あれば、相互間の位相比較を行うことによって、常時、動作性能の確認ができ、仮に性能の低下している装置があった場合、直ちにそれを検出し、調整の処置を施すことができる。

このことから、水素メーザを3台構成とすることは深宇宙局としての臼田宇宙空間観測所の一つの課題であったが、1997年度、宇宙空間光通信研究実験棟が建設された際に、それに伴う設備充実の一環として、3台目の水素メーザ装置を設置することができた。3台構成の水素メーザシステムが確立したことにより、臼田局の標準時刻装置の周波数標準器はセシウム・ルビジウム系から水素メーザに切り替えられた。

3台構成の水素メーザシステムを実現したことは臼田の深宇宙局に新たな特徴を加えたものである。本稿は、3台の水素メーザとそれを運用するために製作した監視装置等からなる「水素メーザ標準周波数時刻システム」に関して、その構成と機能、設置状況、動作等を記し、一つの技術資料としてまとめを行うものである。

### 2. 水素メーザ標準周波数時刻システムの構成と機能

既に述べたように単独の水素メーザの場合、比較する対象が無いため、周波数安定度が正常に、すなわち、最高性能の状態に保たれているかどうかの確認ができない。2台の場合、2台の出力を比較することにより、2台とも正常であることは確認できるが、安定度の低下が検出された場合に、どちらが劣化しているかを、2台の位相比較からだけでは同定できない。水素メーザが3台になると、三つの対について常時位相比較を行うことにより、安定度の確認ができ、安定度の低下した装置を同定することも可能で、常時適切な監視が行える。深宇宙探査機のレンジング（距離測定）、ドップラー周波数の測定、あるいはVLBI観測などでは、周波数標準器の周波数安定度が常時高い信頼性をもって確保されていることが必要であり、3台のシステムでは、その要請が満たされる。

白田局に設置した水素メーザ標準周波数時刻システムの構成を図1に示す。設備全体は、水素メーザ3台を中心とする標準信号発生部、位相比較を行う位相比較部、時刻監視・遠隔自動監視部、および標準信号分配装置、の四つの部分に区分される。このシステムは、基準周波数信号と、協定世界時（UTC）に同期した秒信号とを出力する。基準周波数信号は、既設の標準時刻設備の原子標準器入力になるとともに、必要に応じて、電波天文観測装置等に直接導かれる。一方、秒信号出力は個別の用途で、局内に一般に供給される秒信号は、既設の標準時刻設備において水素メーザからの基準周波数信号をもとに作られている。システムを構成する各部の機能と性能を次に記す。

#### (1) 標準信号発生部

3台の、同一仕様の水素メーザ装置 [3] からなる。各メーザ装置はそれぞれ無停電電源と監視記録部を備え、独立して標準周波数信号（5 MHz、10 MHz、及び100 MHz）と秒信号（1 PPS）を発生する。水素メーザ装置の代表的な周波数安定度のデータを図2に示す。周波数安定度はアラン分散の平方根であるアラン標準偏差によ

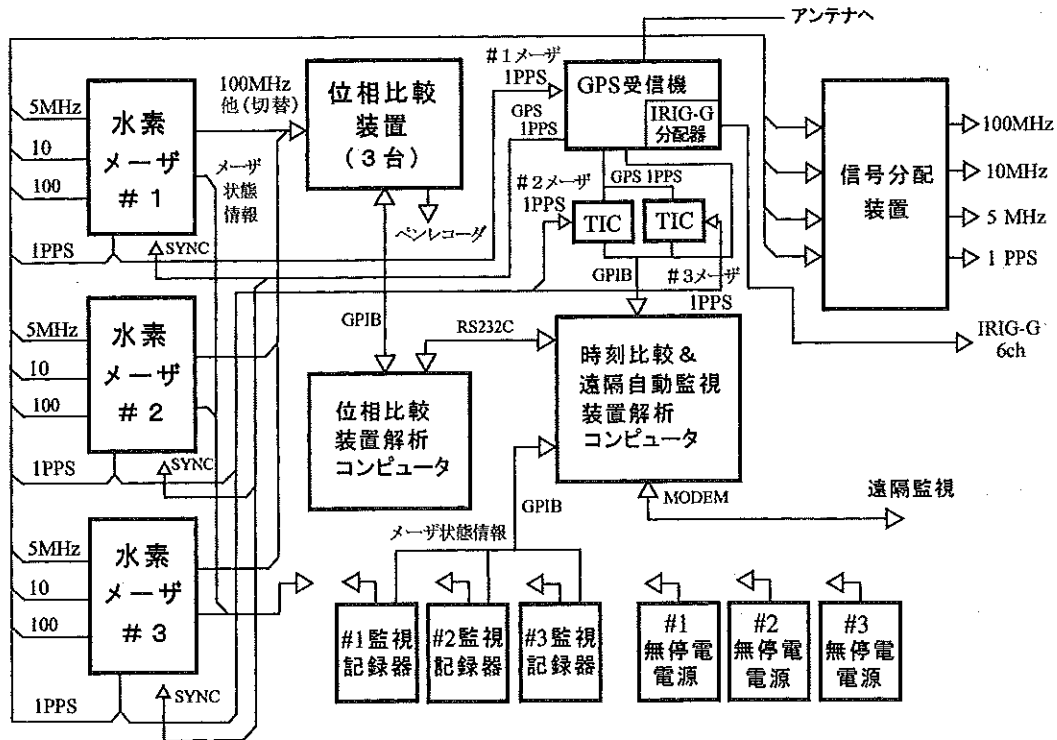


図1. 水素メーザ標準周波数時刻システムの構成

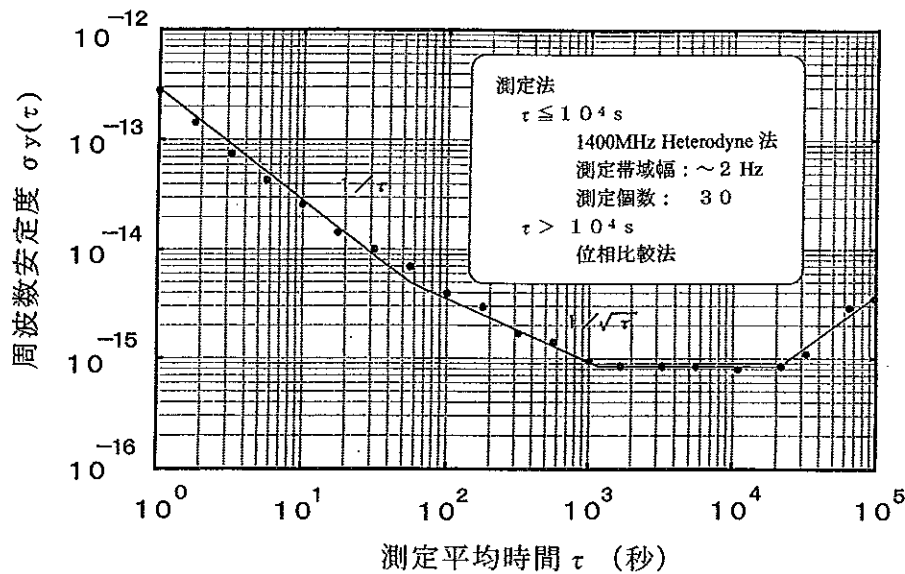


図2. 水素メーザの周波数安定度

って表されている。装置は、移動環境でも使用できるように堅固に設計・製作され、さらに、外部温度や外部磁場の条件も緩いことが特徴となっている。使用環境は、温度  $23 \pm 1$  °C、湿度 20 ~ 80 %、地球磁場中での使用可(変動 10 mOe 以内)、と規定されている。標準信号の出力周波数のオフセット補正はメーザ装置内の位相同期受信機の局部発振周波数を微調することによって行える。秒信号時刻同期のオフセット補正には、後述する GPS 受信機が出力する秒信号を外部同期信号として用いる(図1に見るように、同期信号ラインを、水素メーザ側の同期入力端子に常時は接続していない。各メーザごとに、同期が必要と判断されるときに、接続する)。無停電電源は、バッテリー満充電時、停電状態において12時間の電源供給を行える。水素メーザの主な性能を付録に示す。

### (2) 位相監視部

3台の位相比較器と解析コンピュータからなる。3台の水素メーザの標準周波数出力を相互に位相比較し、周波数安定度の解析を自動的に行う。位相比較器の動作周波数帯は 300 kHz ~ 2 GHz と広く取っており、水素メーザ出力を適宜切り替えて入力する。通常は 100 MHz を入力している。位相比較の分解能は 0.1 度である。3組の位相比較結果を CRT に表示するとともに、ペンレコーダに出力する。解析コンピュータでは、位相比較データを統計解析し、周波数安定度、周波数偏差などを求める。

### (3) 時刻監視・遠隔自動監視部

GPS 受信機、タイムインターバルカウンタ、時刻比較および水素メーザ遠隔自動監視のための解析コンピュータからなる。

GPS受信機はルビジウム発振器を内蔵しており、GPS 衛星から送られてくる UTC 時刻符号に対して較正された「GPS 受信機 REF (Rb)」と呼ぶ秒時刻を出力する。時刻比較部では、各水素メーザにおいて作られる秒時刻と、「GPS 受信機 REF (Rb)」の秒時刻とを比較する。秒時刻を比較するためのタイムインターバルカウンタとして、1台はGPS受信機に内蔵されたものを使い、2台を外付けで設けている。二つの秒時刻の差は分解能 1 ns 以内で測定している。解析コンピュータでは、秒時刻の比較データを長期間にわたって収集し、統計解析を行う。

また、解析コンピュータでは各水素メーザの状態情報を収録、保存する。収録している情報の主なものは、メーザ発振出力 (IF レベルを測定)、電源電圧、真空度 (イオンポンプ電流を測定)、水素ガスの流量 (水素二次圧を測定)、水素解離放電強度、静磁界強度 (磁界印加用電流を測定)、同調電圧 (共振器、および位相同期受信機

内の電圧制御発振器について) などである。

なお、図1のシステム構成図に付記してあるように、GPS受信機にはオプションボードを取り付け、6チャンネルのIRIG-G信号を取り出せるようにしてある。

#### (4) 標準信号分配装置

3台の水素メーザの内、最良状態にあるメーザ(運用者が選択)の出力信号を、観測所の標準時刻設備、および電波天文観測等のための地上装置へ向けて、分配、出力する。出力は、5 MHz、10 MHz、100 MHzの正弦波信号と、1 PPSのパルス秒信号(パルス幅33 ms)からなり、分配出力数は、各周波数信号、秒信号とも、12チャンネルである。

### 3. 設置環境

1997年度に、中核的研究機関支援プログラムの一環として、白田宇宙空間観測所に宇宙空間光通信研究実験棟(2階建て)が建設された。その2階の一室が水素メーザ室とされ、本稿に述べる水素メーザ標準周波数時刻システムが収められた。

図3は室内配置図、図4(a),(b)は水素メーザおよび監視装置等の配置状況を示す写真である。部屋は床面5.7 m×9.3 m、天井高2.9 mで、出入り用の一つの開閉扉を除いて、窓や扉をもたない。水素メーザ本体は、各々、幅600 mm、奥行き675 mm、高さ1610 mmの寸法をもち、重量は450 kgである。3台は約1 mの間隔を置いて、一列に並べられている。

室内は冷房能力13.2 kWの市販空調装置(外気温-15度から+43度で使用可)により温度管理され、室温は23℃、変動幅±0.5℃以下、に保たれている。この部屋に関して、特別な電磁的・磁氣的シールドは行なっていない。

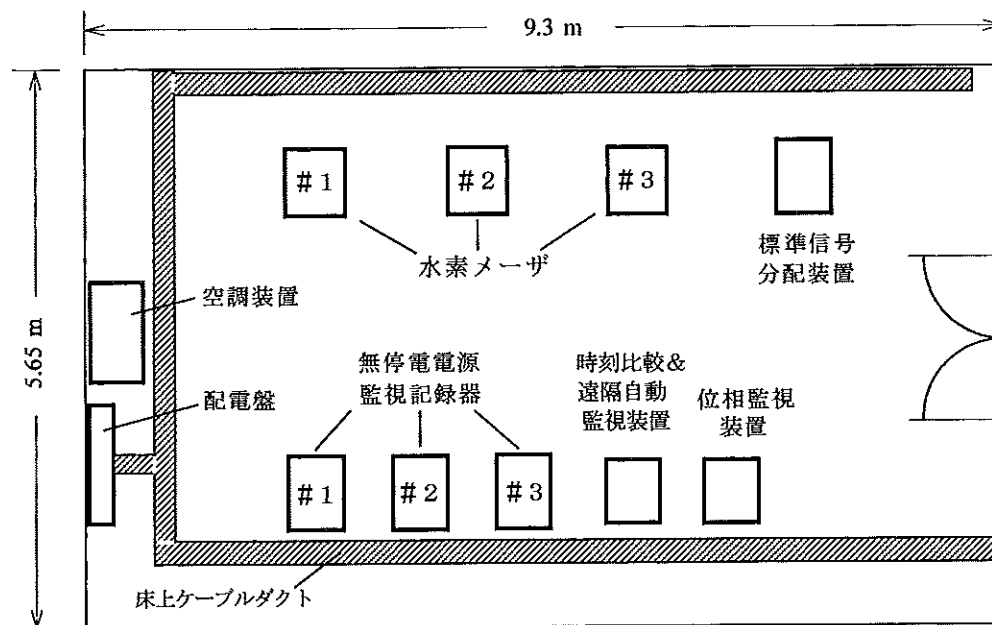


図3. 水素メーザ標準周波数時刻システムの室内配置図

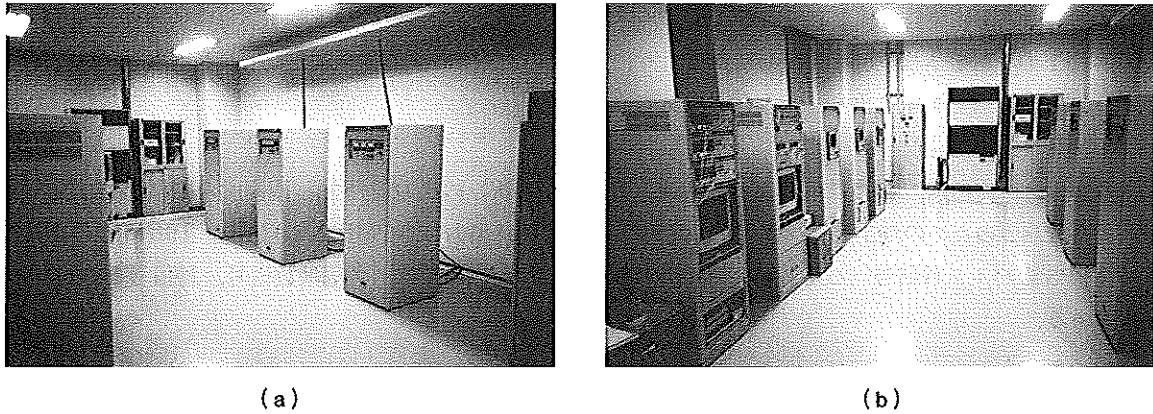


図4. 水素メータ標準周波数時刻システムの配置状況 (a) 3台の水素メータ、(b) 水素メータ室全景

#### 4. 監視装置の動作状況

位相比較及び時刻監視装置の動作状況を、以下に、例をもって示す。

##### 4.1. 位相比較

図5の写真は、位相差の時間変化をグラフ表示したCRT画面である。位相差を表す3本の曲線は、画面では、色分け（水色、黄、紫）してある。画面下部の三つの数値は、位相差の現在値である。画面右上には、アラン標準偏差の現在値（写真の場合、メータ#1と#3の出力を100 MHzにおいて比較、平均時間は1200秒）を示している。なお、画面右端の目盛りはここでは意味はない。

位相差の時間変化を表すCRT画面は、1日1画面の割合で、プリンターに出力されている。図6および図7にプリンター記録の例を示す。図6（1999年12月19日の記録、図の中のStartと印した日時は一連の計測の開始時点を示しているもので、このグラフの開始時点ではない）では、位相差は24時間にわたって安定に推移しており、3台のメータの動作は正常である。位相差の時間に関する直線的な変化は、2台のメータ各々の周波数オフ

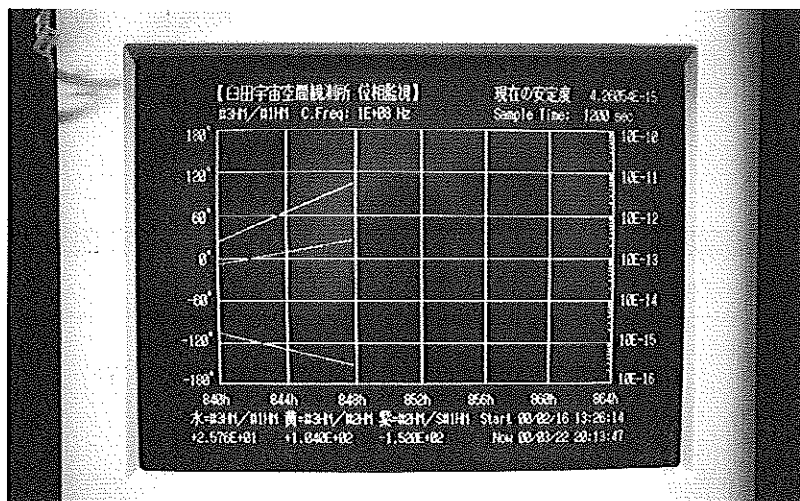


図5. 位相比較CRT画面



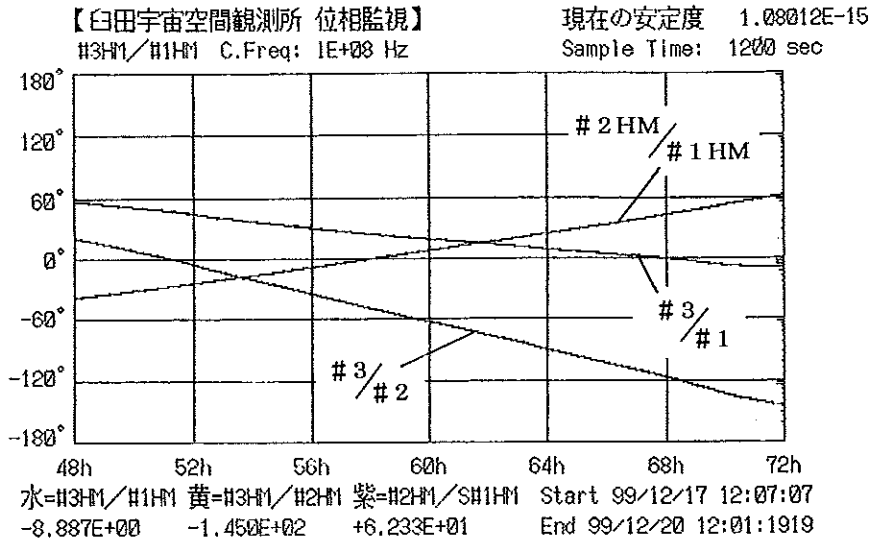


図6. 位相差の時間変化—正常な場合の例

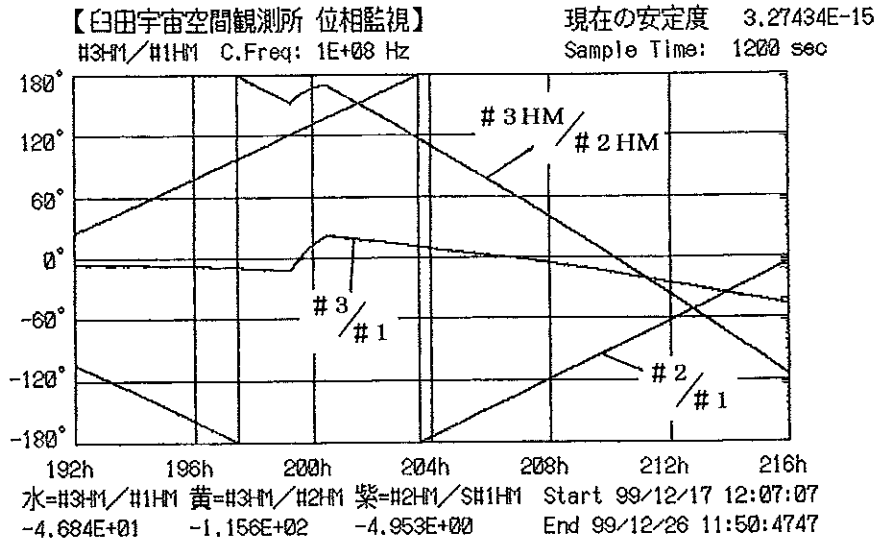


図7. 位相差の時間変化—一部に異常が見られる例

セットに起因しており、周波数変動成分ではない。位相差の時間に関する2次微分成分以上が周波数変動に相当する。図右上部の現在の安定度の数値は、グラフ終了時点におけるものである（#3メーザと#1メーザの比較、100 MHz 出力、平均時間 1200 秒）。図7（開始時刻は1999年12月25日11時50分）は、位相差に正常でない変化が見られた場合で、図に見るように、時刻199h付近において、#3と#1の位相差、および、#3と#2の位相差に、不自然な折れ曲がりを生じている。一方、#1と#2の位相差には、そのような変化は見られない。すなわち、メーザ#3の動作に、この時点において、何らかの短期的な異常を生じたことが、これらの位相比較から読みとれる。

周波数安定度の解析結果も、適宜選択の上、プリンターに出力している。図8はその一例で、図6と同じ1999年12月19日の記録紙である。#3メーザと#1メーザを100 MHz 出力において比較しており、600秒から86400秒に及ぶ8つの平均時間（ $\tau = 600, 1200, 1800, 3600, 7200, 18000, 61200, 86400$  秒）に対する

FRACTIONAL FREQUENCY DEVIATION ( Phase comparison method )

MEASUREMENT DESCRIPTION : #3HM vs #1HM  
 CARRIER FREQUENCY : 1E+08 Mhz 99/12/19 15:00:05

[ Measurement section ]	[ $\tau$ (s) ]	[ No ]	[ $\sigma_y(\tau)/\sqrt{2}$ ]	[ $\Delta \theta / \sqrt{2}$ ]	[ $\Delta f/f/\sqrt{2}$ ]
12/17 12:07 - 12/19 15:00	61200	3	5.06681E-15	43.62	1.9798E-14
12/19 05:23 - 12/19 16:43	1200	31	2.16318E-15	0.81	1.86756E-14
12/19 10:34 - 12/19 15:44	600	31	2.77201E-15	0.36	1.66956E-14
12/17 12:07 - 12/19 19:01	18000	11	8.12127E-15	12.83	1.98016E-14
12/19 15:44 - 12/19 20:53	600	31	2.98219E-15	0.41	1.89871E-14
12/19 15:43 - 12/20 02:02	1200	31	2.8167E-15	0.73	1.68329E-14
12/19 10:33 - 12/20 02:03	1800	31	1.89726E-15	1.09	1.67589E-14
12/19 20:53 - 12/20 02:03	600	31	2.5542E-15	0.32	1.46941E-14
12/19 06:02 - 12/20 03:00	3600	21	1.64699E-15	2.27	1.75244E-14
12/19 08:02 - 12/20 06:00	7200	11	1.53009E-15	4.36	1.68104E-14
12/20 02:03 - 12/20 07:13	600	31	2.47963E-15	0.29	1.3272E-14
12/17 12:07 - 12/20 11:58	86400	3	2.78646E-15	57.19	1.83879E-14

図8. 周波数安定度、位相差偏差、および相対周波数偏差の測定例

アラン標準偏差, 位相差偏差, 及び, 相対周波数偏差を示してある。ここで, 位相差偏差は, 平均時間  $\tau$  の間の位相差変化幅の計測値を平均したもの (表の No は計測データ個数), 相対周波数偏差は, 平均時間  $\tau$  の間の相対周波数変化幅を平均したもの (No がデータ個数), である。また, 表の中のそれぞれの記号表示に  $\sqrt{2}$  を含ませているが, これは, 同一規格と見なせる基準器と供試器を用いて計測した場合に, 供試器に関する当該諸量は, 測定値を  $\sqrt{2}$  で除したものとす, という基準 [6] に則っていることを示すためである。すなわち, 表の数値は測定値そのものでなく, 1 台の水素メーザの性能を与えるものである。

監視画面に関して, 周波数安定度を時間に沿ってプロットした例を図9に示す。ここでは, 2 台のメーザ (#1と#2) に関して, 位相差と, 平均時間1200秒のアラン標準偏差, 同じく平均時間1200秒の相対周波数偏差, の時間変化を約22時間にわたって測定している (図中の右上がりの直線が位相差, 大きな振幅で揺らいでい

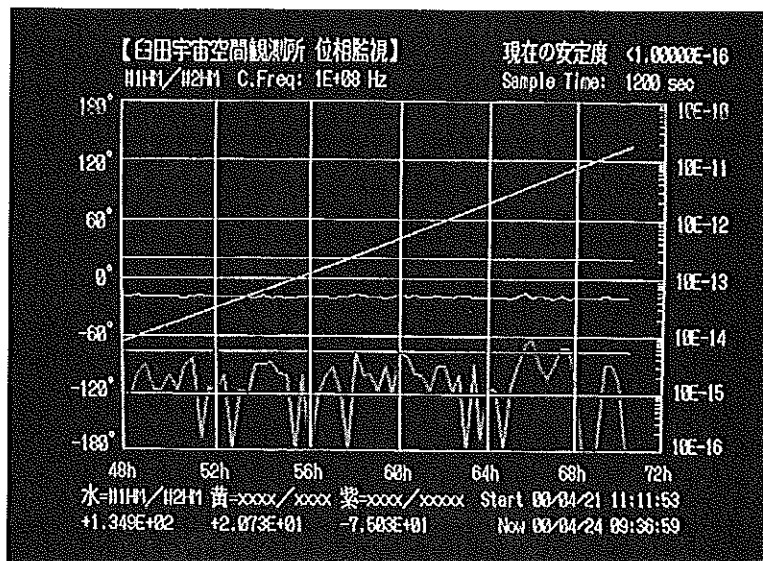
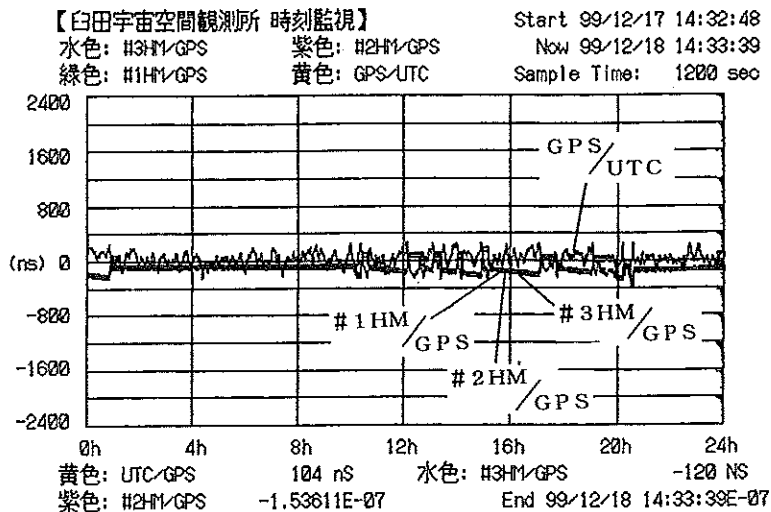


図9. 周波数安定度、位相差、相対周波数偏差の時間変化を出力したCRT画面

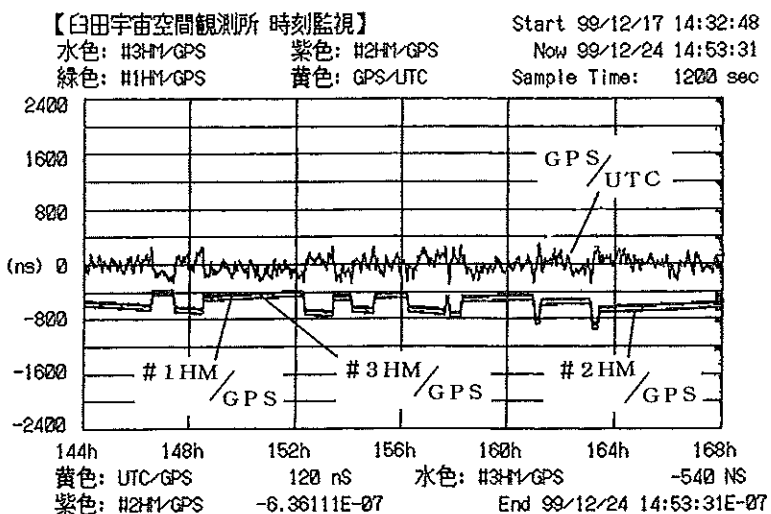
る曲線がアラン標準偏差，ほぼ一定で細かい揺らぎの見られる線が相対周波数偏差)，アラン標準偏差と相対周波数偏差は測定値を $\sqrt{2}$ で除したもの，すなわち，1台当たりの当該値である。1200秒という平均時間のもとで，アラン標準偏差は，図に見るように， $1 \times 10^{-16}$ から $10^{-15}$ の範囲を30分程度の時間スケールで揺らぐ。右上の現在の安定度 ( $< 1.00000 E - 16$ と表示されている)は，図中の最終時刻のデータについてのものである。

4.2. 時刻監視

時刻比較についても，24時間単位の監視データをCRT上に見ることができ，また，その画面をプリンター上に出力している。図10にプリンター記録の例を示す。1999年12月17日のデータと，その1週間後，12月24日のデータである。各図には4本の線が走っている。1つはGPS受信機REF (Rb)とUTC時刻符号の比較，他の3つは3台の水素メーザとGPS受信機REF (Rb)との比較である。CRT上では，4本の線は色分けしてある(水素メーザに関して緑，紫，水色，UTCには黄色)。二つの図が示すように，水素メーザ系の時刻のUTC



(a)



(b)

図10. 秒時刻比較の例 (a) リセット日、(b) 一週間後

からのずれをこの画面上で監視できる。ずれは時間とともに増大する傾向をもつので、あるレベルに達したところで、各水素メーザ装置の秒時刻を零設定（リセット）し、表示上差の無い状態から再スタートさせる。

なお水素メーザと GPS 受信機 REF (Rb) を比較するデータに階段状のステップが見られるが、これは、GPS 受信機において、GPS 受信機 REF (Rb) が UTC 時刻に対して  $\pm 250$  ns ずれたときに自動的に UTC に合わせる操作がなされることの反映である。このゼロ調整の動きは、GPS 受信機 REF (Rb) と UTC を比較するデータ上に見ることができる。また、GPS 受信機 REF (Rb) と UTC を比較するデータには、他に細かい揺らぎが重畳していることも見られるが、これは GPS 回線のゆらぎや GPS の SA (Selective Availability) に起因すると考えられている。

## 5. む す び

臼田宇宙空間観測所に設置した水素メーザ標準周波数時刻システムについて述べた。3台の水素メーザを備えたことは、臼田宇宙空間観測所が深宇宙探査用地上局として完備すべき条件の一つを満たしたもので、言うことができる。水素メーザ3台と共に、その運用監視システムは、予定した通りの機能をもって良好に動作している。蓄積される位相比较・時刻監視データは、観測所の標準周波数時刻系を管理運用して行く上で、有効に活用されていくものとなる。

### 付録 水素メーザ装置単体の主な性能及び特性

#### 1. 出力信号

a. 正弦波	周波数	5 MHz, 10 MHz, 100 MHz
	チャンネル数	5 MHz, 10 MHz は 2 ch 100 MHz は 1 ch
	レベル	+13 dBm/50 $\Omega$ $\pm$ 2 dB
	周波数オフセット	可変幅 $2 \times 10^{-9}$ 以上 分解能 $7 \times 10^{-16}$
	b. 秒パルス	周期
	パルス幅	33 ms
	チャンネル数	2 ch
	ジッター	50 ps (rms) 以下

#### 2. 周波数安定度 (1400 MHz 出力端, 帯域幅 2 Hz で測定)

アラン標準偏差	$\sigma_y(\tau) \leq 3 \times 10^{-13}$	$\tau = 1$ s
	$\sigma_y(\tau) \leq 3 \times 10^{-15}$	$\tau = 10^3$ s
	$\sigma_y(\tau) \leq 3 \times 10^{-15}$	$\tau = 1$ h

ここでの  $\sigma_y(\tau)$  は測定値を  $1/\sqrt{2}$  倍した後の値。

#### 3. 位相雑音 (超高安定 5 MHz VCXO 付加時の実測値)

$L_f = -120$ dBc/Hz	$f$ (offset) = 1 Hz
$L_f = -137$ dBc/Hz	$f$ (offset) = 10 Hz
$L_f = -147$ dBc/Hz	$f$ (offset) = 100 Hz
$L_f = -150$ dBc/Hz	$f$ (offset) $\geq$ 1 kHz

#### 4. メーザ発振出力 $\geq -100$ dBm

## 5. 外部環境の変化による周波数シフト

・ 温度に対して  $(\Delta f / f_0) / \Delta T < 4 \times 10^{-14} / ^\circ\text{C}$  (周囲温度 20 ~ 25 °C)

・ 外部磁界変化に対して

垂直方向  $(\Delta f / f_0) / \Delta H < 4 \times 10^{-13} / \text{Oe}$

水平方向  $(\Delta f / f_0) / \Delta H < 2 \times 10^{-14} / \text{Oe}$

(磁界条件: 静磁界 1 mOe, 印加磁界 1 Oe)

## 6. 電源電圧 DC 24 V (無停電電源入力 AC 100 V)

容量 200 W (定常時)

## 参 考 文 献

- [ 1 ] P. R. Dachei, R. F. Meyer, S. M. Petty, and R. L. Sydnor: "Hydrogen Maser Frequency Standards for the Deep Space Network," Proc. 8th Annual Precise Time and Time Interval Applications and Planning Meeting, pp. 213-228, U. S. Naval Research Lab., Washington, D.C., Dec. 1976.
- [ 2 ] 津田正宏, 菅 弘彦, 植原正朗, 森 謙二郎, 小林正紀: 「高性能水素メーザ原子周波数標準器」, アンリツテクニカル, No. 60, pp. 31-41, Sept. 1990.
- [ 3 ] 森 謙二郎, 菅 弘彦, 植原正朗: 「高性能水素メーザ原子周波数標準器」, アンリツテクニカル, No. 63, pp. 29-37, May 1992.
- [ 4 ] 河島信樹, 高野 忠, 山本善一, 水野英一, 佐々木 進, 小山孝一郎, 広沢春任, 西村敏充, 橋場 孝, L. Tyler, D. Sweetnam: 「VOYAGER 海王星最接近電波科学日米共同実験」, 宇宙科学研究所報告, 特集第 25 号, pp. 185-194, Jan. 1990.
- [ 5 ] H. Hirose, H. Hirabayashi, H. Kobayashi, Y. Murata, T. Kii, P. Edwards, M. Natori, T. Takano, Z. Yamamoto, T. Hashimoto, K. Inoue, A. Ohnishi, T. Ohshima, T. Ichikawa, K. Fujisawa, K. Wajima, R. Okayasu, M. Inoue, N. Kawaguchi, S. Kameno, K. Shibata, and Y. Asaki: Space VLBI Satellite HALCA and Its Engineering Accomplishments, 49th International Astronautical Congress, Paper No. IAF-98-Q.1.01, Melbourne, Sept 28-Oct 2, 1998.
- [ 6 ] 周波数精密測定回路専門委員会: 「周波数安定度とその測定」, 電気学会技術報告, II部, 第 41 号, 昭和 51 年 2 月.



## 既 刊 行 物

- 第 90 号 (1997 年 2 月) 高温反応のコンピューターシミュレーション  
第 91 号 (1997 年 2 月) S-520-19 号機搭載 Helium Emission Monitor によるプラズマ  
圏ヘリウムイオンの工学観測に関する研究  
第 92 号 (1997 年 3 月) X線天文衛星「あすか」による活動銀河核におけるソフト X線  
エクセス  
第 93 号 (1997 年 3 月) 「さきがけ」で観測された磁場データの一次処理法：惑星間空  
間磁場と磁気バイアス・磁気オフセットの分離  
第 94 号 (1997 年 3 月) ロケット搭載用窒素振動温度計測器の開発に関する基礎研究  
第 95 号 (1997 年 8 月) 熱圏下部の窒素分子振動温度、回転温度および数密度—観測ロ  
ケット S-310-24 号機による観測—  
第 96 号 (1997 年 8 月) 自由ピストン 2 段膜衝撃波管の試作  
第 97 号 (1997 年 9 月) Space Flyer Unit (SFU) で計測されたガス環境  
第 98 号 (1997 年 11 月) 惑星間空間衝撃波による電子フェルミ加速  
第 99 号 (1998 年 2 月) レールガン・二次アークの挙動  
第 100 号 (1998 年 3 月) 弾性振動に起因する Viper ロケットの軌道分散  
第 101 号 (1998 年 6 月) 科学衛星「はるか」のアンテナ展開実験  
第 102 号 (1999 年 2 月) 天文観測用科学衛星の姿勢決定系におけるカルマンフィルタ  
第 103 号 (1999 年 3 月) カプセル型物体の動的不安定性についての実験的研究  
第 104 号 (1999 年 3 月) ロケット搭載用テレビジョンシステム  
第 105 号 (1999 年 10 月) S-310-27 号機による中層大気水蒸気密度の測定  
第 106 号 (1999 年 12 月) S-310-27 号機による DC プローブ測定—ES 層中の電子温度  
について—  
第 107 号 (2000 年 2 月) SEPAC プロジェクトのエンジニアリングとマネジメント  
第 108 号 (2000 年 2 月) 飛行時間法を用いた中性ガス質量分析器の開発  
第 109 号 (2000 年 3 月) 金星ホールの生成機構に関する一考察

---

## 宇宙科学研究報告

第 110 号

2000 年 8 月

発行者 宇宙科学研究所  
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1  
電話 (042) 759-8009  
印刷社 株式会社 ワークワン  
〒229-1124 神奈川県相模原市田名 10213-6  
電話 (042) 778-6765

---

