

講演 5

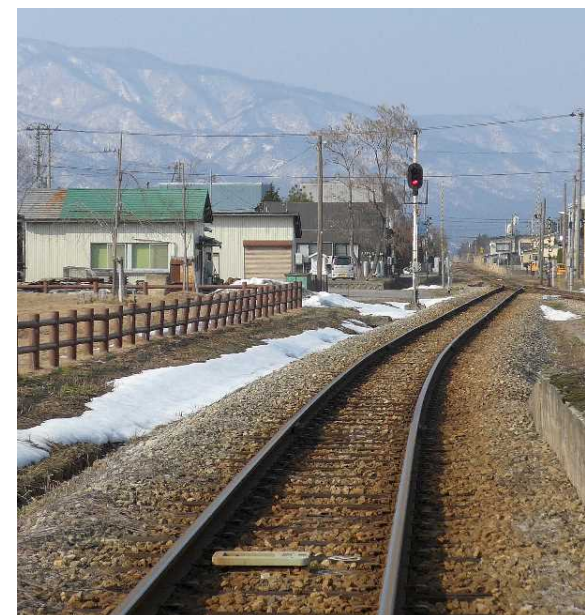
衛星測位による列車位置検知の精度の 評価に向けた取組

交通システム研究部 主席研究員 山口 大助

はじめに

- 鉄道ではこれまで軌道回路や地上子を用いて列車の位置検知を正確に行う列車制御システムによって安全を確保
- 地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、軌道回路のような地上主体の設備の維持や更新に係るコストが大きな負担
- 車上で列車の位置検知が可能な技術として、GPS等の衛星測位システム（GNSS*）への期待

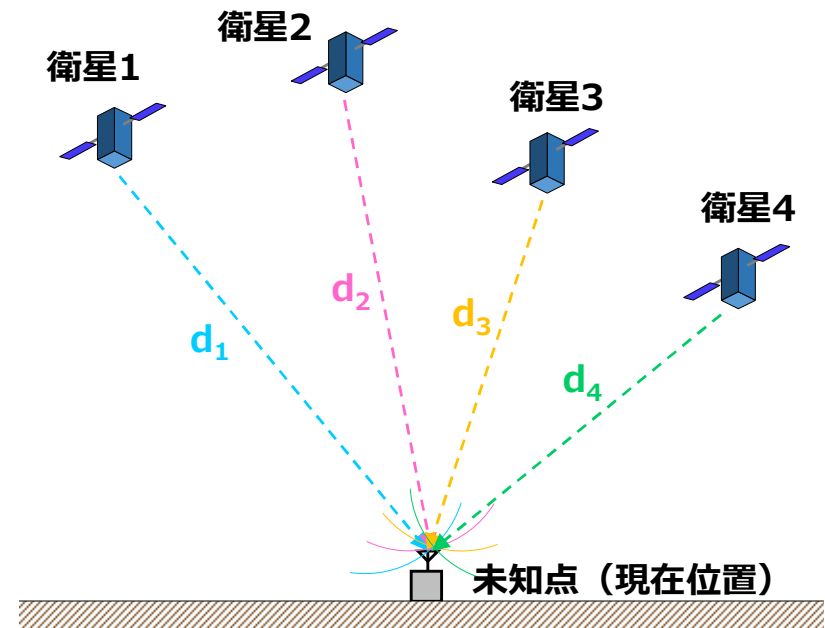
*GNSS: Global Navigation Satellite System



衛星測位

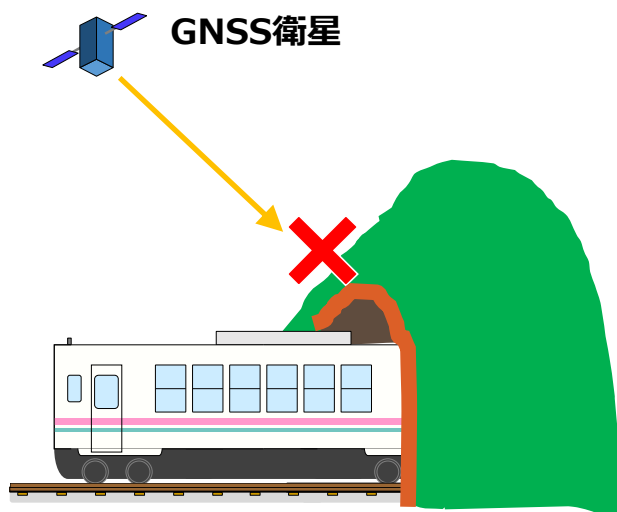
- 衛星測位とは、複数の衛星からの電波を使って現在位置（正確には電波を受信するアンテナの位置）を算出すること
- 少なくとも4機の衛星からの電波を受信し、
 - コード測位：衛星とアンテナの間の距離から現在位置を算出する方法
 - 搬送波測位：衛星からの電波（搬送波）の波数と複数の波のズレを利用して現在位置を算出する方法

の二つに大別される

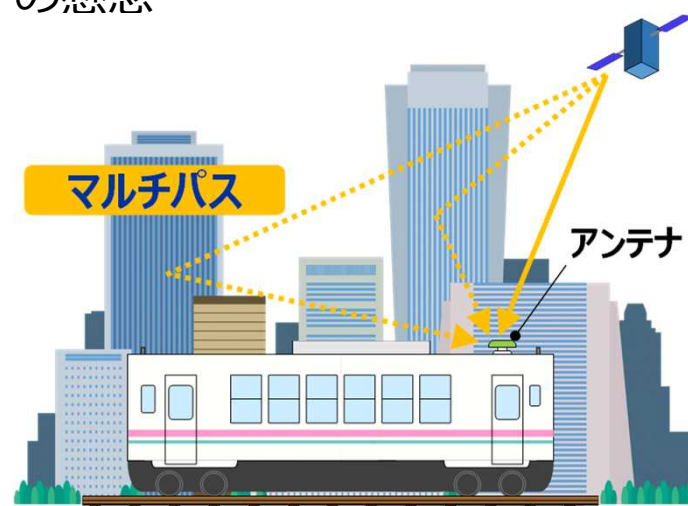


はじめに

- 衛星測位の利活用にあたっては測位精度の事前評価が必要（測位の可否も含む）
 - 衛星からの電波の受信が難しい場所では測位不可

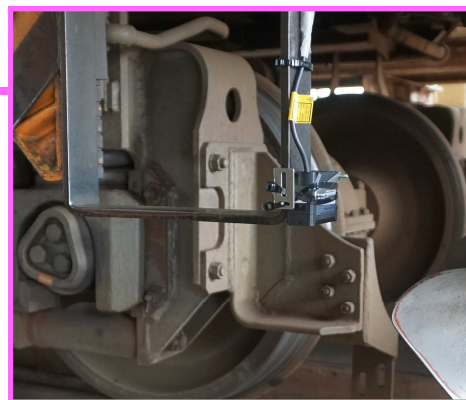
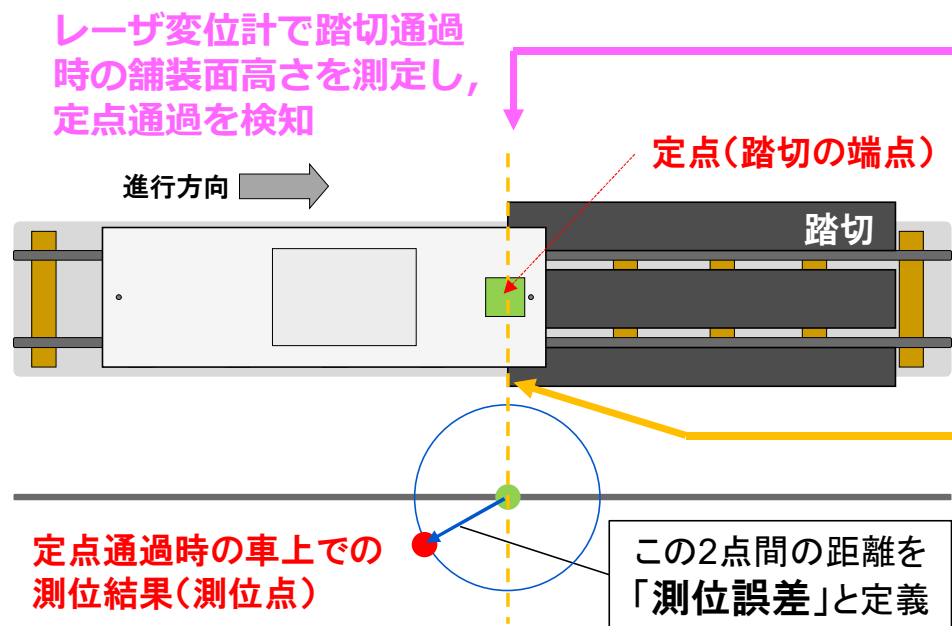


- 高層ビル等が密集する場所では建物に反射した電波を受信すること（マルチパス）で測位精度の低下の懸念



衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法

- 列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を提案*



定点において事前に高精度測位作業を実施



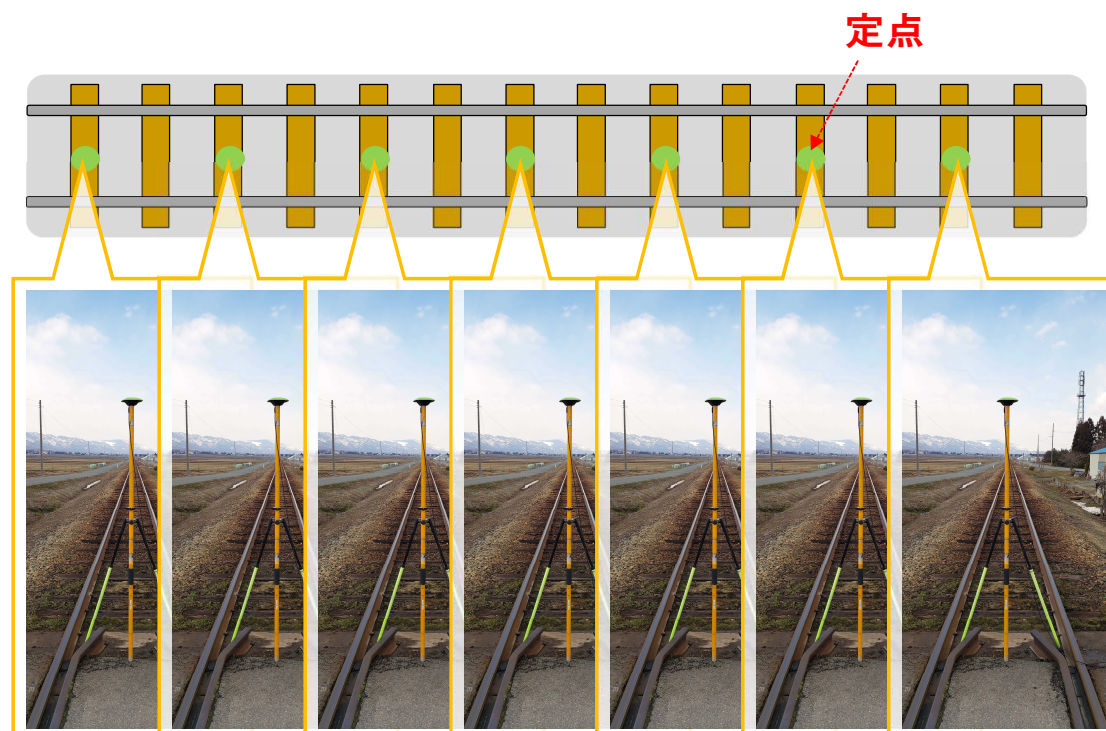
*昨年度の交通研フォーラム2020にて提案: 山口ほか, 衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法の検討

衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法

- メリット：定点を多く設定することで詳細な評価が可能
- デメリット：定点の数だけ現地での高精度測位作業の工数が必要



高精度測位作業の様子



はじめに

- 「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」に加え，列車上で得た衛星測位の結果がどの程度の誤差を生じているかを地上の定点によらず連続的に評価する手法を新たに提案

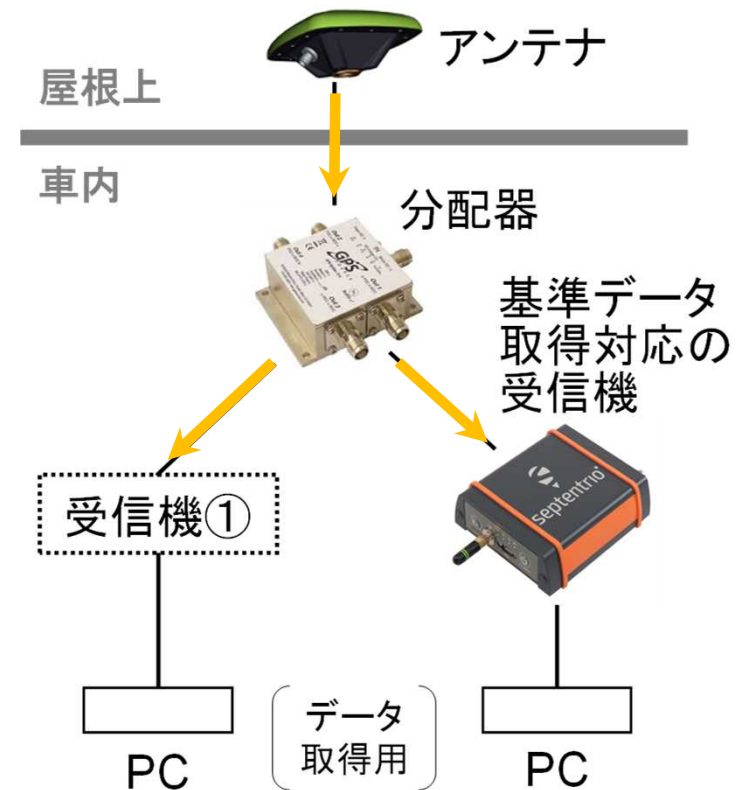


「衛星測位による列車位置検知の車上での測位精度評価手法」
(提案手法)

衛星測位による列車位置検知の車上での測位精度評価手法

提案手法を実現する測定機器構成

- 車両屋根上に設置した一つのアンテナで受信した電波を分配器により「基準データ取得に対応した受信機」と「評価したい項目に対応した受信機」（受信機①）へ分配
 - 筆者らは最大で4分配（基準含む）
- 分配によって両受信機に入力される電波が全く同一の条件となり，受信機同士で時刻の同期を取ることが可能

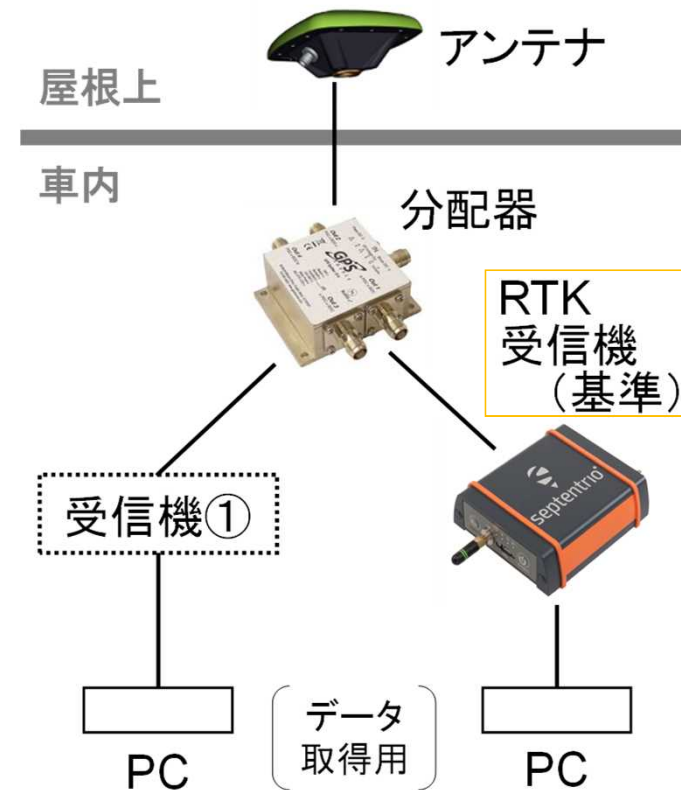


衛星測位による列車位置検知の車上での測位精度評価手法

提案手法を実現する測定機器構成

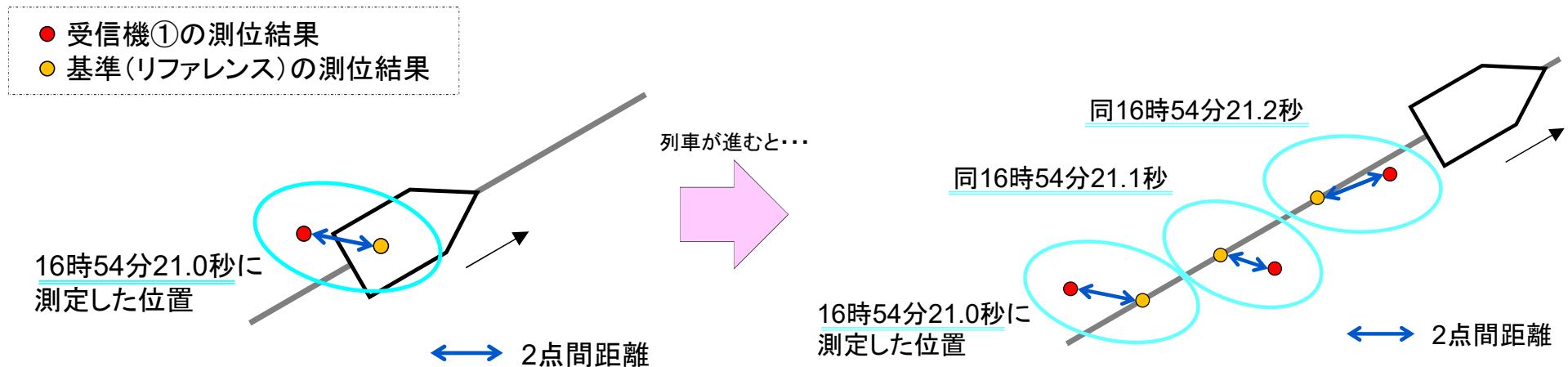
- 基準（リファレンス）として土木の高精度測量等に用いられているRTK*の測位結果を採用
 - 高精度の測位を行えばRTK以外のものも基準として利用可能
- 受信機①には評価したい項目に対応したものを選定
 - どの衛星の電波を使用するか
 - 補強情報の有無など
- 受信機①の測位結果を基準と比較

*RTK: Real Time Kinematic



測位誤差の定義

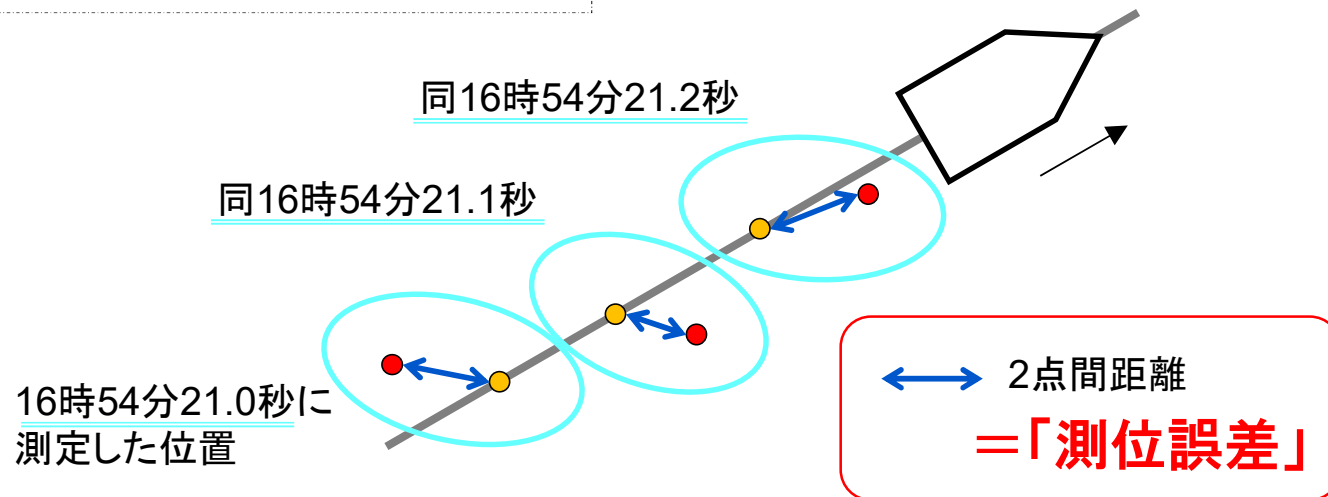
- 測位時刻ごとに受信機①とRTK受信機の各測位結果（緯度と経度；「測位点」）を取得
- 受信機①の測位点とRTK受信機の測位点の2点間距離を算出



測位誤差の定義

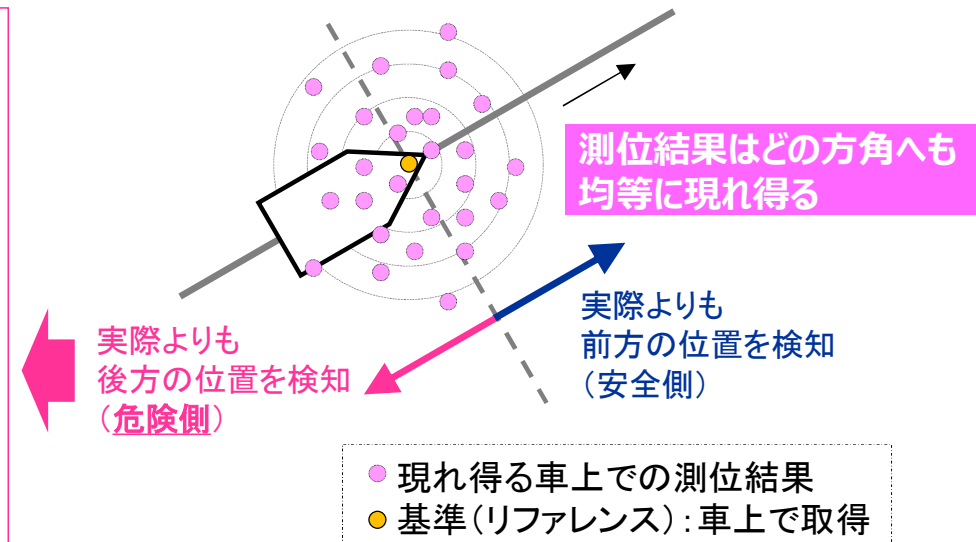
- この2点間距離を「測位誤差」と定義
- 2点間距離が短くなるほど受信機①の測位点がRTK受信機（基準）の測位点に近づく → 測位精度が高いとみなせる

- 受信機①の測位結果
- 基準(リファレンス)の測位結果



衛星測位による列車位置検知の車上での測位精度評価手法

- 提案手法では、評価したい項目の測位結果は基準に対してどの方角にも均等に現れ得るものと想定
- 安全側／危険側の把握は難しいが、算出された測位誤差が安全側、危険側のどちらにも生じる可能性があるものとして容易に評価を行える



提案手法の妥当性を検証する実験

A 鉄道

- 評価したい測定項目

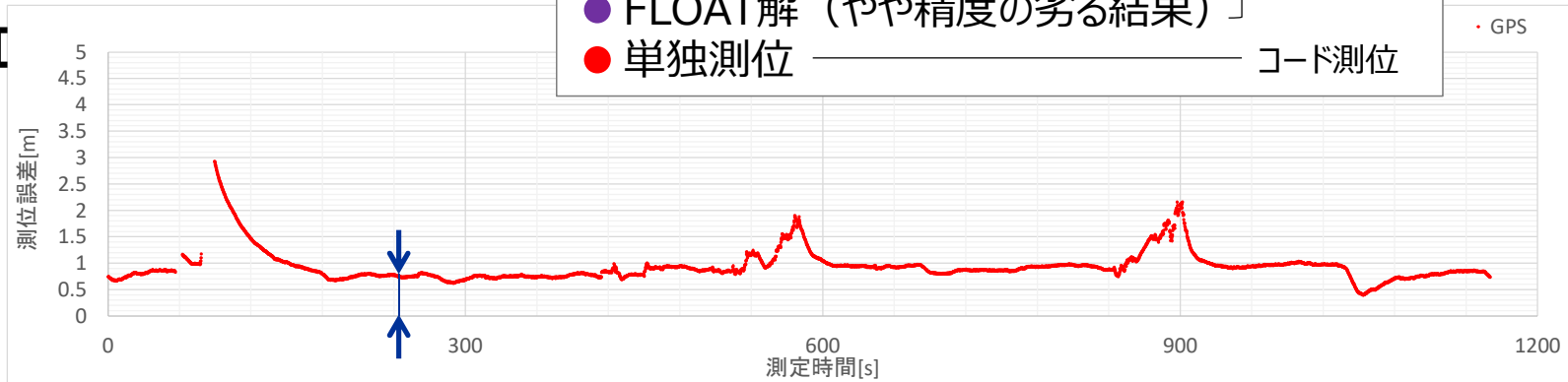
- I) GPS (米国) 及び準天頂衛星 (補完, 日本) の電波を用いた単独測位 (コード測位)
- II) 上記 I に加えて準天頂衛星独自のサービスであるセンチメートル級測位補強サービス (CLAS*) の信号を利用した測位 (PPP-RTK : 単独精密測位型RTK)

→アンテナで受信した電波を3分配

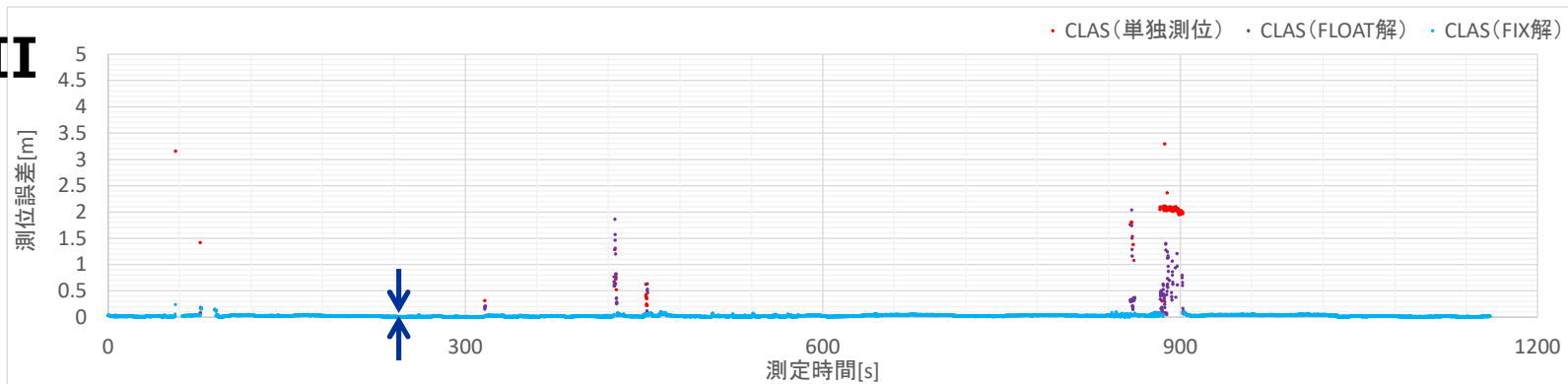
*CLAS: Centimeter Level Augmentation Service

A鉄道での測位精度評価

測定項目I



測定項目II



- 測定項目IIではFIX解を得られたときの測位誤差が小さく、CLASの特徴である高精度測位の様子を確認できる

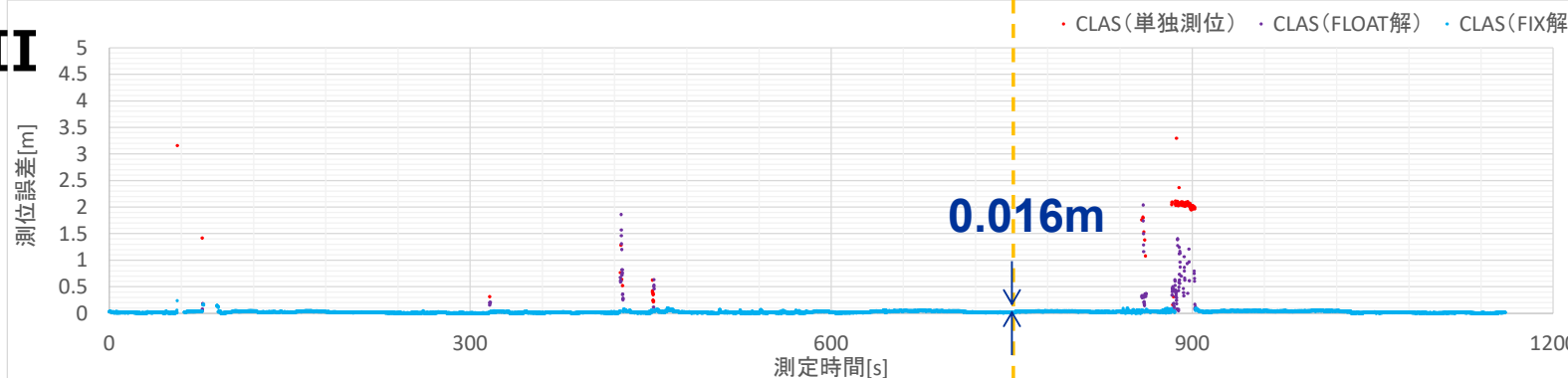
「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を交えた測位精度評価（A鉄道）

- 踏切Aの定点通過時における車上での衛星測位の誤差を算出

測定項目I



測定項目II



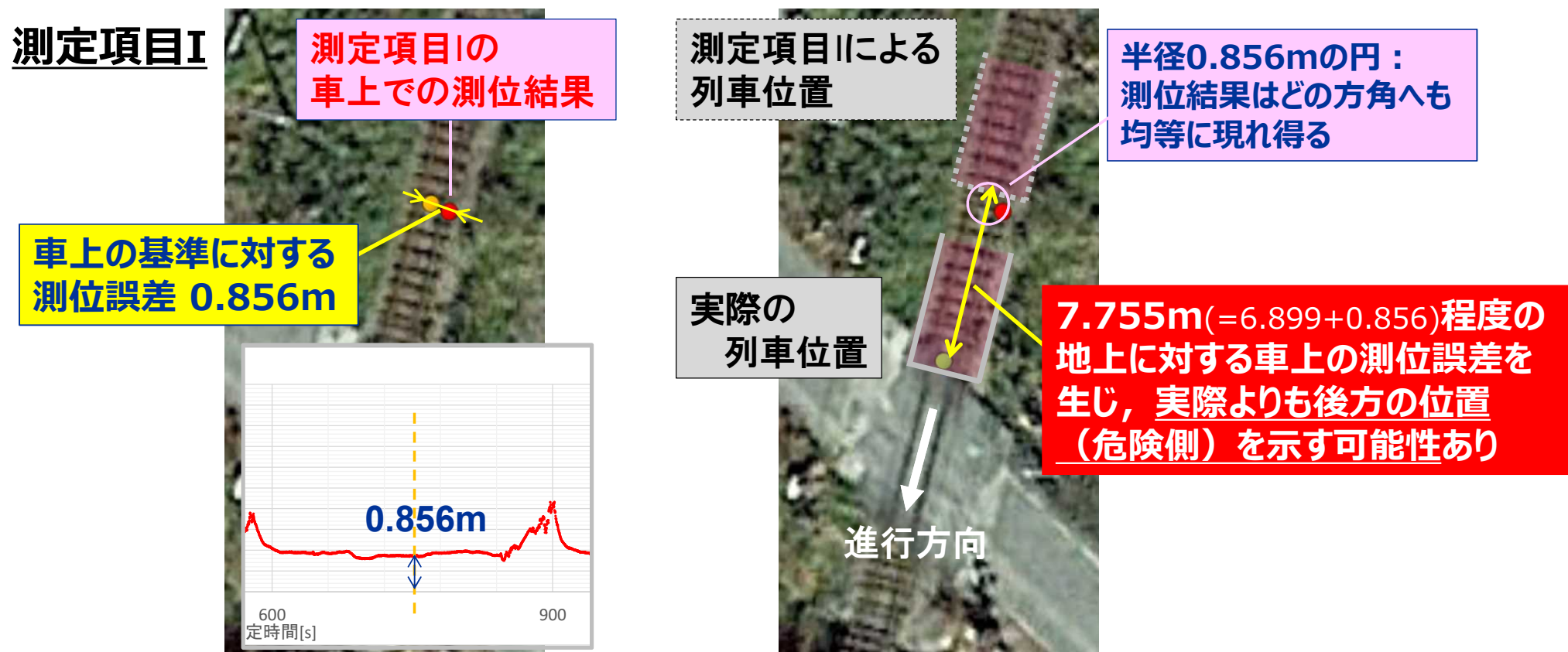
「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を交えた測位精度評価（A鉄道）

- 地上の定点に対する車上の基準



「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を交えた測位精度評価（A鉄道）

- 地上の定点に対する車上の基準の測位結果を加味した測位精度評価

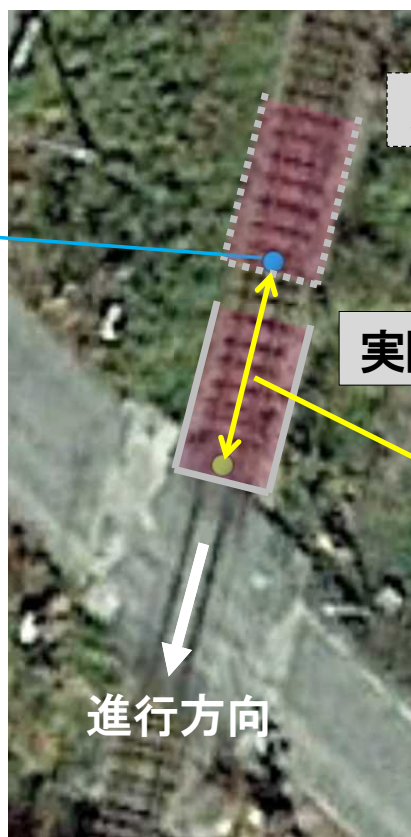
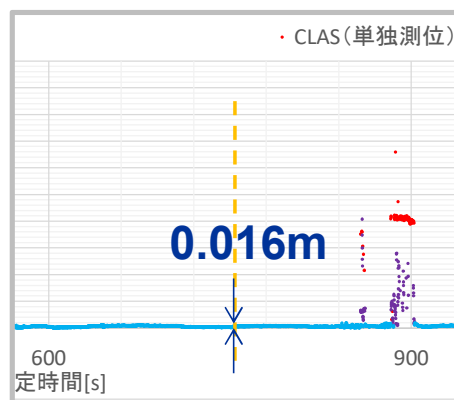


「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を交えた測位精度評価（A鉄道）

- 地上の定点に対する車上の基準の測位結果を加味した測位精度評価

測定項目II

0.016m :
測定項目IIの測位結果は
車上の基準の測位結果と
ほぼ重なっている



列車上での測位精度評価は良好であるが、地上に対して6.915m(=6.899+0.016)程度の測位誤差を生じることとなり、実際よりも後方の位置（危険側）を示す可能性あり

提案手法の妥当性を検証する実験

B鉄道

- 評価したい測定項目

- I) GPS (米国) 及び準天頂衛星 (補完, 日本) の電波を用いた単独測位 (コード測位)
- II) 上記 I に加えて準天頂衛星独自のサービスであるセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) の信号を利用した測位 (PPP-RTK : 単独精密測位型RTK)
- III) 上記 I に加えて準天頂衛星独自のサービスであるサブメートル級測位補強サービス信号 (SLAS*) を利用した測位 (相対測位 (コード測位))

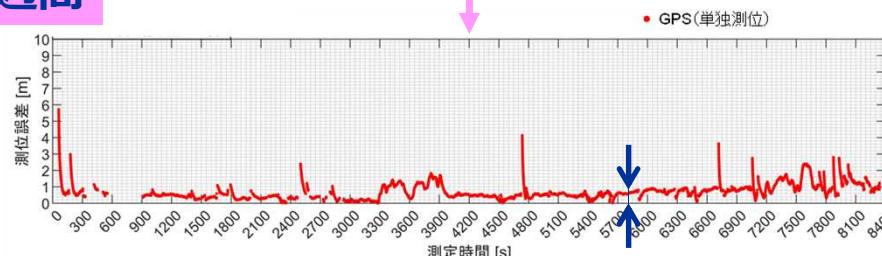
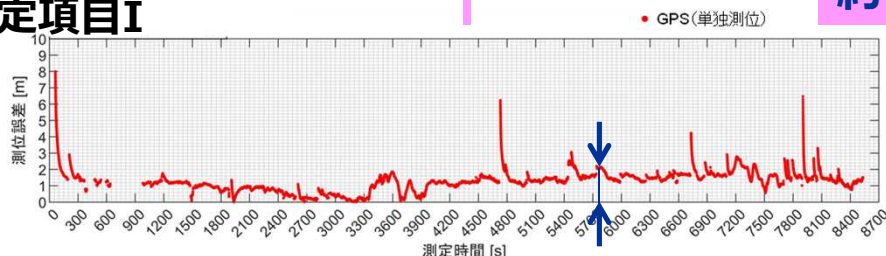
→アンテナで受信した電波を4分配

*SLAS: Sub-meter Level Augmentation Service

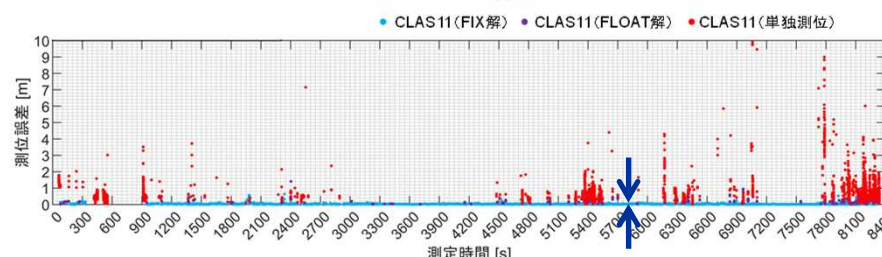
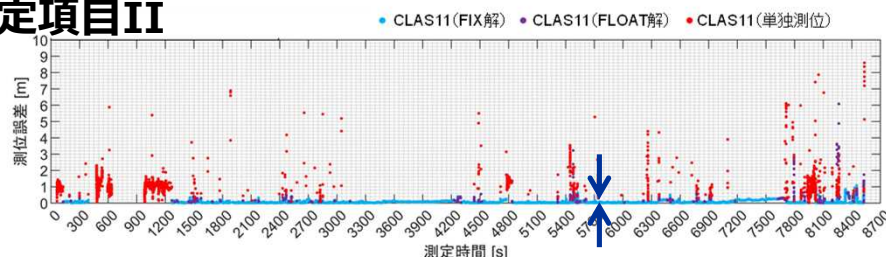
B 鉄道での測位精度評価

約 4 週間

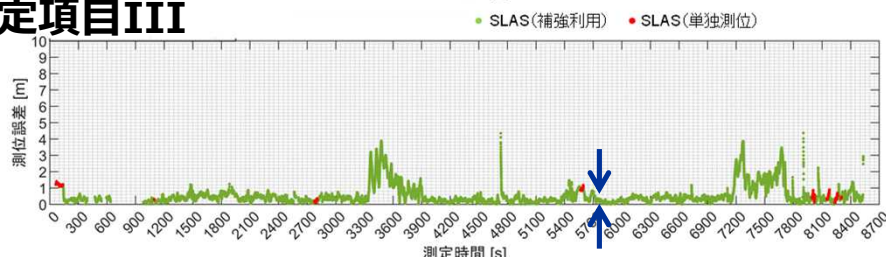
測定項目I



測定項目II



測定項目III



- 測定項目IIでは時期によらずFIX解を得られたときの測位誤差は小さく、CLASの特徴である高精度測位の様子を確認できる

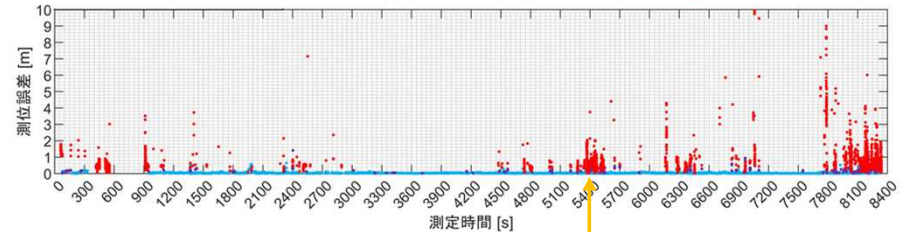
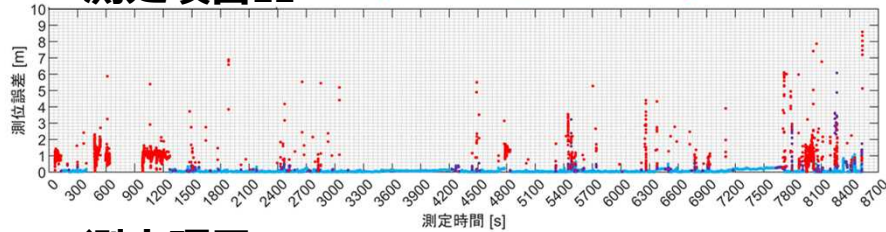
B



測定項目II

● CLAS11(FIX解) ● CLAS11(FLOAT解) ● CLAS11(単独測位)

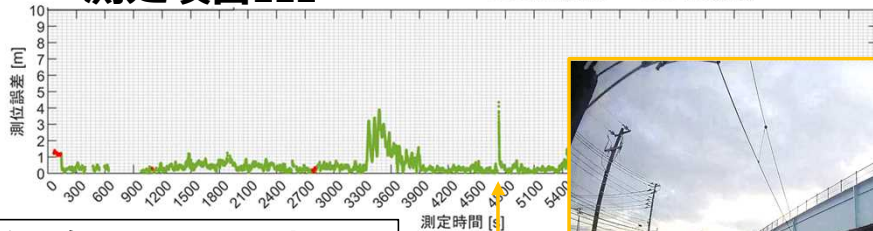
● CLAS11(FIX解) ● CLAS11(FLOAT解) ● CLAS11(単独測位)



測定項目III

● SLAS(補強利用) ● SLAS(単独測位)

● SLAS(補強利用) ● SLAS(単独測位)



路線周辺環境を
踏まえた評価



National Traffic Safety and Environment Laboratory

有効測位率

CLAS受信機の例)



- 10Hz（1秒あたり10回）で測位結果を出力する受信機では，抜け漏れなく測位できれば10分間で6000個の結果を出力する（ただし0秒のときもカウントするので6001個）【理想】

- トンネル通過などで測位できない場面があり，実際に得られた測位結果は5401個であった

測定時間内に何かしらの衛星測位の結果を得られた割合 → $5401/6001 = 90\%$

測定時間内に

- FIX解（精度の高い結果）を得られた割合 → $3750/6001 = 62.5\%$
- FLOAT解（やや精度の劣る結果）を得られた割合 → $751/6001 = 12.5\%$
- 単独測位を得られた割合 → $900/6001 = 15\%$

内訳

「有効測位率」

B 鉄道での測位精度評価

有効測位率

- 測定項目によって測位計算の方法が大きく異なること（特にI・IIIとII）と、受信機メーカーによって測位計算のチューニングが異なることで、値に違いが見られる
- 可用性（所定の性能を継続して利用できる度合い）の評価を想定

RTK（基準）の測位結果が高精度のFIX解として得られたときのみ測位誤差を算出

	測定モード	有効測位率	
		測定1回目	測定2回目
測定項目I	単独測位	95.12%	95.01%
	（測位不能）	4.88%	4.99%
測定項目II	CLASのFIX解	77.58%	78.95%
	CLASのFLOAT解	5.34%	5.35%
	単独測位	9.06%	7.77%
	（測位不能）	8.01%	7.94%
測定項目III	SLAS補強利用	91.05%	89.93%
	単独測位	3.96%	4.93%
	（測位不能）	4.99%	5.13%
RTK(基準)	FIX解	86.54%	83.44%
	FLOAT解	2.43%	5.40%
	相対測位	1.59%	1.32%
	単独測位	4.18%	4.51%
	（測位不能）	5.26%	5.32%

おわりに

- 列車上で得た衛星測位の結果がどの程度の誤差を生じているかを地上の定点によらず連続的に評価する手法を提案した
- 列車走行時の衛星測位について提案手法に基づき測位精度評価を行い、その結果を示した
- 今後は本提案手法ならびに「衛星測位による列車位置検知の地上の定点を基準とする測位精度評価手法」を活用した列車位置検知の測位精度の総合的な評価手法について検討を進めていきたい

謝辞

本稿の一部は国土交通省鉄道局からの受託調査の成果によるものです。試運転列車における測定は山形鉄道株式会社、北海道旅客鉄道株式会社のご協力を得て実施しました。ここに謝意を表します。