

## 5-4-2 搬入校正と遠隔校正

### 5-4-2 Frequency Standards Calibration System and Remote Calibration System

岩間 司 栗原則幸 今江理人 鈴山智也 小竹 昇 大塚 敦  
IWAMA Tsukasa, KURIHARA Noriyuki, IMAE Michito, SUZUYAMA Tomonari,  
KOTAKE Noboru, and OTSUKA Atsushi

#### 要旨

周波数標準器は、多くの企業、研究所及び工場などで利用されている。品質を安定させるため、周波数標準器をSI単位系にトレースできるように定期的に校正を行うことは大変重要である。通信総合研究所では、従来から電波法に基づく較正、独立行政法人通信総合研究所法に基づく委託による較正を実施してきた。ここで委託による較正については、ISO/IEC 17025に適合する校正システムを構築し運用している。また、平成15年4月からは、計量法トレーサビリティ制度に基づく校正が開始された。これらの現在実施している校正業務は周波数標準器をCRLへ持ち込んで行う「搬入校正」方式である。このため、利用者の環境下における校正を実施できる、遠隔校正システムに対する要望が大きい。本項では、現在実稼動している搬入校正システムと構築中の遠隔校正システムについて報告する。

A frequency standard is used by many companies, laboratories and factories. It is very important to calibrate the frequency standard regularly so that it can trace in the SI units to stabilize quality. The Communications Research Laboratory has been providing frequency calibration services based on the Japanese Radio Law. One of these calibration services is accredited with the ISO/IEC 17025, which is called the ASNITE-NMI accreditation service. Another new calibration service was started in April 2003, which is a calibration service under the Japanese Measurement Law. Our calibration services are now only being provided for calibration in CRL's calibration room. However, the demand for a remote calibration system has increased. In this paper, we present details on our frequency calibration systems and briefly report of our remote calibration system, which is currently being developed.

#### [キーワード]

周波数標準器, Global MRA, ASINTE-NMI認定校正, jcss校正, ISO/IEC 17025  
Frequency standard, Global MRA, ASNITE-NMI accreditation service, jcss calibration service, ISO/IEC 17025

## 1 はじめに

周波数標準器は、多くの企業、研究所及び工場などで利用されている。製品などの品質を安定させるため、これら周波数標準器をSI単位系にトレースできるように定期的に校正を行うことは大変重要である。

通信総合研究所(CRL)では、周波数の国家標準に責任を持つ機関としてSI単位系に高い正確さでトレーサブルな周波数国家標準値を設定し

ている。この周波数国家標準を用いてCRLでは2003年2月現在、電波法第102条の18及び認定点検事業者等規則に基づく「指定較正機関及び無線局の検査を行う認定点検事業者用測定器等の較正(以下、「認定点検用較正」という。)」及び独立行政法人通信総合研究所法第10条の5に基づく「一般の委託による測定器等の較正(以下、「委託較正」という。)」の2種類の校正業務を実施している。さらに、2003年4月からは計量法トレーサビリティ制度に基づく校正(以下、「jcss校

正」という。)が開始された。我々の校正業務では、周波数国家標準を直接に校正の参照標準として用いているため、SI単位系にトレーサブルな校正が実現している。

一方、前項にあるように周波数標準器の校正業務においては、Global MRAに参加することが求められている。Global MRAに参加する要件として、SI単位系にトレーサブルであることはもとより、ISO/IEC 17025規格に適合することが必要である。このため、我々は委託校正における周波数確度についてISO/IEC 17025に適合する校正システムを構築し、2001年1月から本格的に稼働させた。

現在実施している校正業務は、利用者がCRLへ周波数標準器を持ち込んで周波数国家標準との比較を行う、いわゆる「搬入校正」方式であり、校正期間中は利用者側で標準器が不在となる、校正結果はあくまでCRL環境下で、かつ搬入時点でのみの証明であるなど、課題も多い。このため、自社に標準器を保持しつつ、利用環境下における校正を実施できる、遠隔校正システムに対する要望が大きい。

また、現在CRLにおいては電子時刻認証等の社会的な要求に答えるため、国際標準にトレーサブルな標準時UTC(CRL)のセキュアな配信を行うシステムの構築を進めている。その際にシステムの分散供給体制も必要であり、このため標準時に対する遠隔時刻同期システムも必要である。

そこで、これらの要求に応えるため、CRLでは遠隔地において時刻や周波数の供給及び校正を行うことができる遠隔校正システムの構築にも着手した。

本項では、現在稼働している搬入校正システムと構築中の遠隔校正システムについて報告する。

## 2 搬入校正システム<sup>[1]~[3]</sup>

2003年4月現在、搬入校正システムでは以下の四つのメニューがある。

- ・周波数確度
- ・短期安定度
- ・長期安定度

### ・再現性

周波数確度の校正とは、周波数の値の正確さを計測するものである。このメニューは、現在の校正業務の大多数を占めており、認定点検用較正では必須の条項である。

短期安定度及び長期安定度とは、周波数標準器の時間領域における安定性を計測するものである。短期とは、現在1秒、2秒、5秒及び10秒の計測を行う。長期とは30日の期間で計測を行う。短期安定度のメニューは認定点検用較正では必須の条項である。また、長期安定度のメニューは最低でも30日間を必要とするため、ここ数年間は実施実績がなく、今後その必要性を検討すべきメニューである。

再現性とは、周波数確度校正を実施した後、電源を遮断し24時間後再び電源を投入して値の再現性を計測するものである。これは年に数件の依頼がある。

これらの校正メニューのうち、委託較正ではすべてのメニューを選択できる。また、認定点検用較正では年に1度、周波数確度と短期安定度の校正を行うことが義務付けられている。

これらのメニューのうち中心となるのが、周波数確度の校正メニューであり、ISO/IEC 17025規格に適合した校正システムを構築している。ここでは委託較正における周波数確度校正システムについて述べる。

## 2.1 周波数確度校正システム

表1 周波数標準器の校正システム

項目	諸元
周波数	1 MHz, 5 MHz, 10 MHz
入力信号	供試信号自身の正弦波、又は当該周波数の周波数国家標準
基準信号 (タイムインターバル法のみ)	10 MHzの周波数国家標準
最高周波数確度	$< 1 \times 10^{-14}$
校正時間	24時間

表1に委託較正における周波数確度校正システムの諸元を示す。委託較正における周波数確度校正では、現在表1に示すように1MHz、5MHz及び10MHzの3周波数について実施している。校正には、周波数国家標準と被校正用周波数標準器(以下、「DUT: Device Under Test」という。)の被校正用周波数1波の正弦波出力信号を用いて実施する。校正手法は、周波数確度に応

じ、周波数の偏差が $1 \times 10^{-9}$ より大きい場合は周波数カウンター法、小さい場合にはタイムインターバル法を用いて測定する。校正に必要な測定時間は24時間、前処理及びシステムチェックに約1日要するために延べ2日間が必要となる。

校正システムは電磁シールドされた恒温室内に設置され、校正環境は温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\% \pm 10\%$ の範囲内で実施する。

システムの動作については、図1に示すように校正に用いるカウンターの基準信号としても

5MHzの周波数国家標準を用いて動作させる。さらにこの校正用カウンターは4台あり、同時に4台のDUTの校正を行うことが可能なシステムとなっている。

## 2.2 周波数精度の校正方法

周波数精度校正は、ISO/IEC 17025に適合させるため、すべての校正手順を校正ワークシートに記載しその手順に従って実施することになっている。周波数精度の校正作業フローを図2に示す。

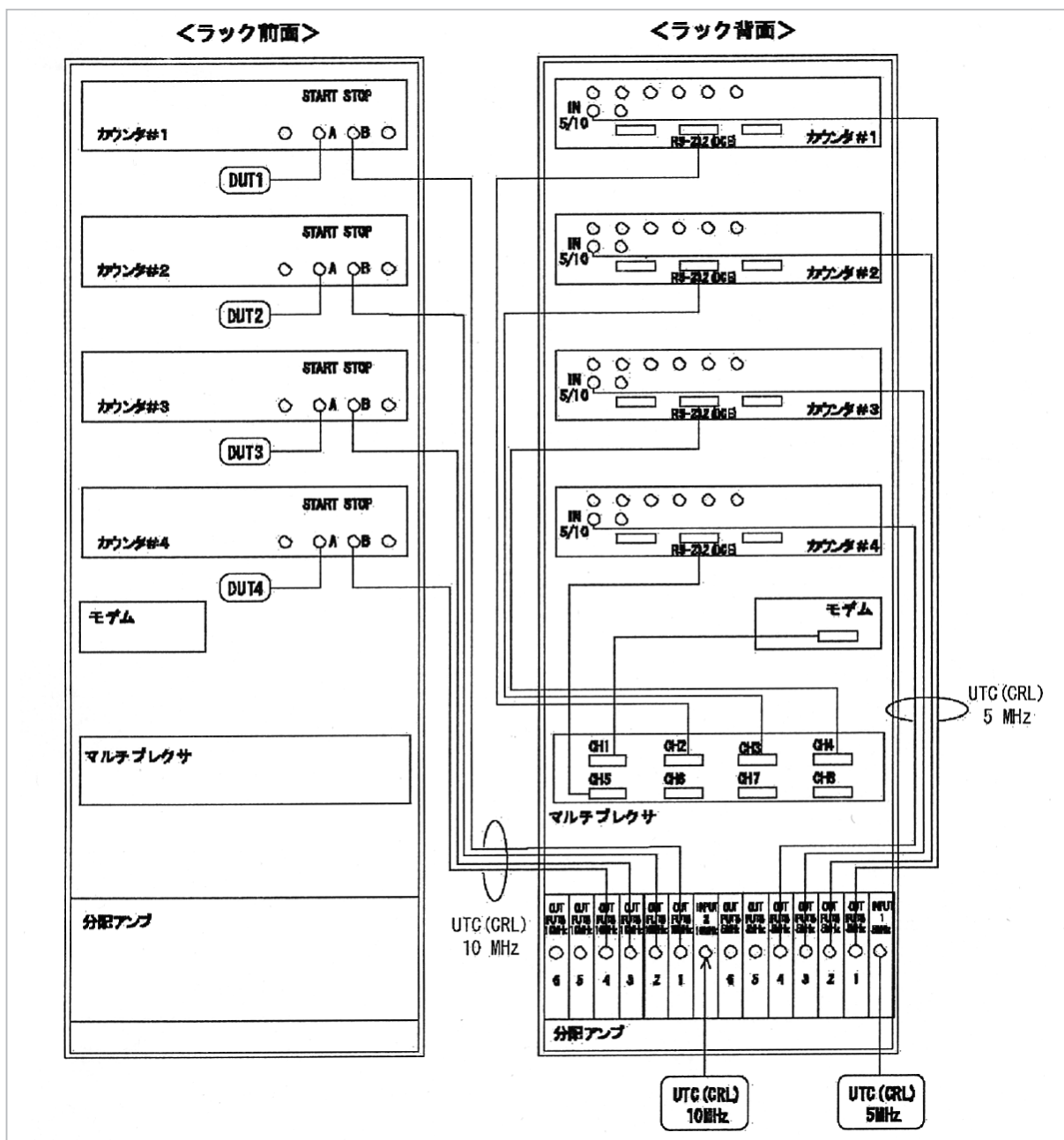


図1 校正システム配線図

精度校正の手順は、大きく分けて3段階になっている。

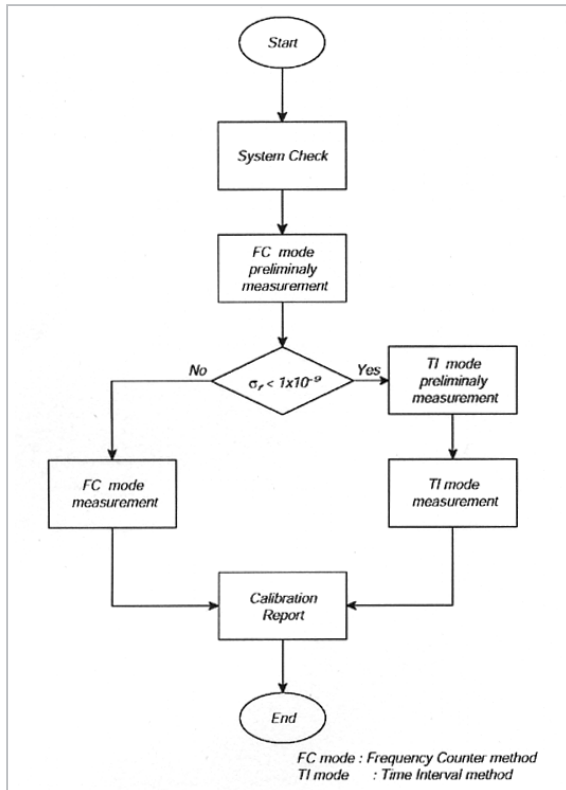


図2 搬入校正作業フロー

1番目はシステムチェックである。これは、校正システムが常に最適な状態で動作していることを記録し確認するために測定ごとに実施する。

2番目は予備測定である。これは測定方法の決定と測定パラメータの取得のために実施する。

3番目は本測定である。この測定データによって校正証明書を発行する。

それぞれについてフローに従って簡単に解説する。

### 2.2.1 システムチェック

DUTが搬入され、受付手続きが終了したのち図2の校正フローがスタートする。まず、図1に示すカウンターの入力信号部1に被校正周波数と同じ値の国家標準周波数を接続する。入力信号部2には10MHzの国家標準周波数を接続してシステムチェックを開始する。

最初は周波数カウンター法で測定を行う。この測定では、ゲートタイム1秒で周波数をカウントし、1分間ごとに測定を行い計10回の測定を行

う。この測定に要する時間は約10分である。

ここで測定値に異常がなければタイムインターバル法による測定を行う。この測定では、入力信号部1の信号と入力信号部2の信号の時間間隔を測定するもので20秒ごとに20時間測定を行う。この測定は国家標準同士で行っているため、測定系全体の不確かさの値が測定される。

システムチェックに要する時間は約20時間10分である。DUTはこの間、恒温室内において電源投入状態で動作させておき、恒温室の環境になじませる。

これらの測定結果に異常がなければ、入力信号部1にDUTの被校正周波数信号を接続して予備測定を実施する。

### 2.2.2 予備測定

最初の予備測定は、周波数カウンター法による測定である。この測定では、DUTの被校正周波数信号をゲートタイム1秒で周波数をカウントし、1分間ごとに測定を行い計10回の測定を行う。

この測定結果の周波数偏差を求め、周波数偏差が $1 \times 10^{-9}$ より大きい場合は、本測定は周波数カウンター法、小さい場合にはタイムインターバル法を用いて行うことになる。通常、ルビジウムやセシウムを用いた周波数標準器は、周波数偏差が $1 \times 10^{-9}$ より小さい。

周波数偏差が $1 \times 10^{-9}$ より小さい場合は、タイムインターバル法で本測定を行うことになる。

タイムインターバル法で測定時において、時間間隔を測定するための基準である入力信号部2の信号が10MHzであるため、100ns以上の時間間隔となるとサイクルスリップを生じる。この校正システムではサイクルスリップが生じるまでに5回のサンプルが得られれば自動的にサイクルスリップを補正する機能を有している。このため、タイムインターバル法においてもサイクルスリップを回避するために最適なサンプリング間隔を求めるため、20秒間隔で1時間の予備測定を行う。これにより最適なサンプリング間隔を求め本測定を行う。

### 2.2.3 本測定

予備測定終了後、自動的に本測定を開始する。周波数カウンター法においては、ゲートタイム1

秒、1分ごとにデータ取得を行い24時間測定を実施する。タイムインターバル法では、予備測定で求めたサンプリング間隔ごとに時間間隔を取得し、24時間測定を行う。

本測定終了後は自動的に統計処理を行い、測定したデータを6個の連続した4時間データにする。この4時間データの周波数偏差を求め、得られた6個の周波数偏差から更に標準偏差 $\sigma$ を計算する。この場合サンプル数が6ということで自由度は $n-1=5$ となる。これにより、包含係数 $k=2.6$ を乗算することにより、DUTの測定結果の拡張不確かさとして $k \times \sigma$ が得られる。これらの結果を用いて校正証明書が作成される。

## 2.2.4 制御装置

2.2.1 から 2.2.3 までのフローで校正が実施され、校正証明書が作成される。これらの手順はPCを用いてほぼ自動で実施される。図3に校正システムの制御装置を示す。

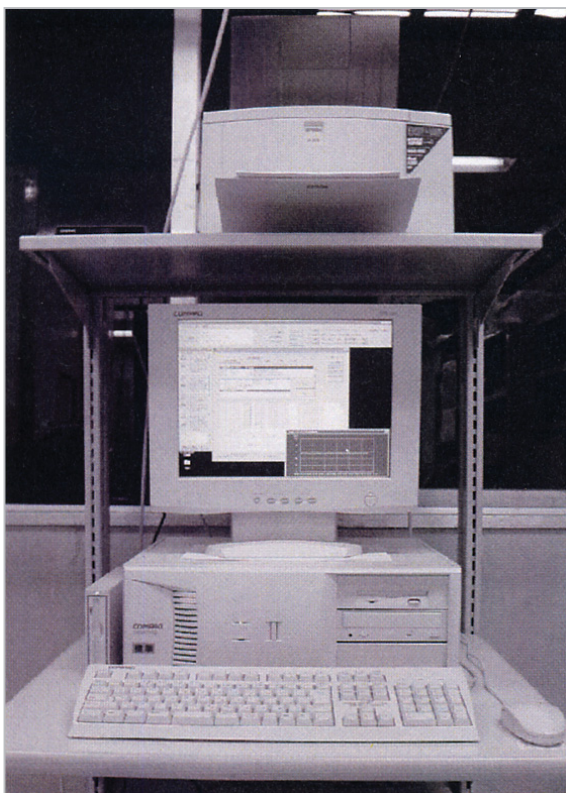


図3 校正システム制御装置

上記のフローで人が介在するのは、2.2.2の最初の入力信号1の信号の切替えの部分のみで、それ以外はすべてPCのコンソール上で各フロー

のステップの過程で誤りがないことの確認のキー入力を行うだけである。

このようにシステムを自動化した目的として、人的なミスを極力排除すること及びISO/IEC 17025へ適合させるためイレギュラーな作業が介在する余地をなくしたことがあげられる。また、このように自動化したことにより、作業時間もシステムチェックの20時間10分、予備測定(1時間)10分、本測定の24時間とその他の切替え等の時間を含めても順調ならば延べ2日間で校正が終了することになり、校正の計画や委託者への案内がしやすくなった。

## 2.3 搬入校正システムの現状と課題

搬入校正システムのうち、委託校正による周波数精度校正は、2003年1月に独立行政法人製品評価技術基盤機構によりISO/IEC 17025に適合していることを認定するASNITE-NMI認定を取得した。さらに、2003年4月には経済産業省から計量法トレーサビリティ制度に基づいたjcss校正を実施する資格認定を取得した。この二つの認定を受けることにより、国際(ASNITE-NMI認定)及び国内(jcss校正)の双方で有効な校正証明書の発行が可能となる。

しかし、これらを今後とも確実に維持していくためには、常に校正方法に対する更なる検討が必要である。現在、jcss校正の校正方法では、測定回数を増やすことにより包含係数を $k=2.0$ として、現行より測定結果の拡張不確かさを低く算定する校正方法を採用している。ただし、こちらの方法では、現在のところ一度に一台しか対応できない。新たな建物にシステムを移動するのに合わせてjcss校正の方式を全体に適用させていく予定である。

また、搬入校正システムの今後を検討する上で、校正メニューの見直しが大きな課題である。現在は、2の冒頭で示した四つのメニューを実施しているが、これらはすべて周波数に限定したメニューである。しかし、日本標準時を有しているCRLに対して時系の校正に対する要望が大きい。このため、現在時刻差校正及び時間間隔校正のメニューを追加するための予備実験を実施している。これらについて測定方法などはほぼ確立しているが、今後ユーザのニーズ等を調

査した上でメニューに追加する予定である。そしてこれらの時系の校正メニューについてもISO/IEC 17025へ適合させてGlobal MRAへ登録する。

近年、校正依頼がない長期安定度のメニューについても併せて見直す必要がある。

### 3 遠隔校正システム<sup>[4]~[6]</sup>

遠隔校正システムについては2001年度から開発を開始した。遠隔校正システムの開発目的は以下の3項目である。

- ・周波数遠隔校正
- ・時系遠隔校正
- ・標準時分散時刻同期

上記2項目は、搬入校正で実施しているメニューのうちGlobal MRAに登録するメニューの遠隔地への応用であり、同じくGlobal MRAへの登録を目指す。

現在、電子時刻認証のため標準時を配信する際に標準時配信システムの信頼性を向上させるため、分散供給体制を想定している。3番目の項目は、この分散配置する標準時の時刻を同期させる一手段として遠隔校正システムを利用することを想定している。

#### 3.1 遠隔校正システムの概要

遠隔校正システムの概要を図4に示す。本システムにおいて時刻差等を測定するためにGPSコンピュータ方式を用いており、要求される精度に応じて次の2種類のGPS受信機を用いる。

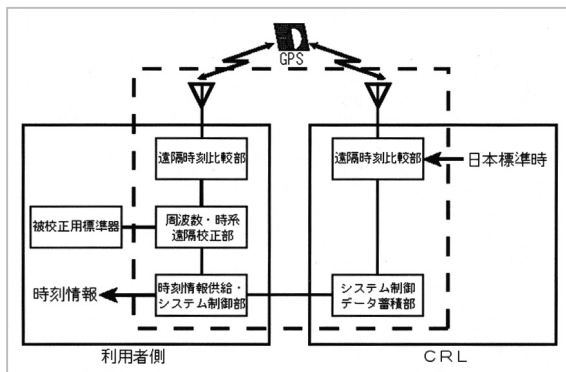


図4 遠隔校正システムの概要

#### ①L1 C/Aコード利用マルチチャネル受信機

#### ②L1, L2周波利用マルチチャネル受信機

①の受信機を用いる目的としては、現在搬入校正の利用者のうち、高精度な校正結果を必要としない一般的な利用者を対象としている。このため、受信機としてはこれまで幾つかの市販品があるが、遠隔校正システムとしては小型・低廉化が必要不可欠である。そこで我々は、L1 C/Aコードではあるが同時に八つのGPS衛星を測定することができる普及型受信機を開発させた。

②の受信機を用いる目的としては、特に高精度の周波数・時系校正を必要とする利用者や標準時の分散供給での利用を対象としている。このため、精密測位用2周波受信機を利用している。こちらの受信機では40チャンネルを有しているため、L1, L2の2周波を受信しても最大20衛星まで同時に扱うことができる。また、2周波を受信することにより、電離層遅延の補正を実測値で行うことができる。

これら2種類の受信機の違いによる期待される校正の不確かさ(規格値)を表2に示す。周波数校正と時系校正の比率が合致していないが、この表の値は最低限満足すべき規格値であり、普及型受信機では時系校正の規格値が厳しく、高精度型受信機では周波数校正の規格値が厳しく設定してある。

表2 2種類のGPS受信機を用いた場合の校正の不確かさ

マルチチャネル受信機	周波数校正	時系校正
L1 C/A code	$< 1 \times 10^{-12} \text{ @ 1day}$	$< 50 \text{ ns}$
L1/L2 2周波利用	$< 1 \times 10^{-13} \text{ @ 1day}$	$< 20 \text{ ns}$

#### 3.2 遠隔校正実験装置

現在、遠隔校正システムは開発中であり、仕様なども暫定的なものである。図5に現在開発中の遠隔校正実験装置を示す。

図中、上左側が高精度型受信機、上右側が普及型受信機である。下左側は周波数カウンターであり、高精度型受信機で時刻差を測定するのに用いる。下右側はデータロガーであり、ISO17025へ適合させるための環境条件の測定に用いる。

現行の実験装置の普及型受信機を用いて取得したCRLにおける受信データと八王子における

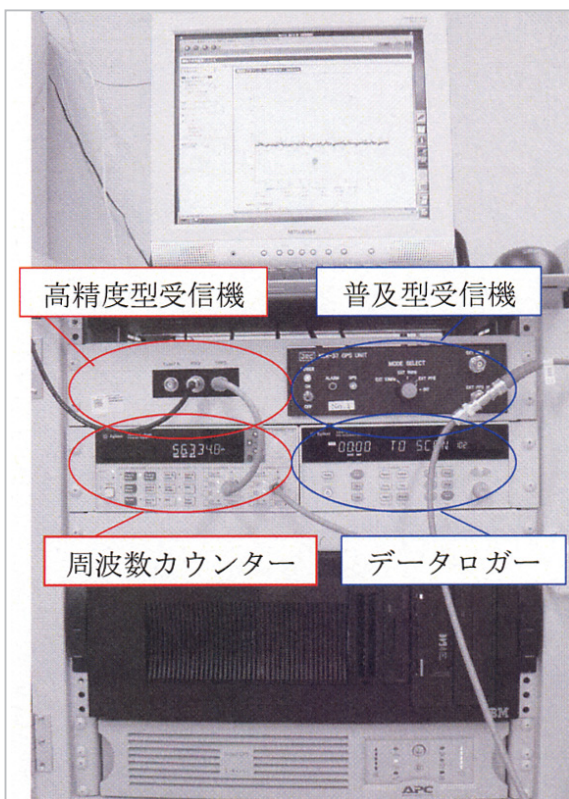


図5 遠隔校正実験装置

GPS受信データとの比較実験例を図6に示す。図6の中でコンピュータに用いたGPS衛星の仰角が30度以上のものを対象としており、65度以上のものは黒、45～65度のものは青、30～45度のものは赤で示してある。この比較データから4時間ごとの周波数偏差を求め、平均周波数偏差と不確かさを求めたところ周波数偏差 $1.36\text{E}-13$ 拡張不確かさ $1.58\text{E}-12$ という結果となった。これは想定した規格値を満足している。

また、時系校正について測定した結果は、ケーブル等による遅延補正を行っていないため時

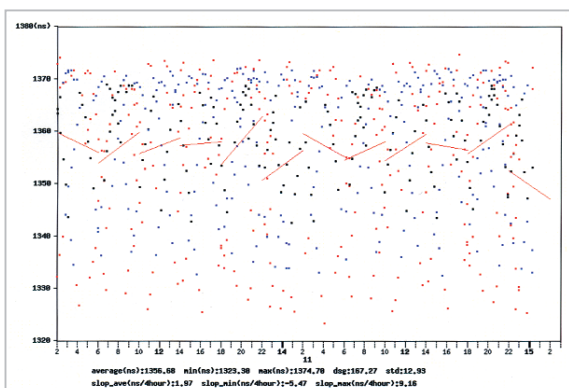


図6 比較実験例

刻偏差の絶対値は意味がないため示さないが、24時間測定における拡張不確かさの値が $34.2\text{ns}$ と良い値となっている。

現在、高精度型受信機についてもほぼ予定している性能でデータを取得できるようになってきている。しかし、まだ受信機自体の性能評価も完了しておらず、精力的に実証実験を実施してシステムの詳細について検討していく必要がある。

### 3.3 遠隔校正システムの現状と課題

3.2で示したように遠隔校正システムについては、開発が遅れていることが最大の課題である。現在、遠隔地に設置するためのプロトタイプの開発が進行中であり、2003年5月以降、順次実証実験に取り掛かる予定である。

今後は、遠隔校正システムの地域依存性、データの不確かさを検証していく必要がある。

## 4 まとめ

搬入校正については、取り巻く環境や校正方法がここ数年で大きく変わった。従来からの電波法に基づく認定点検事業者用較正、独立行政法人通信総合研究所法に基づく委託較正の2種類の較正制度から、委託較正はGlobal MRAに参加する要件であるISO/IEC 17025に適合した国際的に通用するASINTE-NMI認定校正に変わり、平成15年4月からは計量法トレーサビリティ制度に基づいたjcss校正校正が開始された。

また、平成16年度中には新たな建物でASNITE-NMI認定校正システムを立ち上げる必要がある。これを目標に校正システムの更なる改良と校正メニューの増加を計画している。

遠隔校正システムは現在、最重要開発案件である。早急に開発して実用化していく必要がある。

## 謝辞

通信総合研究所における校正業務を実施してきた先達及び現在の業務を支えている校正業務標準化委員会の委員各位に感謝します。

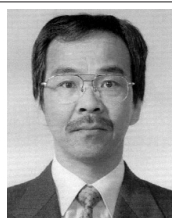
参考文献

- 1 Iwama T., Hosokawa M., Otsuka A., Kurihara N., Imae M., and Morikawa T., "Frequency Standards Calibration System in CRL", Proceedings of Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2000 (ATF2000), pp.88-92, 2000.
- 2 岩間, 細川, 大塚, 栗原, 今江, 森川, "通信総合研究所における周波数標準器の校正システム", 2001年信学総大, B-11-16, 2001.
- 3 Iwama T., Imae M., Kurihara N., Otsuka A., Usui H., and Kotake N., "Frequency-standards calibration system certified with ISO17025 in CRL", Proceedings of Asia-Pacific Workshop on Time and Frequency 2002 (ATF2002), pp.269-272, 2002.
- 4 栗原, 岩間, 小竹, 今江, "GPSを用いた周波数・時刻遠隔校正システムの開発計画", 第215回時小委員会, 資料215-2, 2002.
- 5 今江, 栗原, 岩間, 小竹, 鈴山, 澁谷, "GPSを用いた周波数・時刻遠隔校正システム", 第5回電気学会精密周波数発生回路の高性能化技術調査専門委員会, 資料5-2, 2002.
- 6 岩間, 栗原, 今江, 小竹, 鈴山, "GPSを用いた周波数・時刻遠隔校正システムの開発", 2002年信学ソ大, A-9-3, 2002.



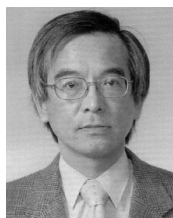
岩間 弼

電磁波計測部門タイムスタンププラットフォームグループ主任研究員  
時間周波数標準、移動通信



栗原則幸

電磁波計測部門日本標準時グループリーダー  
周波数標準、空間計測



今江理人

電磁波計測部門時間周波数計測グループリーダー  
周波数標準



鈴山智也

電磁波計測部門日本標準時グループ研究員 博士(工学)  
時間・周波数計測



小竹 弼

電磁波計測部門日本標準時グループ研究員  
時間・周波数標準



大塚 敦

電磁波計測部門日本標準時グループ主査  
時間周波数標準