

GNSSの活用と 課題について

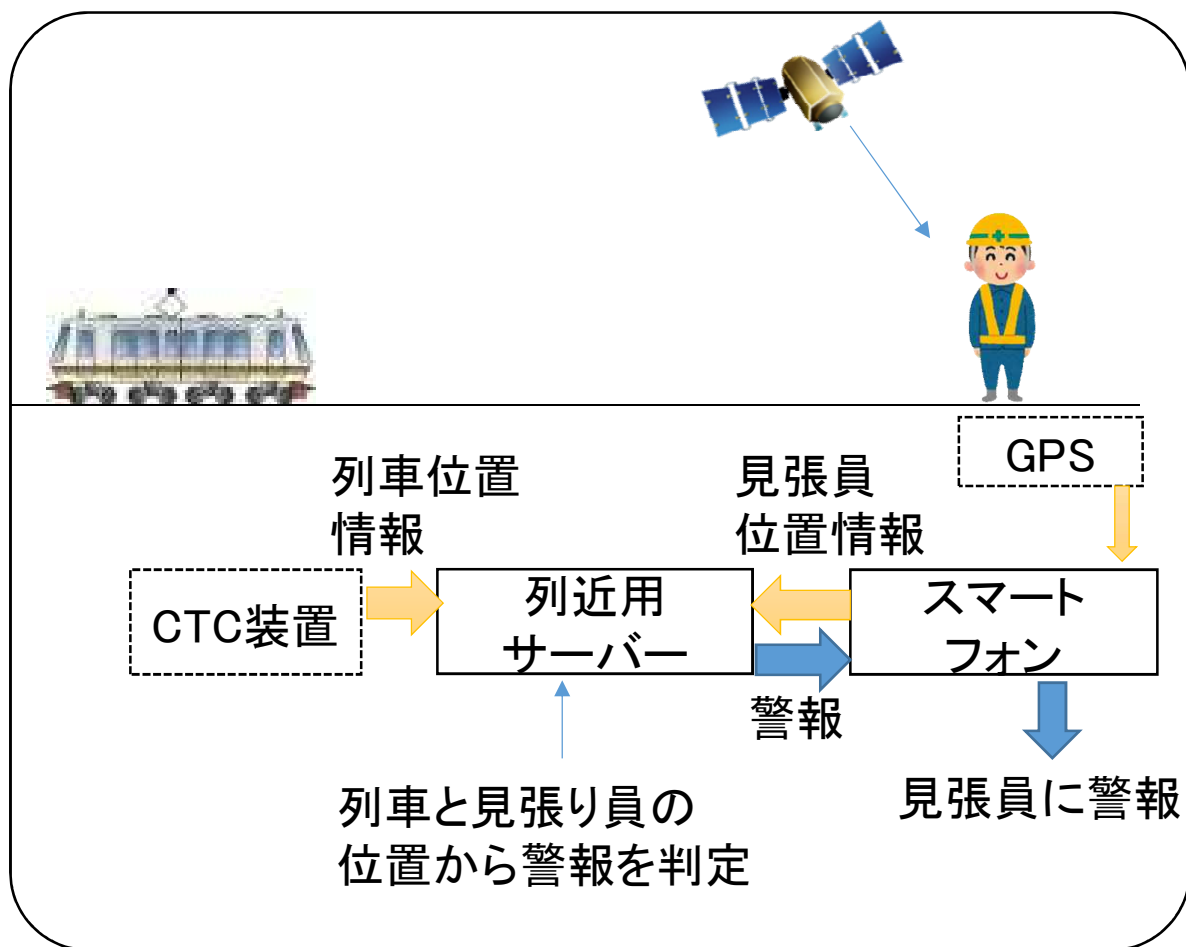
西日本旅客鉄道株式会社
鉄道本部技術開発部

目次

- JR西日本におけるGNSSを活用したシステムの実用化事例について
 - GPS列車接近警報装置の概要
 - GPSTレインナビの概要
- 保安装置への活用拡大における検討課題と対応
- 活用の方向性

GPS式列車接近警報装置の概要

列車見張員の列車接近の確認を補助するGPS式列車接近警報装置を導入しています。

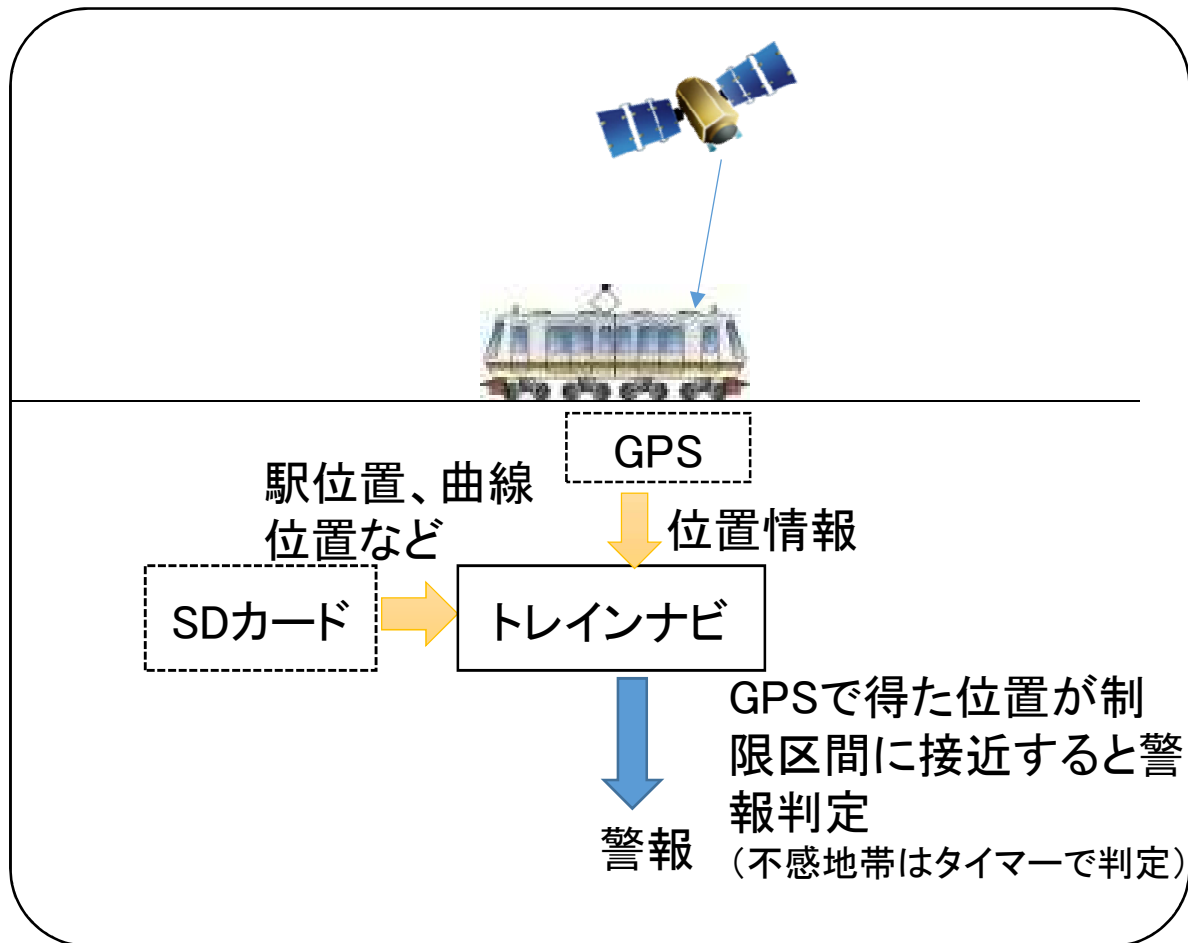


システム概要



GPSTレインナビ装置の概要

停車駅通過、速度超過の発生を低減するための支援装置としてGPSTレインナビ装置を導入しています。



システム概要

【車上】



保安装置等への活用拡大における検討課題と対応

GNSSを活用拡大し、鉄道保安装置や他の用途へ活用

このためには安全性、信頼性の向上が必要

【解決すべき主な課題】

必要な精度が確保できず保安機能に影響

電波受信不能時保安機能に影響

GNSS異常時保安機能に影響

ハッカーなどによる偽情報挿入時保安機能に影響

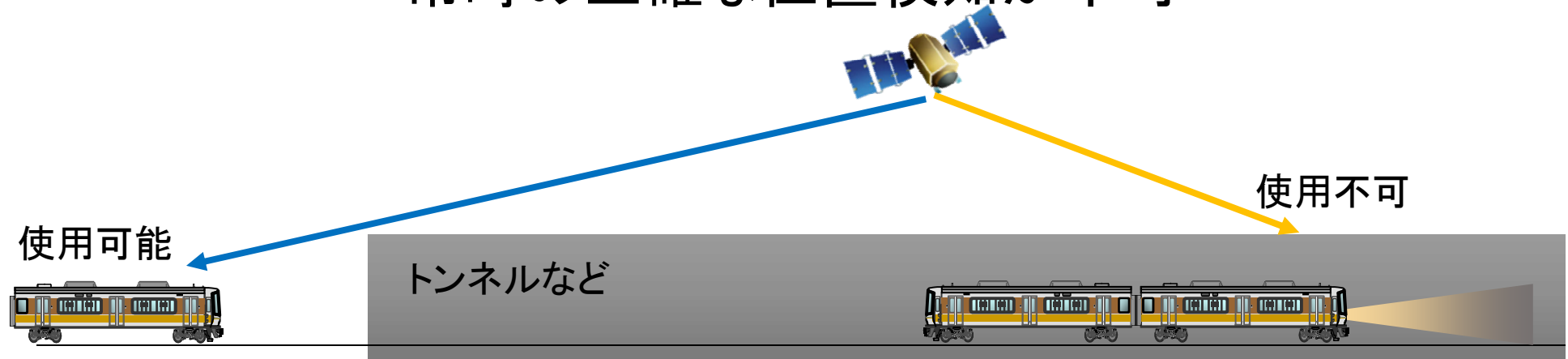
【課題が解決できない場合の問題】

- 保安装置で活用不可
※使用したとしても列車の衝突、運行の停止・混乱の可能性
- 保安装置以外で活用しても誤った情報の提供

検討すべき課題：電波受信不能時保安機能に影響

鉄道では使えないエリアの存在

⇒ 常時の正確な位置検知が不可



対策方針

- 他装置で補完する。
- 全線GNSSの電波受信できるようにする。
- 当該区間は位置検知の対象から外す。

具体的には

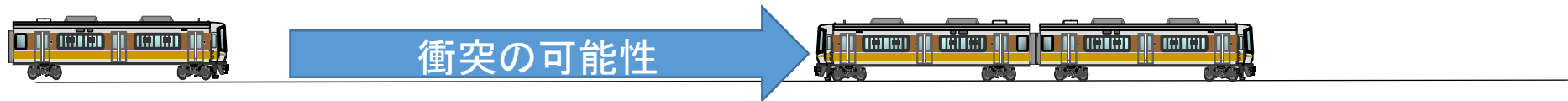
- 速度発電機やミリ波レーダ等での補完
- トンネルなどへの疑似衛星の設置
- トンネルなど電波の届かないところには、2列車を入れない処理で安全担保などで対処

検討すべき課題：異常検知失敗時保安機能に影響

故障の迅速な把握が場合により不可
⇒位置のずれが移動ごとに拡大

危険な例

位置検知異常が長時間検知されず、
走行を続ける



対策方針

- 異常を確実に素早く*検知する仕組みなど安全性担保が必要。

具体的には

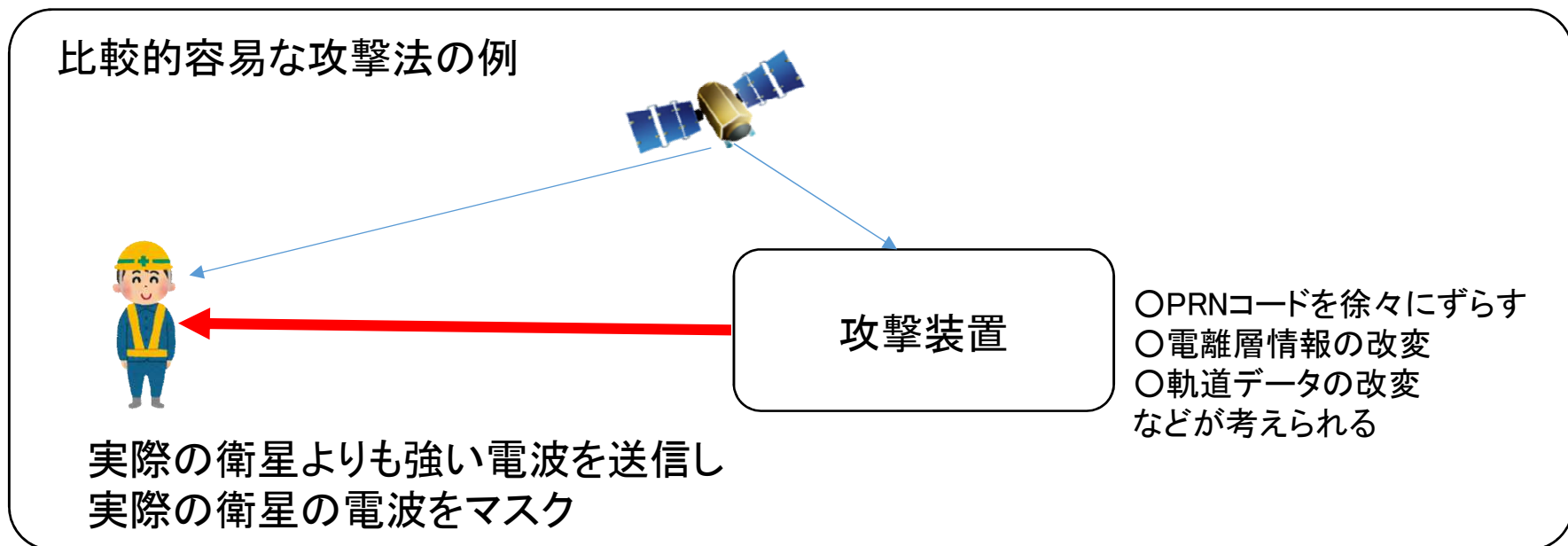
- 他位置検知装置との比較により異常検知する仕組み
などで対処

*the maximum total time taken for detection-plus-negation shall not exceed the specified limit for the duration of transient, potentially-hazardous, condition. (IEC62425:2007 B3.3)

検討すべき課題：偽情報挿入時保安機能に影響

偽信号による攻撃(位置を誤らせる手法は既知)

⇒実態と異なる情報を取得する可能性



対策方針

- 偽信号や、誤情報を検知する手法が必要。

具体的には、

- ・秘匿信号の活用
- ・他位置検知方式との比較
などで対処

活用の方向性

課題の存在 ⇒ 『保安装置化、用途拡大に制約』

GNSSの課題:

- 精度問題
- エリア問題
- 異常の検知
- セキュリティー

GNSS以外の課題:

- 常時接続で信頼性の高い通信
- コンピュータや通信のセキュリティー

保安装置に活用

- 人が担う安全確保を機械へ
- 装置の簡素化

様々な用途に拡大し活用

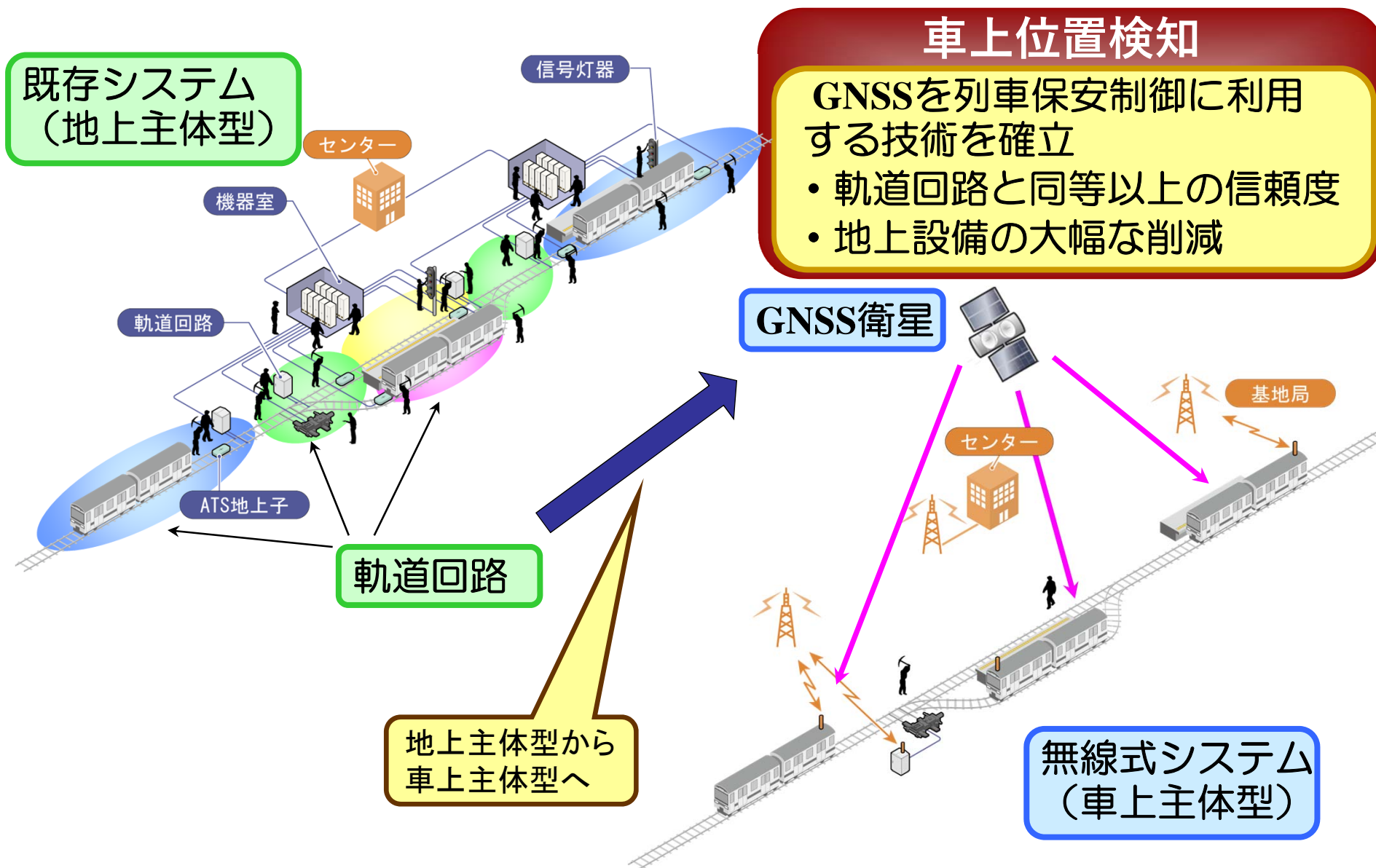
- 情報提供の拡充
- 作業安全性のさらなる向上
- 営業関係への展開

鉄道分野での衛星測位を用いた位置検知技術及びその応用に関する検討会

鉄道環境での測位状況と 信頼性確保に向けた取り組み

1. 地上主体型から車上主体型へ
2. 列車保安制御へのGNSS利用
3. フィルタリング
4. フィルタリングの実車試験
5. GNSS利用の課題
6. 運行支援への利用
7. 今後の進め方

1. 地上主体型から車上主体型へ(車上位置検知)



2. 列車保安制御へのGNSS利用(考え方と経緯)

GNSS利用の考え方

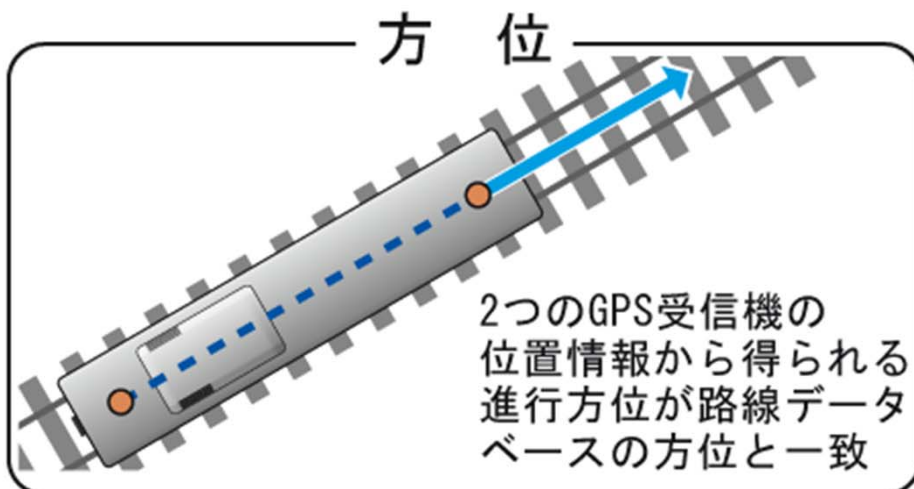
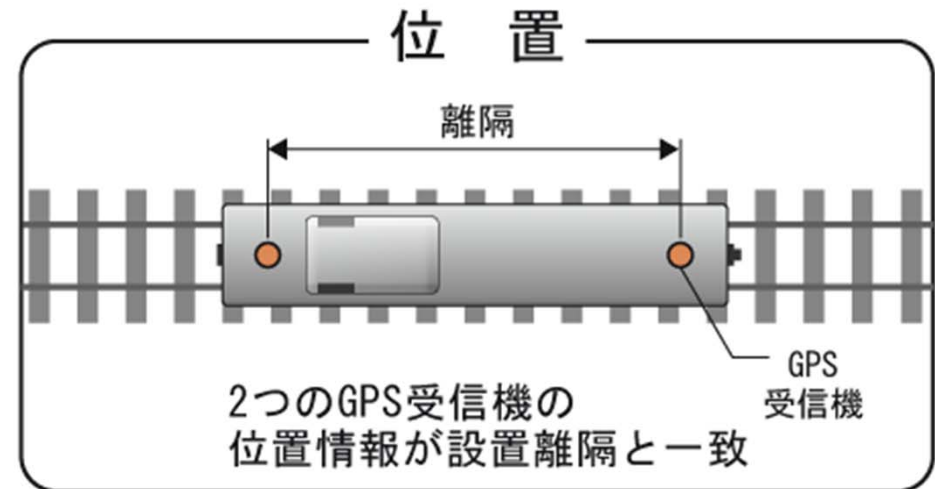
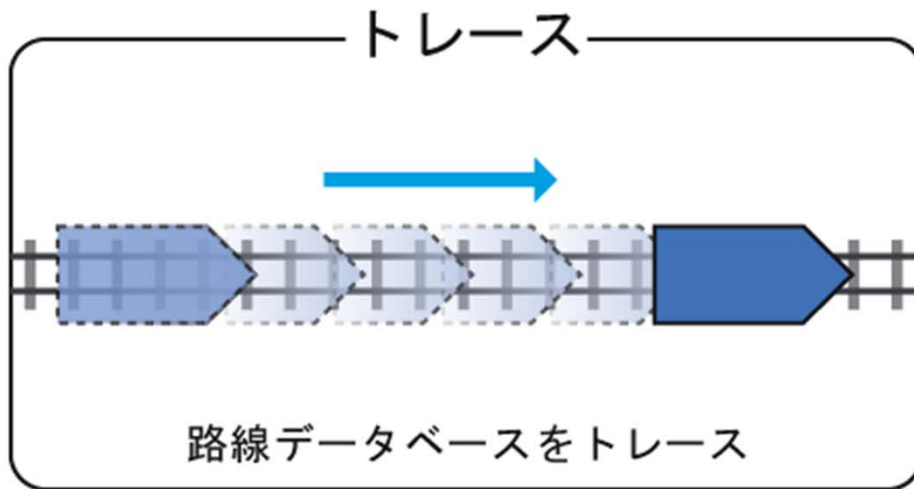
GNSS測位技術を列車保安制御へ利用するには、列車保安制御に許容できる誤差を想定し、想定した測位誤差を超えた場合を測位異常と判定し、その際の測位情報を利用しないフィルタリング技術の導入が有効



これまでの開発経緯

- 2007年～8年：技術研究組合にて基礎研究
- 2009年～11年：鉄道技術開発費補助金
(山形鉄道フラワー長井線での営業列車試験開始)
(広島電鉄市内線での営業列車試験2ヶ月)
- 2012年：山形鉄道フラワー長井線の駅間走行に必要な機能を確認
- 2013年：山形鉄道フラワー長井線にて営業列車によるフィルタリングの確認試験を開始(現在も継続中)
- 2014年：西日本旅客鉄道岩徳線にて運転取り扱い機能の確認
- 2015年：江ノ島電鉄江ノ島線にて3ヶ月間の長期安定動作試験
- 2015年：山形鉄道フラワー長井線にて出庫～入庫までの総合試験

3. フィルタリング(測位異常の検出)

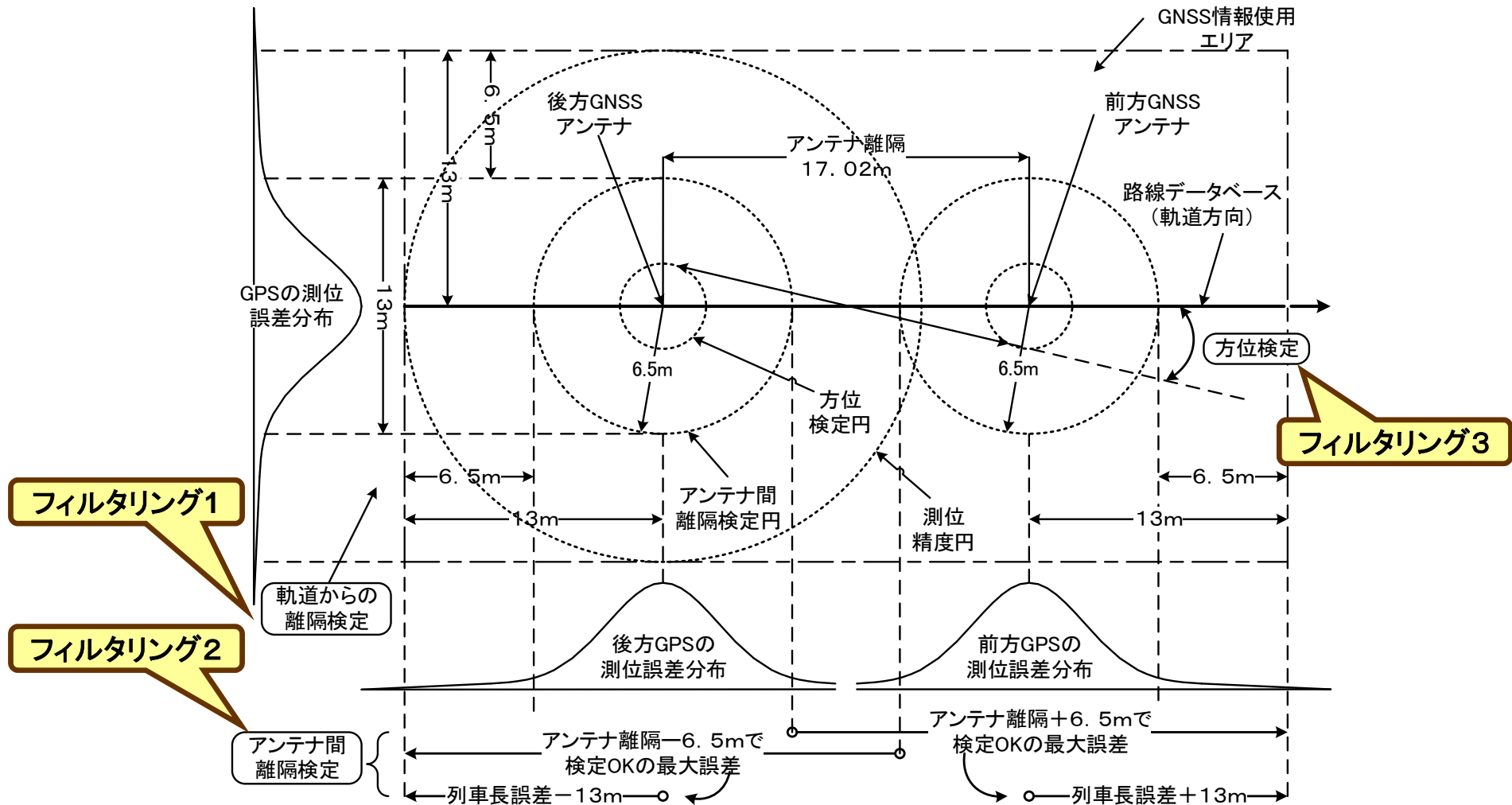


GNSSから得られる位置、移動方向をGNSSとは独立したシステム固有の情報と比較することによって異常を検出する

3. 1 フィルタリング(2アンテナによるフィルタリング1~3)

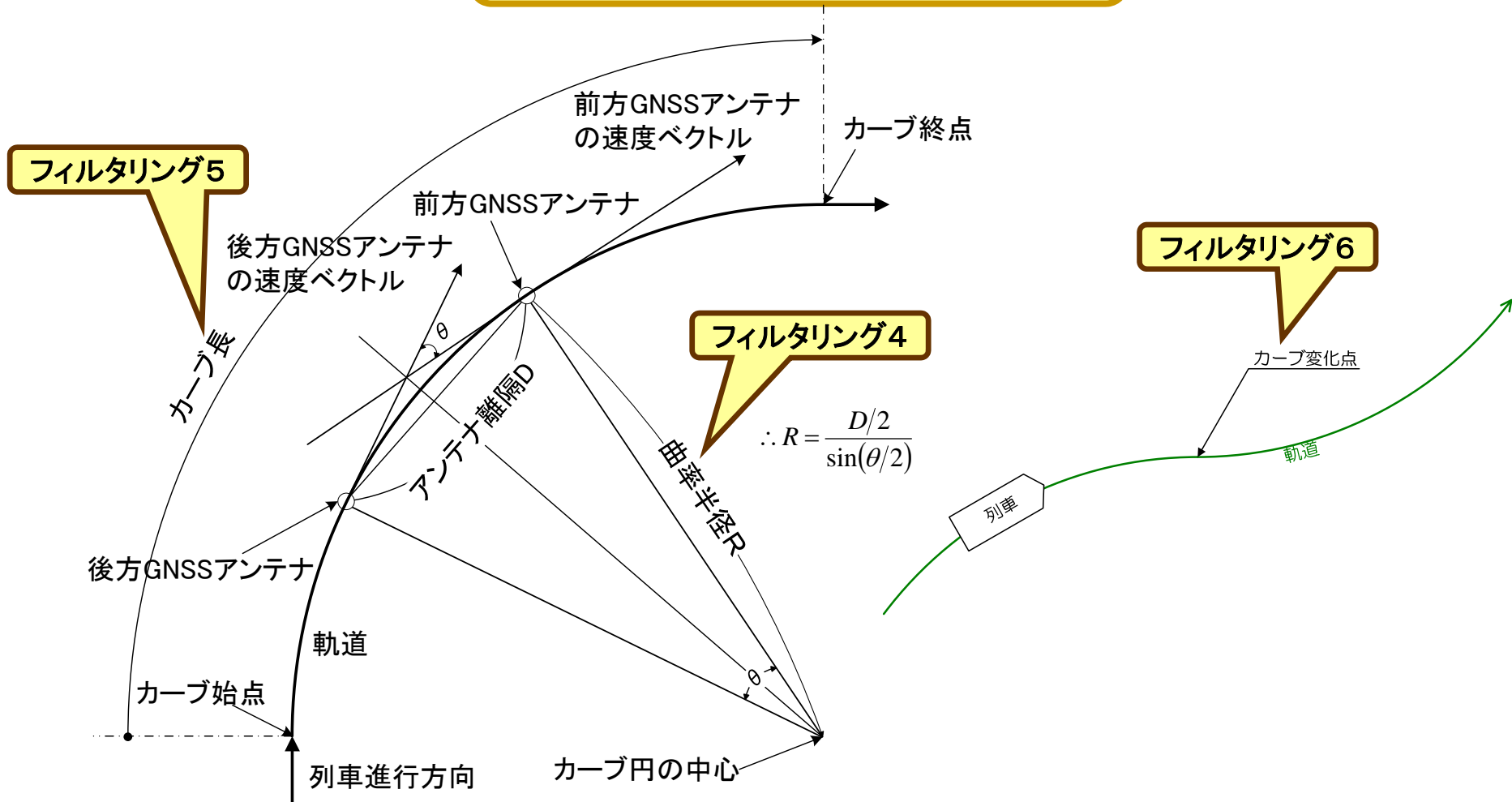
2アンテナの誤差分布を利用した検定： $\pm 13\text{m}$ 設定（GPS仕様）

■ フィルタリング1から3



3. 2 フィルタリング (軌道変化点によるフィルタリング4~6)

軌道変化点を利用した検定
■ フィルタリング4から6



4. フィルタリングの実車試験(山形鉄道フラワー長井線)

山形鉄道フラワー長井線

■ 2008年～現在



GNSS アンテナ

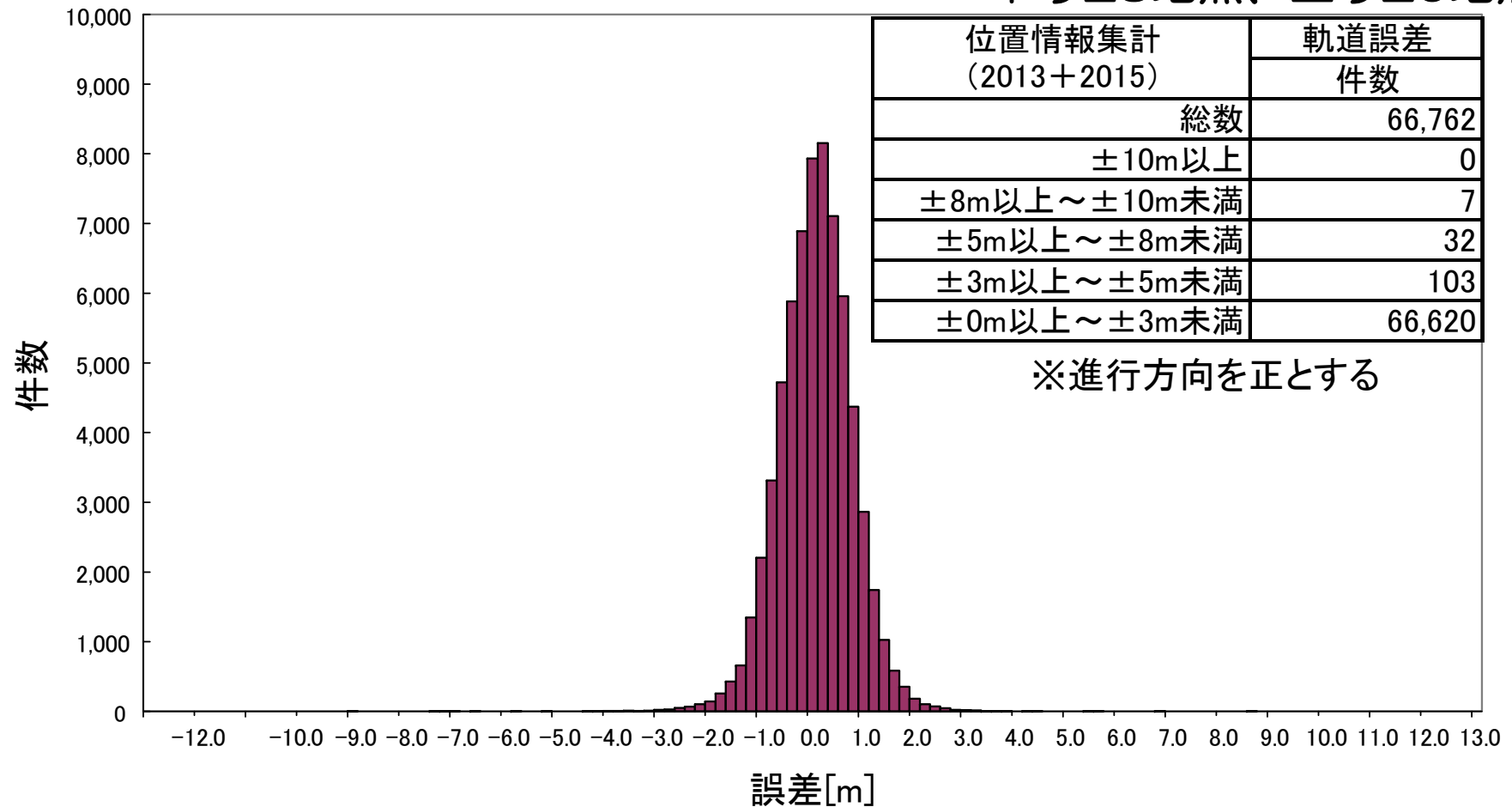
2013年：Hemisphere Crescent OEM
2015年、2016年：Novatel OEM Star



試験車両YR888

4. 1 フィルタリング1～3(軌道方向誤差±13m設定時)

下り25地点、上り20地点

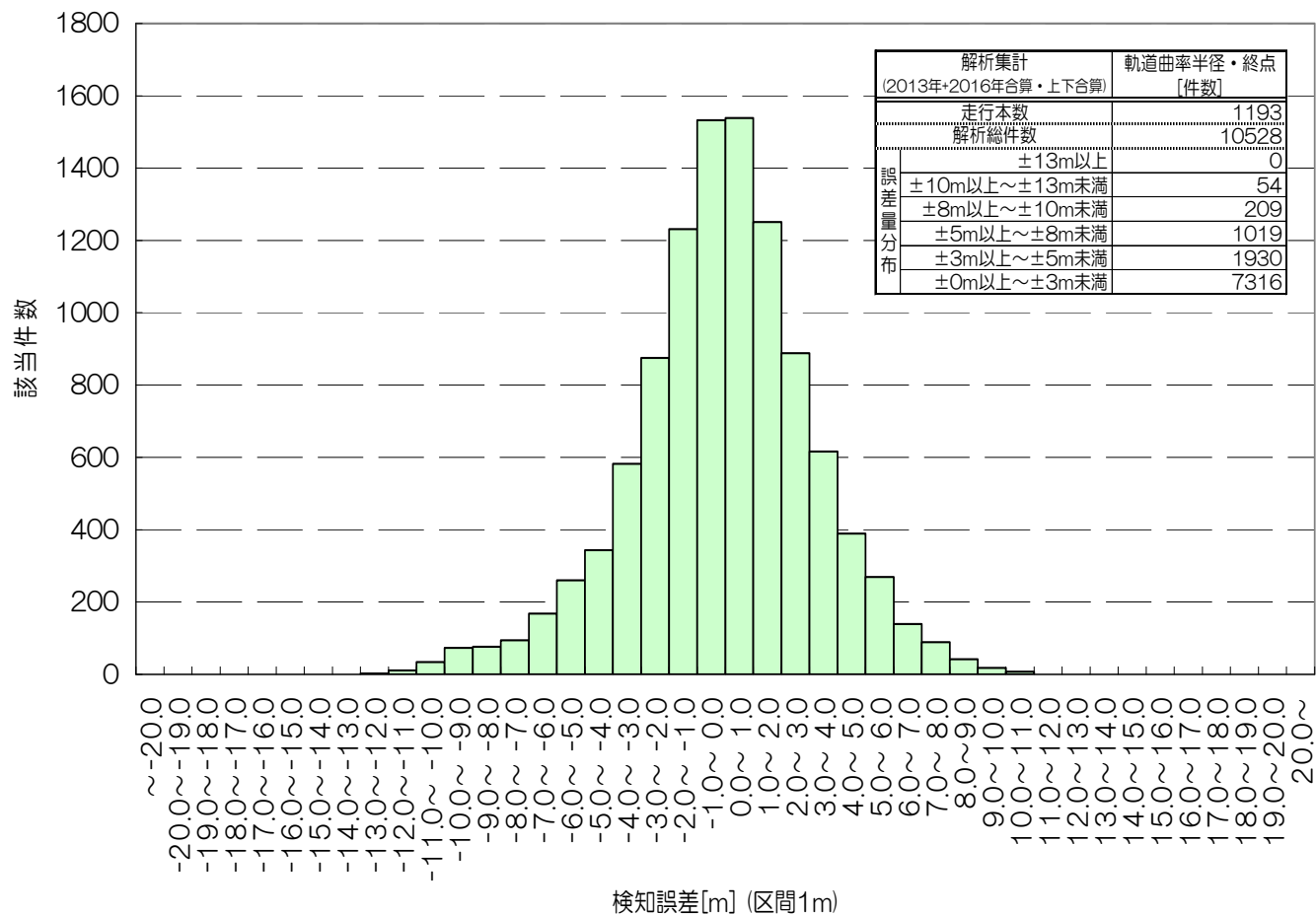


位置精度

±10.0m未満：サンプル数66,762

4. 2 フィルタリング4(軌道曲率半径検知)

曲率半径300~500mの10カ所



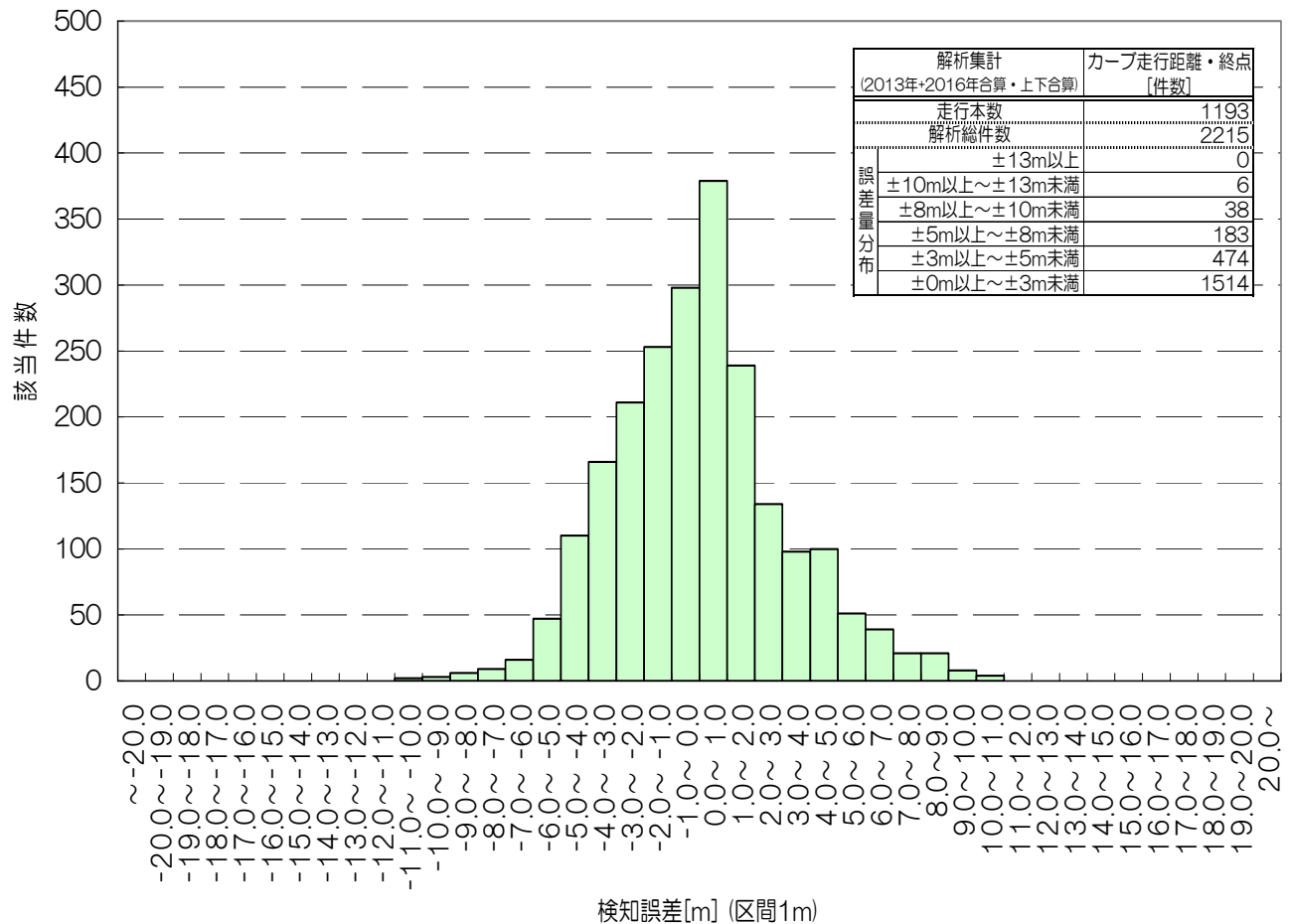
検知誤差[m] (区間1m)

位置精度

±13m未満：サンプル数10,528

4. 3 フィルタリング5(カーブ走行距離検知)

曲率半径501~1000mの2カ所



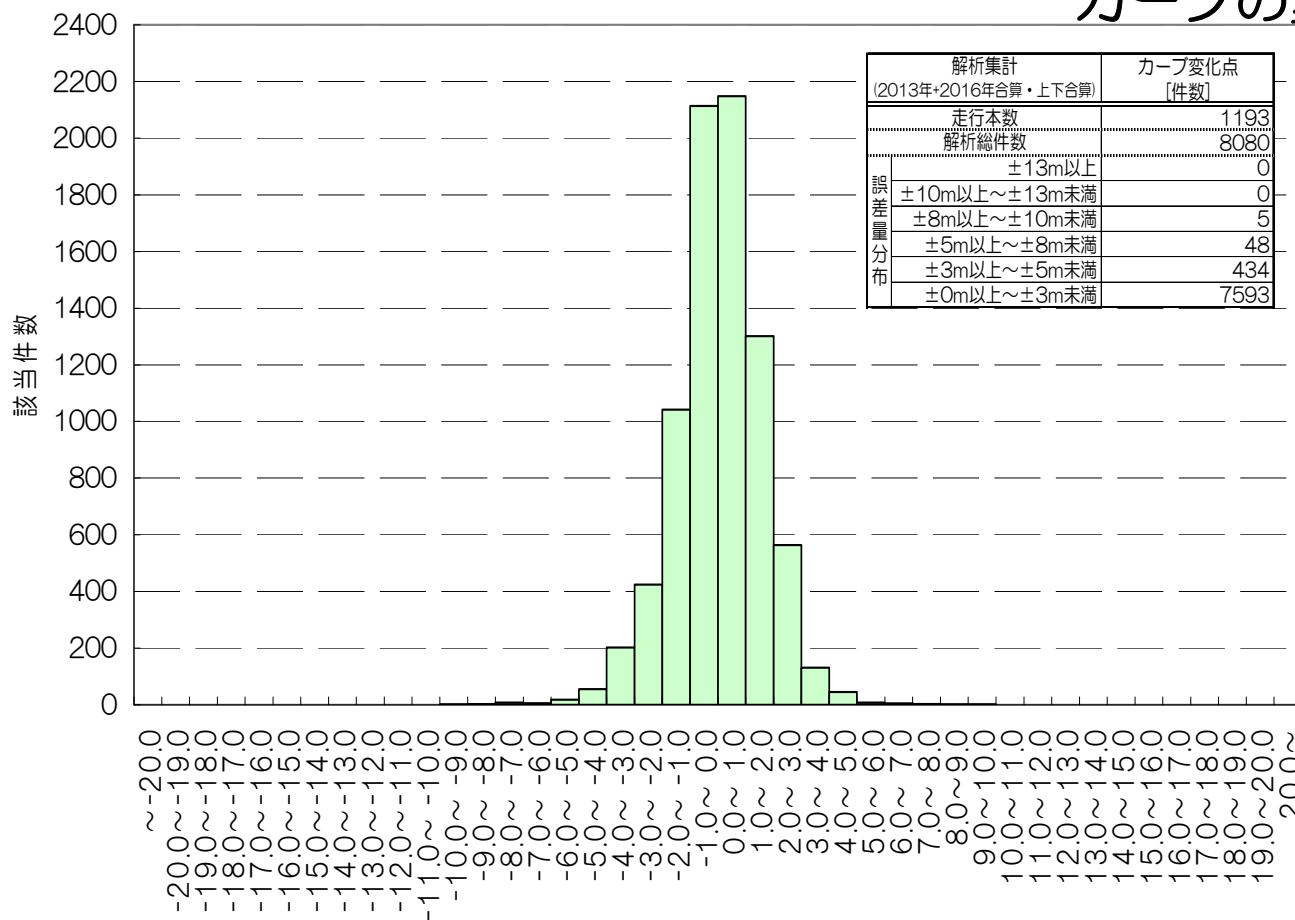
検知誤差[m] (区間1m)

位置精度

±13m未満：サンプル数2,215

4. 4 フィルタリング6(カーブ変化点検知)

カーブの変化点7カ所

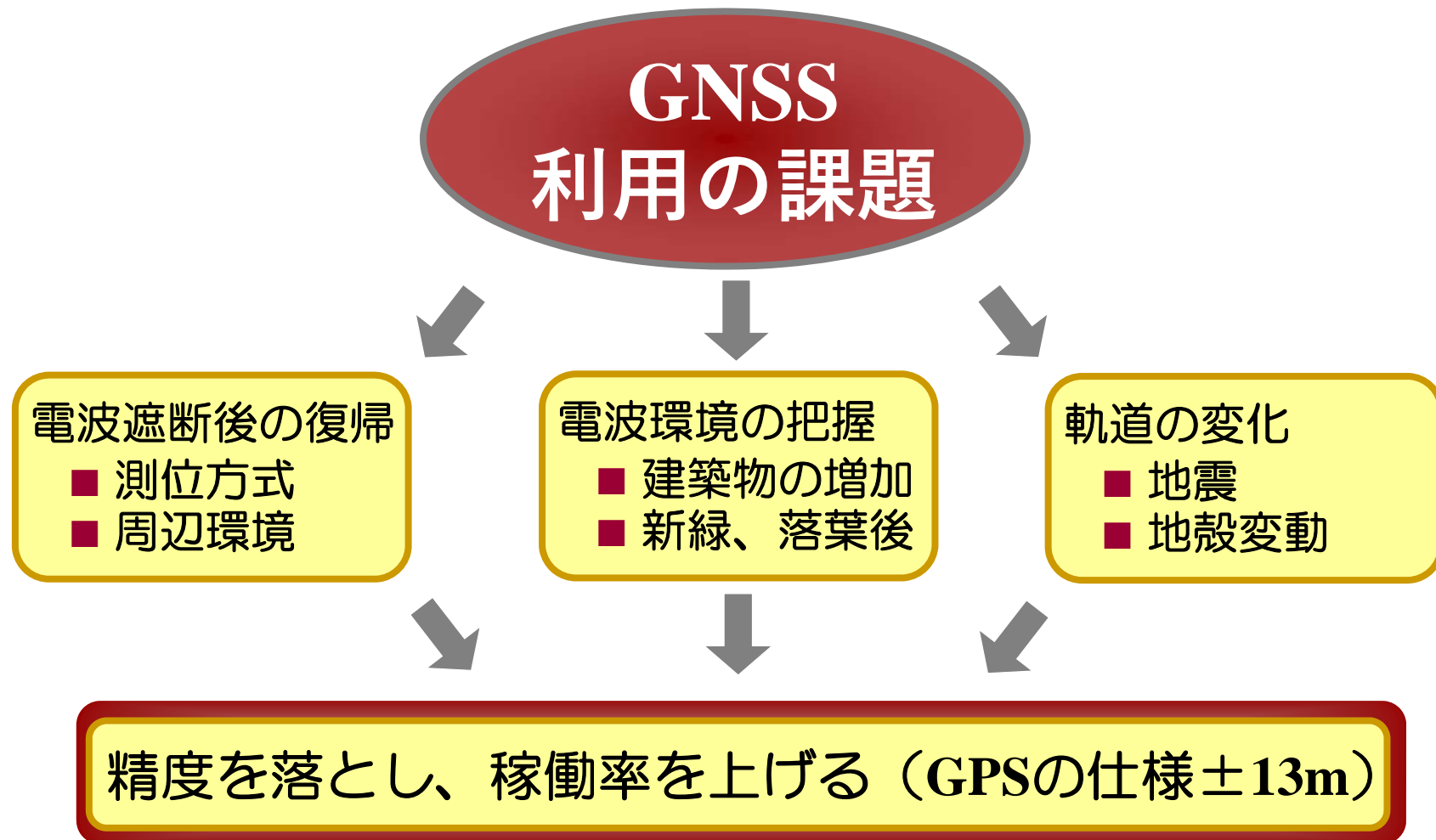


検知誤差[m] (区間1m)

位置精度

±10m未満：サンプル数8,080

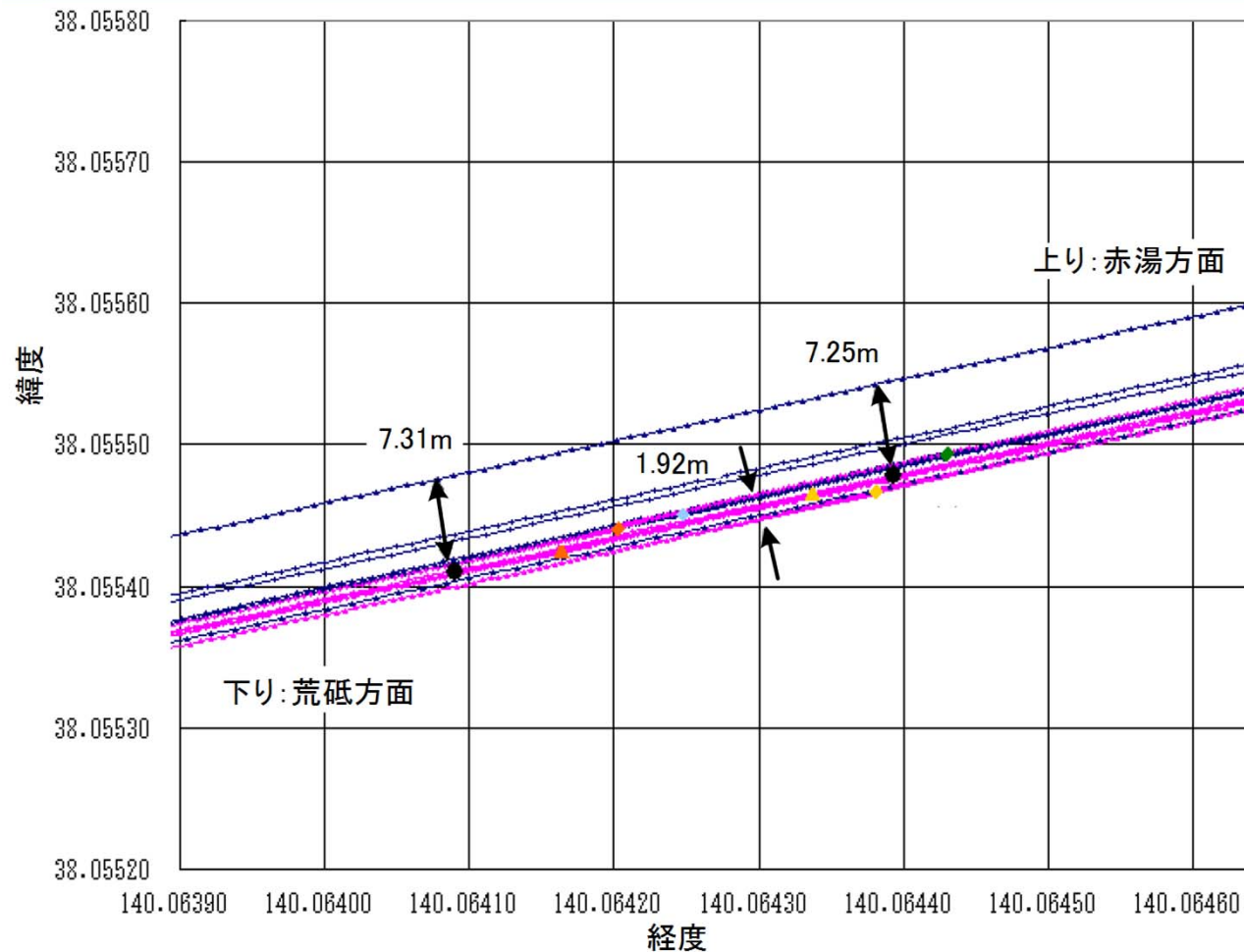
5. GNSS利用の課題



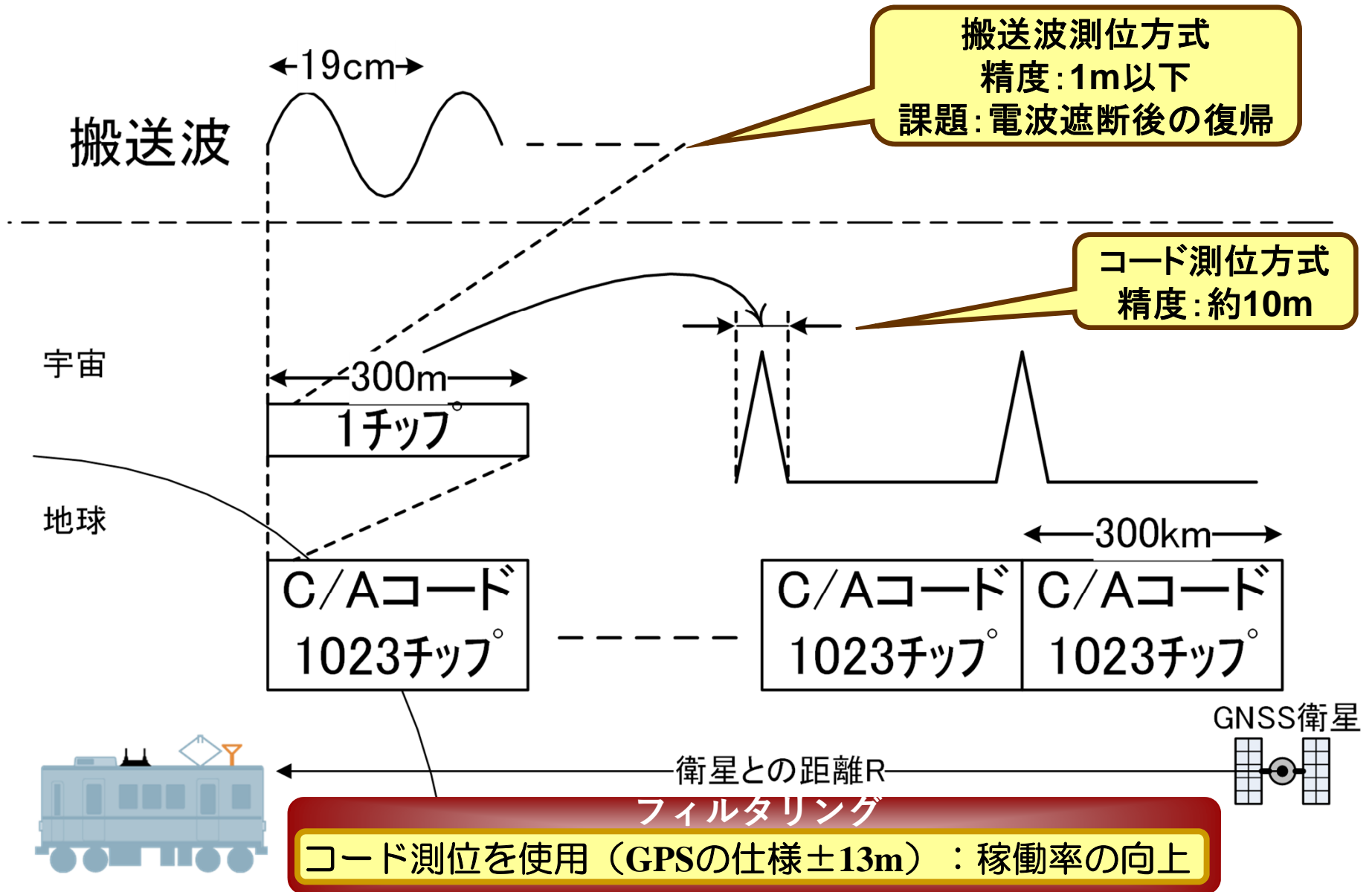
5. 1 GNSSの課題(電波遮断後の復帰)

電波遮断後の復帰に時間がかかる場合がある

- 下り：電波遮断がなく高精度（ピンクの軌跡）
- 上り：電波遮断後の復帰にばらつきがある（青の軌跡）



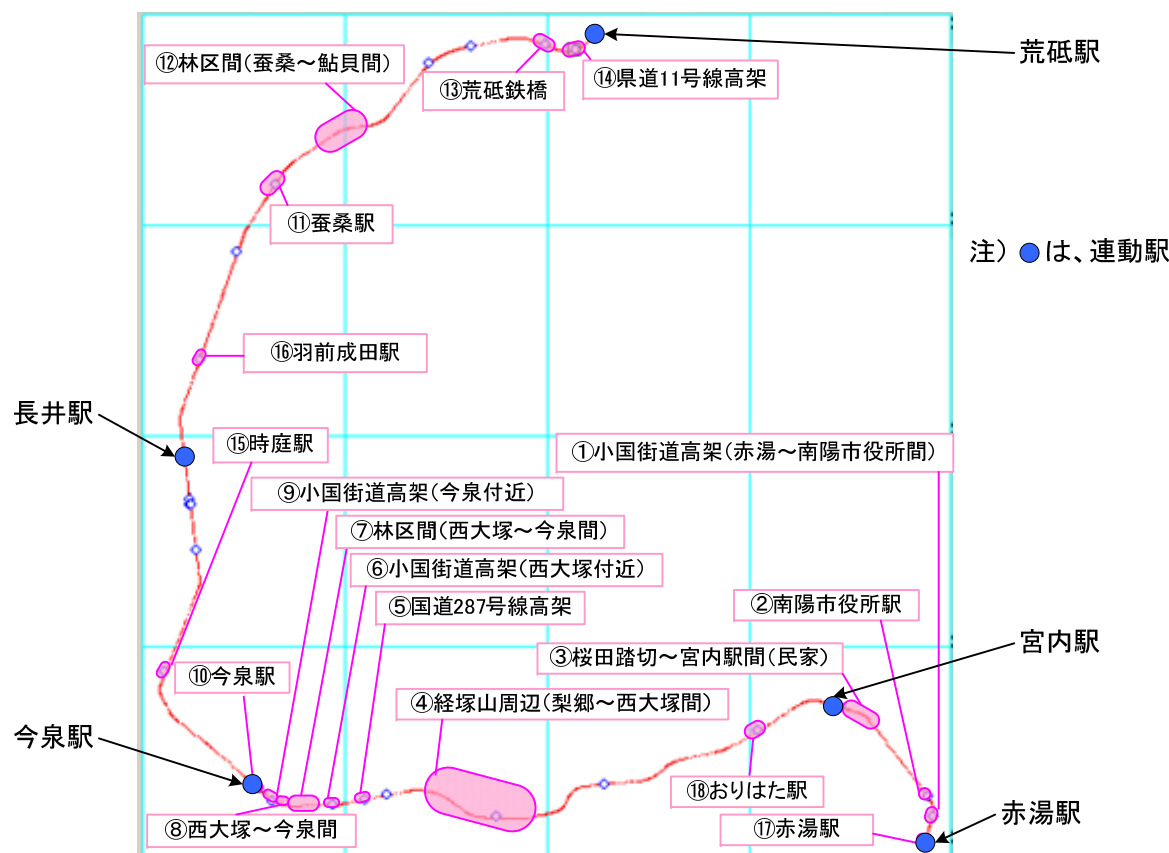
5. 1 GNSSの課題(電波遮断後の復帰)



5. 2 GNSSの課題(電波環境の変化)

電波環境の把握

- 沿線の誤差要因：把握可能（左図）
- 環境の変化：建築物、四季の変化（右図）



立体交差の新設



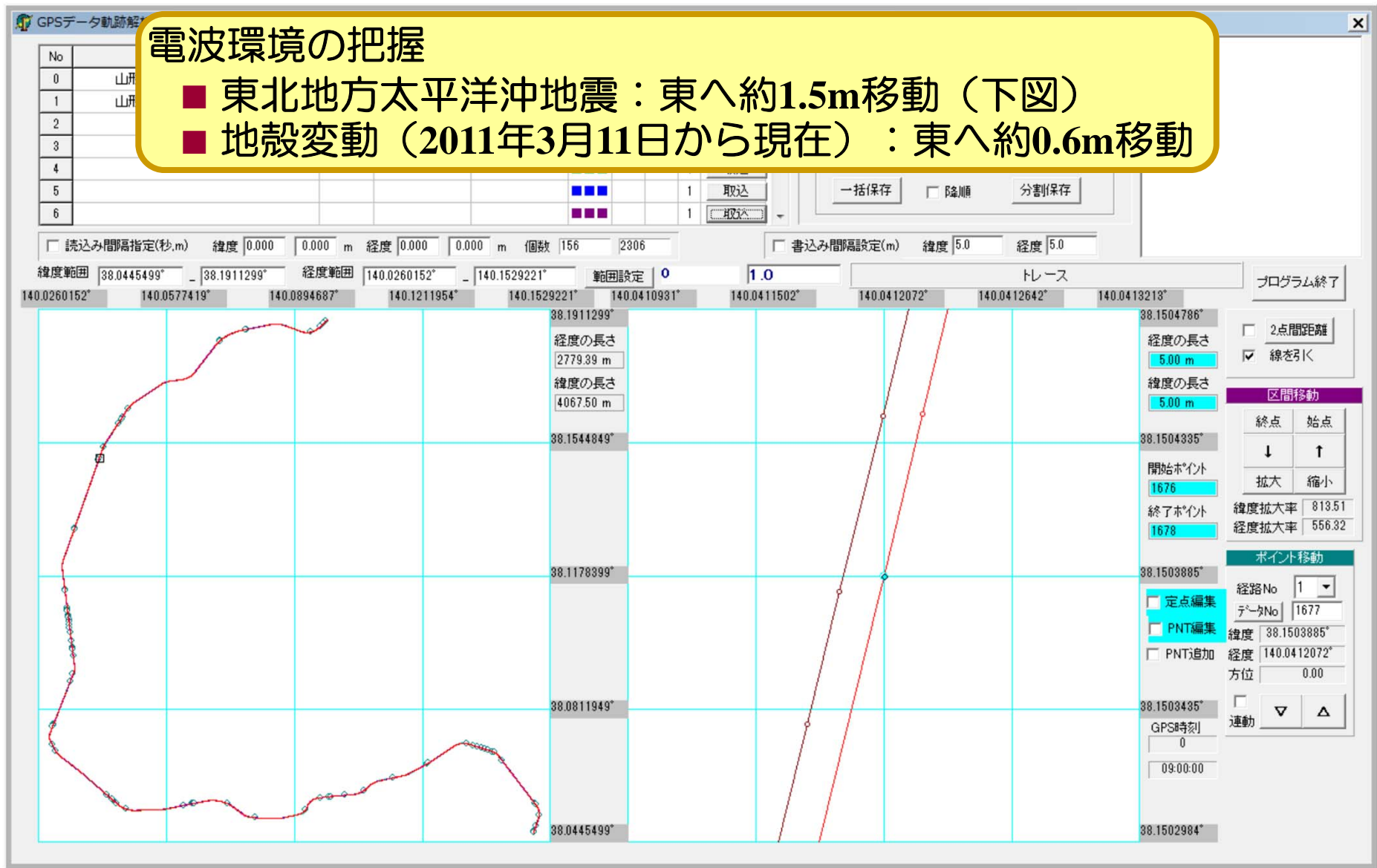
四季の変化



5. 3 GNSSの課題 (軌道の変化: 東北地方太平洋沖地震)

電波環境の把握

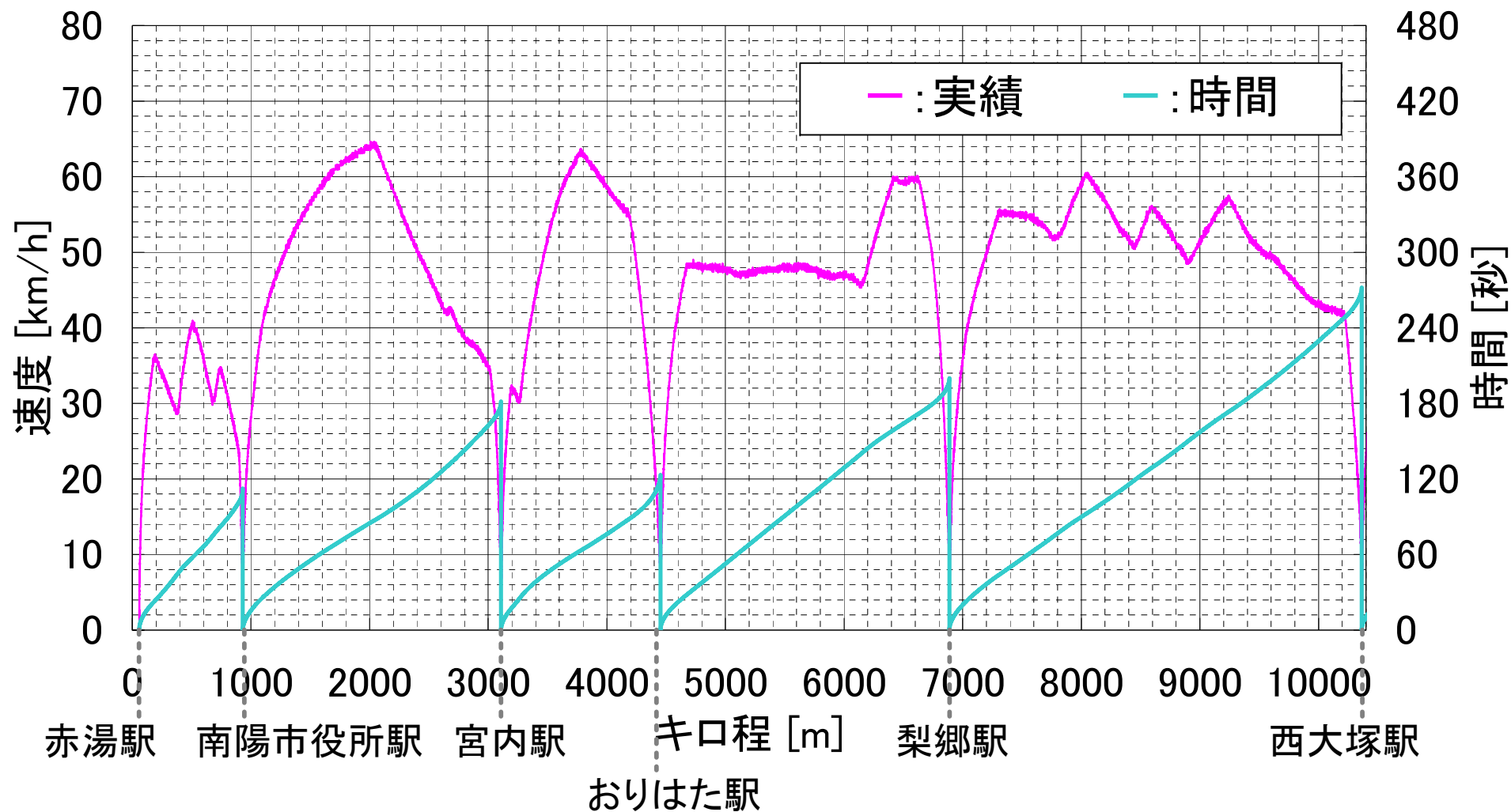
- 東北地方太平洋沖地震：東へ約1.5m移動 (下図)
- 地殻変動 (2011年3月11日から現在)：東へ約0.6m移動



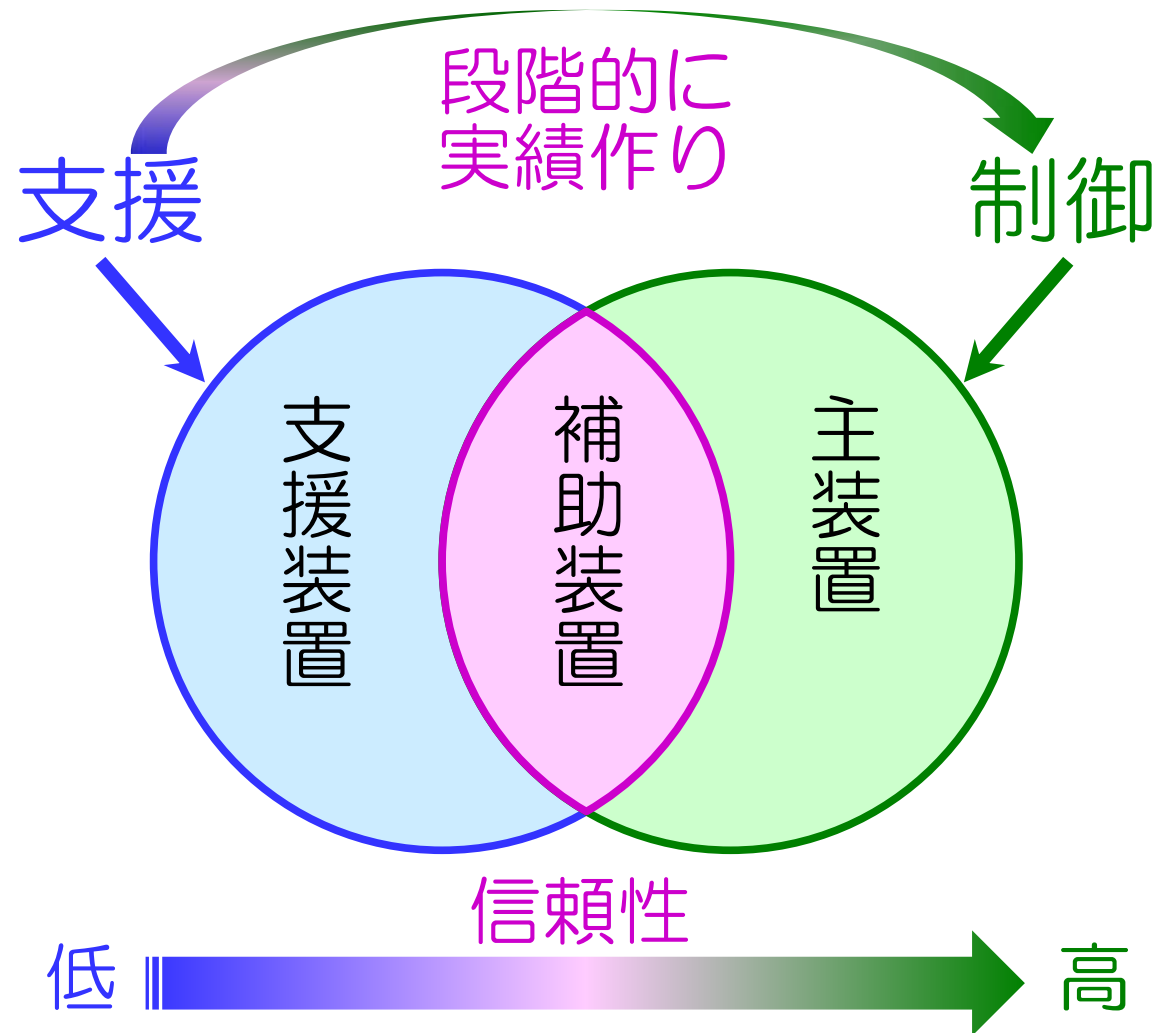
6. 1 運行支援(列車モニタ)

The screenshot displays the 'FGpsMain' application window. At the top, there is a menu bar with buttons for '車両1' through '車両7' and a server status indicator 'サーバより受信中[172.16.11.100]'. Below this is a status bar with buttons for '回線切断', 'ダイヤル中', 'アドレス取得', '接続処理', '接続完了', and '受信中', along with IP addresses 'サーバIP=172.16.11.100' and 'HOST-IP=10.27.85.21'. The main area contains two train monitoring panels. The top panel is for train 'YR-888' on the '山形鉄道フラワー長井線(下り)'. It shows a track diagram with stations '添川(JR)踏切' (1236 m), '今泉駅' (399 m), and '越後街道踏切' (53 m). The current speed is 21.36 Km/h. The bottom panel is for train 'YR-886' on the '山形鉄道フラワー長井線(上り)'. It shows a track diagram with stations '平山踏切' (480 m), '長井出発2L信号' (66 m), and '長井駅'. The current speed is 0.26 Km/h. Both panels include a 'GPS速度計' (GPS speedometer) window showing a speedometer with a needle and a digital display. The taskbar at the bottom shows the 'スタート' button and several open applications: 'Pgpsmain', 'Pmonitor2', 'Pmonitor1', 'Pspeedmeter1', and 'Pspeedmeter2'. The system tray shows the date and time '2012/07/24 09:18:35' and the number '918'.

6. 2 運行支援(運転状況記録)



7. 今後の進め方(支援装置から制御の主装置へ)



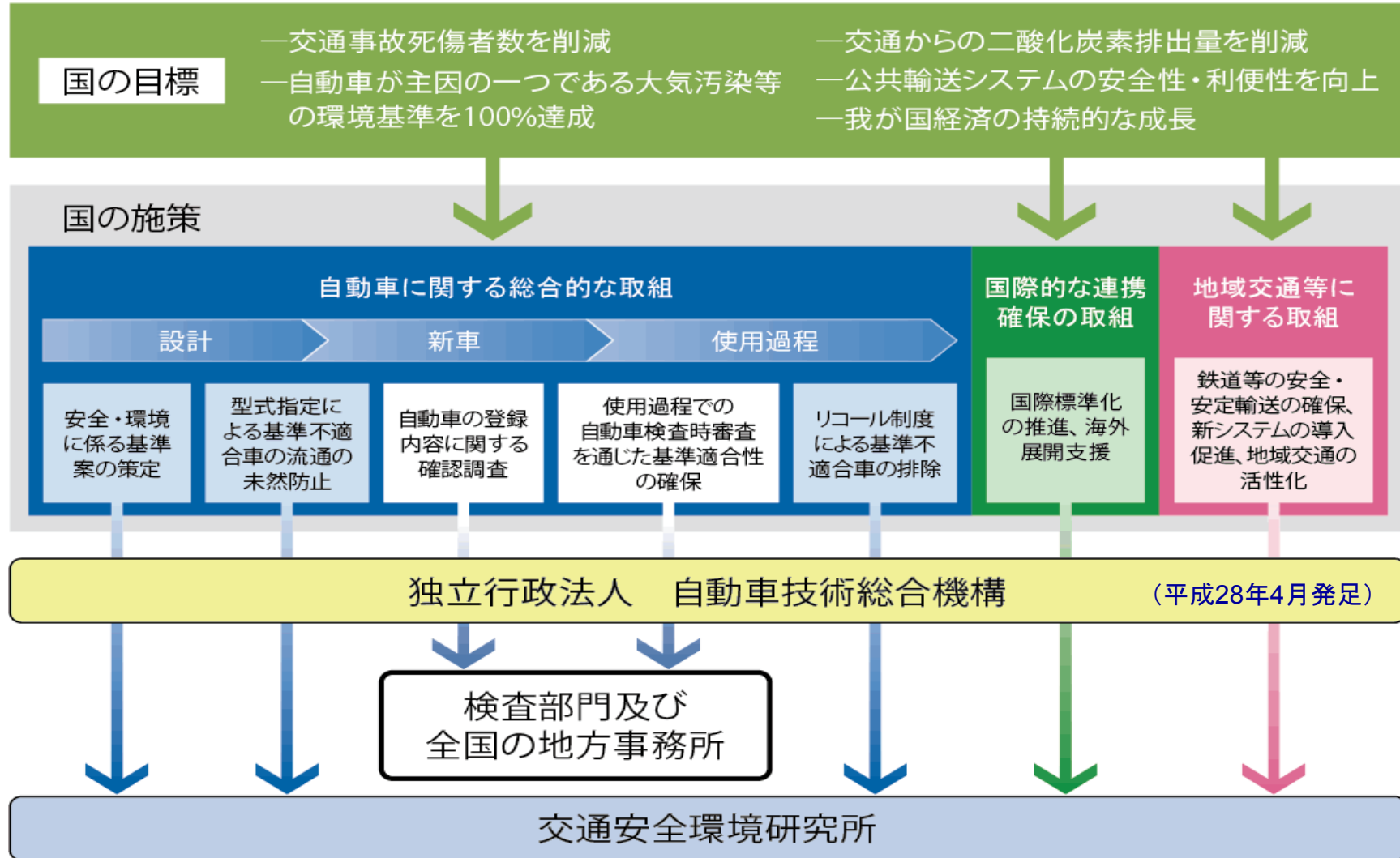
交通安全環境研究所における 衛星測位関係研究の取り組み

独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

交通安全環境研究所について

国土交通省所管の独立行政法人

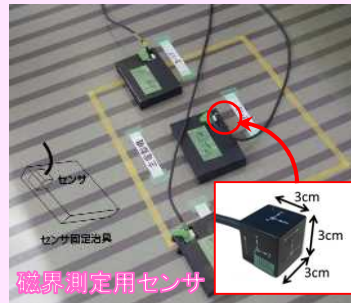
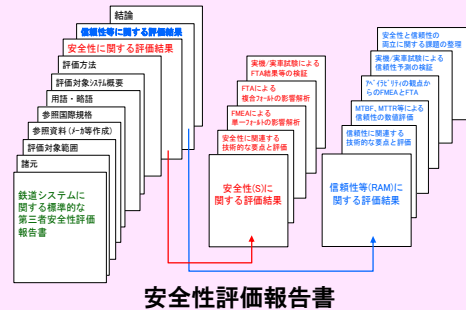
国の目標・施策に対する自動車技術総合機構と交通安全環境研究所の位置づけ



交通安全環境研究所 交通システム研究部における取り組み

都市交通システムの安全性・信頼性評価

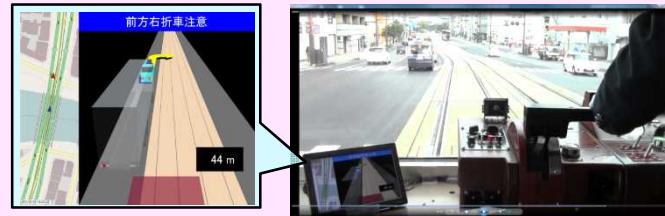
- 国際規格との調和や信頼性にも着目した設計安全性評価手法
- 新たな鉄道信号システムに対応する新しい安全設計手法への対応
- 鉄道における磁界評価に関する調査



安全性評価報告書

地方鉄道の安全性向上

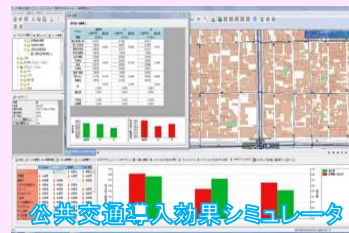
- 通信技術等を活用した鉄軌道・道路交通間における安全性向上
- 自動車の自動運転用センサ技術の地方鉄道及びLRTへの活用
- 走行安全性や軌道のモニタリング技術・状態監視
- 鉄道における衛星測位の適用技術
- 車上主体型列車制御システムにおける列車位置検知技術の評価
- 索道の安全性向上



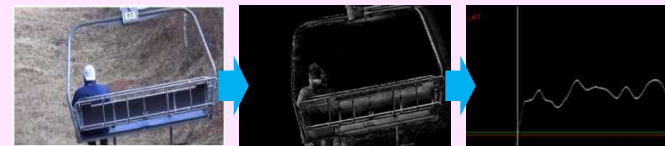
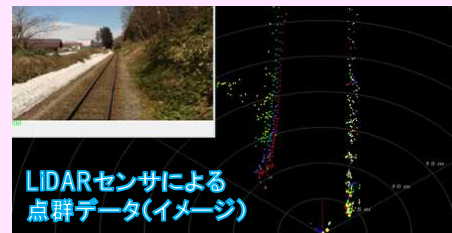
事故防止のための
運転支援

公共交通の導入促進・評価

- 軌道系交通システムと自動車交通の連携を踏まえた公共交通導入評価手法
- 地域特性に応じた公共交通システムの技術評価及び効果評価



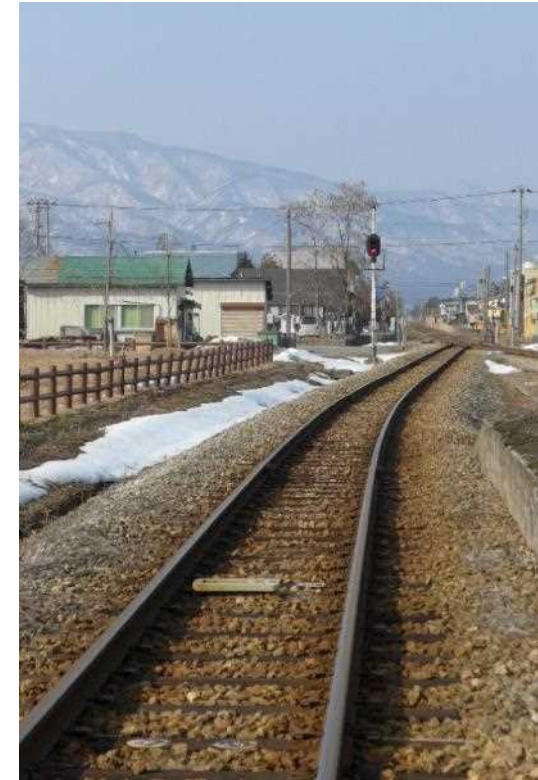
小型電動バス



画像解析による
チェアリフトの
セーフティバー
モニタリング

衛星測位技術の活用による省コストな列車制御

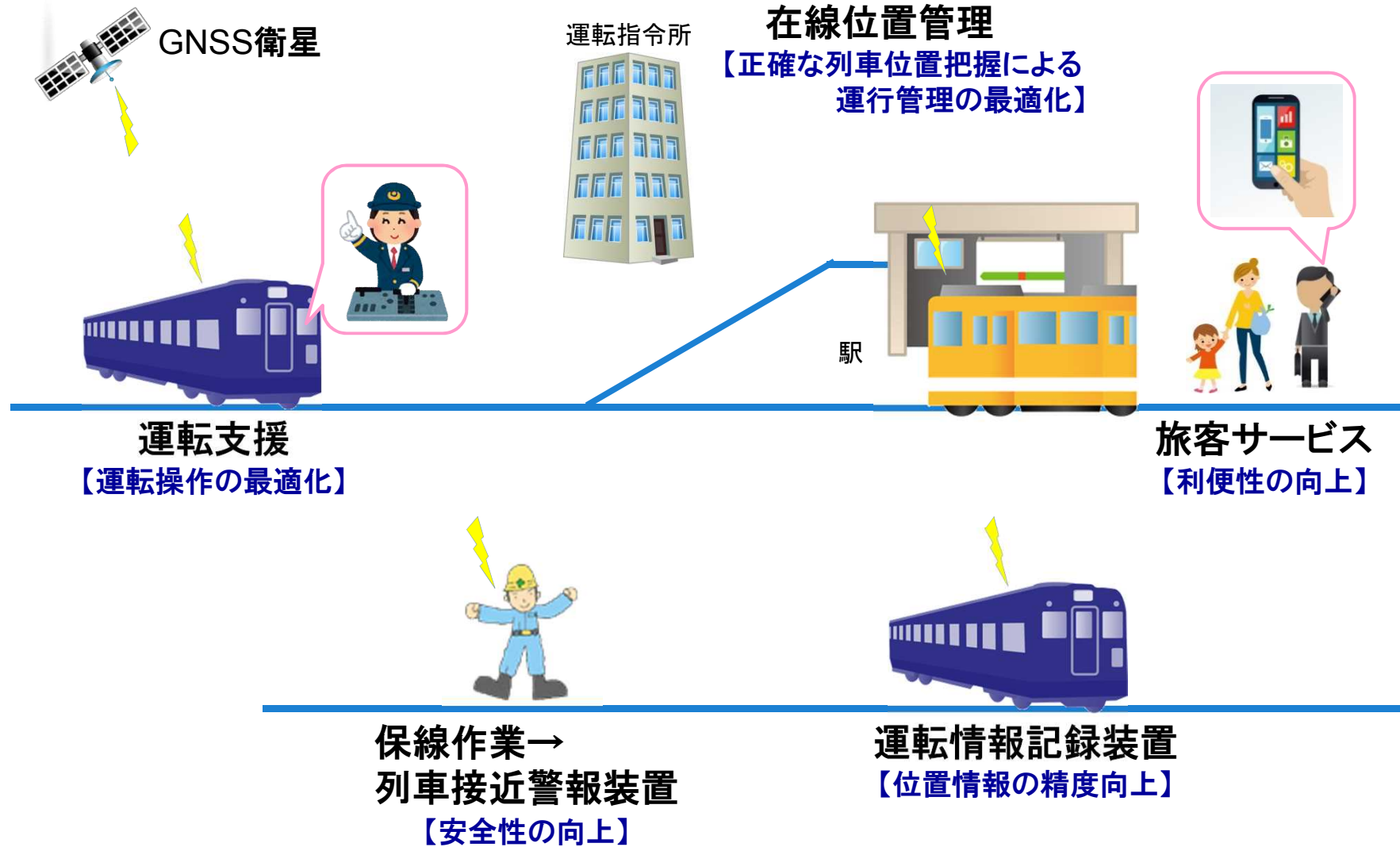
- 鉄道ではこれまで位置検知に軌道回路及び地上子等を用いることで鉄道の安全を確保



- 衛星測位は衛星からの電波を良好に受信できる状態の下では、位置検知が常時可能なシステム
 - 2018年から4機体制でのサービスが行われている準天頂衛星の活用により一層の位置検知精度の向上への期待
- 鉄道分野においても衛星測位を利用した位置検知が期待されるが、特に安全確保に関して既存システムと同等の高い安全性・信頼性を確保しなければならない

鉄道における衛星測位の利用

既に実用化された例あり



『鉄道分野におけるGNSS利活用に関するガイドライン』

- 鉄道分野ではGNSSの活用の余地があり，更なる活用を促進するために本ガイドラインを作成し，2017年3月に公表
 - 日本大学特任教授(現名誉教授)中村 英夫 先生を座長とし，鉄道事業者，メーカ，研究機関等で構成される検討委員会(関係省庁もオブザーバで参加)
 - 交通安全環境研究所，衛星測位利用推進センター様，準天頂衛星システムサービス様で共同事務局
- 本ガイドラインに法的根拠はないが，業界標準的な位置づけを目指したもの
- 規制に結びつくような数値は記載せず，今後の技術の進展等に応じての改訂を前提

衛星測位利用推進センター様のホームページにて公開
<http://www.spac.jp/media/pdf/library/20170710-01.pdf>

『鉄道分野におけるGNSS利活用に関するガイドライン』

本ガイドラインの対象

- GNSSの位置情報を利用するシステム

※ GNSSの時刻情報のみを利用するものや測量等の汎用的な技術は対象外

GNSSの利用レベルの定義

利用レベル	定 義	
	目 的	実現手段
レベル1	安定輸送の確保／ 機能・性能の向上	人間系＋システム
レベル2		システム
レベル3	安全の確保	人間系＋システム
レベル4		システム

※実現手段の「人間系＋システム」は人間系が主体となって目的を実現するものであり、システムが人間系を補助・支援する役割を持つことを示す

本ガイドラインの記載内容

- レベルごとに「定義」「要求事項(システムの設計に関する事項, GNSS情報の利用に関する事項*, システムの稼働に関する事項**)」 「具体例」を記載
- 衛星測位の原理及び技術に関する事項, GNSSの現状及び今後の計画については別紙で記載

*レベル1では記載なし **レベル4のみに記載

『鉄道分野におけるGNSS利活用に関するガイドライン』

本ガイドラインの概要

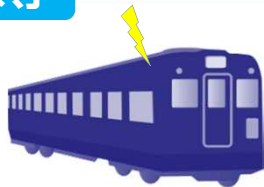
- GNSSを利活用する際に検討しやすいよう、注意すべき項目を下記のように整理

※HR:強く推奨 R:推奨 -:対象外

分類		安定輸送の確保/ 機能・性能の向上		安全の確保	
		レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4
(A) システムの 設計に関する 事項	安全に関連する装置には接続しない	HR	HR	—	—
	最終的な安全の確保は人間系又はシステムにより担保			HR	—
	GNSSを使用する/しない区間を定義してシステムを設計し、GNSSを使用しない区間には、他の手段を用意				HR
	リアルタイム性を確保	R	HR	HR	HR
	受信機の性能に適応した測位精度を定義してシステムを設計		HR	HR	HR
(B) GNSS情報の 利用に関する 事項	GNSSの測位状態や動作状態を監視し、使用者に対し必要なアラームを速やかに発する		R	HR	—
	衛星測位信号に基づき、衛星測位系が正常であることを確認(※1)				HR
	GNSSによる位置情報の健全性を確認(※2)				HR
(C) システムの 稼働に関する 事項	(B)の※1もしくは※2が満足されない場合、又は、GNSSによる位置情報の精度低下が確認された場合には、その位置情報を使用しない				HR
	GNSSの位置情報の利用をシステムとして実稼働させるに当たっては、事前にGNSSによる測位の傾向を把握し、妥当性を確認				HR

「利用レベル」と利用例

記録等



運転情報記録装置
【運転操作の最適化】

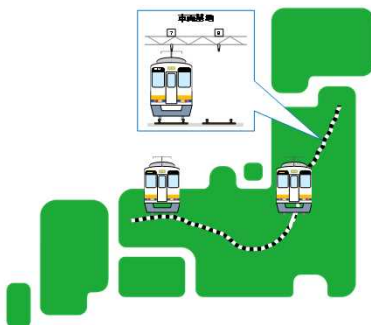
運行管理等



在線位置管理
【正確な列車位置把握による
運行管理の最適化】



旅客サービス
【利便性の向上】



車両位置管理
【車両検査周期の確実な把握】

利用レベル	定義	
	目的	実現手段
レベル1	安定輸送の確保／ 機能・性能の向上	人間系＋システム
レベル2		システム
レベル3	安全の確保	人間系＋システム
レベル4		システム

保安制御等

利用例なし

保守・警報装置等



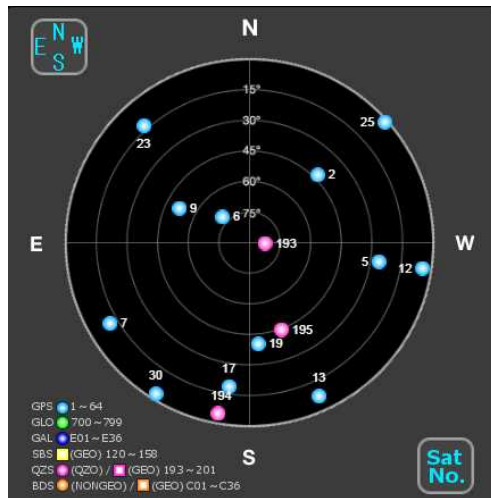
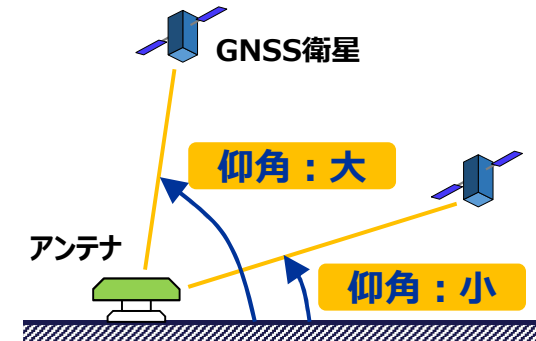
運転支援
【運転操作の最適化】



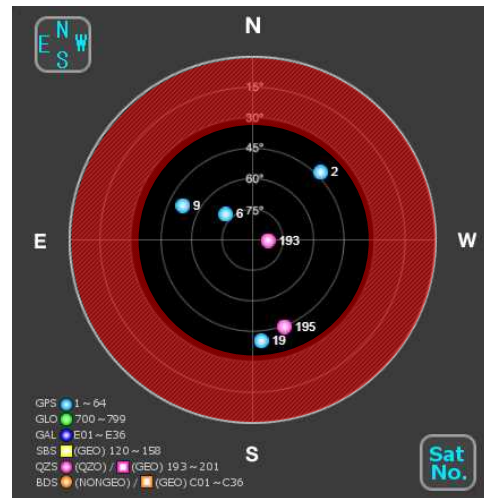
保線作業
【安全性の向上】

GNSSの測位精度向上を図る手法の検討と提案

- 地方中小鉄道での活用を念頭に、汎用の受信機による衛星測位と汎用無線を用いた列車制御システムを提案
- 提案の過程においてGNSSによる測位精度が課題となり、測位精度向上を図る手法について検討
- 沿線の障害物の位置と自列車の位置との関係から、仰角マスクを動的に制御して(「線路直角方向マスク」)、条件のよい(=仰角の大きい)衛星を選択し利用することによって精度を向上する手法を提案



マスクなし



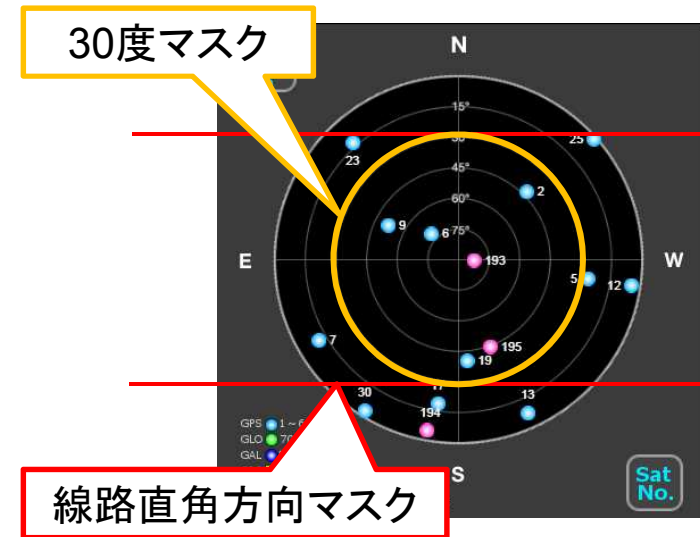
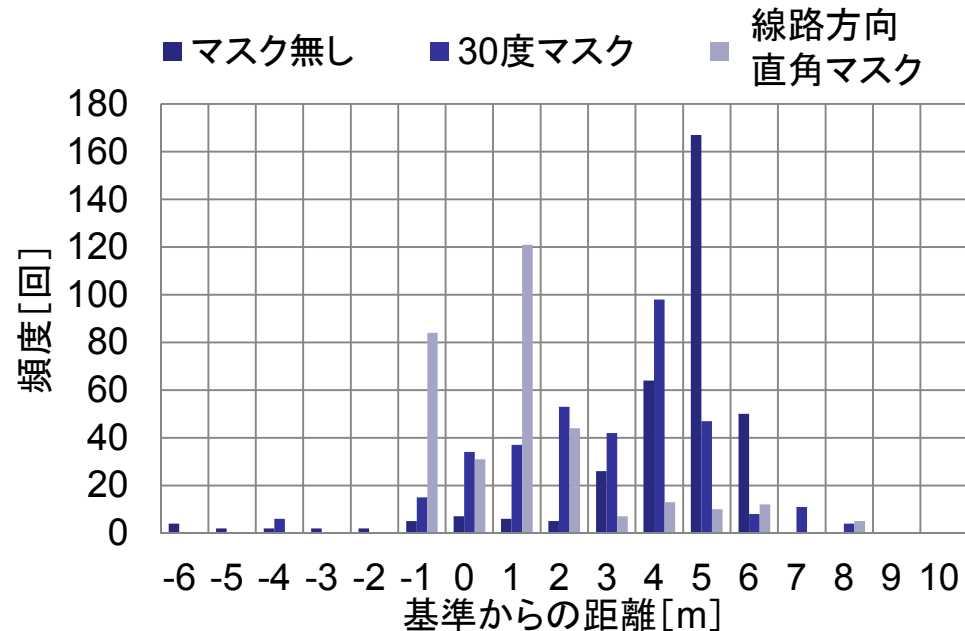
仰角マスク (30度)



線路直角方向マスク*

*「線路直角方向マスク」は見通しのよい線路方向をマスクせず測位に適した衛星を選択することに相当

仰角マスクによる測位精度向上効果



- 仰角マスク処理によって基準からの距離(基準との差)が小さくなる
- 30度仰角マスクに比べ、線路方向直角マスクの方が平均値、偏差ともに小さくなる
- 仰角マスクによって測位精度が向上したケースもあれば、仰角マスクによって多数の衛星が除かれ、少ない衛星数で測位したためにかえって精度が悪化するケースも存在

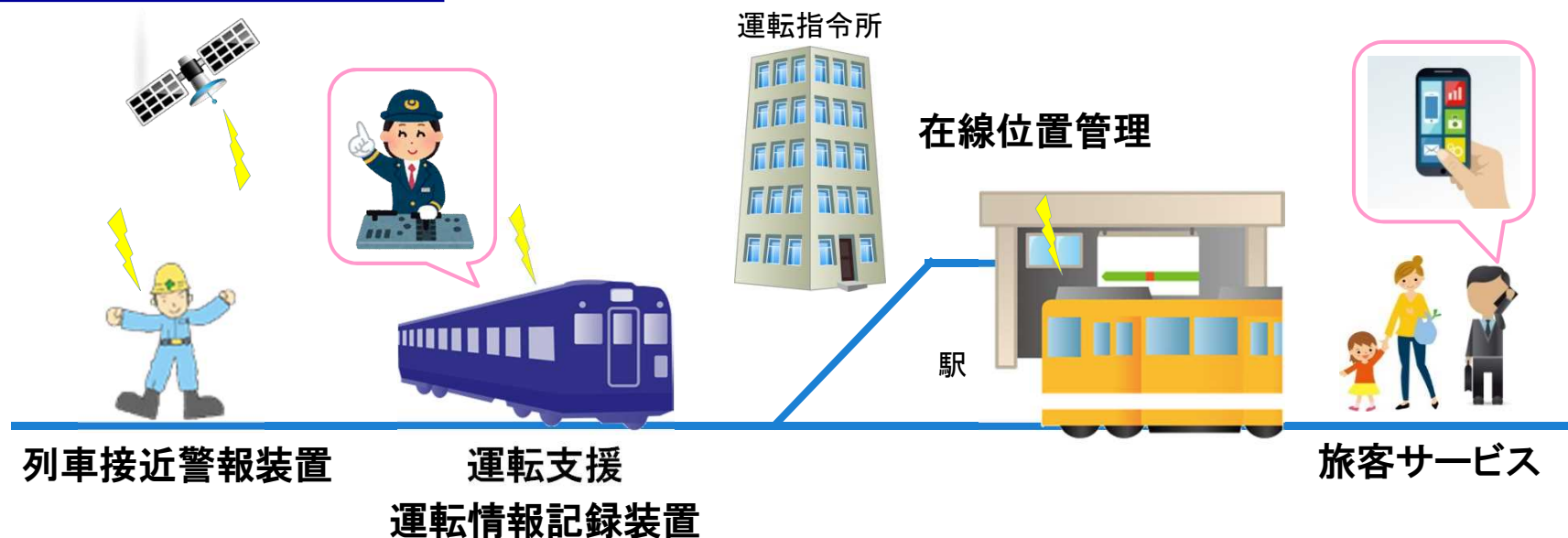


仰角マスクによる効果を確認したものの、効果が一定ではなかったことから鉄道に適したGNSSの測位精度向上については継続して検討

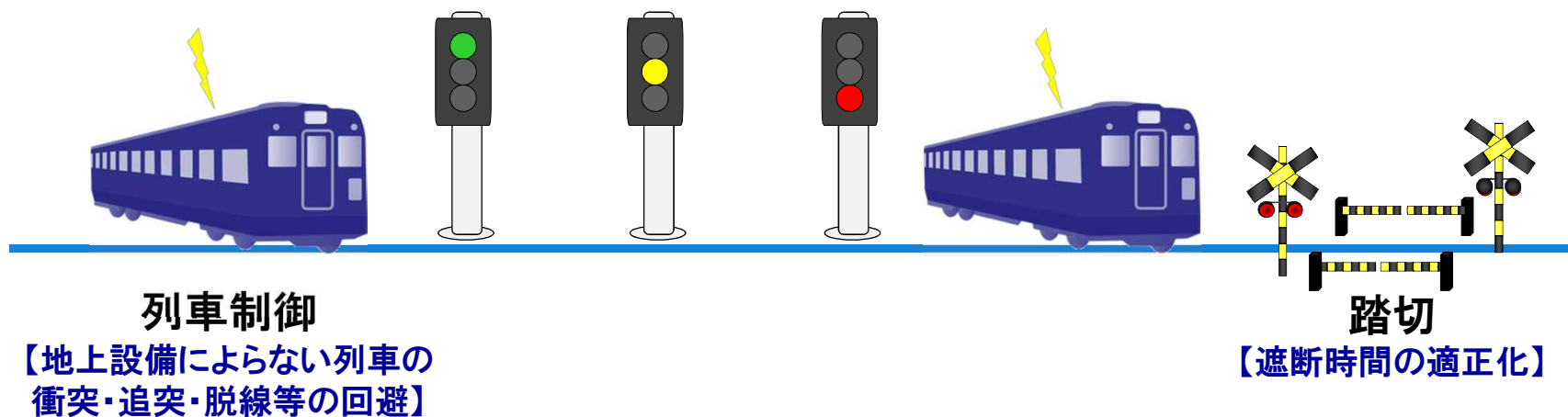
- 他のセンサとの組み合わせによる精度向上手法の検討

鉄道における衛星測位の今後の活用

実用化されたものの拡充



実用化への期待



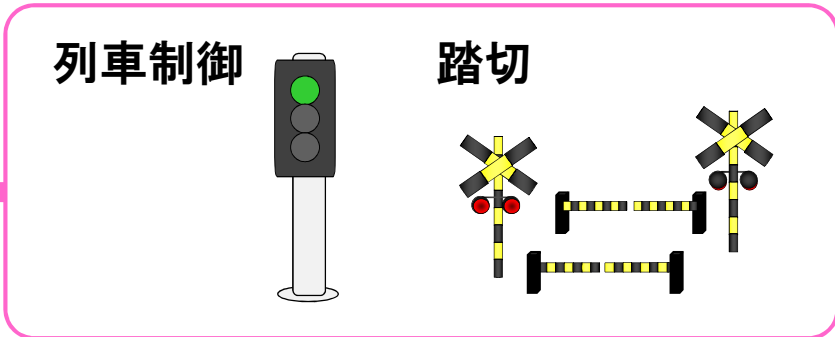
今後の活用に向けての課題

「支援」には使用していても
「制御」の実用化には至っていない

利用レベル	定義	
	目的	実現手段
レベル4	安全の確保	システム

保安制御等
利用例なし

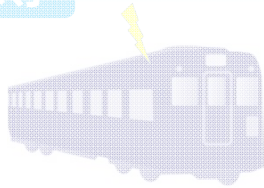
実用化に向けた課題



- 保安に活用する際のGNSSに求められる性能
 - 位置精度だけでなく、信頼性 (Reliability), 可用性 (Availability), 保守性 (Maintainability), 安全性 (Safety) の観点からの議論も必要ではないか
 - 都市鉄道, 地方鉄道, 路面電車等適用対象線区の特徴を踏まえた議論が必要ではないか
- GNSS単体での使用の限界
 - 要求性能や安全性を満たすためには他のセンサ等との組み合わせの議論も必要ではないか
- 既存システムと同等の高い安全性・信頼性を確保しつつ低廉なシステムの実現
 - 鉄道の維持・発展のためにはコストも踏まえた議論が必要ではないか

今後の活用に向けての課題

記録等



運転情報記録装置

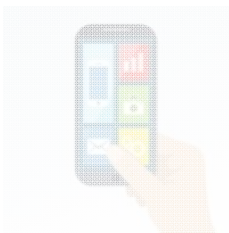
利用レベル	定義	
	目的	実現手段
レベル1	安定輸送の確保/ 機能・性能の向上	人間系+システム
レベル2		システム

• 鉄道の維持・発展のためのGNSSの活用

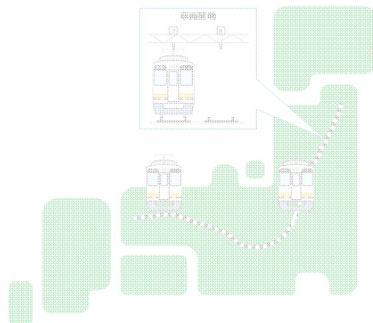
- 既に実用化された用途以外へのGNSSの活用
 - 防災(災害発生の予兆を事前に察知して列車の運行を停止等)
 - 保守(軌道管理等)
 - サービス(車内乗客への観光案内等)
- 保安以外への活用の際に求められる性能

在線位置管理

【正確な列車位置把握による
運行管理の最適化】



旅客サービス
【利便性の向上】

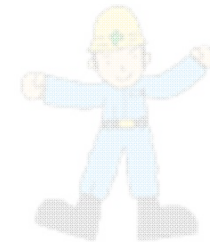


車両位置管理
【車両検査周期の確実な把握】

保守・警報装置等



運転支援
【運転操作の最適化】



保線作業
【安全性の向上】

検討体制(案)

鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会

①列車制御・保安分野検討WG (仮称)

- 列車制御や保安の分野においては、実用化にあたって高い安全性を確保することが求められる。
- 衛星測位技術を列車制御・保安分野に用いる場合、通信に係るセキュリティ確保等も重要。
- 本WGにおいては、既存のガイドライン※の内容を踏まえつつ、列車制御・保安分野における実用化の想定・課題の洗い出しや、安全性検証の結果を踏まえ課題解決に向けた方向性の検討を行う。

②保守・防災・サービス分野検討WG (仮称)

- 保守・防災・サービス分野においては、既にGPS等を活用している事例もあり、①に比べ実用化が比較的容易と考えられる。
- 本WGにおいては、既存のガイドライン※の内容を踏まえつつ、保守・防災・サービス分野における更なる実用化に向けた他分野活用事例の情報収集、活用方法議論、ロードマップ作成・課題の洗い出しの検討を行う。



各者で所有する衛星測位の計測データ

※鉄道分野におけるGNSS利活用に関するガイドライン
(2017年3月)

検討体制(案)

鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会

①列車制御・保安分野 検討WG(仮称)

②保守・防災・サービス分野 検討WG(仮称)

有識者

【主査】 -

【主査】 -

事業者

事業者(JR)

事業者(JR)

関係団体に
委員の選定を
依頼

事業者(大手民鉄)

事業者(大手民鉄)

事業者(中小民鉄)

事業者(中小民鉄)

研究機関

鉄道総合技術研究所

鉄道総合技術研究所

電子航法研究所

メーカー

信号関係メーカー

信号関係メーカー

関係団体に委員の選定を依頼

関係団体

日本鉄道運転協会

日本鉄道施設協会

日本鉄道電気技術協会

日本鉄道電気技術協会

日本鉄道車両機械技術協会

準天頂関係

衛星測位利用推進センター または
準天頂衛星システムサービス

衛星測位利用推進センター または
準天頂衛星システムサービス

※メンバーは
必要に応じ追加

【委員】

スケジュール(案)

鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会

①列車制御・保安分野検討WG (仮称)

②保守・防災・サービス分野検討WG (仮称)

2018	2019		
<p>第1回(2/19)</p> <ul style="list-style-type: none"> 衛星測位を巡る現状 鉄道事業者・メーカー等の取組状況 検討の方向性及び体制 スケジュール等 	<p>第2回(春～夏)</p> <ul style="list-style-type: none"> 各WGの検討状況 	<p>第3回(年末)</p> <ul style="list-style-type: none"> とりまとめ(案) 	
	<p>第1回 第2回 第3回 第4回</p> <ul style="list-style-type: none"> 第1回検討会を踏まえてWGで議論する具体的な内容 具体的な検討、議論 	<p>第5回 第6回 第7回</p> <ul style="list-style-type: none"> 第2回検討会からのフィードバックを受けてのとりまとめ(案)の作成 	
	<p>第1回 第2回 第3回 第4回</p> <ul style="list-style-type: none"> 第1回検討会を踏まえてWGで議論する具体的な内容 具体的な検討、議論 	<p>第5回 第6回 第7回</p> <ul style="list-style-type: none"> 第2回検討会からのフィードバックを受けてのとりまとめ(案)の作成 	

□ □ :主な報告・検討・議論・審議事項

検討の進捗状況により…

- WGの開催回数が増減の可能性あり
- 検討会の開催時期に変更の可能性あり