

日本標準時と周波数校正、 その他の話題

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)
時空標準研究室/
電磁環境研究室 標準校正グループ
関戸 衛

講演内容

- NICTの校正サービス
- 日本標準時とトレーサビリティ
- NICTの周波数・時刻分野の研究開発
- その他の話題
 - GNSSの信号受信と計量トレーサビリティ
 - 校正DXについて

NICTの校正サービスメニュー

無線用測定器等の較正（電波法）

- 周波数計
- スペクトル分析器
- 電界強度測定器
- 高周波電力計
- 電圧電流計
- 標準信号発生器
- 周波数標準器

計量法に基づく校正

- 周波数標準器
- 標準電圧電流発生器
- 高周波電力計
- 高周波減衰器
- ループアンテナ

JCSS

JCSS

ASNITEに基づく校正（ILAC-MRA, IA-Japan）

- 周波数標準器

委託較正（上記法制度以外の較正）

- 周波数標準器、周波数計、高周波電力計、高周波減衰器、標準電圧電流発生器、電圧電流計、アンテナ、比吸収率測定装置

国立研究開発法人 情報通信研究機構
校正サービス cal.nict.go.jp



HOME → 無線用測定器等の較正

無線用測定器等の較正

国立研究開発法人情報通信研究機構では、電波法に基づく「登録検査等事業者用測定器の較正」等を行っています。平成15年4月1日より、周波数標準器の校正に「計量法に基づく校正(jcss)」及び「製品評価技術基盤機構の認定制度に基づく校正(ASNITE)」が追加となり、また平成18年3月1日より、高周波電力計等の校正に「計量法に基づく校正(JCSS)」が追加となっています。



登録検査等事業者用測定器等の較正

無線設備の機器の点検に用いる登録検査等事業者の測定器などは、年1回国立研究開発法人情報通信研究機構又は指定校正機関で較正を受けることになっています。



計量法に基づく周波数標準器の校正(jcss)

計量法(平成4年法律第51号)第135条に基づき、特定標準器を用いて主に認定事業者向けに周波数標準器の校正を行います。



計量法に基づく高周波電力計等の校正(JCSS)

計量法(平成4年法律第51号)第144条に基づき、高周波電力計等の校正を行います。認定国際基準(MRA)に対応しております。



製品評価技術基盤機構の認定制度(ASNITE)に基づく校正

独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)の認定制度(ASNITE)に基づき、周波数標準器の校正を行います。認定国際基準(MRA)に対応しております。

*ASNITE認定制度とは、ISO/IEC17025に基づき校正のうち計量法の範囲外の部分をNITEが独自に認定するものです。



委託較正

国立研究開発法人情報通信研究機構に基づき、他の法及び制度以外の無線設備（高周波利用設備を含む）の検査等に用いる測定器その他の設備の較正を行います。指定校正機関が用いる測定器その他の設備の較正は、原則、こちらで受け付けます。

校正システム

「お客様満足度アンケート」
に関して（周波数標準器のみ）

公平性と機密保持について
高周波電力計等

公平性と機密保持について
周波数標準器

時間・周波数の定義の変遷～周波数標準

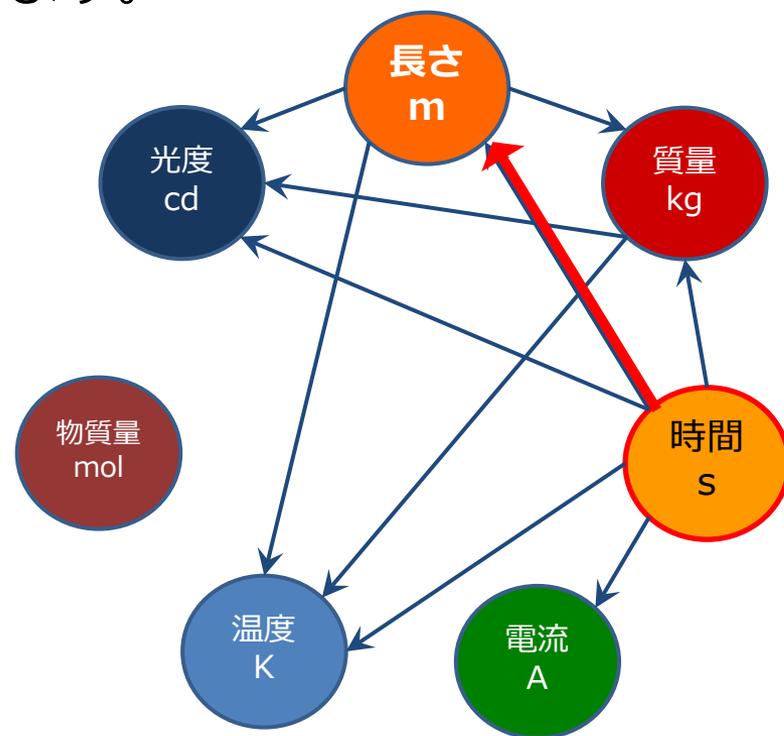
- 1935年国際天文学連合の総会において「秒は平均太陽日の86400分の1」と決議 **(自転周期)**
- 1960年第11回国際度量衡総会 (CGPM) 「秒は1900年1月0日12時に対する太陽年の $1/31556925.947$ 倍である」と決議 **(地球公転周期)**
- 1967年第13回国際度量衡総会 (CGPS) 「秒はセシウム133原子の基底状態の2つの超微細構造準位間の遷移に対する放射の9192631770倍の継続時間」
(原子の遷移周波数)

時間・周波数

- 時間間隔・周波数：もっとも正確に測定される量の一つ。
- Cs原子時計の放射する電磁波の周期を9,192,631,770回数える時間をSI単位系の「1秒」と定義されています。



世界的に広く使用されている
商用Cs原子時計
Agilent 5071A, Microsemi 5071A

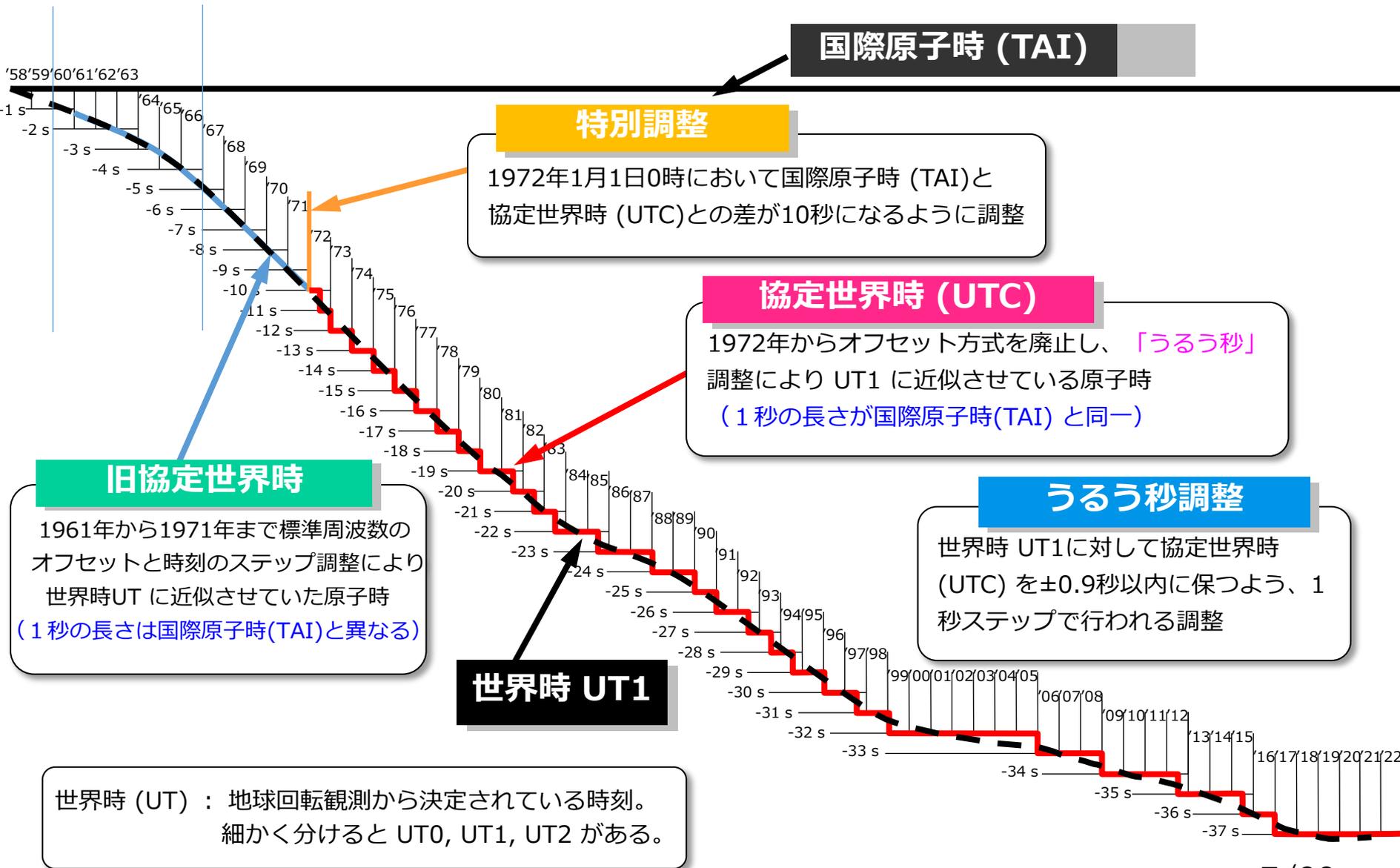


SI国際単位の依存関係(2019~)

時系について

- UT (世界時) : 恒星時から作られる時系
 - UT0:観測地そのままの時系 (極運動を考慮していないため観測地点により異なる)
 - **UT1 : 極運動を考慮した地球上共通の地球の自転角を表す時系**
 - UT2:UT 1 の季節変化を計算して取り除いた時系。1972年のUTC導入以前の日常生活の基準であった。
- TT(Terrestrial Time):ジオイド (*) 上で定義された時系。
TT=TAI+32.184秒
 - (*) ジオイド : 平均海水面の高さで定義される地球の重力場の等ポテンシャル面
- T A I (国際原子時Temps Atomique International) : 世界各国の原子時計の加重平均から計算される座標時TTの実現値。
- **UTC (協定世界時Coordinated Universal Time):TAIを基に作られUT1と0.9秒を超えないように調整された時系**

国際原子時と「うるう秒」



国際原子時 (TAI)

特別調整

1972年1月1日0時において国際原子時 (TAI)と協定世界時 (UTC)との差が10秒になるように調整

協定世界時 (UTC)

1972年からオフセット方式を廃止し、「うるう秒」調整により UT1 に近似させている原子時 (1秒の長さが国際原子時(TAI) と同一)

旧協定世界時

1961年から1971年まで標準周波数のオフセットと時刻のステップ調整により世界時UT に近似させていた原子時 (1秒の長さは国際原子時(TAI)と異なる)

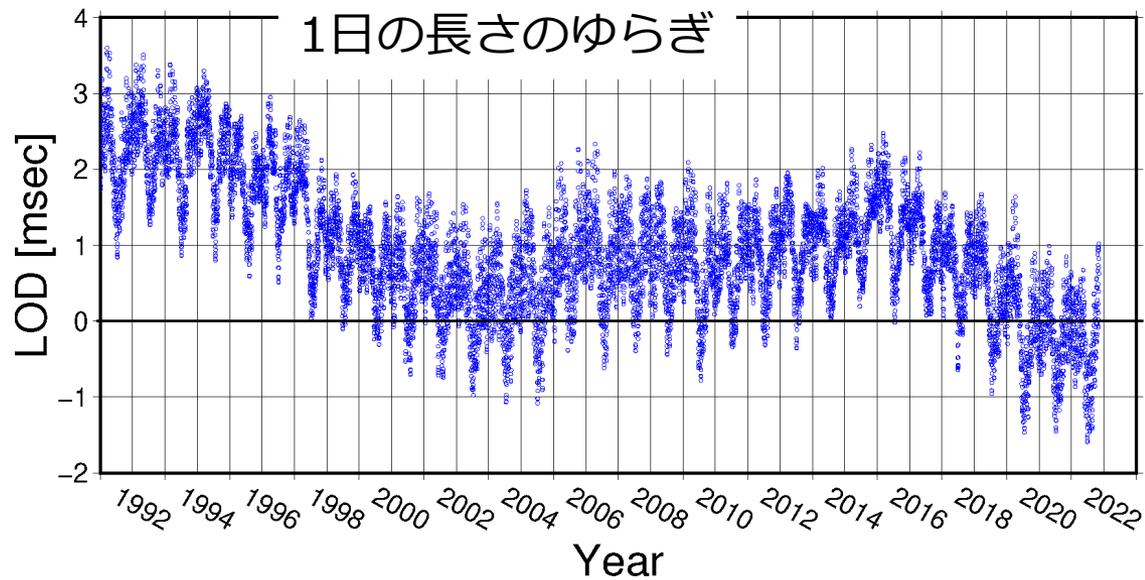
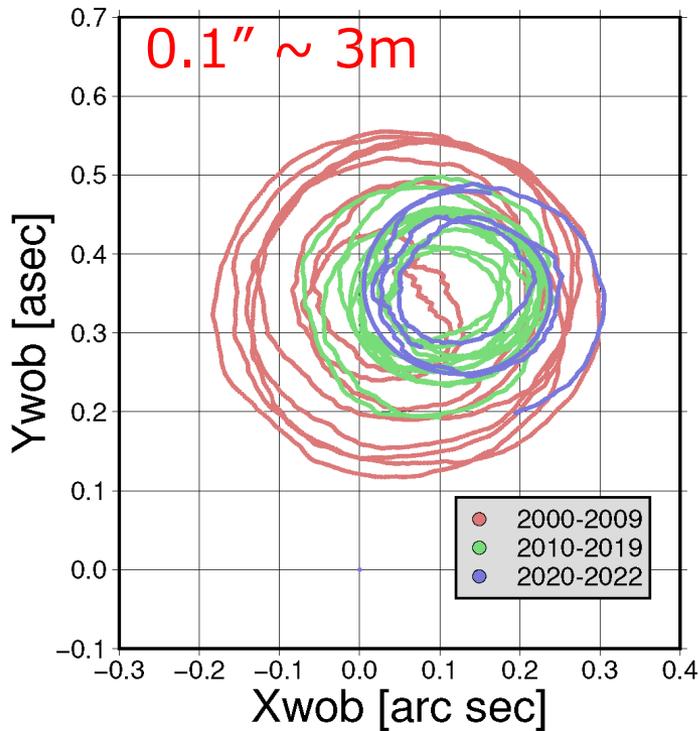
うるう秒調整

世界時 UT1に対して協定世界時 (UTC) を±0.9秒以内に保つよう、1秒ステップで行われる調整

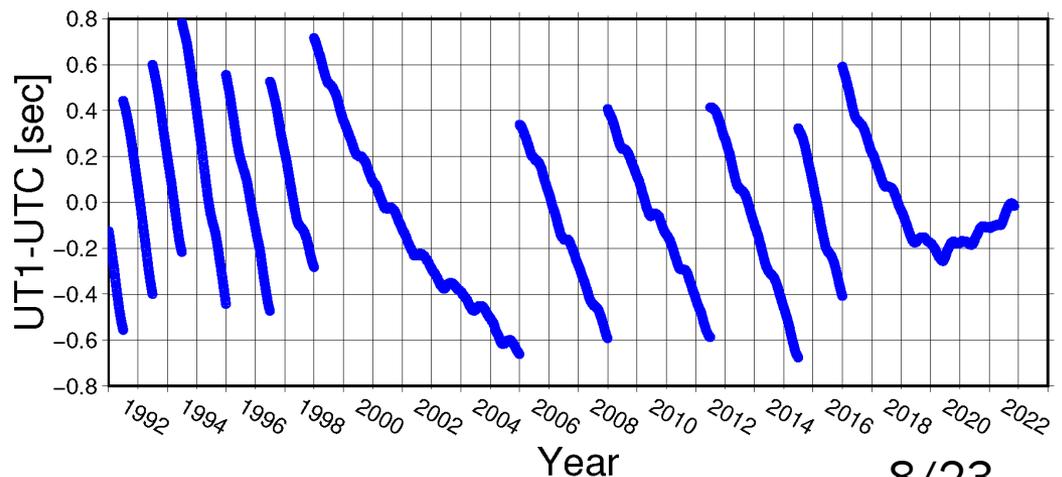
世界時 UT1

世界時 (UT) : 地球回転観測から決定されている時刻。細かく分けると UT0, UT1, UT2 がある。

地球の自転のふらつきの大きさ



地球の自転で決まる時刻UT1とUTCの差

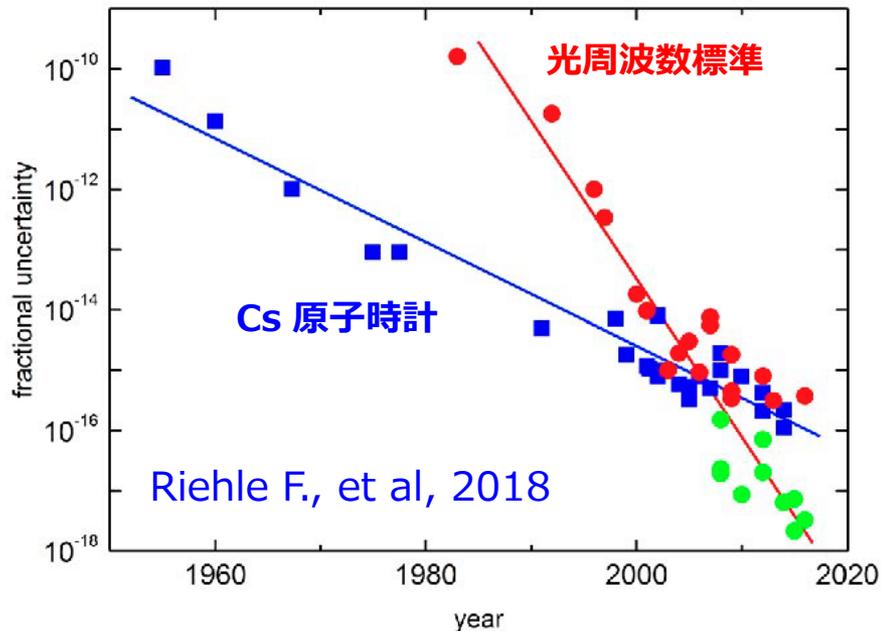


地球の自転軸の運動や自転速度変動はGNSS、SLR、VLBIなどの宇宙測地技術により測定されている。

GNSS: Global Navigation Satellite System
SLR: Satellite Laser Ranging
VLBI: Very Long Baseline Interferometry

光周波数標準技術の急速な進展.

「秒」の2次表現として指定された11種類の原子遷移周波数



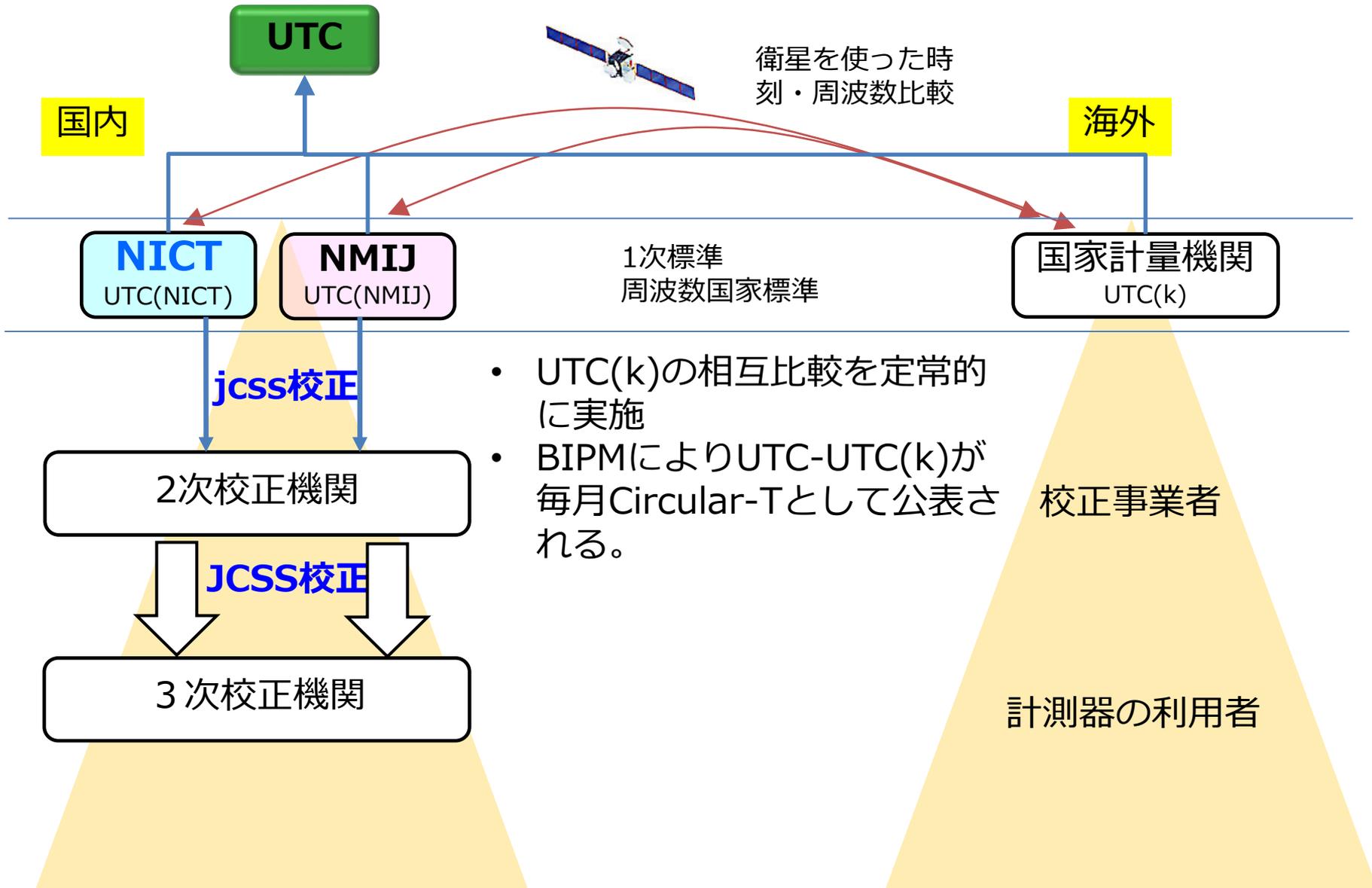
原子	周波数/波長
^{199}Hg	1129 THz/ 265 nm
$^{27}\text{Al}^+$	1121 THz/ 267nm
$^{199}\text{Hg}^+$	1065 THz/ 282 nm
$^{171}\text{Yb}^+$	688 THz/ 436 nm
$^{171}\text{Yb}^+$	642 THz/ 467 nm
^{171}Yb	518 THz/ 578 nm
$^{88}\text{Sr}^+$	445 THz/ 674 nm
^{87}Sr	429 THz/ 698 nm
^{88}Sr	429 THz/ 698 nm
$^{40}\text{Ca}^+$	411 THz/ 729 nm
^{87}Rb	6.835 GHz/ 43.9 mm

- 光周波数標準の不確かさは 10^{-18} に達しており
- 9種類の原子時計がSI「秒」の2次表現として選定されている。
- 「秒」の再定義に向けて、準備が進められている。

1 THz = 10^{12} Hz、1 GHz = 10^9 Hz

<https://www.bipm.org/en/publications/mises-en-pratique/standard-frequencies>

周波数国家標準と校正



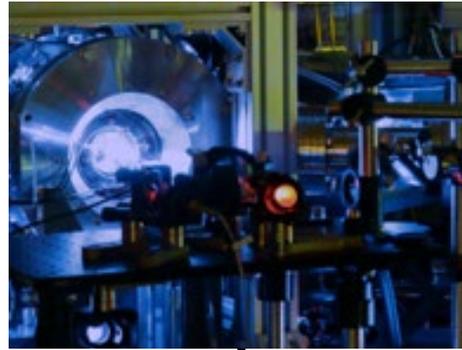
UTC(NICT)を基に日本標準時を生成・供給



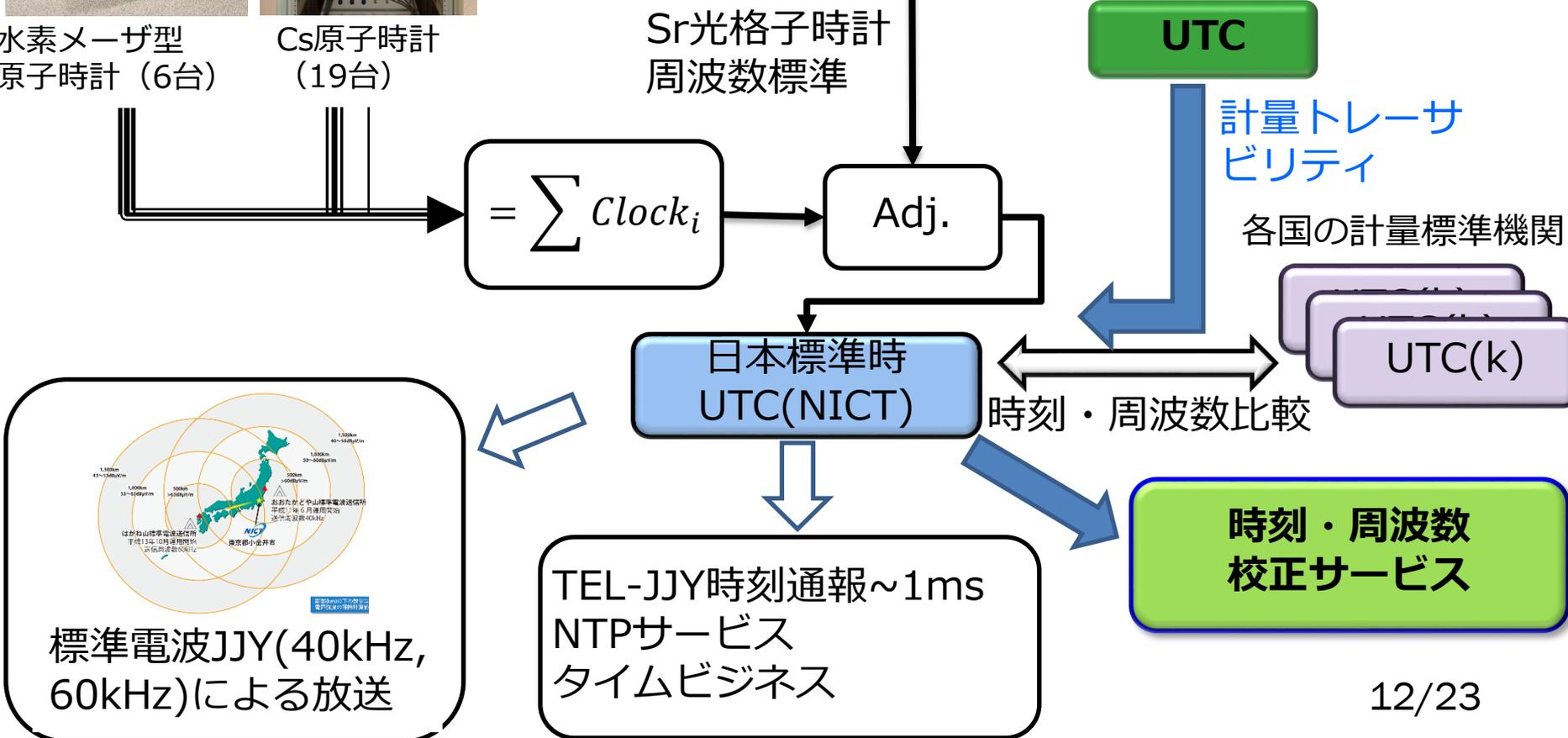
水素メーザ型
原子時計 (6台)



Cs原子時計
(19台)

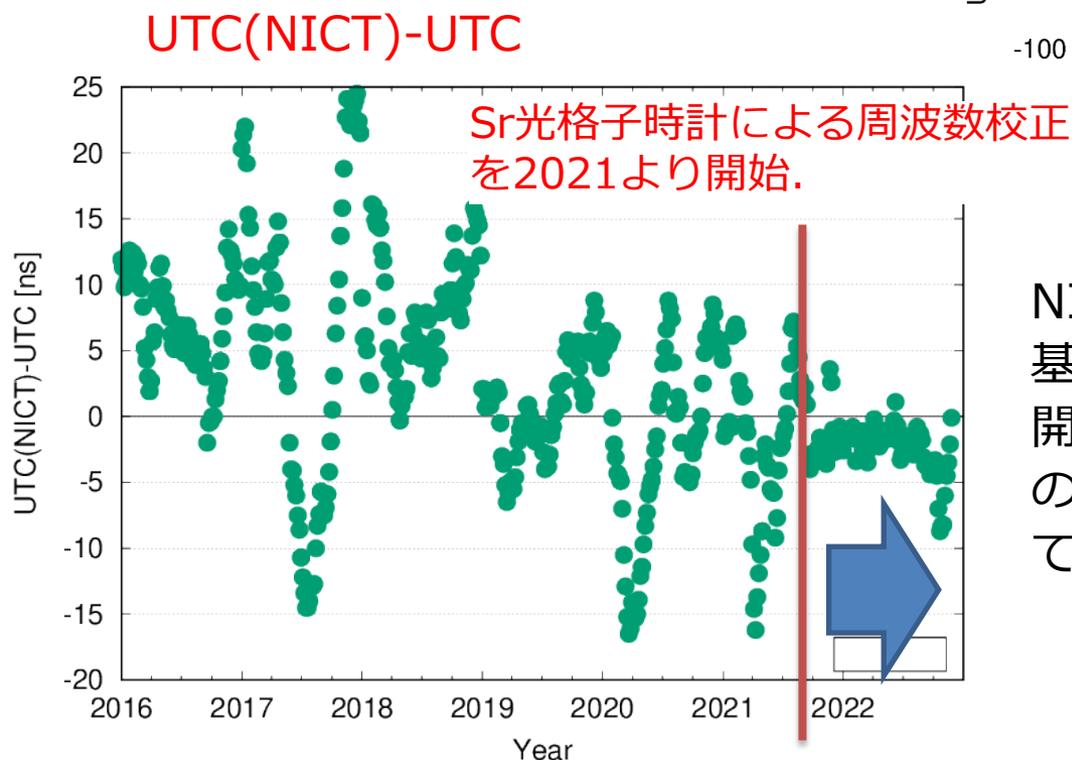
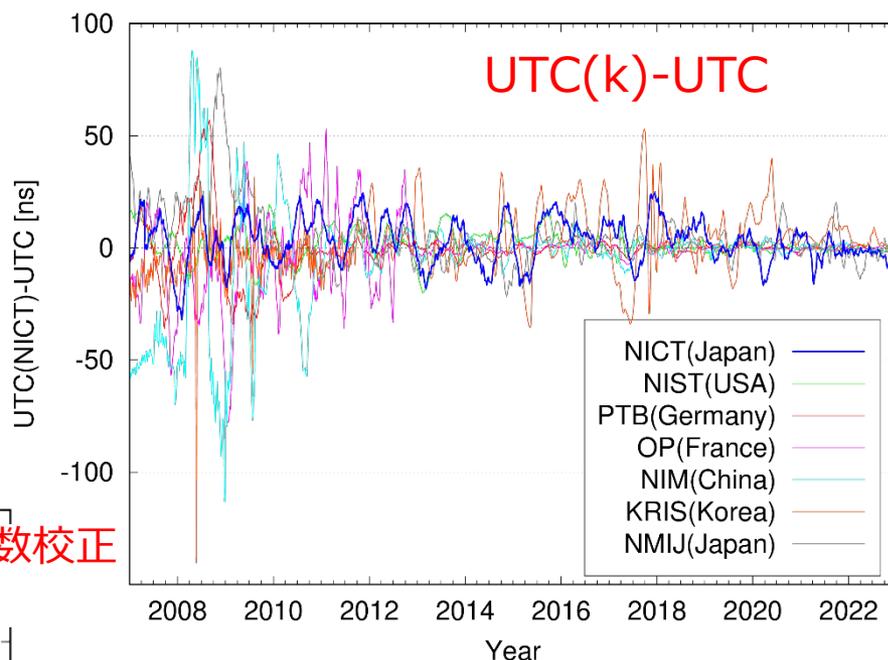


Sr光格子時計
周波数標準



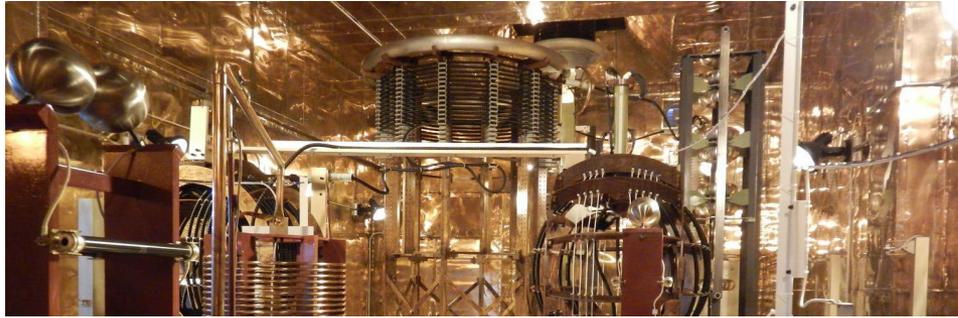
各国の時系UTC(k)と協定世界時UTC

各国の計量標準機関 (k) はそれぞれの原子時計群を運用し、相互比較を行ってデータをBIPM (国際度量衡局) に報告する。これにより各国の時刻と周波数が統一的に維持される。



NICTは2021年よりSr光格子時計を基準にしたUTC(NICT)の調整運用を開始した。これによりUTC (NICT)のUTCに対する差はより小さくなってきている。

標準電波の送信局

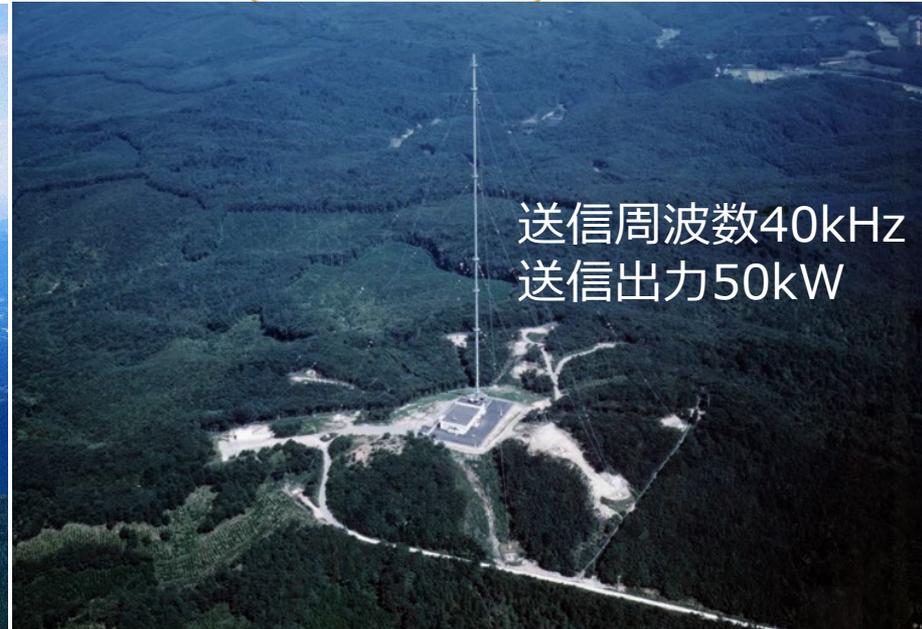


送信所の整合器室



送信周波数60kHz
送信出力50kW

はがね山送信所（佐賀県/福岡県）



送信周波数40kHz
送信出力50kW

おおかたどや山送信所（福島県）

NTPと光テレホンJJY

- NTP:サーバ側では10ns以内、クライアント側では通信環境によって変動する。



- 光電話回線による時刻供給システム（光テレホンJJY）
 - 拡張NTPプロトコルを使用（テレホンJJYと同等の情報）
 - 電話番号による1対1のセキュアな通信が可能
 - 通信速度は最低でも64kbpsの通信が可能
 - 時刻同期の不確かさは1ms以下
(平均200μsec, 95%不確かさ約400μsec)

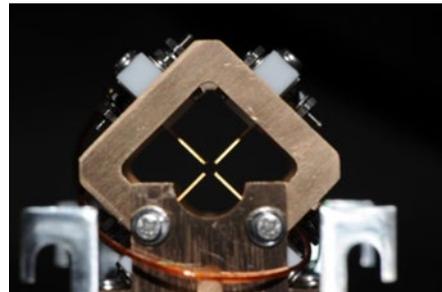
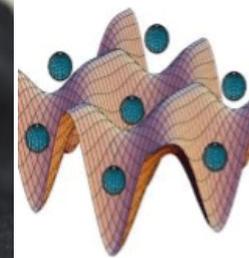
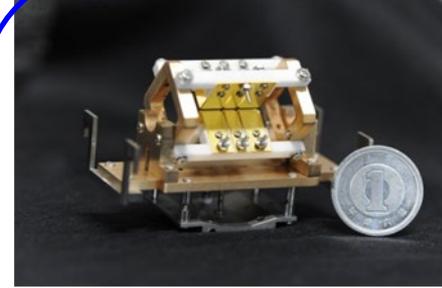


光テレホンJJY
ホストシステム

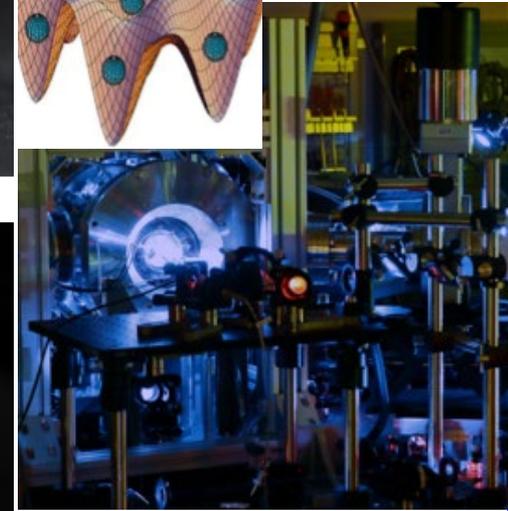
研究開発(時空標準研究室)



時刻周波数比較用 多周波GNSS受信機



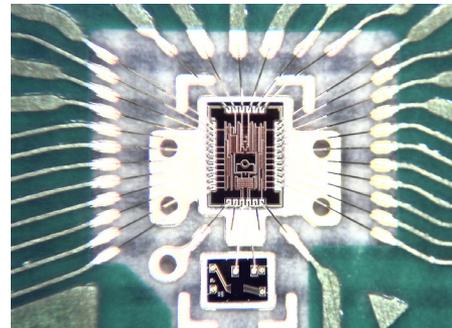
Inイオン光時計



Sr光格子時計

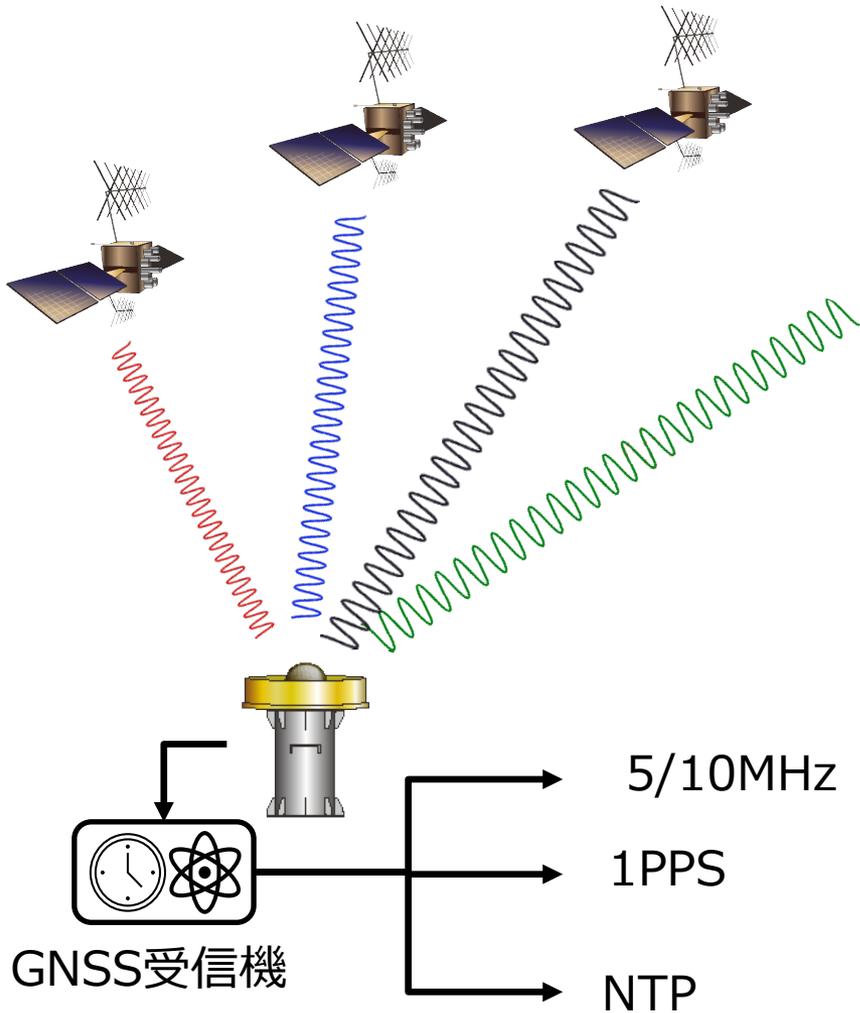


Wi-Wi 無線双方向時刻同期・測距システムの開発



チップスケール原子時計の開発

話題1.GNSSの信号を受信して生成される周波数と時刻はUTCにトレーサブルか？



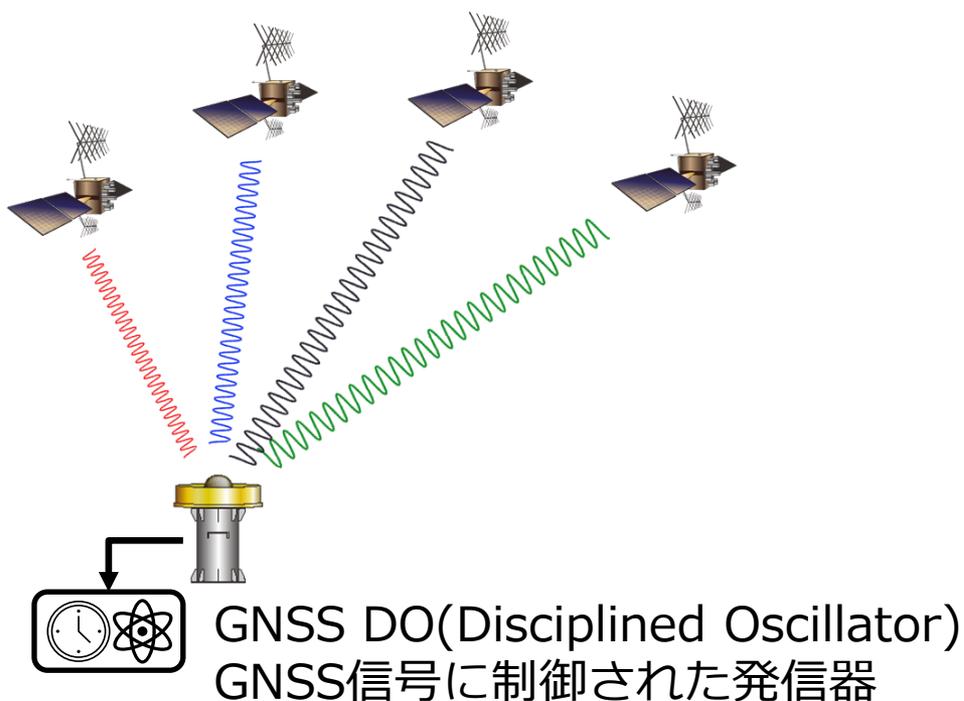
(例)

GNSS信号を受信して5MHz,10MHzの基準信号や1 PPSの時刻情報を出力し、NTPサーバとなる機器

広く使われている時系として、電力、産業、金融、Networkの時刻として利用されている場合がある。

GNSSの観測方法・種類

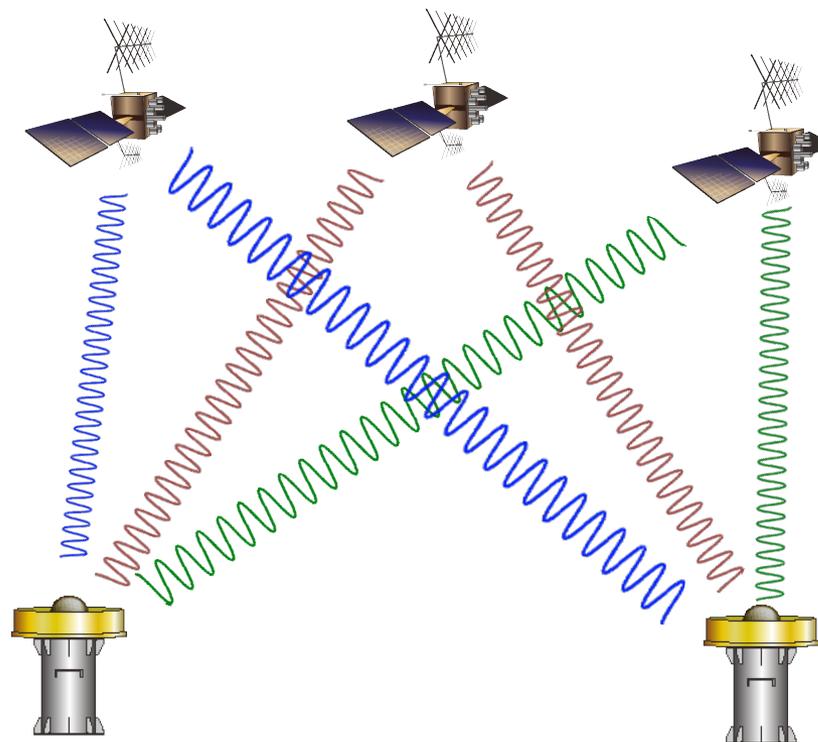
オールインビュー法



単独 測位

- All in View (code delay)
- PPP(Precise Point Positioning: Carrier Phase)

コモン ビュー法



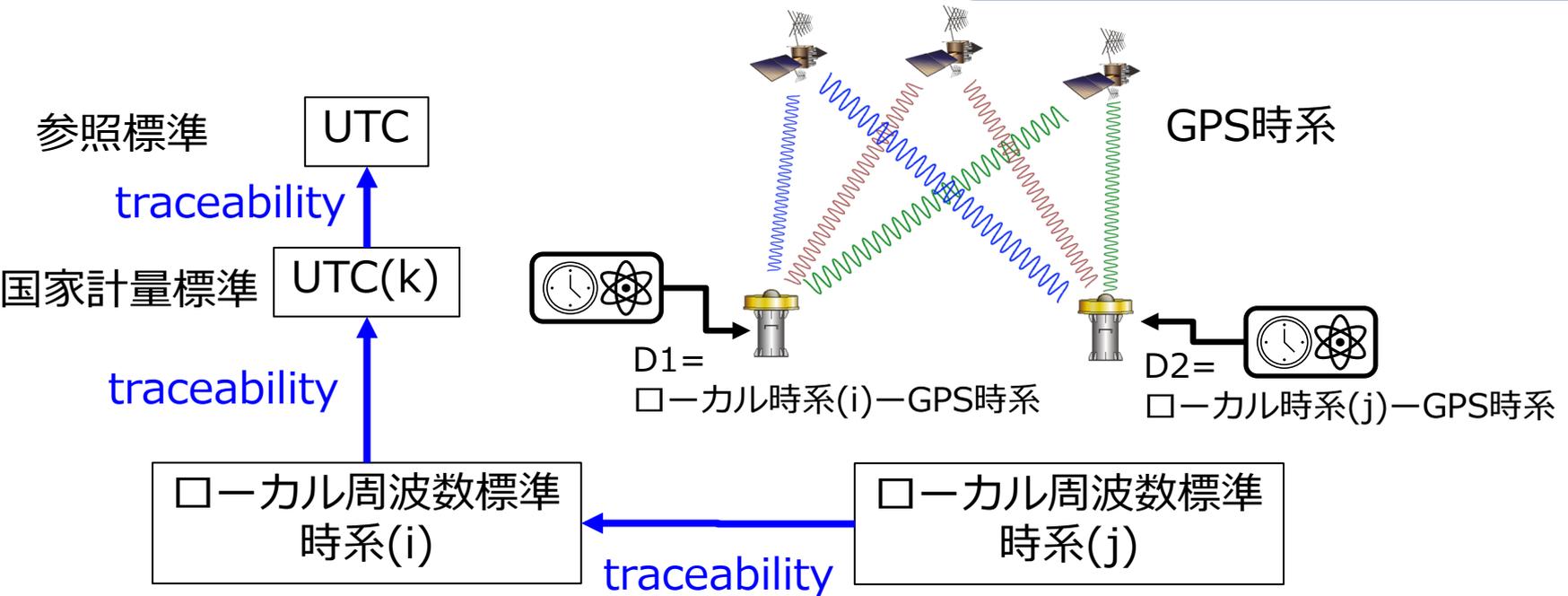
- Common View (code delay)
- PPP(Carrier Phase)

話題1.GNSSの信号を受信して生成される周波数と時刻はUTCにトレーサブルか？

「計量トレーサビリティ」:個々の校正が測定不確かさに寄与する、文書化された切れ目のない校正の連鎖を通して、測定結果を計量参照に関連付けることができる測定結果の性質

$$\begin{aligned} & \square\text{-カル時系}(i)\text{-GPS時系}=D1 \\ -) & \square\text{-カル時系}(j)\text{-GPS時系}=D2 \\ \hline & \square\text{-カル時系}(i)\text{-}\square\text{-カル時系}(j)=D1-D2 \end{aligned}$$

UTC(k) コモン ビュー法の場合

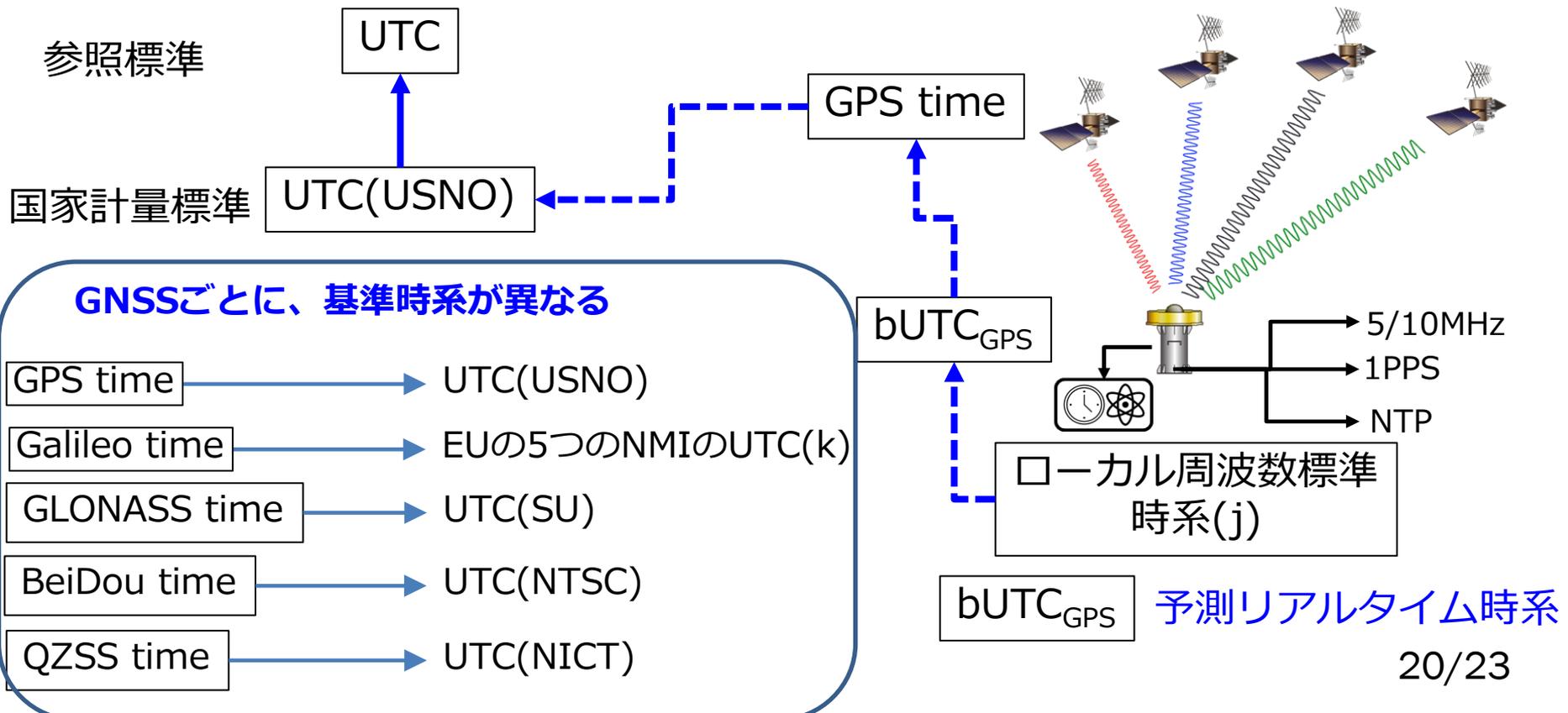


話題1. GNSSの信号を受信して生成される周波数と時刻はUTCにトレーサブルか？

単純にGNSS受信機で受信され、生成された時系・周波数を盲目的に信じるだけではUTCへトレーサブルと言えない。

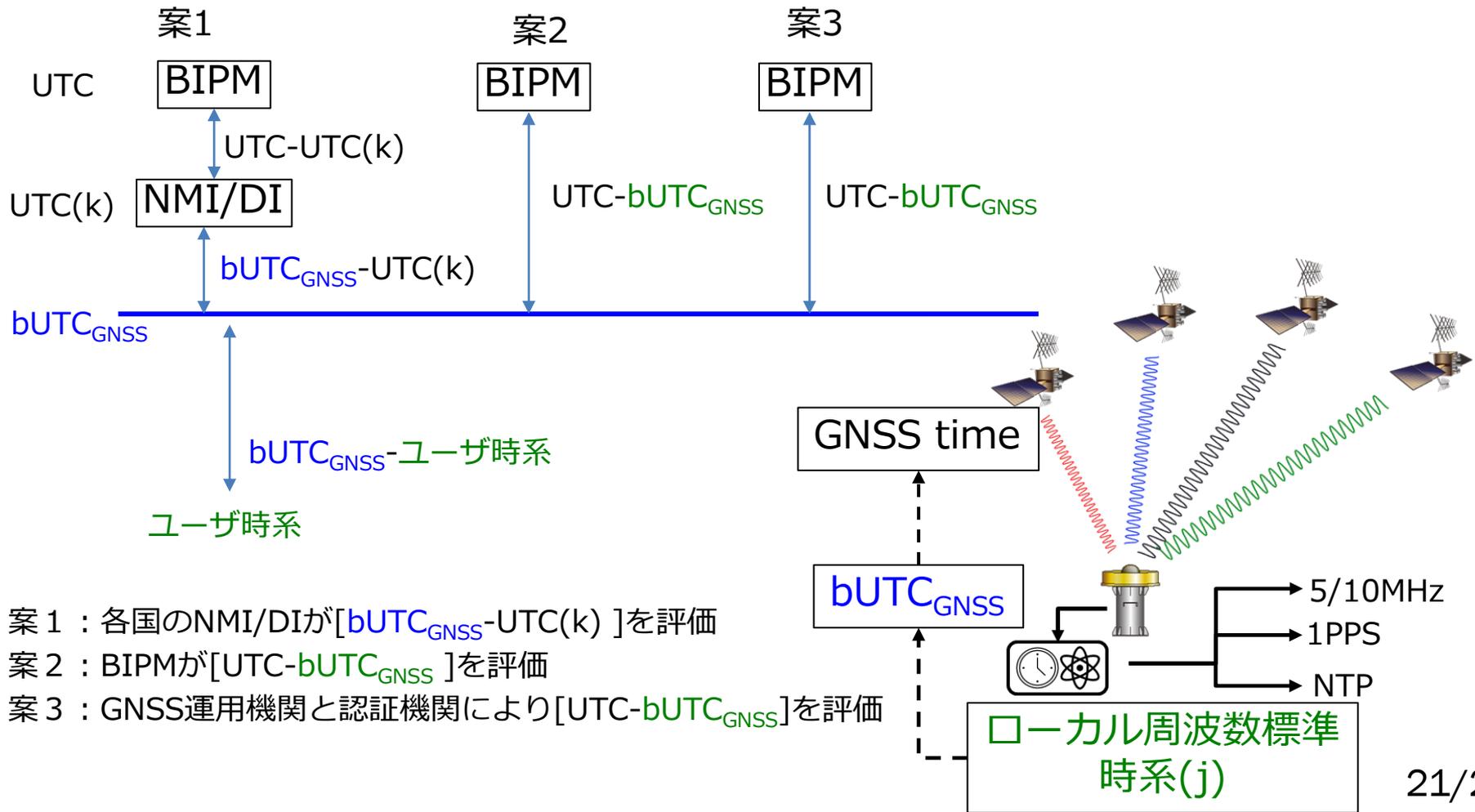
要件：

- 衛星系のUTC_{GNSS}の時系に対する文書化された校正データ
- 受信機のケーブル・内部遅延量の校正（時刻の場合）
- GNSS（GPS, Glonass, Galileo, Beidou, QZSS）の時系はそれぞれ個別のUTC(k)に基づいており、複数GNSS受信の場合、どのUTC(k)にTraceableか明確化する。



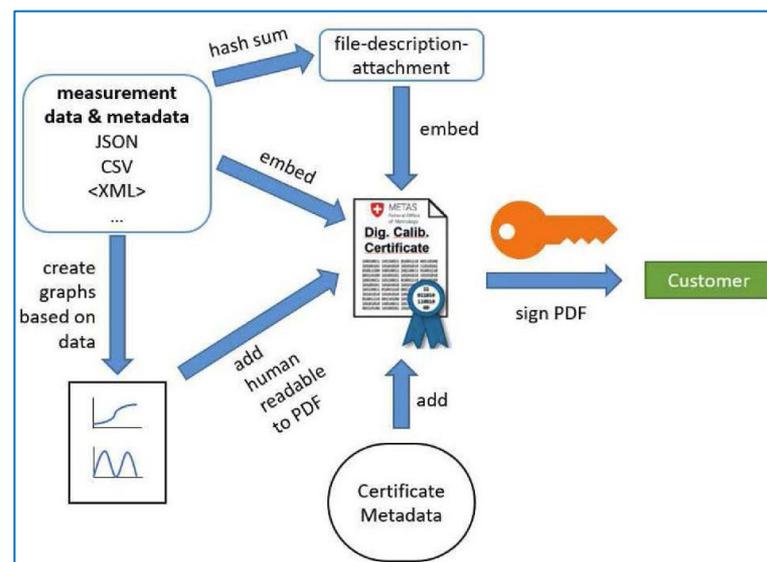
話題1. GNSSの信号を受信して生成される周波数と時刻をUTCにトレーサブルにするには？

国際度量衡委員会CCTF(時間・周波数の諮問委員会)GNSS Time Transfer—WGが検討/提案 (P.Defraingne et al., (2022) "Achieving traceability to UTC through GNSS measurements" Metrologia, <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ac98cb>)



話題2. 校正DXについて

- 校正におけるデジタルトランスフォーメーション
 - 校正証明書・校正データの電子化
 - マシンリーダブル&ヒューマンリーダブル
 - 不確かさの伝搬・処理の自動化
- 提案されている方式
 - XML形式：PTB(ドイツ)
 - PDF/A3形式：METAS (スイス)
 - NMIJ (日本) では一部運用開始されています。
- ユーザ、校正事業者の意見
 - 校正証明書のDX化の需要
 - DX化を希望される計量標準
 - 電子データ添付の要望



<https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100282>

ご清聴ありがとうございました