

2-5 周波数校正

2-5 Frequency Calibration

齊藤春夫 岩間 司 土屋 茂 小山泰弘

SAITO Haruo, IWAMA Tsukasa, TSUCHIYA Shigeru, and KOYAMA Yasuhiro

要旨

独立行政法人情報通信研究機構(NICT)は日本標準時(JST)及び協定世界時(UTC(NICT))を設定するとともに、その基準となる標準周波数は国家標準であり、その産業界への供給はNICTの使命の1つである。本稿では標準周波数の供給方法の1つである周波数校正業務に関して報告を行う。

また、新しい校正業務として準備を行っている、光周波数校正、時刻校正、長波標準電波(JJY)を用いた周波数遠隔校正システムの導入についても報告する。

The Japan Standard Time (JST) and the Coordinated Universal Time (UTC(NICT)), which are constructed by the National Institute of Information and Communications Technology (NICT), and these source is a national standard of the frequency in Japan. One of the biggest missions for NICT is to distribute frequency standard to the industrial world.

With this paper, we report on the frequency calibration service as one of the distribution methods. In addition, we make a report of new calibration services. We are now engaged in introducing an optical frequency calibration system, a time difference calibration system and a remote frequency calibration system using the JJY as new services.

[キーワード]

周波数標準器, ISO/IEC 17025, 不確かさ, ASNITE 認定, jcss 校正

Frequency standard, ISO/IEC 17025, Uncertainty, ASNITE accreditation service, Jcss calibration service

1 まえがき

1.1 NICTにおける周波数標準器の校正(較正)業務

NICTの周波数標準器の校正(較正)業務は、昭和59年12月14日の郵政省設置法第5条第22号の12(現在は、独立行政法人情報通信研究機構法第14条の5)に基づいた委託による無線設備の機器の性能試験並びに較正に関する告示改正から開始された。

その後、平成9年10月から電波法第102条の18の改正により、認定点検事業者(現在は、登録点検事業者)が使用する無線設備の点検に用いる測定器その他の設備(測定器等)の較正をNICTもしくは他機関で行うことが義務付けられ、さらに、平成15年4月からは計量法に基づき経済産業大臣から認められた指定校正機関として周波数

標準器の校正(較正)を実施している[1][2]※。

NICTが平成22年9月において周波数標準器用として提供している校正(較正)項目は表1のとおりで、それぞれ1 MHz、5 MHz、10 MHzの周波数における測定を行っている。表中の委託較正は独立行政法人情報通信研究機構法第14条の5

表1 NICTの提供する校正(較正)項目

	電波法に基づく較正	計量法に基づく較正	委託較正
周波数偏差	持込み較正	持込み較正 遠隔較正	持込み較正 遠隔較正
短期安定度	—	—	持込み較正
再現性	—	—	持込み較正

(注) —は、不実施

※ ここで「較正」とは、電波法第102条の18の規定に基づく「無線設備の点検に用いる測定器その他の設備」の測定を「較正」と定義する。なお、独立行政法人情報通信研究機構法第14条の5に基づく測定も含むものとする。

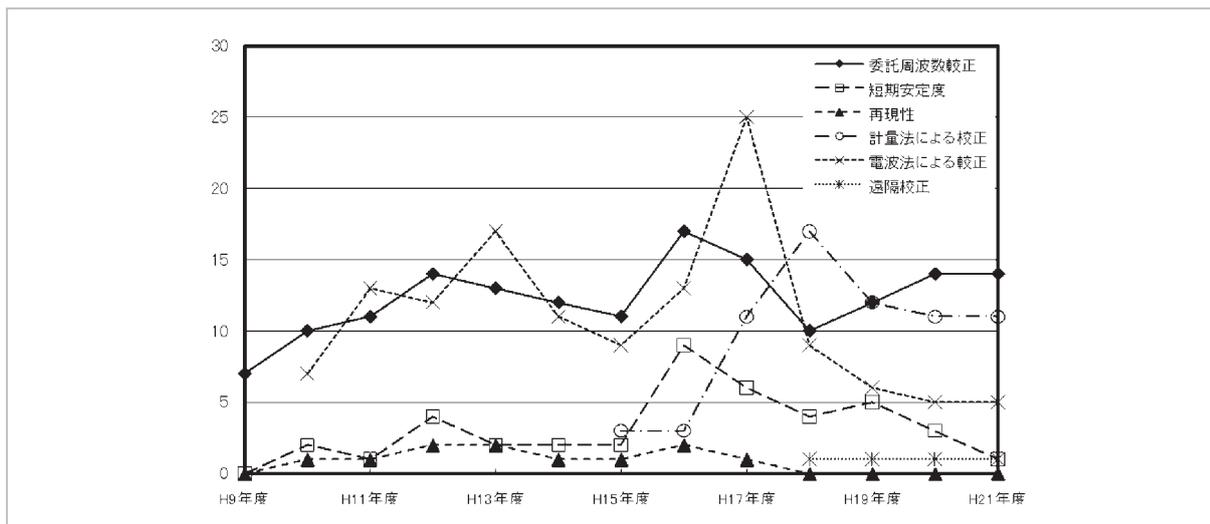


図1 年間校正(較正)件数の推移

に基づく測定、電波法に基づく較正は電波法第102条の18に基づく登録点検事業者が使用する測定器等の測定、計量法に基づく較正は計量法第135条に基づき指定校正機関として行う測定である。また、測定の方法として、測定をNICT内の指定の場所で行うもの(持込み校正(較正))とGPS衛星を仲介として周波数標準器を移動させずに行うもの(遠隔校正(較正))の2種類の方法を提供している[1]。

図1に電波法に基づく較正の実施が義務付けられた平成9年度(実際の較正開始は平成10年度から)から平成21年度までの年間測定件数を示す。平成16年頃から計量法に基づく校正件数が増加し、電波法に基づく較正件数が減少している(平成17年度は一時的に増加)。これは、平成15年6月の電波法の改正により登録点検事業者が使用する測定器等の較正が、NICTもしくは電波法上の指定校正機関(財団法人テレコムエンジニアリングセンター)だけでなく、計量法に基づく校正でも認められることとなり、これまでの電波法に基づく較正の利用者が計量法に基づく校正も利用するようになったためである。

1.2 国際単位系(SI)へのトレーサビリティ

国内における周波数及び時間の国家標準は、産業界からの要望にもかかわらず歴史的な経緯(法的な不備)により平成15年まで存在していなかった。言い換えれば、それまではメートル条約

に加盟していたにもかかわらず、日本では周波数標準と時間標準は国際単位系(SI)に準拠できていなかった。

平成14年12月の計量行政審議会標準部において、産業技術総合研究所及びNICTの周波数標準を周波数の国家標準(計量法では、特定標準器)に指定するという答申が出され、日本でもようやく国際単位系(SI)にトレーサブルな標準供給制度が出来上がった。また、この答申に基づきNICTは平成15年4月1日付で経済産業大臣から指定校正機関に指定された[2]。

NICTでは、これ以前の平成12年度から試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項(ISO/IEC 17025; JIS Q 17025)の認定取得に取り組んでおり、平成13年3月に経済産業省製品評価技術センター(現独立行政法人製品評価技術基盤機構、以下、「NITE」という)からISO/IEC 17025への適合性証明(Certification)を受理(ISO/IEC 17025の正式認定はNITEから平成15年1月にASNITE認定を取得)して、国際的に相互承認(Global MRA)される校正証明書を発行することが可能となっていた。なお、計量法に基づき指定校正機関として実施している測定の校正証明書は、国内の特定二次標準器等への値付けに使用されるため、国際的に相互承認されたものではない(ただし、特定二次標準器により測定された校正証明書(JCSS校正証明書)は国際的に相互承認されたものとなっている)[1][3]。

本稿では NICT で運営している周波数校正システムについて、その内容と精度、そして光周波数をはじめとする新しい校正業務の導入について報告する。

2 周波数校正システム

前述のとおり NICT の周波数校正業務では、持込み校正システムと遠隔校正システムの2種類のシステムにより被測定周波数標準器の周波数偏差等を測定している。図2に校正室(試験室及び前室)内の配置図を示す。試験室内は電磁シールドされており、温度 $23\text{℃} \pm 2\text{℃}$ 、湿度 $50\% \pm 10\%$ の範囲内に保たれている。また、前室は電磁シールドを施されていないが、温湿度は、 $23\text{℃} \pm 5\text{℃}$ 、 $50\% \pm 10\%$ の範囲内に保たれている。持込み校正システムのカウンター等は試験室内に、その制御用コンピューター等と遠隔校正システムは前室

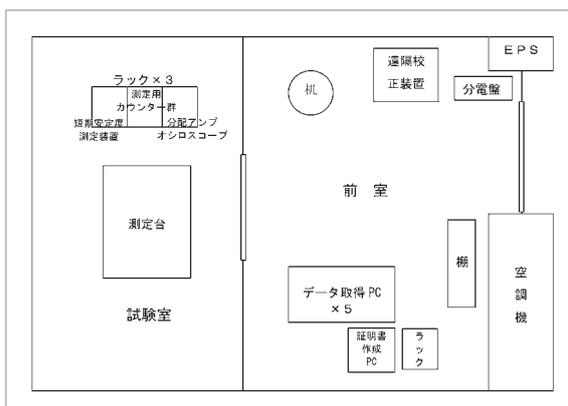


図2 校正室配置図

に設置されている。図3に試験室内のカウンター群と制御用PCを、図4に遠隔校正システム(基地局)を示す。

2.1 持込み校正システム

現行の校正システムは、平成17年度に新設されたネットワーク時刻認証棟(2号館)の校正室に新たに構築したものであり、平成18年2月に行われたNITEによるASNITE認定の定期審査の際



図4 遠隔校正システム(基地局)



図3 測定用カウンター群(左)と制御用PC(右)

に認定審査を受け、認定取得後に正式な運用を開始した。なお、短期安定度及び再現性の測定は、ASNITE 認定の範囲外である。

(1) 周波数偏差の測定

周波数偏差測定用のシステム構成は旧システム^[1]のものと同様であり、4台のカウンターを使用して、被測定周波数標準器(以下、「DUT: Device Under Test」という)を4台まで同時に測定することが可能である。なお、旧システムでは1台の制御用コンピューターで4台のカウンターを制御していたが、現行のシステムでは使用する個々のカウンターにそれぞれ制御用コンピューターを接続して、測定の同時性の改善を図っている。

測定方法には2種類あり、周波数偏差が 1×10^{-8} 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それぞれ24時間の測定を行う。また、24時間のDUTの暖気運転を行った後、測定システムのチェック及び採用する測定法を決めるための予備測定を行い、本測定を行うため、測定には約2日間必要となる。

① 予備測定

予備測定は測定に使用するタイムインターバルカウンター(スタンフォードリサーチ社製SR620以下、「カウンター」という)で行い、周波数カウンター法と同様にゲートタイム10sの測定を100回行い、その平均値により周波数カウンター法またはタイムインターバル法を選択する。

② 周波数カウンター法による測定

カウンターの周波数測定モードを用いて、ゲートタイム10sの測定を24時間行い、8640個のデータからDUTの周波数偏差及び測定の不確かさを計算する。なお、カウンターの基準周波数は標準周波数に同期されている。

③ タイムインターバル法による測定

カウンターの時刻差測定モードを用いて、トリガレベルを0Vとして、DUTの信号をカウンターのA入力に、標準周波数の10MHz信号をB入力に接続して、1秒毎にその時刻(位相)差を測定する。測定は24時間行い、得られた86400個のデータは60個の連続する1440個(24分)のデー

タに分けて統計的な計算を行い、周波数偏差及び測定の不確かさを求める。

旧システムでは、電波法に基づく較正及び委託較正と計量法に基づく校正の測定方法が異なっていたが、現行システムでは上記の方法に統一されている^[1]。

(2) 短期安定度の測定

DMTD(Dual Mixer Time Difference)法^[4]に基づく測定装置及び専用のカウンターにより測定を行う。旧システムでも同じ方法の測定装置とカウンターを用いて測定を行っていたが、現行システムでは測定装置の更新を行った。DMTD法は周波数を高い精度で比較する方法であり、標準周波数と周波数のほぼ等しいDUTの出力信号を、測定する周波数(1kHz)にビートダウンするための信号(測定する周波数より1kHzだけ低い周波数)と2つのミキサーを用いてビートダウンし、その位相差をカウンターで測定するものである。なお、ビートダウン用の信号源には、標準周波数に同期した周波数シンセサイザー(HP8662A)を用いている。

測定は、カウンターの時刻差測定モードを用いて1秒間隔で2時間測定し、その間の7200個のデータから1s、3s、10s、100sにおける周波数安定度を計算する。

また、測定の前には、周波数偏差の測定と同様にシステムチェック及び24時間のDUTの暖気運転を行うため、測定に必要な時間は26時間以上となる。

(3) 再現性の測定

短期安定度の測定用システムと同一のカウンター及び制御用PCで測定を行い、24時間電源を切った後DUTを再起動し、そのときから1時間、4時間、及び24時間経過した時点の周波数偏差と電源を切る前の周波数偏差とを比較する。

測定は、24時間のDUTの暖気運転及びシステムチェックを行った後、周波数偏差の測定を1時間行い、電源を切る前の周波数偏差を計算する。その後DUTを停止させ、24時間後に再起動し、その後の1時間、4時間、及び24時間経過した後の周波数偏差を1時間測定(実際の測定は、再起動後30分から1時間30分、3時間30分後から4

時間 30 分後、及び 23 時間 30 分後から 24 時間 30 分後までの 1 時間行う) し、停止前の周波数偏差とそれぞれ比較し、3 点の測定値を算出する。そのため、測定に必要な日数は 3 日以上となる。

2.2 遠隔校正システム

NICT では、平成 13 年から周波数の遠隔校正システムの開発を行い、平成 17 年 5 月から実際の測定業務を開始した。そして、平成 18 年 2 月に行われた持込み校正システムの NITE による ASNITE 認定の定期審査の際に合わせて認定審査を受け、その年の 5 月に ASNITE 認定を取得している。また、計量法に基づく校正も、平成 19 年 4 月から実施している。

周波数の遠隔校正は、GPS 衛星を利用した GPS-common view 法^[5]により行う。これにより、持込み校正で生じていた①測定期間中に周波数標準器が利用できなくなること、②遠隔地のため持込み測定が実施できなかったこと、③移動中に DUT に不具合が発生する可能性があること、などの問題が回避されることとなった。

遠隔校正システムの基地局の写真は図 4 に示してある。使用する GPS 受信機は、予備機(図 4 中の GPS 受信機 2)を含めた 2 系統で運用している。

DUT の測定データは、暗号化されインターネット等を介して NICT 内のデータサーバーに蓄積され、1 月分のデータからその月の周波数偏差及び周波数安定度(平均化時間 1 日及び 5 日)を計算し、毎月校正(較正)証明書を発行している。なお、依頼者が提供する依頼者の敷地内で作業を行う作業者は、支援要員と呼ばれ、当該業務を実施する場合は NICT の校正要員として測定を実施している。

なお、開発当初の目標としていた 2 周波マルチチャンネル GPS 受信機を利用した高精度測定^[4]は、1 周波マルチチャンネル GPS 受信機との測定精度の差がそれほど大きくないこと、受信機価格が高いため利用者が使用しにくいと考えられることから、現行システムの基地局用 GPS 受信機には NICT が日本無線株式会社に開発させた 1 周波マルチチャンネル GPS 受信機のみを使用している。

2.3 測定の不確かさと最高測定能力

「測定の不確かさ」は、国際計量基本用語集に「測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ」と定義されており、また、測定システムの「最高測定能力」は、計量法施行規則(平成 5 年通商産業省令第 69 号)第 90 条第 2 項第二号では、次のように定義されている。

「国際度量衡委員会が定めたものであって、ある測定量の一つの単位又は一つ以上の値を実現する計量器の校正等を実施する場合、又は該当する量の測定のために使用される計量器の校正等を実施する場合において登録等の範囲の内で達成できる測定の最小不確かさ」

つまり、国際度量衡局(BIPM)に登録された測定の不確かさは、測定システムの最高測定能力と同一であり、その測定システムの最高性能を示すこととなる。

NICT の持込み校正、及び遠隔校正システムの測定の不確かさは、国際度量衡局の Calibration and Measurement Capabilities に登録されおり、現行の値はそれぞれ、持込み校正のタイムインターバル法で 5×10^{-14} 、周波数カウンター法で 2.5×10^{-12} 、遠隔校正で 5×10^{-13} である。各測定量の不確かさの値は、国際単位系(SI)へのトレーサビリティ(連鎖性)をとる必要があり、時間・周波数領域では、秒の定義からの連鎖が必要となる。

3 新しい校正業務

3.1 時刻校正

1 にも記載したとおり、現在日本では、時刻及び時間間隔の校正は行われていない。これは、これまでの歴史的経緯によるもので、法律的には(中央)標準時を決定するのは国立天文台の所掌(国立大学法人法施行規則)であり、標準時を配信するのは NICT の所掌(独立行政法人情報通信研究機構法)となっているが、具体的にどの国家標準をどのように供給するかなどが定められていないことが理由である。

産業技術総合研究所において時刻校正を開始する旨、平成 22 年 1 月の JCSS 等技術委員会時間分科会にて報告があり、NICT でも時刻校正実施

に向け検討を開始した。

測定システムは、持込み、遠隔測定とも現行のシステムをほとんど変更せずに使用できることから、早ければ平成 22 年度秋から試験業務を行い、平成 23 年 2 月に行われる周波数校正システムのための ASNITE 認定定期審査(ピアレビュー含む)の際に同時に認定審査を受ける予定である。

3.2 光周波数校正

光周波数校正システムの構築は、平成 22 年度から具体的に着手した。

基本は、光周波数コムによるマイクロ波標準周波数の光周波数帯への拡大であり、NICT では光通信周波数帯の測定を行うことを予定している。現在(平成 22 年 9 月)校正システムを整備中で、平成 22 年度後半から試験運用を行う予定である。

3.3 長波標準電波(JJY)を用いた周波数遠隔校正^{[6][7]}

産業界からは、できるだけ安価で使いやすい周波数標準が望まれていることと、長波標準電波(JJY)の標準周波数の分野での利用が進んでいないことから、平成 20 年から JJY を用いた周波数遠隔校正システムの開発を行っている。

主な開発課題としては、校正システム用の JJY 受信機の開発と校正方法の確立であり、平成 20 年度に受信機の試作機を作成、平成 21 年度には

その改良機を作成し現在動作確認中である。校正方法は、JJY の送信波の位相を一時的に変化させ、その際の JJY 受信機の受信信号の位相変化量と送信信号の変化量を比べることにより、あらかじめ性能を確認しておいた JJY 受信機の出力信号の周波数偏差を評価し、JJY 受信機が正常に動作していることを確認したうえで、その出力を基に DUT の周波数偏差を測定することを予定している。

平成 22 年度中に、改良 JJY 受信機の動作確認、各地での電波伝搬状況及び校正方法の検証を行い、最終的な周波数校正システム用の JJY 受信機を作成して、平成 23 年度中には委託校正として業務を行うことを予定している。

4 むすび

以上、NICT の校正業務の内容と置かれた現状とともに、新しい校正業務の導入に関しての進捗を合わせて報告した。

NICT の周波数校正業務は ISO/IEC 17025; JIS Q 17025 の要求事項にのっとり各種必要文書が整備され、その規定に従って運用されている。**3**で紹介した新しい校正業務についても順次 ISO に基づく認定を取得し、日本及び国外の産業界の要望にこたえるように質の高い時間・周波数領域での標準を供給していく予定である。

参考文献

- 1 岩間 他, “搬入校正と遠隔校正,” 通信総合研究所季報, Vol. 49, Nos. 1/2, pp. 181-188, 2003.
- 2 森川, “日本の時間・周波数標準制度の変遷,” 通信総合研究所季報, Vol. 49, Nos. 1/2, pp. 25-32, 2003.
- 3 岩間 他, “国際相互承認とトレーサビリティ,” 通信総合研究所季報, Vol. 49, Nos. 1/2, pp. 175-180, 2003.
- 4 吉村, 古賀, 大浦, “周波数と時間,” 社団法人電子情報通信学会, pp. 54-57, 1898.
- 5 後藤 他, “GPS コモンビュー法,” 通信総合研究所季報, Vol. 49, Nos. 1/2, pp. 111-119, 2003.
- 6 齊藤 他, “標準電波(JJY)を用いた周波数遠隔校正システムの開発,” 電気学会電子研究会資料, 電子回路研究会, ECT-09-74, pp. 13-17, 2009.
- 7 齊藤 他, “標準電波を用いた周波数校正(時刻同期)システムの開発,” 平成 22 年電気学会全国大会, 6-195, 2010.



さいとう はる お
齊藤春夫

新世代ネットワーク研究センター
光・時空標準グループ主幹
時間・周波数計測



いわま つかさ
岩間 司

新世代ネットワーク研究センター
光・時空標準グループ研究マネージャー 博士(工学)
電子時刻認証技術、時刻配信応用技術



つちや しげる
土屋 茂

新世代ネットワーク研究センター
光・時空標準グループ主任研究員
標準電波、電波伝搬



こやま やすひろ
小山泰弘

新世代ネットワーク研究センター
光・時空標準グループグループリーダー 博士(学術)
宇宙測地、電波科学