

産総研における時間周波数標準関連 研究開発概要

産総研 計測標準研究部門時間周波数科
今江 理人

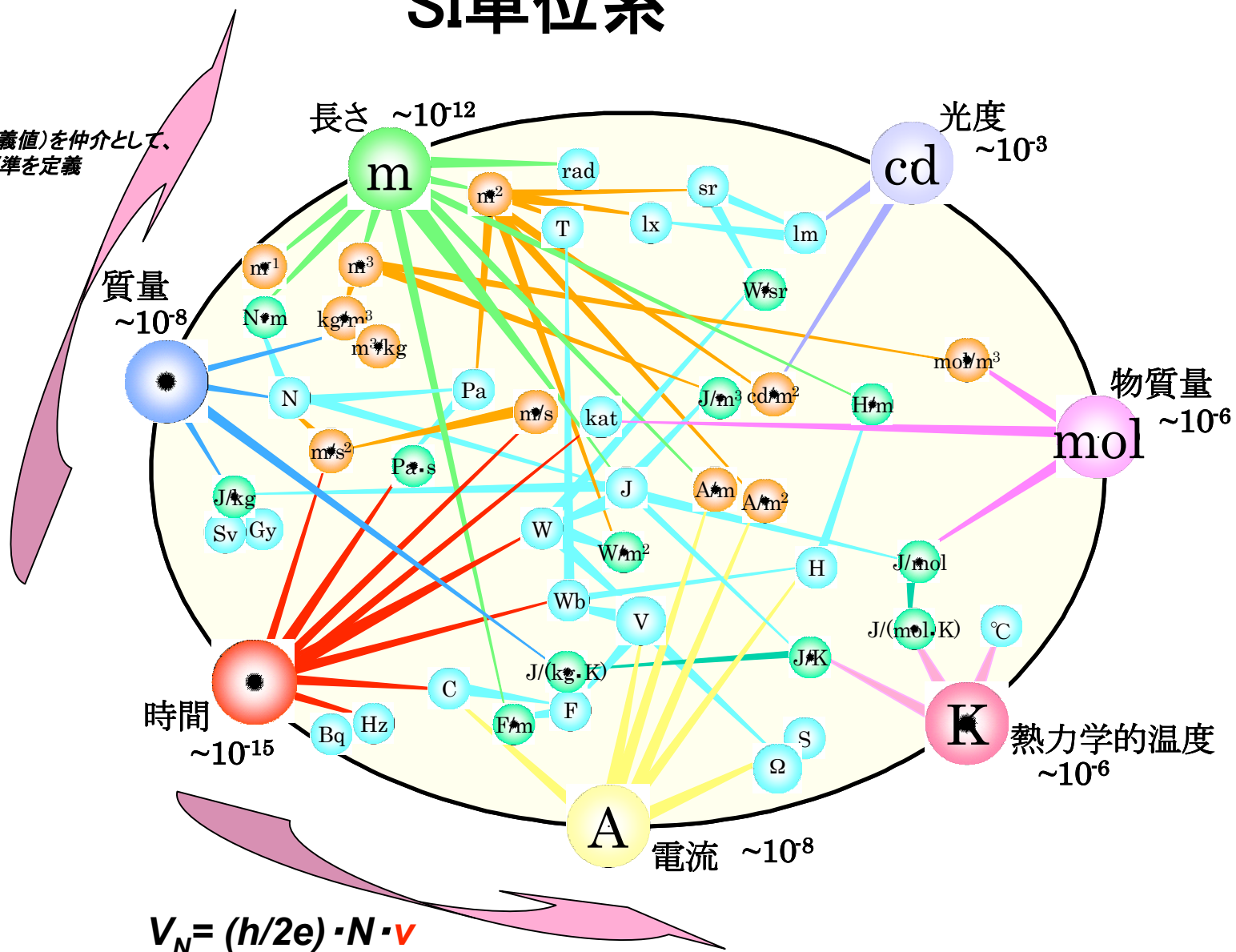
内容

1. 時間周波数標準の(メートル条約を中心とした)国際的な枠組み
2. 産総研の時間周波数標準分野の構成
3. 時間標準研究室関連研究開発
4. 波長標準研究室関連研究開発
5. 周波数システム研究室関連研究開発
6. まとめ

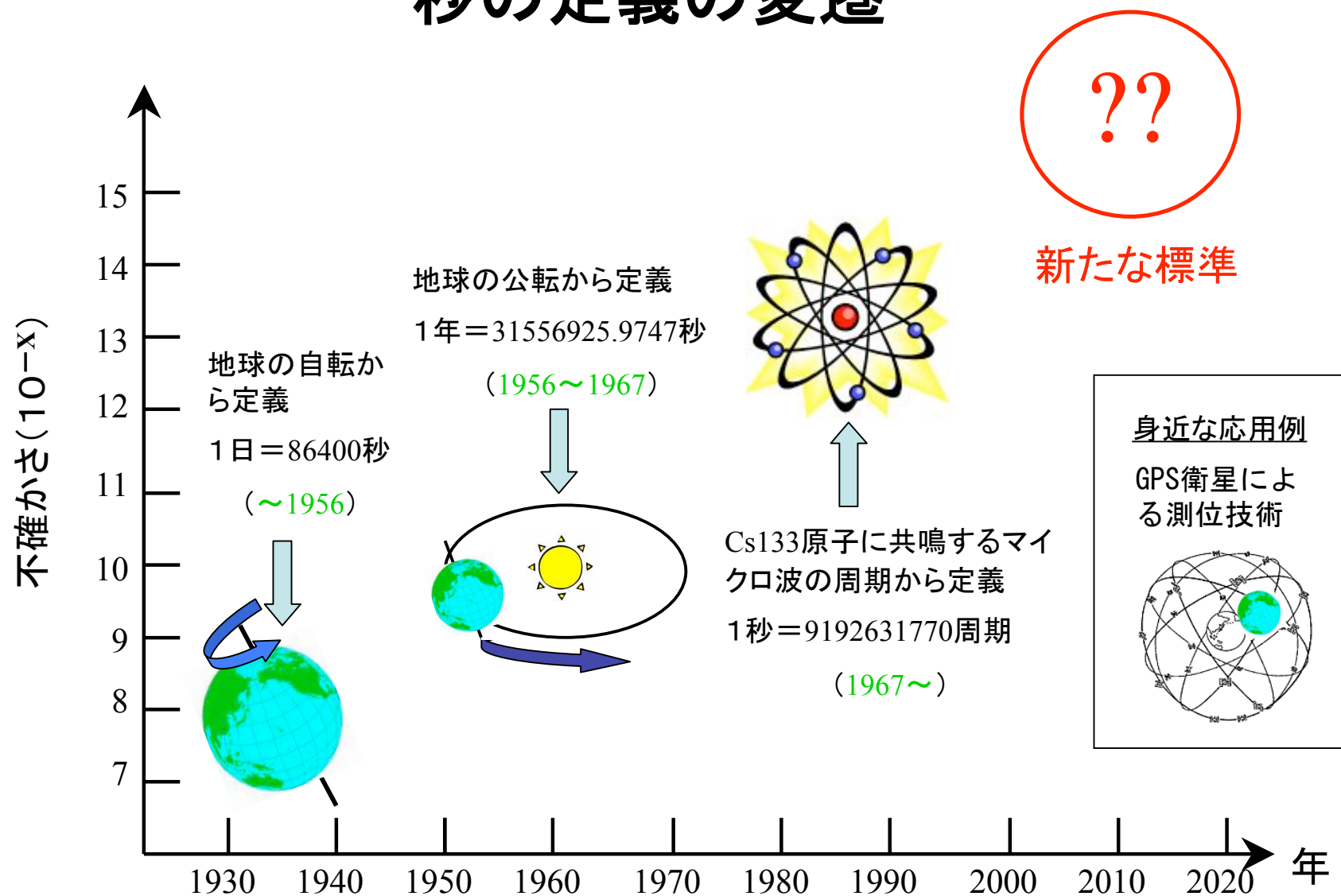
SI単位系

真空中の光速度(定義値)を仲介として、
時間標準で長さの標準を定義

$$\lambda = c / \nu$$



秒の定義の変遷



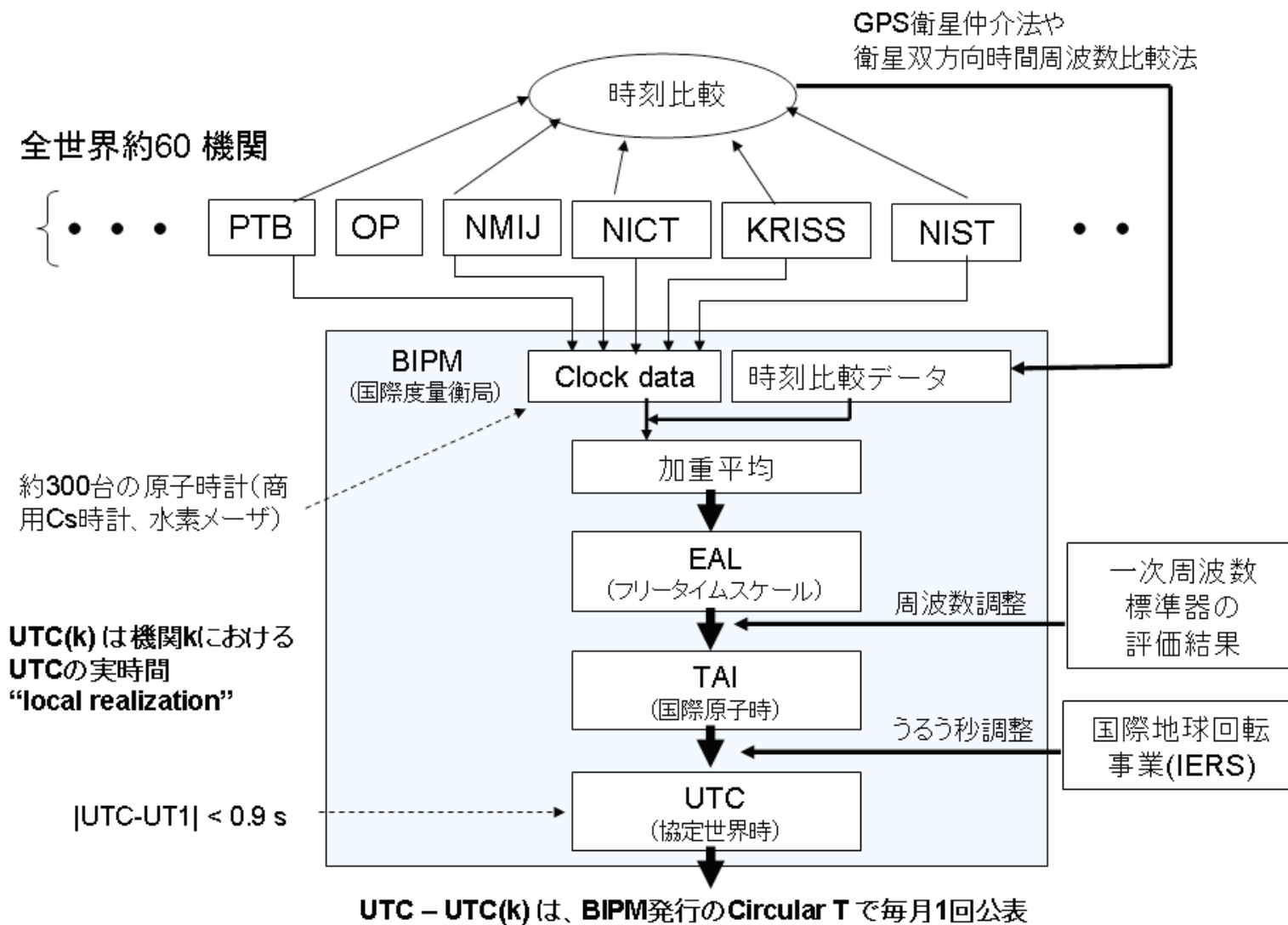
TAI/UTCの仕組み

TAI: 国際原子時 International Atomic Time (英語表示)
 Temps Atomique International (仏語表示)

UTC: 協定世界時 Coordinated Universal Time (英語表示)
 Temps Universel Coordonne (仏語表示)

- ・世界各国のT&F機関約68機関の350台前後の原子時計(セシウム原子時計、水素メーザ)の重み付け平均
- ・国際度量衡局(BIPM)が集約して国際原子時(TAI)を決定
 7カ国(ドイツ、米国、フランス、日本、英国、イタリア、韓国)、8機関の一次周波数標準器で周波数調整
- ・TAIと世界時(UT1)の差が0.9秒以内にうるう秒で調整されたものが協定世界時(UTC)
- ・TAIもUTCも前月分の計算が当月なされ、UTC-UTC(k)が公表
- ・トレーサビリティ上、UTCが基幹比較基準値(KCRV)

TAI/UTC構築の国際的枠組み



時間周波数科の構成

- (1) 時間標準研究室 池上健室長 室員5名＋学生1名
 - － 一次周波数標準器の開発と運用、特に原子泉タイプ
 - － 極低温サファイヤ発振器の開発と運用
 - － その他マイクロ波帯発振器の基礎研究
- (2) 波長標準研究室 洪鋒雷室長 室員6名、ポスドク1名、学生数名
 - － 光周波数コム関連研究開発
 - － Yb並びにSr光格子時計の研究開発
 - － 光周波数帯校正サービス(光周波数コム装置が長さの国家標準)
- (3) 周波数システム研究室 今江室長(兼務) 室員3名、テクニカルスタッフ3名、学生4名
 - － UTC(NMIJ) (=時間周波数の国家標準)の決定・維持運用
 - － 高精度時間周波数比較技術の研究開発
 - － 時間周波数校正サービスの開発と運用

時間標準研究室関連研究開発

原子泉型セシウム一次周波数標準器の開発と運用



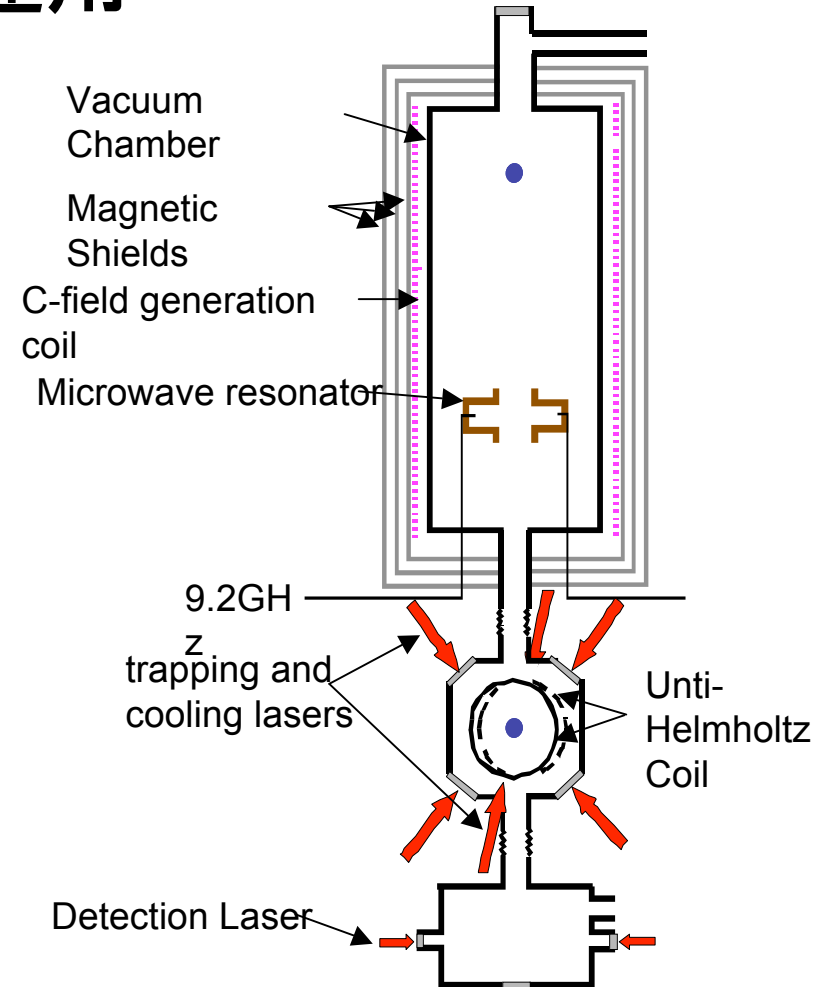
NMIJ-F1 不確かさ 4×10^{-15}

☆TAI/UTCの決定に寄与

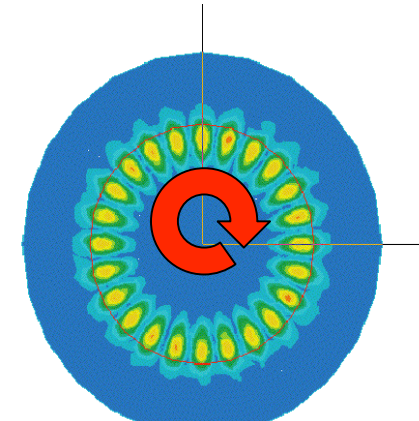
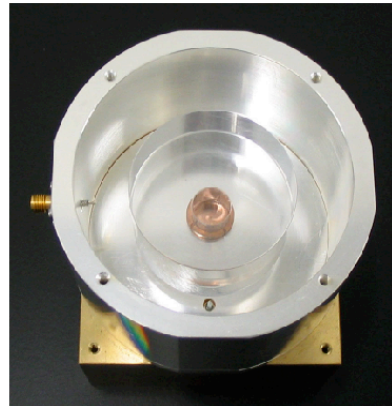
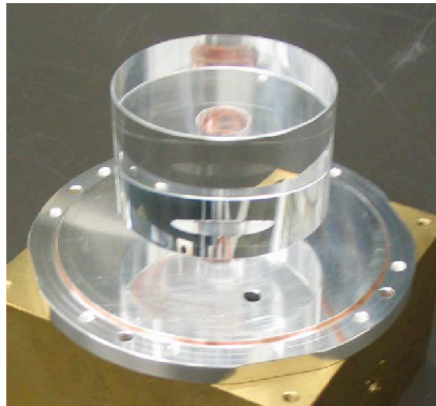
1~2ヶ月に一度評価結果をBIPMへ提供

☆NMIJ-F2の開発進行中

目標不確かさ $< 10^{-15}$



極低温サファイア発振器(CSO)の 開発と運用

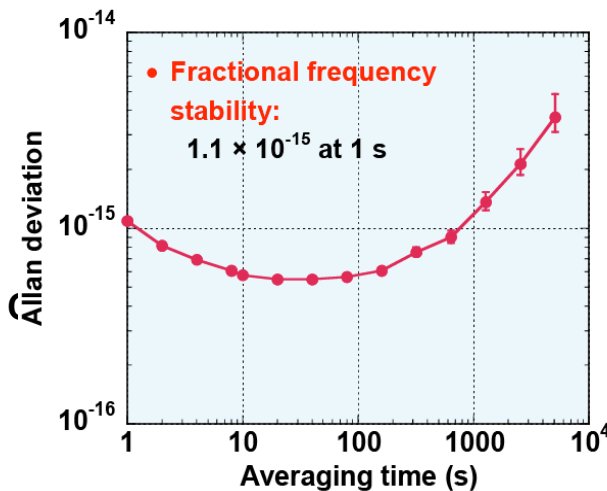


- 5 cm diameter, 3 cm long
- Coupling to the resonator

Primary input port: magnetic field loop probe from the side of the cavity

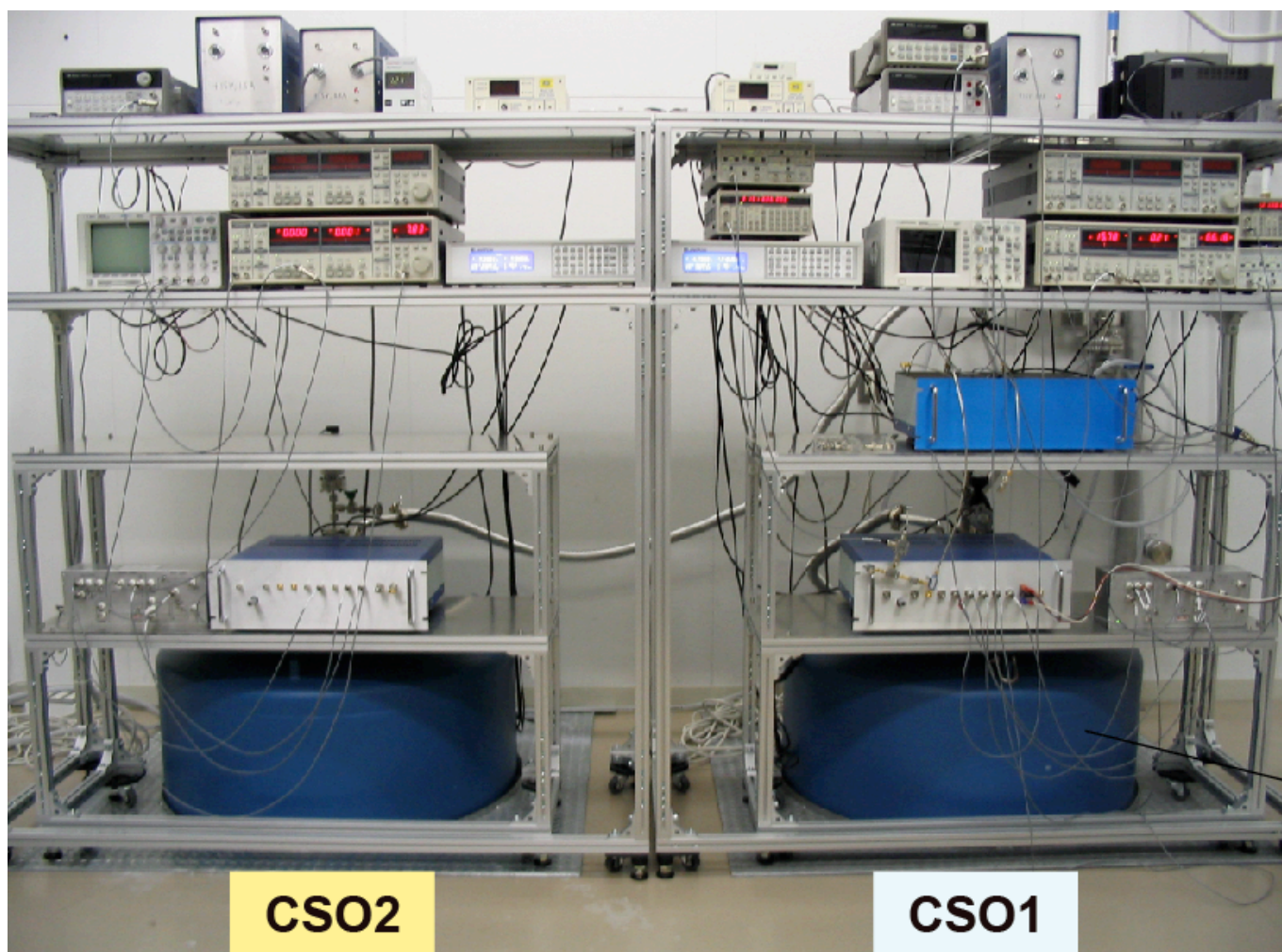
Output port: straight antenna probe from the bottom

Oscillation Frequency = 10.8GHz $\rightarrow$ 1 GHz $\rightarrow$ 9.2GHz for (



- Collaboration with UWA

極低温サファイア発振器(CSO)の外観



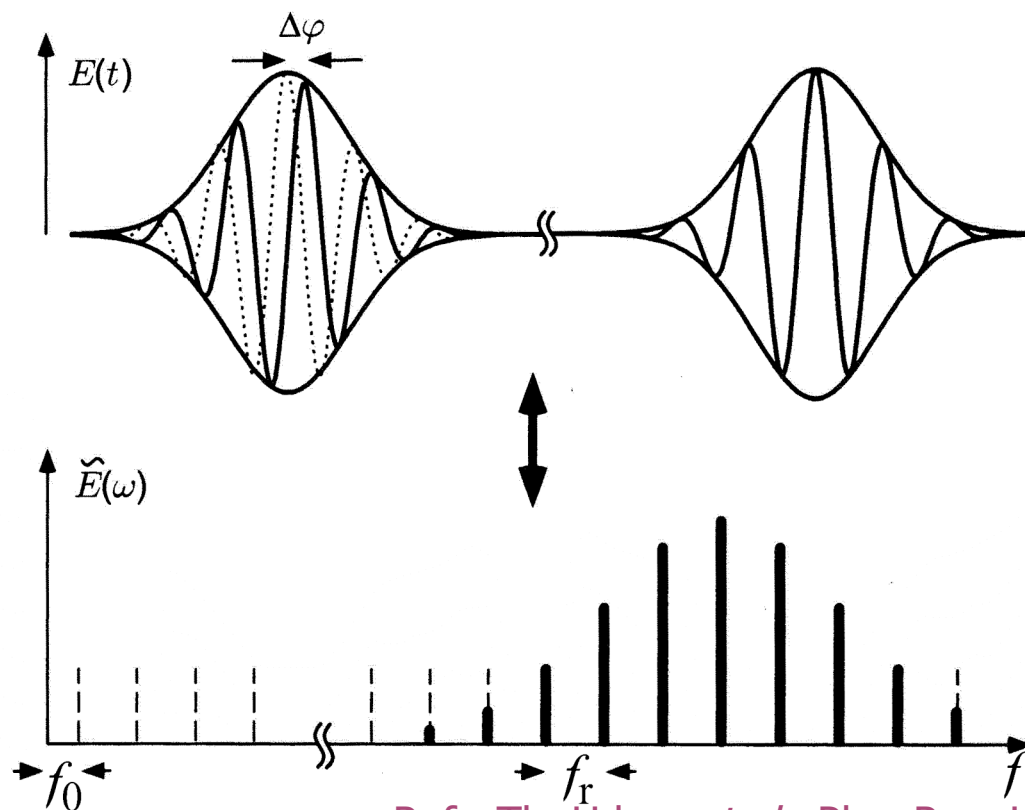
Operation:
3 weeks
without
refilling
with
LHe

Cryostat

波長標準研究室関連研究開発

光周波数コム

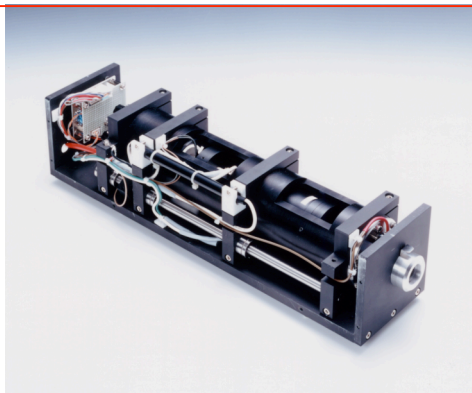
時間軸と周波数軸の間のフーリエ変換



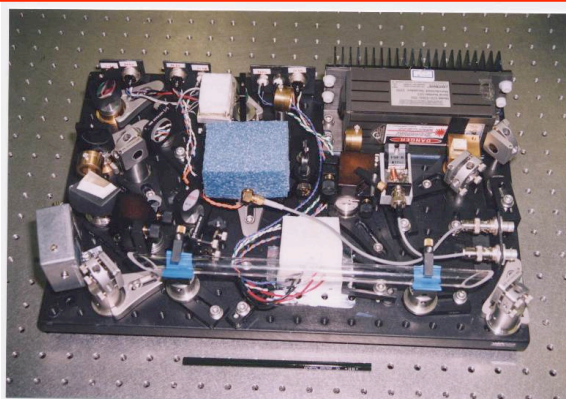
Ref.: Th. Udem *et al.*, *Phy. Rev. Lett.*, 82, 3568 (1999).

光周波数標準(長さの標準)

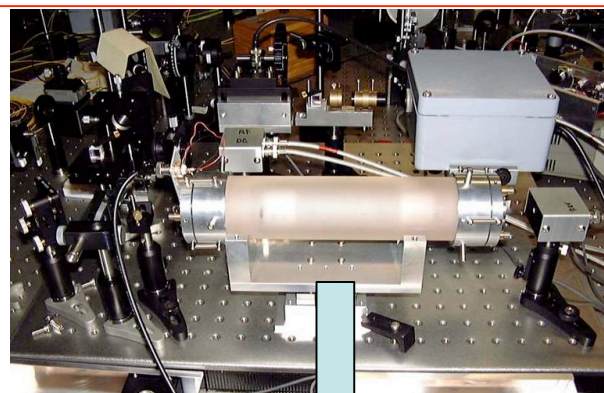
I₂ Stabilized He-Ne Laser at 633nm
- National Standard of Length -



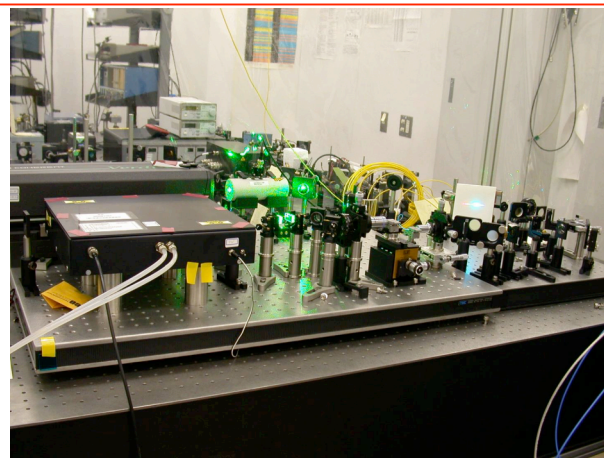
I₂ Stabilized Nd:YAG Laser at 532nm
- Highly Stable Optical Frequency Standard -



C₂H₂ Stabilized Laser at 1542nm
- for Optical Communication -



Optical Frequency Comb
- 280~600THz (500~1070nm) -



光コムは精密な周波数リンカー

不確かさ

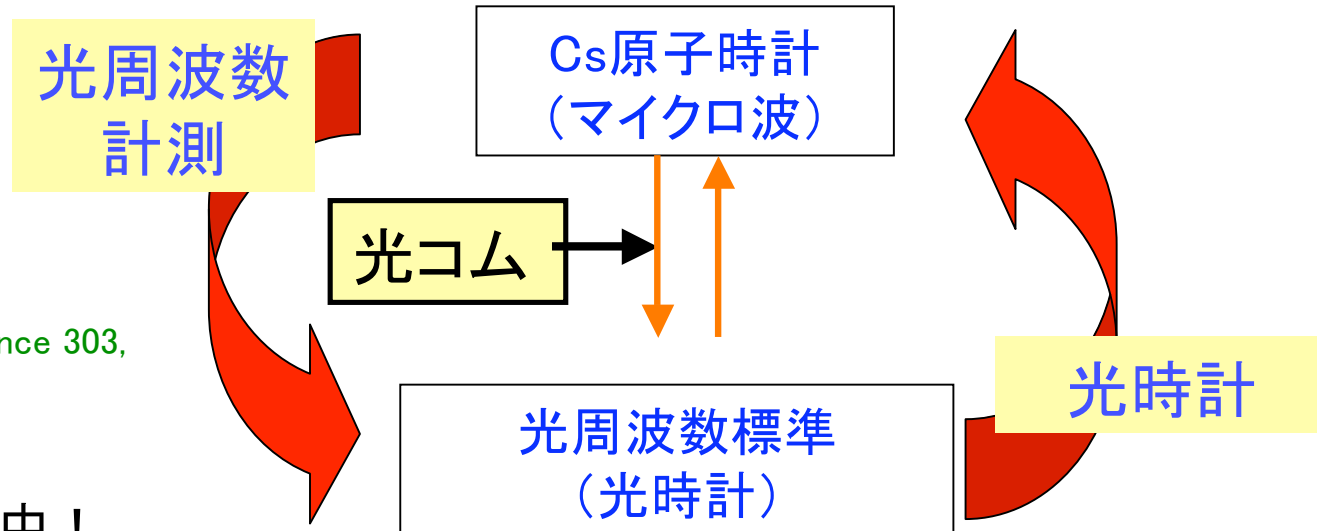
1×10^{-15}

$10^{-17} \sim 10^{-19}$

*L.-S. Ma et al., Science 303, 1843 (2004).

$10^{-15} \sim 10^{-16}$

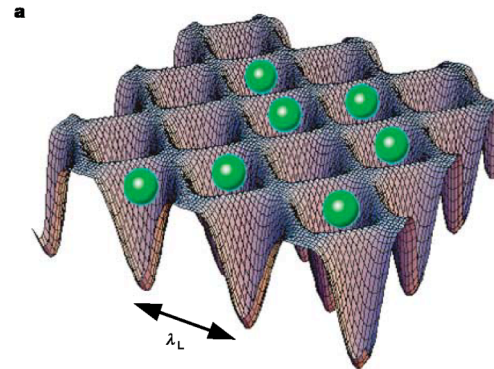
さらに性能向上中！



光格子時計

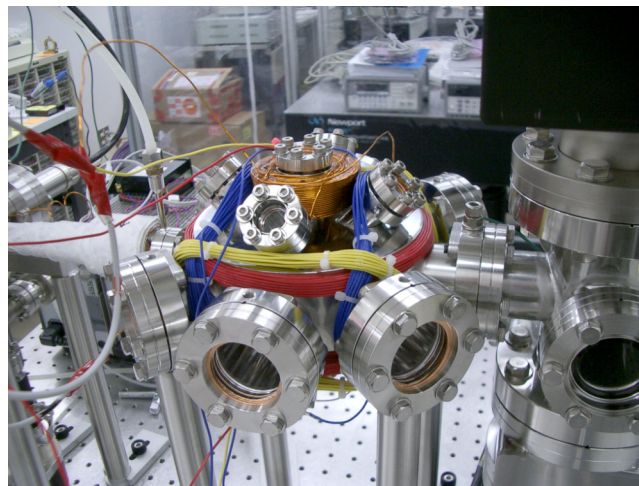
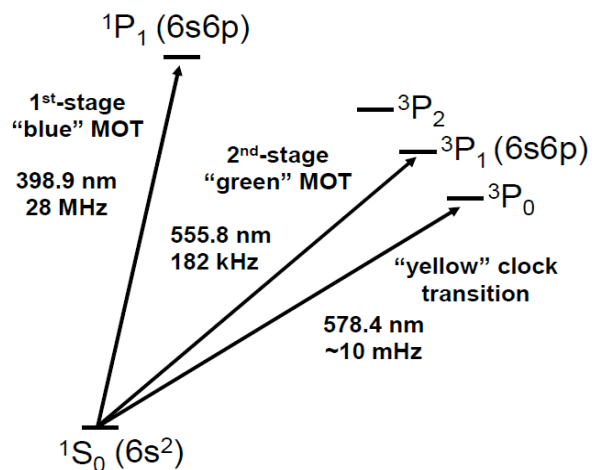
H. Katori, *FSM*, St Andrews (2001).

- 衝突シフトがない
- ドップラーシフトがない
- 長い相互作用時間が確保
- 原子個数が多い → S/Nの向上



秒の再定義
を目指して

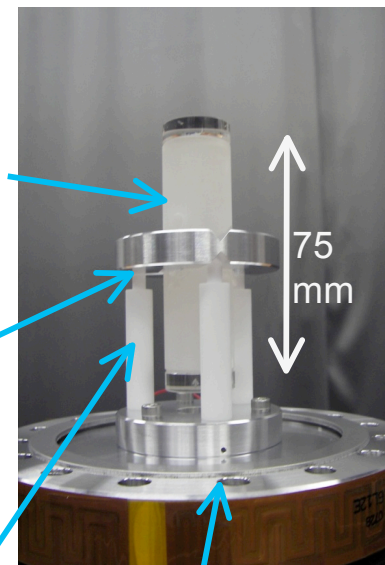
Yb光格子時計の開発



ULE
cavity

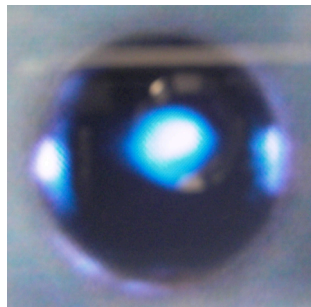
Al
disc

Teflon
post

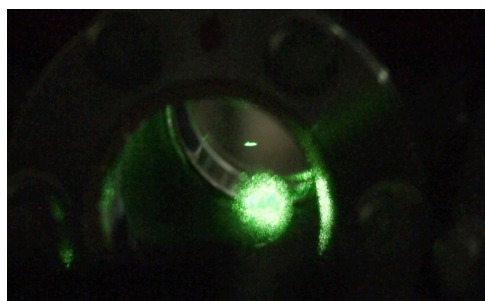


Al vacuum flange

1 Hz Laser



1st Stage: Blue MOT
(mK)



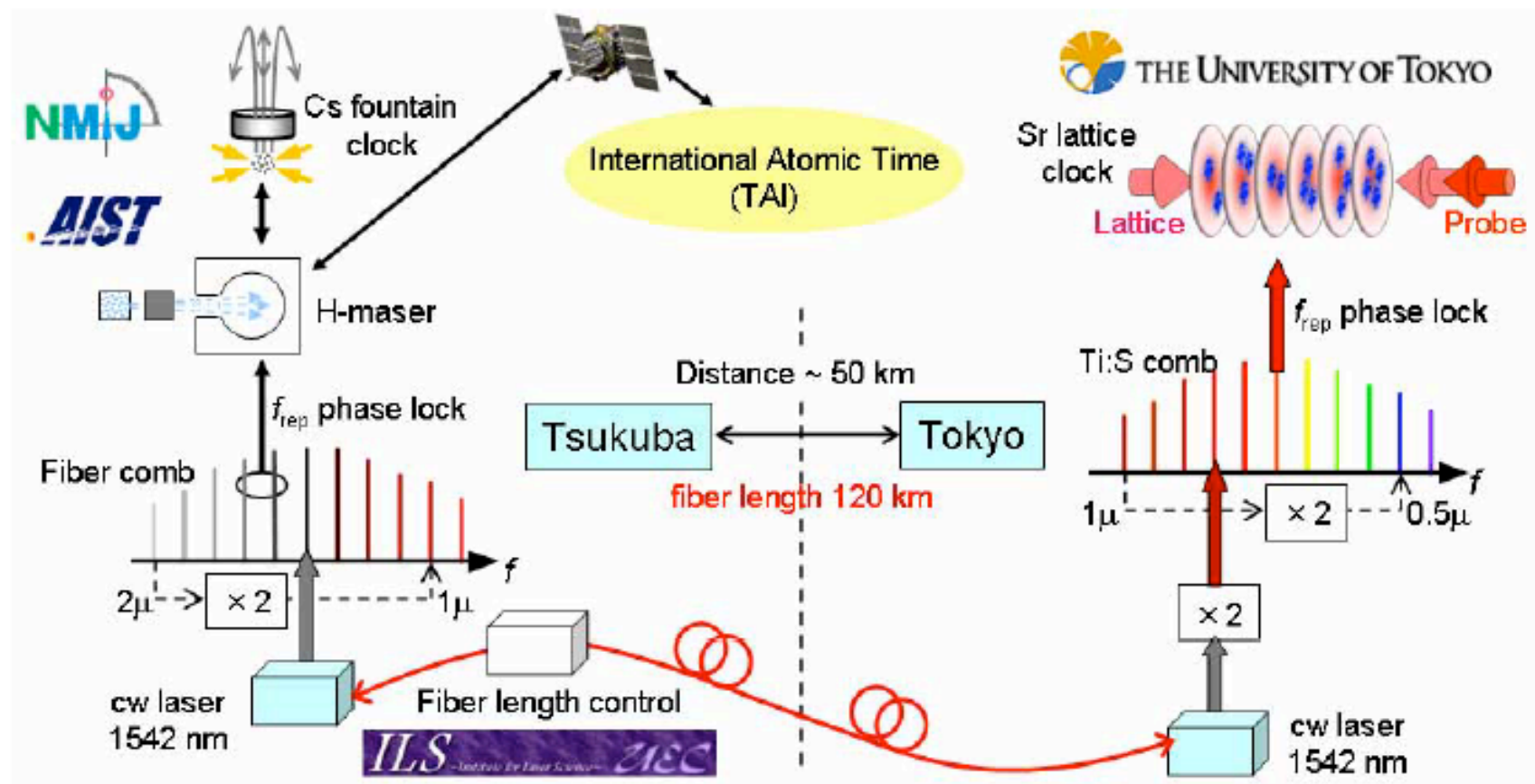
2nd Stage: Green MOT
(μK)

To do:
3rd Stage: FORT

2009年5月にYb 光格子時計としては、世界発の
周波数評価実施。

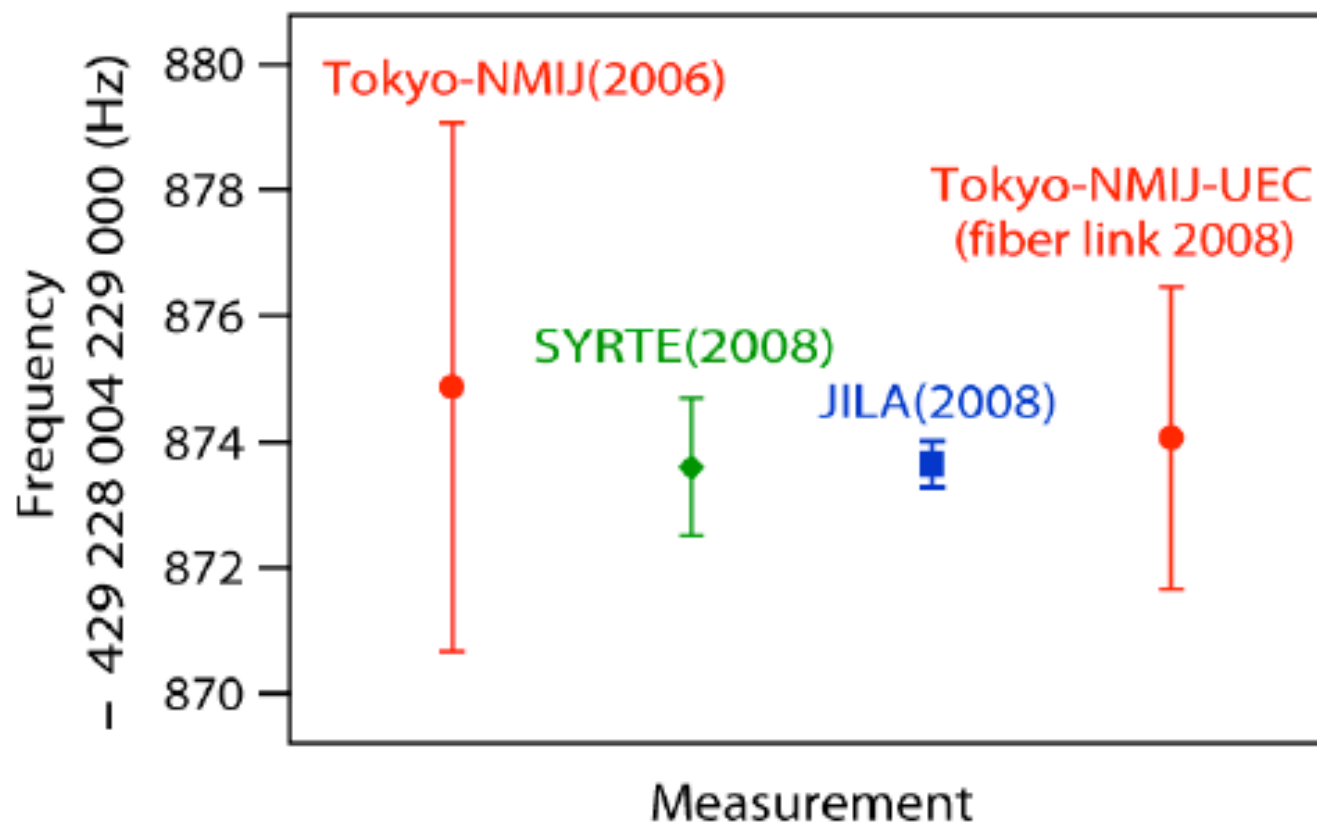
現状 5×10^{-14}

120 km長光ファイバーを用いた 東大のSr光格子時計の周波数測定



東大、産総研、電通大の共同実験

Sr光格子時計の周波数評価の比較結果



2008年の結果は、 1×10^{-15} 以内で一致

周波数システム研究室関連研究開発

時系発生維持のためのCs原子時計と 水素メーザ型周波数標準器



セシウム原子時計(5071A)と恒温チャンバー



水素メーザ(SD1T01A)格納用
恒温チャンバー



旧タイプ水素メーザ
(RH401A)

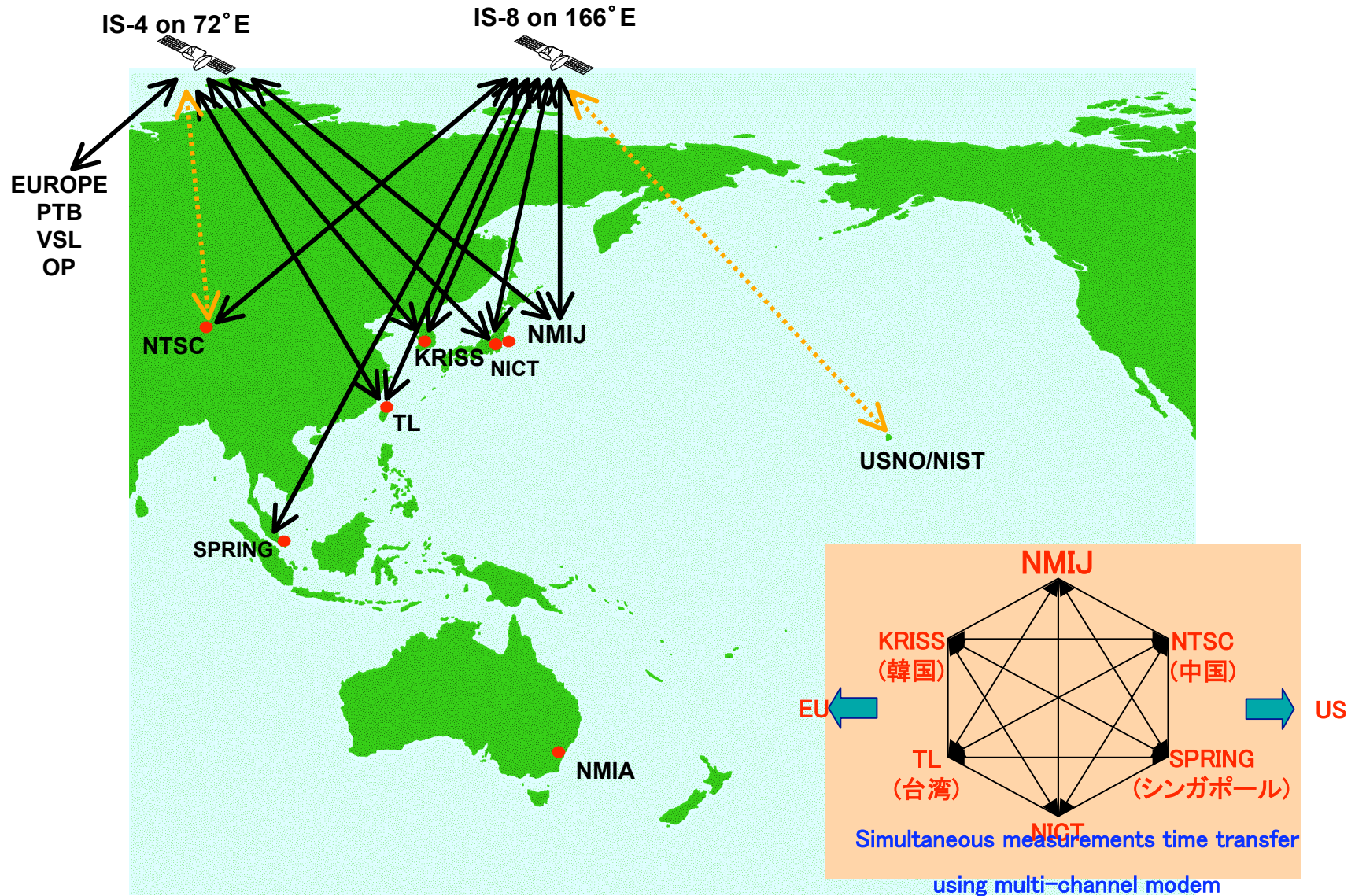
旧タイプ水素メーザを含め、恒温チャンバー(内部温度変動 ± 0.1 °C以下)に格納して運用

時系(UTC(NMIJ))計測システム

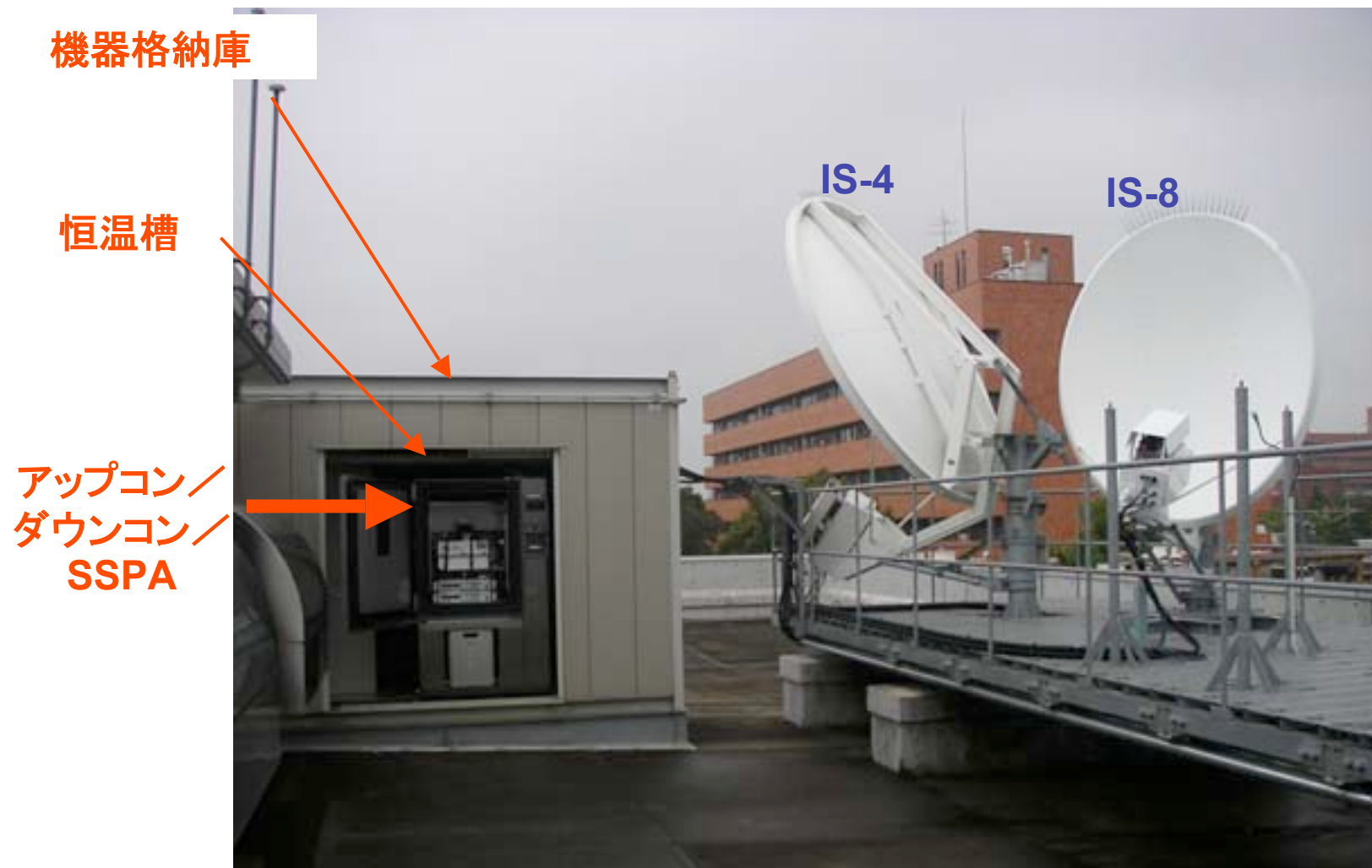


|UTC - UTC(NMIJ)| は長期的に30 ns以内、現状 10 ns程度以内で決定

衛星双方向時間周波数比較ネットワーク

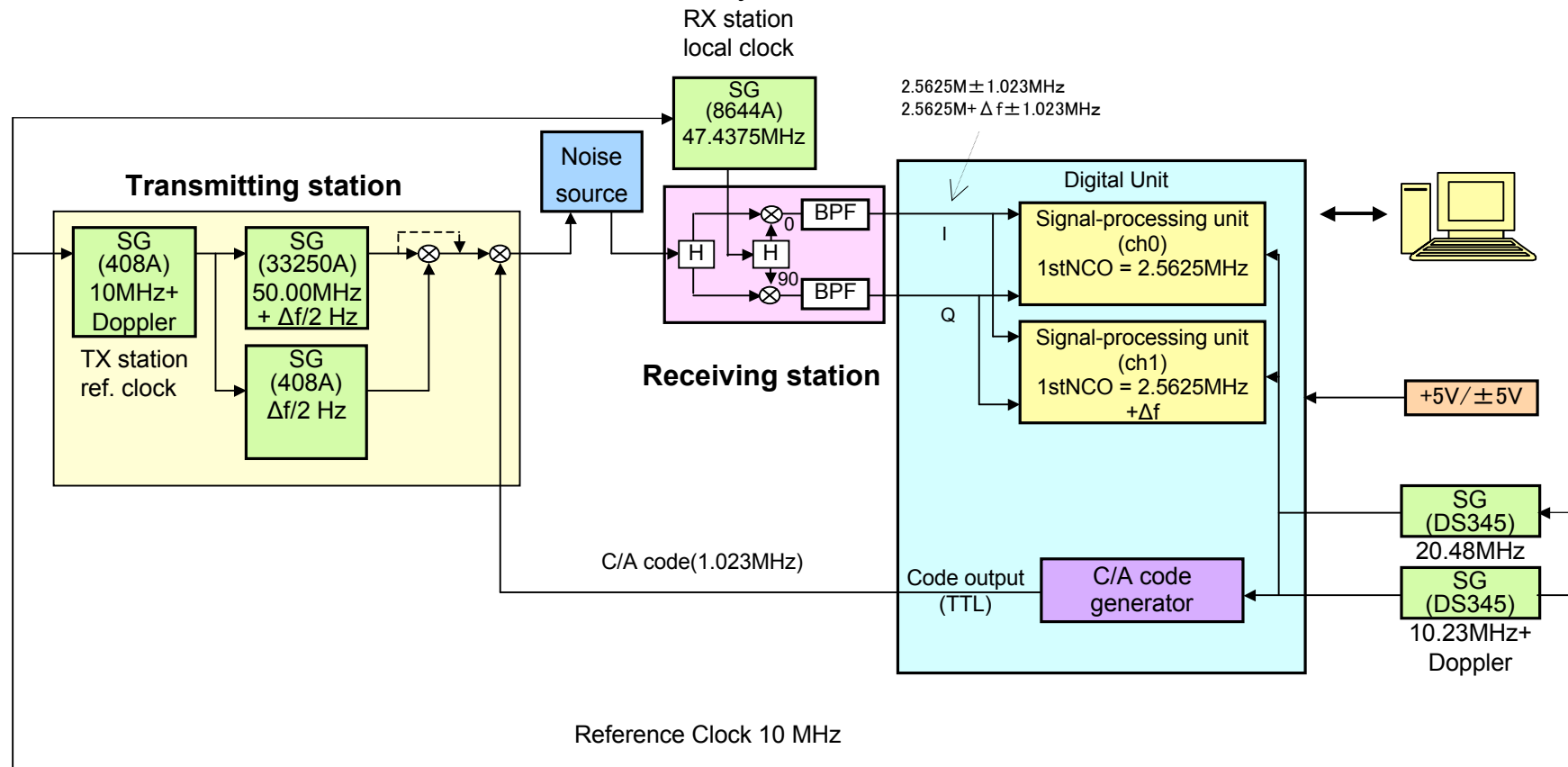


衛星双方向時間周波数比較用地球局



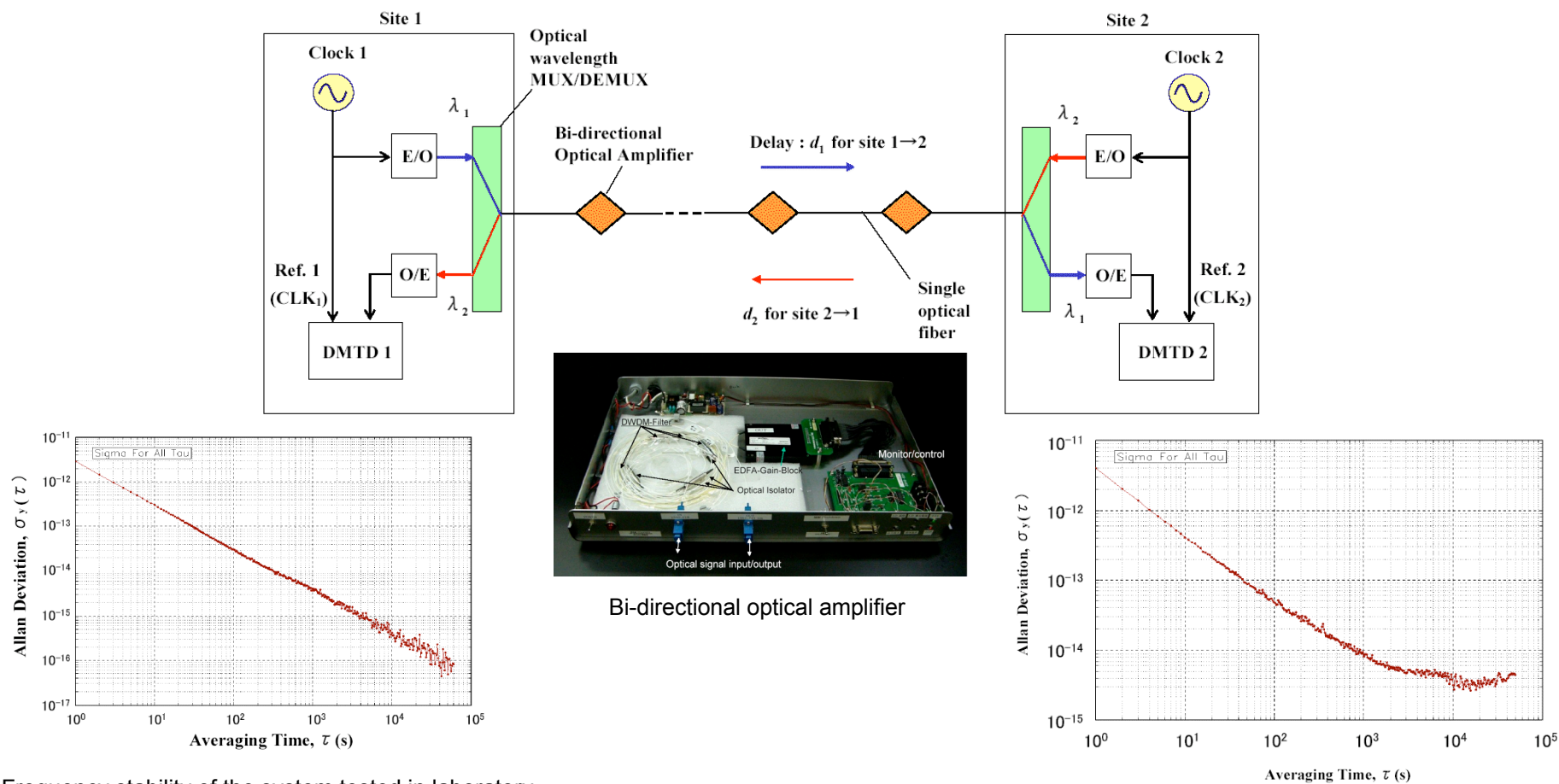
10^{-17} を目指した搬送波位相方式 衛星双方向時間周波数比較法の基礎開発

evaluate basic system & simulation



We are planning to solve the ambiguity comparatively easily by using a sub-carrier signal which is generated coherently with the main carrier signal.

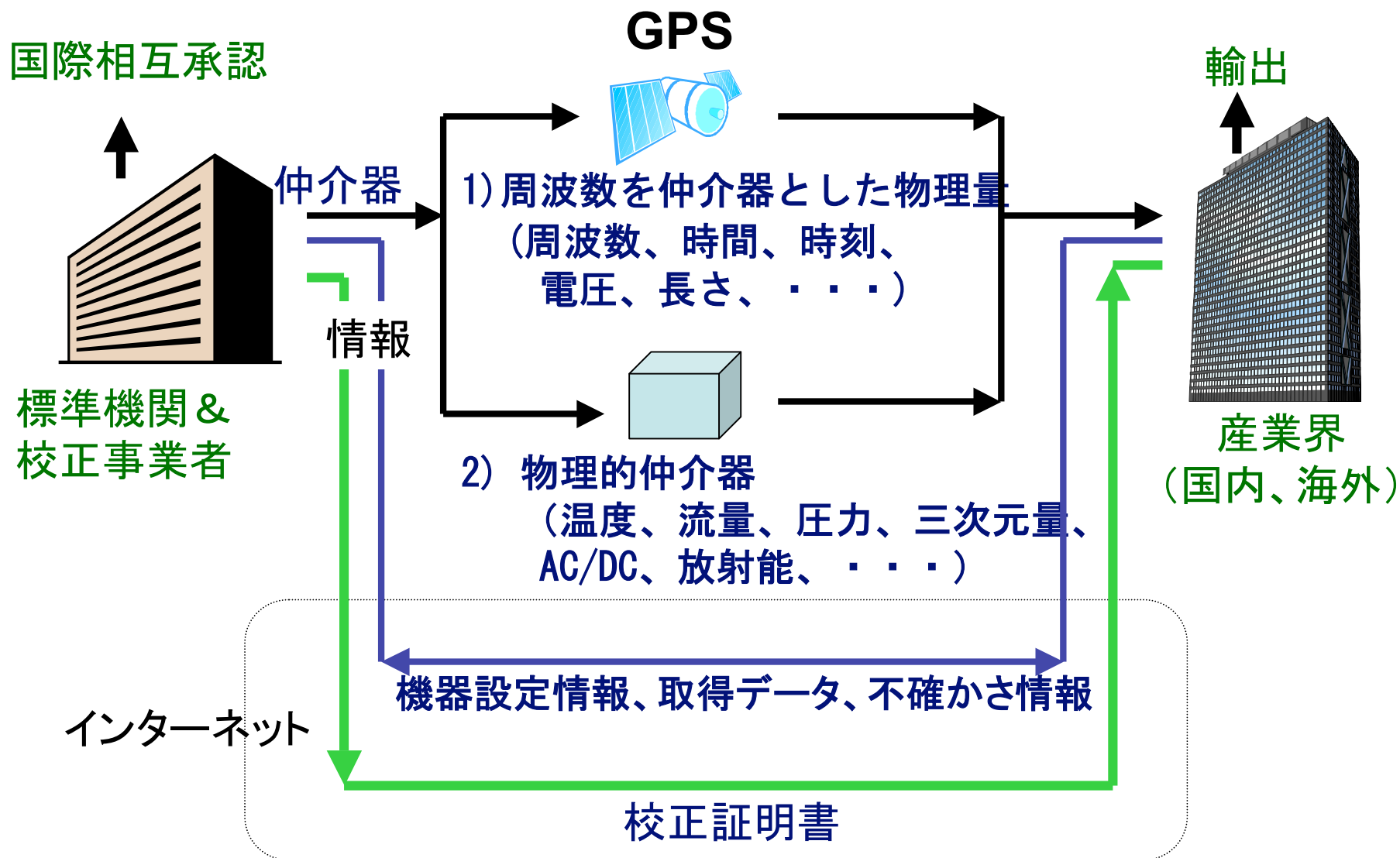
光ファイバーを用いた時間周波数比較



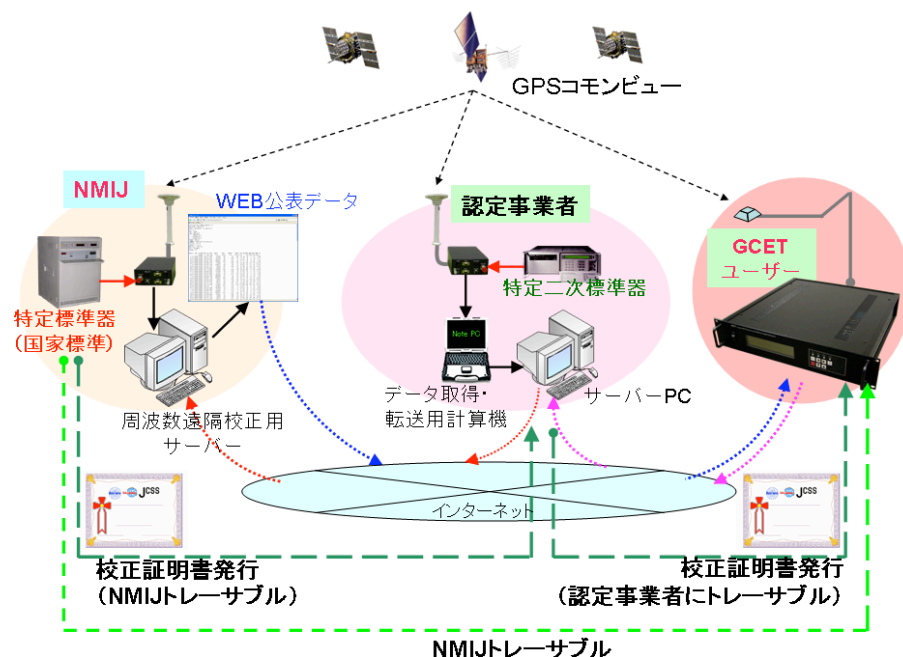
Frequency stability of the system tested in laboratory.

Frequency stability of time transfer between NMIJ and the University of Tokyo.
Fiber length is about 120 km.

e-trace (計量器校正情報システム) の概念



周波数遠隔校正用利用者端末装置 (GCET)の開発



GPSコモンビュー法を用いた周波数遠隔校正の
概念図

GPS受信部	受信信号	L1(1574.42 MHz), C/A code
	同時受信チャンネル数	12 channels
	受信感度	< -135 dBm
入出力信号	入力 (オプション)	(option) 10 MHz 又は 1 pps
	出力	10 MHz 8 ports, 5MHz, 1 MHz 各 1 port 1 pps: 1 port
時間周波数 比較機能	データフォーマット、受信スケジュール	CGGTTS format, 国際時刻比較と同一スケジュール
	不確かさ	< 5 ns : outside antenna < 20 ns : window-side antenna (受信状況に依存)
	時間・周波数の同期	NMIJのWeb公表値を用いUTC(NMIJ)へ同期 (NMIJ DO) または、GPS timeに同期 (GPS DO動作)
	データ通信プロトコル	HTTP protocol + 暗号化
内蔵発振器	ルビジウムタイプ	< 1×10^{-13} @ 1 day, 3×10^{-11} @ 1 s
	OCXOタイプ	< 5×10^{-12} @ 1 day, < 1×10^{-10} @ 1 s
通信インターフェース		Ethernet (10/100 BASE-T), RS-232C



利用者端末装置(GCET)の諸元と外観
ネットワーク接続により内蔵発振器を産総研の時間周波
数国家標準に同期させることが可能

ありがとうございました！