



# シスルナ圏における 時空間同期

2024/2/6

情報通信研究機構

グローバル推進部門、時空標準研究室

志賀 信泰、安田 哲

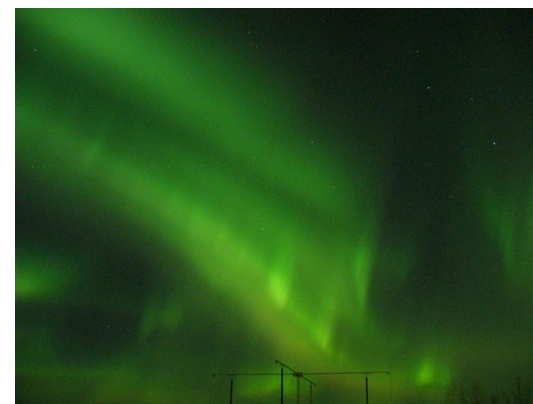


# wiiwi 自己紹介

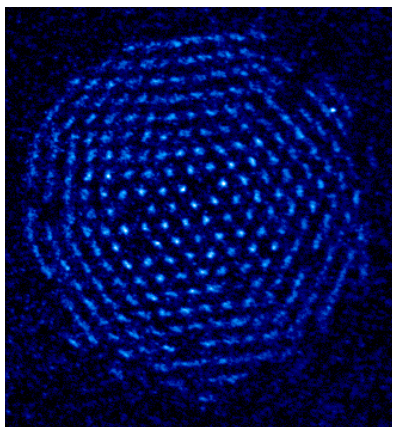
- 1993-1997 U. of Tokyo Applied Physics B.S. (十倉研 物性実験)
- 1998-2004 U.C. San Diego Ph.D in Physics Ph.D (プラズマ実験)
- 2004-2005 Fairbanks, Alaska (オーロラ実験)
- 2005-2008 NIST Boulder (イオントラップ 量子情報実験)
- 2008-2015 NICT Tokyo (イオン原子時計 さきがけ大挑戦型)
- 2015-2018 NICT Tokyo (無線時刻同期 さきがけ②)
- 2020-now NICT at Silicon Valley research hub (時空間同期 国際連携)



U.C. San Diego プラズマ実験



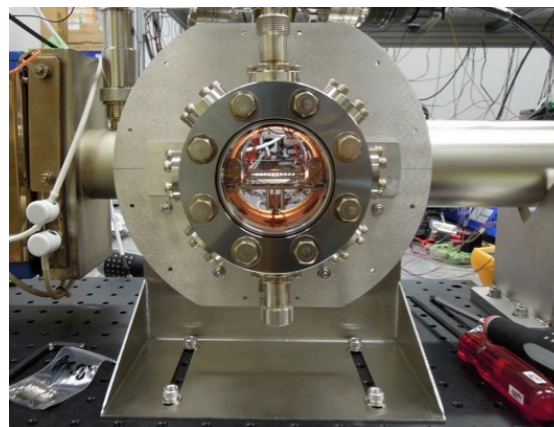
アラスカ オーロラ実験



NIST イオントラップ



NICT Sr光格子時計



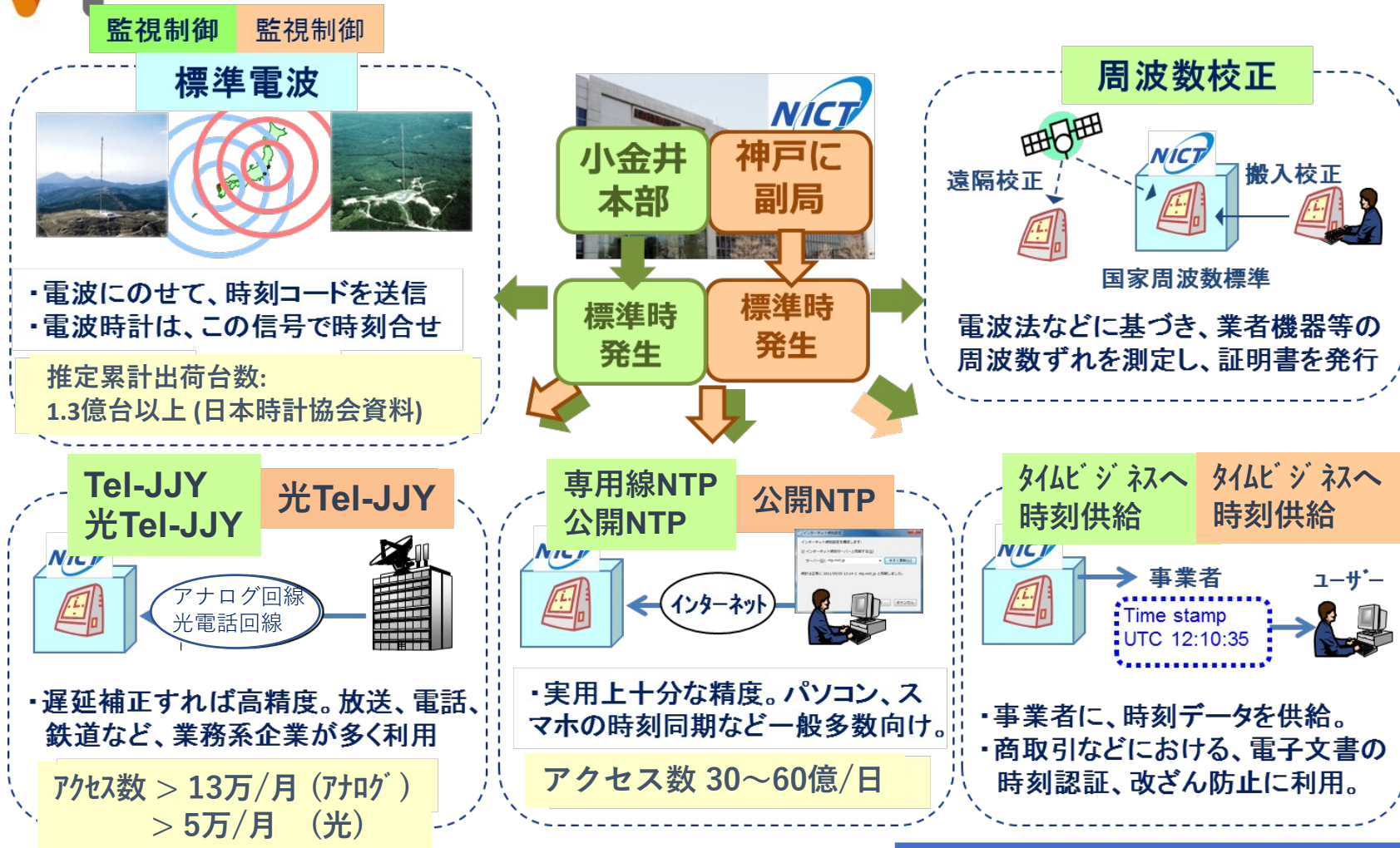
NICT Ybイオン時計



NICT 無線時空間同期



# 多様な日本標準時供給サービス



時刻は社会インフラであり、  
「あって当たり前」を継続的な努力で実現

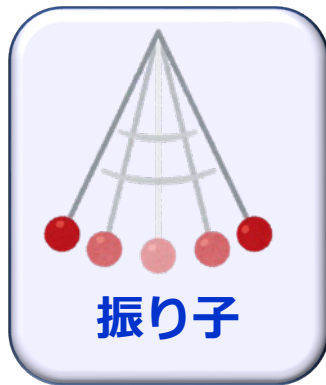
過去4年間(2016/04~2020/03)のサービス停止時間			
標準電波	5時間15分	専用線NTP	0分
テレホンJJY	59分	公開NTP	40分
光テレホンJJY	0分	タイムビジネス	0分



# 時空標準研究室—日本の時計を管理



=



+



+



## 時空標準研究室

究極の振り子  
(原子時計)



Cs Atomic clock

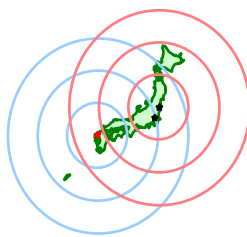


Sr Optical Atomic clock

日本標準時 (JST) の  
発生と供給

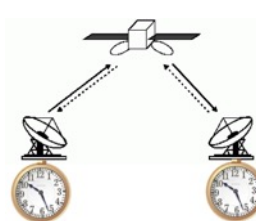


Generation of JST

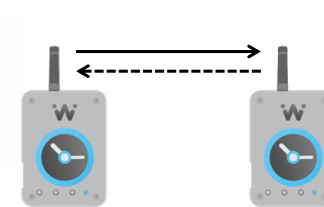


Radio Clock

時刻比較



TWSTFT

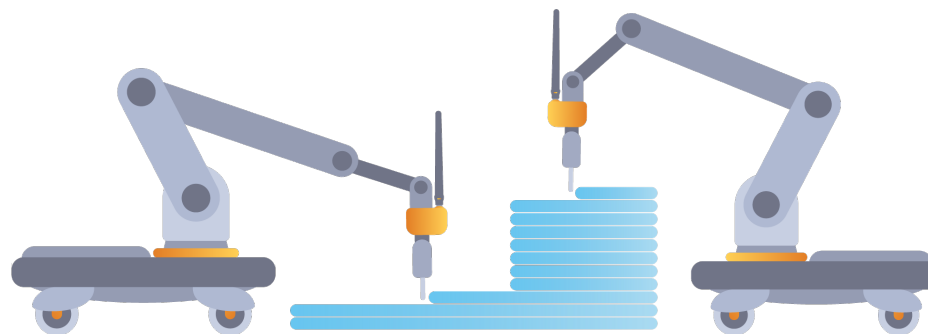
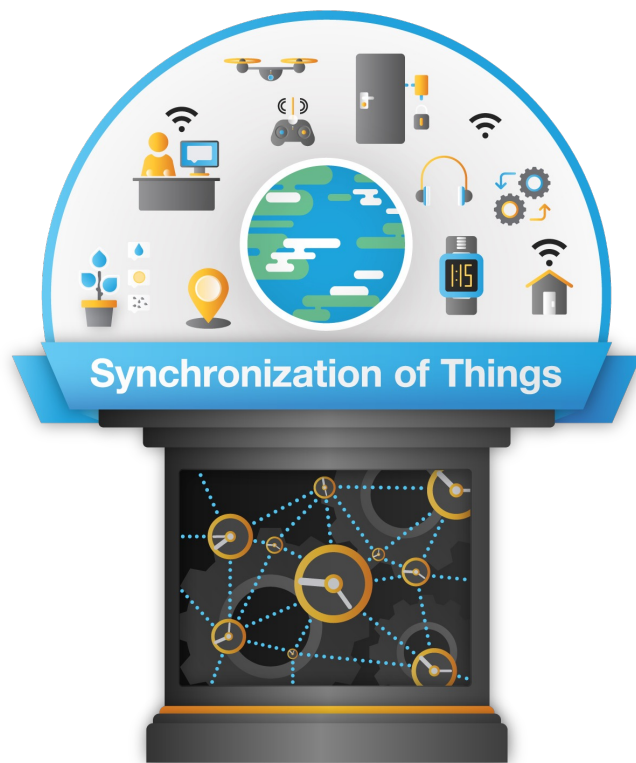


Wi-Wi

# wiwi 時空間同期とは？

時空間同期とは

ローカルにデバイスが**時刻同期**し、さらに**位置**情報が(通信ノード間で)**同期**している状態



離れたデバイスの時刻と位置  
は同期されていない前提  
→時空間同期ができている前  
提への移行管理

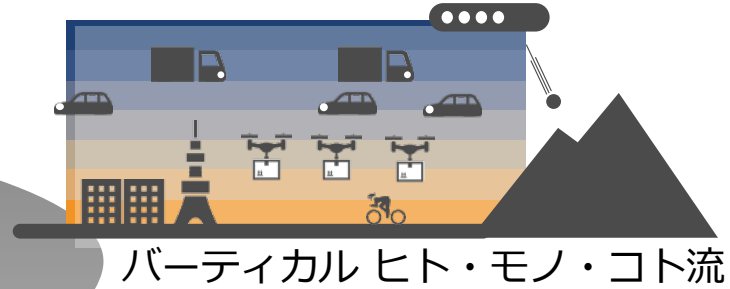


# ヒト・モノ・コト連携への道

## 時空間同期による ヒト・モノ・コト連携

- ・ 時空間情報の上位レイヤ  
(認証、セキュリティ、  
プライバシー)
- ・ サービス展開

STEP  
03  
~2040



STEP  
02  
~2035

## 時空間同期インフラ

- ・ 電波距離→空間距離
- ・ 基準局設置
- ・ 絶対位置計測



STEP  
01  
~2025

## 時刻同期技術

- ・ 時刻同期技術の完成
- ・ 時刻同期ネットワーク
- ・ 時刻同期通信プロトコル

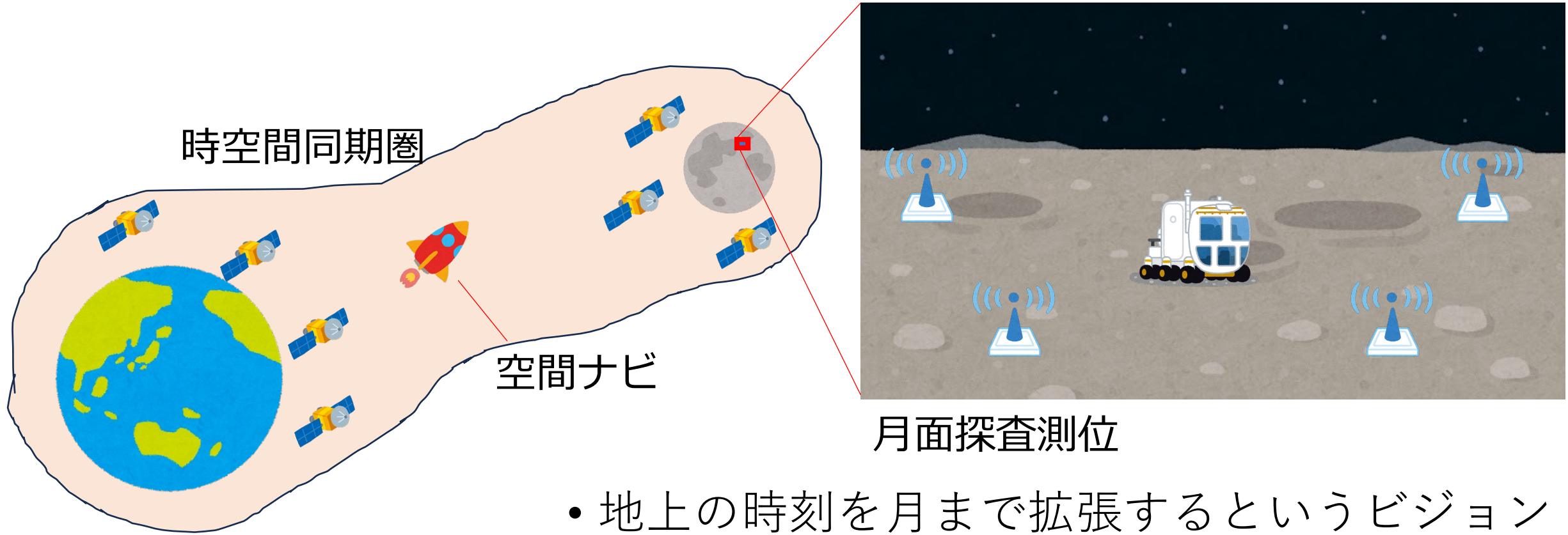


現在

時刻と位置を把握せずに  
成立する情報通信

- ・ プリアンブル
- ・ ロジカルクロック

# wiiwi シスルナ圏への時空間同期の貢献



シスルナ時空間同期

- 地上の時刻を月まで拡張するというビジョンを持ちつつ、
- 即席ナビシステム（へ至る要素技術）を本日はご紹介します。



# 時空間同期

～時刻と空間は切り離せない～



どれくらいの精度で彼らの時刻を合わせられるでしょうか？

1 mの距離→  
3ナノ秒遅れ



2 mの距離→  
6ナノ秒遅れ



- 時刻を合わせるには距離が必要



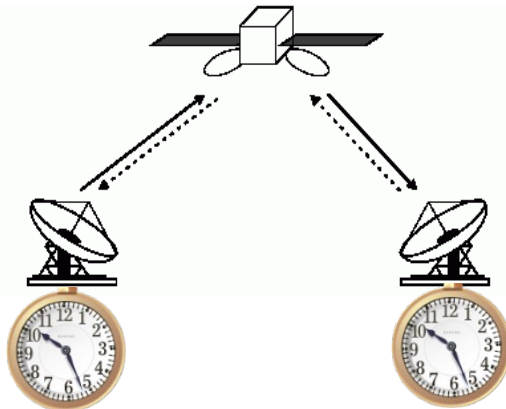


# 無線双方向比較技術

## Wireless two-way interferometry (Wi-Wi)

既存技術

衛星双方向  
時刻比較技術



時刻差と伝播時間を  
高精度に計測



時刻差 距離

$$\Delta T_G = (T_J - T_G) + D$$

$$\Delta T_J = (T_G - T_J) + D$$

$$D = (\Delta T_G + \Delta T_J) / 2 \quad (\text{伝搬時間} = \text{両計測の和})$$

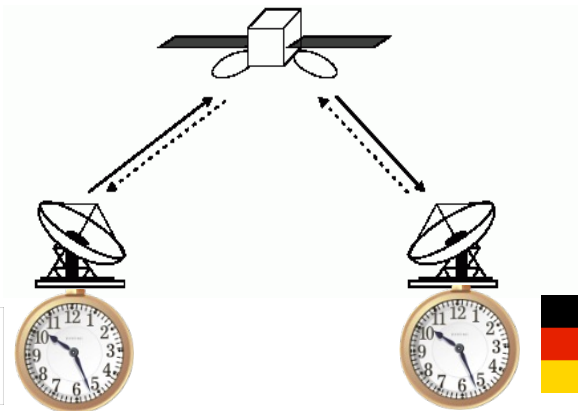
$$T_J - T_G = (\Delta T_G - \Delta T_J) / 2 \quad (\text{時刻差} = \text{両計測の差})$$



# Wireless two-way interferometry (Wi-Wi)

既存技術

衛星双方向  
時刻比較技術

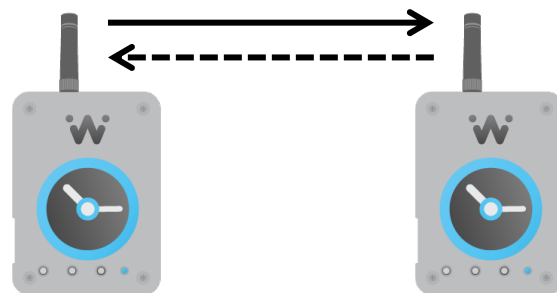


時刻差と伝播時間を  
高精度に計測



新規技術

無線双方向  
時刻比較技術  
(Wi-Wi)

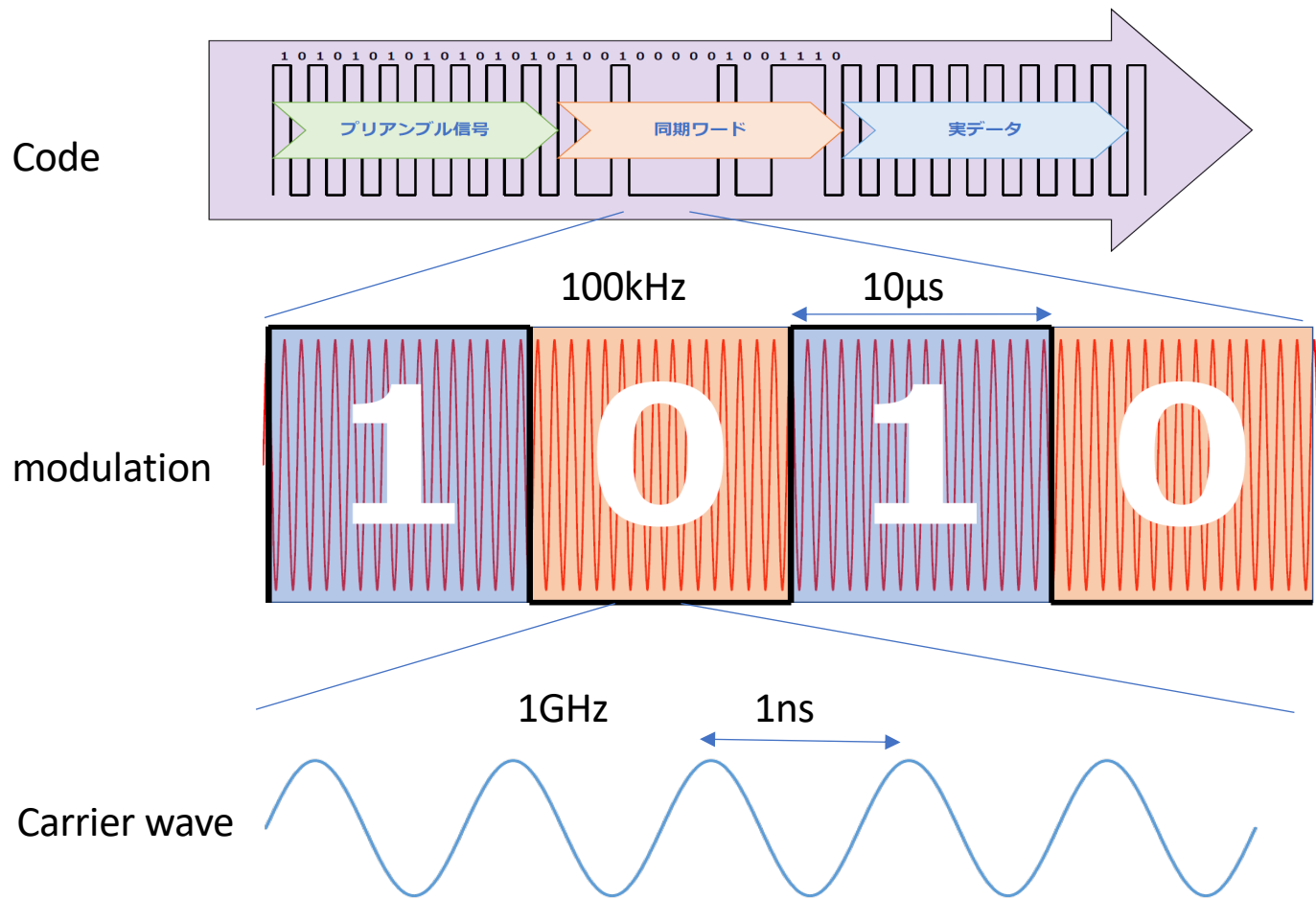


時刻差と距離を  
高精度に計測

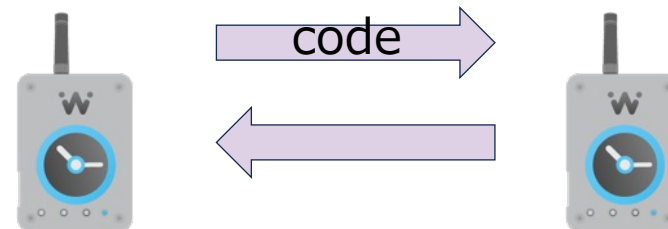
標準時の双方向時刻比較技術を転用して  
時刻同期（ピコ秒精度）と距離計測（mm精度）  
の同時計測を安価、簡便、高精度に実現する技術



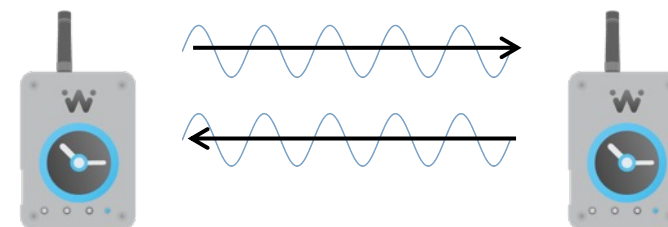
# ピコ秒レベルの時間比較



## コードによる比較



## 搬送波位相による比較



位相を使えば高精度な比較ができる



# POP実験(2.4GHz ZigBee)

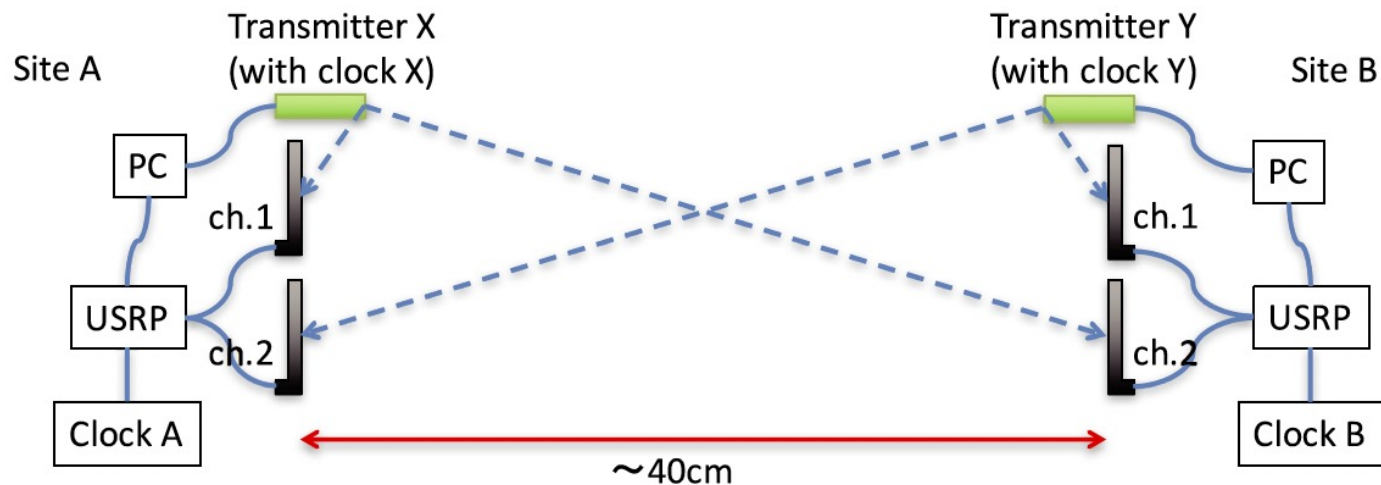


Fig. 1. Experimental setup of Wi-Wi.

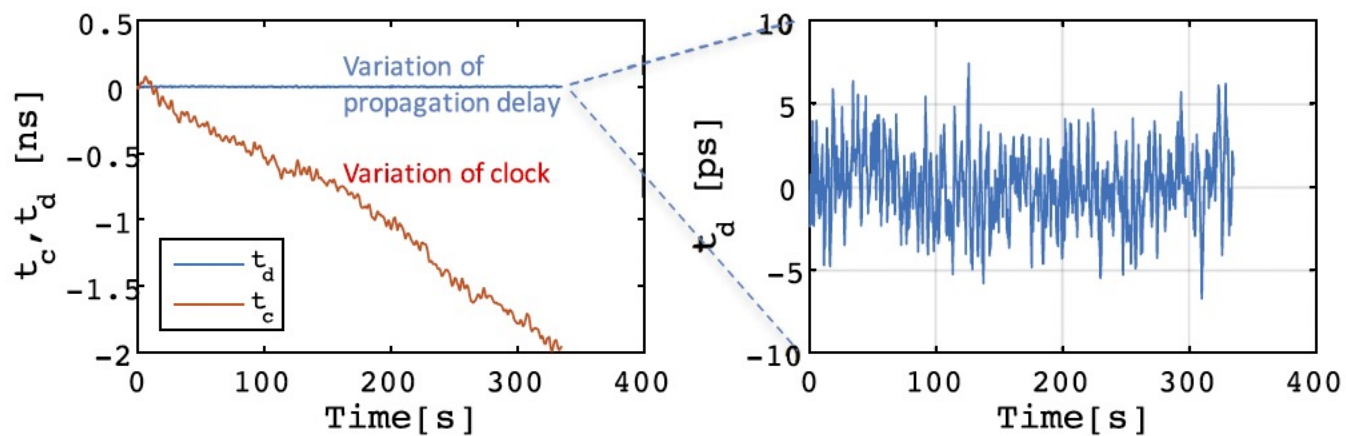
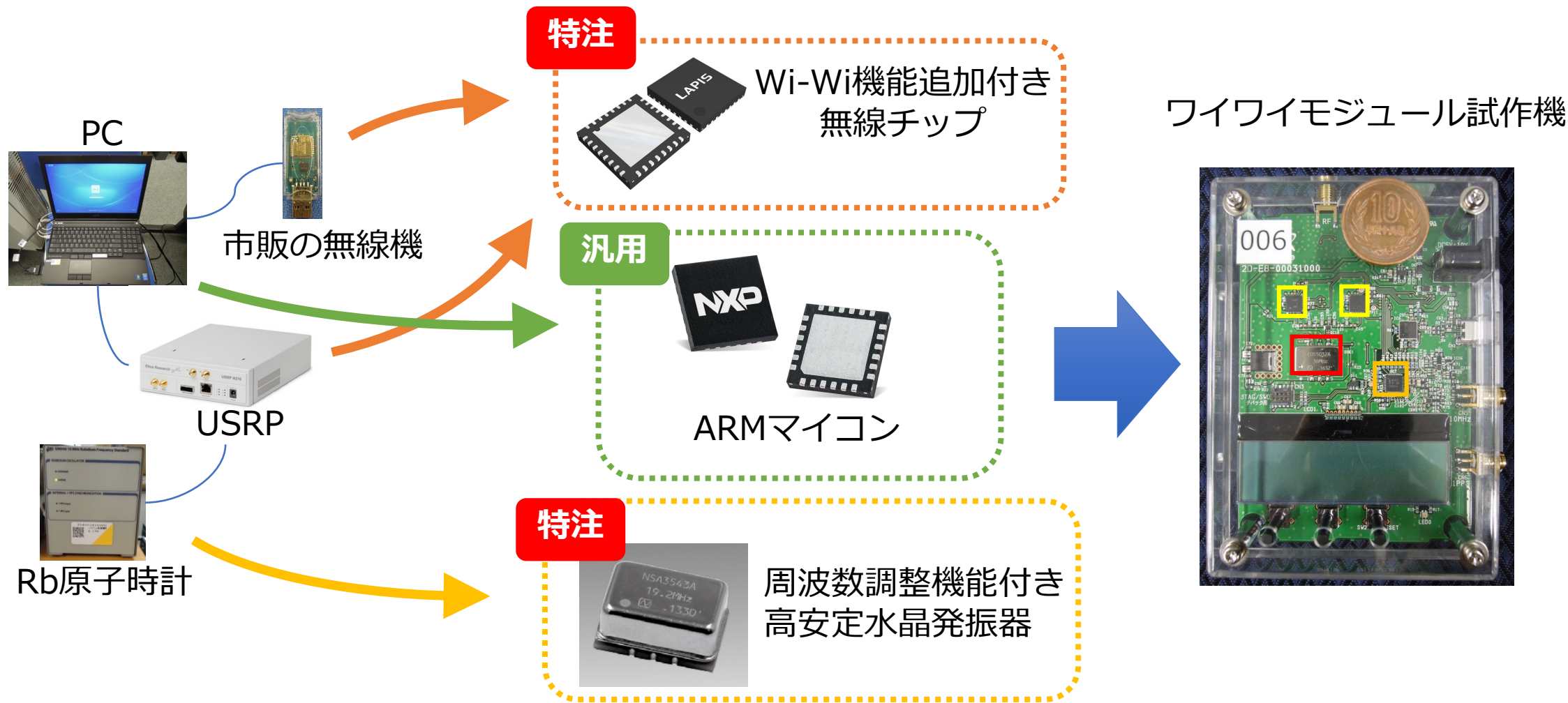


Fig. 3. Measurement of variation in clock difference and propagation delay over a 5 min interval using Wi-Wi.

\*論文1

# wiwi Wi-Wiモジュールできました



価格、サイズ、消費電力、大幅減！



# ワイワイモジュール



0号機（2016年）、2号機（2017年）、3号機（2017年）

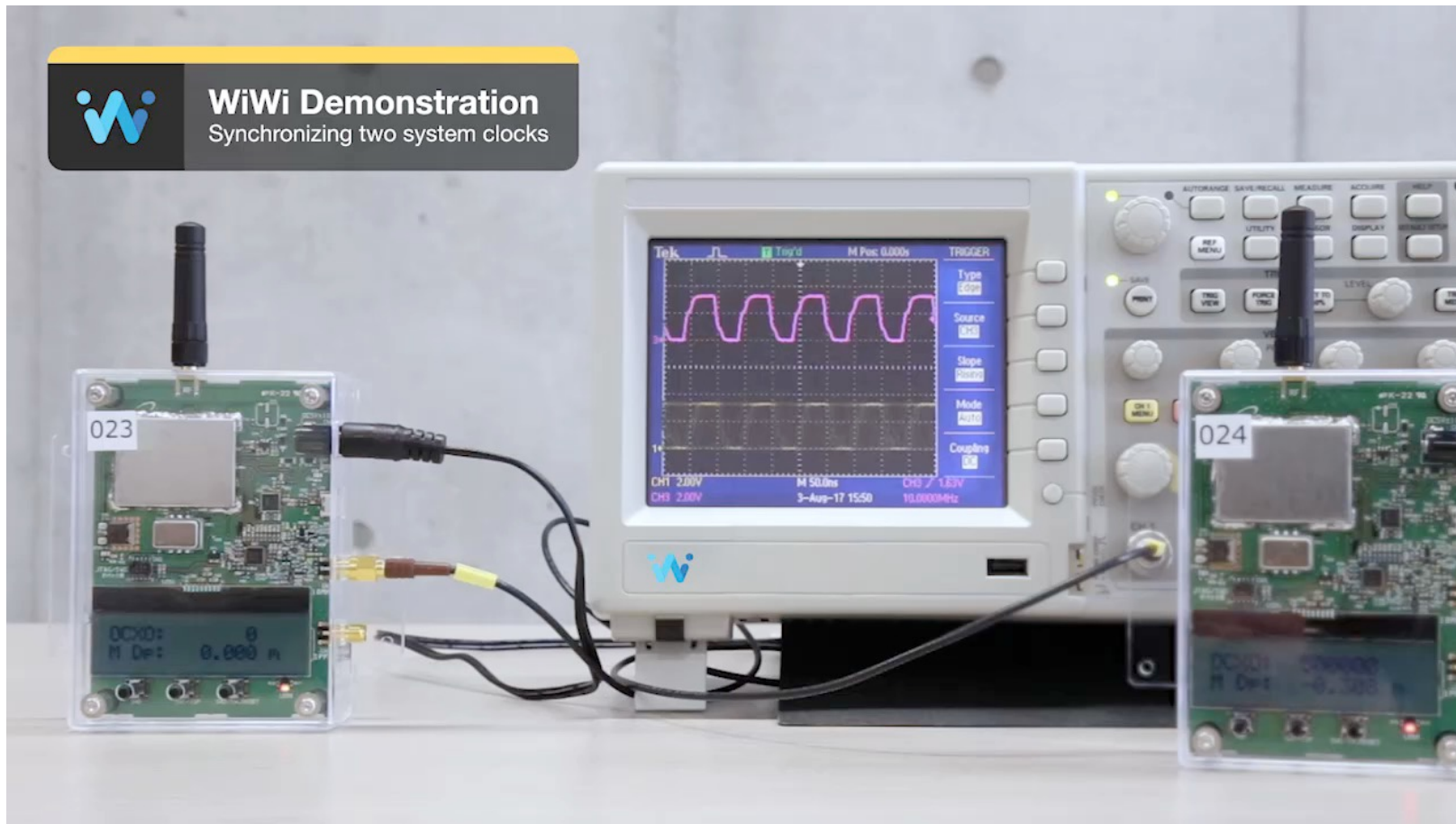
- 搬送波：920MHz
- IEEE 802.15.4準拠（普通に通信しつつ時刻同期）
- レンジ：500m(2号機)/5km(3号機)ベストエフォート



安田 哲 研究員  
Wi-Wiモジュールをほぼ一人  
で実現

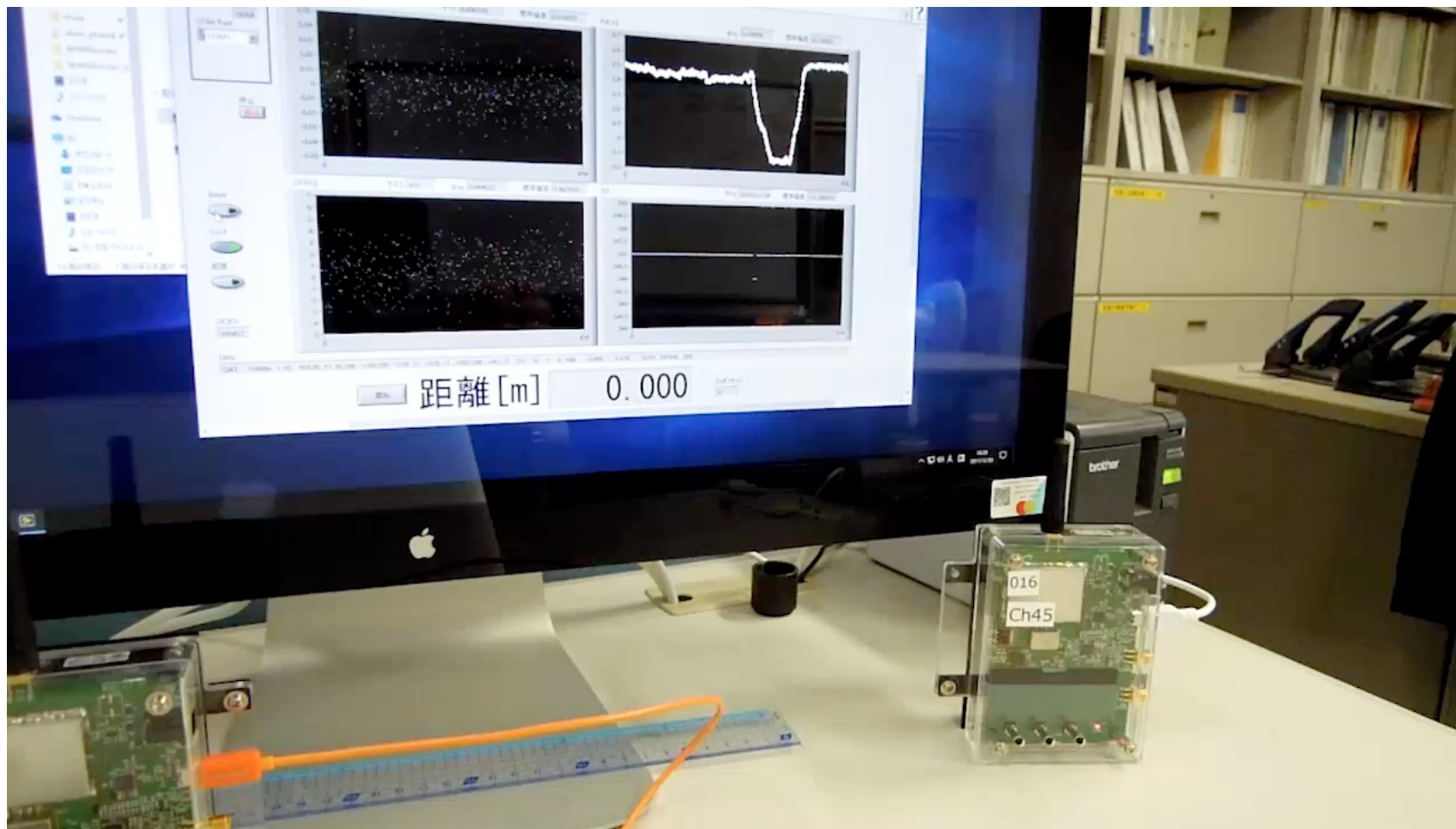


# ワイワイデモ (時刻同期)





# ワイワイコア (位置計測)

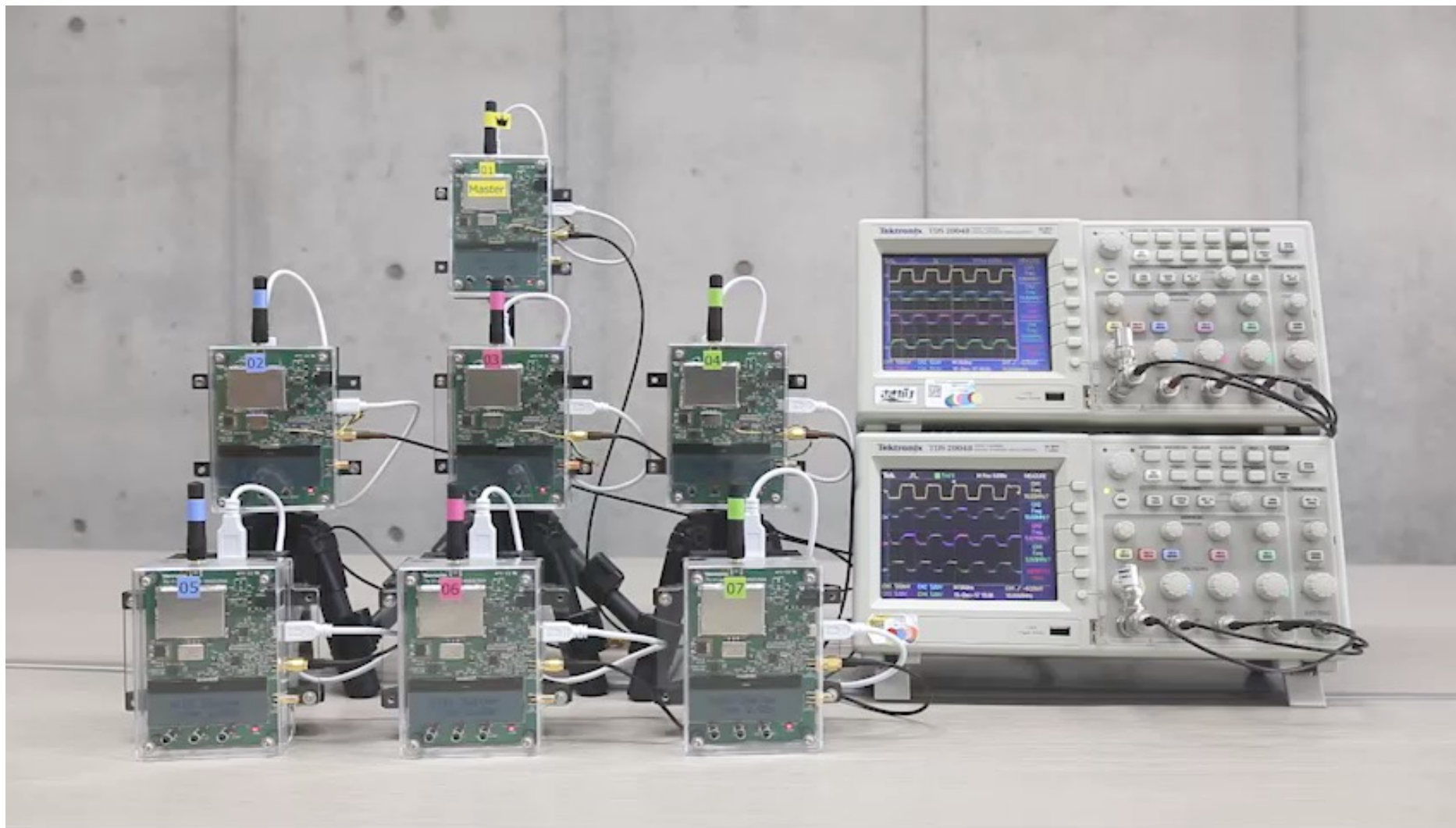


1対1で時刻同期 (ピコ秒) と  
距離変動計測 (mm) を実現

2018年作成

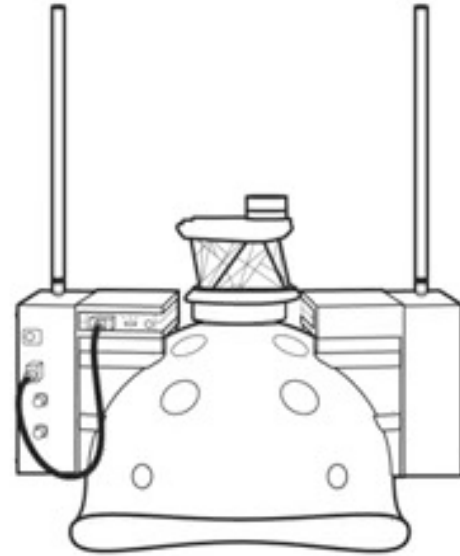


# wiiwi 7台の時刻同期デモ動画



2017年作成

# WiWi フィールドヘルメット測位実験

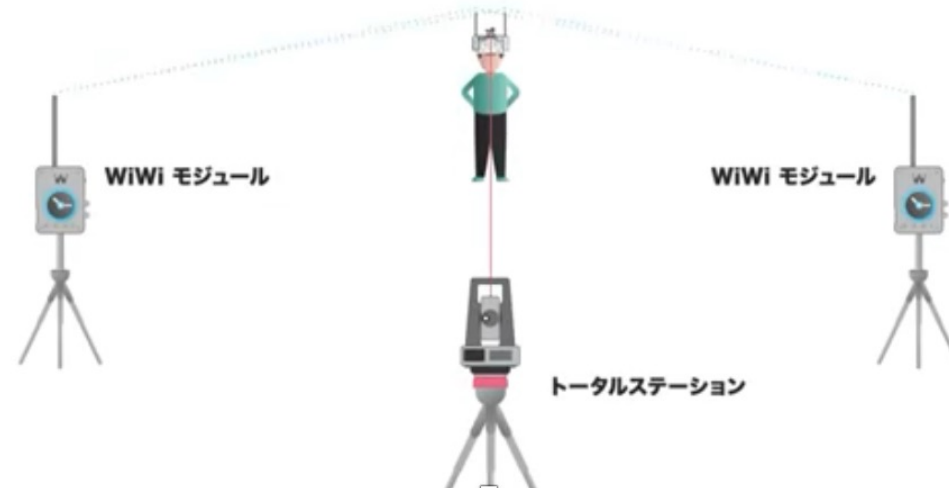




# ヘルメット測位実験の課題



## WiWi Experiment: Distance Measurement Comparison

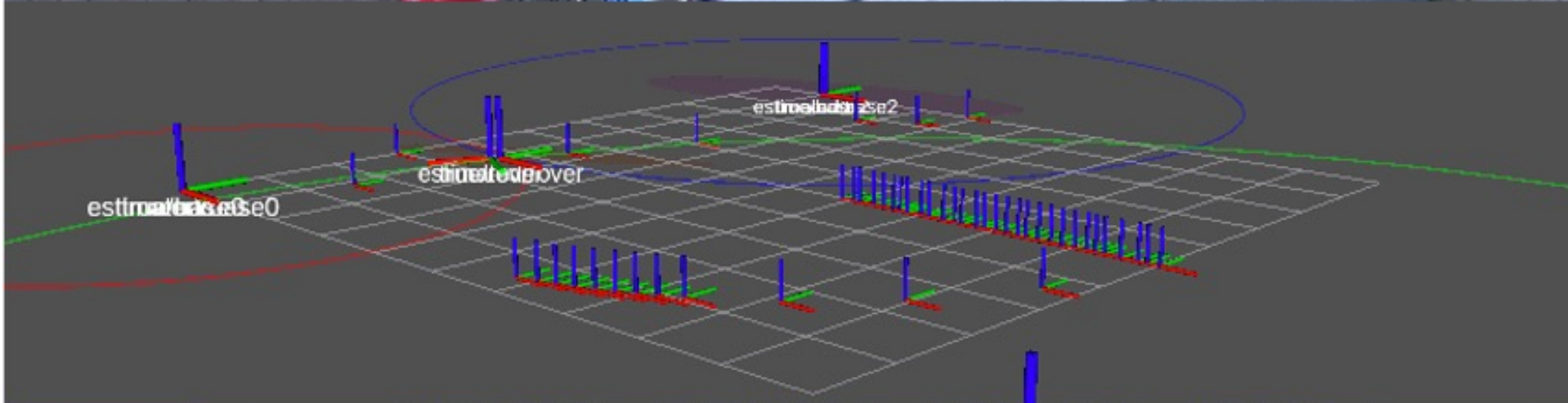


- 固定局およびヘルメットの初期位置を計測する必要がある。
  - ▶ 東北大学のグラフ最適化ソリューション (次スライド)
- 反射波対策が必要

# 電波を用いたデバイス間距離変動計測による ロボットの実時間位置推定



- RSJ2021  
東北大学田所  
研究室  
奈良さんの発表資料



TOHOKU  
UNIVERSITY

- ○奈良貴明<sup>1</sup> 岡田佳都<sup>2,1</sup> 小島匠太郎<sup>1</sup> 滝沢賢一<sup>3</sup>
- 志賀信泰<sup>3</sup> 安田哲<sup>3</sup> 大野和則<sup>1,2</sup> 田所諭<sup>1</sup>

1: 東北大 2: 理研AIPセンター 3: 情報通信研究機構

RSJ2021 211-03



# グラフ最適化による初期計測不要な位置計測



# 本技術のポイント、課題と展望

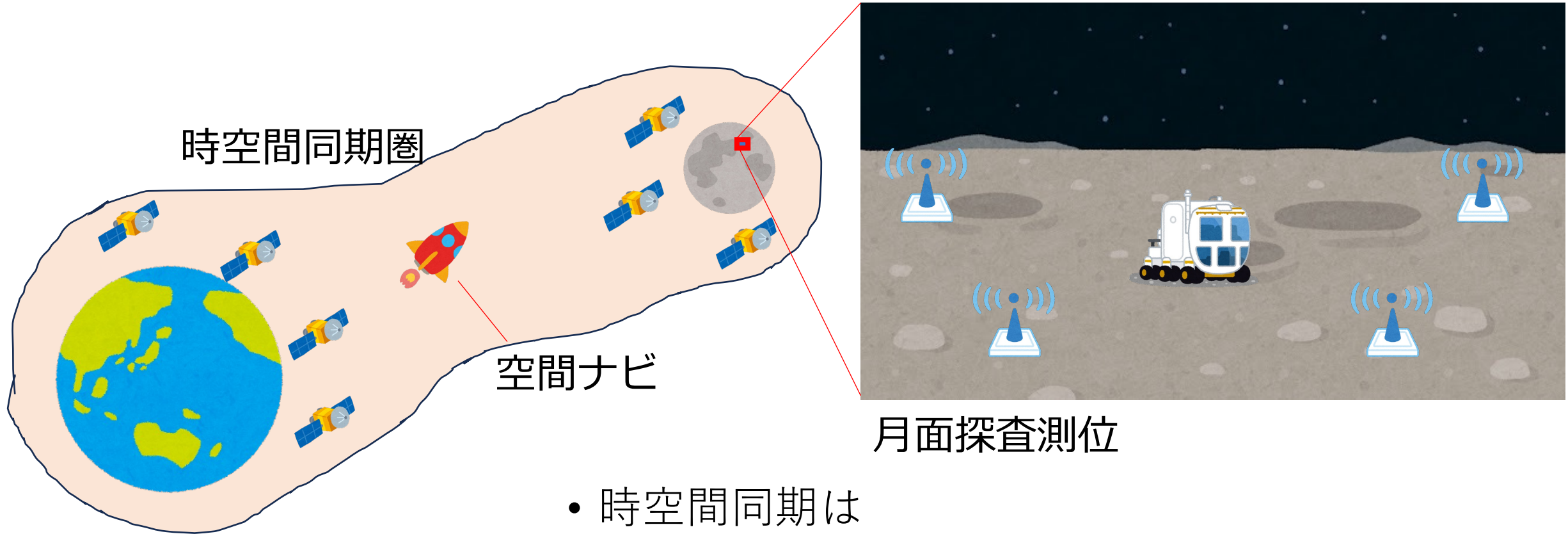
## ポイント

- 搬送波位相情報を活用して基地局の位置とロボットの軌跡を一括推定。
- リアルタイム処理
- 基地局の大体の初期位置がわかっているだけで良い。(3m誤差ほど)

## 課題と展望

- 反射波への対応
- ロボットの移動パターンの最適化

# wiiwi シスルナ圏への時空間同期の貢献



シスルナ時空間同期

- 時空間同期は
  - 月面探査機測位
  - コンステレーションの精密時空間同期
  - 空間ナビに役立つ！（はず）

# wiwi まとめ

- 高精度時刻が当たり前のように手に入る世界を目指しています
- 精密時刻同期と精密位置計測は同じコインの表裏
- シスルナ圏にも貢献できる要素技術
- システムにするためにやることがたくさん  
(研究開発、標準化、ビジネス化、国際連携)
  
- 「本技術のTRLを一緒に高めたい！」と思ってくくださる方は  
[shiga@nict.go.jp](mailto:shiga@nict.go.jp)  
までご連絡ください！
- 「使ってみたい！」でもOKです。