

鉄道の安全性向上を目指した 衛星測位の適用技術及び ガイドラインに関する取組

交通システム研究部 主任研究員 工藤 希

講演内容

1. はじめに
2. 鉄道における衛星測位利用の現状
3. 鉄道における衛星測位の適用技術
4. 鉄道における衛星測位の利活用ガイドラインの作成について
5. おわりに

はじめに～鉄道的安全性向上のために～

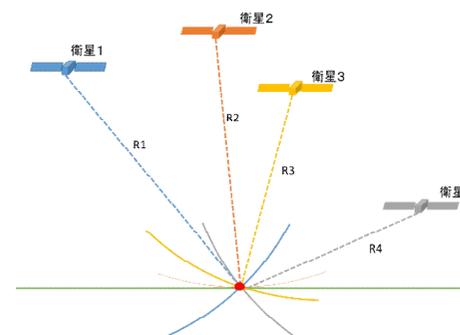
- 鉄道ではこれまで位置検知に軌道回路及び地上子等を用いることで鉄道の安全を守ってきた



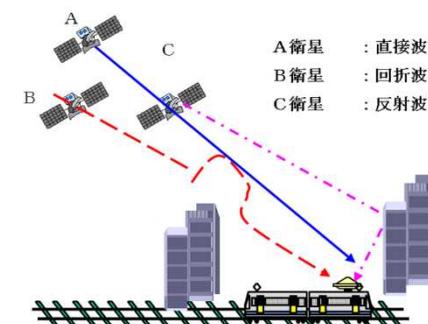
- 衛星測位は良好な受信状態のもとでは常時、位置検知が可能なシステム
 - 特に平成30年度から4機体制でのサービスが予定されている準天頂衛星の活用により一層の位置検知精度向上が見込まれる
- 鉄道においても衛星測位を利用した位置検知が期待されるものの、既存システムと同等の**高い安全性・信頼性を確保**しなければならない

はじめに～衛星測位技術～

- 衛星測位は衛星から電波を受信して現在位置を算出するもの
- 位置測位のための衛星(航法衛星)
 - GPS(Global Positioning System:アメリカ)
 - GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System:ロシア)
- GNSS(Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム)は、GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星等の衛星測位システムの総称)
- これまでの研究成果から
 - 衛星測位単独での精度は数十m
 - マルチパスは周辺環境と衛星の位置との関係によるため誤差の量が推定しづらい
 - マルチパスの影響を少なくするためには、高仰角の衛星を多く捕捉することが有効



衛星測位の原理



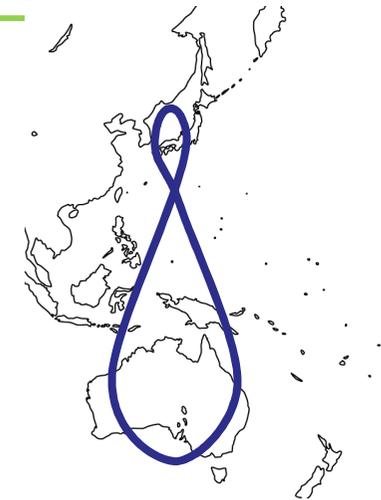
マルチパスのイメージ

A衛星 : 直接波
B衛星 : 回折波
C衛星 : 反射波

はじめに～衛星測位技術～

- 準天頂衛星は日本の上空で衛星測位を高精度で利用するため内閣府が打ち上げる衛星
 - 平成22年に初号機(稼働中)
 - 平成30年までに4機体制になる予定
 - 平成35年をめどに7機体制になる予定
- 準天頂衛星は上下非対称の8の字の軌道
 - 3機以上の体制となれば、東京上空で常に70度以上の高仰角な衛星を1機は見通せる
- 他の航法衛星と合わせて測位することで精度向上が見込める
- 準天頂衛星独自の補強情報を利用することによっても位置検知精度の向上が可能

衛星配置例7月7日15時25分
(GNSS Viewより)



準天頂衛星の軌道

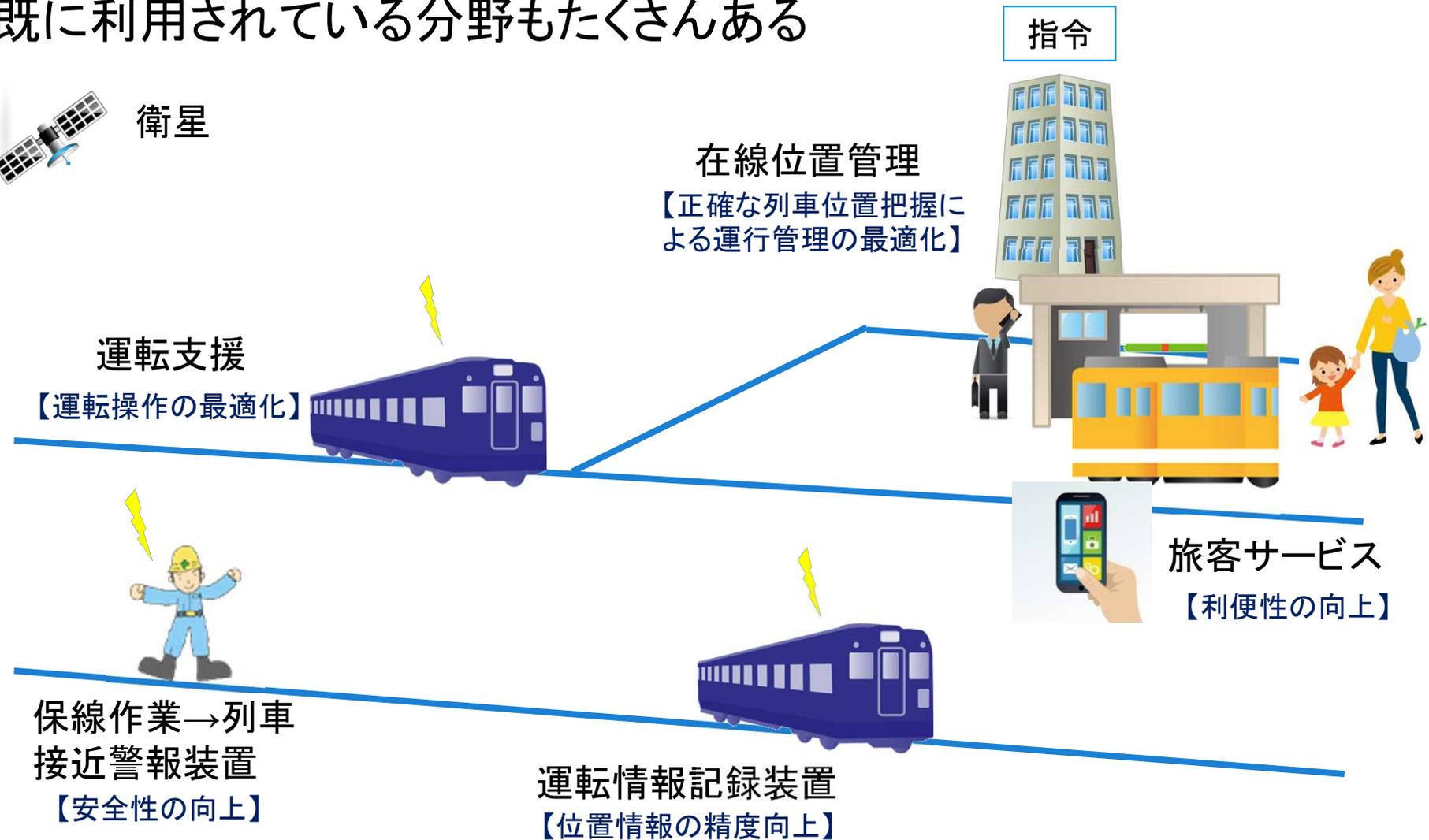


鉄道における衛星測位利用の現状

既に利用されている分野もたくさんある



衛星



鉄道における衛星測位利用の現状

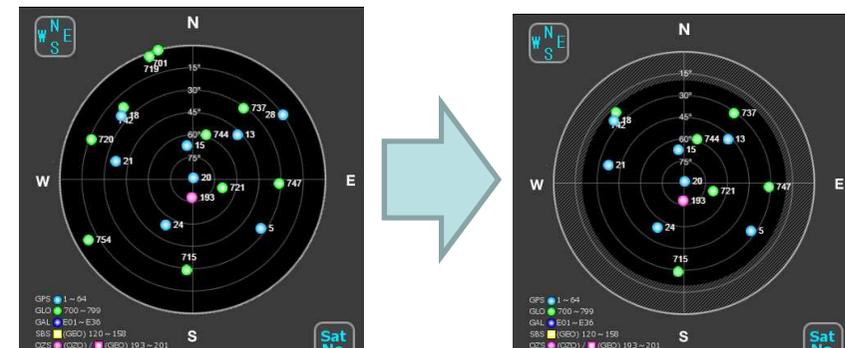
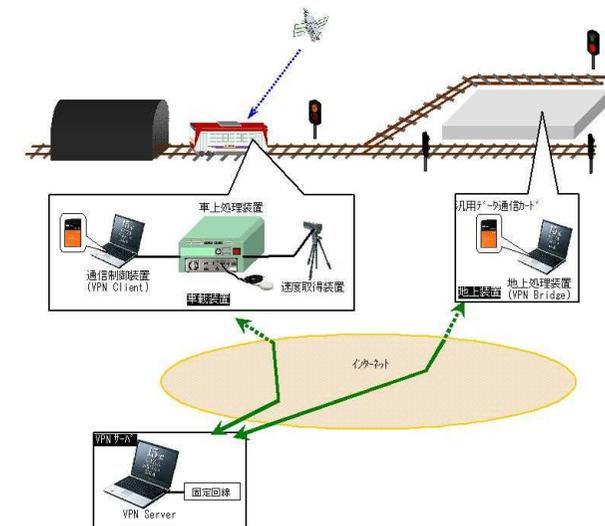
- 鉄道における次世代の列車制御システム：
 - 海外では無線列車制御システム(CBTC:Communication Based Train Control)の導入が進んでいる
 - JR東日本のATACS(Advanced Train Administration and Communications System)
- 衛星測位を活用した列車制御システム(研究段階)：
 - 地方・ローカル線・路面電車に有効な地上システムが省力化可能な運転管理システムの技術開発(平成21~23年度 国土交通省 鉄道技術開発補助事業—株式会社京三製作所)をもとに同社が「ATP閉そくシステム」を開発中
 - 交通分野における高度な制御・管理システムの総合的な技術開発(平成24~26年度 総合政策局委託研究—交通安全環境研究所)

➡ 「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

鉄道における衛星測位の適用技術

- 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システムを提案**
- 衛星測位の精度向上の取組み「**仰角マスク**」

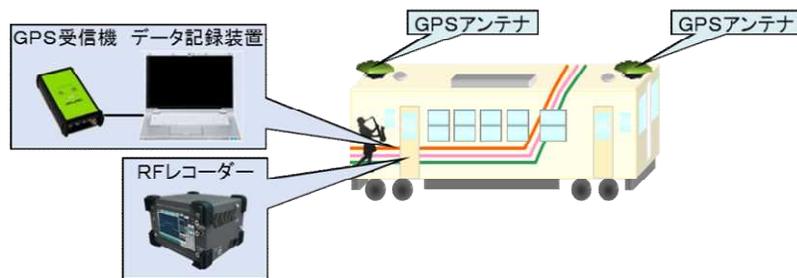
沿線の障害物の位置と自列車の位置との関係から、「**仰角マスク**」を動的に制御し、条件のよい衛星を選択的に利用することによって精度を向上することを提案。



仰角20度以下の衛星をマスクした場合の衛星配置の例

鉄道における衛星測位の適用技術

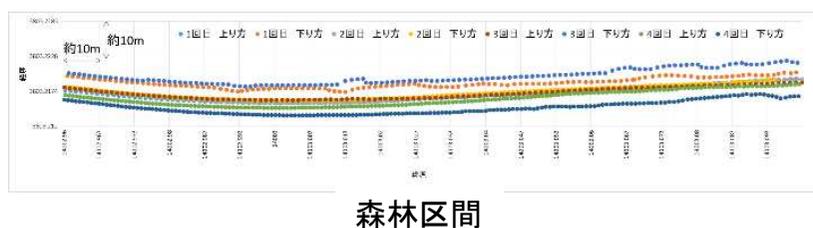
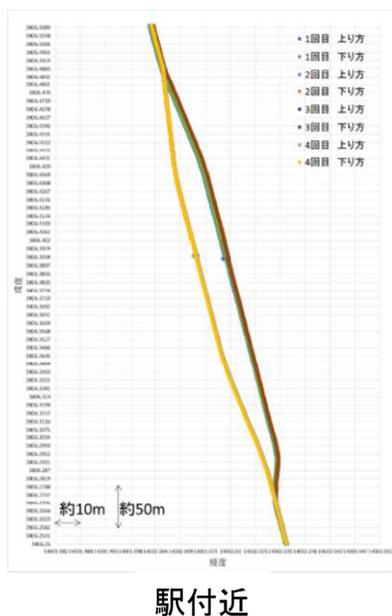
- 山形鉄道(株)フラワー長井線において実施
- 実験日:平成28年3月5日
- 衛星受信機:JAVAD GNSS社Alpha-G3T



機器構成

鉄道における衛星測位の適用技術

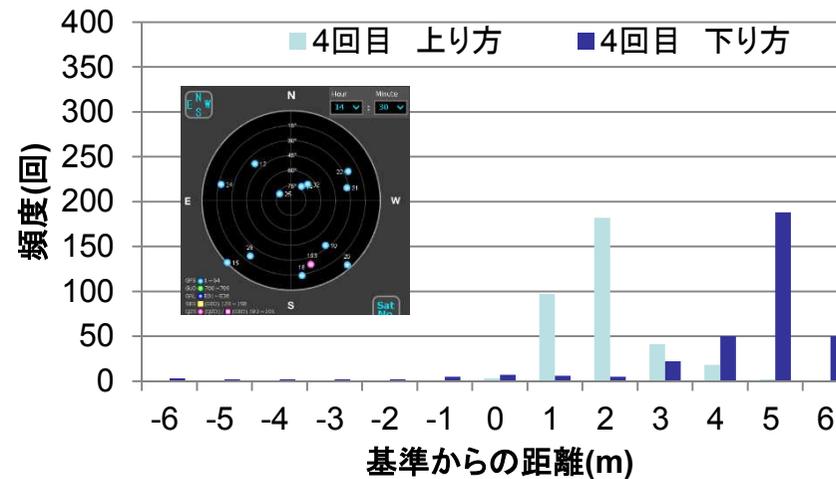
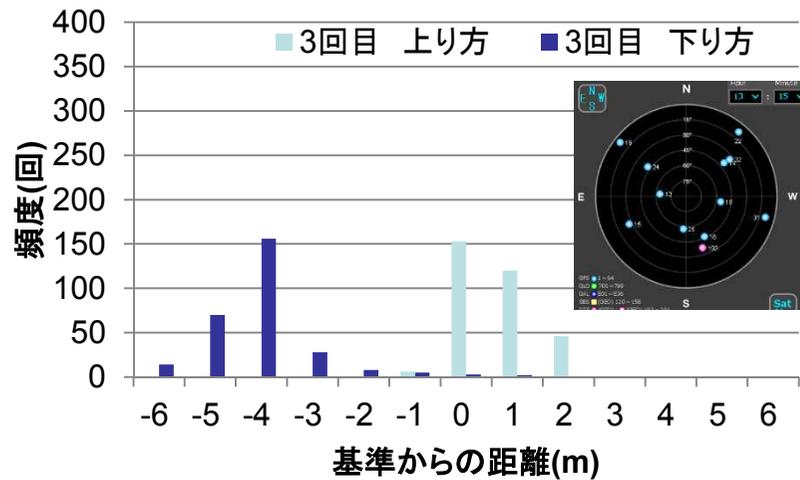
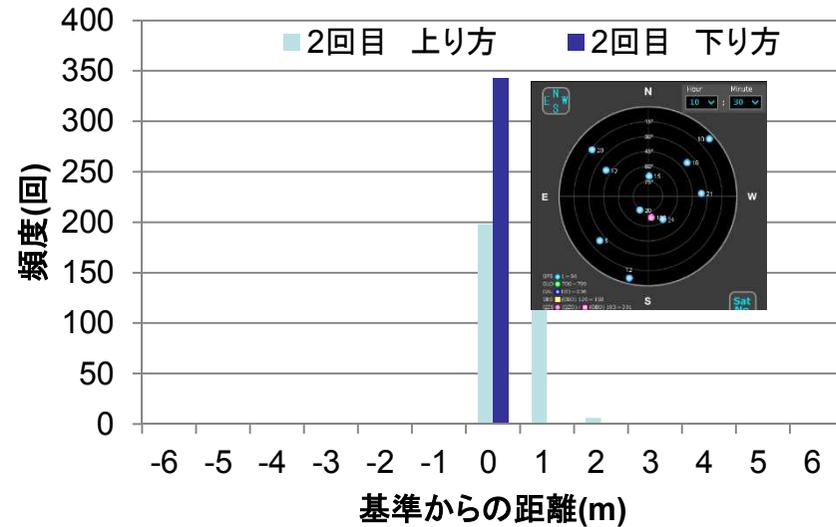
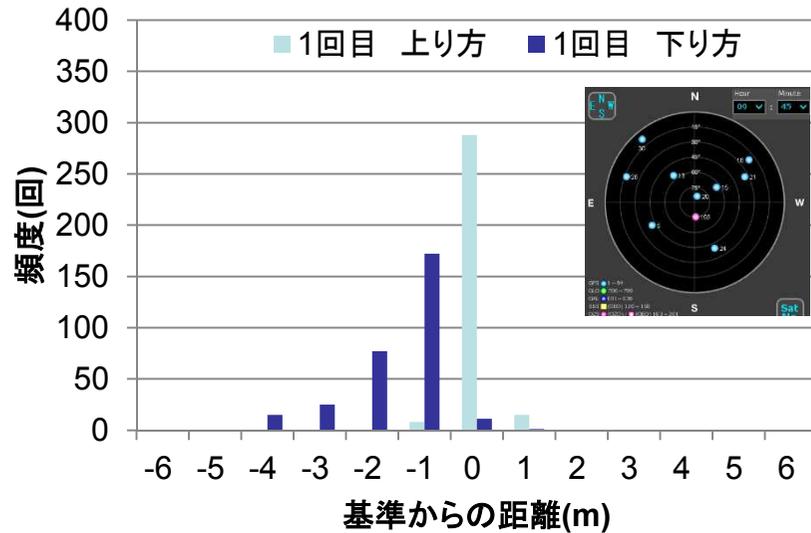
- 全線にわたり衛星による測位を確認
- 跨線橋などの上空が開けていない特定の箇所以外の場所においては、約3mの差で測定が可能



- 駅では衛星測位のみで明確に隣の線と区別
- 森林等によりマルチパスの影響を受けやすい箇所においては、10m程度の差

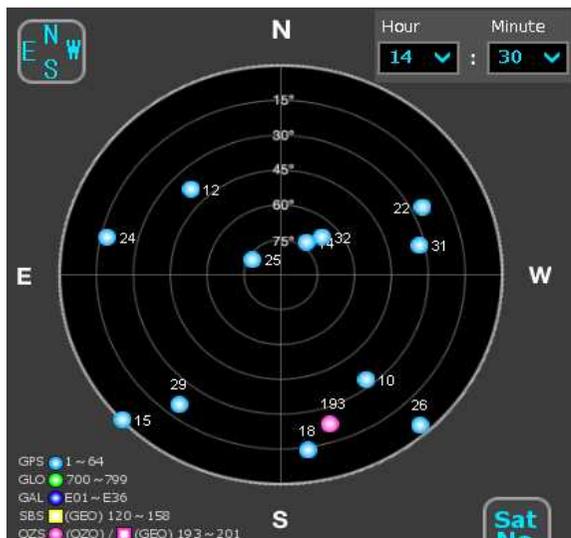
鉄道における衛星測位の適用技術

- 森林区間における基準値からの距離

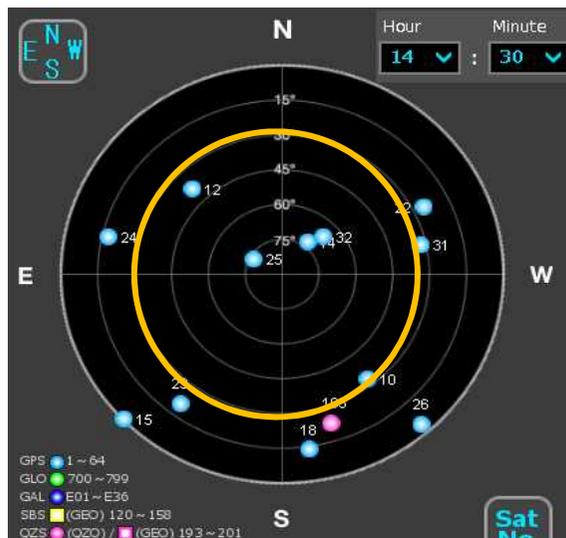


鉄道における衛星測位の適用技術

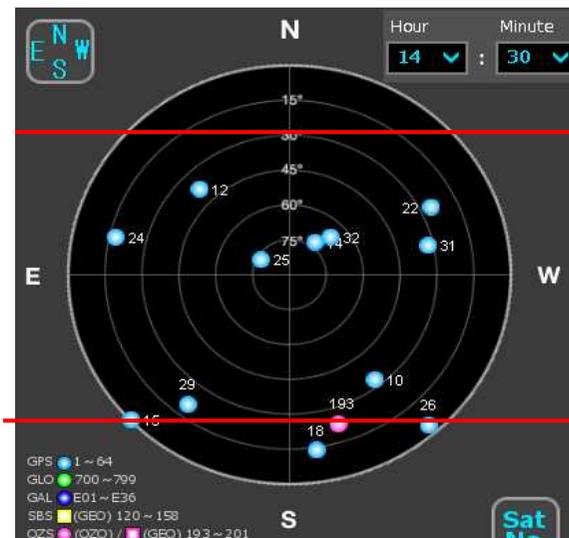
- 4回目の走行について仰角マスクの効果を検証



マスク無し
(すべての衛星を利用)

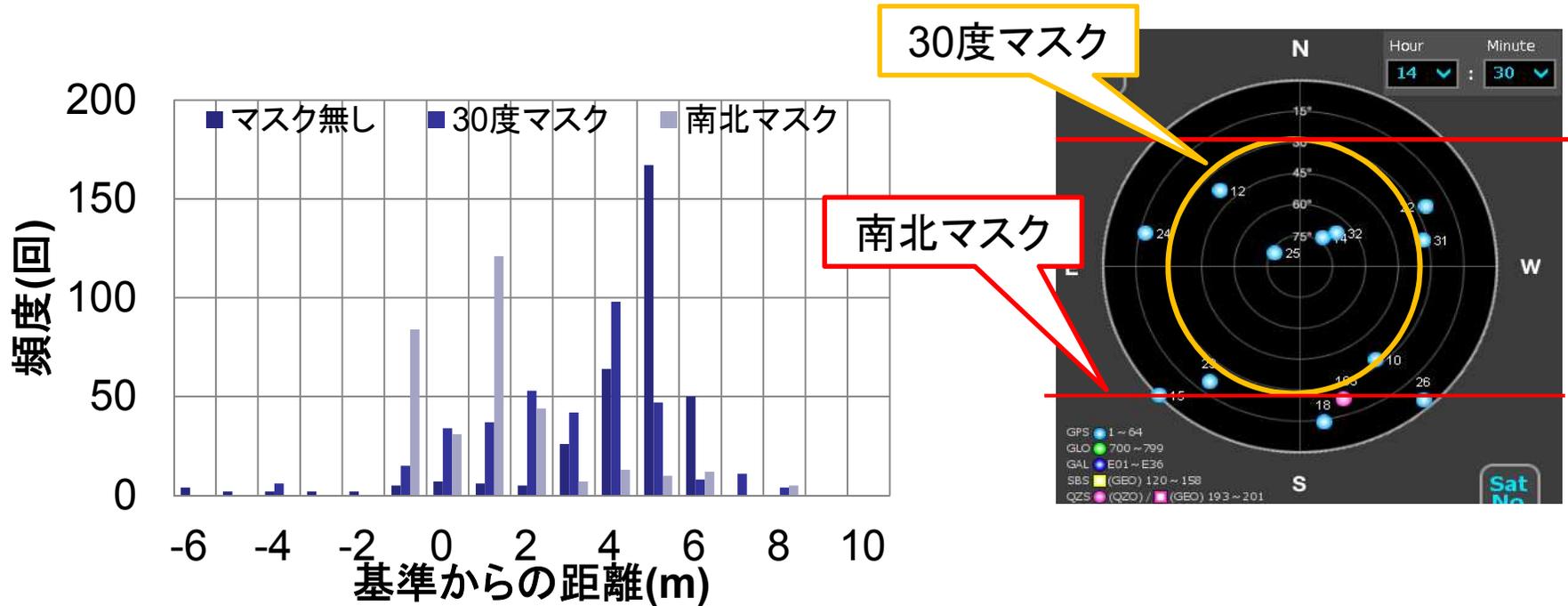


30度マスク
(30度以下の衛星を計算
に用いない。
一般的な手法)



南北マスク
(枕木方向の衛星を計算
に用いない)

鉄道における衛星測位の適用技術



- 仰角マスクをしない場合に比べ、マスクした場合は基準との差が小さくなる
- 30度マスクに比べ、南北方向(枕木方向)の方が平均値、偏差ともに小さい
- 一方、マスク無しでも誤差の少ない走行では、効果はない

鉄道における衛星測位の適用技術

- 地方鉄道に向けた安価な列車制御システムとして、衛星測位を用いたシステムを提案
- 点制御ATS相当のシステムを目指すのであれば、全線に渡る連続検知は必要条件ではないものの、使用可能区間は多いほうがよく、信頼性の向上が必要
 - 跨線橋直下などの一部区間を除けば測位誤差は3m程度
 - 仰角マスクを適切に設定することでさらに誤差範囲は小さくなる
- 枕木方向の仰角マスクを提案し、測位試験からその有効性を確認した
 - 衛星配置の悪い箇所では、5mあった誤差を1mまで少なくすることが可能
 - 鉄道の特徴を生かし、線路の枕木方向をマスクすることが有効

➡ 今後は...

- 仰角マスクだけでなく、準天頂衛星の4機・7機体制化、精度検定、他システム利用(速度発電機、ジャイロ等)によりさらなる精度向上を目指す
- 地方鉄道向けに、衛星測位を利用した安全性向上を目指し、運転支援手法の提案

鉄道における衛星測位の利活用ガイドラインの作成について

- 鉄道分野ではGNSSの活用の余地があるのでさらなる活用を促進したい
 - 既に活用が進んでいる分野については、情報共有
 - 保安制御については、実用化の後押し
- GNSSを利活用する際、検討しやすいように注意すべき項目を整理するとともに既に実用化しているシステムを列挙
- 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差している
- 検討メンバーは、鉄道事業者、メーカー、研究機関、関係団体（国交省鉄道局や内閣府もオブザーバ参加）

鉄道における衛星測位の利活用ガイドラインの作成について

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。

鉄道における衛星測位の利活用ガイドラインの作成について

| 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 |

HR:強く推奨 R:推奨 —:対象外

鉄道における衛星測位の利活用ガイドラインの作成について

【例:レベル4の記述】

レベル4に関しては、現時点では、GNSSの位置情報は他装置の支援手段として利用するものとし、将来、準天頂衛星の整備が進展し、かつ、他装置の支援手段としての実績が十分得られたと判断されたとき、GNSSの位置情報を主とし、他装置を支援手段として利用することができる。

1. システムの設計に関する事項

- ✓GNSSを使用する区間、使用しない区間を定義してシステムを設計すること
- ✓GNSSの位置情報の取得は、適切なリアルタイム性を確保すること
- ✓使用する受信機の性能に適応した測位精度(GNSSによる位置情報と絶対位置との乖離の許容量)を定義してシステムを設計すること

2. GNSS情報の利用に関する事項

- ✓衛星測位信号に基づき、衛星測位系が正常であること(unhealthy状態でないこと等)を確認すること
- ✓GNSSによる位置情報の健全性を確認すること

3. システムの稼働に関する事項

- ✓上記2.の各項目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、その位置情報をシステムで使用しないこと
- ✓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、妥当性が確認できるまで試行を行うこと

おわりに

制御についても衛星測位を利用することで地方鉄道の安全性向上に貢献できるよう引き続き研究を進めていく



衛星

【準天頂衛星の拡充、受信方式の高度化等による精度向上】

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】

指令

運転支援

【運転操作の最適化】



進路制御

【システムの高機能化、低コスト化、省メンテナンス化】



保線作業→列車
接近警報装置

【安全性の向上】



運転情報記録装置

【位置情報の精度向上】



旅客サービス

【利便性の向上】

