

UTC(NMIJ)の運用とその堅牢化・高精度化に向けた取り組み



田邊 健彦

たなべ たけひこ
 t.tanabe@aist.go.jp
 産業技術総合研究所
 計量標準総合センター
 物理計測標準研究部門
 時間標準研究グループ
 主任研究員

2011年4月に産総研に入所以来、時間標準の維持・運用・高精度化に関する研究に取り組んでいます。

共同研究者
 安田正美、岩佐章夫、小林拓実、西山明子、川崎瑛生、叶嘉星（産総研）

NMIJ では、水素メーザを周波数源とする時刻系「UTC(NMIJ)」を運用し、これを光格子時計の性能評価や産業界で使用されている周波数標準器の校正に使用しています。UTC(NMIJ)は協定世界時(時刻の標準)との差が約±10 ns 以内に維持されており、これは世界トップレベルの精度です。一方で、近年はシステム全体に渡って老朽化が懸念されていたことから、システムの保守および堅牢化に取り組んできました。協定世界時との同期精度の向上に向けて、深層学習を用いる独自の手法の開発にも取り組んでいます。

はじめに：時間・周波数と時刻

正確な時間や時刻は、私たちの日常生活から基礎科学の研究に至るまで、様々な場面において必要不可欠であり、その重要性は論を待ちません。1967 年以来、国際単位系における時間の基本単位「SI 秒」は、セシウム 133 原子の基底状態における超微細構造準位間の遷移周波数を 9 192 631 770 Hz とすることで定義されています。この定義を実現する「セシウム原子時計」からの信号が時間の標準であり、私たちが認識・共有する時刻の源流です。一方、時刻の標準としては「協定世界時 (Coordinated Universal Time, UTC)」が 1972 年以来その役割を担っています[1]。図 1 は UTC の計算の流れです。国際度量衡局(BIPM)では、NMIJ を含む世界中の約 80 の標準研究機関等で稼働中の約 500 台の原子時計(商用セシウム原子時計、水素メーザー型周波数標準器)のデータの加重平均により「自由原子時(EAL)」を計算します。EAL は多数の原子時計の加重平均なので非常に安定な時刻系ですが、その一秒の間隔(歩度)は SI 秒からはずれています。そこで、この歩度をいくつかの標準研究機関で稼働している一次周波数標準器(原子泉型あるいは原子ビーム型セシウム周波数標準器)で校正することで「国際原子時(TAI)」

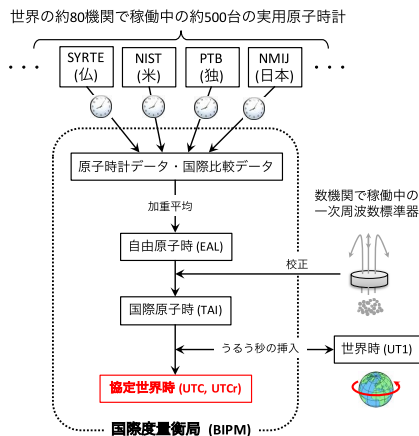


図 1 UTC の計算方法の概略図

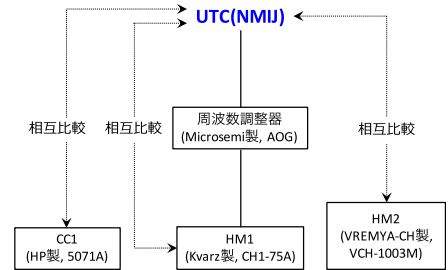


図 2 UTC(NMIJ)の概略図

が計算されます。TAI に対して、地球の自転から定まる時刻系である「世界時(UT1)」との整合のための調整(うるう秒調整)を行なった時刻系が UTC です。

UTC(NMIJ)の運用とその現状

UTC は高い冗長性と安定度を持つ一方、多数の原子時計のデータの加重平均から計算されることから分かるように、UTC を刻む物理的な原子時計は存在せず、リアルタイムに知ることはできません。さらに、UTC の計算は毎月 10 日頃に前月の 5 日毎の 0:00 UTC についてだけ行われ、その結果は後に述べる Circular T[2]と呼ばれる文書により約一ヶ月後にしか分かりません。これでは実用上不便なので、各標準研究機関では、UTC と同期させた「UTC(k)(kは機関名の略称)」という実信号を生成・運用しています。NMIJ では、水素メーザー型周波数標準器 (Hydrogen Maser, 以下 HM)を原振(周波数源)とした時刻系「UTC(NMIJ)」を生成・運用し、これを次世代時間標準の候補である光格子時計の性能評価[3]や、周波数遠隔校正システムを介して産業界で使用されている周波数標準器の校正[4]に使用しています。また、UTC(NMIJ)は長さや電気など、他の物理量の測定における参照信号としても利用されています。

図 2 は UTC(NMIJ)のシステムの概略図です。NMIJ では 2 台の HM(HM1, HM2)、1 台の商用セシウム原子時計(CC1)を連続運転しています。このうち、最も周波数安定度の良い HM1(Kvarz 製, CH1-75A)の信号を周波数調整器(Microsemi 製