

2-8 日本標準時の運用と供給

2-8 Generation, Comparison, and Dissemination of the National Standard on Time and Frequency in Japan

今村國康

IMAMURA Kuniyasu

要旨

本稿では、情報通信研究機構(NICT)における日本標準時の運用と供給に関する定常的な業務について紹介する。日本標準時の基である UTC(NICT)は、複数台のセシウム原子時計を合成して作り出される。作られた日本標準時は、各国標準機関と日々比較を行い、UTCの決定にも寄与し、その精度が確認されている。こうして決定された日本標準時は、国内の各所へ通報され、国民の生活に活用されている。これら日本標準時の発生、比較、供給についての各システムの概要について解説する。

In this paper, ordinary business concerning the operation and the dissemination of JST (Japan Standard Time) at NICT (National Institute of Information and Communications Technology) is introduced. UTC (NICT), which is essential to JST, is generated by composing more than one cesium atomic clocks. JST is compared with the national standards of the world every day and keeps its precision high, and contributes to the determination of UTC. JST generated in this manner is bulletined to every place in Japan and supports the people's living.

This paper presents the summary of each system of generation, comparison, and dissemination of JST.

[キーワード]

日本標準時, 協定世界時, 周波数標準, 標準電波, 時刻供給
JST (Japan Standard Time), UTC (Coordinated Universal Time), Frequency standard, Standard time and frequency signal emission, Time dissemination

1 はじめに

NICTは、日本標準時及び標準周波数を決定・維持・供給するという、国民生活に密着した業務を行っている。この業務は、独立行政法人情報通信研究機構法に基づき実施しているもので、同法第十四条第三項に、「周波数標準値を設定し、標準電波を発射し、及び標準時を通報すること。」と規定されている。NICTでは、周波数標準値及び日本標準時を発生させるために、各種の原子時計並びに一次周波数標準器を運用し、かつ高精度に運用するための研究開発を行っており、定常的な業務と並行しつつ、進化を進めてきている。また、発生させた標準時は高精度な比較法により常時国際比較がされる体制を取り、供給では電波によるもの、有線によるもの等各種の手法で伝えられ、

我々の日常生活に生かされている。ここでは、これらの定常運用に主眼を置いた各システムの要素について概説する。

2 日本標準時の作り方

最初に、日本標準時の発生の方法について、その仕組みを紹介する。まずは、図1に示すように複数の原子時計(原子時計群)から、時計相互の比較計測値を元に平均原子時を算出する。この平均原子時を協定世界時 UTC に合うように随時調整したものを UTC (NICT) と呼ぶ^[1]。UTC (NICT) を9時間進めた時刻を日本標準時とする。このシステムに使われる原子時計には、セシウム原子時計 (Symmetricom 社製 5071 A) を約18台、水素メーザ周波数標準器 (アンリツ (株) 製 RH401 A 及

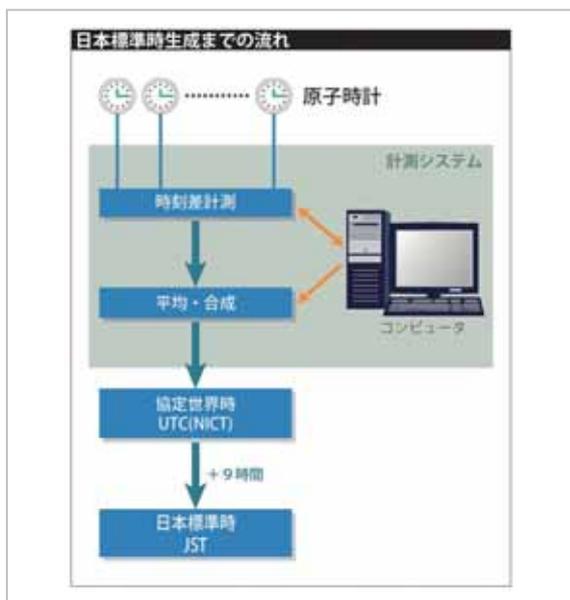


図1 日本標準時の生成

び SA0D05A) を 4 台 利 用 し て い る 。 時 計 の 台 数 は、入 替 等 が あ る の で 固 定 し た 台 数 で は な い。現 在、平 均 原 子 時 の 計 算 に は セ シ ウ ム 原 子 時 計 の み を 使 用 し、水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 は、そ の 短 期 安 定 度 の 利 点 を 活 用 し て、UTC (NICT) 実 信 号 生 成 の た め の 原 振 と し て 使 用 し て い る。日 本 標 準 時 発 生 シ ス テ ム は、冗 長 性 を 持 た せ る た め 3 系 統 の 装 置 を 持 つ。水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 は、4 台 の 内 3 台 を 各 系 統 の 原 振 と し て お り、1 台 を 予 備 と す る 運 用 を 行 っ て い る。

原 子 時 計 群 か ら 日 本 標 準 時 を 生 成 す る ア ル ゴ リ ズ ム な ど、シ ス テ ム の 詳 細 に つ い て は 文 献 [2] を 参 照 さ れ た い。

2.1 水素メーザ周波数標準器

水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 は セ シ ウ ム 原 子 時 計 と 比 べ て、短 期 の 安 定 度 に 優 れ た 装 置 で あ る。こ の 場 合 の 短 期 と は お よ そ 1 日 以 内 で の 値 を 示 す。こ の 特 長 を 生 か し た 利 用 方 法 と し て、大 陸 間 の 距 離 を 高 精 度 に 計 測 で き る 超 長 期 線 電 波 干 渉 計 (VLBI) の 信 号 源 へ の 活 用 等 が さ れ て い る。た だ し 水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 の 特 徴 と し て、メー ザ 発 信 の た め の 空 洞 共 振 器 や 真 空 排 気 系 な ど の 装 置 を 必 要 と す る の で、一 般 的 に サ イ ズ や 重 量 が 大 き い も の と な っ て し ま う と い う デ メ リ ッ ト が あ る。

日 本 標 準 時 発 生 シ ス テ ム に 使 わ れ て い る 水 素

表1 水素メーザ周波数標準器の仕様

型名	RH401A	SA0D05A
出力信号	5MHz	5MHz
	10MHz	10MHz
	100MHz	100MHz
	1.4GHz	1.4GHz
	1PPS	1PPS
周波数安定度	2E-15以上 (1000s)	3E-15以上 (3600s)
サイズ	1610 × 600 × 675	1265 × 512 × 512
重量	450kg	120kg



図2 セシウム原子時計と水素メーザ周波数標準器

メー ザ 周 波 数 標 準 器 の 仕 様 を、表 1 に 示 す。2 種 類 の 型 を 使 用 し て お り、RH401A 型 は 図 2 の 右 側、SA0D05A 型 は 図 3 に 示 す 形 状 で あ る。そ れ ぞ れ に は、制 御 ・ 監 視 用 コ ン ピ ュ ー タ が 接 続 さ れ る。RH401A 型 と 比 べ、SA0D05A 型 は 新 し い モ デ ル で、小 型 軽 量 化 が 図 ら れ て い る。図 4 に、水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 3 台 の 相 互 比 較 に よ る 周 波 数 安 定 度 計 測 結 果 を 示 す。平 均 化 時 間 1 日 (約 10^5 秒) 以 内 で の 特 性 は 同 一 で、良 好 な 特 性 を 示 し て い る。日 本 標 準 時 の 発 生 に は、こ の 短 期 の 良 好 な 安 定 度 を 活 用 し て い る。1 日 を 超 え る 範 囲 に な る と 安 定 度 は 劣 化 し て く る が、こ れ が 水 素 メー ザ 周 波 数 標 準 器 の 特 徴 で あ る。図 中 HMJST#05 と 表 記 さ れ た 装 置 は、SA0D05A 型 の も の で あ り、他 の RH401A 型 と 比 べ て 長 期 の 安 定 度 が や や 悪 い 傾 向 に あ る こ と が 判 る が 個 体 差 に よ る も の と 推 測 さ れ る。

2.2 セシウム原子時計

日 本 標 準 時 発 生 に 使 わ れ る セ シ ウ ム 原 子 時 計



図3 新型水素メーザ周波数標準器

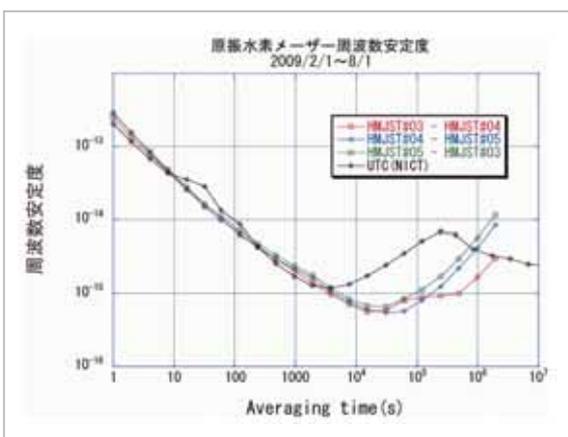


図4 水素メーザ周波数標準器の安定度

は、商用セシウム原子時計と呼ばれるもので、小型かつ連続運転が可能な装置であるため、世界各国の標準機関で最も広く使われているものである。寿命としては5年から10年程度の連続運転が可能となっている。商用セシウム原子時計は、図2の左側に示されるもので、ここには4台分が収納されている。

商用セシウム原子時計は、長期間での安定性が優れるなどの特長を持つ反面、周波数シフト要因を装置単体で測定する機能は持たない。従って、正確な1秒であることを示す「確度」については、

一次周波数標準器により評価し校正する必要がある。NICTではセシウム原子泉型一次周波数標準器を運用し、国際原子時(TAI)の高精度化に寄与している。この、セシウム原子泉型一次周波数標準器についての詳細は文献[3]を参照されたい。

2.3 計測システム

日本標準時システムの計測システム(図5)は、上記の水素メーザ原子時計及びセシウム原子時計の信号を高精度に計測し、平均化処理し、UTC(NICT)として実現化する装置である。システムは前述のとおり、3系統の同一装置で構成されており、その内の1系統を選択してUTC(NICT)を出力する。中核となる装置は、水素メーザ周波数標準器の安定度を生かし、 10^{-19} の桁で周波数調整が行える周波数調整器AOG(Auxiliary Output Generator: Symmetricom社製AOG-110)と、時計相互の時刻差をピコ秒レベルの分解能で計測するDMTD(Dual Mixer Time Difference System)[4]である。DMTDは5MHz同士の位相差計測であるので、位相のアンビギュイティを取り除けない。このため、1PPSによるタイムインターバルカウンタ(Stanford Research Systems社製SR620)計測も備えている。

時計の時刻差計測における、3系統のDMTD計測値とタイムインターバルカウンタ計測値による4つの値は、多数決平均化処理の手法で1の値を決定する。この手法は、データ間で格差の大きいものを除外し、残った2値から平均値を算出する方法であり、計測誤差を少なくすることができる。また、4つの計測値の内、最悪3つが計測できなくても値を決定することができる。通常は、高精度な計測値が得られるDMTDの値から時計の時刻差を算出している[5]。

さらに、運用の信頼性を高めるため、各種の監視機構を設けている。監視対象としては、各計測用計算機の動作、データベース上のデータの存在、UTC(NICT)の出力である1PPS信号及びキャリア信号のリアルタイム波形監視等がある。図6は、監視用計算機の表示画面例である。監視用計算機は、機構内のネットワークに接続され、Webインターフェイスにより監視状態をいつでも確認することができる。また、種々のデータ処理機能も備える。図の例では、赤表示は異常の存在



図5 日本標準時システム



図6 監視画面

を表し、データベース上のデータに不足等の問題があることを示している。こういった機能を活用して、日本標準時の運用の手助けとしている。

3 UTCへの比較と貢献

前項のようにして、UTC (NICT) が作り出され、日本標準時の元元ができあがるわけであるが、このままでは UTC (NICT) と言うわけにはいかない。UTC との明確な関係付けが必要だからである。

その前に、UTC がどのように生成されているか

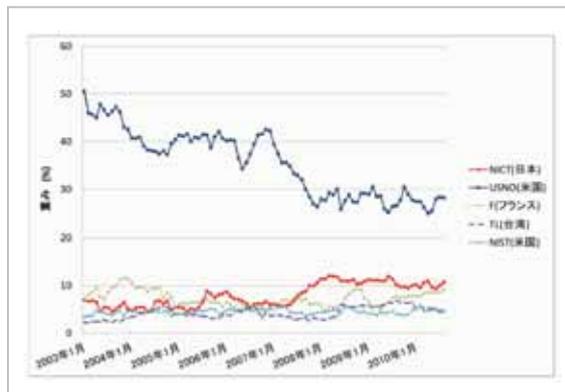


図7 TAI 決定における各機関の時計の重み

を簡単に説明する。詳しくは各種の文献[6][7]があるので、そちらを参照されたい。

現在の秒の定義は、1967～68年に開催された国際度量衡総会 (CGPM) で、セシウム 133 を基としたものに改訂された。これにより、秒、すなわち周波数はセシウム原子時計を基に作り出されている。一方、時刻については、国際度量衡委員会 (CIPM) で TAI を定義しているが、TAI の起点は 1958 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒 (それまでの暦表時) としている。TAI の実現には、各国の研究機関等が保有する原子時計を平均する方法で、信頼性と安定性の高い時系を生み出している。地球の自転に基づく世界時 UT は不規則であるため、TAI とは次第に離れてしまう。これを 0.9 秒以内に収まるように調整する、いわゆる「うるう秒」調整を行った時系が UTC である。従って、UTC は TAI の歩度と一致しているが、整数秒だけ異なるものである。TAI の起点から現在 (2010 年) までの間に UTC は TAI に対して 34 秒の遅れとなっている。

上記のとおり、UTC (その基となる TAI) は各国の研究機関等が保有する原子時計により作り出されるが、そのためには、各国にある原子時計を高い正確さで比較する必要がある。現在主流の比較方法は衛星技術を利用したもので、通信衛星や GPS 衛星を利用した方式が用いられている。詳しくは、文献[8]に記載があるので、そちらを参照されたい。

各国各機関が保有する原子時計 1 台 1 台は、このようにして比較がされ、国際度量衡局 (BIPM) において安定度の評価が行われる。安定度の良い

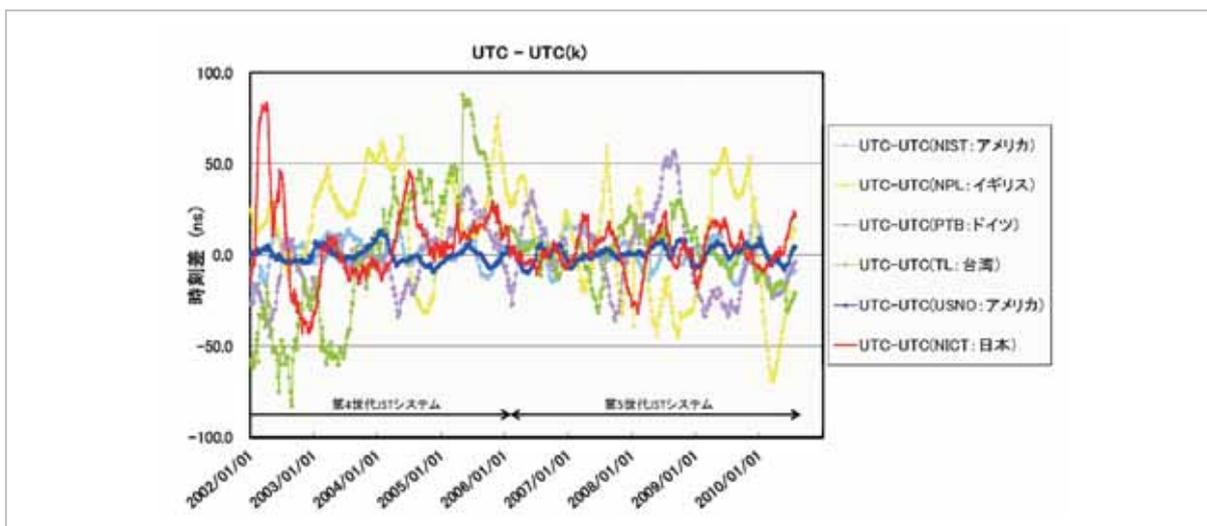


図8 協定世界時と日本標準時

ものに重みを付ける手法により平均化され、一次周波数標準器による確度評価を得てTAIが決定されている。図7は、TAI決定の重みが大きい機関について、その重みの変遷を示したもので、NICTが保有する原子時計は、TAI決定におよそ10%の貢献をしている。一番大きな重みを持つのは、米国海軍天文台(USNO)であるが、2010年7月現在において、TAI決定に利用されている原子時計の総数が341台に対し、USNOが保有する原子時計74台(台数割合で22%)とずば抜けていることにある。NICTは総数30台(台数割合で8.8%)の時計データを報告し、TAI決定に世界で2番目に貢献した機関となっている。

このように、NICTはTAI決定に貢献するとともに、時刻比較によってUTCとUTC(NICT)はリンクされ、トレーサブルな関係が構築されている。現在の日本標準時システムは第5世代として2006年より運用を開始したが、前世代からのUTCとUTC(NICT)の関係を図8に示す。UTC(NICT)の変動幅は前世代のシステムに比べ小さくなり、この図からは読み取りにくいですが、短期の変動成分は大幅に改善している。

4 日本標準時の供給

これまで述べてきたように生成された日本標準時は、色々な形態で利用されるよう、供給を行っている。標準時の供給では、標準電波、ネット

ワークによる時刻供給、電話回線による時刻供給(テレホンJJY)やタイムビジネス、周波数の供給では、標準電波及び校正(搬入校正及び遠隔校正)といった手段でサービスを行っている。

4.1 標準電波

NICTでは、電波による周波数供給及び時刻供給として、標準電波の発射を行っている。標準電波は、古くから「電波の灯台」としての役割を持ち、電波監理に役立てられてきた。日本では標準電波は1940年(昭和15年)から短波による運用が開始され、1948年(昭和23年)には、報時信号が重畳されるようになった。

短波による標準電波は、現在でも多くの国において運用がされている。しかし、短波の特性として、電離層反射波で遠距離の地点まで電波が到達するという利点がある反面、国際間の干渉や混信が発生するといった問題や、高い周波数精度を伝送しようとしても、電離層反射高度の変動によるドップラ効果により、それを困難とする問題が生じている。

一方、長波による標準電波は波長が非常に長いいため、送信アンテナや送信施設が大型なものになってしまうというデメリットがあるものの、主として地表波による伝搬が行われるため、受信側での周波数精度を高く取ることができるというメリットがある。また、受信機では短波に比べコア型のアンテナを用いることができるので、小型化

した受信機が実現できるという利点をもっている。こうした長波の利点に加え、電波時計への応用も可能なことから、日本においては1999年から長波標準電波への移行を進め、2001年には短波標準電波の廃止を行ってきた。現在、長波標準電波送信所は2局体制により、日本全国をカバーした運用を行っている[9]。

標準電波の信号は、各送信所に置かれたセシウム原子時計より作り出されている。NICT本部で作出す周波数標準や日本標準時を送信所まで伝送して、そのまま送信する手法をとらないのは、途中の伝送路の影響で信号の遅延やゆらぎが発生し、精度劣化につながるためである。送信所に置かれたセシウム原子時計は、国際間の時刻比較と同じ手法でNICT本部と比較され、日本標準時に合うよう調整される。最終的に送信所で作り出す標準周波数の確度はUTC(NICT)に対して 1×10^{-13} 以内、時刻同期精度は100 ns以内で運用されるが、送信出力は送信機等の影響や低い送信周波数信号の影響もあり、周波数確度 1×10^{-12} 以内、時刻同期精度10 μ s以内と規定している。

1999年の長波標準電波開局以来、電波時計の普及が進み、国内累計出荷台数は5000万個を超えていると推定される。

4.2 ネットワークによる時刻供給

ネットワークの普及とともに、情報処理を司る計算機間の時刻同期はますます重要視されている。一般家庭にまでインターネットが普及し、ネットワークに接続された計算機は相当な数に上る。計算機には1台毎に時計が組み込まれているが、主要なOSにはNTP(Network Time Protocol)による時刻の同期機能が組み込まれているので、信頼のおけるNTPサーバへ参照するよう設定すれば、自動的に時刻の同期が図られるようになっている。

NICTでは、1994年から国内機関との共同研究を進め、2001年には4機関との共同によるインターネット時刻供給実験を開始し、NICT独自のサービスとしては、2005年より公共機関、タイムビジネス認定の時刻配信事業者、インターネット関連事業者等の法人を対象とした「ネットワークによる時刻情報提供サービス」を開始した[10]。このサービスは、専用線等を用いてNICTにおかれたNTP専用サーバ(図9)へ直接接続して時刻同

期を行うものであり、先のインターネット時刻供給実験は、本サービスを経由して現在でもインターネットマルチフィード(株)より、「時刻情報提供サービス for Public」の名称で継続してサービスの提供が行われている。

さらに2006年からは、「インターネットによる時刻情報提供サービス(公開NTP)」を開始した。このサービスでは、NICTで独自開発したインターネット用時刻同期サーバ(図10)を使用しており、①FPGAにより全てハードウェア化されているため、ワイヤレートでのリクエストでもサーバ精度は低下しない。②単機能のハードウェアのため、クラッキング等によるシステムへの侵入は不可能。という特徴を有し、時刻精度はUTC(NICT)と10 ns以内、処理能力は毎秒100万リクエスト以上の性能を保有している[11]。

このサービスは、NICT内に置かれたNTPサーバに対してアクセスを行うため、利用者から見ると使用するネットワーク環境によっては距離が遠くなり、伝搬遅延が大きく変動する要因となる。伝搬遅延の変動は、時刻同期誤差につながるの



図9 ネットワークによる時刻情報提供用サーバ



図10 インターネット用時刻同期サーバ

で、精度の改善と信頼性の向上を目的として、2010年にインターネットエクスチェンジポイント (IX) からの配信を開始した。この配信では、東京・大手町の日本インターネットエクスチェンジ (株) (JPIX) 内に NTP サーバを置き、NICT 本部と JPIX 間を 1 芯光ファイバでつなぎ、同じ波長の光に時刻データをのせて双方向通信する双方向時刻同期システム^[12]を用いることで、UTC (NICT) と JPIX 内 NTP サーバを 1 ns の精度で同期させることが可能な技術である。これにより、高精度で冗長性にも優れた NTP サービスが完成した。

4.3 テレホンJJY

テレホン JJY とは、電話回線による標準時供給システムの愛称で、公衆回線網を利用した時刻供給のサービスである。本サービスは 1995 年から開始され、電話回線の双方向性を用いて 1 ms 以内の時刻同期を実現できるシステムとして活用されている。

電話回線を利用して時刻比較を行う手法については、1980 年代に国内実験を行っている。当時は音響カプラとタイムインターバルカウンタによる計測により、国内 6 地点 (札幌～沖縄) の実験で $\pm 200 \mu s$ の確度が得られた^[13]。1990 年代に、この手法を利用した時刻供給装置を試作し、自動的に回線遅延時間を測定し補正することで、時刻同期誤差 $\pm 1 ms$ 以内を実現した^[14]。テレホン JJY システムは、この装置を実際のサービスに活用したものであり、複数の回線に対応できるシステムとなっている (図 11)。

アナログ公衆電話回線を使うテレホン JJY は、電波を利用できない場所 (ビル内など) で使用できることや、インターネットのようにセキュリティ上の対策が必要では無いと言ったことから、現在でも利用は伸び続けている。図 12 は、テレホン JJY サービス開始から現在までの毎月のアクセス状況をグラフにしたものである。アクセス数は一時減少傾向を見せたが、2003 年以降上昇に転じ、伸び続けている。

一方、現在は装置に使用するアナログモデムの入手が困難となりつつある等の問題がある。先に述べた、時刻同期誤差 1 ms を確保するためには、モデムの良否は重要である。表 2 に 5 種類のモデムについて誤差を評価した結果を示す。各モデム



図 11 テレホン JJY システム

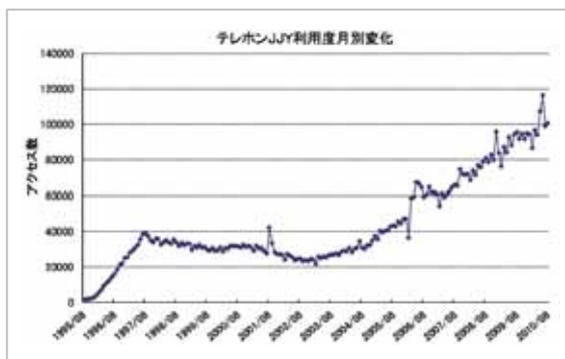


図 12 テレホン JJY のアクセス数

表 2 モデムによる誤差

モデム間通信速度 端末 - モデム間通信速度 プロトコル	遅延量の標準偏差 (ms)				
	モデム A	モデム B	モデム C	モデム D	モデム E
1200bps 1200bps プロトコル無し	0.301	0.382	1.98	1.98	2.32
2400bps 2400bps プロトコル無し	0.181	0.178	1.08	1.31	1.27
2400bps 9600bps プロトコル無し	-	-	1.19	-	-
2400bps 9600bps MNP5 プロトコル	-	-	1.57	-	-
2400bps 9600bps V42bis プロトコル	-	-	5.55	-	-
モデムの性能	2400bps モデム テレホン JJY システム と同一	2400bps モデム MNP4 機能あり	2400bps モデム 各種 プロトコル 対応	9600bps モデム 各種 プロトコル 対応	14400bps モデム 各種 プロトコル 対応

を使用して、電話回線を通してテレホン JY システムに接続し、テレホン JY 装置の持つループバック機能により折り返し信号の遅延測定をする。遅延測定にはタイムインターバルカウンタを使用し、その 100 回の測定値から標準偏差を求めた。表からわかるように、使用するモデムによって、遅延量にばらつきを生じるため、その量が大きいと遅延補正の誤差につながる。モデム C～E では、標準偏差が 1 ms を超えているので、最終的な時刻同期誤差を 1 ms 以内とすることが困難となる可能性がある。(往復の遅延時間であるので、一方向では 2 分の 1 の影響が出る。) テレホン JY システムでは、モデム間接続に 300～2400 bps の速度と圧縮・訂正などのプロトコル使用をしないことを推奨しているが、実際には各種プロトコルに対応する機能を持つ。MNP5 や V42bis、などといったプロトコルを使用すると、ばらつきは増加する。また、近年では公衆電話回線もデジタル化され、旧来のアナログ回線のように往復の経路が同一である保障はなくなってきている。遅延時間の補正を往復の経路が同一と仮定し、往復の遅延時間計測から時刻補正を行う本方式では、回線による精度への影響も現れてくる。次世代型のテレホン JY 開発は急務となってきている。

4.4 その他のサービス

日本標準時及び標準周波数の供給では、上述以外のサービスがある。時刻の供給として、1 つには「時刻情報提供サービス」、さらに「タイムビジネス用時刻配信」のサービスがある。これらのサービスは主としてタイムビジネスに係る事業者を対象としたもので、「ポータブルクロックを用いた時刻比較サービス」「タイムビジネスに係る非常

時支援サービス」や先に説明した「ネットワークによる時刻情報提供サービス」といったものが含まれる。これらのサービスは、タイムビジネス事業者が持つ時刻源を日本標準時と高精度にトレースするためのものである。タイムビジネスに関しては、文献[15]を参照されたい。

周波数の供給に関しては、「校正」という業務を行っている。利用者の持つ周波数標準器を NICT の国家標準と比較し、周波数偏差を測定して、校正成績書を発行するサービスで、電波法に基づく「登録点検事業者用測定器等の校正」、計量法に基づく「jcss 校正」、製品評価技術基盤機構の認定制度に基づく「ASNITE 校正」、及び、これらによらない「委託校正」のメニューがある。「登録点検事業者用測定器等の校正」を除き、持ち込みによる「搬入校正」と遠隔により校正を行う「遠隔校正」を実施している。これら詳細については、文献[16]を参照されたい。

5 おわりに

日本標準時の定常的運用は、標準時・標準周波数の発生から、比較、供給と一連の運用を必要とし、運用するシステムも広範なものとなっている。こういったシステムのほとんどは、NICT が蓄積した研究成果と技術を基に独自に開発してきたものであり、今後も急速に進化する環境に対応するためにシステムの改善が必要である。

昨今の電波時計や NTP などのように、一般国民にも直結したサービスの普及で、日本標準時の重要性はますます増している。さらに、科学技術の発展に重要な役割を担う時間周波数の高精度化に向けた取り組みなど、今後も発展を続けていくことであろう。

参考文献

- 1 花土ゆう子 他, "The New Generation System of Japan Standard Time at NICT," IJNO, Volume 2008, Article ID 841672, 7 pages.
- 2 中川史丸, 花土ゆう子, 伊東宏之, 小竹昇, 熊谷基弘, 今村國康, 小山泰弘, "日本標準時システム概要と高度化," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-2, 2010.
- 3 熊谷基弘, 伊東宏之, 梶田雅稔, 細川瑞彦, "原子泉型一次周波数標準器 NICT-CsF1," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-3, 2010.

- 4 中川史丸 他, "Development of Multichannel Dual Mixer Time Difference System to Generate UTC (NICT)," IEEE Trans. on IM, Apr., 2005.
- 5 花土ゆう子 他, "The New Generation System of JAPAN Standard Time at NICT," ATF2006, TF6p32, Dec. 2006.
- 6 森川容雄, "時間・周波数の定義と国際原子時／協定世界時," 通総研季報, Vol. 49, Nos. 1/2, Mar./Jun. 2003.
- 7 C. Thomas and J. Azoubib, "TAI computation: study of an alternative choice for implementing an upper limit of clock weights," Metrologia, Volume 33, Number 3, 1996.
- 8 前野英生, 藤枝美穂, 相田政則, 李廷魚, 田淵良, 雨谷純, "定常衛星双方向時刻比較," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 4-1, 2010.
- 9 栗原則幸, "長波標準電波," 通総研季報, Vol. 49, Nos. 1/2, Mar./Jun. 2003.
- 10 今村國康 他, "ネットワークによる時刻供給," 通総研季報, Vol. 49, Nos. 1/2, Mar./Jun. 2003.
- 11 鳥山裕史, 町澤明彦, 岩間司, "ハードウェア NTP サーバの開発," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J89-B, No. 10, pp. 1867-1873, 2006.
- 12 鳥山裕史, 町澤明彦, 岩間司, "単一波長時分割双方向方式による 1 芯光ファイバ時刻伝送装置の開発," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J91-B, No. 4, pp. 407-414, Apr. 2008.
- 13 相田政則, 佐藤得男, 山森聡, "電話回線による精密時刻比較," 電波研季報, Vol. 31, No. 160, Sep. 1985.
- 14 森谷中宣, 赤塚正, 佐藤得男, 相田政則, "公衆通信回線による標準時供給システム," 時計学会誌, No. 142, 1992.
- 15 岩間司, 齊藤春夫, 町澤明彦, 鳥山裕史, "日本のタイムビジネスの動向," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-6, 2010.
- 16 齊藤春夫, 岩間司, 土屋茂, 小山泰弘, "周波数校正," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 2-5, 2010.



いまむらくにやす
今村國康

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
標準時・周波数標準