

2-2 日本標準時システム概要と高度化

2-2 Summary and Improvement of Japan Standard Time Generation System

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

NAKAGAWA Fumimaru, HANADO Yuko, ITO Hiroyuki, KOTAKE Noboru,
KUMAGAI Motohiro, IMAMURA Kuniyasu, and KOYAMA Yasuhiro

要旨

情報通信研究機構では、日本標準時の生成・維持・供給を行っているが、そこで日本標準時を生成し管理するのが日本標準時システムである。この日本標準時システムはその時代の技術に合わせて随時システムの更新を行っている。現在のシステムは第5世代のシステムにあたり、2006年2月から稼働開始、現在まで大きなトラブルもなく安定した日本標準時の供給を行っている。第5世代システムの導入後も、時系の高安定度化や信頼性の向上を目的にシステム改修等を適宜実施しており、さらなる日本標準時の高度化を実現している。

Japan Standard Time (JST) is generated by JST generation system in NICT. The JST system has been properly renewed using new technologies. The present system, which is the 5th generation, has regularly operated since February 2006 and we have stably kept and provided JST without any large troubles. Since starting regular operation, we have modified the system, when necessary, in order to progress the reliability of the system and the precision of JST.

[キーワード]

日本標準時, 周波数標準, 協定世界時, アルゴリズム

Japan Standard Time, Standard frequency, UTC, Time scale algorithm

1 はじめに

日本標準時 (Japan Standard Time) は協定世界時 (Coordinated Universal Time、以下 UTC) に時差の9時間を加算した時間として定義される。この UTC は世界中の標準機関が所有している約300台の原子時計の重み付き平均から計算される長期安定度が非常に高い時系であるが、実存しない時刻のためペーパークロックと呼ばれている。世界中の各標準機関では UTC に同期した独自の時系 (UTC (k) と呼ばれる時系で、k は機関名が入る) を生成することで、実際の時刻の供給、利用を可能にしている。NICT では、複数台のセシウム原子時計や水素メーザーを元に、UTC に同期した UTC (NICT) を生成しており、これに+9時間した時刻が日本標準時になる。生成された日

本標準時は、JJY、NTP、TEL-JJY、周波数校正等、様々な形で利用・供給されており、UTC (NICT) や日本標準時は標準時及び周波数標準として、高い精度と高い信頼性の両方が要求される。そこで、UTC (NICT) 及び日本標準時を生成するのが日本標準時システムであり、その時代の科学技術に合わせて適宜システム更新が行われてきた。また、大幅なシステムの更新以外にも、日本標準時の高度化を目的に、随時様々な改修を行っている。

本稿では、最初に2006年2月に更新された第5世代の日本標準時システムの概要について、1世代前の第4世代システムからの更新点と併せて紹介する。次に、第5世代システム導入後に実施した、時系アルゴリズムの改修、周波数調整パラメータの最適化について述べ、最後に今後の高度

化における課題などについて紹介する。

2 第5世代日本標準時システム

ここでは現用システムである第5世代の日本標準時システムについて、前システムである第4世代システムからの変更点と併せて説明する。

2.1 日本標準時システム概要

日本標準時システムは、協定世界時に同期したUTC (NICT) 及び日本標準時を発生させるシステムであり、高い信頼性と高い精度の両立が必要とされる。このため、その時代の技術に適應したシステムの更新を適宜行っており、現在のシステムは2006年2月に稼働を始めた第5世代システム(以下、新システム)である[1]。新システムの構成は1つ前の第4世代システム(以下、旧システム)と基本的な違いはなく、複数台のセシウム原子時計でセシウム合成原子時を作成し、原振となる原子時計と周波数調整器で、合成原子時に沿った時系を出力する方法を採用している。図1に日本標準時システムの基本構成図を示す。

日本標準時の元となるのは原振である水素メーザーと、18台のセシウム原子時計である。これらの原子時計からの5 MHz 及び1 pps の信号が計測システムに送られ、各時計間の時刻差を計測、その結果を元に時系アルゴリズムによってセシウム合成原子時(Cesium Atomic Time、以下 TA)

が18台のセシウム原子時計の加重平均により決定される[2]。このTAは高い長期安定度を持ったUTC (NICT) の基準時系であり、また、計算機内のみの実存しないペーパークロックである。そこで、周波数調整器(日本標準時システムではSymmetricom社製 Auxiliary Output Generator を使用、以下 AOG)により原振である水素メーザーの信号を定期的かつ自動的に周波数調整を行うことでTAに沿った時系を生成する。AOGからは5 MHz とそれに同期した1 pps 信号が出力されるが、5 MHz は周波数標準として使用され、また1 pps をカウントアップすることで時刻が決定される。このAOGにより生成された時系がUTC (NICT) であり、これに時差による+9時間を加算したものが日本標準時になる。

UTC (NICT) は、通信衛星を用いた衛星双方向時刻比較[3]やGPSによる国際時刻比較リンク[4]で、他の標準機関との時刻比較が行われ、その結果は国際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures、以下、BIPM)に報告される。BIPMからは、UTCとUTC (NICT)との時刻差が毎月1回Circular Tによりレポートされる。UTC (NICT)はUTCとの同期を目的とした時系であることから、Circular Tの結果を元に、自動周波数調整とは別に、手動により数ヶ月に1回程度の頻度で、UTC同期目的の周波数調整が適宜実施される。

原振の原子時計、計測システム、AOGがシス

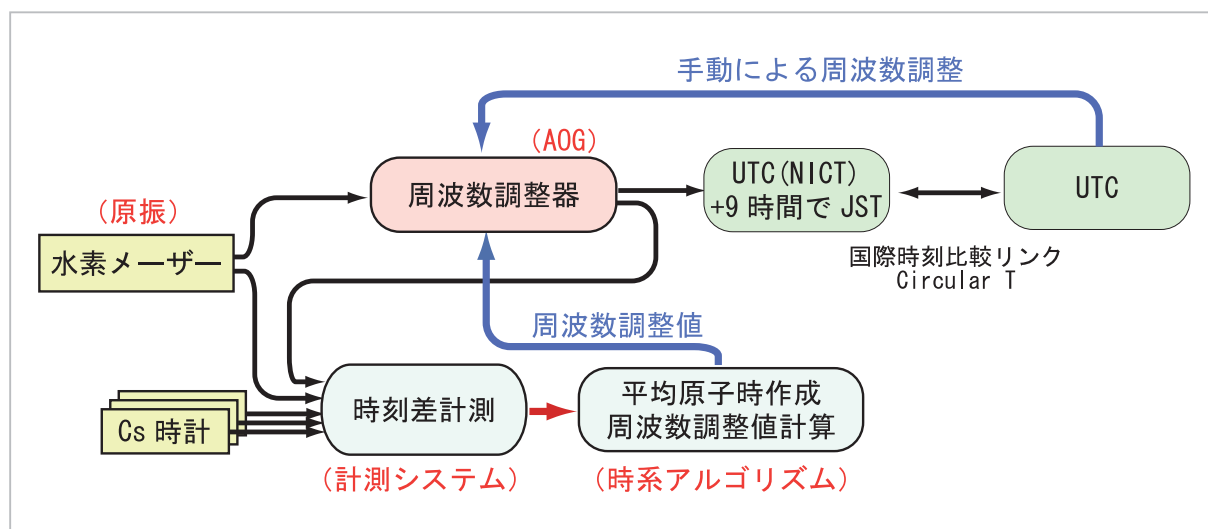


図1 日本標準時システム基本構成図

テムのコア部分であり、新システムではこれらを3系統分構築、各系で独立した時系を出力し、選択された1系統からの出力がUTC (NICT)として使用され、他の2系統は予備系となる。旧システムでは2系統であったが、新システムでは単に予備系が1系統増えただけではなく、異常発生時に3系統間の比較を調べることで、容易に異常発生系を特定できるようになり、これによる大幅な信頼性の向上が実現されている。

2.2 原器、計測システム

旧システムでは、TA計算に使用していたセシウム原子時計の中から、短期安定度が良いセシウム原子時計を選択し原振として使用していたが、新システムでは新たに原振用として、短期安定度が良い水素メーザーを、3系統の原振3台+予備1台の計4台を採用した。前述のように、日本標準時システムでは、原振を周波数調整して時系を生成しており、この方法では短期の周波数安定度は原振の安定度に大きく依存するため、水素メーザーを原振を使用することで、これまでのセシウム原振と比べ格段のUTC (NICT)の短期周波数安定度向上が実現されている。

原器である、18台のセシウム原子時計と4台の水素メーザーは、電場・磁場がシールドされ、温湿度が精密に制御された4つ原器室に設置、厳密に管理され各原器の安定度向上を可能にしている。

旧システムではユニバーサルタイムインターバルカウンター(以下、カウンター)を使用していた計測システムについて、新システムでは水素メーザーの採用にあわせて新たにマルチチャンネルDMTDシステムを開発し採用した[5]。旧システムでは、各原子時計の1 pps信号をVHFスイッチで切り替えながら信号を選択、各時計の時刻差を順番に1時間に1回のみカウンターにより計測していた。開発したマルチチャンネルDMTDシステムでは、各時計の5 MHz出力を使用し、リファレンスに対する24個の計測信号の時刻差を每秒かつ同時に計測することが可能である。これにより、24個の計測結果の差分を計算することで、每秒かつ非常に高い精度ですべての時計間の時刻差を得ることができる。

図2に、新システム導入前の試験時に計測され

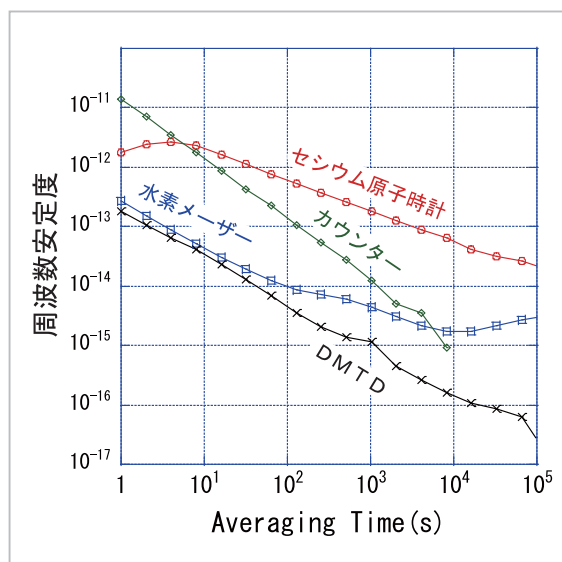


図2 原器及び計測システムの周波数安定度

た、水素メーザー、セシウム原子時計の安定度と、DMTDシステム及びカウンターのシステムノイズのそれぞれの周波数安定度を示す。カウンターを用いた計測で水素メーザーの周波数を計測する場合、数時間の平均化時間が必要になるが、DMTDシステムでは、短期から計測が可能であることが確認できる。このDMTDシステムの採用により、短期の平均化時間から水素メーザーを利用できるだけでなく、毎秒の計測結果から水素メーザーの素早い異常検知が可能になり、また異常発生後の原因の究明も容易になり、信頼性の向上にもつながっている。

DMTDシステムは非常に高い精度での時刻差計測が可能であるものの、5 MHzの位相差を計測していることから、時刻差の絶対値計測が難しい。一方、旧システムで使用していたカウンターとVHFスイッチによるシステムでは、計測精度は高くないものの、1 ppsの計測であることから、絶対値計測が可能である。そこで、新システムでは、各々の特徴を生かすため、DMTDシステム3系統と併せて、カウンター計測システムを1系統使用している。計測データ処理ではカウンターデータで初期値を作成し、以降はDMTDシステムのデータを積分していくことで、両方の特性を生かした、高い精度を持った絶対値の時刻差データが得られる。

2.3 監視システム、電源系

日本標準時システムは決して止めることができない連続運用が要求されるシステムであり、安定した日本標準時の生成のためには、機器等の異常に対する素早い検知・対応が必須となる。このため、日本標準時システムでは各装置、各機器に対する監視システムを運用し、監視・制御を行っている。監視システムにおける重要監視対象には以下のようなものがある。

- 原子時計のステータス監視
- AOG のステータス監視
- 原器室等の温湿度監視
- 3系統の AOG 出力信号の時刻差監視

監視システムでは、各機器のステータス、部屋の温湿度の状況や出力信号を定期的に監視し、設定した閾値を超えた場合異常と判定する。監視の間隔は対象機器の重要度に応じて設定しており、最終段にあたる AOG 出力信号の監視や原振である水素メーザーの異常は、UTC (NICT) へ直接影響する可能性が高いことから、毎秒のデータ取得と監視を行っている。また、AOG の異常も影響が高いことから 10 分ごとに監視しており、それ以外のステータスについては毎時の監視を行っている。これらの重要監視において異常と判断された場合は、緊急メールを自動送信し、運用担当者の携帯電話にメールが通知され、担当者がメール内容や

状況を確認後、緊急対応等の処置を進める。この他、重要監視対象外の機器についても、様々な監視を行っており、メールによる異常通知や、WEB 上でのステータス表示を用いた点検により (図 3 は WEB による監視・制御システムの運用画面例)、異常の早急検知を行い、日本標準時の安定運用を行っている。

電源について、新システムが設置されている NICT 本部 2 号館は、建物の電源系統に UPS や発動機付き発電機が設置されており、商用電源断時の電源供給を補償している。日本標準時システムでも原子時計や AOG 等の発生系に関する機器については、AC 電源の他、緊急時に長時間供給可能な DC 電源バッテリーを独自に用意し、複数の冗長系により電源の信頼性を確保している。その他の計測系や供給系の機器についても UPS 等により電源を多重化しており、標準時生成安定運用の信頼性確保を行っている。

3 時系アルゴリズムの改良

複数台の原子時計から、それらの時刻差データを元に合成時系を作るのが、時系アルゴリズム (以下、アルゴリズム) である。ここでは、第 5 世代システムの導入後の 2008 年度に適応した、UTC (NICT) の長期安定度の向上を目的とする、アルゴリズムの改良について紹介する

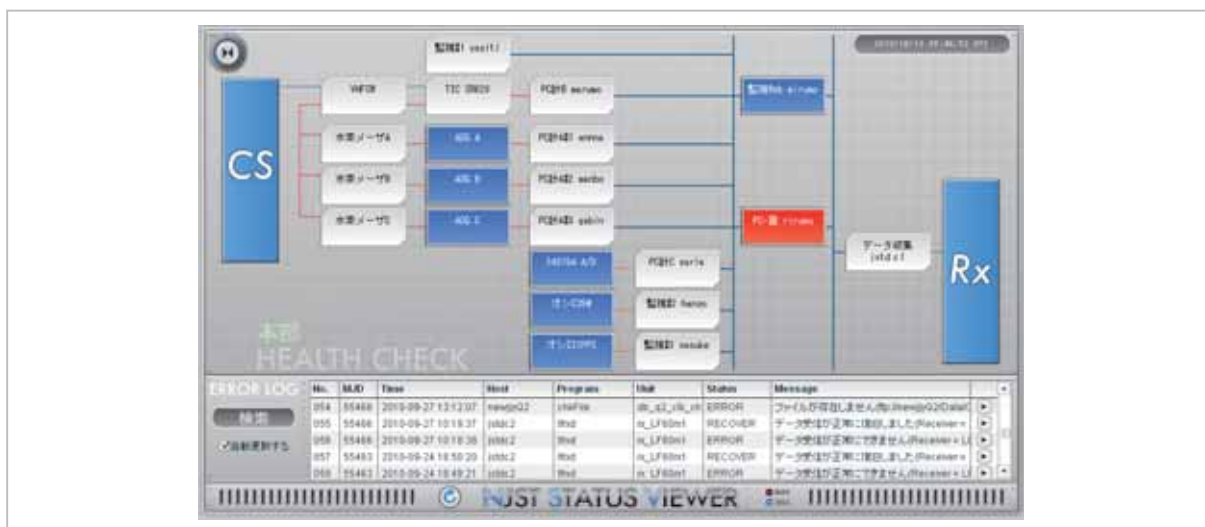


図 3 WEB による監視・制御システム

3.1 日本標準時システムの時系アルゴリズムと改良

日本標準時は18台のセシウム原子時計の重み付き平均によるセシウム合成原子時(TA)を元に生成される[2]。日本標準時システムでこの重みは、各時計の周波数安定度に応じた値を持ち[6]、このとき少数台の時計に重みが偏らないように上限値をもうけている。この方法により、周波数安定度が高い時計ほど重みが高くなり、逆に周波数安定度が悪い時計は自動的に重みが低くなることで、悪い時計のふらつきの影響を受けにくくなる仕組みになっている。ただし、もしそれまで安定であった時計が故障等なんらかの理由により周波数が急激に変化した場合、重みに直結した周波数安定度は急には下がらず、しばらくの間高い重みを持ちつづけ、結果としてTA及びUTC(NICT)の周波数がその時計に引っ張られる現象が発生する。そこで、このような異常時計を取り除くアルゴリズムをシミュレーションで試験・開発し、実システムに適用した。

3.2 急激な周波数変化の例

セシウム原子時計の急激な周波数変化によりTAへ影響した例を図4に示す。2006年6月14日(53900(MJD))から2007年4月10日(54200(MJD))の、CircularTから計算した、UTC(NICT)及びTAに使用しているCS#36(CSはセシウム原子時計の略、#36は使用している各時計を区別するための番号)の、UTCに対する時刻差を表している。UTC(NICT)はUTC同期のため適宜周波数調整を行っているが、その調整とは明らかに異なる位相の急激な変化が54084(MJD)に発生した。その原因を調査したところ、それまで非常に安定であったCS#36の周波数が急激に変化し、それに引っ張られるようにTAの周波数も大きく変化したことが判明した。周波数が変化するまでCS#36の安定度は比較的良く、そのためTA平均における重みも高かったことから、周波数変化後もTAへ少なからず影響を与え、結果としてUTC(NICT)の急激な変化をもたらしていた。

3.3 時系アルゴリズムの改良と適用結果

このような問題を解決するため、急激に周波数

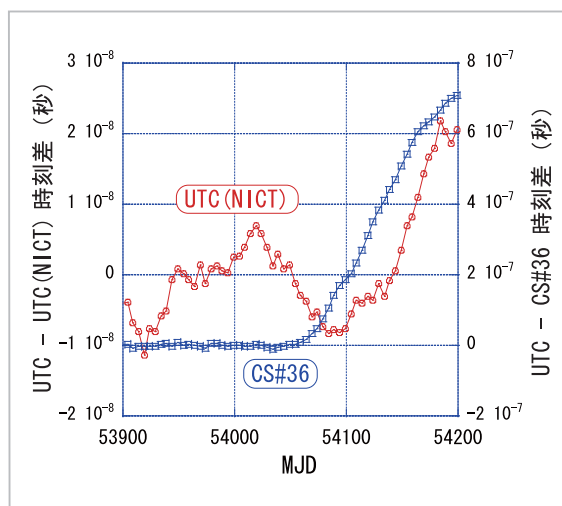


図4 CircularTから計算したUTCと、UTC(NICT) (左縦軸) 及びCS#36 (右縦軸)の時刻差

CS#36のデータは、異常発生前の期間で1次近似し、傾きを取り除いている。

が変化した時計を異常時計と判定し、その時計の重みを0にすることで、TAに対する異常時計からの周波数変化の影響を受けないアルゴリズムを検討した。方法としては、直近のTAに対するそのセシウム原子時計の周波数偏差と、過去の周波数偏差を比較し、その変化量が設定した閾値を超えた場合、その時計の重みを0にする。この時、どの程度過去のデータを比較するか、閾値をどのように設定するかが重要になるが、詳細は文献[7]を参照のこと。

この方法を適用したアルゴリズム改良について、その効果を確認するために実施したシミュレーションの結果を以下に示す。前項で示したCS#36による異常の影響を受けた期間について、今までのアルゴリズムと、周波数偏差が急激に変化した時計を取り除く機能を追加した改良アルゴリズムを比較した結果を図5に示す。図5では、UTCと改良前後のアルゴリズムによって生成されたそれぞれのTAの時刻差、また改良アルゴリズムによるCS#36の重みの時間変化を表している。改良アルゴリズムでは、CS#36で異常が確認できた54084(MJD)の直前からその重みが0になり、今までのアルゴリズムによるTAで見られる周波数の大きな変化が改良アルゴリズムによるTAでは滑らかになっていることが分かる。この結果が

ら計算した、アルゴリズム改良前後の周波数安定度を図6に示す。アルゴリズムの改良により、長期における周波数安定度の向上が明確に確認できる。

この方法を用いた改良アルゴリズムは、2009年1月27日に実システムの運用に適応され、長期安定度の向上及びUTC(NICT)のUTCに対する同期精度の向上が実現されている。

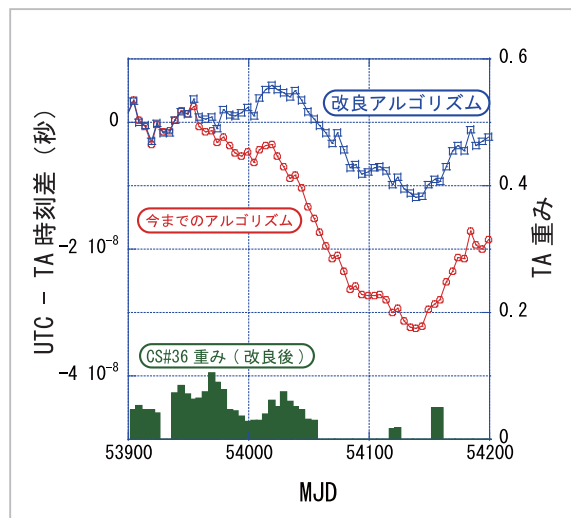


図5 今までのアルゴリズム及び改良アルゴリズムによって生成されたTAとUTCの時刻差(左縦軸)と、改良アルゴリズムによるCS#36の重みの変化(右縦軸)

それぞれの時刻差データは、53904～53949(MJD)の期間で1次fittingによるドリフトを計算、ドリフトを除去している。

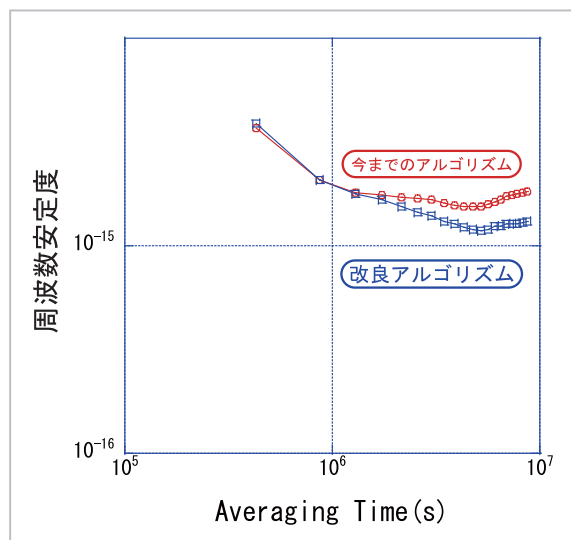


図6 アルゴリズム改良前後のUTC-TAの周波数安定度

4 周波数調整パラメータの最適化

ここでは、第5世代システムの導入後の2010年に実施した、UTC(NICT)の中期安定度向上を目的とする、周波数調整パラメータの最適化について紹介する。

4.1 日本標準時システムにおける周波数調整と最適化

標準時システムでは長期安定度がよいTAを実現すべく、原振の水素メーザーの信号をAOGで周波数調整させTAに沿った時系を作り出しているが、この方法により短期から中期の安定度は原振の水素メーザー、長期安定度はTAとそれぞれの長所を生かした時系が実現される。図7に2007年から2009年にかけての原振水素メーザー、TA、UTC(NICT)の周波数安定度を示す。UTC(NICT)の安定度が、短期は水素メーザーに、長期はTAに近いことがわかる。安定度がそれぞれで少し悪いのは、AOGのシステムノイズと周波数調整によるわずかな悪化が原因である。しかしながら、中期(数時間～10日程度)の安定度については、水素メーザーの安定度よりかなり悪いことがわかる。これは、AOGによる周波数調整パラメータが適切ではないことが原因と考えられ、

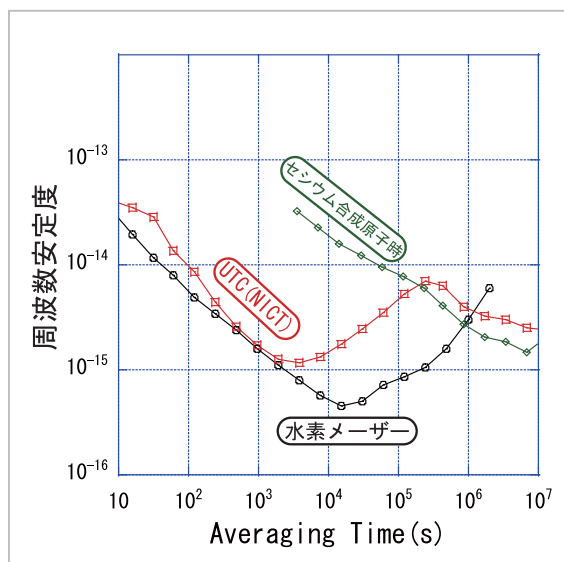


図7 2007/2/1～2010/7/27(長期)、2009/2/1～2009/7/27(～中期)の原振水素メーザー、TA、UTC(NICT)の周波数安定度

結果として水素メーザーの安定度を十分に活用出来ていないと言える。そこで我々は、UTC (NICT) の中期安定度の向上を目的に、周波数調整の各パラメータについて見直し、最適化を行った。

4.2 周波数調整パラメータと調整シミュレーション

原振の信号を周波数調整器により TA に沿った時系を実現するのが周波数調整の目的であり、その出力が UTC (NICT) になる。この際、AOG による周波数調整では以下の3つがパラメータになる。

- (a) TA と原振水素メーザーの周波数差を1次の最小2乗法で計算する際の使用データ期間 (fitting 期間)
- (b) AOG 出力と TA の時刻差を戻すのにかける時間 (調整強度)
- (c) 周波数調整の実施頻度 (調整間隔)

これらのパラメータ値について最適化を行い、UTC (NICT) の周波数安定度の向上を目指す。この際、以下が最適化の条件となる。

- 現用システムの信頼性を維持しつつ、安定度の向上を実現させる
- 本来の周波数調整の目的のため、TA から大きくそれたり、大きく振動しないこと
- 水素メーザーの特性に依らない、オールマイティなパラメータであること

最後の条件は、現システムでは3系統のシステム毎にパラメータを設定できないこと、また、水素メーザーの特性が時間変化しない保証がないことなどから要求される。

これらの条件を踏まえ、運用中のシステムで直接パラメータ最適化試験を行うのは危険であることから、計算機による周波数調整のシミュレーションを行い、3つのパラメータの傾向を調べ、標準時システムに最適なパラメータ値の決定を行った。シミュレーションは、実際の TA、原振メーザーのデータから、AOG による周波数調整をシミュレーションし、出力信号の時刻差・安定度と、実際の UTC (NICT) を比較しながらその効果の確認を行った。以下にシミュレーションによるパラメータの傾向の結果を示す。

- fitting 期間、調整強度は長いほうが、周波数安定度が良くなるが、長すぎると原振によっては長期安定度が悪くなる。また、これらのパラメータが長すぎると異常に対する感受性が高くなり、システムの異常発生時に影響を受ける時間が長くなる。
- 現システムでは、1次近似により原振の周波数を推定しているため、水素メーザーの2次ドリフトによる TA と AOG 出力間のオフセット誤差が発生するが、その大きさは調整強度や fitting 期間にほぼ比例する。このため、これらのパラメータが長すぎるとオフセット誤差も大きくなる。
- 調整間隔は短い方が安定度は良くなるが、調整強度より十分に短ければ、その差は小さくなる。

以上のシミュレーションによるパラメータの傾向の結果から、標準時システムと原振水素メーザーの特性ふまえ、周波数調整パラメータを表1のように変更することを決定した。

表1 周波数調整パラメータ最適化前後の各パラメータ値

パラメータ	fitting 期間	調整強度	調整間隔
旧パラメータ	120 時間 (5 日)	48 時間 (2 日)	24 時間
新パラメータ	240 時間 (10 日)	240 時間 (10 日)	8 時間

4.3 パラメータ最適化の実システムへの適応結果

シミュレーションの結果を元に、各パラメータの変更を2010年5月11日に実施した。図8に周波数調整パラメータ最適化実施前後10日間における周波数調整値を示す。fitting 期間及び調整強度を長くしたことにより、調整値の変化が小さくまたスムーズになっていることが分かる。次に、図9にパラメータ最適化前後におけるUTC (NICT) 及び、TA、原振水素メーザーの周波数安

定度を示す。パラメータの最適化により、1000秒～数日の範囲において、UTC (NICT) の安定度が向上したことが確認できる。最適化後のUTC (NICT) と原振水素メーザーのそれぞれの周波数安定度を比較すると、UTC (NICT) はまだ原振水素メーザーよりやや悪いことも分かる。これは、今回の最適化の目的の1つである、「原振の特性によらないパラメータ」によるもので、他の水素メーザーを原振とするためのマージンであると言えるが、個々の水素メーザーの特性を100%生かせる周波数調整の方法を検討するのが今後の課題の1つであるといえる。

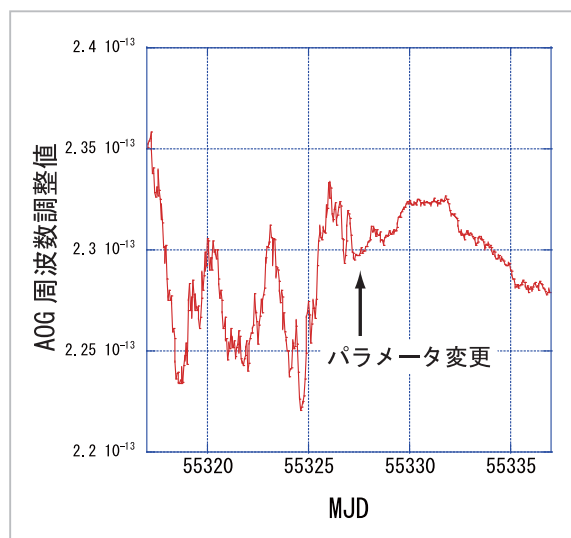


図8 パラメータ最適化前後の現用系周波数調整値の時系列データ

5 今後のUTC (NICT)

第5世代システムの導入や、その後のアルゴリズムの改良、周波数調整パラメータの最適化による日本標準時システムの高度化について紹介してきたが、現在もさらなる日本標準時の高度化を目指して研究・開発を進めており、ここではそれらについていくつか紹介していく。

(1) 水素メーザー合成原子時

新システムの導入にあわせて、新たに4台の水素メーザーを採用したが、これらの水素メーザーはUTC (NICT) の短期安定度向上を目的に、原振としてのみ使用しており、それぞれの水素メーザー間の時刻差情報は利用されていない。そこで、複数台による水素メーザー合成原子時の生成を考える。使用している水素メーザーの周波数安定度を調べると、数時間の平均化時間までは周波数ホワイトノイズであることから、この領域での重み付き平均による合成時系で安定度の向上が期待される。現在水素メーザー合成原子時の実現に向け、実際の計測結果を使用した時系作成を進めている。図10に計算機内で作成した水素メーザー合成原子時と、合成原子時に使用した水素メーザーの周波数安定度を示す。ここでは、3台の水素メーザーを用い、それぞれの周波数安定度に応じた重み付き平均で合成原子時を作成している。元の3台と比べ 10^5 秒より短い平均化時間で安定度がよいことが分かる。今後は、この合成原子時を周波数調整器により実際の時系として生成する方法を検討、実現に向けて進めていく予定で

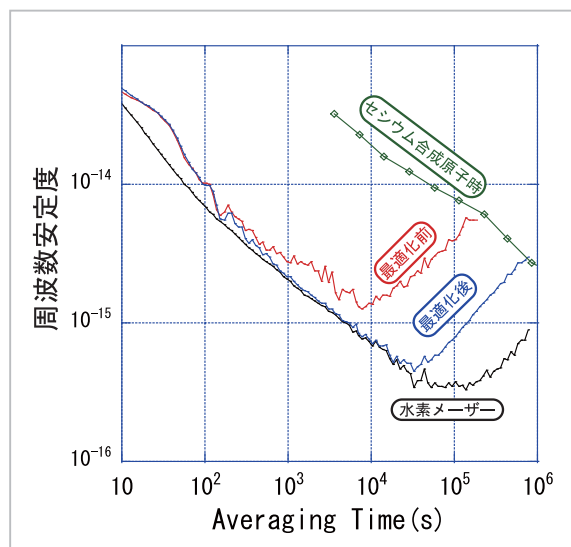


図9 原振水素メーザー、TA 及び周波数調整パラメータ最適化前後のUTC (NICT) の周波数安定度

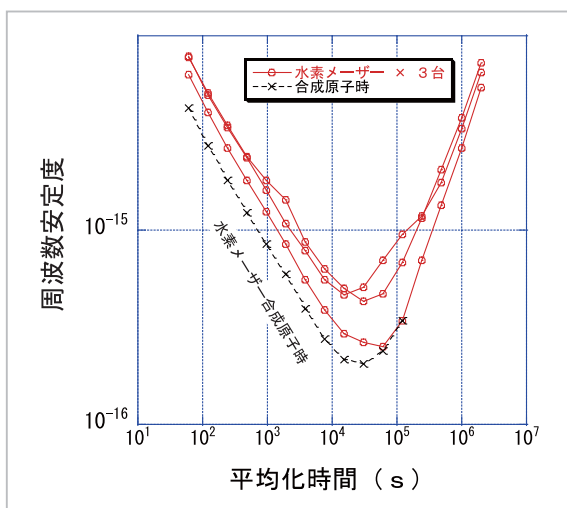


図 10 水素メーザー合成原子時(ペーパークロック)と、それに使用した3台の水素メーザーの周波数安定度

あり、UTC (NICT) への適応が可能になると、さらなる短期安定度の向上が期待できる。

(2) 水素メーザーの長期安定度活用

現在の日本標準時システムでは、水素メーザーは原振としてのみ使用しており、UTC (NICT) の長期安定度はセシウム原子時計による TA を反映しているが、これは、水素メーザーの長期安定度が TA よりも悪いためである。もし水素メーザーの長期安定度が十分に良ければ、現段階ではセシウムだけで作成される TA に、水素メーザーの情報を付加でき、TA 及び UTC (NICT) の長期安定度向上が期待できる。水素メーザーの長期安定度は主に周波数の1次ドリフト、すなわち位相の2次ドリフトによる影響が大きく、これらの2次ドリフトをうまく推定かつ除去できれば、様々な時系への適応が可能になる。しかし、これまでも2次ドリフトの推定による UTC (NICT) の安定度向上への適応を検討してきたものの、2次ドリフト推定ではその誤差が時間の2乗で大きくなることや、その特性の時間変化、個々の水素メーザーの特性の違い等により、実際の時系への適応はまだ実現できておらず、これらの解決が時系高度化のための今後の課題になっている。

(3) 一次周波数標準器とのリンク

NICT は一次周波数標準器を運用している世界

でも数少ない標準機関の1つであり、秒の定義に基づいた1秒の長さを実現する事が可能である。現在、NICT が運用している原子泉型一次周波数標準器 NICT-CsF1[8]は、UTC (NICT) を仲介とし BIPM へ UTC の秒の定義に対するずれの量を提供しており、UTC の時系生成に大きく寄与している。その結果は BIPM から発行される Circular T に掲載されている。しかし現在のところ、NICT-CsF1 の値は UTC (NICT) を仲介しているのにも関わらず、UTC (NICT) の周波数調整に直接利用していない。一次標周波数標準器の情報が直接 UTC (NICT) に使用できれば、UTC (NICT) の周波数の校正が可能になり、長期安定度の向上が期待できる。しかし、UTC 自身の値は世界から報告される一次周波数標準器による1秒の定義値からわずかにずれており、一次周波数標準器の結果をそのまま UTC (NICT) に反映させると UTC の値からずれてしまう問題がある。UTC との同期性を保ちつつ、一次周波数標準器の値を直接反映させた UTC (NICT) を作るには少し工夫が必要になってくると思われる。一次周波数標準器の値を直接利用するには NICT-CsF1 の運用頻度を上げることが必須であると同時に、運用していない時にどのように周波数補正をしていくかなどが今後の課題である。

6 まとめ

現在の日本標準時システムの概要、及び高度化のために実施してきた時系アルゴリズムの改良、周波数調整パラメータの最適化について、また、今後の標準時システム高度化の課題について紹介してきた。日本標準時は高い信頼性と高い精度の両立が必要不可欠であり、それを作り出す標準時システムについても高い精度と高い信頼性が要求される。新システム移行後、多数の関係者による不断の努力により、大きなトラブルもなく、高精度時系の安定した生成・供給が実現できており、今後もその信頼性と高精度を維持しつつ安定供給に努めていく。併せて、開発・技術を進めていき、より高い精度、高い信頼性を持ったシステムへの更新を続けていく。

参考文献

- 1 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, 2008.
- 2 Y. Hanado, M. Imae, M. Aida, M. Hosokawa, F. Nakagawa, and Y. Shimizu, "Algorithm of Ensemble Atomic Time," Journal of the NICT, Vol. 50, Nos. 1/2, pp. 155–167, 2003.
- 3 M. Imae, T. Suzuyama, T. Gotoh, Y. Shibuya, F. Nakagawa, Y. Shimizu, and N. Kurihara, "Two Way Satellite Time and Frequency Transfer," Journal of the NICT, Vol. 45, Nos. 1/2, pp. 125–133, 2003.
- 4 T. Gotoh, A. Kaneko, Y. Shibuya, and M. Imae, "GPS Common View," Journal of the NICT, Vol. 50, Nos. 1/2, pp. 113–123, 2003.
- 5 F. Nakagawa, M. Imae, Y. Hanado, and M. Aida, "Development of multi channel dual mixer time difference system to generate UTC (NICT)," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 54, No. 2, pp. 829–832, 2005.
- 6 Y. Hanado and M. Hosokawa, "Improvement of Rate Shift in an Average Atomic Time Scale," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 4, pp. 2294–2299, 2008.
- 7 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.
- 8 M. Kumagai, H. Ito, M. Kajita, and M. Hosokawa, "Evaluation of cesium atomic fountain NICT-CsF1," Metrologia, Vol. 45, pp. 139–148, 2008.



なか がわ ふみ まる
中川史丸

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
博士(理学)
時間・周波数標準



ほな と
花土ゆう子

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)
ミリ秒パルスサータイミング計測、原子時アルゴリズム

い とう ひろ ゆき
伊東宏之

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
博士(理学)
原子周波数標準、光周波数標準



こ たけ のぼる
小竹 昇

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
時間・周波数標準



くま がい ちとひろ
熊谷基弘

新世代ネットワーク研究センター
光・時空標準グループ主任研究員
博士(理学)
原子周波数標準、
光ファイバ周波数伝送



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



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