

第 4 回 鉄道における準天頂衛星等システム活用検討会

日時 令和 2 年 2 月 1 9 日（水）10:00～11:30

場所 中央合同庁舎 3 号館 1 階共用会議室

< 議 事 次 第 >

1. 開 会
2. 挨 拶
3. 議 事
 - 3-1 とりまとめについて
 - ・列車制御・保安分野検討 WG
 - ・保守・防災・サービス分野検討 WG
 - ・とりまとめ（案）
 - 3-2 その他
4. 閉 会

< 配 付 資 料 >

- 資料 4-01 議事次第
- 資料 4-02 委員名簿
- 資料 4-03 配席図
- 資料 4-04 列車制御・保安分野検討 WG 報告資料
- 資料 4-05 保守・防災・サービス分野検討 WG 報告資料
- 資料 4-06 とりまとめ(案)

**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)

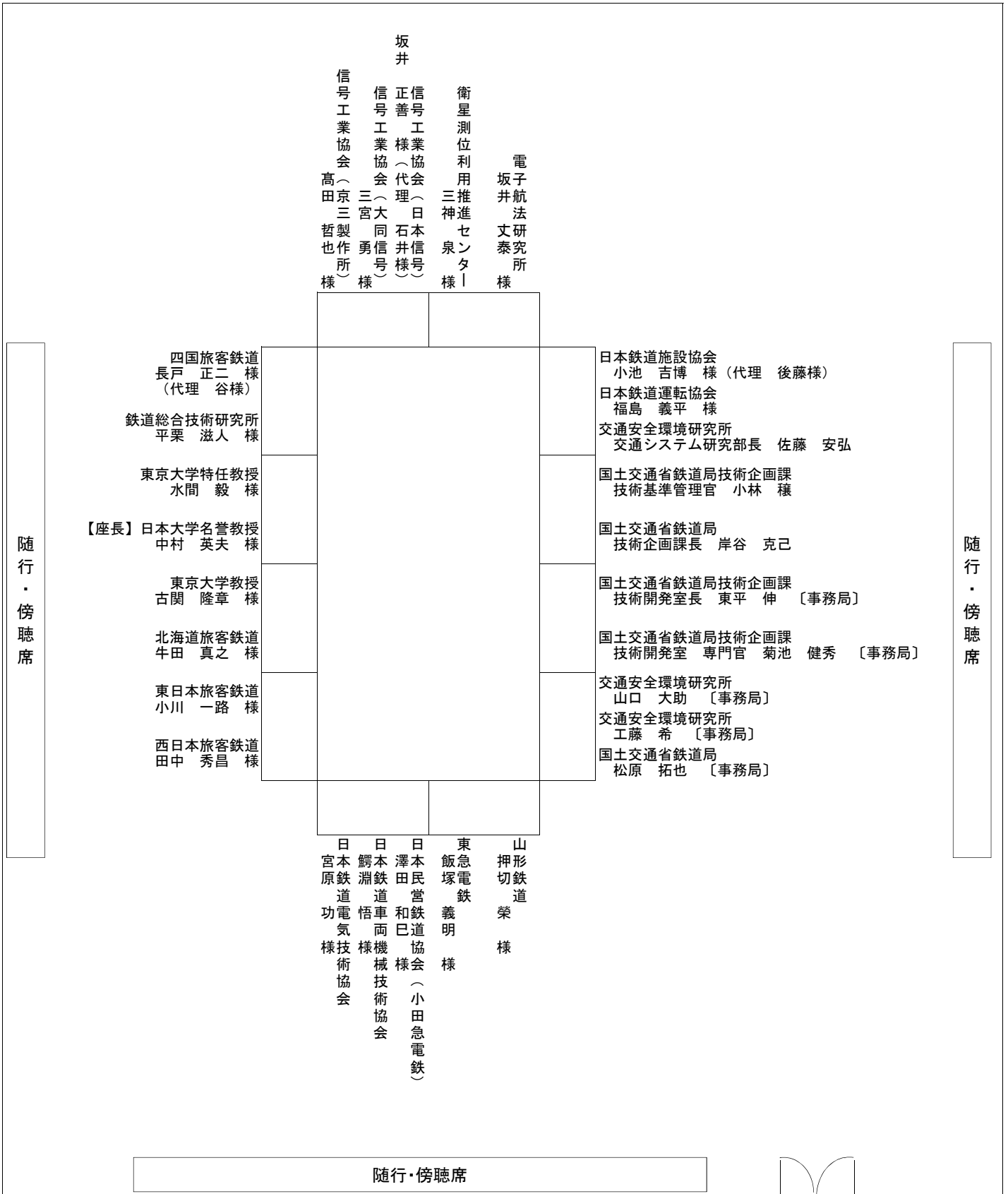
日本大学	名誉教授	中村 英夫
東京大学	大学院新領域創成科学研究科 特任教授	水間 毅
東京大学	大学院工学系研究科 教授	古関 隆章
北海道旅客鉄道株式会社	鉄道事業本部 電気部 副部長 兼 企画課長	牛田 真之
東日本旅客鉄道株式会社	技術イノベーション推進本部 技術戦略部門 部長	小川 一路
西日本旅客鉄道株式会社	鉄道本部 技術開発部 開発 I 担当部長	田中 秀昌
四国旅客鉄道株式会社	総合企画本部 副本部長	長戸 正二
東急電鉄株式会社	鉄道事業本部 技術戦略部 イノベーション推進課 課長	飯塚 義明
山形鉄道株式会社	専務取締役	押切 榮
公益財団法人鉄道総合技術研究所	研究開発推進部 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 センター長	高田 哲也
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	鱈淵 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	岸谷 克己
国土交通省 鉄道局	技術企画課 技術開発室 室長	東平 伸
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 技術開発室 専門官	菊池 健秀
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4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



列車制御・保安分野検討WG 報告資料

国土交通省鉄道局 独立行政法人自動車技術総合機構
交通安全環境研究所
令和2年2月



目次

(1)「列車制御システム」を構成する列車位置検知の現状

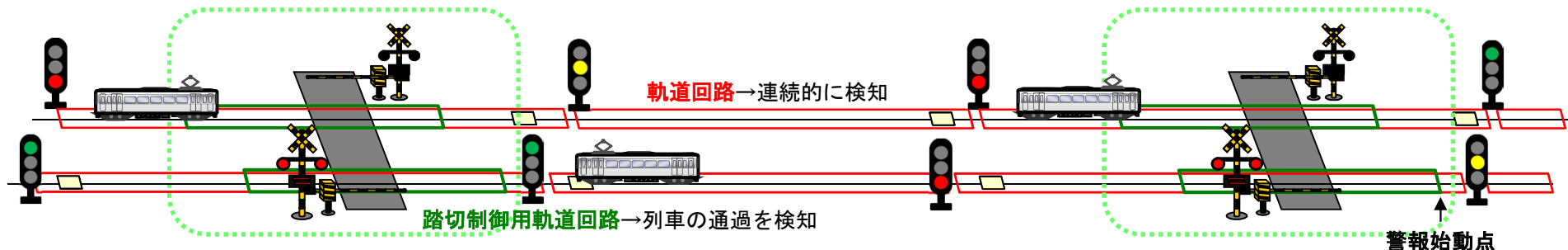
(2)列車制御・保安分野への準天頂衛星等の活用可能性の検討

列車位置検知の現状

- 列車の安全運行を確保するための「列車制御システム」を構成する列車位置検知や、踏切制御のための列車検知は、現在、一般的に軌道回路を基本とした地上設備により行われている。特に、踏切制御については、踏切ごとに列車の通過を検知して行われている。
- 軌道回路はフェールセーフ性*を持つ優れた位置検知方法であるが、設備の保守・更新等は鉄道事業者の負担となっている。また、近年の人口減少による人手不足、担い手不足から、設備を保守する人員の確保が今後難しくなると予想され、保守作業の省力化も求められている。*障害が発生した場合、常に安全側に動作させること。
- この課題の解決に向けては、軌道回路によらず、列車の位置を車上で連続的に検知して、列車制御や踏切制御を行えることが望ましい。これによって、地上設備の省力化と低コストでの安全度向上が期待される。

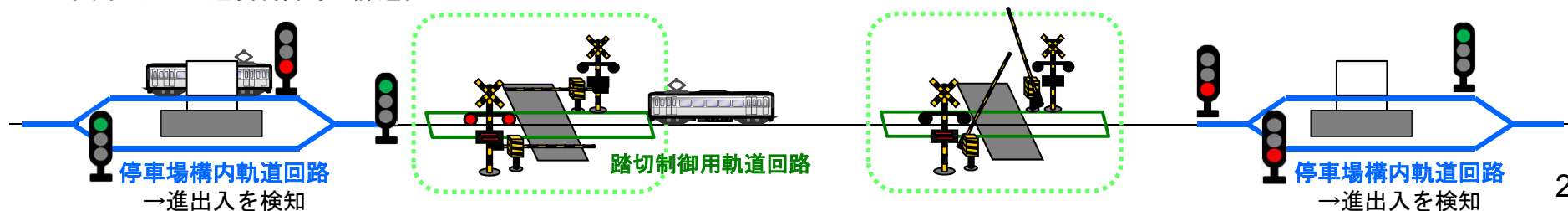
【停車場間に複数列車が走行する路線(主に都市鉄道)】

- ・ 一定の区間を閉そくとして区切り、閉そくごとに設置した軌道回路によって閉そく内に列車が在線しているかを検知。
- ・ 踏切を制御するために、踏切ごとに専用の軌道回路を設けて列車の通過を検知。
- ・ ATS(自動列車停止装置)やATC(自動列車制御装置)も閉そくを単位として設備されており、多くの地上設備を配置。



【停車場間には1列車のみ走行する路線(主に地方鉄道)】

- ・ 停車場間を一つの閉そくとし、その区間に列車が在線しているかを検知。
- ・ 踏切を制御するためには、踏切ごとに専用の軌道回路を設けて列車の通過を検知。
- ・ 駅間における速度制御等に課題。



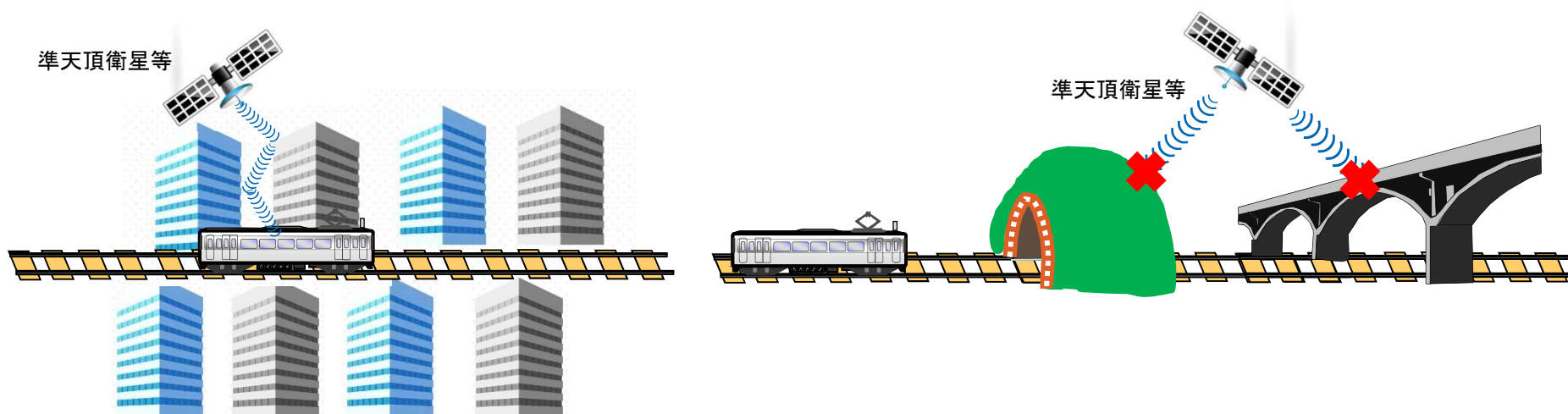


(2)列車制御・保安分野への準天頂衛星等の活用可能性の 検討

準天頂衛星等の単独での活用可能性

- 鉄道沿線においては、①高層ビル等に囲まれている箇所、②トンネルや道路橋等が鉄道敷地の上にある箇所などが多く存在するが、準天頂衛星等単独で連続的に位置検知を行うためには、当該箇所において衛星電波を受信する必要がある。
- しかし、現時点では、当該箇所を受信するための具体的な対策が確立されていないため、準天頂衛星等の単独活用による列車位置検知は困難であると考えられる。
- よって、準天頂衛星等と他の車上に搭載可能な他の位置検知装置を併用した活用可能性について検討した(詳細は次項以降参照)。
- 『鉄道分野におけるGNSS利活用に関するガイドライン』(第1.0版)では、列車制御・保安分野への準天頂衛星等の単独での活用は、当面は他の位置検知装置の支援としている。

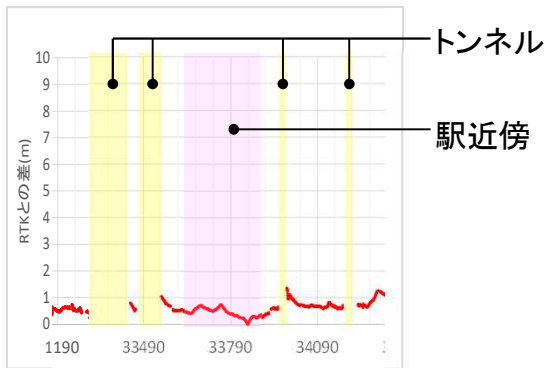
〔①高層ビル等に囲まれて電波が反射し測位が困難な箇所のイメージ〕 〔②トンネルや道路橋等の電波が遮断され測位が困難な箇所のイメージ〕



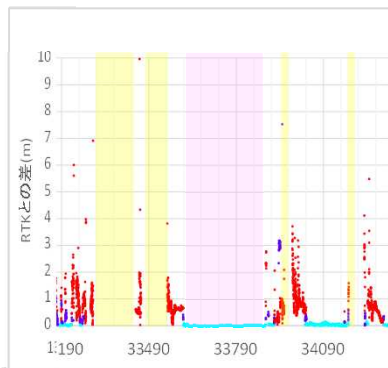
測位試験結果を踏まえた列車制御分野への準天頂衛星等の活用に関する考察

- トンネル区間等、衛星からの電波が遮断される箇所では衛星測位による位置検知は難しく、連続的な位置検知を行うためには、他の位置検知装置(速度発電機、ジャイロセンサー、加速度センサー、ミリ波センサー等)を併用する必要があると考えられる。
- 連続的な位置検知が不要である場合(位置検知区間が駅近傍等に限定されることを想定)、電波受信障害となる箇所の回避が可能であれば、測位誤差相当の安全余裕を加味した上で、準天頂衛星等の単独活用の可能性があると考えられる。また、準天頂衛星独自のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)の「Fix解」を活用することで、複数の線路の中で列車が走行する線路を判別するなど、より高精度な列車位置検知が可能になると考えられる。

GPS



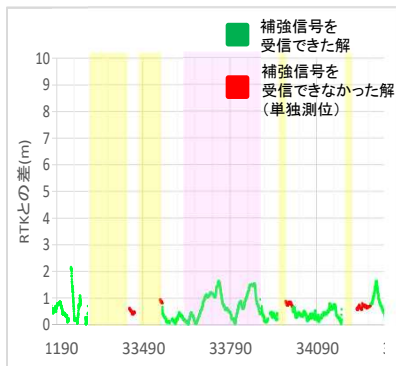
CLAS*1



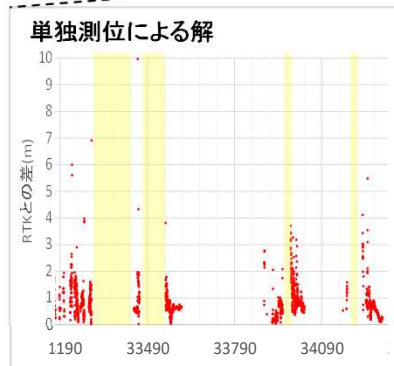
<B鉄道の事例>

- *1 測位誤差を小さくし、精度を高めるための準天頂衛星独自のサービス
- SLAS:「サブメートル級測位補強サービス」(1~2m程度の精度を実現)
 - CLAS:「センチメートル級測位補強サービス」(十数cm程度の精度を実現)
 - CLASによる測位結果については、確実に測位できれば高精度な「Fix解」を出力するが、周囲の環境によっては精度が低い「Float解」、または「単独測位による解」を出力

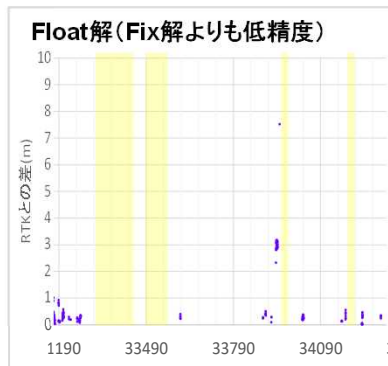
SLAS*1



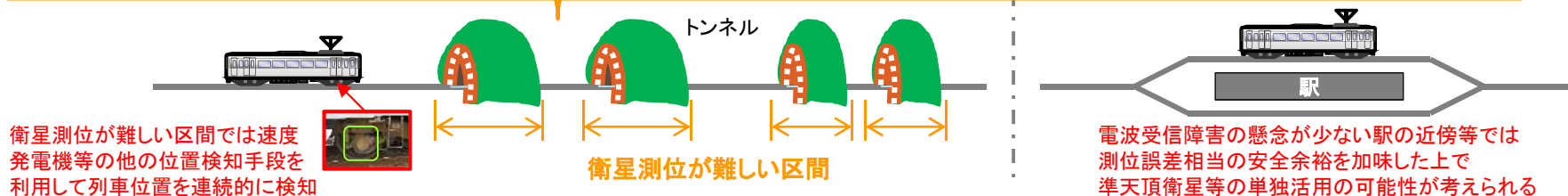
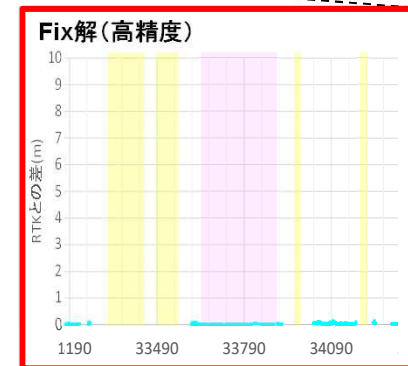
単独測位による解



Float解(Fix解よりも低精度)



Fix解(高精度)

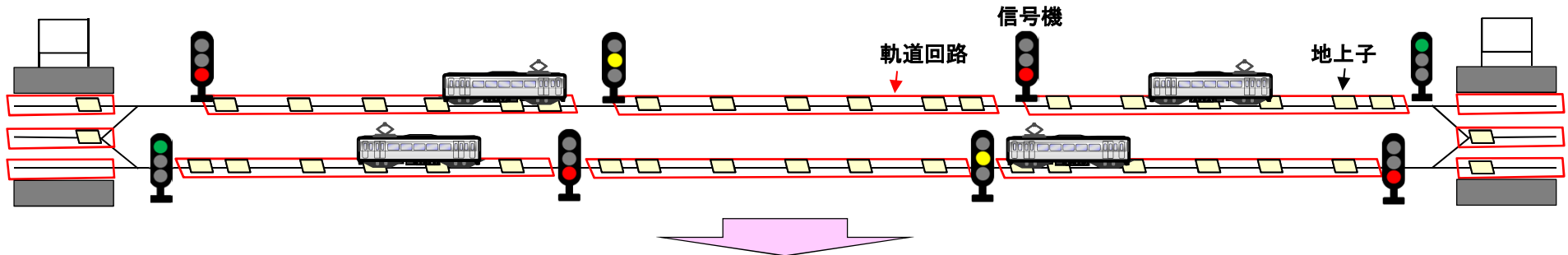


他の位置検知装置との併用による活用可能性(都市鉄道におけるイメージ)

- 停車場間に複数列車が走行する路線(主に都市鉄道)においては、一定の区間を閉そくとして区切り、閉そくごとに設置した軌道回路によって閉そく内に列車が在線しているかを検知している。また、踏切ごとに専用の軌道回路を設けて列車の通過を検知している。
- こうした路線では、高層ビル等に囲まれている箇所や、トンネルや道路橋等が鉄道敷地の上にある箇所が多いが、当該箇所において、衛星電波を受信することは不可能であり、準天頂衛星等と他の位置検知装置(速度発電機やジャイロセンサー、加速度センサー、ミリ波センサー等)の併用によって、連続的な位置検知が可能であると考えられる。

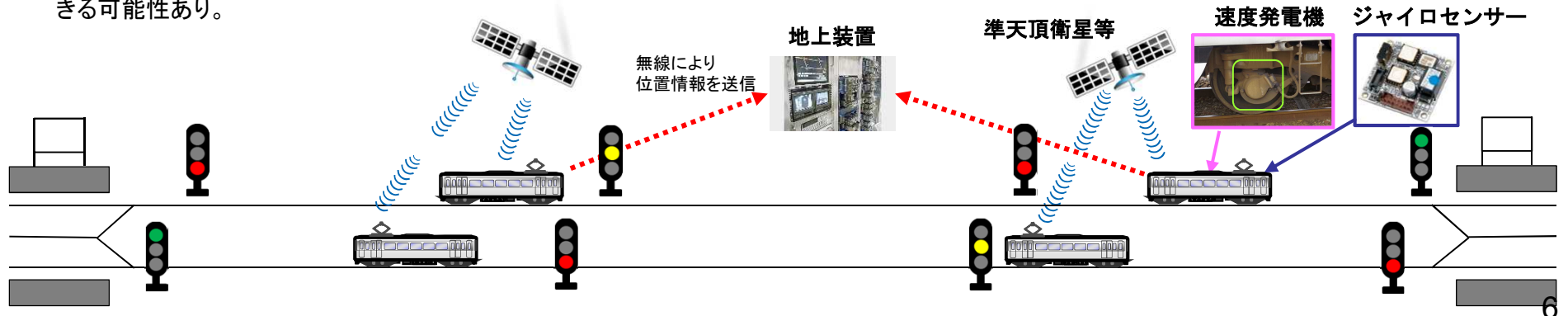
【現状】

- 停車場間を複数の閉そくで区分し、各閉そくに設けられた軌道回路によって閉そく内に列車が在線しているかを検知している。
- より高度で安全な列車制御のためのATSやATCを導入する場合は設備数が増加する。



【準天頂衛星等の活用】

- 準天頂衛星と他の位置検知装置(速度発電機・ジャイロセンサー等)との併用によって列車の位置を連続的に検知し、軌道回路や地上子を削減できる可能性あり。

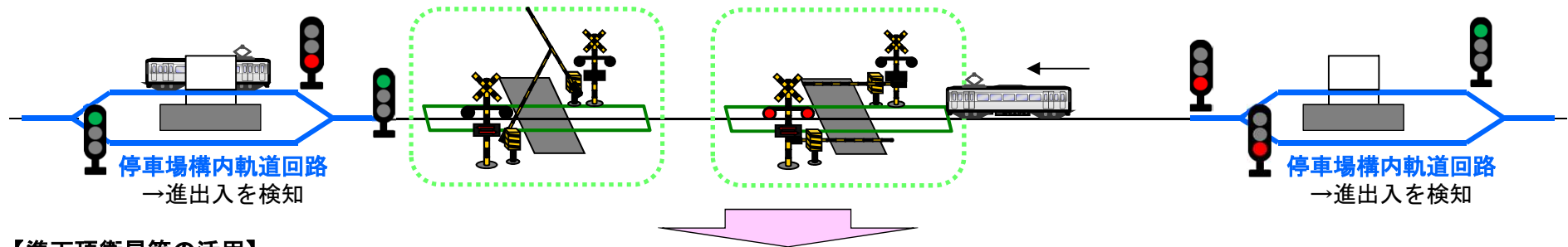


他の位置検知装置との併用による活用可能性(地方鉄道におけるイメージ)

- 停車場間には1列車のみ走行する路線(主に地方鉄道)においては、停車場間を一つの閉そくとし、その区間に列車が在線しているかを検知しており、また、都市鉄道と同様に、踏切を制御するために、踏切ごとに専用の軌道回路を設けて列車の通過を検知している。
- 当該路線においては、踏切制御には連続的な位置検知が必要であるが、山間部のトンネル等が鉄道敷地の上にある箇所などにおいて、衛星電波を受信することは不可能となる。よって、当該路線においても、他の位置検知装置(速度発電機やジャイロセンサー、加速度センサー、ミリ波センサー等)の併用が必要であり、これにより、連続的な位置検知が可能になると考えられる。

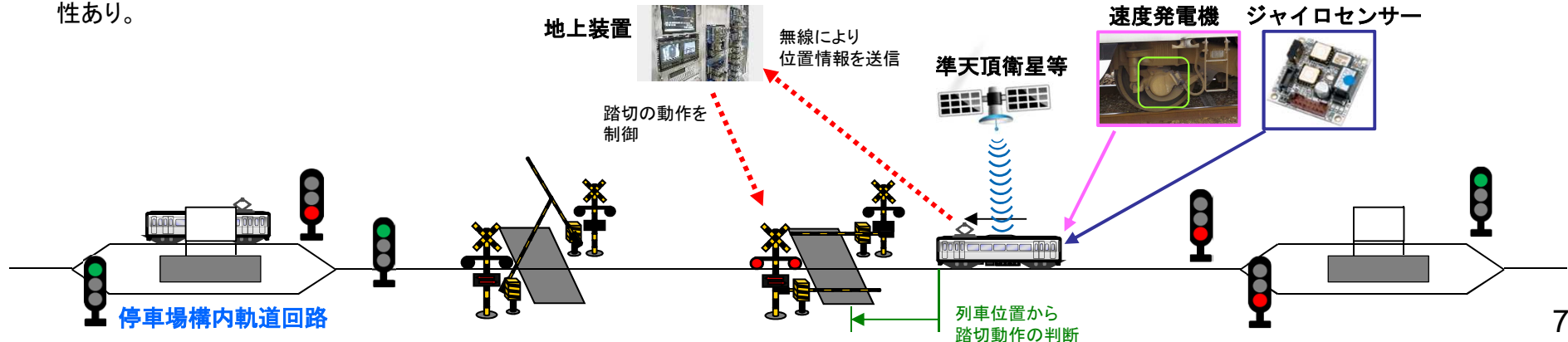
【現状】

- ・ 停車場間を一つの閉そくとし、その区間に列車が在線しているかを検知
- ・ 踏切を制御するためには、踏切ごとに専用の軌道回路を設けて列車の通過を検知。



【準天頂衛星等の活用】

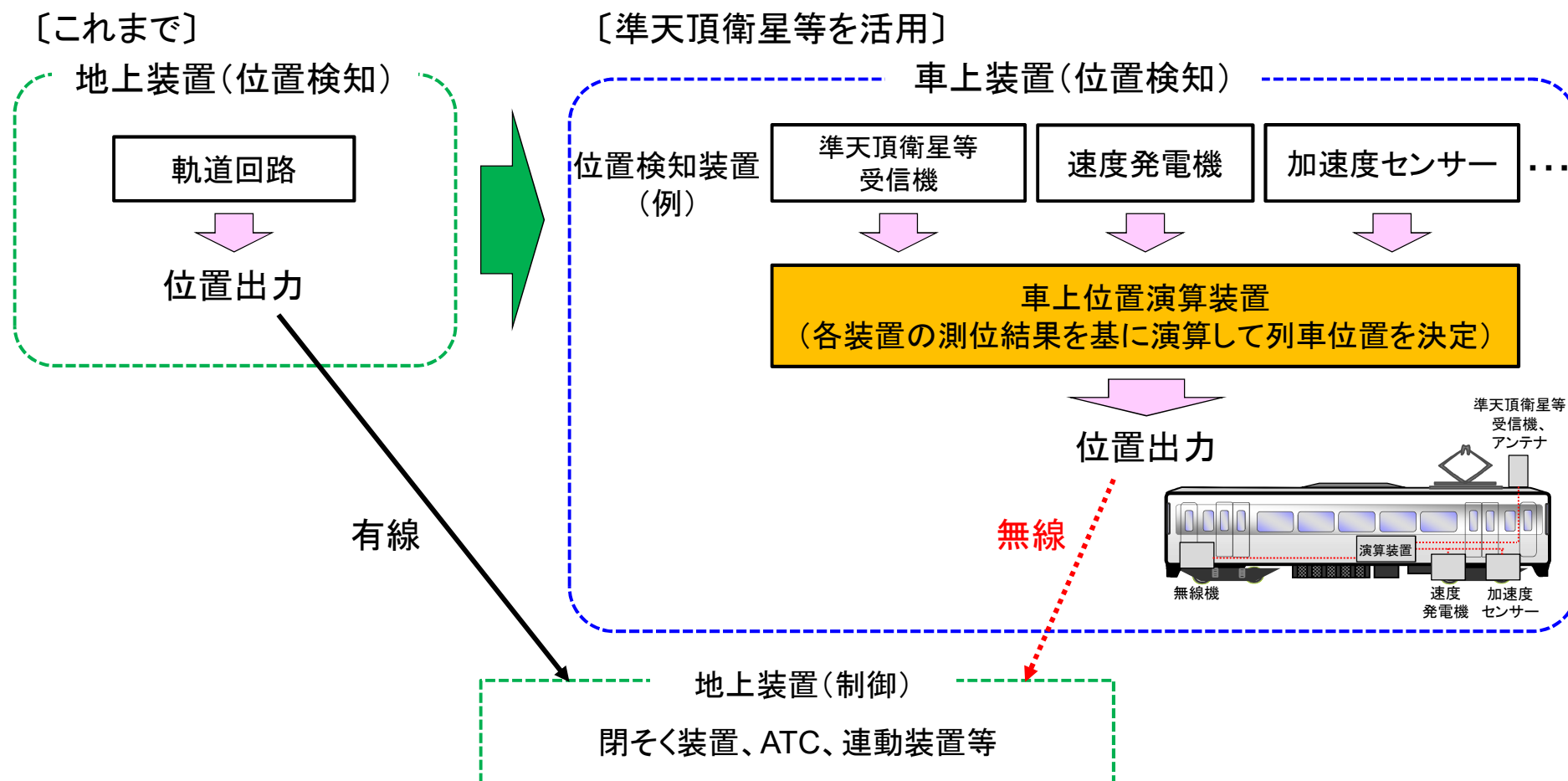
- ・ 準天頂衛星と他の位置検知装置(速度発電機・ジャイロセンサー等)との併用によって列車の位置を連続的に検知し、軌道回路等を削減できる可能性あり。



他の位置検知装置との併用による活用可能性

—列車位置を決定する車上装置(「車上位置演算装置」)の構築—

- 他の位置検知装置との併用により、準天頂衛星等を活用するためには、準天頂衛星等と他の位置検知装置の各々が測位した結果を基に列車位置を決定する装置(以下、「車上位置演算装置」)が必要となる。
- 車上位置演算装置は準天頂衛星等と他の位置検知装置の健全性(正常に動作していること)を確認し、各装置の測位結果を基に、フィルタリング等の演算によって列車位置を決定し、出力する。
- 出力した位置情報を無線を利用して、列車制御等を担う地上装置に送る。



他の位置検知装置との併用による活用可能性(活用に向けた課題①)

—車上位位置演算装置のフェールセーフ性の確保と開発課題—

- 車上位位置演算装置は準天頂衛星等と他の位置検知装置の健全性を確認し、各装置の測位結果を基に、フィルタリング等の演算によって列車位置を決定し、出力する。
- 既存の軌道回路が有する、故障率により算出される理論値や、実績値に基づく安全性レベルと、準天頂衛星等の測位結果が有する安全性レベルは必ずしも同レベルとは言い難い。よって、車上位位置演算装置では、複数の位置検知装置の測位結果の比較やそれまでの処理内容と合理性判定(測位結果や処理結果が論理的に矛盾していないかを確認すること)を基に異常値をフィルタリングすることが有用であると考えられる。装置の故障と認識された場合や故障ではないものの測位結果に大きな誤差が含まれると判定された場合は、安全側に働くようにする機能(フェールセーフ性)が必要である。
- また、車上位位置演算装置については、これまで鉄道分野において実用化されていないため、今後、その詳細検討を進め、ソフト・ハード両面(併用する位置検知装置の選定基準(装置の寿命、信頼性、コスト等)、準天頂衛星等や位置検知装置の健全性判定基準、列車位置演算プログラム、車上位位置演算装置全体の機器構成・動作プログラム等)の開発課題に取り組む必要がある。

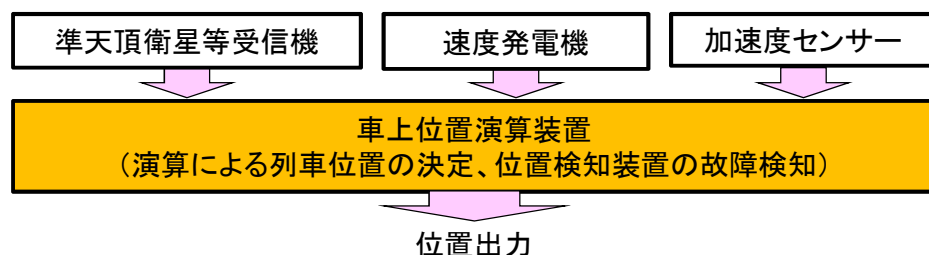
軌道回路の現状の位置検知

- フェールセーフ性のある一つの位置検知装置を信用する。(一つで信用できる安全性がある)
- 故障した位置検知装置は、安全側に遷移することが保証される。

準天頂衛星等を活用した位置検知

- 準天頂衛星等と他の位置検知装置の結果を比較。
- 複数の位置検知装置が故障と認識された場合や故障でないものの測位結果に大きな誤差が含まれると判定された場合は、安全側に働くようにする機能(フェールセーフ性)が必要。
- 車上位位置演算装置については今後、その詳細検討を進め、ソフト・ハード両面の開発課題に取り組む必要がある。

位置検知装置(例)



必要な開発課題

故障して誤った列車位置を出力すると列車事故につながる。そのために以下の開発等が必要。

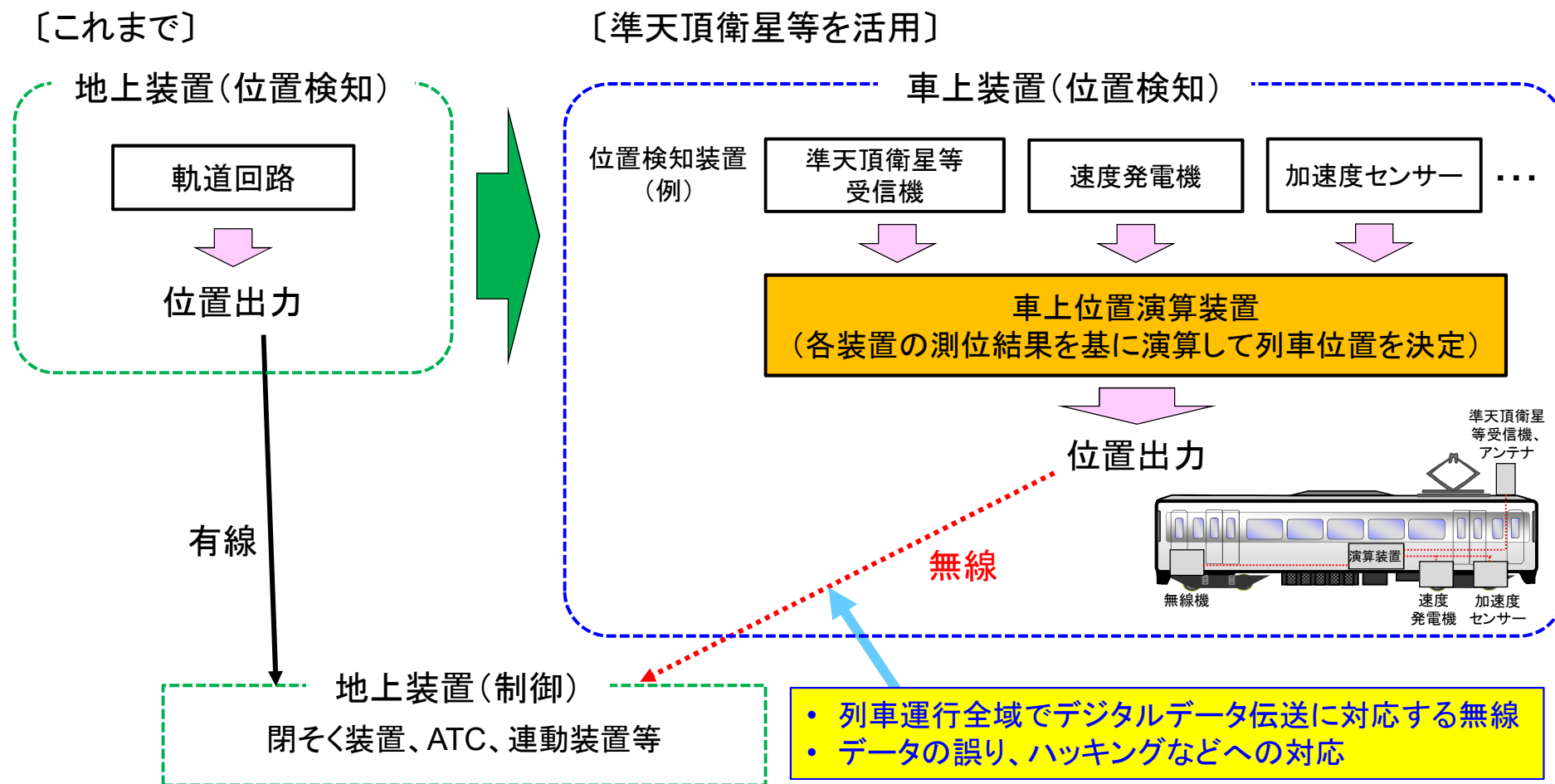
- 併用する位置検知装置の選定基準(装置の寿命、信頼性、コスト等)

- 車上位位置演算装置に必要なフェールセーフ性
- 準天頂衛星等や位置検知装置の健全性判定基準 等

他の位置検知装置との併用による活用可能性(活用に向けた課題②)

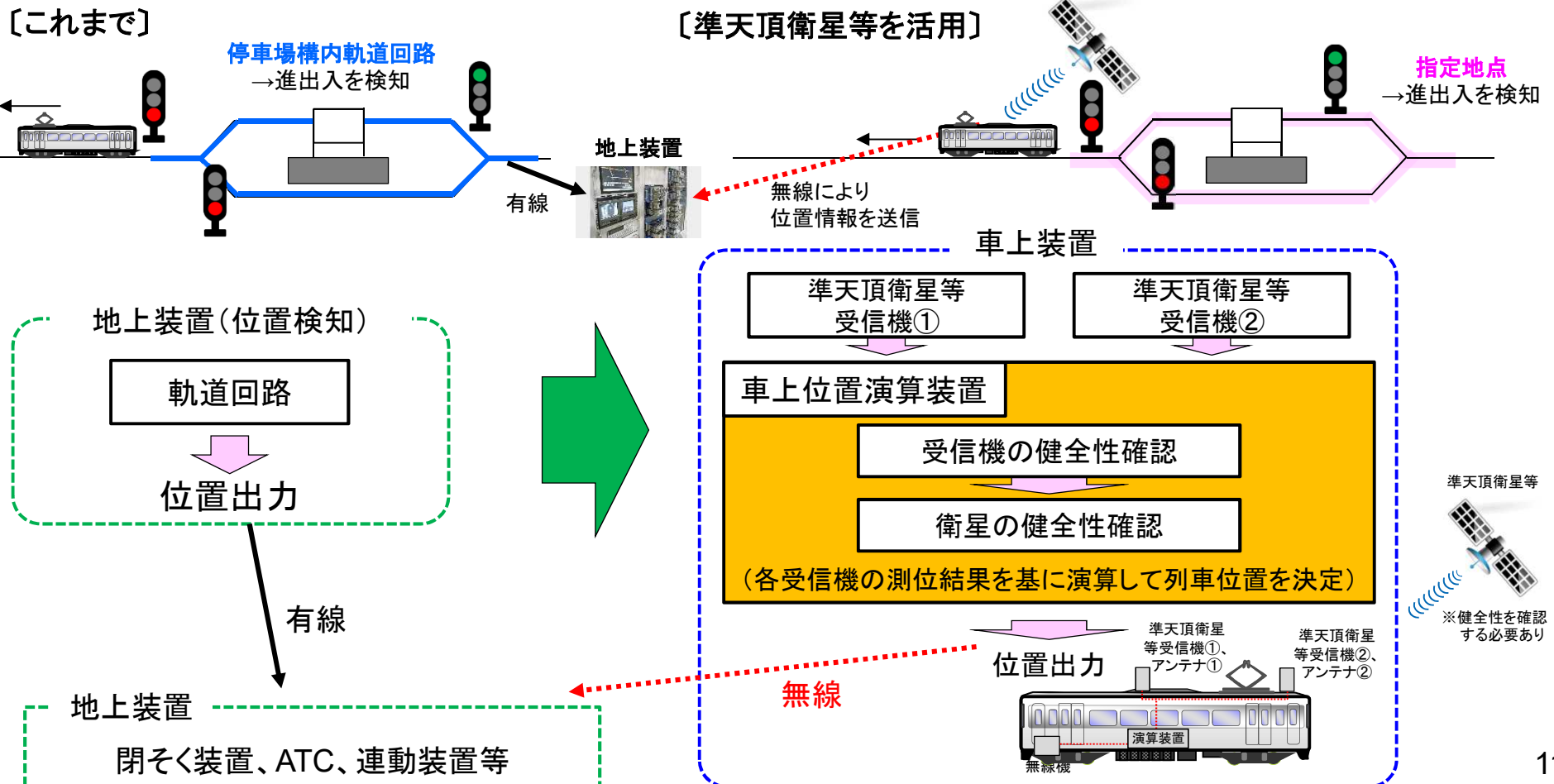
—車上で決定した列車位置情報を送信する無線通信網等の必要性—

- 車上位位置演算装置を通して出力した「列車位置情報」を、列車制御等を担う地上装置に送信する必要があるため、全線区を通して必要な地点及び通信間隔で通信可能な無線通信網等の利用が望ましい。
- なお、この無線通信については、通信時のデータの誤りの発生や外部からの妨害への対応も考慮する必要がある。



駅近傍に限定した準天頂衛星等の単独での活用可能性

- 連続的な位置検知が不要である場合（位置検知区間が駅近傍等に限定されることを想定）には、電波受信障害の回避が可能であれば、準天頂衛星等の単独活用の可能性が考えられる。
- そのためには、車上に準天頂衛星等の受信機を複数設置するとともに、車上路演算装置等が必要であると考えられる（車上路演算装置に関する検討事項・課題は9ページ参照）。
- なお、準天頂衛星等の健全性の確認方法については、準天頂衛星等の受信機等に関する今後の技術開発の動向や測位試験によるデータの蓄積等を行い、別途検討する必要がある。



保守・防災・サービス分野検討WG 報告資料

国土交通省鉄道局 独立行政法人自動車技術総合機構
交通安全環境研究所
令和2年2月



目次

1. 保守分野

(1)保守作業の現状

(2)準天頂衛星の活用可能性と期待される効果の検討

①保守作業可能時間の増加等

②保守作業にかかる見張員の一部削減

2. 防災分野

3. サービス分野



1. (1)保守作業の現状

保守作業の現状

- 線路上または線路周辺で保守作業を実施する時は、現在、多くの鉄道事業者では、「列車見張員」(以下、見張員)が作業現場前方の線路上に立ち、①目視、または、②列車ダイヤの参照により列車位置を確認している。
- 列車が保守作業現場に接近することを目視で確認したとき、または作業現場を通過する予定時刻の数分前になったときに、見張員が保守作業員に対して列車接近の合図を出すことにより、保守作業員を線路外へ待避させ、安全を確保している。
- また、一部の鉄道事業者では、上記①、②に加え、③GPSを活用し、見張員や保守作業員に対して列車接近の警報を鳴動することで、列車の接近状況を確認している見張員の作業を支援している。

〔GPSを活用しない保守作業時の列車接近状況の確認イメージ〕

監視方法①: 目視
目測により列車接近を判断

〈課題〉

- 目測にはばらつきがある
- 1. 目測が過小の場合
⇒ 触車事故発生の可能性が高くなり危険
- 2. 目測が過大の場合
⇒ 列車通過までの時間が長くなり作業時間がロス
- ヒューマンエラーによる列車の見落とし等が生じる可能性がある。

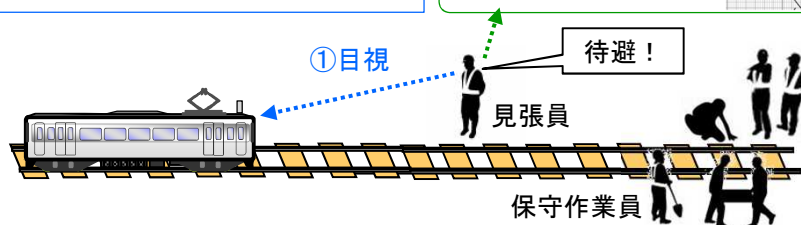
監視方法②: 列車ダイヤ
運転ダイヤから列車の走行位置及び接近を判断

〈課題〉

- 列車の運行が遅れているとき、列車が保守作業現場を通過するまでの時間が列車遅延分長くなり、作業時間がロス。



②列車ダイヤの参照



〔GPSを活用した保守作業時の列車接近状況の確認イメージ〕

監視方法③: GPS

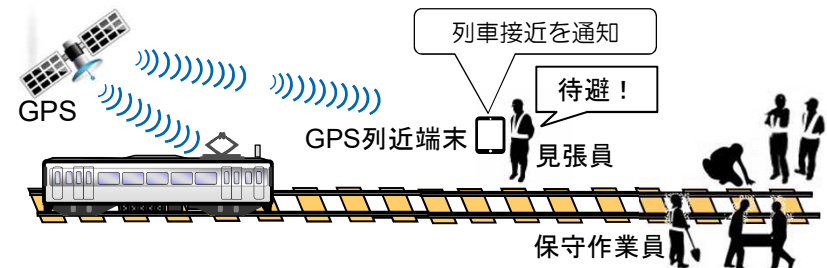
GPSを搭載した装置を用いて、保守作業員、見張員、車両等の位置を測位し、見張員や保守作業員が持つGPS列近端末に列車の接近を知らせる。


〈効果〉

- 目測の誤りをカバーすることによる保守作業の安全性向上。
- 列車の実走行位置を把握することで、列車ダイヤを用いて予め待避する場合と比較すると、保守作業可能時間が増加。

〈課題〉

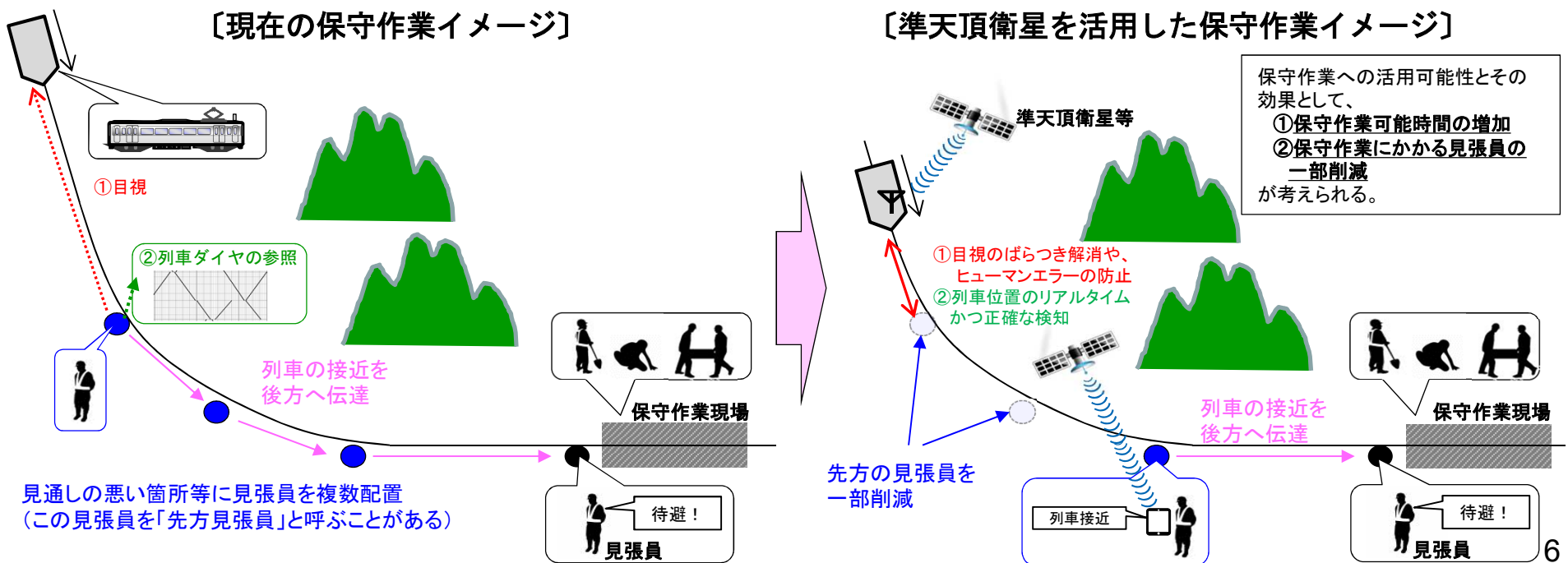
- 列車の走行する線路とは異なる線路を保守作業する際、列車や見張員の位置を正確に把握できず、列車が走行する線路以外の保守作業員も待避する場合がある。



- 
1. (2)準天頂衛星の活用可能性とその効果の検討
 - ①保守作業可能時間の増加等

準天頂衛星の活用可能性とその効果の検討

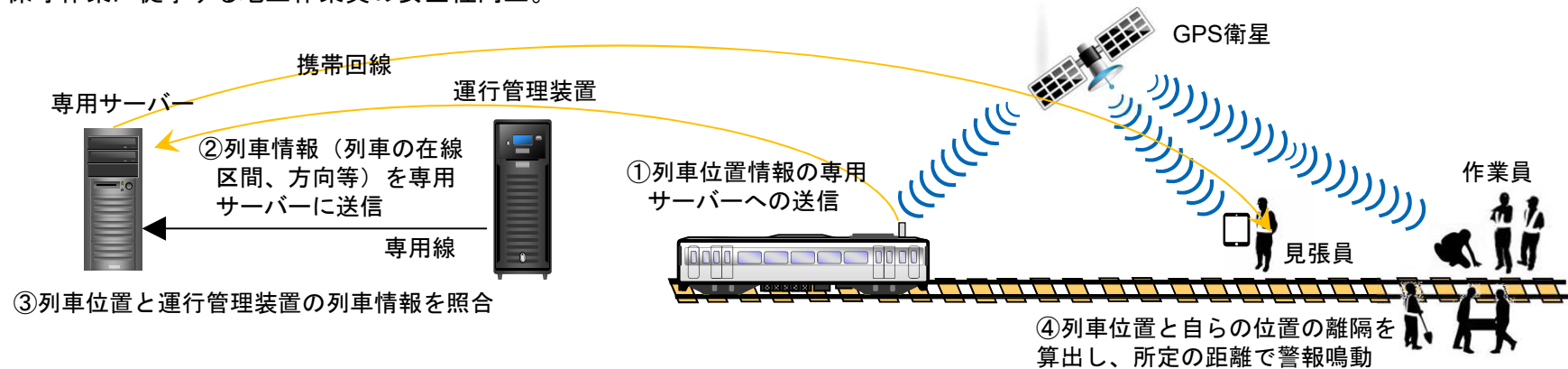
- 「目視」により列車の接近を確認する場合、過去に保守作業員の触車事故が発生したことを踏まえ、一部の鉄道事業者においては、安全性を向上させるために、GPSを活用した見張員や保守作業員の支援を行ってきた。今後、GPSと同様、高精度な位置検知が可能な準天頂衛星の活用により、保守作業の更なる安全性向上が見込まれる。
- 「列車ダイヤの参照」により、作業現場を通過する予定時刻の数分前に待避合図を行う場合と比較すると、準天頂衛星等の導入区間を適切に定めて活用することにより、列車の位置をリアルタイムかつ正確に検知することができ、保守作業可能時間の増加が見込まれる。
- したがって、線路上または線路周辺での保守作業において、高精度な位置検知が可能な準天頂衛星の活用による効果として、保守作業の更なる安全性向上に加え、
 - 活用効果① 保守作業可能時間の増加等
 - 活用効果② 保守作業にかかる見張員の一部削減等
 が考えられる。



(参考)GPSを活用した列車接近警報装置について

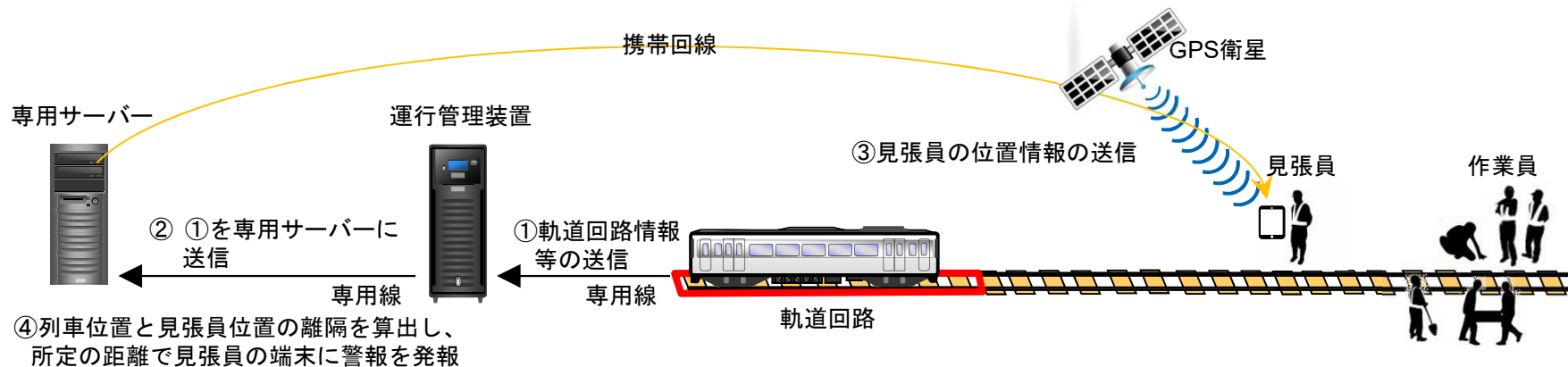
■ JR東日本

- 地上作業員や見張員が持つ作業員用端末と、車両に搭載したGPS車載装置でそれぞれの位置を測位し、作業員用端末に列車の接近を知らせる。
- 軌道回路がない線区かつ列車在線情報が取得可能な線区が対象。
- 2016年度に八高線、飯山線にて運用開始。2019年3月時点で25線区に導入済み。
- 保守作業に従事する地上作業員の安全性向上。



■ JR西日本

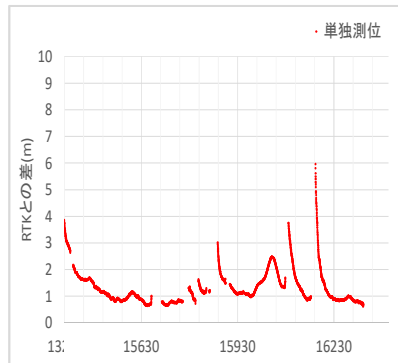
- 見張員が持つ見張員用端末の位置情報と、軌道回路と運行管理装置から取得した列車位置情報等から、見張員用端末に列車の接近を知らせる。
- 軌道回路がある線区かつ列車在線情報が取得可能な線区が対象。
- 2008年に奈良線、伯備線等で運用を開始。その後、過密ダイヤの大阪環状線等にも拡大し、約2,800kmで運用中。
- 装置導入により、保守作業の安全性が向上している。



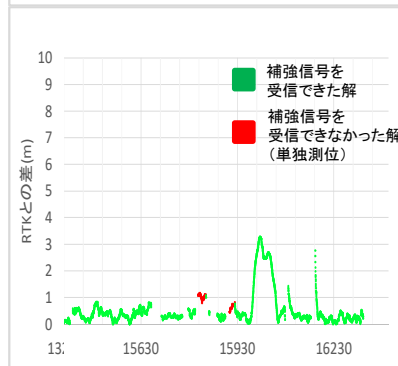
測位試験結果を踏まえた保守分野への準天頂衛星等の活用に関する考察

- GPSやSLAS(サブメータ級測位補強サービス)による測位結果では、複線以上の区間において保守作業している線路と列車が走行する隣接線路が同一であると誤検知してしまう可能性があるのに対し、CLAS(センチメータ級測位補強サービス)による測位結果では、高精度な「Fix解」を活用することによって、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路を高い精度で検知できる可能性が高いと考えられる。

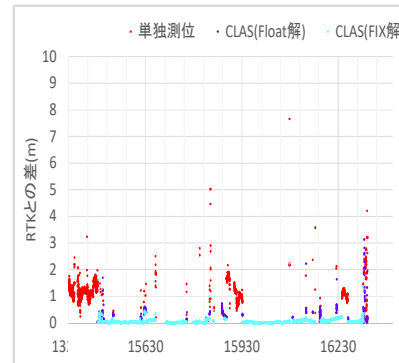
GPS



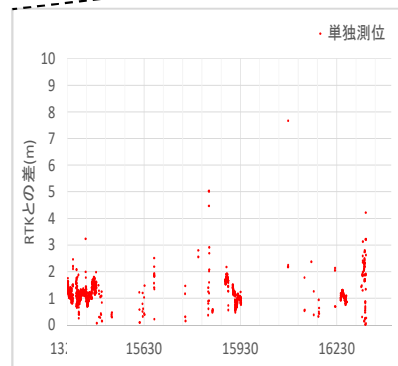
SLAS



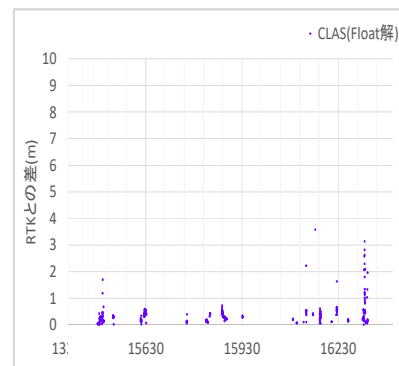
CLAS



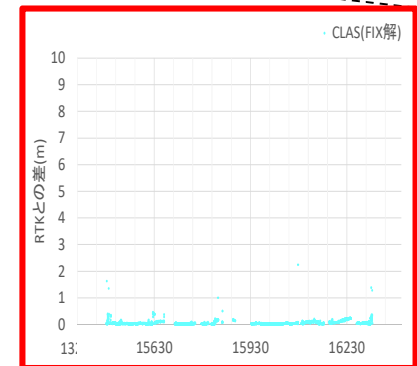
〈D鉄道の事例〉



単独測位による解

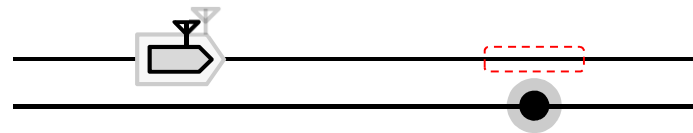
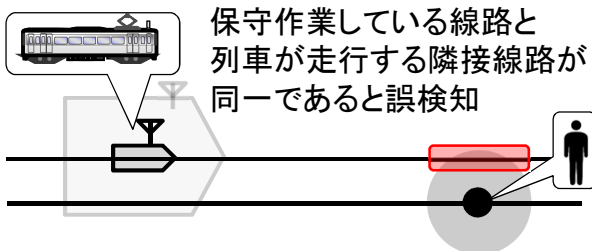


Float解(Fix解よりも低精度)



Fix解(高精度)

高精度のFix解を用いることで、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路を高い精度で検知できる可能性が高い



測位試験路線における「保守作業可能時間の増加」に関する検討結果

- 測位試験路線において、現在の主な「見張員による合図の方法」と、GPSや準天頂衛星の測位誤差との比較から、「保守作業可能時間の増加」の可能性について検討。

測位試験に基づく検討結果

	条件			現状	試算結果		
	最高速度	単線・複線	試験路線長		GPSを活用して見張員が列車接近合図を出す時間	準天頂衛星を活用して見張員が列車接近合図を出す時間	現在と比べてGPSまたは準天頂衛星の活用による保守作業可能時間の増減
A鉄道	70km/h	単線	12.2km	列車ダイヤの参照により保守作業現場通過時刻の5分(300秒)前に達したときに合図を出す	約41秒 ※ 列車と見張員間の距離が800mの時点で合図	約41秒 ※ 列車と見張員間の距離が800mの時点で合図	GPS、準天頂衛星ともに、相当程度(260秒程度)の保守作業可能時間の増加が見込まれる。
B鉄道	80km/h	単線	41.2km	目視により1000m手前に列車が接近したときに合図を出す(現場を通過する45秒前に相当)	約46秒	約45秒	GPS、準天頂衛星ともに、現在の作業方法と同程度の保守作業可能時間の確保が可能。 ※ 目視による誤差は考慮していない。
C鉄道	120km/h	複線	55.0km	目視により800m手前に列車が接近したときに合図を出す(現場を通過する24秒前に相当)	約25秒	約24秒	同上 ※ GPSを活用する場合、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路が同一であると誤検知してしまう可能性あり。
D鉄道	100km/h	複線 複々線	43.7km	目視により現場を通過する30秒前に合図を出す(833.3m手前に列車が接近したときに相当)	約31秒	約30秒	同上 ※ GPSを活用する場合、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路が同一であると誤検知してしまう可能性あり。
E電鉄	40km/h	複線	5.4km	軌道線につき該当なし	—	—	—
F電鉄	40km/h	複線	5.0km	軌道線につき該当なし	—	—	—

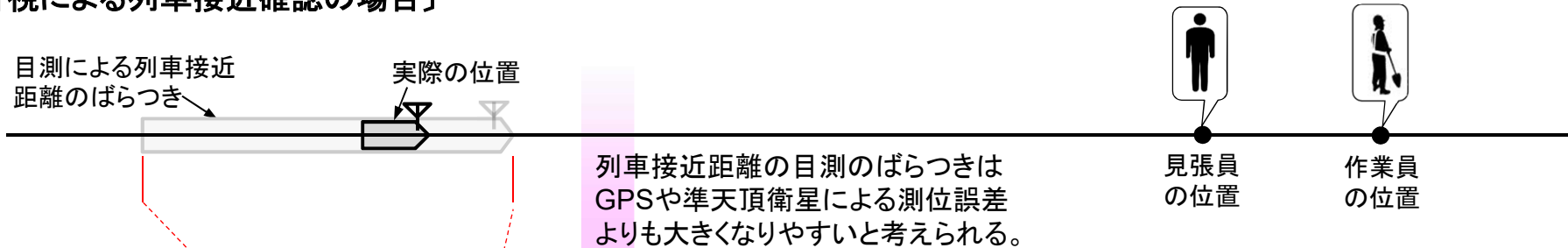
測位試験路線における「保守作業可能時間の増加」に関する検討結果

■ 測位試験路線において、現在の主な「見張員による合図の方法」と、GPSや準天頂衛星の測位誤差との比較から、「保守作業可能時間の増加」の可能性について検討を行った。その結果、

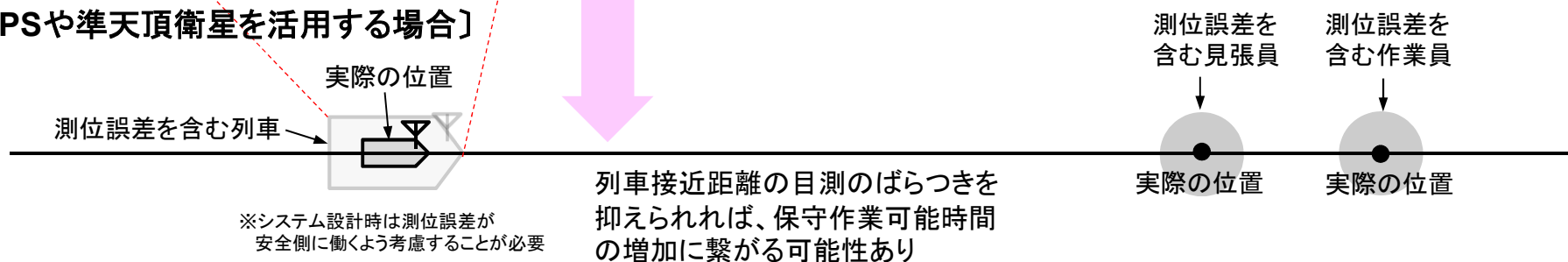
① 《「目視による確認」との比較》

- 現在の方法と比べてGPSや準天頂衛星の活用による大きな違いは見られず、GPSや準天頂衛星の活用によって現在と同程度の保守作業可能時間が確保できる可能性がある。
- また、実際には見張員の目測による列車接近距離及び列車接近合図がばらつくため、それに伴って作業中断時間もばらつく可能性がある。列車接近距離の目測のばらつきはGPSや準天頂衛星による測位誤差よりも大きくなりやすいと考えられる。
- そのため、GPSや準天頂衛星の活用によって列車接近距離の目測のばらつきを抑えることで、待避毎にばらついていた作業中断時間をほぼ一定にすることができ、保守作業可能時間の増加に繋がる可能性がある。

〔目視による列車接近確認の場合〕



〔GPSや準天頂衛星を活用する場合〕



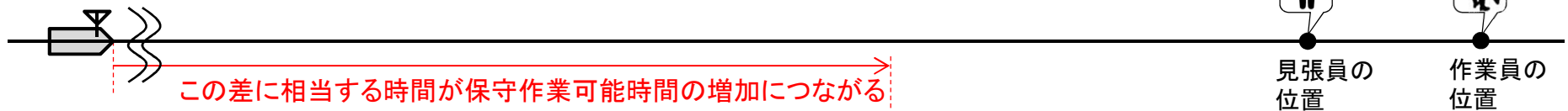
測位試験路線における「保守作業可能時間の増加」に関する検討結果

② 《「列車ダイヤの参照による確認」との比較》

- GPSや準天頂衛星の活用により相当程度の保守作業可能時間の増加が見込まれる。

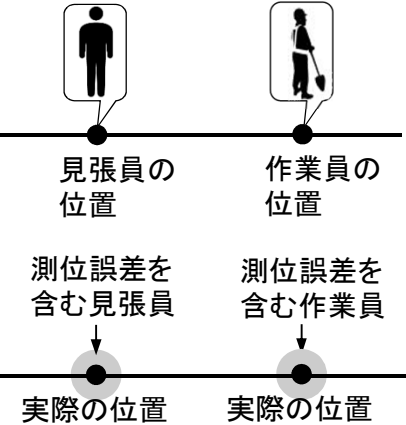
〔列車ダイヤの参照による列車接近確認の場合〕

待避合図を出したときの列車走行位置（作業現場通過の数分前）



〔GPSや準天頂衛星を活用する場合〕

測位誤差を含む列車
GPSや準天頂衛星を活用して列車接近合図を出すときの列車走行位置

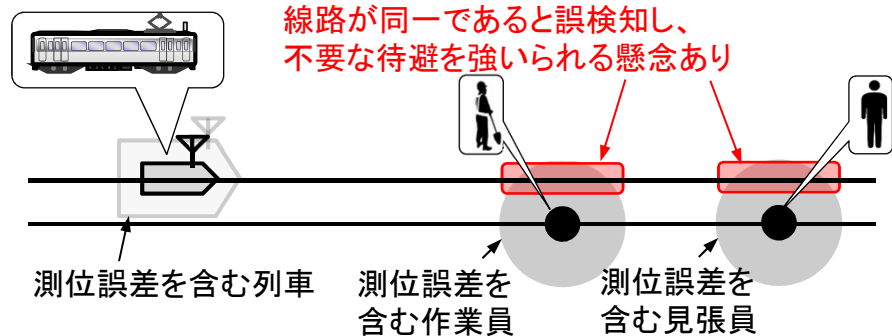


③ 《複線以上の路線でGPSを活用する場合の懸念点》

- なお、複線以上の区間でGPSを活用する場合、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路が同一であると誤検知してしまう可能性があるため、不要な待避を強いられる懸念がある。一方、準天頂衛星の活用により高精度の位置検知が可能となるため、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路を分けて検知でき、GPSの活用に対する懸念を解消できる可能性がある。

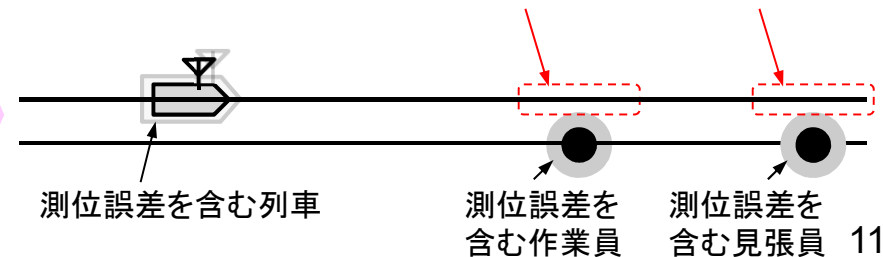
〔複線以上の区間でGPSを活用する場合の懸念点〕


※複線の場合



〔複線以上の区間で準天頂衛星を活用する場合の効果〕

高精度の位置検知が可能となるため、保守作業している線路と列車が走行する隣接線路を分けて検知でき、GPSの活用に対する懸念を解消できる可能性あり

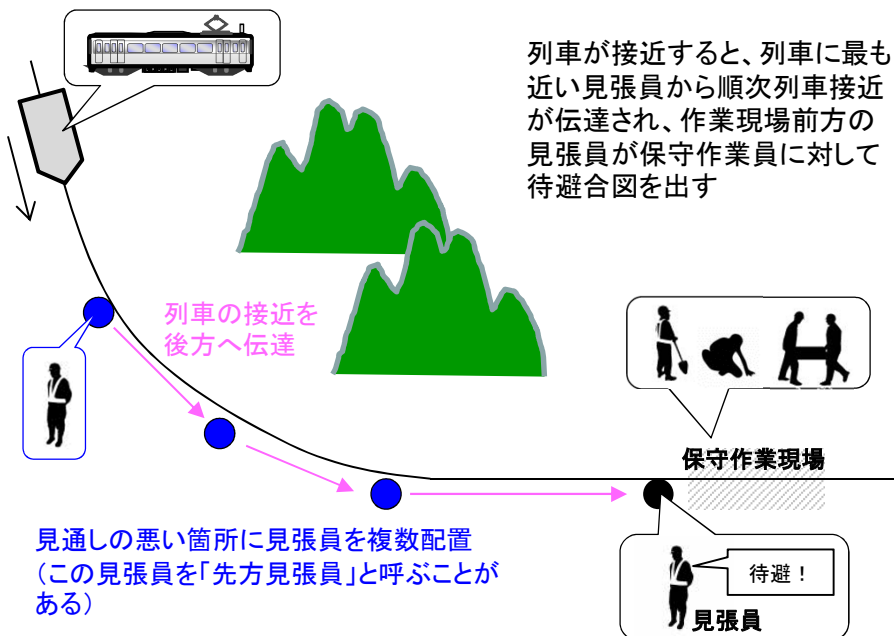


- 
1. (2)準天頂衛星の活用可能性と期待される効果の検討
 - ②保守作業にかかる見張員の一部削減

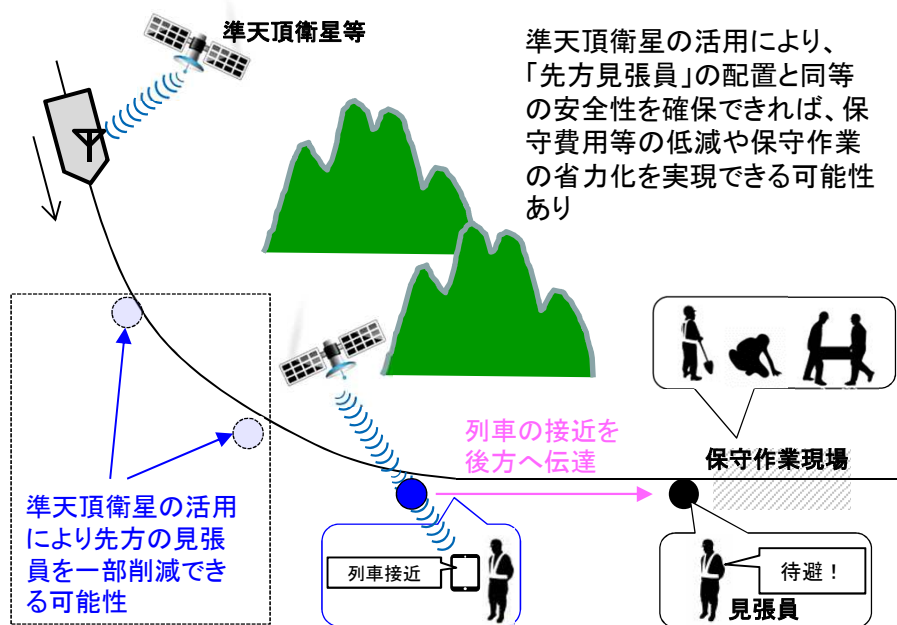
【活用効果②】保守作業にかかる見張員の一部削減

- 曲線等で列車接近を見通せない場所では、複数の見張員が作業現場前方よりも更に前に立ち、列車接近の状況を確認しており、その場所が長いほど見張員の配置が多くなっている（保守作業現場前方に立つ見張員よりも更に前に立つ見張員を「先方見張員」という）。
- 「先方見張員」の配置は、その数が多いほど、保守作業の費用増加に繋がる。しかし、近年の人手不足、担い手不足から見張員や保守作業員の確保が困難であるため、保守作業の省力化を求められている。
- 高精度な位置検知が可能な準天頂衛星の活用により、「先方見張員」の一部削減が期待できるが、「先方見張員の配置」と同等の安全性を確保する必要がある。

〔列車接近を見通せない場所での保守作業イメージ〕



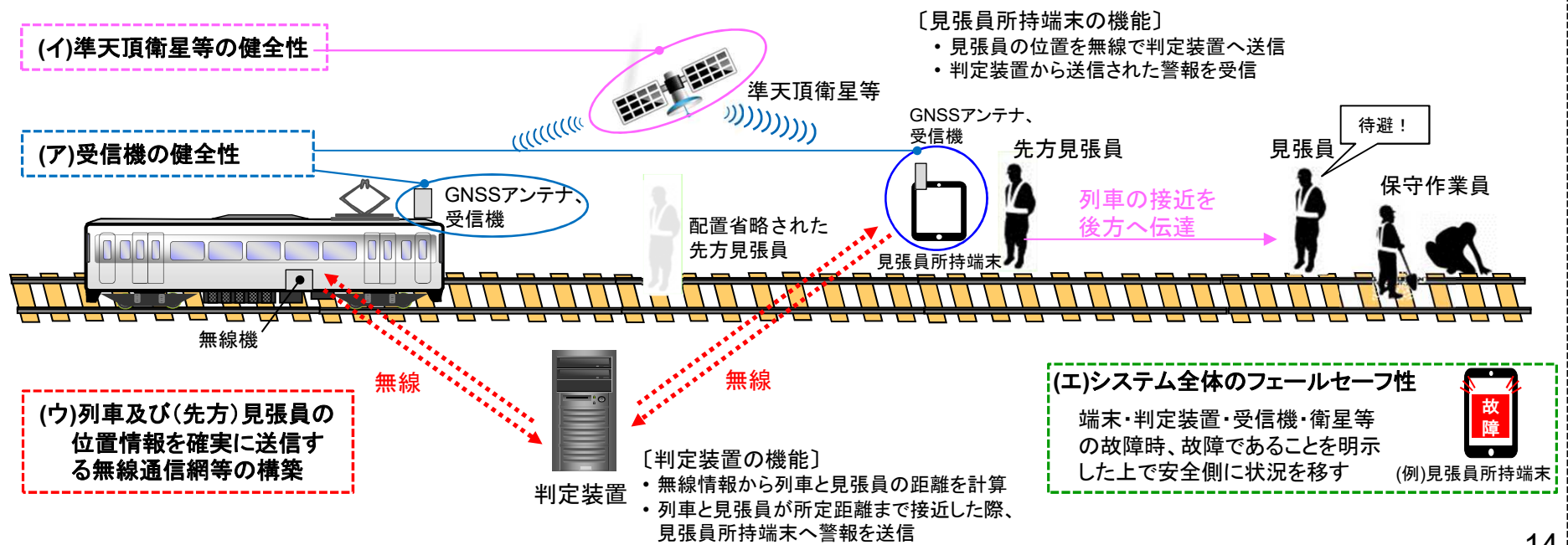
〔列車接近を見通せない場所での準天頂衛星の活用のイメージ〕
（「先方見張員」の一部削減のイメージ）



「先方見張員の配置」と同等の安全性を確保するシステムの構築の必要性

- 「先方見張員」の一部削減を行うためには、「先方見張員の配置」と同等の安全性を確保するシステム(準天頂衛星活用列車確認システム(仮称))等を開発する必要がある。
- 当該システムには、①高精度な列車及び(先方)見張員の位置検知機能、②(先方)見張員に対し列車接近状況を伝達する機能が必要であると考えられ、当該システムを確実に機能させるためには、以下の点について配慮する必要がある。
 - (ア)受信機(列車・見張員所持端末に搭載)の健全性(正常に動作していること)
 - (イ)準天頂衛星等の健全性
 - (ウ)列車及び(先方)見張員の位置情報を確実に送信する無線通信網等の構築
 - (エ)システム全体のフェールセーフ性(故障時は故障であることを明示した上で安全側に状況を移すこと)
- なお、当該システムについては、列車制御・保安分野の記載事項等に留意して開発を進める必要がある。

〔準天頂衛星活用列車確認システム(仮称)のイメージ〕

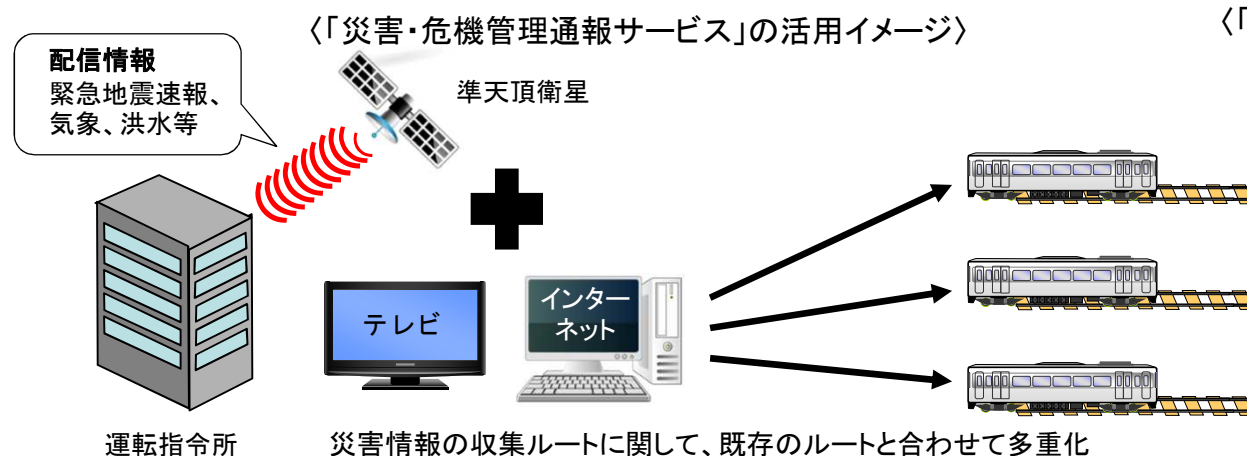




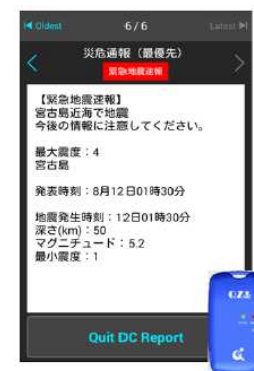
2. 防災分野

防災分野における活用可能性(災害・危機管理通報サービス)

- 現在、鉄道事業者においては、災害発生時は、運転指令所にて、テレビ、ラジオ、インターネット等により災害情報を入手し、走行する列車に対する指示や注意喚起等を行う場合がある。また、保守作業員らが勤める現場事務所等においても、上記手段を用いて災害情報の収集を行っている。
- そのため、準天頂衛星システム(みちびき)独自のサービスである「災害・危機管理通報サービス」を活用することにより、以下の効果があると考えられる。
 - ① 気象庁が提供する信頼性の高い災害情報(地震・津波等)や避難勧告の発令状況を高頻度に入手可能となることによる、より臨機応変な対応
 - ② 情報収集システムの多重化、災害時におけるリダンダンシー(冗長性)の強化(災害による電源喪失、通信回線の混雑、携帯電話基地局や電力設備等の地上設備損傷時等による情報孤立下(情報入手が困難な状況下)においても情報収集が可能となる)
- 「災害・危機管理通報サービス」は、「サブメータ級測位補強サービス」に対応する受信機があれば利用可能な無料サービスである。当該受信機は、「センチメータ級測位補強サービス」に対応する受信機と比べて安価で入手可能であり、鉄道分野への活用は技術的にも可能であることから、災害・危機管理通報サービスは特に被災時の情報孤立下における危機管理への有効利用が期待される。



〈「災害・危機管理通報サービス」の受信イメージ〉





3. サービス分野

サービス分野における活用可能性①

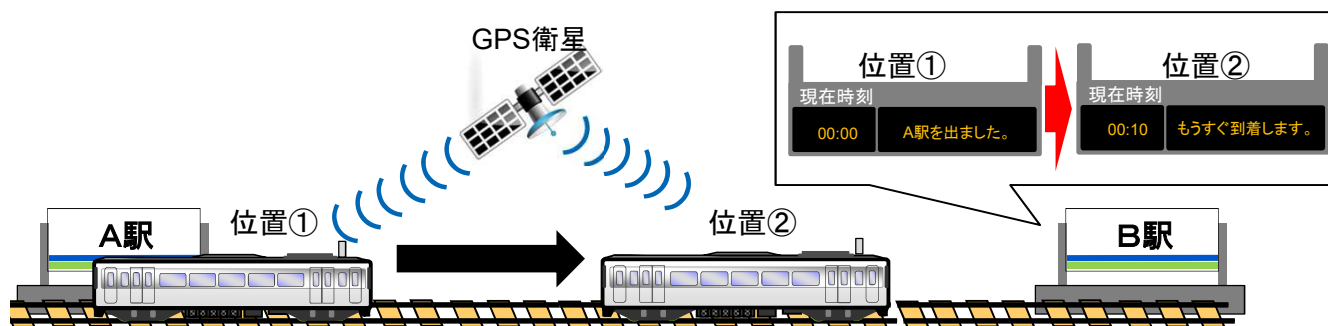
(a) 旅客へのサービス向上

- 現在、GPSを活用した旅客への情報提供サービスは一部で運用されているが、準天頂衛星システム（みちびき）の活用によって列車の位置情報を高精度に把握することが可能となり、例えば以下への活用が技術的に可能であると考えられる。
 - ① 駅構内での旅客向け列車運行情報のより正確な提供（何秒後に到着という情報等）
 - ② 車内での旅客向け観光情報のより正確な提供（何秒後に車窓から観光資源が確認できるという情報等）
- また、これらに加え、駅ホーム上の除雪機械への活用等、旅客へのきめ細かいサービスの提供という観点から様々な活用可能性が考えられ、準天頂衛星のサービス分野への今後の活用が期待される。

現在のGPSを活用した旅客への情報提供のイメージ

① 駅構内での列車運行情報の提供

- GPSによる列車の位置情報と速度情報を基に、駅構内の列車接近表示を切り替え。



列車運行情報のより正確な提供のイメージ



サービス分野における活用可能性②

(b) 乗務員への支援

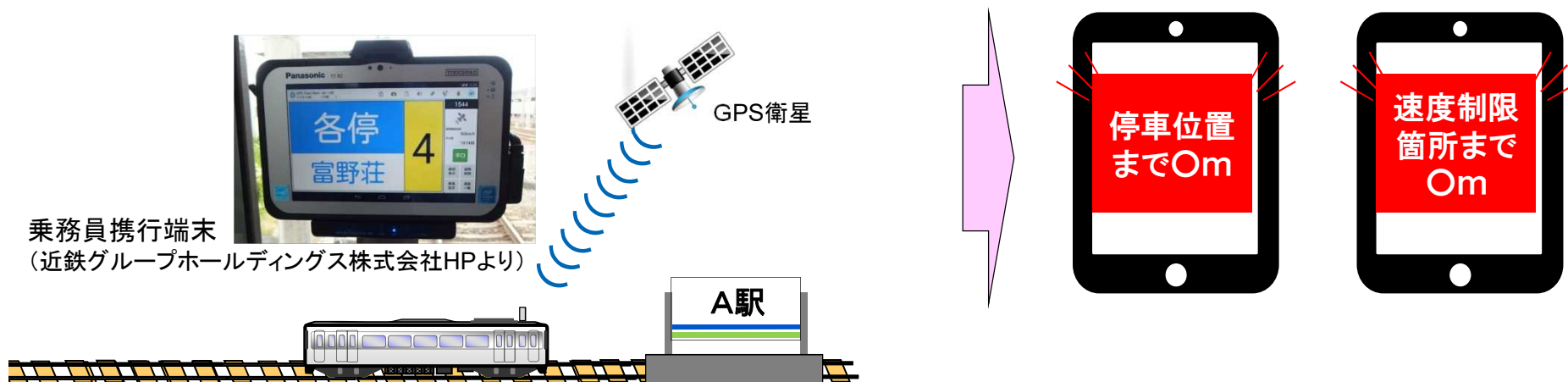
- 現在、GPSを活用した乗務員等への情報提供サービスは一部で運用されているが、準天頂衛星システム(みちびき)の活用により列車の位置情報を高精度に把握することが可能となり、例えば以下の活用可能性が考えられる。
 - ① 乗務員等へのより正確な運転支援情報の提供(停車駅、速度制限箇所等における注意喚起の情報等)
 - ② ワンマン運転路線等におけるより正確な運賃収受(車載型IC改札設備の列車位置に応じた正確な運賃の設定)
- このような活用は技術的にも可能であり、また、乗務員等へのきめ細かいサービスの提供の観点でも有用で、延いては旅客向けへのサービスにも寄与する可能性が高いことから、準天頂衛星のサービス分野への今後の展開が期待される。

現行のGPSを活用した乗務員等への支援システムのイメージ

① 列車情報(運転時刻、停車駅等)の把握

- GPS技術を利用して列車の位置特定を行い、その位置情報により、音声や発光表示等の方法で運転士に対し運転支援(列車種別確認、編成両数確認、停止位置確認等の注意喚起)を行うシステム。
- 近鉄で最初に導入され、後にJR西日本、東武等でも導入。

乗務員等へのより正確な 運転支援情報の提供イメージ

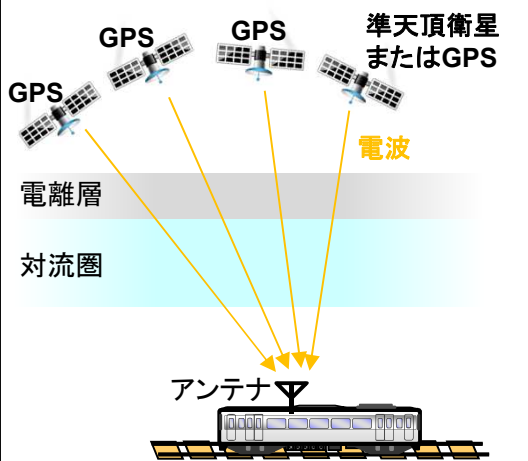
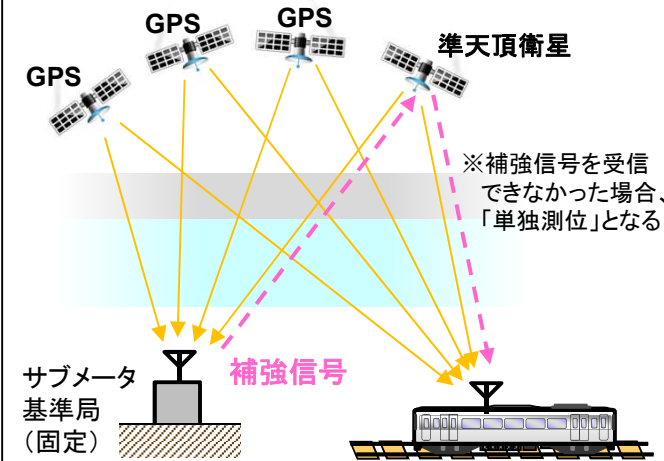
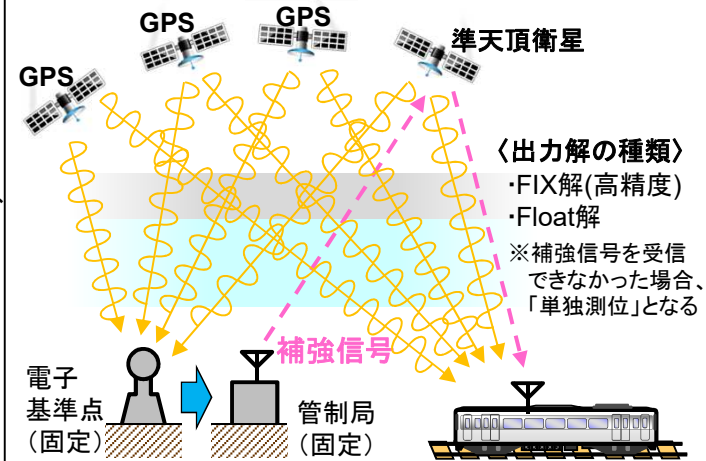


測位試験(フィールド試験)結果と その考察

国土交通省鉄道局 独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所
令和2年2月

衛星測位の概要と準天頂衛星の特徴について

- 衛星測位とは、少なくとも4機の衛星からの電波を使って現在位置を算出することであるが、GPSでは最大で約十メートルの誤差が生じることもあり、その要因としては、主に電波が通過する「電離層」や「対流圏」等の影響がある。
- 測位誤差を小さくし、精度を高めるために、準天頂衛星独自のサービスとして「補強信号」(地上の基準局または電子基準点を使って計算した測位誤差を小さくするための補正情報)が準天頂衛星から送信されている。
- 補強信号は「サブメータ級測位補強サービス(SLAS)」と「センチメータ級測位補強サービス(CLAS)」の2種類。
- SLAS、CLASともに、補強信号を受信できなかった際は、GPSの測位原理と同様の「単独測位による解」として出力される。
- CLASの補強信号を受信機側が受信し、確実に測位できれば「Fix解」として高精度な測位結果を出力することができる。しかし、周囲の環境によっては必ずしも高精度な測位結果を導くことができない場合もあり、その際は「Float解」または「単独測位による解」として、Fix解と区別して結果を出力する。

GPS	準天頂衛星	
<p>単独測位 最大で約十メートルの誤差が発生</p>	<p>サブメータ級測位補強サービス(SLAS) 1~2メートル程度の精度を実現</p>	<p>センチメータ級測位補強サービス(CLAS) 数センチメートル程度の精度を実現</p>
 <p>「衛星からの電波をアンテナが受信するまでの伝搬時間」、「電波の速度」、「衛星の位置」、「電波送信時の時刻」を使って現在位置を算出</p>	 <p>「電波の伝搬時間」、「電波の速度」等のほか、補強信号も利用して現在位置を算出</p>	 <p>「衛星からの電波の波数」と「複数の波のズレ」を補強信号を利用して計算し、現在位置を算出</p>

測位試験(フィールド試験)実施概要

- 準天頂衛星等の活用により、高精度な位置検知が可能性について確認するため、鉄道事業者の協力の下、鉄道の実際の路線において、測位試験(フィールド試験)を実施した。

○測位(フィールド)試験の実施箇所(事業者のご協力の下で実施)

A鉄道、B鉄道、C鉄道、D鉄道、E電鉄、F電鉄にて、2019年10月上旬から2020年1月下旬にかけて実施

○測定項目

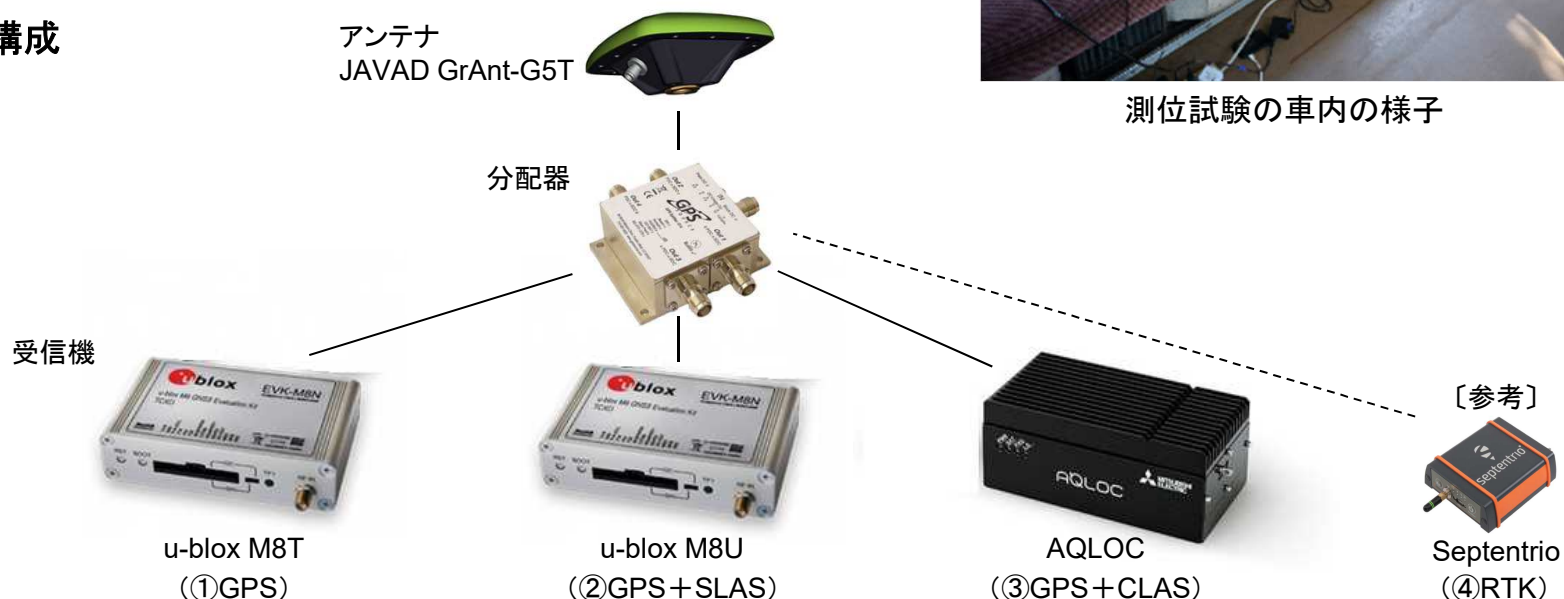
- ①GPS*
- ②GPS+サブメータ級測位補強サービス(SLAS)
- ③GPS+センチメータ級測位補強サービス(CLAS)
- ④RTK**

*GPSには準天頂衛星の「補完」(準天頂衛星とGPSの一体での利用)を含む。
**Real Time Kinematicの略。測量等でセンチメートル級の精度の実績を有するが、測定者自身が測位精度を高めるための補正情報を入手する必要がある。
★RTKの測位結果を基準として、①～③の各測定結果とRTKとの差(測位誤差に相当)を算出



測位試験の車内の様子

○測定機器の構成



測位試験路線の走行条件等一覧

	測定時間	試験区間長	天候	単線・ 複線	最高 速度	アンテナ 設置箇所	周辺環境
A鉄道	(1)20:38~20:57 (2)21:03~21:23 (3)21:58~22:17 (4)22:23~22:43 (5)10:00~10:19 (6)10:47~11:07 (7)12:08~12:27 (8)12:36~12:56	(1)~(8) 12.2km	(1)~(4) 雨 (5)~(8) 晴	単線	70km/h	屋根上	基本的にはオープン スカイ、橋梁あり
B鉄道	(1)17:43~18:53 (2)19:00~20:00 (3)21:56~22:19 (4)22:28~22:50 (5)23:25~24:26 (6)7:12~8:16 (7)9:02~9:25 (8)9:51~10:13	(1)(2)(5)(6) 41.2km (3)(4)(7)(8) 12.2km	(1)~(5) 雪 (6)~(8) 晴	単線	80km/h	屋根上	オープンスカイの箇 所が多いが、トンネル、 森林地帯あり
C鉄道	(1)9:48~10:33 (2)10:48~12:10 (3)14:30~15:30 (4)15:48~16:30	(1)(4)40.1km (2)(3)55.0km	晴	複線	120km/h	屋根上	住宅地、商業地、山 間部、トンネルなど環 境が変化
D鉄道	(1)12:38~13:32 (2)13:38~14:34 (3)14:42~15:07 (4)12:38~13:32 (5)13:38~14:34 (6)14:42~15:07	(1)(4)29.4km (2)(5)43.7km (3)(6)14.3km	曇時々雨	複線 複々線	100km/h	屋根上	起点駅が駅ビルの直 下、橋上駅舎が多く、 一部に複々線あり
E電鉄	(1)13:00~13:30 (2)13:30~14:00 (3)14:30~15:10 (4)15:10~15:50	(1)(2)4.2km (3)(4)5.4km	晴	複線	40km/h	屋根上	都市部・商業地が多く、 複数の高層ビルあり
F電鉄	(1)14:32~14:43 (2)14:44~15:01 (3)15:02~15:13	(1)2.2km (2)5.0km (3)2.8km	曇	複線	40km/h	室内 (運転台)	多くが都市部・住宅地、 終端駅が橋上駅舎、 複々線高架下走行箇 所あり

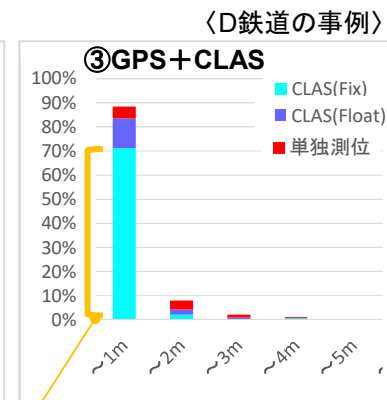
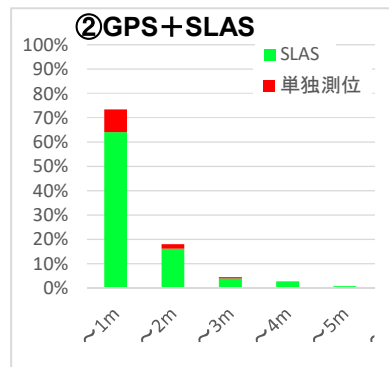
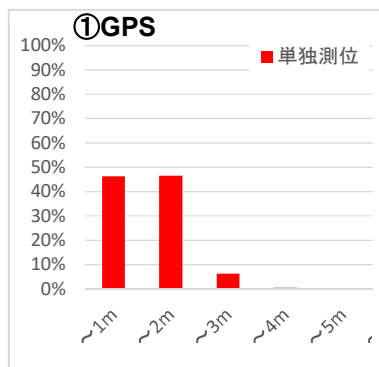
※括弧の数字は試験番号を表す。

測位試験(フィールド試験)の結果と考察

- 「①GPS」、「②GPS+サブメータ級測位補強サービス(SLAS)」、「③GPS+センチメータ級測位補強サービス(CLAS)」を比較したところ、
 - (イ) ③の測位結果がほぼ全ての測定回において最も誤差が小さい

- ほとんどの測定回において、③が最も誤差が小さく(特に「Fix解」は「0~1m」の分布が最も多い)、次いで②、①の順に小さくなる傾向。

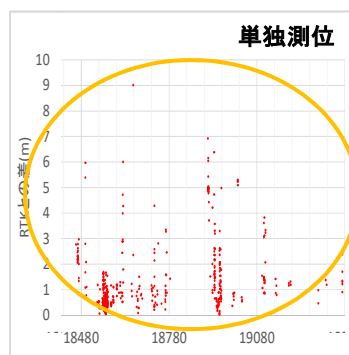
※「RTKとの差」が求められたときを100とした場合の誤差の分布



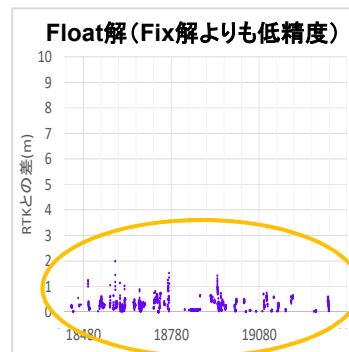
特に「Fix解」は「0~1m」の分布が最も多い

- (ロ) 特に、③については、準天頂衛星の今後の打ち上げ機数の増加や受信機等の技術開発・改良により測位性能が更に向上する見込みがある

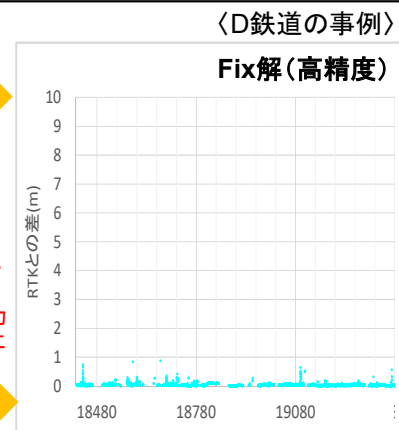
- 沿線に高層建物や森林が存在する箇所を中心に「Float解」で測位結果が出力されていることを確認。
- 準天頂衛星の7機体制(2023年予定)や受信機等の技術開発・改良により、精度の高い「Fix解」が多く得られることが期待され、更に測位性能が向上することが見込まれる。



精度の高い「Fix解」でより多く出力されることに期待



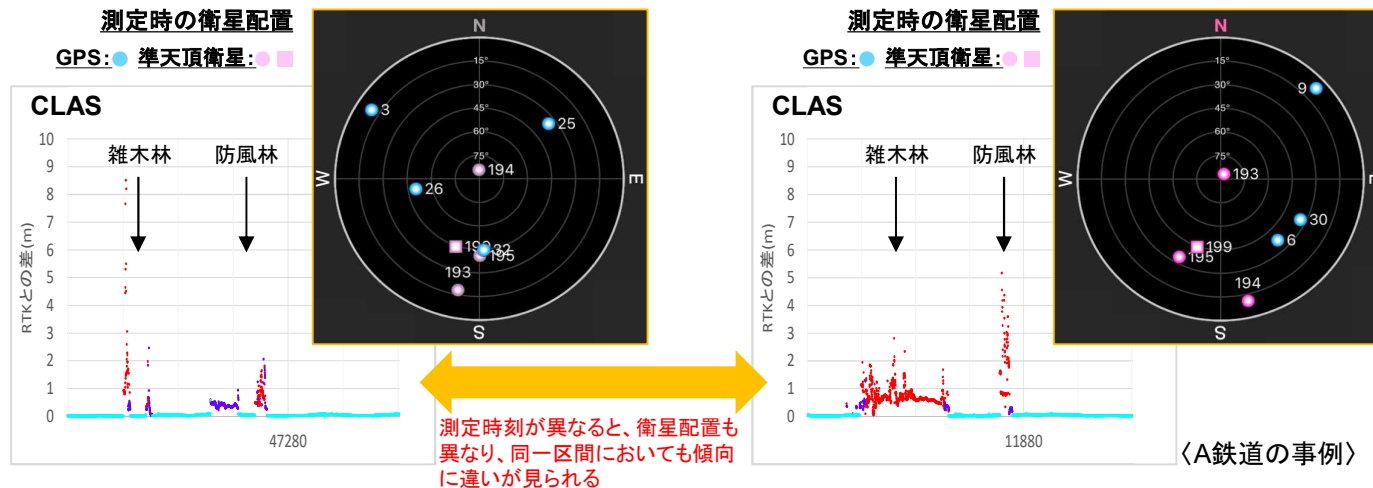
精度の高い「Fix解」でより多く出力されることに期待



測位試験(フィールド試験)の結果と考察

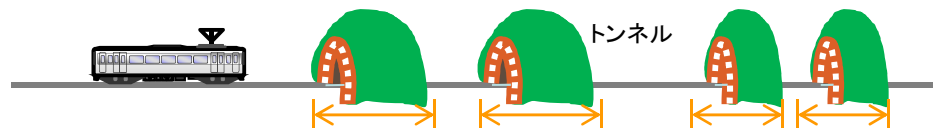
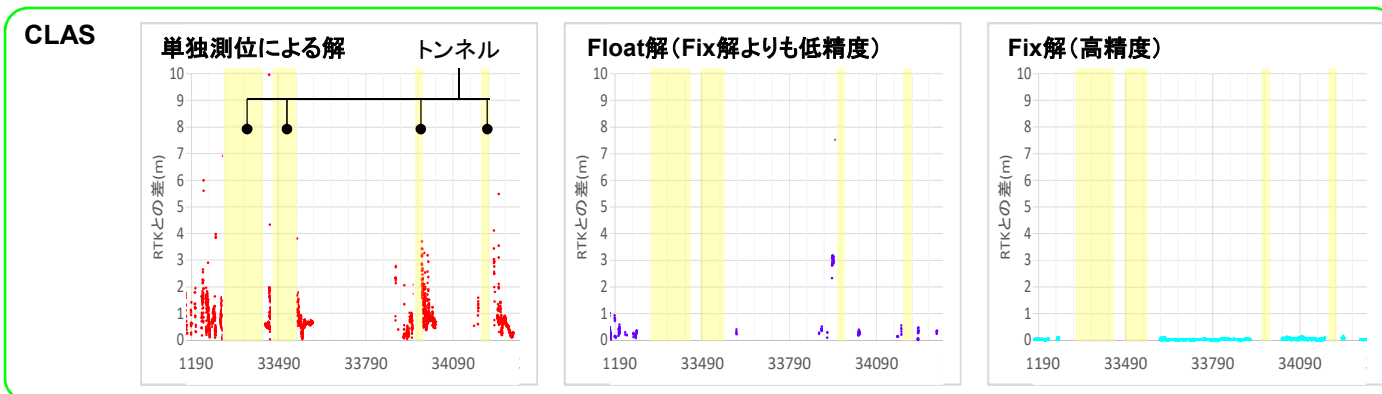
(ハ) GPSや準天頂衛星の衛星配置が測定時刻によって異なるため、同一の測定区間であっても測位結果に違いが見られる

- 隣接する構造物等の影響により誤差が生じやすい箇所等において、測定試験毎に誤差の大きさが異なることや、誤差の発生状況等に違いがあることを確認。
- 測定時刻が異なると、GPSや準天頂衛星の衛星配置に違いが生じることから、鉄道分野においても、衛星配置状況が測位結果に影響を及ぼす可能性があると考えられる。



(ニ) 沿線環境等の影響により、必ずしも全ての路線で完全に測位することはできない

- トンネルや立体交差、橋上駅舎等の衛星からの電波が遮られる環境においては、データを得られない箇所があったことや、必ずしも高精度の測位結果を得られていないことを確認。
- 準天頂衛星等の活用の際には、高精度の測位結果を得られる箇所と、高精度の測位結果を得られず活用が難しい箇所を明確にすることが必要である。



〈B鉄道の事例〉

A鉄道での測位試験結果

〈測位試験路線概況〉

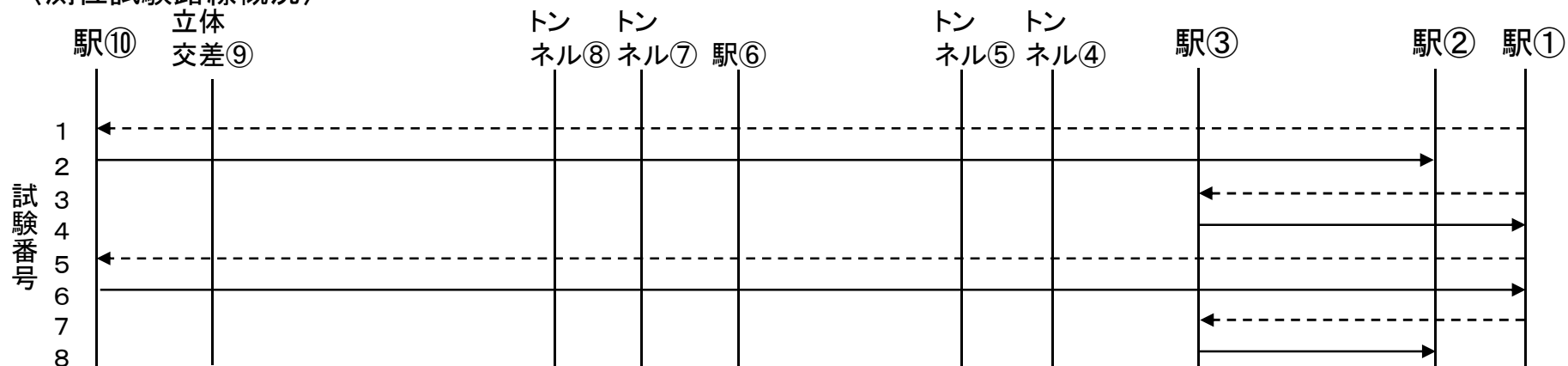


〈準天頂衛星とGPSの出力結果割合〉※測位誤差の大小を示すものではない。

試験番号	測定時間	CLAS			SLAS		GPS (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	〈参考〉 RTKが正確に測位できた割合 (試験時間に対する割合)
		FIX解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	Float解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	補強信号受信可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)		
1	20:38~20:57	89.8%	2.5%	5.7%	94.6%	3.4%	98.1%	98.1%
2	21:03~21:23	90.7%	3.5%	3.9%	98.4%	0%	98.4%	98.4%
3	21:58~22:17	90.4%	5.2%	2.6%	96.3%	1.9%	98.3%	98.3%
4	22:23~22:43	91.6%	2.6%	4.3%	98.6%	0%	98.6%	98.6%
5	翌10:00~10:19	89.2%	3.8%	5.1%	97.8%	0.3%	98.2%	98.2%
6	翌10:47~11:07	66.2%	14.6%	13.6%	97.2%	0%	97.2%	97.2%
7	翌12:08~12:27	78.4%	6.9%	9.9%	93.4%	1.8%	95.2%	95.2%
8	翌12:36~12:56	69.0%	13.8%	13.4%	96.3%	0%	96.3%	96.3%

B鉄道での測位試験結果

〈測位試験路線概況〉

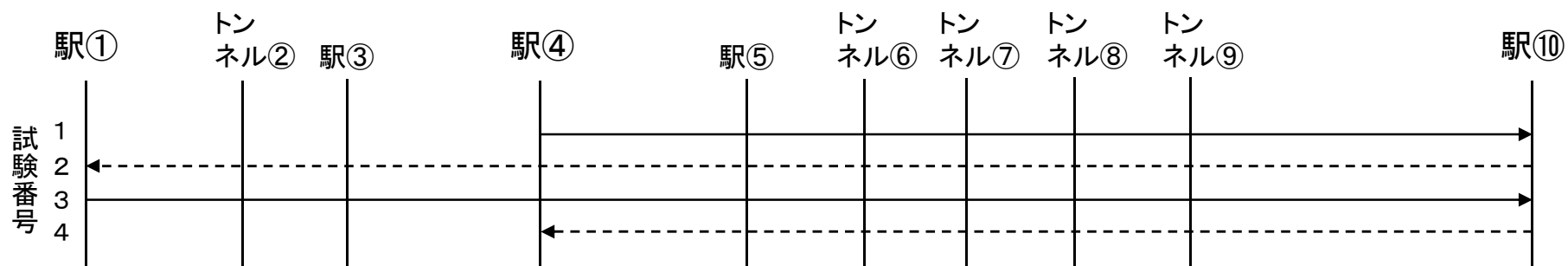


〈準天頂衛星とGPSの出力結果割合〉※測位誤差の大小を示すものではない。

試験番号	測定時間	CLAS			SLAS		GPS (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	〈参考〉 RTKが正確に測位できた割合 (試験時間に対する割合)
		FIX解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	Float解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	補強信号 受信可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)		
1	17:43~18:53	66.7%	4.7%	16.6%	85.7%	2.3%	87.9%	87.9%
2	19:00~20:00	51.7%	3.2%	30.8%	81.2%	4.5%	85.7%	85.7%
3	21:56~22:19	82.2%	8.2%	3.0%	93.4%	0%	93.4%	93.4%
4	22:28~22:50	51.7%	12.7%	24.7%	89.1%	0%	89.1%	89.1%
5	23:25~24:26	46.1%	11.7%	23.0%	79.2%	1.5%	80.8%	80.8%
6	翌7:12~8:16	79.0%	3.9%	3.6%	84.0%	2.6%	86.6%	86.6%
7	翌9:02~9:25	87.8%	0.7%	2.8%	91.5%	0%	91.5%	91.5%
8	翌9:51~10:13	82.0%	10.6%	1.4%	94.2%	0%	94.2%	94.2%

C鉄道での測位試験結果

〈測位試験路線概況〉



〈準天頂衛星とGPSの出力結果割合〉※測位誤差の大小を示すものではない。

試験番号	測定時間	CLAS			SLAS		GPS (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	〈参考〉 RTKが正確に測位できた割合 (試験時間に対する割合)
		FIX解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	Float解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	補強信号受信可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)		
1	9:48~10:33	58.7%	17.4%	12.2%	73.0%	15.4%	88.3%	88.3%
2	10:48~12:10	48.4%	26.3%	11.9%	73.5%	13.2%	86.6%	86.6%
3	14:30~15:30	59.7%	13.3%	13.7%	60.9%	25.8%	86.8%	86.8%
4	15:48~16:30	61.4%	18.0%	10.0%	67.7%	21.9%	89.6%	89.6%

D鉄道での測位試験結果

〈測位試験路線概況〉

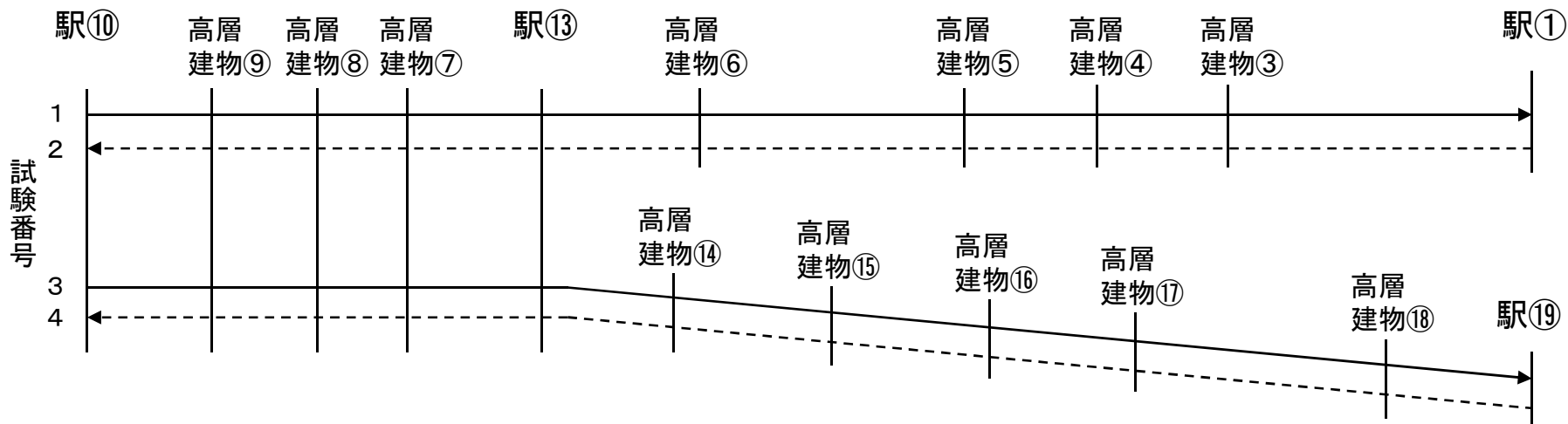


〈準天頂衛星とGPSの出力結果割合〉※測位誤差の大小を示すものではない。

試験番号	測定時間	CLAS			SLAS		GPS (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	〈参考〉 RTKが正確に測位できた割合 (試験時間に対する割合)
		FIX解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	Float解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	補強信号 受信可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)		
1	12:41~13:32	39.2%	8.7%	7.0%	50.4%	4.6%	55.0%	55.0%
2	13:38~14:34	55.1%	11.5%	7.7%	65.8%	8.6%	74.4%	74.4%
3	14:42~15:07	72.6%	14.9%	2.8%	83.1%	7.3%	90.5%	90.5%
4	12:41~13:32	34.2%	5.7%	12.1%	42.3%	9.8%	52.1%	52.1%
5	13:38~14:34	53.3%	11.9%	7.5%	59.5%	13.1%	72.7%	72.7%
6	14:42~15:07	55.8%	12.6%	20.7%	84.0%	5.2%	89.2%	89.2%

E電鉄での測位試験結果

〈測位試験路線概況〉



〈準天頂衛星とGPSの出力結果割合〉※測位誤差の大小を示すものではない。

試験番号	測定時間	CLAS			SLAS		GPS (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	〈参考〉 RTKが正確に測位できた割合 (試験時間に対する割合)
		FIX解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	Float解 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	補強信号受信可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)	単独測位 ※ 補強信号受信不可 (試験時間に対し誤差が算出できた割合)		
1	13:00~13:30	26.6%	4.3%	18.8%	49.7%	0%	49.7%	49.7%
2	13:30~14:00	38.8%	3.1%	8.8%	50.8%	0%	50.8%	50.8%
3	14:30~15:10	30.0%	21.4%	4.1%	55.5%	0%	55.5%	55.5%
4	15:10~15:50	29.1%	4.0%	9.0%	42.2%	0%	42.2%	42.2%