

## GNSS 受信機メーカーの LEO-PNT への 取り組み内容のご紹介

古野電気株式会社  
システム機器事業部 開発部  
開発 2 課  
高山 洋史

1. 自己紹介・会社紹介
2. LEO-PNT: 低軌道(LEO)衛星からの信号を用いた PNT 技術
3. LEO-PNT による都市部における時刻同期精度の向上
4. ドップラ測位に関する研究開発



高山 洋史

## ◆ 所属

- 古野電気株式会社(2009 - 現在)
- 神戸大学大学院博士課程後期課程修了(2019-2023)
  - ◆ システム情報学研究科 浦久保教授の研究室所属

## ◆ 業務経歴

- GNSS 受信機の研究開発
  - ◆ 拡張カルマンフィルタによる測位アルゴリズム
  - ◆ GNSS/INS センサ統合アルゴリズム

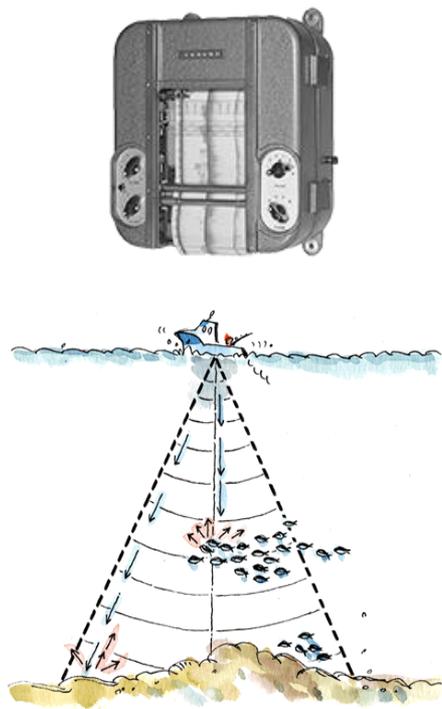
## ◆ Doctoral thesis <https://da.lib.kobe-u.ac.jp/da/kernel/0100482402/>

- Accurate GNSS Positioning in Urban Canyons with Extended Kalman Filter

## ◆ 学会活動等

- 米国航法学会(ION), 測位技術振興会(SAPT) 各会員

1948年 世界初 魚群探知機の実用化に成功



戦後の食糧難の時代に経験と勤による漁業を近代化し安定した水産資源の供給に貢献

代表取締役社長執行役員  
古野 幸男



本社所在地	兵庫県西宮市
事業内容	船用電子機器および産業用電子機器などの製造・販売
資本金	7,534 百万円
従業員（連結）	3,356 名
売上高（連結）	114,850 百万円
上場取引所	東京証券取引所 プライム市場

**Defense****Navigation****Timing****Displacement measurement****Weather forecast****Land management**

**2030年 GPS/GNSS受信機を搭載したデバイスは 100 億台を超えると予想**

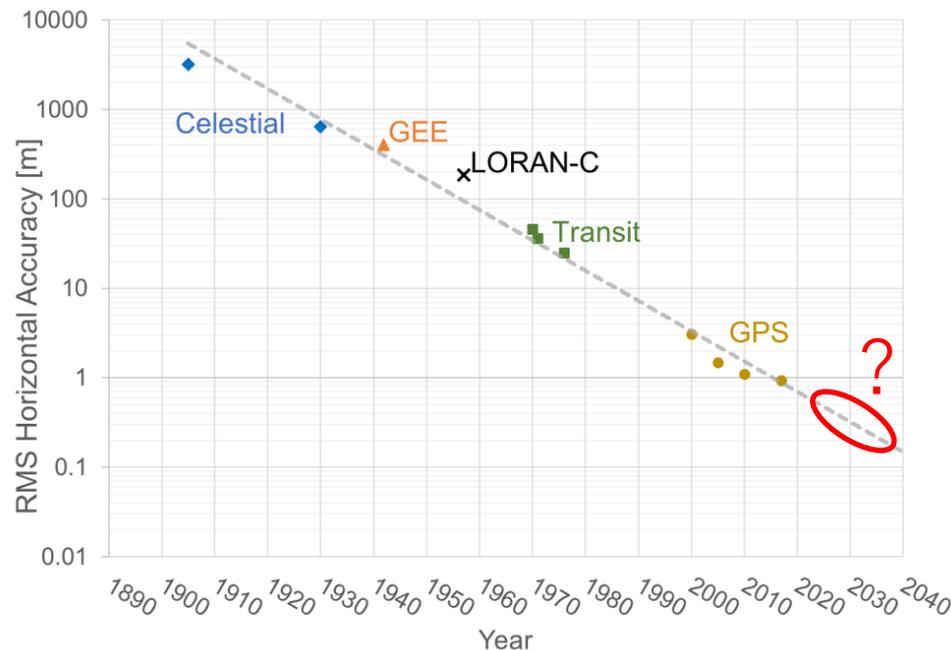
(from Market Report by the EUSPA)

- ◆ Moore's (Navigation) Law
  - 航法システムの経験則
  - 30年スパンで精度が10倍に向上

- ◆ GPS L1C/A の IOC が 1993 年
  - 公称精度 10 m

- ◆ 最近の動向
  - GNSS 側の進化
    - ◆ cm級の高精度測位サービス
    - ◆ CLAS, MADOCA, Galileo HAS, etc.
  - Alternative GNSS の議論
    - ◆ LEO-PNT, VDES-R, etc.

精度 1 m以下の航法システムが  
まもなく登場すると予想



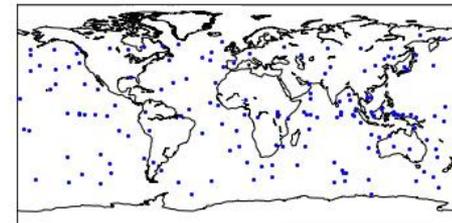
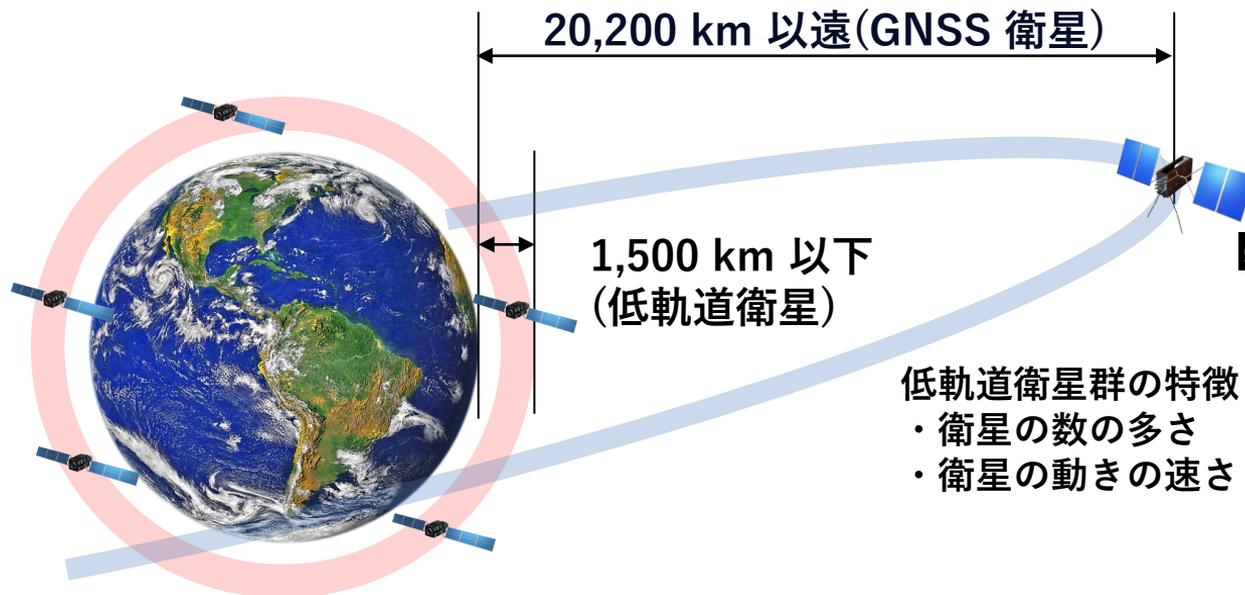
Reid, Tyler & Houts, Sarah & Cammarata, Robert & Mills, Graham & Agarwal, Siddharth & Vora, Ankit & Pandey, Gaurav. (2019). Localization Requirements for Autonomous Vehicles.

※NTN：非地上系ネットワーク

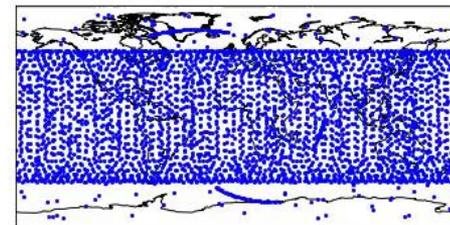
## Beyond 5G/6G の NTN※ 実現のため低軌道(LEO)衛星群が急速に展開

GNSS 約 160 機

### LEO 衛星群からの信号による PNT の実現



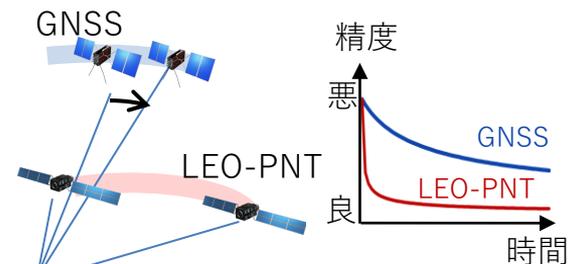
Starlink 約 7,000 機



最終的には数万機から構成

## (a) 実用的な初期化時間の高精度な PNT

GNSS 衛星より数が多いことと  
速く動くことで高精度化



精度と時間の関係は  
衛星の数と速さに依存する

- ✓ GNSS の 1/10 の時間で高精度を実現

**モビリティの自動化に必須の技術**

## (b) セキュアな PNT

信号仕様の秘匿化と暗号化で  
ロバスト性が向上

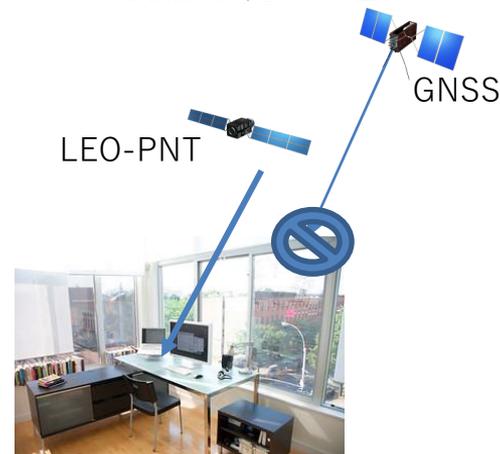


- ✓ 欺瞞(Spoofing) が困難な PNT

**欧州で顕在化した社会問題を解決**

## (c) シームレスな PNT

GNSS の 1,000 倍強い信号で  
受信環境が改善



- ✓ 屋内でも受信できる信号強度
- ✓ 屋内測位が可能

**GNSS の制約を緩和**

- ◆ 2023 年 9 月 Xona Space Systems 社とのパートナーシップを公表
  - LEO-PNT の技術実証とビジネスの可能性検討



Xona 社 Web サイト

<https://www.xonaspace.com/>

**PULSAR Receivers & Chipsets**

Looking a solution for high-performance PNT that is ready to bolt, plug, or solder in? We've got you covered.

From asset trackers to autonomous cars, dog collars to deep water drilling, Xona is working with solution providers who supply some of the world's most trusted satellite navigation equipment for devices big and small.

Need help finding the right solution for your application? [Send us a note](#) and we're happy to help.

 Hexagon   Novatel	 STMicroelectronics	 Septentrio
 Syntony GNSS	 Furuno	 StarNav
 Etherwhere	 Auroxat	

# LEO-PNT による都市部における時刻同期精度の向上



■ 古野電気 web ページ WSTS 2024 参加報告

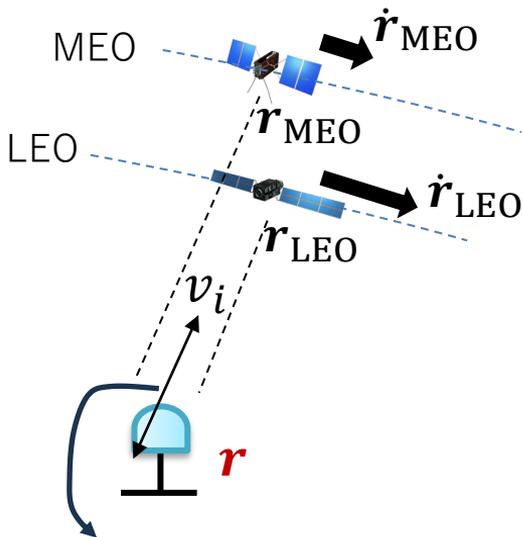
<https://www.furuno.com/jp/newsttopics/exhibition/1586>

■ 本内容は WSTS 2024 の Web ページで公開される予定です。

[2024 Presentations – Workshop on Synchronization and Timing Systems \(atis.org\)](https://www.wsts.atis.org/2024-Presentations-Workshop-on-Synchronization-and-Timing-Systems)

# ドップラ測位に関する研究開発

GPS の前身である Navy Navigation Satellite System の時代に  
5-10 機の LEO コンステを配備し実現



視線方向速度のモデル

$$v_i = \frac{\dot{\mathbf{r}}_i^T (\mathbf{r}_i - \mathbf{r})}{\|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}\|}$$

ドップラ測位

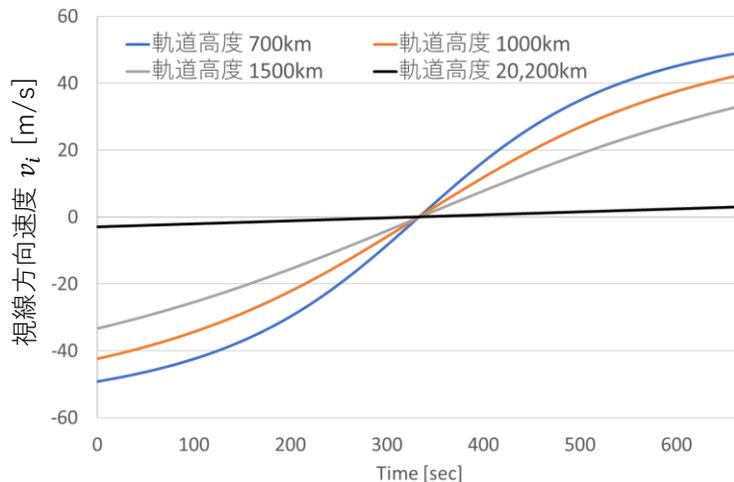
$$\mathbf{r}^* = \operatorname{argmin} J(v_1, \dots, v_M, \mathbf{r})$$

$J$ : コスト関数

ドップラ効果による周波数シフトを観測することで  
ユーザ・衛星間の視線方向の相対速度がわかる。

視線方向速度は衛星の飛行速度に比例する。地球に近く、飛行速度の速いLEO衛星の方が視線方向速度が大きい。

MEO 以遠の衛星を用いる GNSS ではドップラ測位は難しく、LEO衛星の信号だと可能になる理由を説明している。

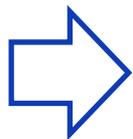


## ◆ LEO-PNT with Purpose-built Constellations

- Xona 社のような測位用 LEO コンステを利用した GNSS like なシステム
- ドップラ測位の研究の対象からは外れる傾向にある

## ◆ LEO-PNT based on Signals of Opportunity (SoOP)

- 一般にドップラ測位は SoOP の観点で対象とされるテーマ
- Starlink のような既にある通信用 LEO コンステの信号を利用
- 測位専用の信号が不要で測位用LEOコンステの構築も不要



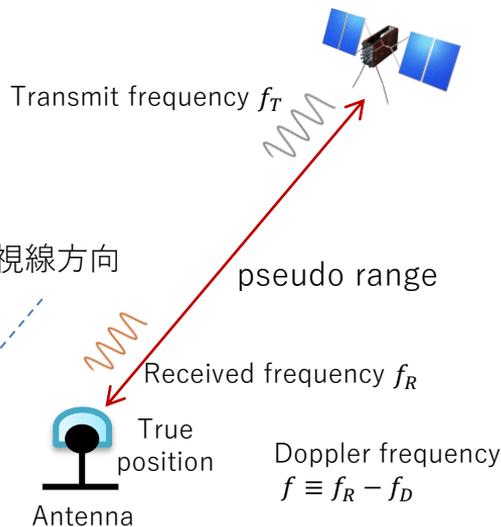
**前者(Purpose-built)の観点でドップラ測位の研究開発に着手**

## LEO-PNT は GNSS とは異なる測位原理に基づく

### GNSS 三角測量

擬似距離から視線方向に位置を観測

GNSS satellite in MEO



※ GNSS でもドップラ周波数は利用されているが  
ユーザ位置ではなく速度推定での利用が一般的。

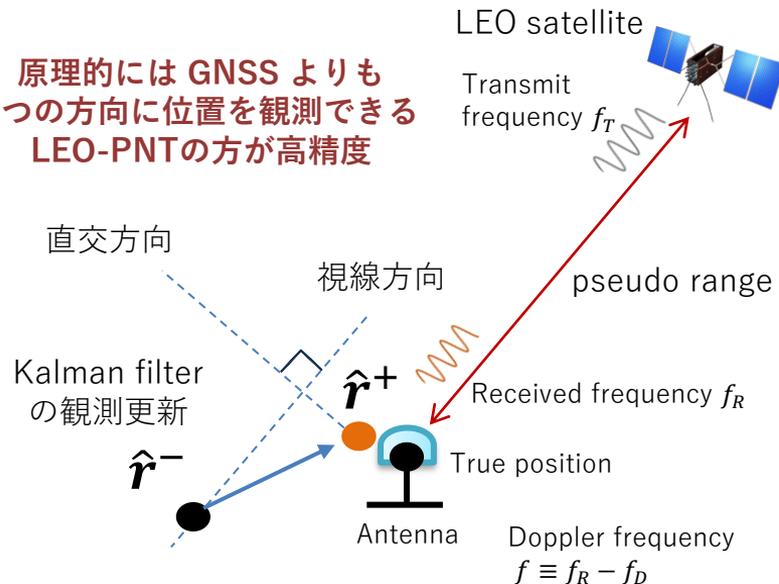
### LEO-PNT

### ハイブリッド原理 = 三角測量 + ドップラ測位

擬似距離から視線方向に位置を観測  
ドップラ周波数から視線方向の直交方向に位置を観測

LEO satellite

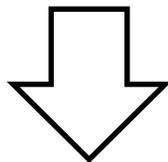
原理的には GNSS よりも  
2つの方向に位置を観測できる  
LEO-PNTの方が高精度



擬似距離

ドップラ  
周波数

位置を観測できる原理の異なる2つのセンサだとみなす  
Purpose-built LEO-PNT ではこれらのセンサ統合が必要



どう統合するか？  
その統合法を研究→カルマンフィルタを使用

**ION GNSS+ 2024 @ Baltimore taking place on Sep. 16-20 で発表予定**

Session E2: LEO for Positioning, Navigation, and Timing

Y. Takayama and T. Urakubo, “Doppler Positioning with LEO Satellites Using Unscented Kalman Filter”

Session D5: Indoor and Urban Navigation and Mapping

Y. Takayama and T. Urakubo, “Performance Evaluation of Kinematic Doppler Positioning with LEO Satellites in Urban Environments”

**FURUNO**

*CHALLENGE*

*the*

*INVISIBLE.*

“見えないものを見るために”