

3 日本標準時システム

3 Japan Standard Time System

3-1 日本標準時の維持と運用

3-1 Maintenance and Operation of Japan Standard Time

松原健祐 中川史丸 伊東宏之 蜂須英和 Nils Nemitz 藤枝美穂 後藤忠広
成田秀樹 水野道明 有村 智 齊藤春夫 今村國康 花土ゆう子 井戸哲也

Kensuke MATSUBARA, Fumimaru NAKAGAWA, Hiroyuki ITO, Hidekazu HACHISU, Nils NEMITZ, Miho FUJIEDA, Tadahiro GOTOH, Hideki NARITA, Michiaki MIZUNO, Satoshi ARIMURA, Haruo SAITO, Kuniyasu IMAMURA, Yuko HANADO, and Tetsuya IDO

情報通信研究機構 (NICT) における日本標準時の維持と運用について概要を紹介する。NICT が国家標準として定めてきた周波数標準と、それを用いて発生させる日本標準時は、高度な情報化社会において「当たり前」のように安定に維持されるインフラとして、重要なものになっている。その正確さと信頼性は、国内の利用者からの要請にこたえるだけでなく、世界中の計測機関の間での比較により、国際的な時刻基準である協定世界時 (UTC) の発生にも大きく貢献している。

This paper describes the maintenance and operation of Japan Standard Time at the National Institute of Information and Communications Technology (NICT). The frequency reference that NICT provides to implement the national standard, and Japan Standard Time generated based on this are becoming increasingly important as an infrastructure that is constantly maintained in the advanced information society. This time scale has to meet the accuracy requirements of its domestic users, and it is constantly compared among measurement institutes around the world, which greatly contributes to the determination of the global Coordinated Universal Time (UTC).

1 はじめに

NICT は、国立研究開発法人情報通信研究機構法の第 14 条第 3 項にある「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」の規定に従って、標準周波数と日本標準時 (JST) を決定・維持・供給するという、国民生活に不可欠な業務を行っている。この業務の達成のため NICT では、各種の原子時計及び時間周波数諮問委員会 (CCTF) の国際作業部会で認定された一次と二次の周波数標準器を運用して、定常的業務と研究開発とを両立させている [1]。

現在、時間の単位「秒」は、セシウム原子が不変の周期の電磁波を吸収することを利用して、その約 92 億周期分の継続時間で定義されている。時空標準研究室では、NICT 本部で運用する最大 18 台のセシウム原子時計で平均原子時を発生させ、それを用いて、短期安定度が優れた水素メーザ周波数標準器 (以降、水素メーザとする) を調整することで、短期から長期まで高安定な標準周波数と日本標準時を発生させている。

また NICT では、本部以外の標準電波送信所などを含めて約 40 台の原子時計の時刻をフランスの国際度量衡局 (BIPM) に報告しており、BIPM では世界中からの報告を基に協定世界時 (UTC) を決定している。

現在の日本標準時の発生システムは第 5 世代に当たり、2006 年 2 月に運用を開始した。UTC に同期させた UTC (NICT) を発生させており、高い精度と信頼性を得ている [2][3]。

2 日本標準時の発生

日本標準時発生システムの仕組みを図 1 に示す [4][5]。現在、最大 18 台のセシウム原子時計と 4 台の水素メーザを利用している。第 5 世代では、3 重の冗長性を持たせており、それぞれの系統で、各 1 台の水素メーザの 5 MHz の出力を原振 (信号源) として利用している。4 台目の水素メーザも予備として日常監視される。原振とは別に、複数台のセシウム原子時計からの信号の時刻差が計測されており、各時計の信頼

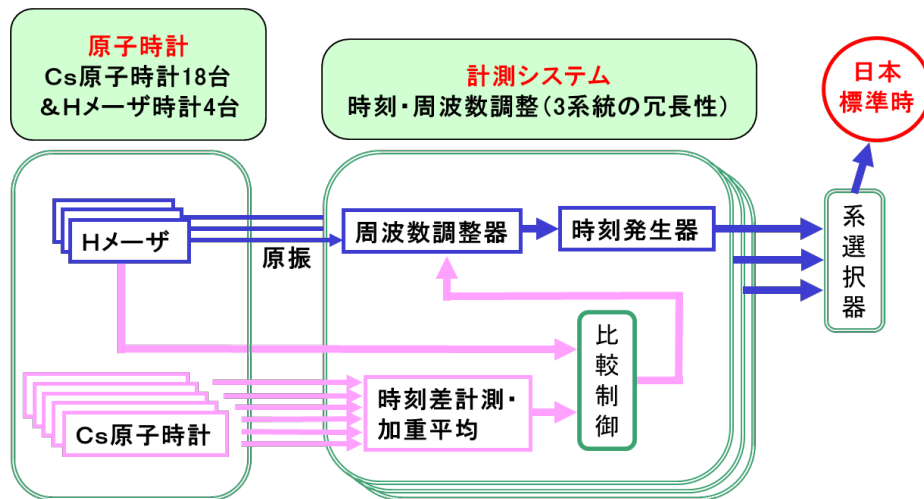


図1 日本標準時発生システム

度に応じて重み付けされた、それらの平均の時刻（平均原子時）が計算されている。水素メーザを原振とする3つの系統の各々で、平均原子時を目標に原振の周波数が周波数調整器によって調整されている。周波数調整器からは5 MHzと1 PPSの信号が出力され、それらの内の1系統のみが現用系の信号として選択されてUTC(NICT)となる。3系統の出力信号の時刻差は常に監視されているので、万一いずれかに異常が生じても容易に特定できる。UTC(NICT)として選ばれた系の1 PPS信号を数えることで時刻となるが、UTC(NICT)には後に説明する「うるう秒」の調整が反映されている。UTC(NICT)を9時間進めて日本標準時JSTとなる。なお平均原子時を目標とする周波数調整とは別に、必要に応じて年に数回程度BIPMの報告書(Circular T)に基づいて周波数調整が行われて、UTC(NICT)をUTCに同期させている。

2.1 原子時計

NICTが利用する原子時計を概説する[4]。なおNICTが運用するセシウム一次周波数標準器やストロンチウム光格子時計などについては、本特集号の4-2「原子泉型一次周波数標準器 NICT-CsF1 & NICT-CsF2」、4-3「NICTにおけるストロンチウム光格子時計の開発」などを参照いただきたい。後者については、CCTFの作業部会で二次周波数標準に認定された後、BIPMによるUTCの決定に2018年から寄与しており、この時計によるUTC(NICT)の高精度化にも取り組み始めている[6]。

現在、日本標準時発生システムには、水素メーザ(アンリツ社製SD1T03C、RH401A)とセシウム原子時計(Microsemi FTD社製5071A)が用いられている。水素メーザはセシウム原子時計に比べて短期安定度が優れている[7]。高周波放電で解離させた水素原子から、

特定のエネルギー準位の原子を磁場で選別して、超微細分裂したエネルギー準位間の遷移に伴う電磁波(約1.420 GHz)の放射を利用している。日本標準時で用いる水素メーザは、水素原子自身が発生するコヒーレントな(干渉性の良い)電磁波を原振とするアクティブ(能動)型である。水素メーザのデメリットとして、放射された電磁波を共振させる空洞共振器の形状に制限があるため、磁気シールドや真空系などを含めた装置のサイズや重量が大きくなることがある。図2に原器室に設置された水素メーザ(SD1T03C)を示す。原器室は温度 24.0 ± 0.5 °C、湿度 50 ± 10 %RHで制御されている。

さらに日本標準時の発生に使われるセシウム原子時計は、メーカーの品質管理下で製造されたものである[8]。これらは世界各国の機関が独自開発したセシウム一次周波数標準器ではなく、一般に商用セシウム原子時計と呼ばれる。品質管理によって性能の個体差が小さく、長期間にわたり安定に連続動作することから、世界の標準機関で現在最も多く使われている機種である。この製品は高い安定性と信頼性を備えているが、経年劣化などで時々刻々変化する発生周波数のシフトを装置単体で測定できない。そこで1秒の「正確さ」については、定義値からの周波数シフトを補正できる一次周波数標準器で校正する必要が生じる。この製品では、真空中をビーム状に流れるセシウム原子流を用いている。原子に特定の周波数の電磁波(約9.192 GHz)を照射して、ラムゼー共鳴による電磁波の吸収の強度で周波数を制御するが、一度原子流に使った原子は再利用できない。そこで5年程度ごとに運用を中断し、セシウム金属試料の充填が必要になる。図3に水素メーザと同様の原器室に設置されたセシウム原子時計(3台分)を示す。

これらの原子時計の周波数安定度を図4に示す。平



図2 水素メーザ (SD1T03C)



図3 セシウム原子時計 (5071A)

均化時間 10^5 秒程度までは、水素メーザの安定度が優れている。そして 10^6 秒 (10日) 以上まで、単体のセシウム原子時計より安定しており、この特性を利用して日本標準時は優れた短期安定度を維持している。より長期では、複数のセシウム原子時計による平均原子時の方が十分に高い安定性を示すことから、日本標準時の長期安定度はこの平均原子時で維持されている。

2.2 計測システム

計測システムは、日本標準時の決定に寄与する複数の原子時計の 5 MHz 及び 1 PPS の信号、そしてそれらの信号から合成、調整された信号の位相あるいは時刻差を計測して、各原子時計の状態監視を行ったり、合成や調整の際のパラメータを決定したりするものである。したがって計測システムには、原子時計の信号特性を劣化させない低いノイズレベルを持ち、毎日の使用に耐える堅牢性が必要になる。

現在の計測システムでは、水素メーザの優れた短期安定度と、 10^{10} 桁までのステップで周波数比率を調整可能な周波数調整器 AOG (Frequency Standard Auxiliary Output Generator: Microsemi 製 Model-110) の性能を生かすために NICT と日本通信機株式会社で共同開発した、マルチチャンネル DMTD (Dual Mixer Time Difference System: Model 2172 A) が中核に

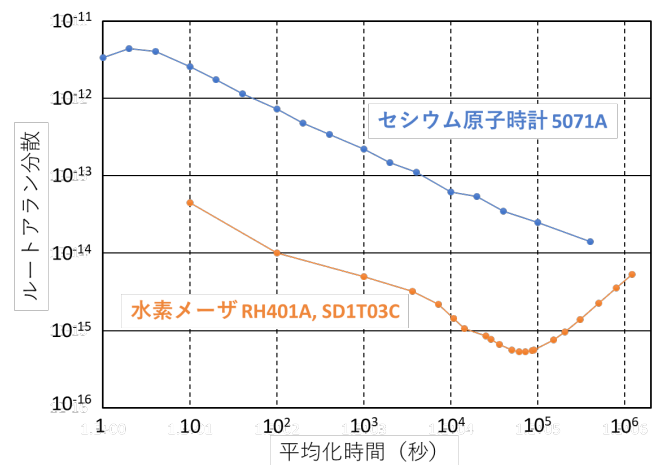


図4 セシウム原子時計と水素メーザの周波数安定度

なっている。この装置には、原子時計などから最大 24 の 5 MHz 信号を入力することができ、そのうちのひとつを基準に用いて、入力された全ての信号の時刻差を、毎秒同時に計測できる。これにより計測のタイミングの違いによる時間誤差を含まない、非常に高精度の時刻差計測を実現できる。装置内での周波数変換や 100 サンプルの平均値計算により、0.2 ps の計測精度を実現している [9]。DMTD のノイズレベルを図 5 に示す。極めて低いノイズレベルを持っており、水素

3 日本標準時システム

メーザの優れた周波数安定度を短い平均化時間で計測できるため、水素メーザの安定度の確認や万一の異常の原因究明に役立っている。

DMTD の利用で高精度の計測が可能になったが、5 MHz の繰り返し (200 ns) の 1 周期以上の時刻差計測には、周期数のカウントアップが必要になり、確実性が低下する。そこで 3 系統での DMTD 計測以外に、以前の第 4 世代の計測システムで利用していたタイムインターバルカウンター (Stanford Research Systems 社製 SR620) による計測を 1 系統併用している。カウンターにより 1 時間に 1 回、1 PPS の信号の時刻差を計測している。例えば、連続計測を中断した DMTD で再計測する場合は、カウンターで時刻差の初期値を測り、その後に DMTD で計測することにより、確実さと精度を両立させている。

3 系統の DMTD 計測とカウンター計測により合計 4 組の時刻差データを得ることができ、各組で平均の原子時が計算される。この 4 組のデータは計測系が正常であれば、ほぼ同じ値を示すはずであり、計算機で相互の差分を常時比較することにより計測系の異常 (入力信号の状態も含む) を自動判定することができる。差分の最も小さな 2 系統を選びその平均値を UTC(NICT) が目標とする平均原子時 (TA) としている。通常は 3 系統の DMTD 計測間で値が良く一致するので、それらから TA が決まる。現在、UTC(NICT) を目標の TA に収束させる手順としては、まず、原振の水素メーザの過去 10 日間の周波数変動の一次近似と TA とから、水素メーザの周波数の調整量を決定している。次いで現在から将来の 10 日間

でその調整量に到達するレートに従った周波数調整値を、8 時間ごとに周波数調整器に入力して値を更新している。データ処理法の詳細については参考文献 [2]-[4] を参照いただきたい。

2.3 協定世界時への貢献と同期

以上の方法を用いて、UTC(NICT) は NICT の平均原子時 (TA) を目標に周波数調整される。さらに UTC(NICT) に 9 時間を加えて日本標準時 JST となる。

UTC について既に各種の文献があるので詳細はそちらを参照いただきたい [10]。セシウム原子を利用した現在の秒の定義は、1967 ~ 1968 年に国際度量衡総会 (CGPM) で決定された。時刻については 1970 年の国際度量衡委員会 (CIPM) で、国際原子時 (TAI) が定義されている。TAI はその原点を世界時 UT の 1958 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒に一致させている。その後は世界の 70 以上の時刻・周波数機関で運用される原子時計の指示値を基に、BIPM で決定されているが、地球の自転に基づいて決められる世界時とは原点以後は無関係である。そこで地球の自転にも合わせた時系として、TAI と同じ歩度 (1 秒の長さ) を保ち、1 秒単位の時間挿入あるいは削除 (うるう秒) を行うことで、世界時 UT1 との差を 0.9 秒以内とした UTC が利用されている。UTC は TAI と整数秒だけ異なり、2019 年 8 月 1 日現在は UTC は TAI に 37 秒遅れている。

TAI が決定されるためには、世界中の原子時計の時刻を比較する必要がある。時刻比較については本特集号でも **5** に詳しい解説があるので、そちらを参照いただきたい。BIPM ではこの時刻比較の後、周波数安定度の高い時計に重みを付けて平均の時刻を計算する。さらに CCTF の国際作業部会で認定されたセシウム一次周波数標準器と二次周波数標準器で確度評価された後に、TAI を決定している。

BIPM で決定される UTC と UTC(NICT) の時刻差

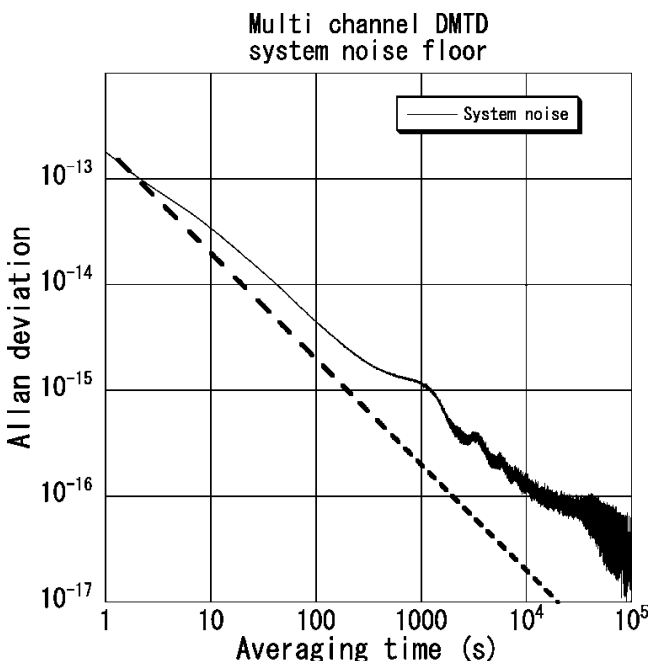


図 5 DMTD のノイズ (周波数安定度) (参考文献 [8] で発表したものを転載)

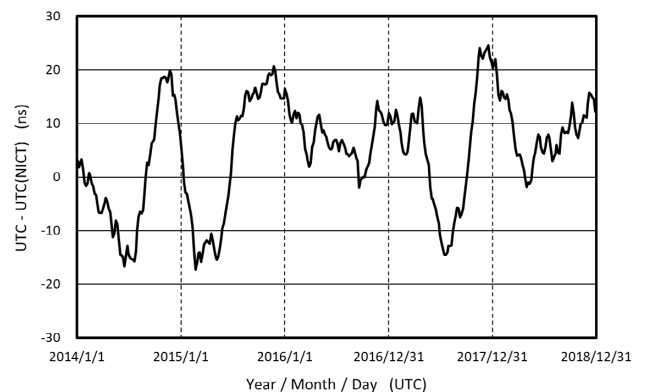


図 6 UTC と UTC(NICT) の時刻差

表1 TAI 決定への貢献が大きい機関の各年の寄与率 (%)
 (各機関の所属国 USNO: アメリカ NPL: イギリス F: フランス NICT: 日本 IT: イタリア
 A NIST: アメリカ NTSC: 中国 NIM: 中国 SU: ロシア SP: スウェーデン APL: アメリカ)

	2014年		2015年		2016年		2017年		2018年	
1	USNO	33.16	USNO	30.7	USNO	32.326	USNO	29.238	USNO	25.44
2	NICT	7.669	SP	7.366	SU	8.851	SU	12.494	SU	14.064
3	SP	6.603	SU	7.106	SP	6.423	SP	6.969	NICT	7.193
4	SU	6.499	NICT	6.272	NIST	5.659	NICT	6.153	SP	6.24
5	F	6.261	NTSC	5.953	NTSC	5.401	NIST	6.145	NIST	6.134
6	NIST	4.448	F	5.673	NICT	5.164	NTSC	4.582	NIM	5.375
7	NTSC	4.164	NIST	5.358	F	4.728	F	4.409	NTSC	4.775
8	NIM	3.301	IT	3.687	IT	3.411	IT	3.171	F	4.288
9	PTB	3.024	APL	3.328	APL	3.146	APL	3.124	NMIJ	2.619
10	IT	2.859	NIM	3.029	NIM	2.52	NIM	3.113	PTB	2.547

はその翌月に公表され、UTC(NICT)の周波数調整に利用される。周波数校正サービスへの影響を抑えるため、UTCへの同期調整は必要最低限の頻度で実施されている。図6は最近のUTCとUTC(NICT)の時刻差を示すものである。UTC(NICT)はおおむね20ns以内の誤りでUTCに一致しており、高精度な時系として国際的に認められている。また表1はTAI決定への貢献が大きい機関について、その貢献の程度の変遷を示したものである。NICTは現在約40台(全世界の台数の約9%)の時計データを報告しており、各時計への重み付けを足し合わせてTAI決定におよそ7%の貢献を成している。その順位は2018年において世界3番目となった。近年、TAI計算における原子時計への重み付けの方法が変わり、水素メーザの寄与がより高く評価される形となった。NICTは水素メーザの運用にも実績があり、TAI決定に大きく貢献できている。

2.4 機器更新と電源設備

現在の第5世代の日本標準時発生システムは2006年2月に運用を開始した。10年以上連続で使用している機器もあり、性能の劣化や重大な故障が突然起こる懸念も生じてきた。そこで2016年から原子時計、マルチチャンネルDMTD、信号分配アンプ、オシロスコープといった主要な機器を更新して信頼性と操作性を向上させた。現在のシステムでは機器間の通信に主にRS-232CとGPIBを用いているが、本特集号3-2「日本標準時の分散化」で解説される日本標準時の分散化システムでは、より汎用性が高いEthernetを、本部を含めた分散局で統一的に利用する予定であるため、適合する機器への変更も行った。

また日本標準時システムの安定運用のためには、災害などによる商用電源の停止も含めた、非常時の確実

な電源確保が重要になる。各計測装置は、緊急時には、日本標準時システムがある建物専用の発動発電機から電力が供給される。さらにセシウム原子時計などの重要装置には、施設内の3基の大型無停電電源装置(UPS: Uninterruptible Power Supply)からも交流電力が供給される。セシウム原子時計や周波数調整装置(AOG)などは、交流と直流の2系統の電源入力が可能のため、日本標準時システムと同じフロア内に蓄電池型の直流無停電電源を設置して、非常時用として併用している。全ての装置には瞬間停電に対応できるUPSが接続されており、十分な電源冗長系を確保している。

さらに2017年には、従来の発動発電機が稼働中に万一不具合を生じて大丈夫なように、発動発電機の冗長化(増設)を実施した。これにより非常時を含めた運用の信頼性が格段に向上した。

3 日本標準時の運用と公表業務

以上の方法で維持されるUTC(NICT)とJSTであるが、NICTは幾つかの方法でこれを国内外に供給している。その主な方法としてNTP(Network Time Protocol、ネットワークによる時刻供給)、標準電波、テレホンJJYがあり、各々には十分に多重化、冗長化された方法で信号を分配している。また各供給方法により通報された日本標準時は、国民生活の安全安心に不可欠なものになっており、その正確さは国際的に高く評価されている。そこでNICTは、それらに関連する情報をインターネットWebページ[11]などで公表している。さらに、うるう秒の挿入などの不定期な日本標準時の調整について、国民生活が混乱しないように、事前の周知や対応方法の提示などを行っている。

3.1 各供給系とそれらへの信号分配

NICT では 2005 年に専用線等を用いて NTP サーバから時刻供給を行うサービスを始めた。また 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、現在は毎秒 100 万リクエスト以上の処理能力を持つ専用サーバを複数台運用している。最近では日に数十億回以上のアクセスがあり、コンピュータネットワークの中で正確な時刻を供給している。NICT の NTP サーバ(stratum 1)には、UTC(NICT) の 5 MHz 信号を 2 通倍した 10 MHz 信号と 1 PPS 信号が接続されており、信号線やサーバ機器の多重化、冗長化が行われている。

標準電波では 1999 年から長波帯での送信が始まり、2001 年からは国内 2 送信所から供給されている。送信の内容は総務省設置法などで規定されており、送信された電波は 1 日の平均化時間で 10^{13} 内の周波数安定度と、日本標準時に対して 100 ns 以内の同期精度を保っている。標準電波の信号源となる周波数と時刻は、各送信所で運用する商用セシウム原子時計から得られている。これらは国際間の時刻比較と同様の方法で NICT 本部の周波数標準及び日本標準時と比較され、一致するように調整される。また NICT 本部でも標準電波を受信し、UTC(NICT) やそれを基準とする NTP サーバからの時刻信号を基準に、受信された電波の位相と時刻の監視を常時行っている。

テレホン JJY は電話回線を利用した供給方法で、現在 1 か月に 17 万件以上の利用アクセスがある。インターネットを利用しないセキュリティ性、供給側と利用側が 1 対 1 で接続される安定性、さらにミリ秒クラスの精度を特長としており、銀行、放送、鉄道等の公共性が高い分野で利用されている。また近年、光電話回線の利用が進み、その高速性を生かした「光テレホン JJY」が 2019 年 2 月から正式運用された。テレホン JJY と光テレホン JJY にも 10 MHz と 1 PPS の UTC(NICT) の信号が提供され、時刻発生に用いられている。

これら以外にも NICT は、行政サービスなどの電子化に必要な電磁的記録(電子ファイル)の時刻承認を行う制度への貢献や周波数校正サービスを実施しており UTC(NICT) を利用している。各供給方法について本特集号 **3-3**「長波帯標準電波送信所の運用」から **3-6**「周波数・時刻差校正」までに詳しい解説がある。

3.2 公表業務と周知活動

NICT では日本標準時の利便性を高めるため、法令または規定などに従って、必要な情報を一般に公表している。日本標準時に関するものとしては、近年、情報通信に多大な影響を与えうる「うるう秒」の関係な

ど、下記を公表している。

- ① うるう秒の実施の予定について
- ② 世界時のひとつである UT1 と UTC の差
- ③ TAI 決定への NICT の寄与率と寄与が大きい世界上位 10 機関名

また標準電波については、国家標準として総務省告示第 382 号の規定に基づいたものなど、下記が公表されている。

- ④ 標準周波数(JJY)の UTC(NICT) に対する周波数偏差
- ⑤ NICT 本部での受信波の UTC(NICT) に対する周波数偏差と相対位相差
- ⑥ 標準電波送信所の現在の送信状況と今後の一時的な計画停波の予告
- ⑦ 標準電波送信所の定期保守に伴う停波予告
- ⑧ 受信電界強度予測値とその計算プログラム
さらに標準電波以外の日本標準時の供給についても下記を公表している。
- ⑨ 各供給の運用状況と計画停止の予告(テレホン JJY、NTP、タイムスタンプ関係)
- ⑩ テレホン JJY の月別及び時刻別アクセス状況(テレホン JJY 関係)
- ⑪ NICT による GPS 受信データ(GGTTS 形式)(校正、タイムスタンプ関係)

公表される情報は適宜更新されており、電話やメール等でも問い合わせに応じている。日本標準時に関する Web ページ [11] では、標準時の歴史など幅広く理解できるように構成されている。さらに NICT では日本標準時専用の展示室を運営しており、外国からの来訪者から国内一般まで、広く視察見学を受け入れている。2018 年度には、時空標準研究室への取材・電話応答が 128 件、日本標準時展示室の視察見学が 74 件(加えて多くの見学者が NICT オープンハウスに来訪)、また標準電波送信所への取材・見学が 7 件となっており、日本標準時への関心の大きさを示している。

3.3 うるう秒への対応

UTC と世界時 UT1 の差を 0.9 秒以内に調整する「うるう秒」調整が不定期に行われる。地球の回転の観測を行う国際機関である「国際地球回転・基準系事業(IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service、所在地: パリ)」がその実施について決定し、世界同時に行われる。UTC における毎年 6 月または 12 月の最終日 23 時 59 秒の後に行われる可能性があり、JST では 7 月 1 日または 1 月 1 日になる。1972 年 1 月 1 日(JST)に UTC を TAI から 10 秒遅れと調整した後、これまで 27 回のうるう秒調整が行われた。いずれも UTC に 1 秒の挿入を行い、TAI



図7 2017年1月1日の8時59分60秒(JST)を示す標準時表示盤

からの遅れを増加させる方向である。

IERSの決定は、通常その実施日の半年程度前に関係機関に周知される。実施の連絡を受けて総務省及びNICTは、報道発表等で国内に周知し、日本標準時の調整について官報、公報への掲載を行う。同時にNICTでは調整に向けた技術的な準備を行う。日本標準時発生システムで発生させる信号は5MHzと1PPSであるので、うるう秒の調整でこれらを直接操作することは無い。しかし、それをカウントアップした時刻に誤りがないように、機器などに事前の設定を行う。例えばセシウム原子時計、日本標準時表示器、標準電波送信信号発生装置、NTPサーバ、テレホンJYJ信号発生器に、うるう秒挿入の時刻やその予告に関する情報を設定する。その後も設定値の確認作業を日常点検で行い、当日も送信所を含め各システムに担当者を配置し、うるう秒調整を確実に実施している。図7は2017年1月1日に実施されたうるう秒の挿入について、NICT内の標準時表示器を写したものである。うるう秒に関する国際議論などについては、本特集号の7を参照いただきたい。

3.4 サマータイム

日本語のサマータイムはイギリス語名称(Summer Time)に由来しており、アメリカ、カナダ、オーストラリア等では、デイライト・セービング・タイム(Daylight Saving Time: DST)と呼ばれている。夏中心の時期に太陽が出ている時間を有効利用するため、その地域で利用する時刻を、通常より1時間程度進める制度またはその時刻のことを指す。日本でこの制度は連合軍占領下の1948年から4回実施された。日本の主権回復後も省エネルギー対策などを理由に何度か検討されたが、全て未実施であった。2018年には、

2020年の東京五輪・パラリンピックを含む期間の実施が検討され、NICTでも独自に、実施となった場合に予想される作業の検討を行った。

NICTが通常通報する時刻はUTC(NICT)と日本標準時JSTである。サマータイムの期間中に国民が一般に利用するDSTにも、便宜上JSTの名前を適用する案がある。この場合、サマータイム開始時と終了時にJSTに大きな時刻の飛びが生じるため、情報通信などに混乱が生じないようにしなければならない。JSTの発生及び供給に関して、どの様な対策が必要になり得るかを検討した。

まずJSTの基になるUTC(NICT)はサマータイムの影響を受けない。しかしJST監視システムにおいて、例えば監視の時刻がJSTで設定されるなどUTCとJSTの併用があり、万一そこでJSTが不完全に処理されると、サマータイムの開始時などに大きな混乱が生じる。そこで現在の計測システムのソフトウェアを点検して、全てをUTCのみで時刻管理していること、また今後追加改修するシステムもUTCのみを利用することを確認した。

JSTの監視システムがUTCのみで管理されることから、サマータイムの導入の検討については、各供給での対応が重要になってくる。標準電波による標準時通知では、

- ① 標準電波で送信する時刻は、従来どおりUTC(NICT) + 9時間とするか、またはサマータイム時刻DSTとするか。
- ② 標準電波の時刻コードの利用法として既に提案されている、サマータイムの実施及び予告を通知する「予備ビット」の活用を実施するか、または実施しないか。

が検討課題となった。2018年の検討では、①についてはこの時点で、標準電波の時刻情報を利用する機器の多くがサマータイムに未対応であるため、DSTを送信する選択の方が、より混乱が少ないであろうという意見であった。②については、もしサマータイムを導入する場合には、導入後に対応が浸透してきたころの利便性を考えると、提案どおり予備ビットを活用する選択が良いであろうという意見であった。なお、①と②でどちらの選択を行っても、手動による設定や制御の改修が必要な標準電波利用機器があることが確認された。以上は一般社団法人日本時計協会とも共有されたが、あくまで2018年時点での検討であって、将来の導入については、その時点での再検討が必要という認識となった。

テレホンJYJのサマータイム対応では、+(プラス)1時間までのサマータイムは、送信設備側で対応可能であったが、受信設備側の端末まで対応が十分である

3 日本標準時システム

かは不明であった。テレホン JJY は公共性の高い分野で利用されることから、導入の場合には受信設備側の確実な確認と改修が必要と考えられた。一方、NTP や光テレホン JJY などのサービスでは、UTC が送信される規定であることから、対応は利用者側で行われる。ここでも UTC から DST を算出するソフトウェアの改修などが利用者側に求められる可能性がある。

2018 年 11 月に自由民主党は 2020 年のサマータイム導入に必要な法案提出を断念すると表明した。サマータイム検討関連で NICT が記載された 2018 年の新聞紙面記事は、著者らが確認した範囲で 9 件である。その他に多数の Web または雑誌記事を確認している。

4 今後の展開とまとめ

第 5 世代の標準時システムの導入から 13 年以上が経過して、この間、周波数制御のアルゴリズムの変更や監視機能の強化など様々な改良が行われた。幸いなことにこれまで日本標準時が停止するような大事故や災害は発生しなかったが、2011 年の東日本大震災などを経て、日本標準時の運用には、より高度な耐災害性が求められている。一方で、セシウム原子を利用した従来の一次周波数標準器よりも、2 桁以上の精度を持つ光時計が実現され、「秒の再定義」が実施される国際的な機運が高まっている。さらに、時空間を従来以上に精密に計測し、効果的に利用しようとする試みが、新しい情報化社会を目指すなかでより盛んになっている。

このような状況の中で、日本標準時システムも新しい第 6 世代の開発検討の時期に至っている。その中には、本特集号 3-2「日本標準時の分散化」で解説されているように、日本標準時を決定する原子時計を国内の複数の局に分散配置して、仮に地域的な甚大災害が発生したとしても、時刻を正常に発生できる局がある限り、連続な日本標準時の発生を維持する日本標準時の分散化の取組がある。また NICT で開発したストロンチウム光格子時計を、標準時系の周波数調整に利用することで、従来以上に高精度な時系を発生させる試みも含まれている。

新しい日本標準時システムでは、これらの特長を十分に生かしながら、同時にこれまで積み重ねたシステムの安定運用のノウハウを発展させて、高度な計測技術に裏付けされた安心安全な社会の実現に貢献することを目指している。また社会の基礎インフラとして、国民全体から更に支持される日本標準時システムの実現を目指している。

【参考文献】

- 1 <https://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/wgpsfs.html>
- 2 Y. Hanado, K. Imamura, N. Kotake, F. Nakagawa, Y. Shimizu, R. Tabuchi, Y. Takahashi, M. Hosokawa, and T. Morikawa, "The new Generation System of Japan Standard Time at NICT," International Journal of Navigation and Observation, vol.2008, Article ID 841672, 2008.
- 3 花土ゆう子, "原子時系発生システムの高度化に関する研究," 博士論文, 電気通信大学, 2008.
- 4 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, vol.56, nos.3/4, pp.17-27, 2010.
- 5 今村國康, "日本標準時の運用と供給," 情報通信研究機構季報, vol.56, nos.3/4, pp.87-95, 2010.
- 6 H. Hachisu, F. Nakagawa, Y. Hanado, and T. Ido, "Months-long real-time generation of a time scale based on an optical clock," Scientific Reports, vol.8, 4243, 2018.
- 7 伊東宏之, 細川瑞彦, 梅津 純, 森川容雄, 津田正宏, 高幣謙一郎, 植原正朗, 森謙二郎, "水素メーザ原子周波数標準器," 通信総合研究所季報, vol.49, nos.1/2, pp.85-92, 2003.
- 8 <https://www.microsemi.com/product-directory/cesium-frequency-references/4115-5071a-cesium-primary-frequency-standard>
- 9 F. Nakagawa, M. Imae, Y. Hanado, and M. Aida, "Development of multichannel dual-mixer time difference system to generate UTC (NICT)," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.54, no.2, pp.829-832, April 2005.
- 10 森川容雄, "時間・周波数の定義と国際原子時/協定世界時," 通信総合研究所季報, vol.49, nos.1/2, pp.25-32, 2003.
- 11 <http://jij.nict.go.jp/>



松原健祐 (まつばら けんすけ)

電磁波研究所
時空標準研究室
研究マネージャー
博士(理学)
周波数標準、標準時、レーザー分光



中川史丸 (なかがわ ふみまる)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(理学)
時間周波数標準、時刻比較

伊東宏之 (いとう ひろゆき)

総務省
国際戦略局
技術政策課
技術企画調整官
博士(理学)
周波数標準、レーザー分光



蜂須英和 (はちす ひでかず)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(工学)
光周波数標準、光格子時計とその応用



Nils Nemitz (にるす ねみっつ)
電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
Dr. rer. nat.
光周波数コム、光周波数標準、標準時



今村國康 (いまむら くによす)
電磁波研究所
時空標準研究室
標準時、周波数標準

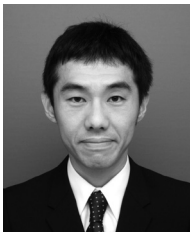
藤枝美穂 (ふじえだ みほ)
電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(理学)
精密時刻比較、光ファイバ周波数伝送

花土ゆう子 (はなど ゆうこ)
電磁波研究所
上席研究員
博士(工学)
時刻・周波数標準、高精度計測

後藤忠広 (ごとう ただひろ)
電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(工学)
時刻比較、精密軌道決定



井戸哲也 (いど てつや)
電磁波研究所
時空標準研究室
室長
博士(工学)
光周波数標準、光周波数計測



成田秀樹 (なりた ひでき)
電磁波研究所
時空標準研究室
有期研究技術員
時間・周波数標準

水野道明 (みずの みちあき)
電磁波研究所
時空標準研究室
有期研究技術員
時間・周波数標準

有村 智 (ありむら さとし)
電磁波研究所
時空標準研究室
有期研究技術員
時間・周波数標準



齊藤春夫 (さいとう はるお)
電磁波研究所
時空標準研究室
マネージャー
時間・周波数計測