

# 第 1 回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会

日時 平成 31 年 2 月 19 日（火）9:00～12:00

会場 中央合同庁舎 3 号館（国土交通省）11 階特別会議室

## < 議 事 次 第 >

1. 開 会
2. 挨拶
3. 議 事
  - 3-1 本検討会の趣旨について
  - 3-2 衛星測位全般の概況について
    - ・ 衛星測位利用推進センター
  - 3-3 鉄道分野における衛星測位の検討状況や課題、活用の可能性について
    - ・ 鉄道総合技術研究所
    - ・ J R 東日本
    - ・ J R 西日本
    - ・ 京三製作所
    - ・ 交通安全環境研究所
  - 3-4 本検討会の今後の進め方について
4. その他
5. 閉 会

## < 配 付 資 料 >

- 資料 1-01 議事次第
- 資料 1-02 委員名簿
- 資料 1-03 配席図
- 資料 1-04 本検討会の趣旨について
- 資料 1-05 衛星測位利用推進センターからの資料
- 資料 1-06 鉄道総合技術研究所からの資料
- 資料 1-07 J R 東日本からの資料
- 資料 1-08 J R 西日本からの資料
- 資料 1-09 京三製作所からの資料
- 資料 1-10 交通安全環境研究所からの資料
- 資料 1-11 本検討会の今後の進め方について

## 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会 委員名簿

### (委員)

日本大学	名誉教授	中村 英夫
東京大学	大学院新領域創成科学研究科 特任教授	水間 毅
東京大学	大学院工学系研究科 教授	古関 隆章
北海道旅客鉄道株式会社	鉄道事業本部 電気部 副部長 兼 企画課長	牛田 真之
東日本旅客鉄道株式会社	技術イノベーション推進本部 技術戦略部門 部長	小川 一路
西日本旅客鉄道株式会社	鉄道本部 技術開発部 開発Ⅰ 担当部長	間崎 光一郎
四国旅客鉄道株式会社	総合企画本部 副本部長	長戸 正二
東京急行電鉄株式会社	鉄道事業本部 電気部 計画課 課長代理	飯塚 義明
山形鉄道株式会社	代表取締役専務	押切 榮
公益財団法人鉄道総合技術研究所	研究開発推進部 次長	平栗 滋人
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所	電子航法研究所 航法システム領域 上席研究員	坂井 丈泰
一般財団法人衛星測位利用推進センター	専務理事	三神 泉
一般社団法人信号工業協会	株式会社京三製作所 開発センター 理事	浅野 晃
一般社団法人信号工業協会	大同信号株式会社 技術開発本部 第二開発部長	三宮 勇
一般社団法人信号工業協会	日本信号株式会社 執行役員 技術開発本部 安全信頼創造センター センター長 兼 次世代鉄道システム開発室 室長	坂井 正善
一般社団法人日本鉄道運転協会	専務理事	福島 義平
一般社団法人日本鉄道施設協会	企画部 部長	小池 吉博
一般社団法人日本鉄道車両機械技術協会	車両部 部長	鰐淵 悟
一般社団法人日本鉄道電気技術協会	常務理事	宮原 功
一般社団法人日本民営鉄道協会	小田急電鉄株式会社 電気部 課長 (工事担当)	澤田 和巳

### (事務局)

国土交通省 鉄道局	大臣官房技術審議官 (鉄道局担当)	江口 秀二
国土交通省 鉄道局	技術企画課 課長	川口 泉
国土交通省 鉄道局	技術企画課 技術開発室 室長	福元 正武
国土交通省 鉄道局	技術企画課 技術基準管理官	小林 穰
国土交通省 鉄道局	技術企画課 課長補佐	中谷 誠志
国土交通省 鉄道局	技術企画課 技術開発室 課長補佐	溝手 雅士
独立行政法人自動車技術総合機構	交通安全環境研究所 交通システム研究部 部長	佐藤 安弘

(順不同、敬称略)

第1回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会 配席図

資料1-03

傍聴席

日本民営鉄道協会 (小田急電鉄)  
澤田 和巳 様

信号工業協会 (京三製作所)  
浅野 晃 様

信号工業協会 (大同信号)  
三宮 勇 様

信号工業協会 (日本信号)  
坂井 正善 様

日本鉄道運転協会  
福島 義平 様

日本鉄道施設協会  
小池 吉博 様

(代理) 後藤 様

日本鉄道電気技術協会  
宮原 功 様

押切 山形鉄道  
榮 様

東京急行電鉄  
飯塚 義明 様

四国旅客鉄道  
長戸 正二 様

西日本旅客鉄道  
間崎 光一郎 様

東日本旅客鉄道  
小川 一路 様

北海道旅客鉄道  
牛田 真之 様

東京大学特任教授  
水間 毅 様

日本大学名誉教授  
中村 英夫 様

東京大学教授  
古関 隆章 様

衛星測位利用推進センター  
三神 泉 様

電子航法研究所  
坂井 丈泰 様

鉄道総合技術研究所  
平栗 滋人 様

日本鉄道車両機械技術協会  
鰐淵 悟 様

交通安全環境研究所  
交通システム研究部 山口 大助

交通安全環境研究所  
交通システム研究部長 佐藤 安弘

国土交通省 鉄道局 技術開発室  
課長補佐 溝手 雅士

国土交通省 鉄道局  
技術開発室 室長 福元 正武

国土交通省  
大臣官房技術審議官 (鉄道局担当)  
江口 秀二

国土交通省 鉄道局  
技術企画課長 川口 泉

国土交通省 鉄道局 技術企画課  
課長補佐 中谷 誠志

国土交通省 鉄道局 技術企画課  
技術基準管理官 小林 穰

随席

随席

モニタ

発表者席

## 目的

- 宇宙基本計画(平成28年4月1日閣議決定)等を受けて、我が国の測位、通信等のための宇宙システムが強化されてきており、特に、昨年11月に運用が開始された準天頂衛星(みちびき)については、官民からなる大臣会合が設置され、様々な分野で同衛星による高精度測位等の利活用の促進に向けた検討がなされているところ。
- 鉄道分野では、本技術の活用により、走行する列車の位置を精度高く検知することが可能となることから、
  - ・ これまで用いてきた列車位置を検知するための地上設備の省力化・効率化
  - ・ 接近する走行列車の位置を踏まえた保守作業の安全性の向上などが期待でき、将来的には鉄道の運行管理への活用など、鉄道分野での生産性革命に資するものとする。
- このため、有識者や業界団体等からなる「鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会」を立ち上げ、準天頂衛星を含む衛星測位システムの活用方策やその課題等の抽出、フィールド試験による測位データの信頼性の検証等を行い、鉄道分野における本技術の実用化に向けた方向性等をとりまとめるものである。

## 検討会の構成

メンバーは必要に応じ追加

- 座長 中村 英夫 日本大学 名誉教授
- 委員 水間 毅 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 特任教授  
古関 隆章 東京大学 大学院 工学系研究科 教授  
鉄道事業者、関連団体(衛星測位利用推進センター、信号工業協会、日本鉄道施設協会、日本鉄道車両機械技術協会、日本鉄道運転協会、日本鉄道電気技術協会、日本民営鉄道協会)、研究機関(鉄道総合技術研究所、電子航法研究所)
- 事務局 国土交通省鉄道局、交通安全環境研究所

## 検討スケジュール

2019年中にとりまとめを行う予定

- 第1回検討会:2019年2月19日開催

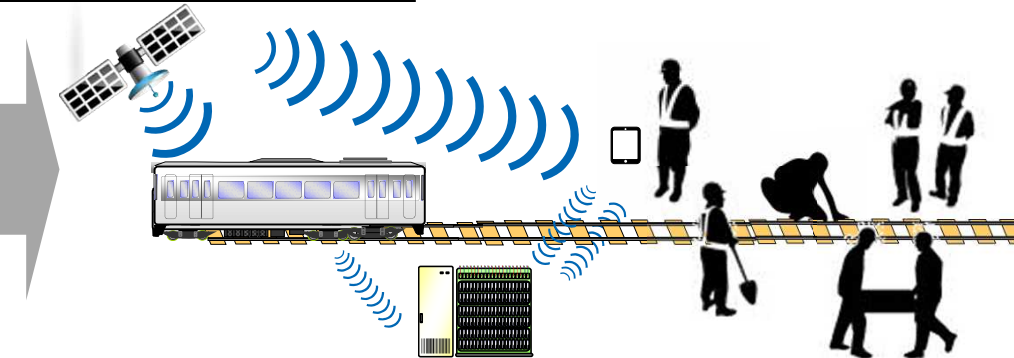
## 準天頂衛星を活用した衛星測位

- 位置検知の精度については、従来GPSでは5～10mであるが、準天頂衛星を活用した場合、数cmの精度を実現できる可能性がある。

## 準天頂衛星等システムの活用イメージ

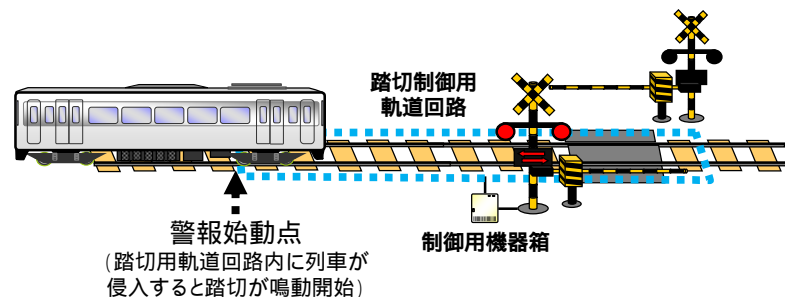
### 列車接近【保線作業の安全性向上】

- 保線作業では、監視員が接近する列車の運行ダイヤ等を確認しながら、保線作業を実施。



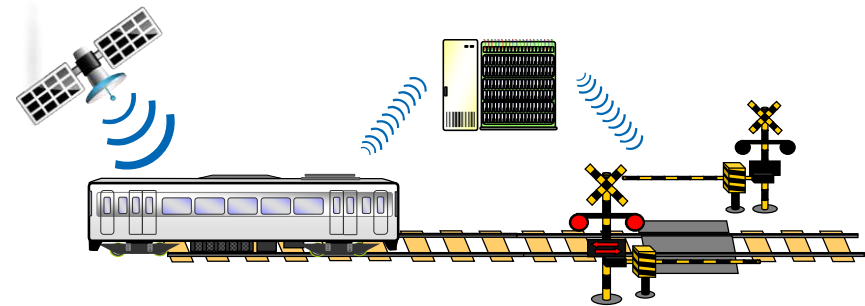
- 接近する列車と作業員との位置関係を精度高く把握することにより、保線作業の安全性の向上や作業の省力化等が図られる。

### 踏切【鳴動時間の最適化】



- 列車の速度等に関係なく、列車が警報始動点通過後に踏切が鳴動開始する。

(注) 普通列車と特急列車で警報始動点を変えている場合あり。

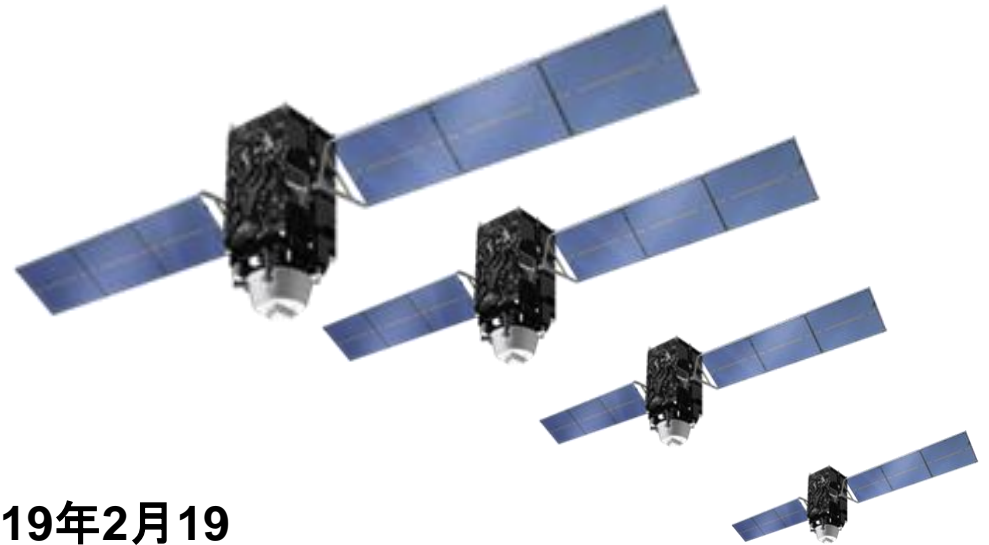


- 接近する列車と踏切との位置関係を連続的に把握することにより、列車の速度等に応じて踏切鳴動時間の最適化が図られる。
- また、列車位置検知のための地上設備の削減が可能。

将来的には運行管理への活用も期待される

図等については、一部は交通安全環境研究所資料より引用

# GNSSサービスと鉄道分野における利用動向



2019年2月19

一般財団法人 衛星測位利用推進センター (SPAC) 専務理事  
博士(工学) 三神 泉

- (1) 設立: 平成19年2月5日
- (2) 事業内容: 準天頂衛星システムの利活用の推進と整備支援
- (3) 理事長: 岡部 篤行(元東京大学大学院教授、現青山大学教授)
- (4) 専務理事: 三神 泉
- (5) 人員数(理事・幹事除く): 常勤 11名、非常勤3名

## cm~m精度の実証用測位補強情報生成システムの開発

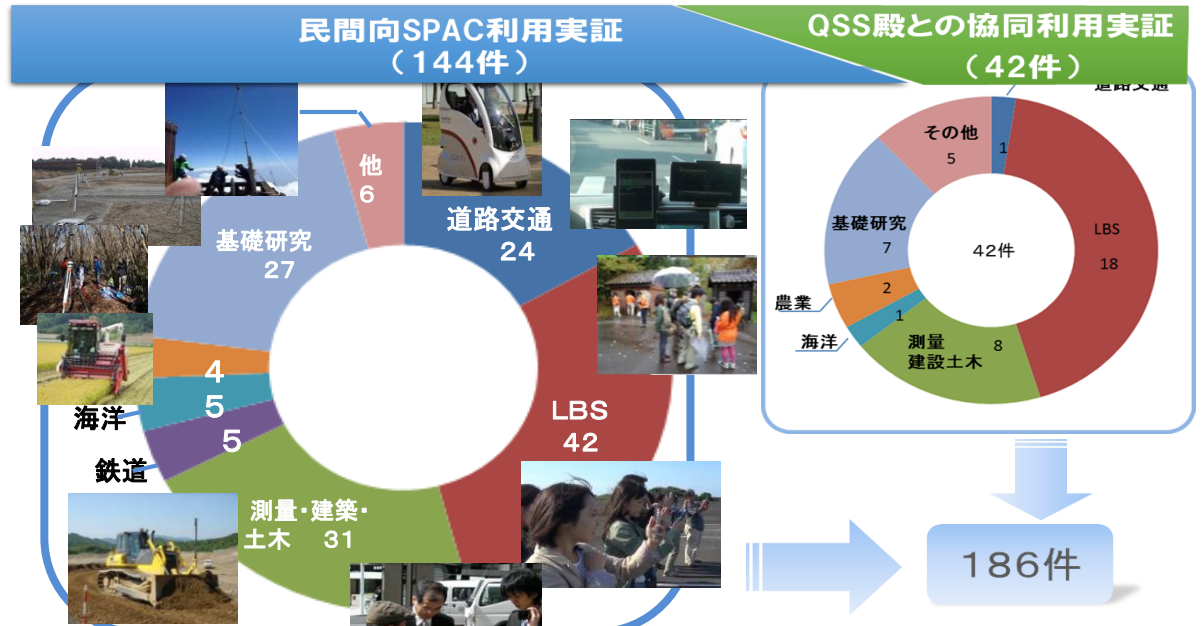
- みちびき初号機から世界初の測位補強情報を配信
- 数多くの実証試験をサポートしみちびきの利活用を促進
- みちびき利活用に必要な新技術の研究開発

**CMASサーバ**

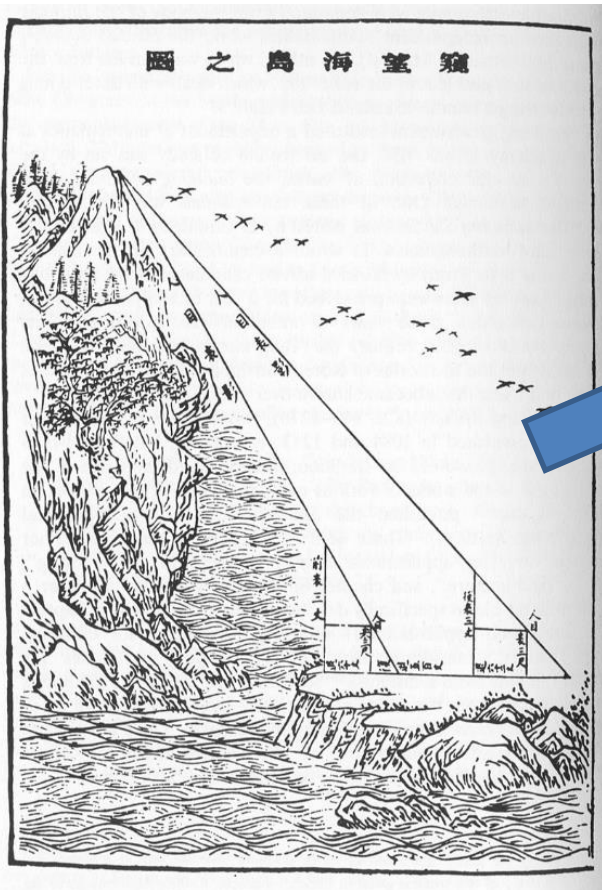
**LEX-R受信機**  
低遅移動体端末+表示PC+アンテナ

**L1-SAIFサーバ**

**受信端末**  
QZSR Bluetooth QZPOD

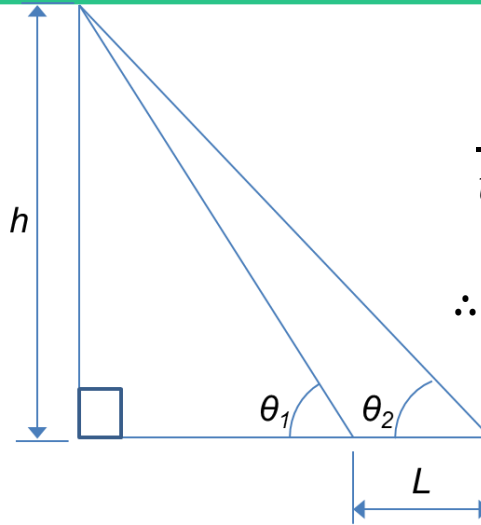






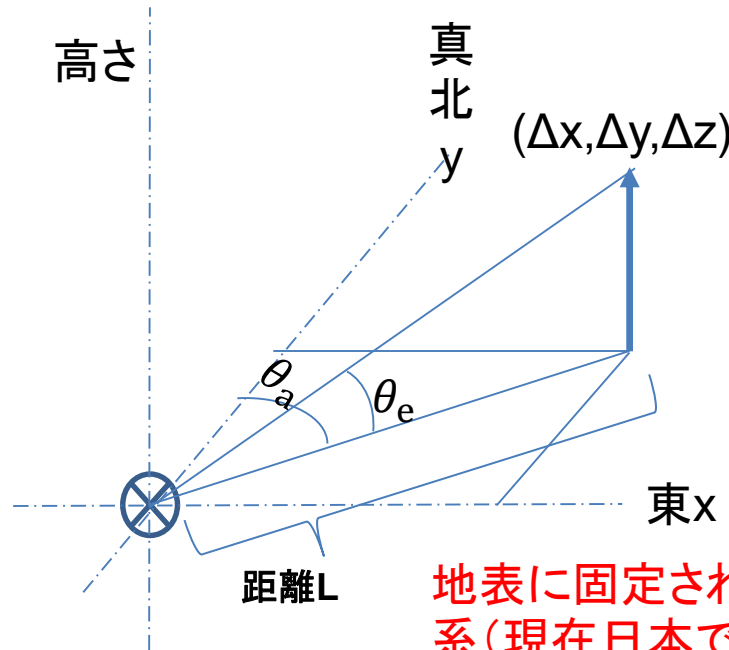
263年頃の三角測量の例  
(劉徽、263年頃)  
ウィキペディアから引用

地球が丸いことの直接証明はマゼラン  
の世界一周1522年(実際は楕円体)



$$\frac{h}{\tan\theta_2} - \frac{h}{\tan\theta_1} = L$$

$$\therefore h = \frac{\tan\theta_1 - \tan\theta_2}{\tan\theta_1 \tan\theta_2} L$$



$$\Delta x = L \sin\theta_a$$

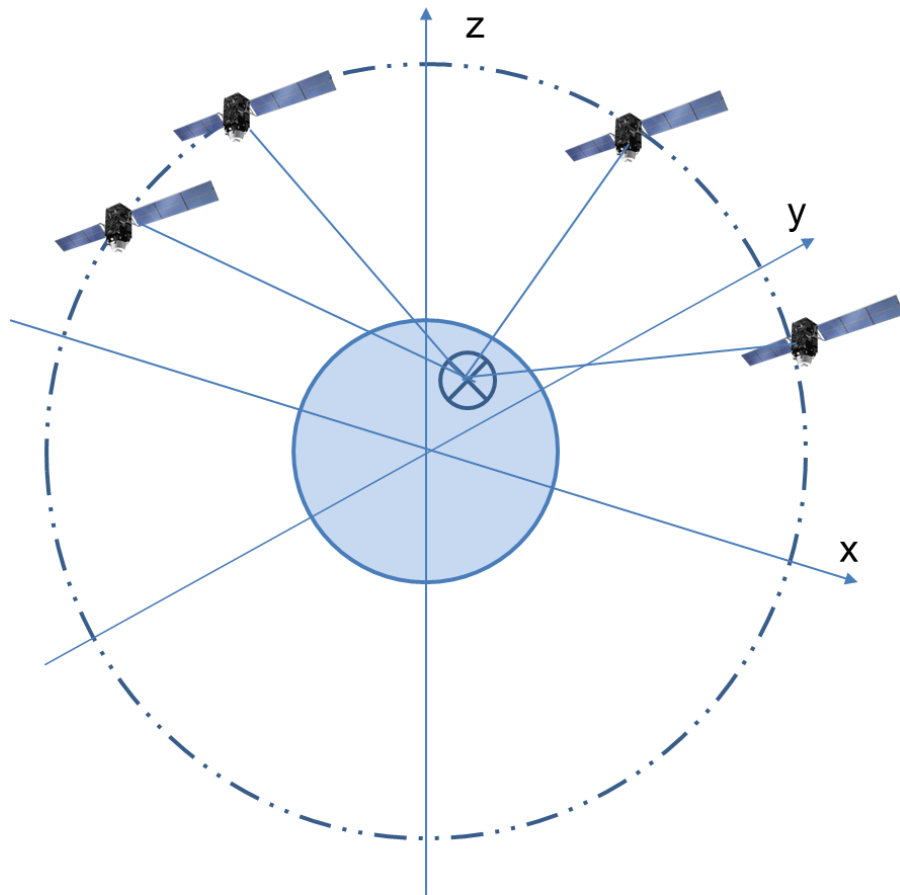
$$\Delta y = L \cos\theta_a$$

$$\Delta z = L \tan\theta_e$$

測量の基本は、既知の点  
の座標から距離と2つの角  
度(3つの測定量)を使用し  
て3個の未知数を決定。

地表に固定された基準点依存の座標系(現在日本ではJGD2011を適用中)





## 地上の測量

既知の座標(基準点)から3つの量を測定して、 $x, y, z$ の3つの未知数を算出



## 衛星測位

3つの衛星の位置情報を測定してから地球上の自分の座標( $x, y, z$ )の3つの未知数を算出すると誤差が大きい。

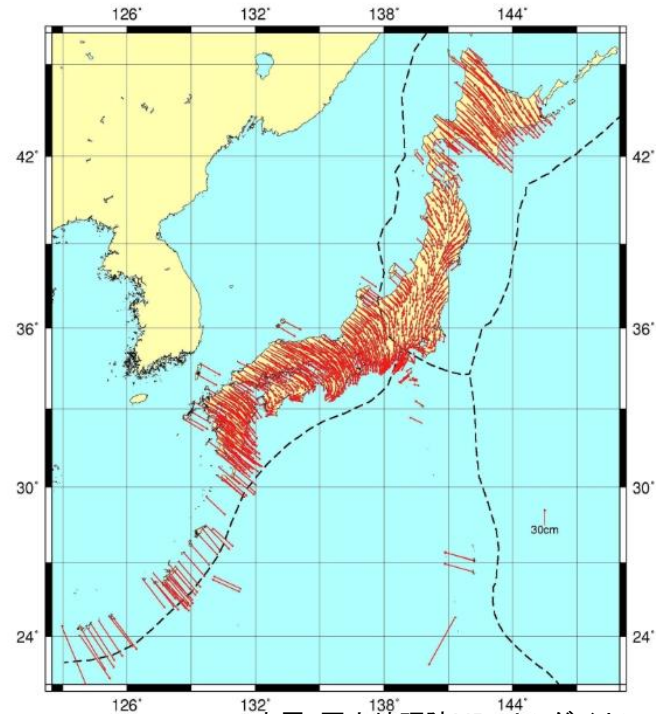
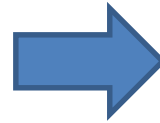
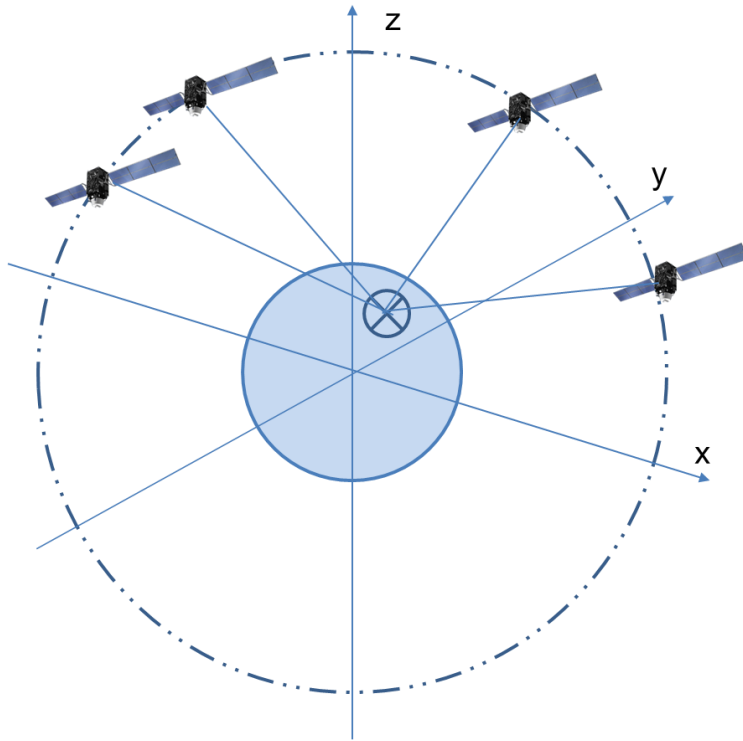
誤差要因は、受信機の時計に誤差が( $3 \times 10^{-9}$  秒程度)ある。

$$\text{光速} \times 3 \times 10^{-9} \sim 1 \text{ m}$$

4つの衛星の位置情報を測定して、地球上の自分の座標( $x, y, z$ )と受信機の時計誤差 $t$ の4つの未知数算出。

最低でも4基の測位衛星の観測が必要

衛星は地球の質量中心基準で飛翔する為、測量が使う地表上の地図の座標基準が、いきなり、**地球質量中心の座標系**に変わる。



出展: 国土地理院HP セミダイナミック補正

元期(地図)座標の定義時刻  
日本では、1997年1月1日、(一部の地域では  
2011年5月24日)に、測量結果を世界測地系  
の座標系に合わせこんだ。この時点では、

**世界測地系 = 元期座標系 (JGD2011)**

ということが出来る。

元期座標から、年々の地殻変動ずれは、3つのプレート移動や、地震等によって発生する。発生量は地方によってバラバラ。衛星測位は、この移動後の位置を正確に測定する。従って、

衛星測位結果 = 元期座標 + 地殻変動量  
となるため、元期座標での測位結果にする為には、

**元期座標 = 衛星測位結果 - 地殻変動量**  
という処置を施さねばならない。



Photos from Cabinet Office "Michibiki" website



### みちびき3号機(静止衛星)

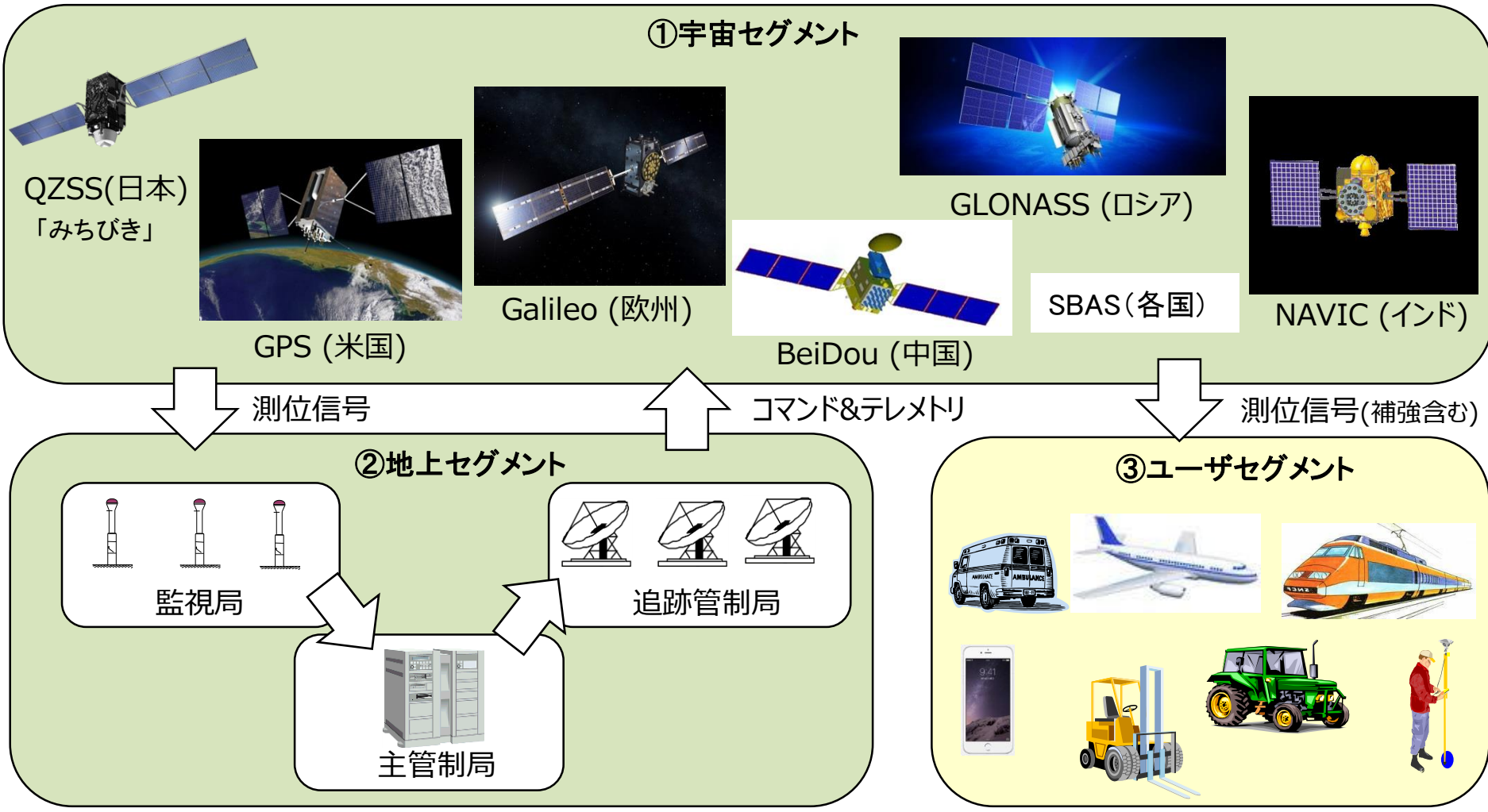
Photos from Cabinet Office "Michibiki" website



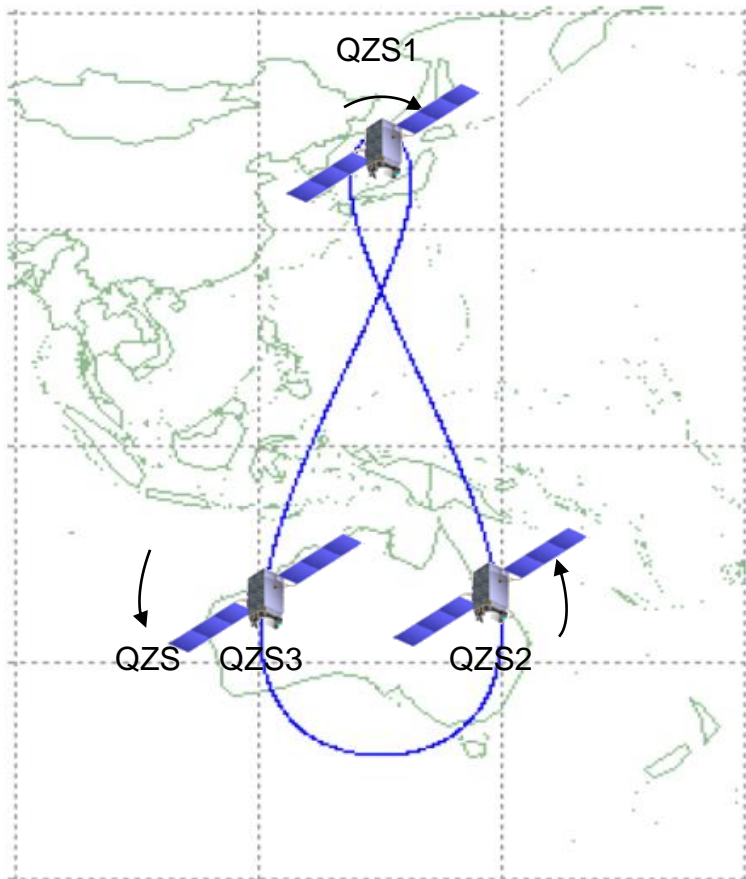
### 総理出席の歩記念式典

Photos taken by Dr. I Mikami

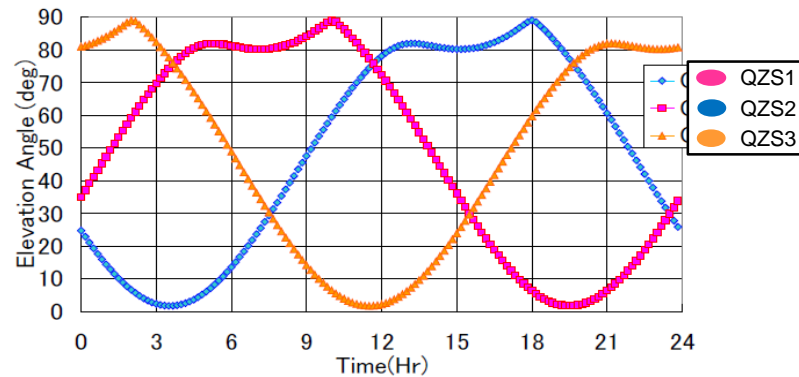
全地球航法衛星システム (**GNSS**: Global Navigation Satellite System) = ① + ② (インフラ)  
衛星測位サービス: インフラ (① + ②) からユーザセグメント (③) へ提供



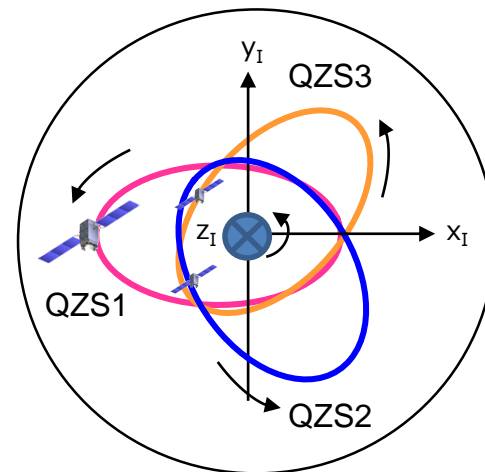




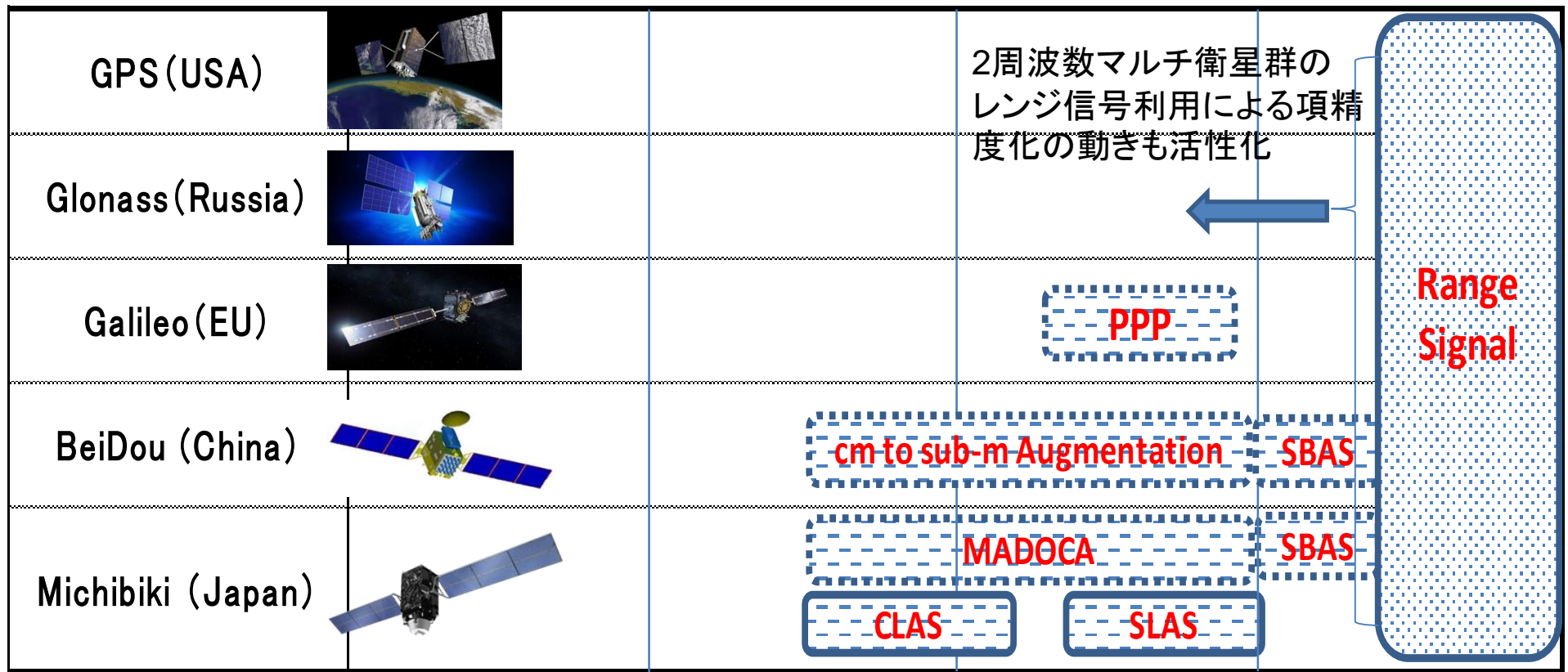
Earth surface trace of nominal orbits (1)



Elevation angle each IGSO in Tokyo (1)



Orbits with respect to earth axis



2周波数マルチ衛星群のレンジ信号利用による項精度化の動きも活性化



PPP

cm to sub-m Augmentation SBAS

MADOCA SBAS

CLAS

SLAS

Range Signal

1mm

1cm

10cm

1m

10m

Under service

Under test or planning

PPP: Precise Point Positioning

SBAS: Satellite-Based Augmentation System, MADOCA: Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis

CLAS: Centimeter Level Augmentation Service, SLAS: Sub-meter Level augmentation Service

信号名称	中心周波数 (MHz)	初号機	2/4号機	3号機	配信サービス	
		準天頂軌道		静止軌道	用途	内容・特色
		1機	2機	1機		
<b>L1C/A</b>	1575.42	◎	◎	◎	衛星測位	現在測位に広く使われている測距信号
L1C		◎	◎	◎	衛星測位	L1C/Aよりマルチパスに強い測距信号
L1S		◎	◎	◎	サブメータ級測位補強	SLAS補強配信、日本全国
L1Sb		-	-	◎ 2020予定	災害・危機管理通報	緊急メッセージ放送
L1Sb		-	-	◎ 2020予定	m級測位補強	SBAS(航空機ナビゲーション用)補強信号
<b>L2C</b>	1227.6	◎	◎	◎	衛星測位	2周波受信機に現在使われる測距信号
L5	1176.45	◎	◎	◎	衛星測位	2周波受信機で将来用途が広がる測距信号 受信電力も高くマルチパスにも強い
L5S		-	◎	◎	m級測位補強	2周波SBAS技術実証、日本周辺 将来局地地方へのサービスが期待される
L6D	1278.75	◎	◎	◎	cm級測位補強	CLAS配信、日本全国
L6E		-	◎	◎	cm～デシm級測位補強	MADOCA実証、日本～アジア太平洋地域
<b>Sバンド</b>	2000	-	-	◎	衛星安否確認	緊急メッセージ放送、双方向通信

出典:みちびきウェブサイト(<http://qzss.go.jp/technical/system/pnt.>)の情報に作者が追記



サービス名称	補正対象信号	補正対象衛星数	時計誤差	バイアス誤差	軌道誤差	電離層遅延	対流圏遅延	測位方式	測位誤差 (rms)
SLAS	コード	QZS, GPS, Galileo, BeiDou, GLONAS	◎	◎	◎	◎	◎	DGPS	水平: 1.0m 高さ: 2.0m
CLAS	コード+搬送波位相	GPS, QZS, Galileo (11機がmax)	◎	◎	◎	◎	◎	PPP-RTK	静止 水平: 3.47cm 高さ: 6.13cm 移動体 水平: 6.94cm 高さ: 12.25cm
MADOCA		QZS, GPS, Galileo, BeiDou, GLONAS	◎	◎	◎	—	—		PPP

## DGPS: Differential GPS

測距信号の中のコード信号のみを用いて専用受信機内部でRTK測位と同様な測位演算を行い、単独測位で水平数10cmから1m級以下の測位精度を達成。

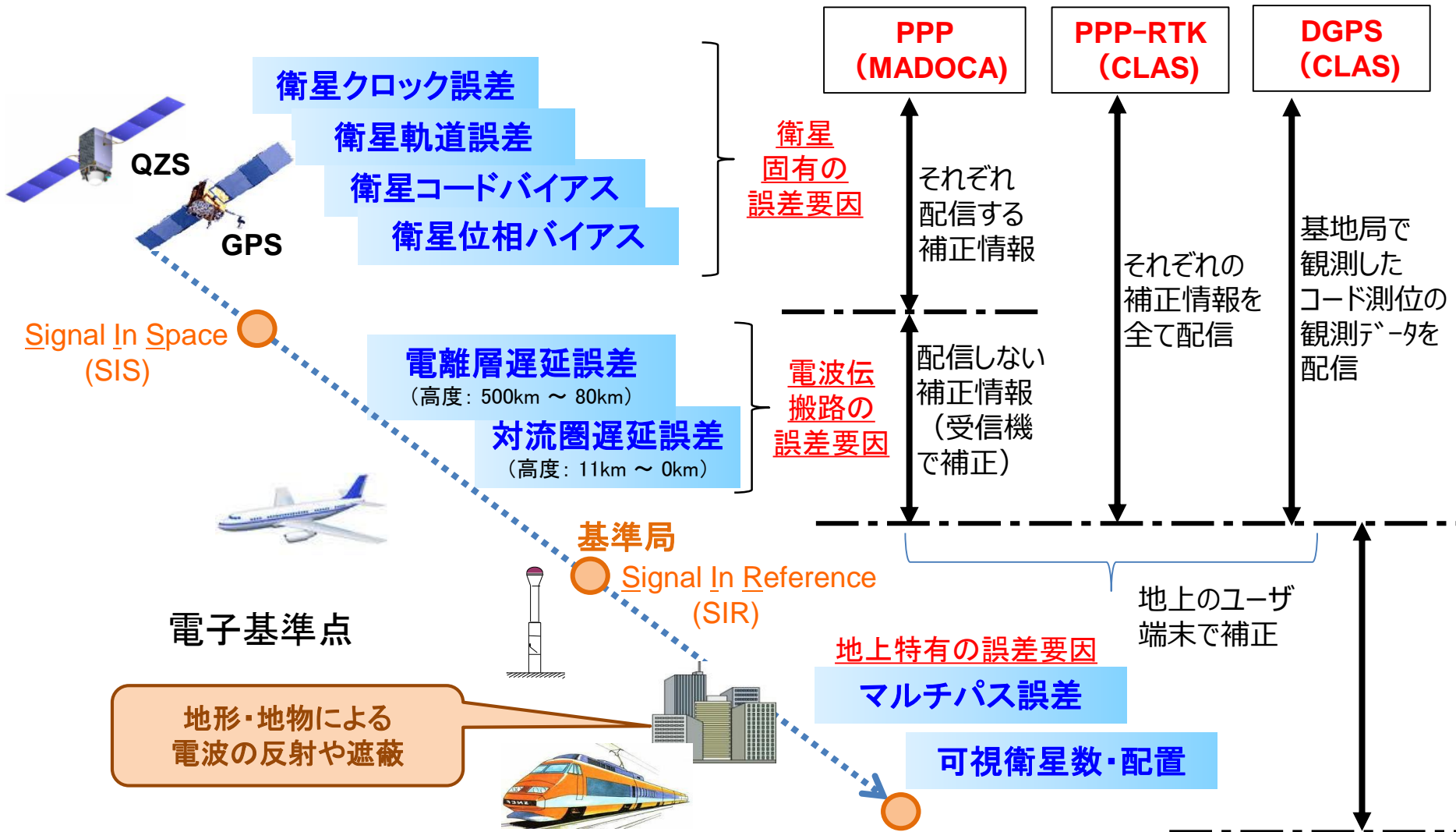
## PPP-RTK: Precise Point Positioning

測距信号の中のコード信号と搬送波位相の双方を用いて専用受信機の内部でRTK測位演算ができるようにして、Fix解を求め、単独測位で水平、高さ数cm級の測位精度を達成。最初のFix解取得までの時間は60秒以下。

## PPP: Precise Point Positioning

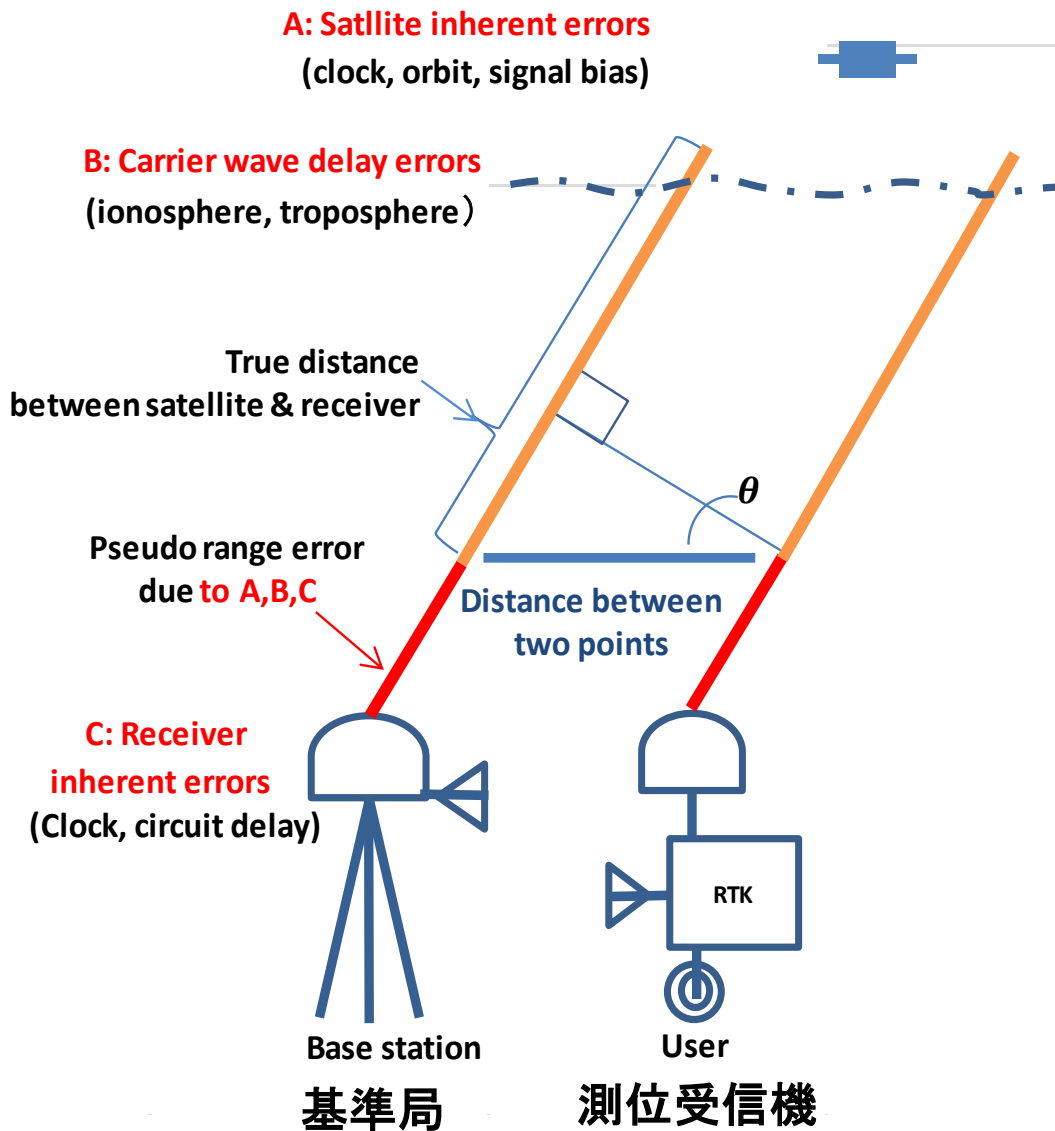
測距信号の中のコード信号と搬送波位相の双方を用い、専用受信機で2周波受信して電離層誤差を推定し、受信機内部でPPP測位演算を行い、単独測位で水平、高さ共に数cm~10cm級の測位精度を達成。最初のcm級取得までの時間は20分程度。

# 衛星測位の誤差要因と測位補強情報による補正



出典 浅里他、“精密単独測位—準天頂衛星におけるSSRの活用”、測位航法学会全国大会、2014年4月

# 既存技術によるcm級精度達成方法 (RTK)



- 衛星に固有の誤差  
→ 両者共通
- 電波伝播路で発生する誤差  
→ 両者間距離が十分小さい(数 km)の場合に同じ誤差量と見做してよい
- 受信機回路の誤差  
→ 測位受信機、基準局がそれぞれ観測する2個の衛星の観測データの差分をとって誤差を相殺



- RTK (Real Time Kinematic) 法**
- 両者それぞれが観測する同じ測位衛星ごとに両者間の観測データを減算すれば、a、bが消える。
  - cは小さいため、両者間の距離が求まる。
  - 予め基準局の位置を測っておき、その位置から相対測位

**A': Satellite inherent errors**  
(clock, signal bias, orbit)



## PPP: Precise Point Positioning

**B: Carrier wave delay errors**  
(ionosphere, troposphere)

Geometric distance  
(Calculated using Ephemeris data  
and user's rough position)

Orbit error with respect  
to Ephemeris

Sum of  
Augmentation data

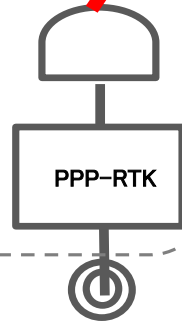
True pseudo  
range errors

non-physical reference point  
(User's rough position obtained  
by GNSS point positioning)

True distance  
between  
satellite & receiver

Distance between  
two points

$\theta$



測位受信機

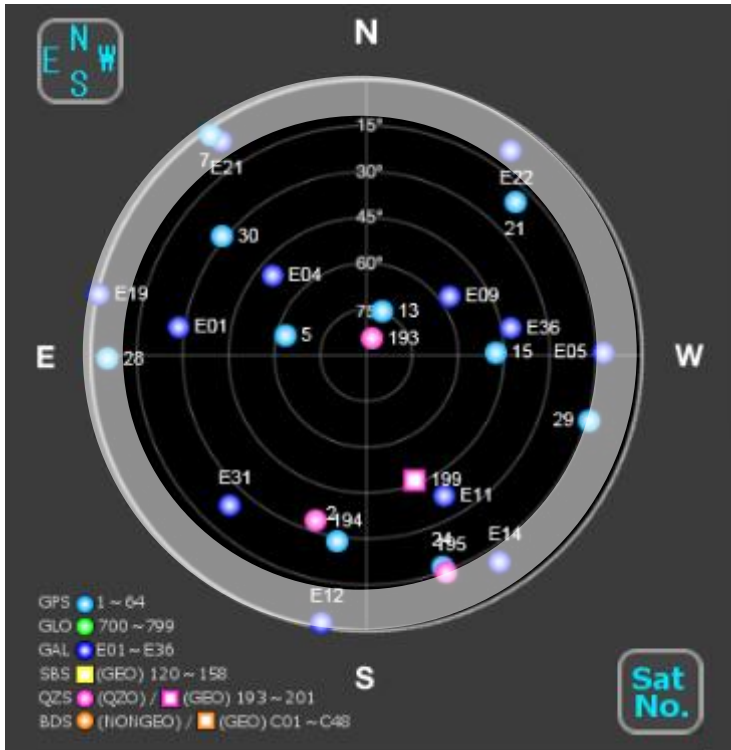
1. 通常のラフな単独測位を行い、仮想点座標として採用
2. 仮想点と衛星間の幾何距離、CLAS補強情報の全補正距離を加え、仮想点の人工的観測データを算出
3. 仮想点座標、人工的観測データをRTK演算部に対し出力
4. RTK演算部は、Base Stationからの情報と見做して通常のRTK測位を行いcm級精度を達成

出典: Mikami, et. Al, "Bridge Method between RTK and PPP-RTK by the Medium of Augmentation Data", IONPNT 2017

$$L_p = L_t + (E_A + E_B + E_C) = L_g + \sum E_D$$

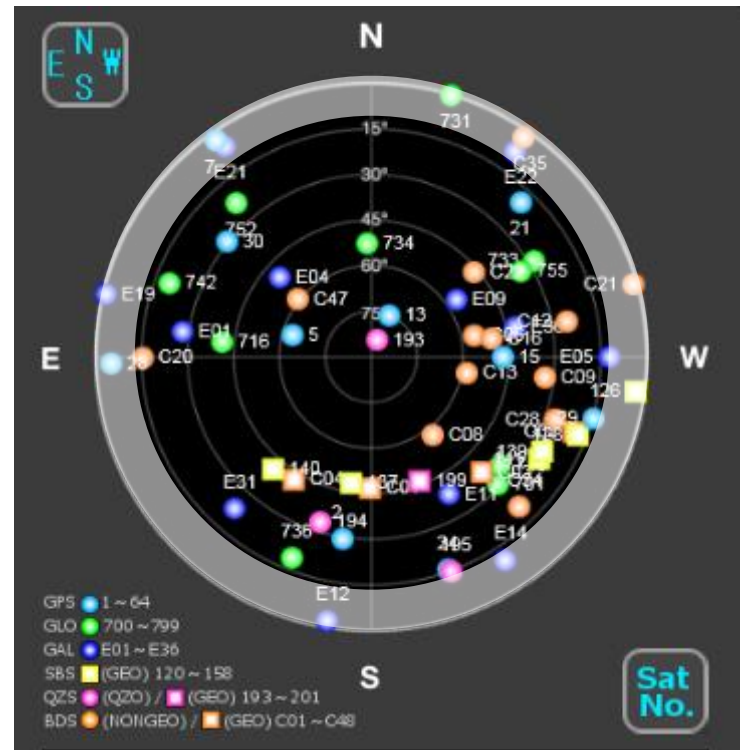
$$L_g = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

# みちびきcm級サービス(CLAS)と他の高精度化策の比較



みちびきのcm級測位補強サービスCLASが用いる衛星群  
(実際はこの中で11衛星のみ)

- ① cm級の精度までが達成可能
- ② 使用座標系に対する位置精度確保
- ③ 超高層ビル間で測位失敗がある



中国製最新スマホが利用する  
世界の測位衛星

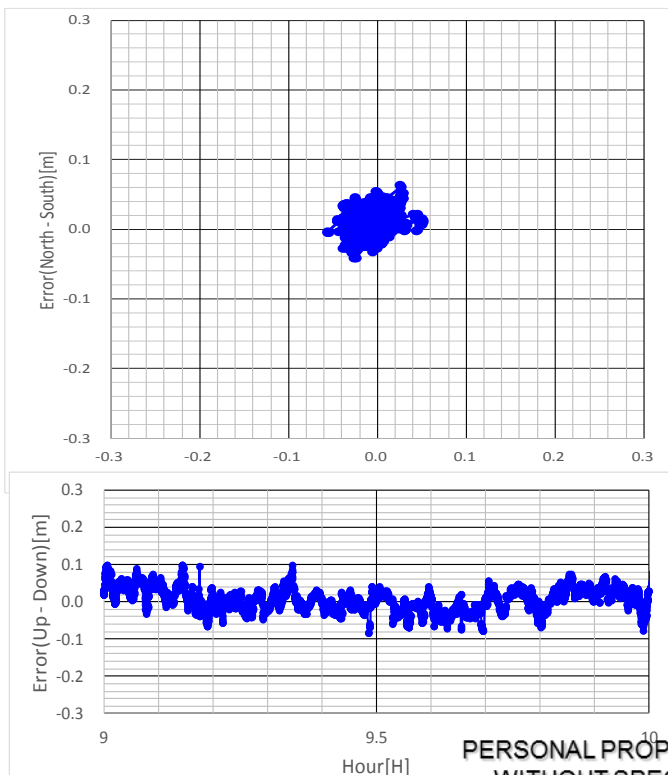
Photos from GnssView, Cabinet Office "Michibiki" website

- ① 0.7mの精度まで達成可能
- ② 使用座標系に対する位置精度は悪い
- ③ 超高層ビル間でも測位がほぼ常時可能

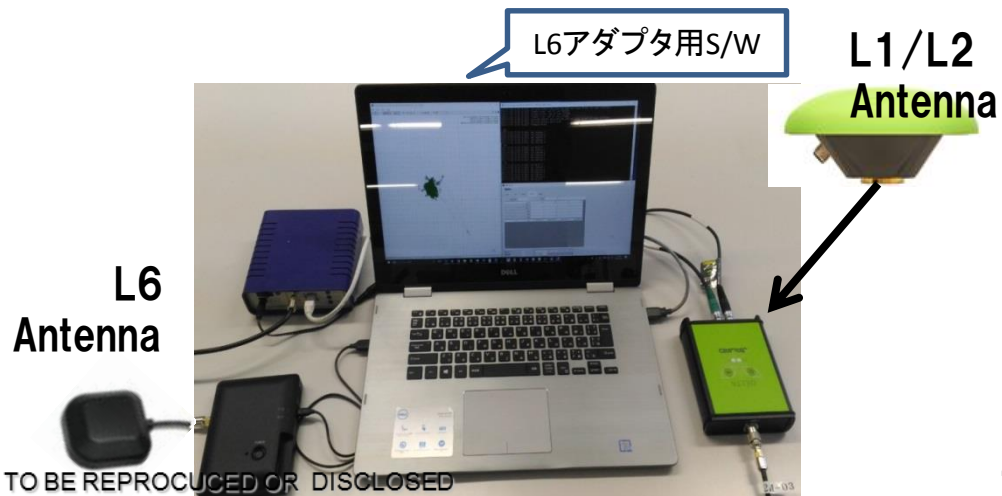
## L6アダプタ受信機製品イメージ



試作機による性能評価2018年5月(株式会社コアとの共同開発にて実施)



Fix rate	98.5%	
Accuracy	Horizontal	2.2cmRMS
	Height	3.2cmRMS

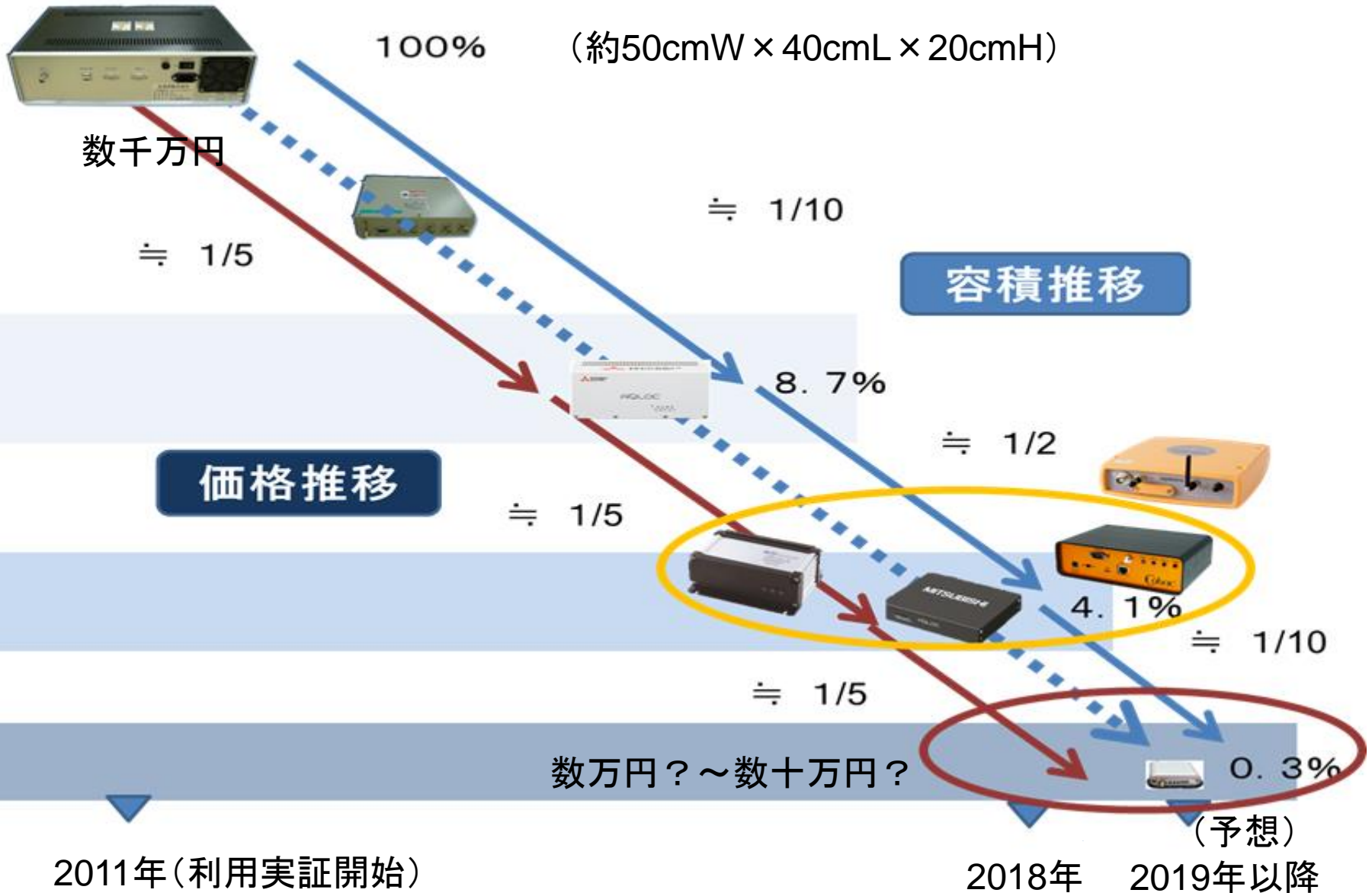




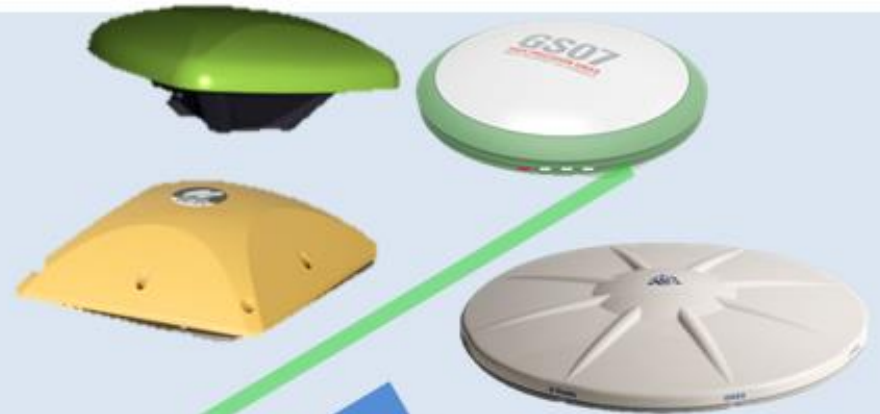
# 農業用トラクタ自動運転利用シーン(動画)







20万円～50万円



マルチ周波パッチアンテナ

低価格マルチ受信アンテナ

1周波パッチアンテナ

数千円

車載

測量・土木建機 分野

## cm級CLAS:4社 (Septentrioが2019年に参入予定)

企業名	型式	発売時期	QZS				GPS			Galileo		Ionass		Beidou		Others
			L1	L2	L5	L6	L1	L2	L5	E1	E5	G1	G2	B1	B2	
三菱電機	AQLOC-VCX	2018年11月	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	AQLOC-VCX II	2019年春	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
日本無線	JG11 PPPモデル	2018年8月	○				○							○		SBAS
	JG11 PPP-RTK	2019年春	○	○		○	○	○		○		○		○		
マゼランシステムズジャパン	多周波マルチGNSS 受信機ユニット	2018年	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
コア	Chronosphere-L6	2018年10月	○	○	○	○	○	○	○	○	○					

## サブメートル級SLAS:2社 (2018年末にソフトバンクも受信機を販売)

ソニー	CXD5603GF	リリース済	○				○			○		○		○		SLAS
古野電気	GF-88	2019年4月	○				○			○						SLAS

## RTK専用低価格受信機

u-blox	ZED-F9P	2018年11月	○	○			○	○		○	○	○	○	○	○	
--------	---------	----------	---	---	--	--	---	---	--	---	---	---	---	---	---	--

日本無線 JG11 PPP-RTK

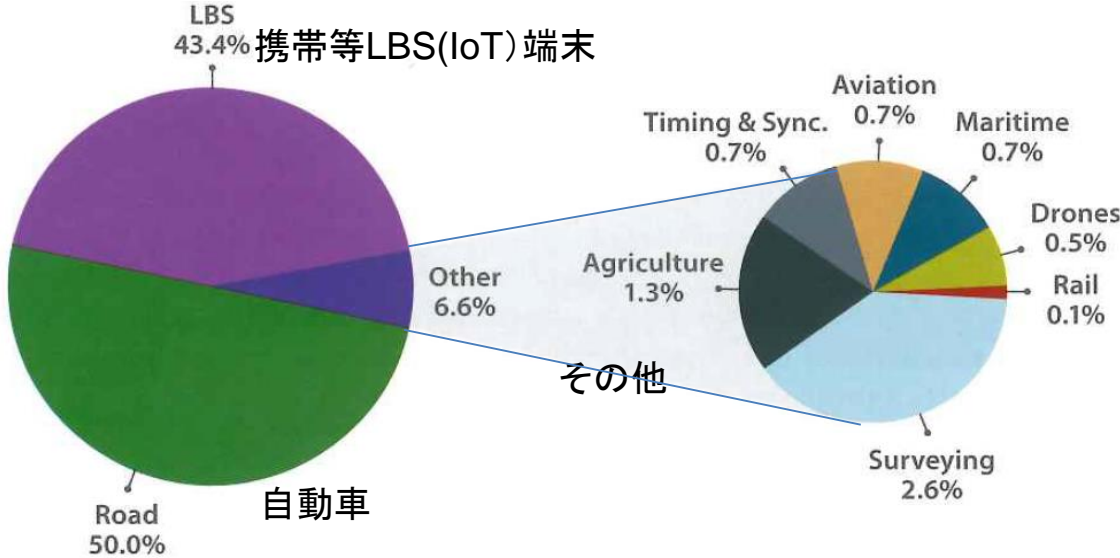
マゼランシステムズジャパン

三菱電機-u-blox

CLASチップ・モジュール開発中

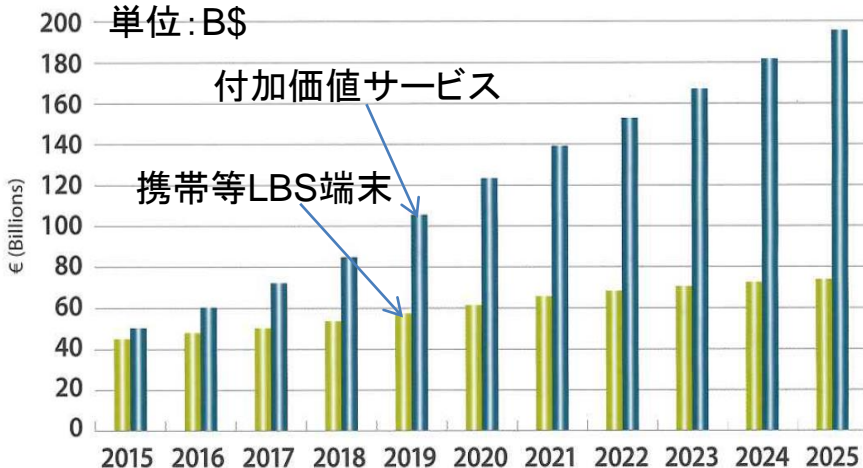
上記仕様はカタログ値から転記。詳細は各メーカーにお問い合わせ下さい。

## 産業分野ごとの累積事業規模比率

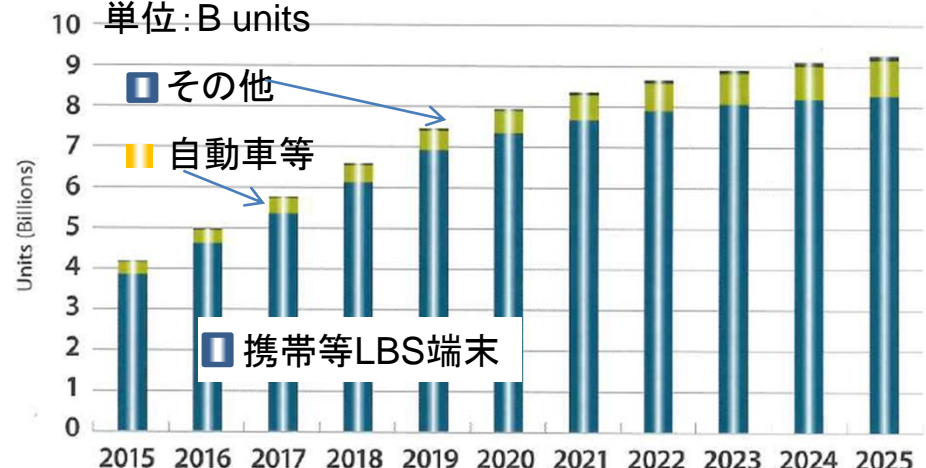


- ・携帯等LBS (IoT) 端末と自動車向け事業が全体の9割以上
- ・2025年の事業規模は端末8兆円、サービスが22兆円
- ・2025年の出荷台数は、携帯端末80億台、自動車向けが10億台

## 事業種毎の事業規模(2015-2025)



## 分野毎の出荷台数規模(2015-2025)



# 鉄道分野でのGNSSサービスへの要求

	Non-safety critical applications			Safety critical applications	
Applications	Asset management	Passenger information	Driver assistance	Train Control and Signalling	Traffic Management
Key GNSS requirements	Accuracy Availability	Accuracy Availability	Accuracy Availability	Accuracy Availability Integrity Robustness	Accuracy Availability Integrity Robustness
Other requirements	Connectivity Power Consumption	Connectivity (communication link)	Connectivity (communication link) Interoperability	Interoperability	Interoperability

出展: GNSS Market Report Issue 5



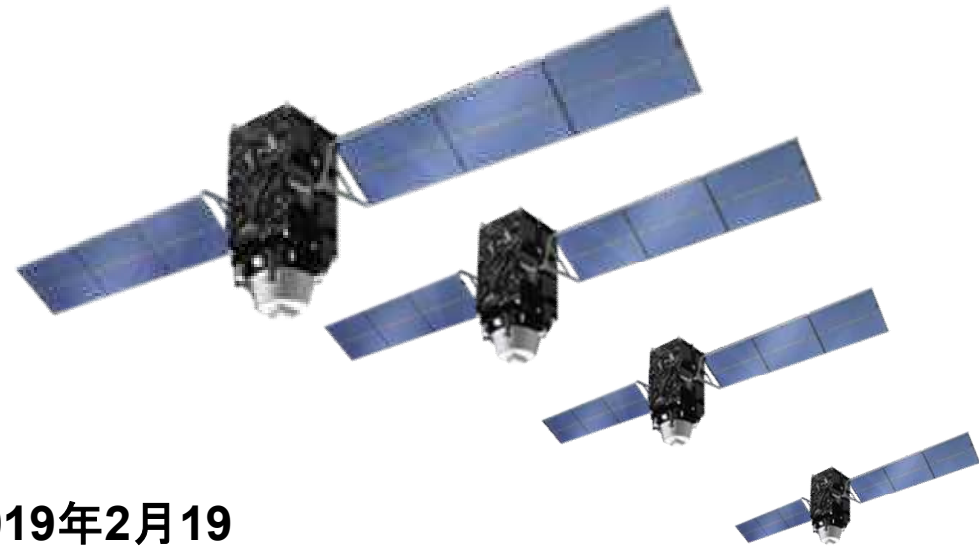
**Table 6: Rail User Requirements (USA)**

Requirements	Measures of minimum performance criteria to meet requirements					
	Accuracy (Meters, 2 drms)	Availability	Continuity	Integrit (alert limit)	Time to alert	Coverage
<b>Positive Train Control (PTC)</b>	1.0	99.9%	N/A	2 m	6 s	Railroad right of way in all 50 states and District of Columbia
<b>Track Defect Location (TDL)</b>	0.3	99.9%	N/A	0.6 m	30 s	Railroad right of way in all 50 states and District of Columbia
<b>Automated Asset Mapping (AAM)</b>	0.2	99.9%	N/A	0.4 m	30 s	Railroad right of way in all 50 states and District of Columbia
<b>Surveying</b>	0.02	99.7%	N/A	0.04 m	30 s	Railroad right of way in all 50 states and District of Columbia
<b>Bridge and Tectonic Monitoring for Bridge Safety</b>	0.002	99.7%	N/A	0.004 m	30 s	Railroad right of way in all 50 states and District of Columbia
<b>Telecommunications Timing</b>	340 nsec	99.7%	N/A	680 nsec	30 s	All 50 states and District of Columbia



ユースケース		要求				
英語表記 ( Requirement for )	日本語訳 ( 要求元 )	精度	可用性	完全性	安全面完全性	警報準備時間
Automatic Train Protection	自動車両保護	1~10m	高	極高	レベル2-4	≤10s
Cold movement detection	自己位置凍結表示検出	1~10m	高	極高	レベル2-4	≤10s
Level crossing protection	踏み切り誤通過防止	1~10m	高	極高	レベル2-4	10s~30s
Train Integrity and train length monitoring	列車構成、列車長モニタ	1~10m	高	極高	レベル2-4	10s~30s
Track Identification	列車走行軌跡同定	1~10m	高	極高	レベル2-4	10s~30s
Odmeter Calibration	走行距離計校正	≤1m	高	極高	レベル2-4	≤10s
Door control supervision	ドア制御監視	1~10m	高	極高	—	10s~30s
Trackside personnel protection	線路付近の人員安全確保	1~10m	高	極高	—	10s~30s
Management of emergencies	緊急事態マネジメント	1~10m	高	高	—	10s~30s
Train warning systems	列車警報システム	1~10m	高	高	—	10s~30s
Infrastructure surveying	インフラ測定調査	1cm~1m	低	高	—	>30s
Location of GSM Reports	GSM報告の位置	1m~10m	低	高	—	>30s
Gauging surveys	ゲージング(レールゲージ間幅)調査	1m~10m	低	極高	—	>30s
Structure monitoring	構造モニタ	1m~10m	低	低	—	>30s
Fleet management	保有車両管理	≥10m	高	低	—	≥30s
Cargo monitoring	貨物管理	≥10m	高	低	—	≥30s
Energy charging	動力エネルギーチャージ	≥10m	高	低	—	≥30s
Infrastructure charging	インフラ管理	1~10m	高	高	—	10s~30s
Hazardous cargo	危険貨物モニタ	1~10m	高	高	—	10s~30s
Passenger information	乗客情報管理	≤100m	95%	—	—	—

# 鉄道へのGNSS利用を目指した実証試験(EU)の紹介



2019年2月19日  
一般財団法人 衛星測位利用推進センター(SPAC) 専務理事  
博士(工学) 三神 泉



ドイツバイエルン地方の線路上の走行試験 (GPS, Galileoを用いた補強信号なしの単独測位による試験)

出展: How parallel Use of GPS and Galileo Benefits Railway applications: April 4, 2018, By Inside GNSS

PERSONAL PROPRIETARY NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED  
WITHOUT SPECIFIC WRITTEN PERMISSION OF DR. IZUMI MIKAMI

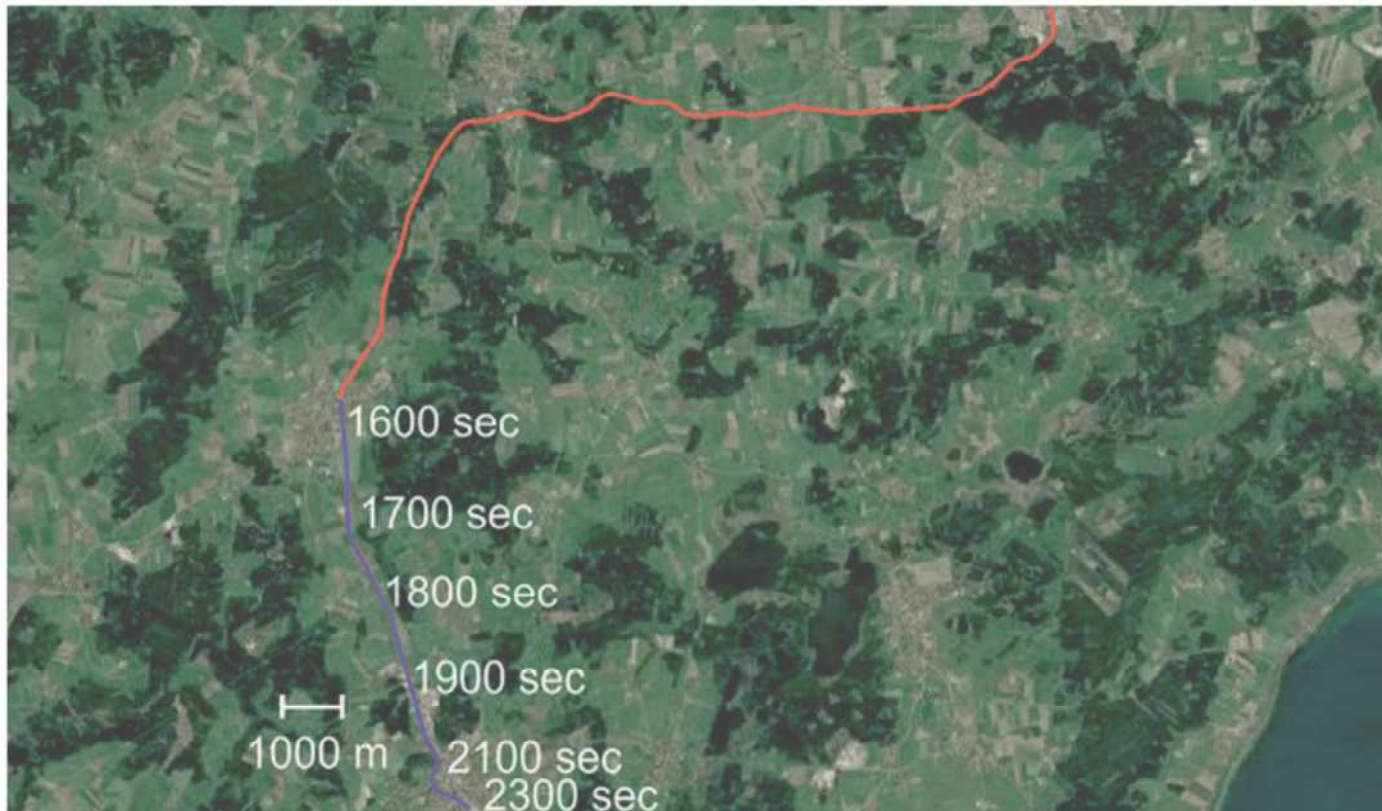


FIGURE 2 Driven railway from Obing to Bad Endorf in Bavaria, Germany. Map Data: ©2018 GeoBasis/BKG(©2009), Google

出展: How parallel Use of GPS and Galileo Benefits Railway applications: April 4, 2018, By Inside GNSS

約20kmの走行試験。ブルーの領域は市街地エリアから丘森林地帯の通過を示し、精度等の評価領域。

PERSONAL PROPRIETARY NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED  
WITHOUT SPECIFIC WRITTEN PERMISSION OF DR. IZUMI MIKAMI



$$x_k = [p^T \ v_{eb}^n{}^T \ q_{nb}^T \ b_a^T \ b_g^T \ c_b \ c_d]^T,$$

3次元加速度計、3次元ジャイロ: 100Hzの測定レート  
 フィルターアルゴリズム: Strap-down algorithm  
 p: 位置、v: 速度、ba: 加速度計3自由度バイアス、  
 bg: ジャイロ3自由度バイアス、  
 q: 姿勢・走行方向(4次元数)  
 cb: 受信機時計バイアス誤差  
 cd: 受信機時計ドリフト誤差

長期安定度確保用ドリフトフィルター補正、観測データ取得10Hz、エフェメリスデータを用いた信号送信時刻における衛星位置、擬似距離、擬似距離差、衛星位置を取り込んだ誤差状態拡張カルマンフィルタによる状態ベクトル推定(x)

$$x_{k+1} = F_k(x_k)x_k + G_k(x_k)w_k \quad w_k \sim \mathcal{N}(0, Q_k)$$

$$z_k = H_k(x_k)x_k + v_k \quad v_k \sim \mathcal{N}(0, R_k).$$

右図に示すブロック図によって、各種誤差の補正値を推定してGNSS受信機内部で各補正値を作り、単独測位精度を上げている(PPPと同様な処理と推定)。ただし、対流圏補正値、マルチパス誤差補正は適用していないと。



VRSのような補強情報を用いることがbetterであるとのコメント付き。CLASはこの意味においても良い補強か。

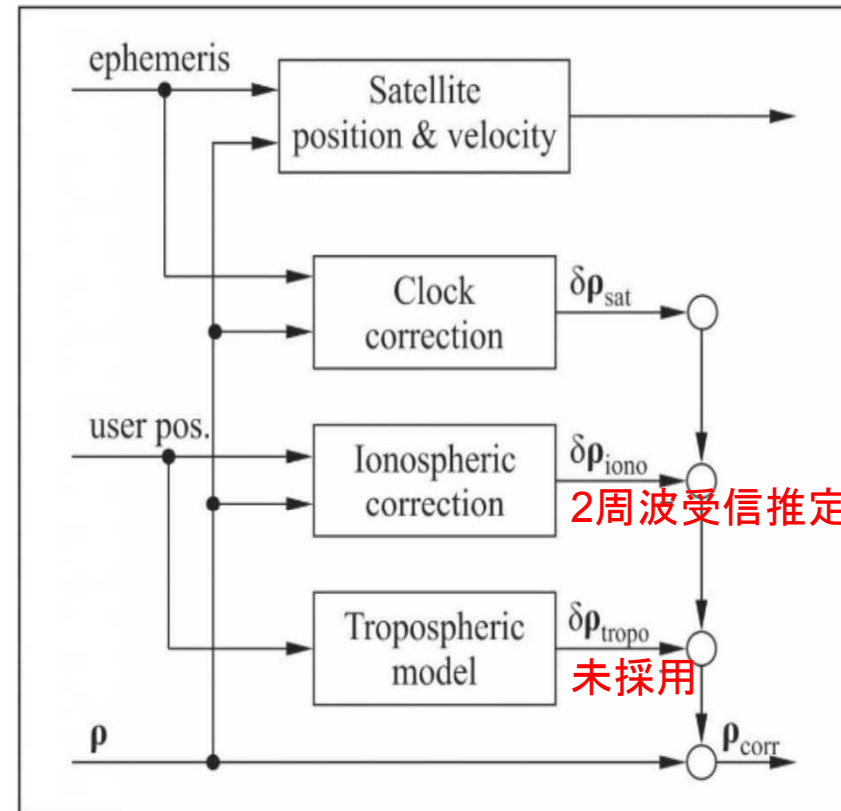


FIGURE 1 Structure of the GNSS pre-processing. Michael Breuer, Thomas Konrad, and Dirk Abel. High precision localisation in customised gnss receiver for railway applications. In Proceedings of the 29th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2016), 2016.

出展: How Pararell Use of GPS and Galileo Benefits Railway Applications: April 4, 2018, By Inside GNSS

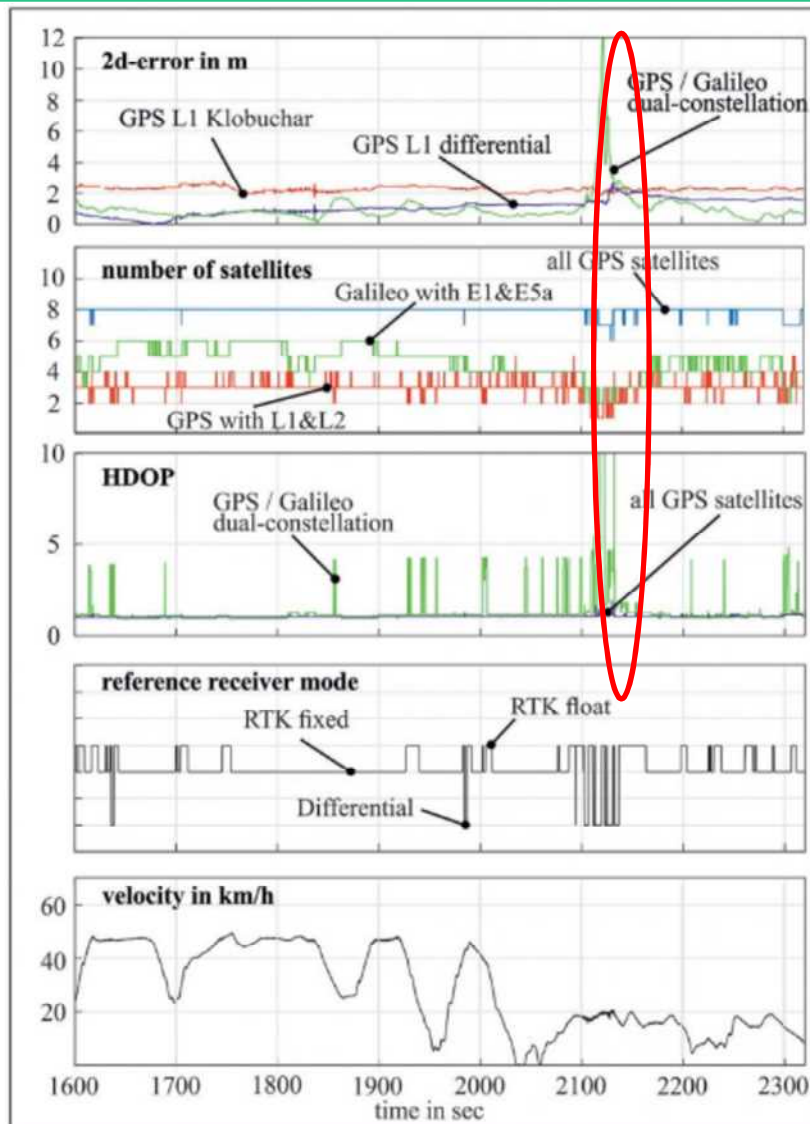


FIGURE 4 Evaluation of the navigation filter results using different GNSS settings along a test environment LEO in Bavaria, Germany.

GS, Galileoの2周波(L1/L2)を用いた評価結果が、GPSのL1のみを用いたDGPS測位結果を上回り、一部の領域を除いて1mを切る精度。(赤丸領域は十分な衛星数が無かったため精度が悪化)

GalileoのE1/E5の2周波測位可能な可視衛星数は2~6。  
GPSのL1/L2の2周波可視衛星数は1~5。

HDOPは、安定的に1程度。

基準位置測定のためのRTK受信機の測位結果のモードを示す。RTKfixは基準値として採用可能な高精度解。Float解→Differential解と精度が悪化する。

時間ごとの列車速度。

適用分野	件数	用途・目的
<b>安全システム</b>	55	事故防止用のデバイス・システム、機関車運転手や乗客への障害警報システム、比ゆ賞に応じた速度制御とブレーキ制御
事故・衝突防止		
自動速度制御・ブレーキ機制御		
警報システム・装置		
路線区間・ブロックの占有状況モニタ 列車の安全・制御システム		
<b>車両モニタ・制御統合システム</b>	14	鉄道の領域にとどまらず他の上通手段を含んだ交通制御、マネジメント
列車運転制御・マネジメントシステム		
列車と他の輸送・移動車両間の相互情報・相互動作制御 代替・追加手段としての衛星測位手法		
<b>物流(車両利用)管理</b>	13	コンテナ、貨物車両の位置検出・追跡に加え、物流作業の効率化や自動化、操車場内での車両入れ替え・機関車自動運転等
貨物車両上のコンテナ、他社車両内の輸送品の場所検知・追跡		
積み込み、積み下ろし作業の位置制御		
操車場(switching yards)での機関車の遠隔制御		
列車利用最適化		
貨車交換システム 車両入れ替え作業		
<b>機関車と鉄道車両の位置モニタ・追跡</b>	9	列車長の自動的な把握、車両構成把握、機関車の存在有無等の自動検知
機関車・車両の順番・移動方向・列車長等の測定・把握		
列車最後尾の確認(列車構成の確認)		
機関車の迂回確認		
列車証明の自動発行(非登録車両混入回避) 自動追跡システム		
<b>線路モニタ</b>	7	線路、ポイント(切替え)スイッチ、車両ホイールの欠陥、線路状態等の検出、線路状況記録の簡素化
線路・切替スイッチ欠陥検出		
レール及び鉄道車両用ホイールの欠陥検出		
路線状態(位置・高さ等調整)の検出と路線状況の記録 線路損傷・損路上の障害物の自動検地及び自動ブレーキ		
<b>通信・データ配信システム</b>	6	各種データ通信、情報モニタ・マネジメント用のデバイス
無線・信号制御システム データ通信・情報モニタ・制御システム		
<b>その他</b>	23	路線上の自己位置管理、ルート検索、衛星測位データ信頼度向上、運転支援データ生成
現在位置からターゲットまでの距離・移動時間決定		
目的地・目的地までのルート検索		
運行管理支援としての車両移動方向モニタ		
位置検出のための衛星測位データと蓄積データ比較 他		



# 衛星測位に関する取り組み事例

公益財団法人鉄道総合技術研究所



# 鉄道向け位置検知への活用



# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

※東京海洋大学との共同研究により実施

## 列車制御用の衛星測位システム

- ◆ 測位精度・測位率の向上
- ◆ 測位アルゴリズムの可視化

測位精度・測位率の向上策

	手 法	内 容
計測値	信号強度が低下した衛星の棄却	好条件時の信号強度特性と比較し、一定品質以下の衛星を排除
	搬送波の信号ドップラ周波数による擬似距離の検定	同一衛星の短時間の擬似距離差をドップラから求めた移動量と比較し、一致しない衛星を排除
	アンテナ設置間隔に基づく擬似距離の検定	同一衛星の2アンテナにおける擬似距離差を計算値と比較し、一致しない衛星を排除
測位演算	冗長な衛星を利用した信号の完全性の監視・判断	複数の衛星の計測値の整合性を検査し、整合しない衛星を切り離し(2衛星まで)
測位解	2つの測位解とアンテナ設置間隔の照合	測位解から求まるアンテナ間距離を既知の値と比較し、一致しない測位解を排除



※出典: 信号・通信分野に関する実用成果報告会(2018年12月) 公開資料

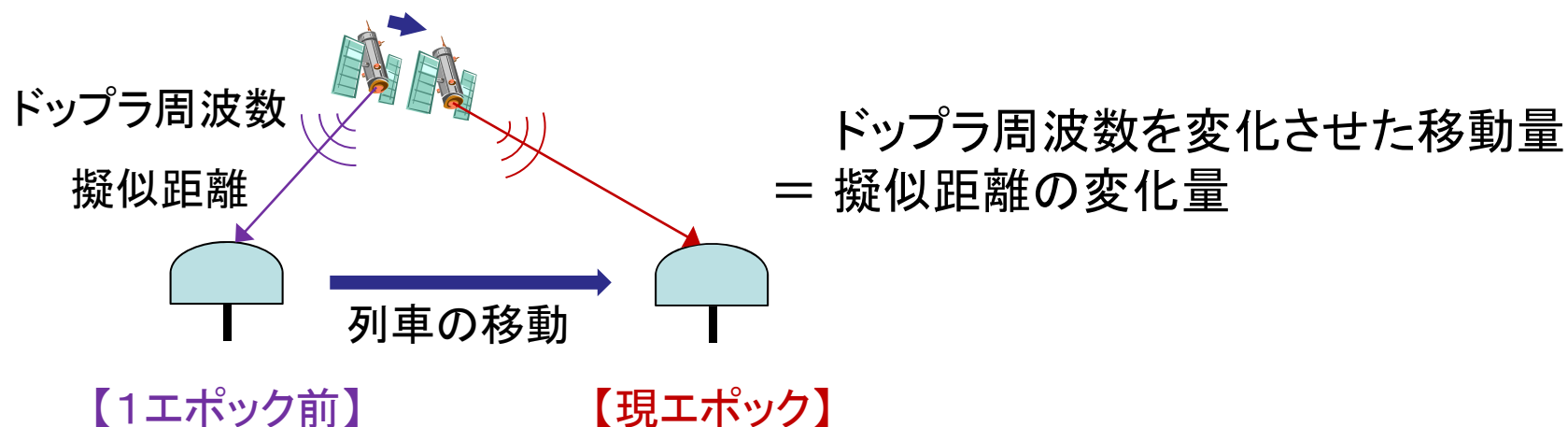
Railway Technical Research Institute

# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

## 測位精度・測位率の向上策

### 「ドップラ周波数による擬似距離検定」

同一衛星の短時間の擬似距離差をドップラから求めた移動量と比較し、一致しない衛星を排除

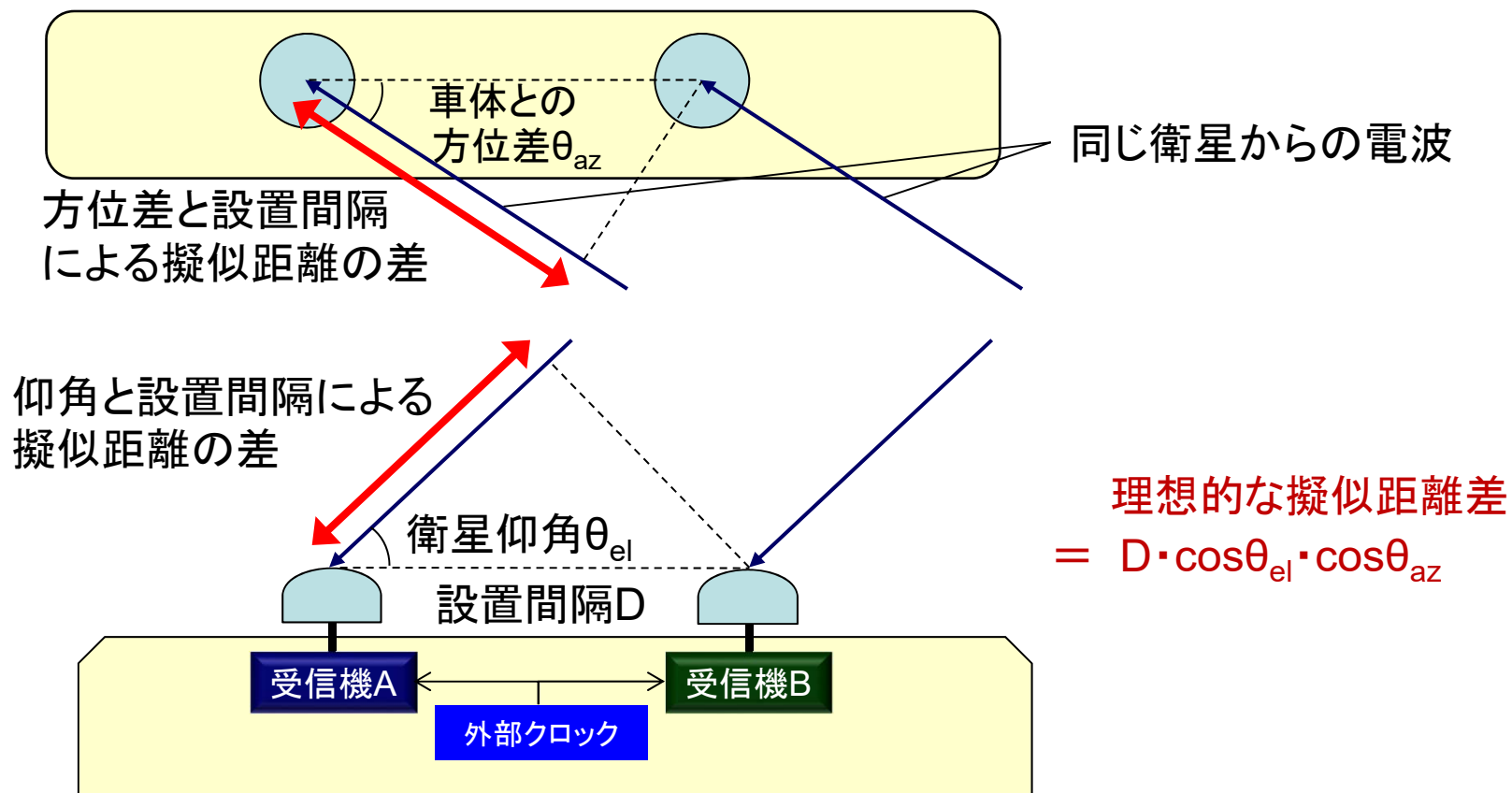


# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

測位精度・測位率の向上策

「アンテナ設置間隔に基づく擬似距離の検定」

2箇所で観測した同一衛星の擬似距離差を計算値と比較し、一致しない衛星を排除



※出典: 信号・通信分野に関する実用成果報告会(2018年12月) 公開資料

Railway Technical Research Institute



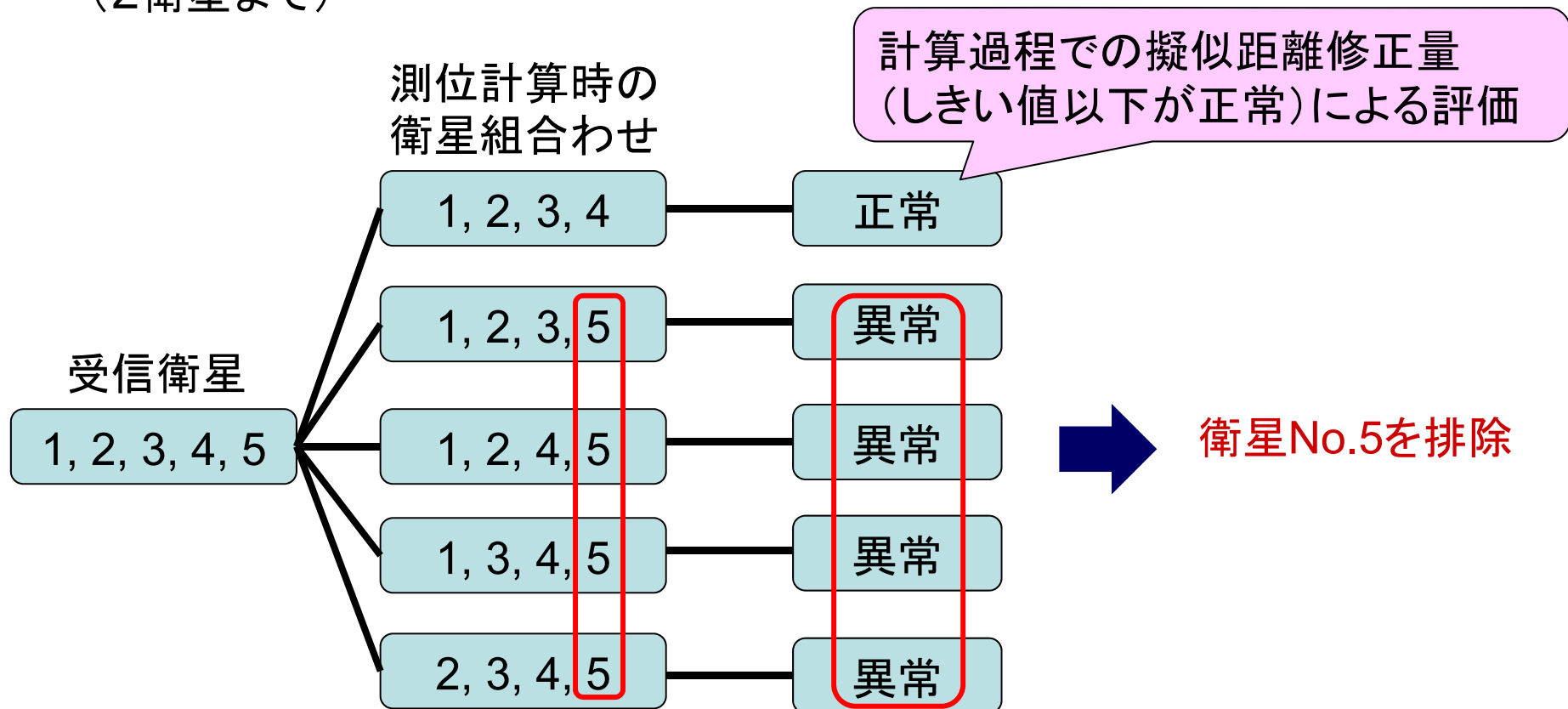
# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

測位精度・測位率の向上策

「冗長な衛星を利用した信号の完全性の監視・判断(RAIM)」

RAIM: Receiver Autonomous Integrity Monitoring

複数の衛星の計測値の整合性を検査し、整合しない衛星を切り離し  
(2衛星まで)



※出典: 信号・通信分野に関する実用成果報告会(2018年12月) 公開資料

Railway Technical Research Institute

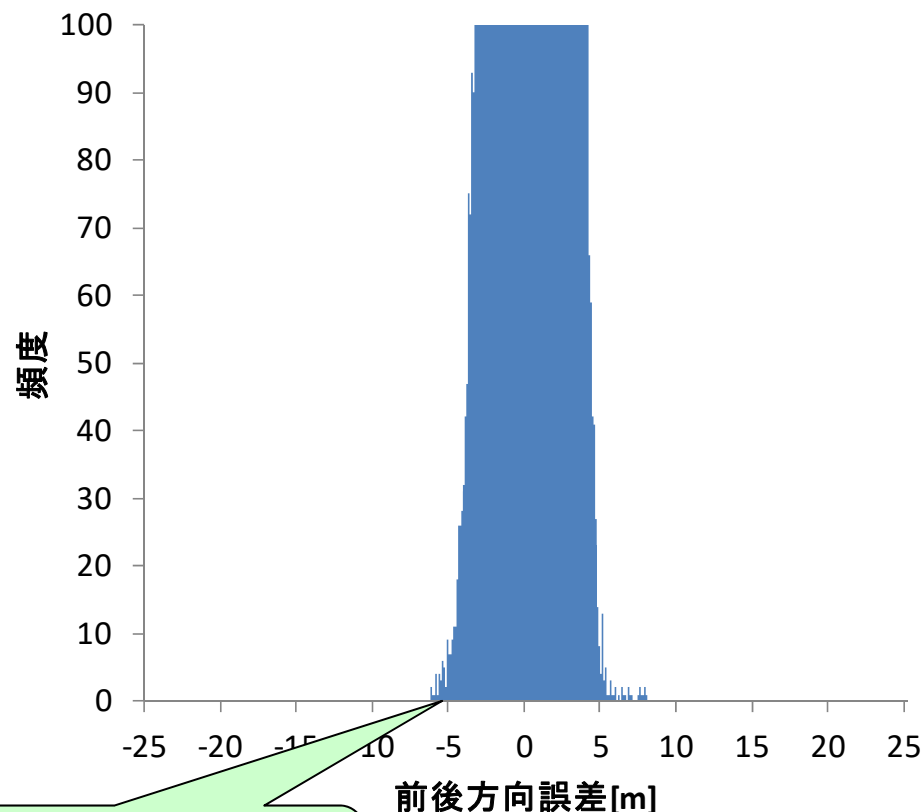
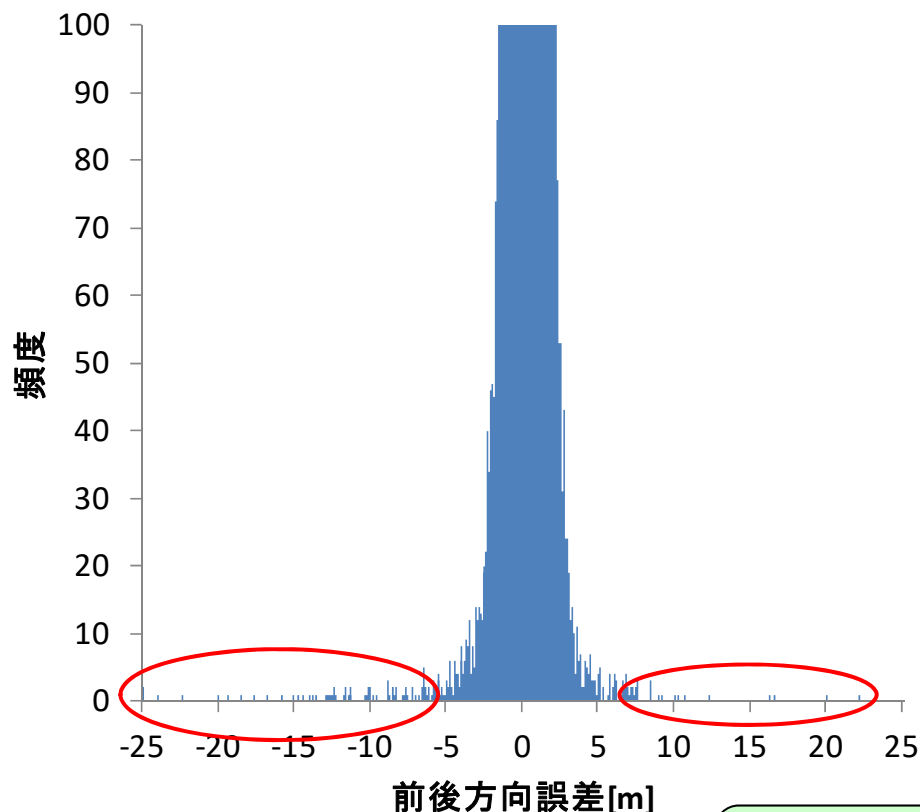




# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

## 評価試験の結果

(GPS+準天頂衛星)



各種検定により  
最大誤差が7.9mに低下

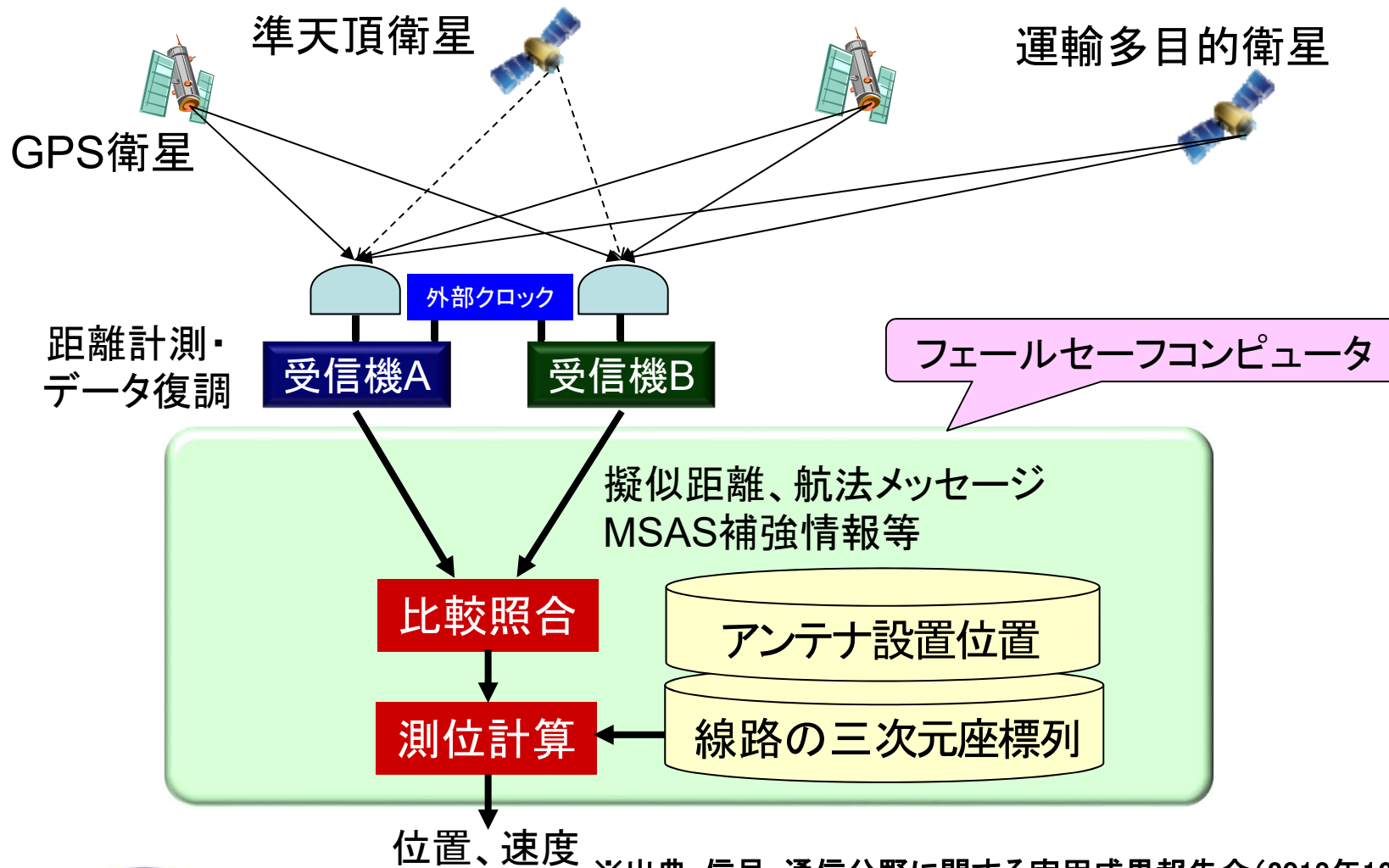
※出典: 信号・通信分野に関する実用成果報告会(2018年12月) 公開資料

Railway Technical Research Institute



# 鉄道向け測位アルゴリズムの開発

## システム構成



※出典: 信号・通信分野に関する実用成果報告会(2018年12月) 公開資料

# 動的軌道検測への活用



# 動的軌間・平面性測定装置の開発

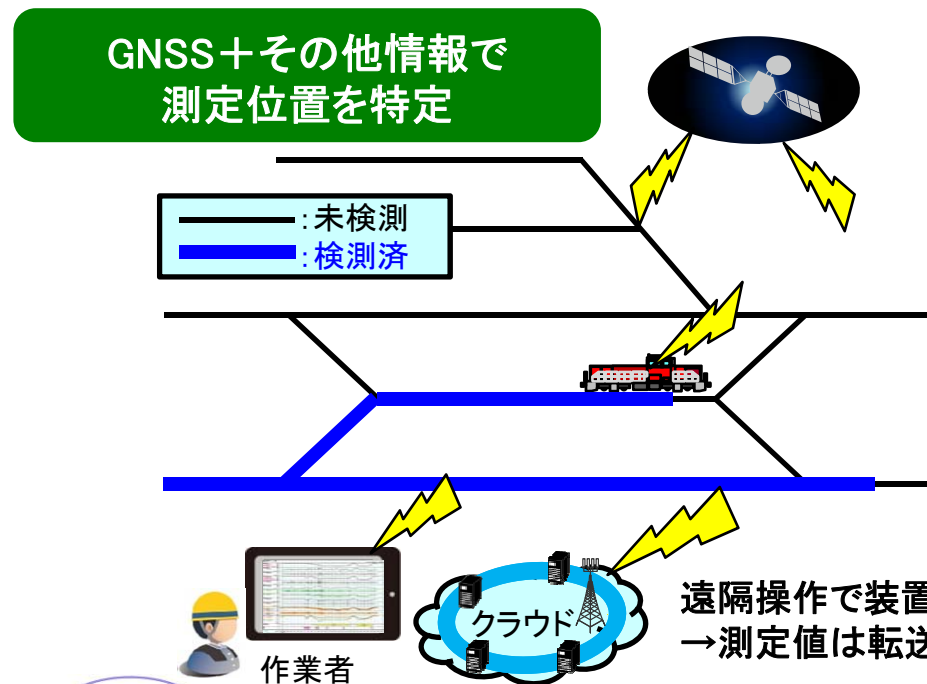
## 背景

- 軌道変位を要因とする脱線事故は年間、数件程度発生。
- 軌間内脱線の多くは地方鉄道、構内線、側線など静的な軌道変位検測を行っている箇所が発生。



**対策**: 車両走行時の動的な軌道変位を把握して管理

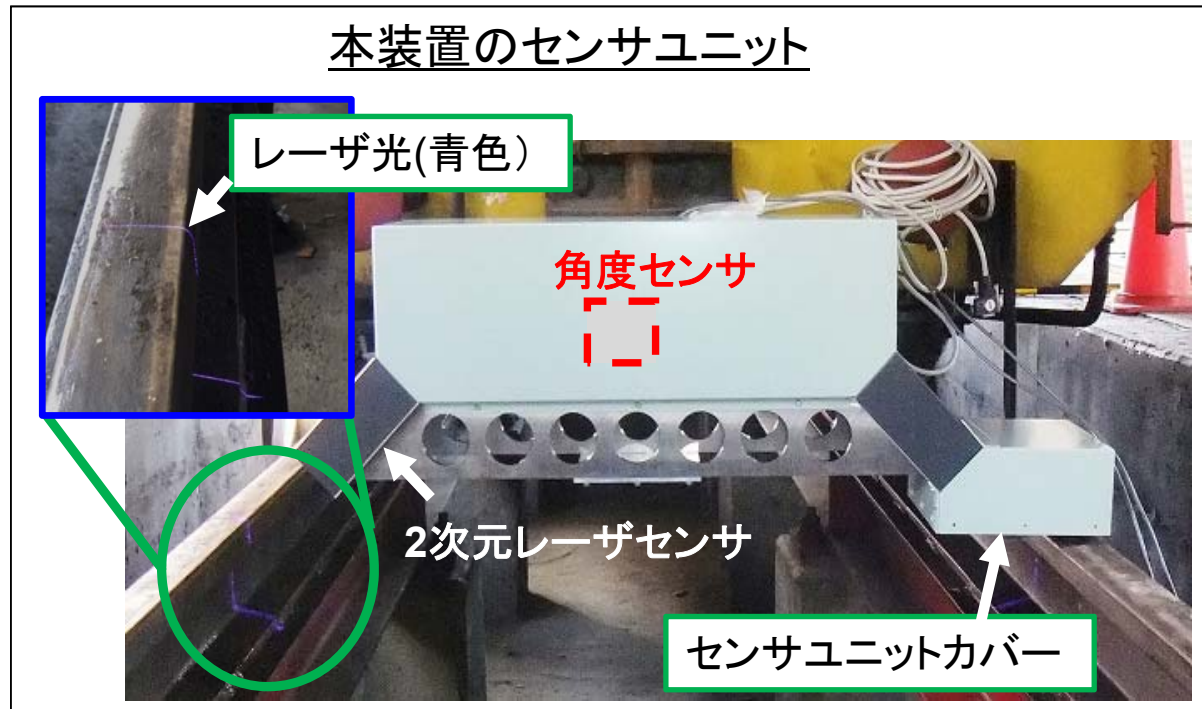
## 保守用車に搭載可能な測定装置



# 動的軌間・平面性測定装置の開発

## 試作装置の構成

### 本装置のセンサユニット



## モーターカーへの設置



レーザ照射位置      車輪位置

在来線用の軌道検測車と同等の精度で、軌間と平面性を測定可能であることを確認



# 動的軌間・平面性測定装置の開発

モーターカーに搭載した走行試験

