

第9回 地方鉄道向け無線式列車制御システム 技術評価検討会

日時 令和7年3月19日(水) 10:00～12:00

場所 合同庁舎3号館6階鉄道局大会議室(WEB上で同時開催)

< 議 事 次 第 >

1. 開会

2. 議事

地方鉄道向け無線式列車制御システムの開発検討結果
報告について

3. その他

4. 閉会

第 9 回 地方鉄道向け無線式列車制御システム技術評価検討会
委員名簿

(敬称略)

委員長 中村 英夫 日本大学 名誉教授

委 員 古関 隆章 東京大学大学院 教授

委 員 高橋 聖 日本大学 教授

委 員 植松 晃 伊豆箱根鉄道株式会社 執行役員 鉄道部長

委 員 押切 榮 山形鉄道株式会社 技術顧問

委 員 工藤 希 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 主席研究員

委 員 平栗 滋人 公益財団法人鉄道総合技術研究所 研究開発推進部 JR 部長

委 員 荒木 尚人 一般社団法人日本鉄道電気技術協会 常務理事

委 員 川口 泉 一般社団法人日本民営鉄道協会 常務理事

委 員 高橋 正人 第三セクター鉄道等協議会 事務局長

委 員 星 勝芳 一般社団法人日本鉄道車両機械技術協会 車両部長

委 員 湯田 豊人 一般社団法人日本鉄道運転協会 安全企画部長

委 員 岸谷 克己 国土交通省大臣官房技術審議官

委 員 中野 智行 国土交通省鉄道局技術企画課長

ワ`ザ`ハ` 矢戸 寿一 北海道旅客鉄道株式会社 電気部 情報制御課 課長

ワ`ザ`ハ` 馬場 裕一 東日本旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部モビリティ・サービス部門

次世代輸送システム推進センター 所長

ワ`ザ`ハ` 水谷 昌展 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部

信号通信技術チーム チームマネージャー

ワ`ザ`ハ` 豊崎 満弘 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 電気部 信号通信課長

ワ`ザ`ハ` 安藤 公志 四国旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 工務部電気課 信号技術審査担当課長

ワ`ザ`ハ` 屋久 秀一 九州旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 工務部 信号通信課 課長

ワ`ザ`ハ` 中村 信幸 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 電気部 信号通信課 課長

事務局 国土交通省鉄道局



地方鉄道向け 無線式列車制御システムの開発 検討結果報告(第9回)

Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.



日本信号株式会社

2025年3月19日

日本信号株式会社

1. 背景
2. 開発工程
3. 前回の技術評価検討会
4. TG1軸＋補助手段の開発
5. 検証走行試験（2024年度）
6. 費用対効果
7. まとめ
8. 今後の展望と期待される波及効果

1. 背景



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

- ✓ 人口減や高齢化により生産年齢人口（働き手）が減少
- ✓ 地域の人口減少等による事業環境の悪化

Key Point

特に地方の鉄道事業者において
鉄道運営や施設維持管理の**効率化・省力化**



地方鉄道の課題について複数の地方鉄道事業者にヒアリングを行った結果、フィールド機器の故障対応や保守メンテナンスへの負担が大きいことが挙げられた。



1. 背景

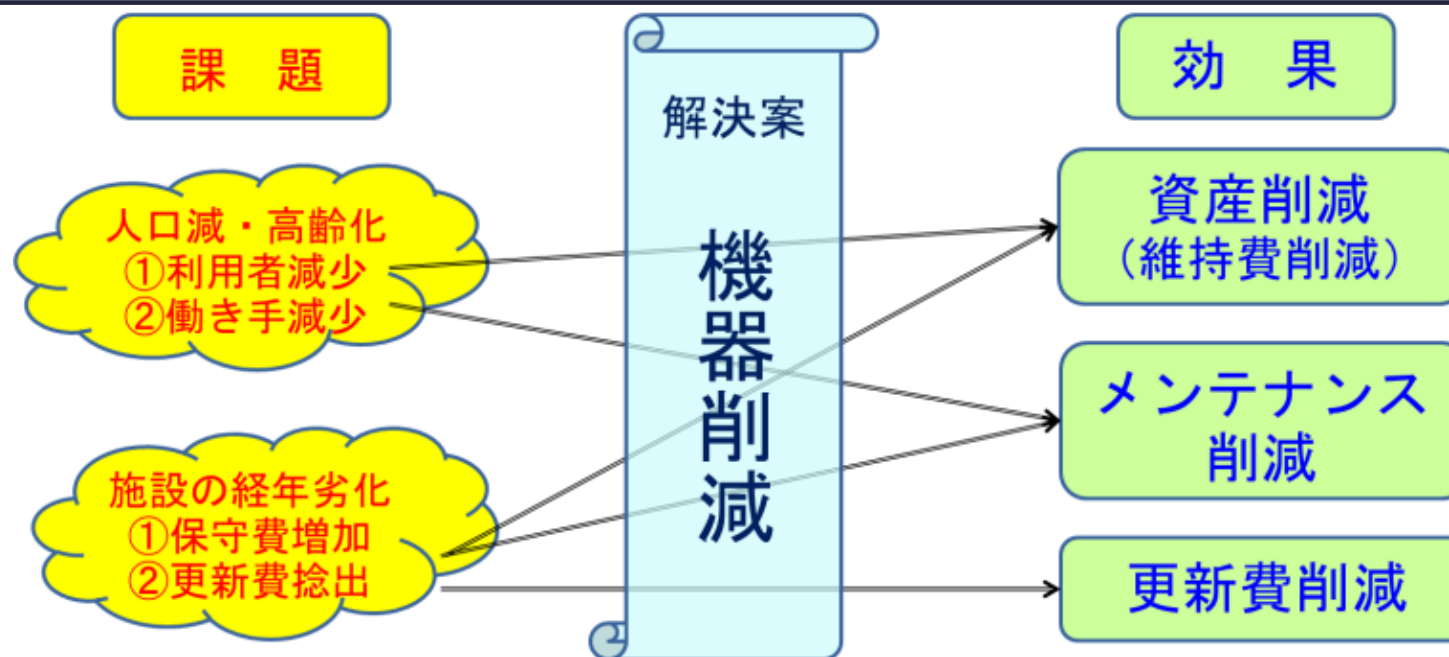


Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

フィールド機器を削減して故障を減らすことを考え、無線等を活用した地方鉄道向けの運転保安システムを開発し、効率化ならびに省力化を行うことで、永続的な地方鉄道の運営に寄与することができる。

機器削減 & ケーブルレスによる施設システム簡素化

- ✓ 無線伝送＋車上位置検知技術の導入
- ✓ 機器削減・更新により維持費、メンテナンスコスト削減

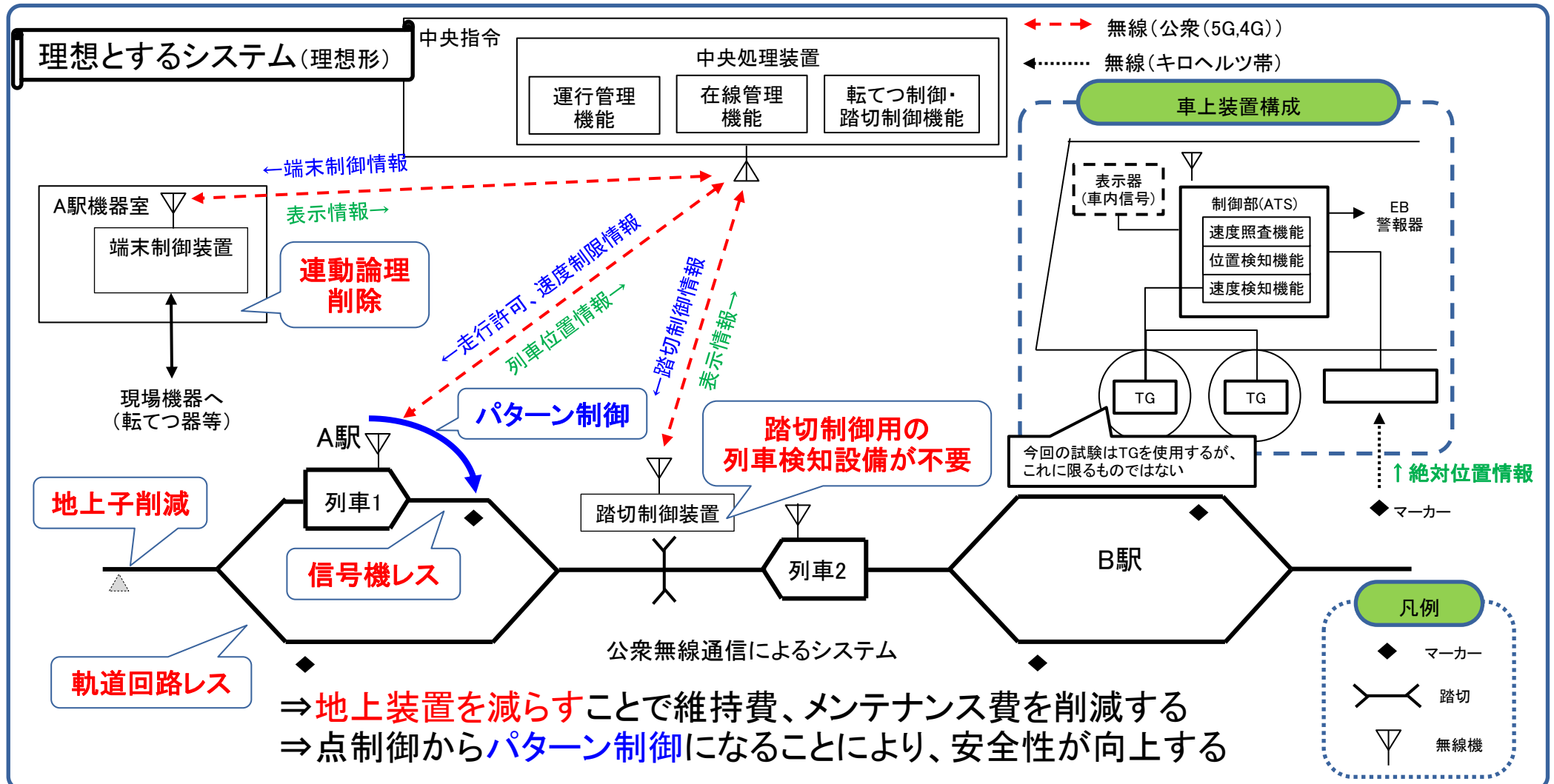


1. 背景

1.1 システム構成 [理想]



検討した理想とするシステム構成について以下に示す。
※以降、本システムを「理想形」と記載する。

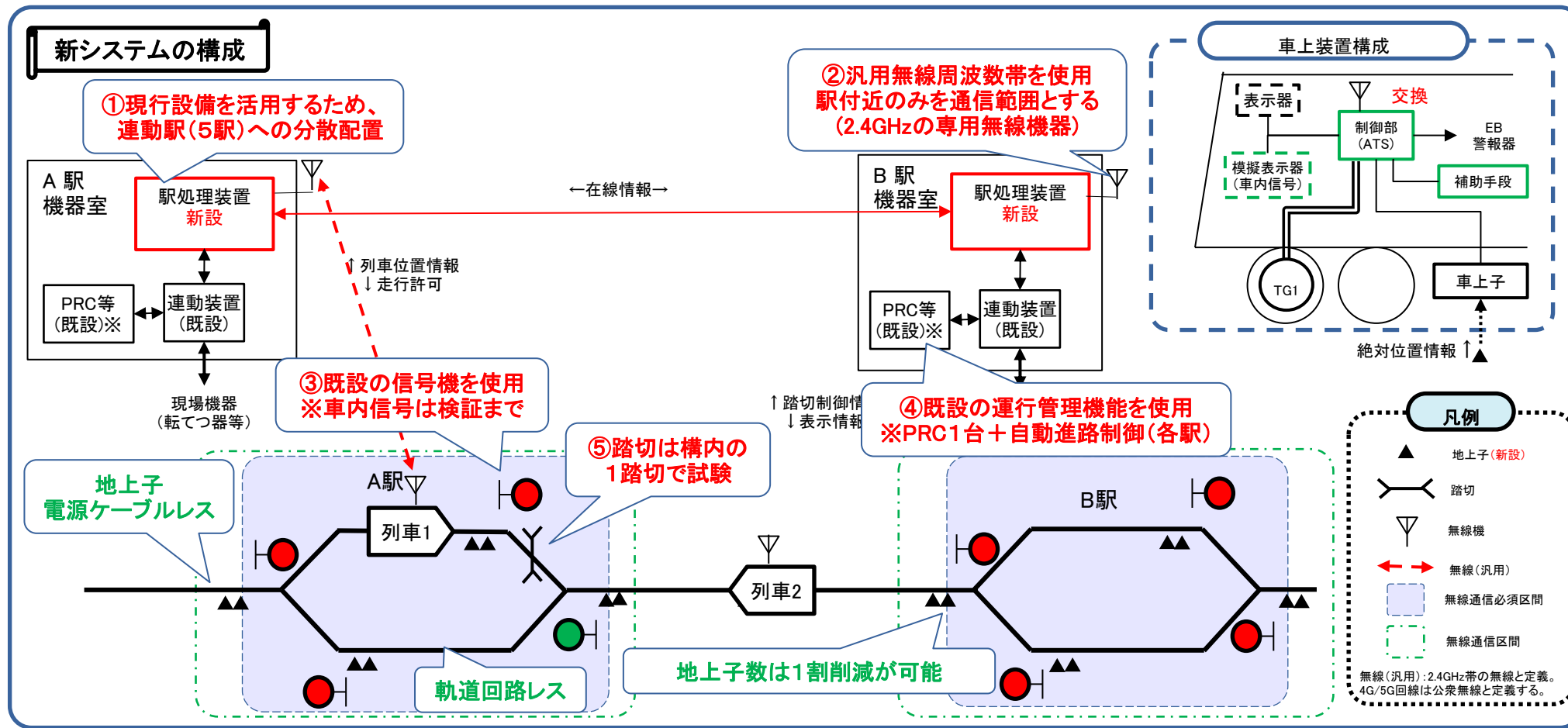


1. 背景

1. 2 システム構成 [新システム]



早期の実用化を実現するため、現行システムをできる限り活用し、運用を既存システムから大きく変更しない方針で、システム構成の検討を行った。(専用無線機器を使用する分散構成)
※以降、理想形のシステム構成と区別するため「新システム」と記載する



※中央制御も含め対応可

赤字: 理想形からの変更点 緑字: 既存システムからの設備削減効果

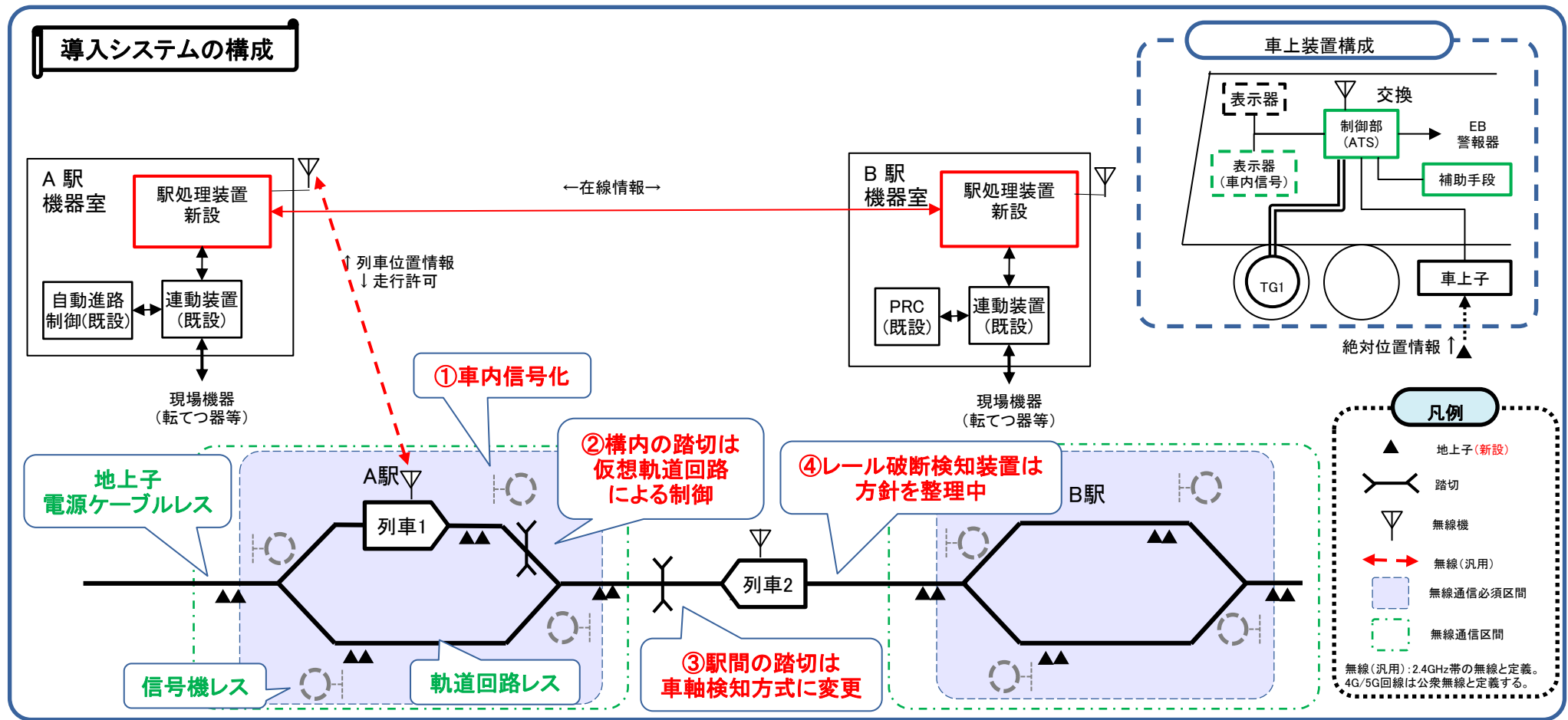


1. 背景

1. 3 【参考】伊豆箱根鉄道におけるシステム構成

Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

伊豆箱根鉄道様で本システムの導入が決定したが、現車試験を踏まえ、長期的なコストダウンの観点から、車内信号化を採用するシステム構成となった。



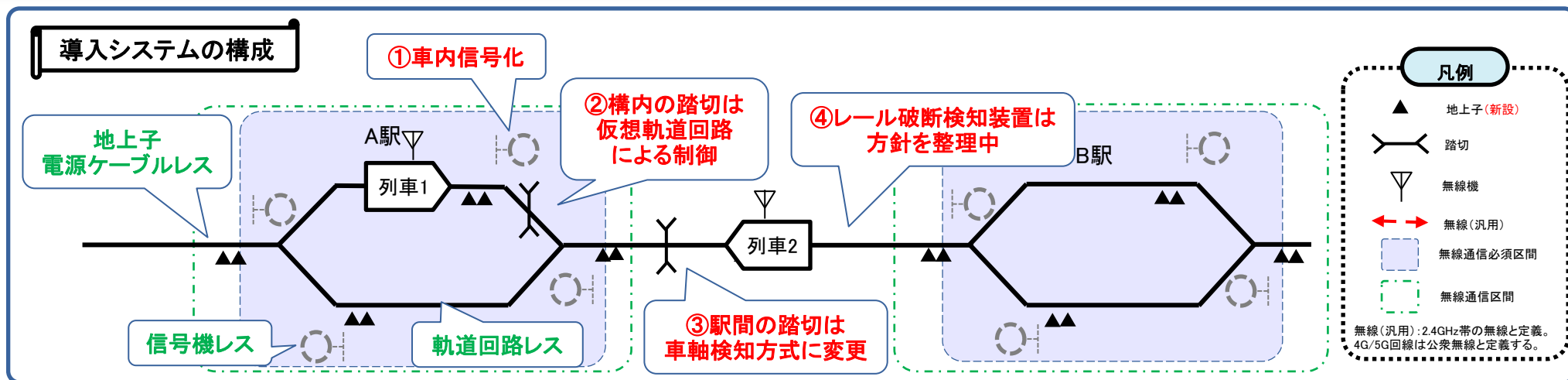
赤字: 新システムからの変更点 緑字: 既存システムからの設備削減効果



1. 背景

1. 3 【参考】伊豆箱根鉄道におけるシステム構成

Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.



赤字: 新システムからの変更点 緑字: 既存システムからの設備削減効果

①車内信号化

連動から入力した進行現示を対象の列車に送信する機能はSPARCSで実績あり。
車内信号表示や運転取扱いについては国土交通省様と整理を実施する。

②構内踏切

踏切用高周波軌道回路を仮想軌道回路に置き換える。制御論理は変更しない。
車上装置はDBから踏切停止パターンを作成し、駅処理装置からの遮断情報で消去する方向で検討中。

③駅間の踏切

他社で実績のある車軸検知方式に変更し、軌道回路の撤去、雷害対策により保守費用を低減する。

④レール破断

特殊自動閉そく装置相当としてレール破断検知装置は方針を整理中。



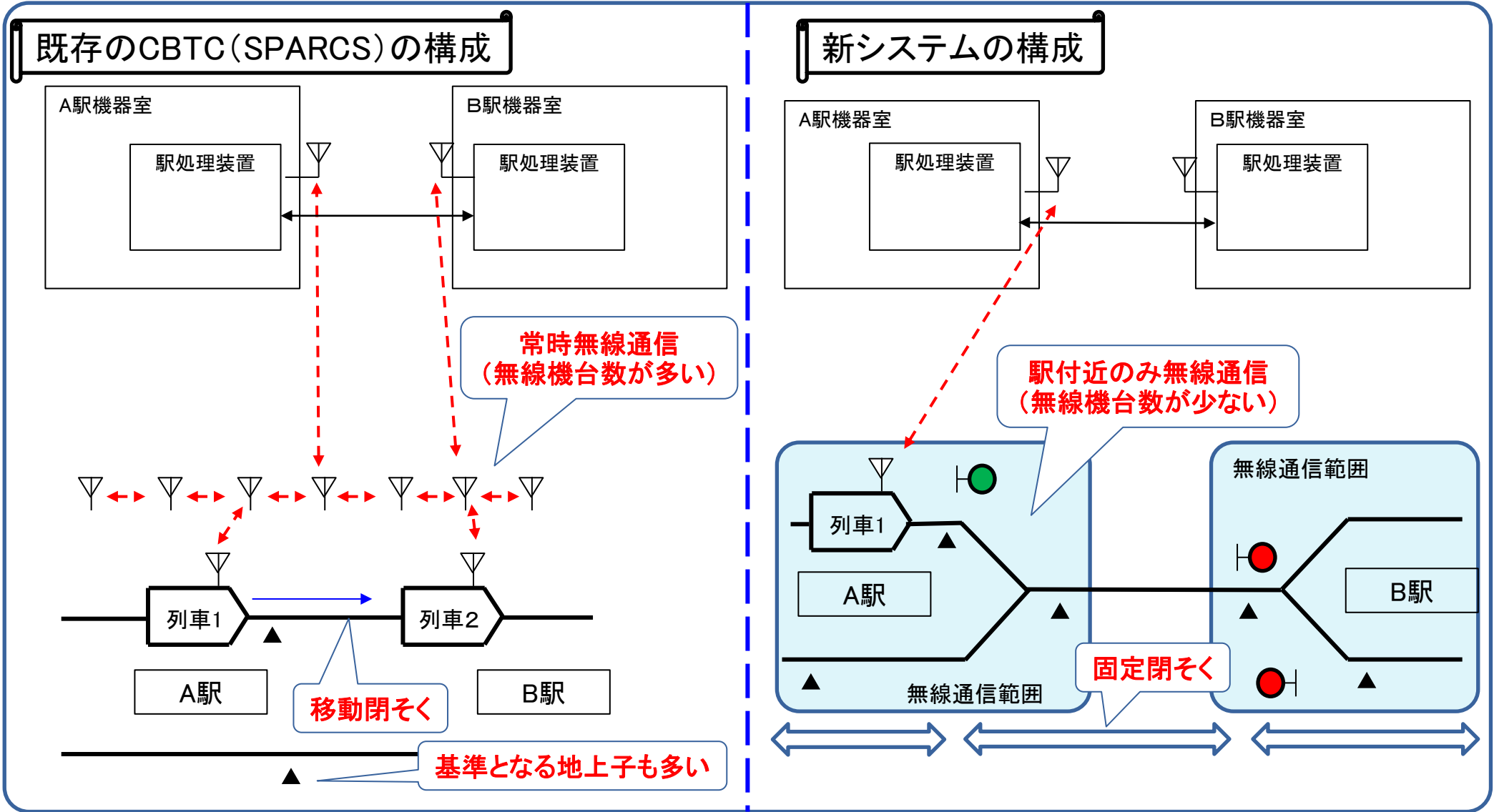
1. 背景

1. 4 システム構成 [既存のCBTC(参考)]



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

参考に既存のCBTCシステム(SPARCS)との構成の比較を以下に示す。



2. 開発工程

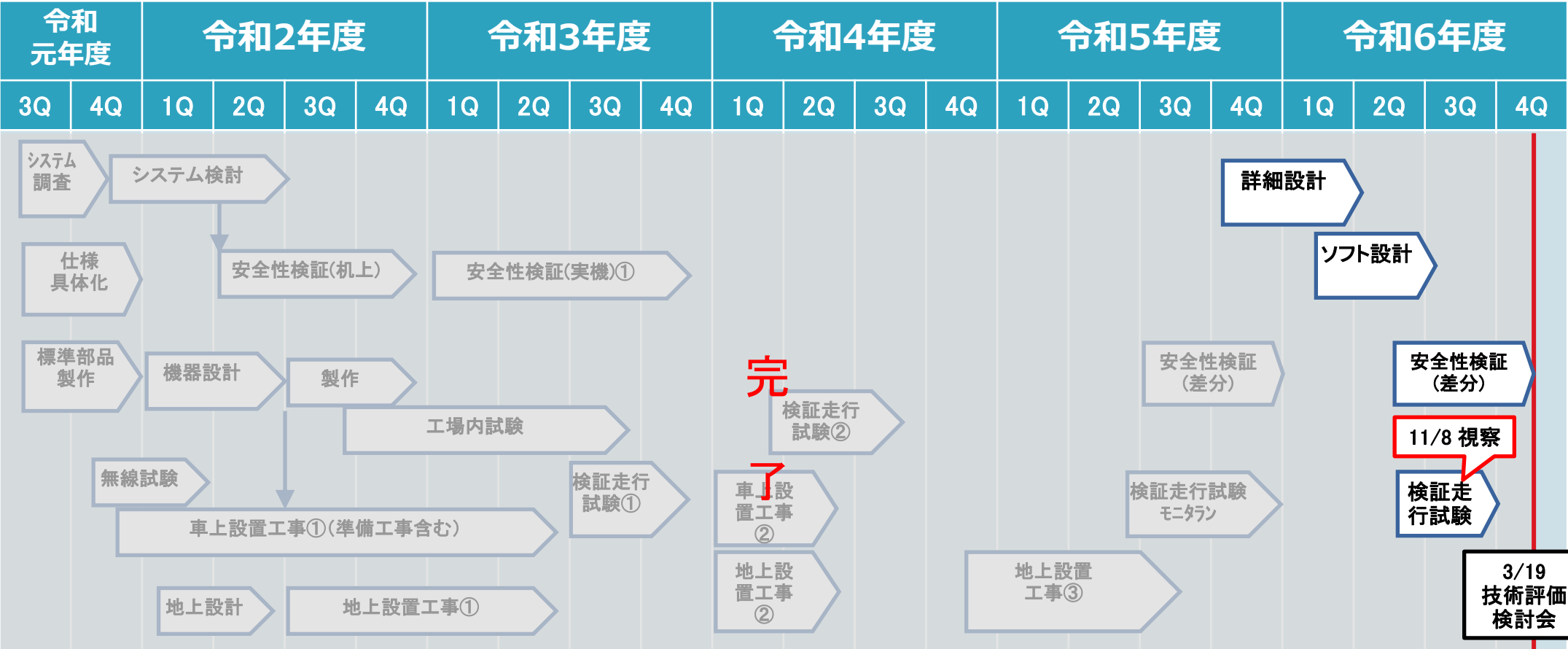
2. 1 開発スケジュール(全体)



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

令和6年度までの開発スケジュールは以下の通り。

- 令和元年度：現状システムの調査と仕様の具体化を行う。成果物はシステム概要書など
- 令和2年度：試験導入に向けたシステム検討・機器製作を行う。成果物はシステム機能仕様書など
- 令和3年度：3駅1編成での試験・安全性検証を行う。成果物は試験・検証報告書など
- 令和4年度：3駅2編成での試験を行う。成果物は試験・検証報告書など
- 令和5年度：5駅1編成での試験・安全性検証を行う。成果物は試験・検証報告書など
- 令和6年度：速度発電機1軸での試験・安全性検証を行う。成果物は試験・検証報告書など



完

了

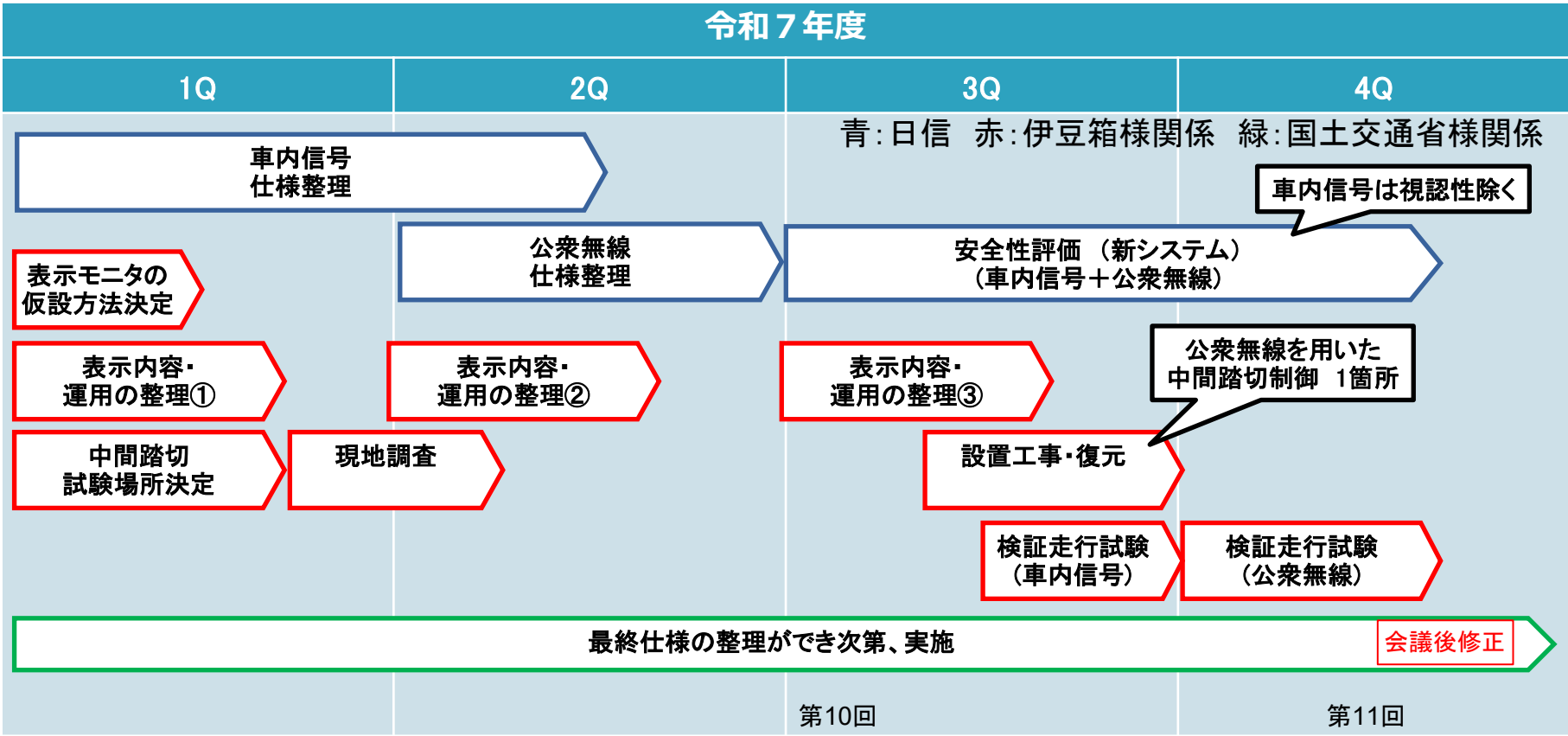


2. 開発工程

2.2 追加検討について



今年度で開発は完了し、最終仕様の整理を実施する予定だったが、実証試験を行っている伊豆箱根鉄道では、導入に向けた検討の中で、方針を変更し、車内信号化等も導入することとした。前回の検討会において車内信号化等の開発も実施すべきとのご意見をいただいたため、本検討会は来年度末まで延長することとした。

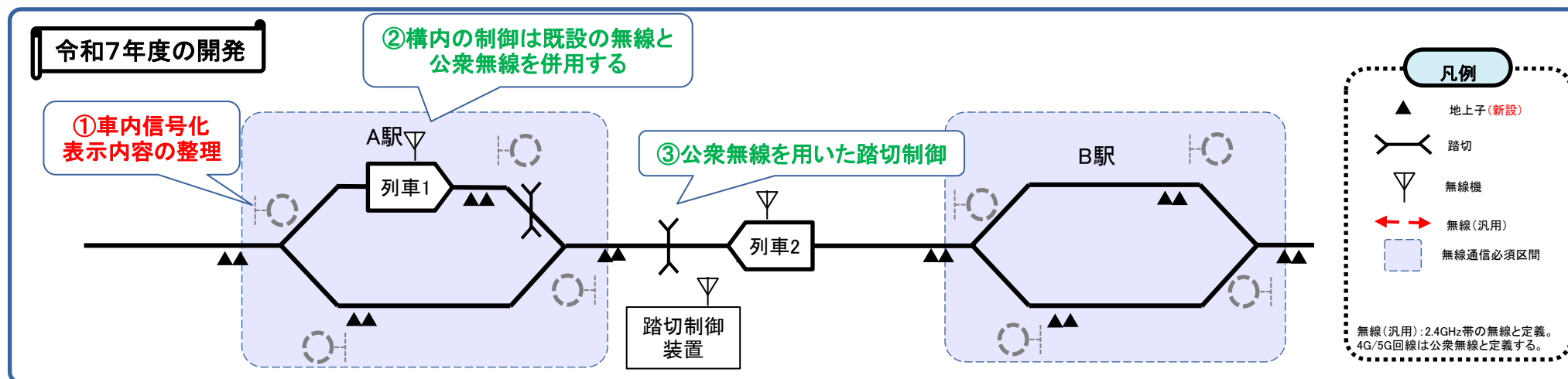


車内信号としては運転取扱いや省令との整理を実施し、現車での試験を実施予定。
 駅構内は公衆無線と専用無線の併用、駅中間は公衆無線を用いた踏切制御を実施予定。
 日本信号株式会社



2. 開発工程

2.2 追加検討について



赤字: 開発(車内信号) 緑字: 開発(公衆無線)

①車内信号化

車上データベースを利用し、無線のない駅中間も速度制限情報を表示する。
無線の通じない区間での場内信号機の表示内容については令和7年度に整理する。

②列車制御(駅構内の無線を使った制御)

既設の無線機と公衆無線(1回線)を用いて通信の信頼性を高める。
通信性能の評価は公衆無線単体で実施する。(全線)

③踏切制御

公衆無線を用いて踏切制御を実施する。
列車の速度情報を用いて鳴動時分の適正化を図る。



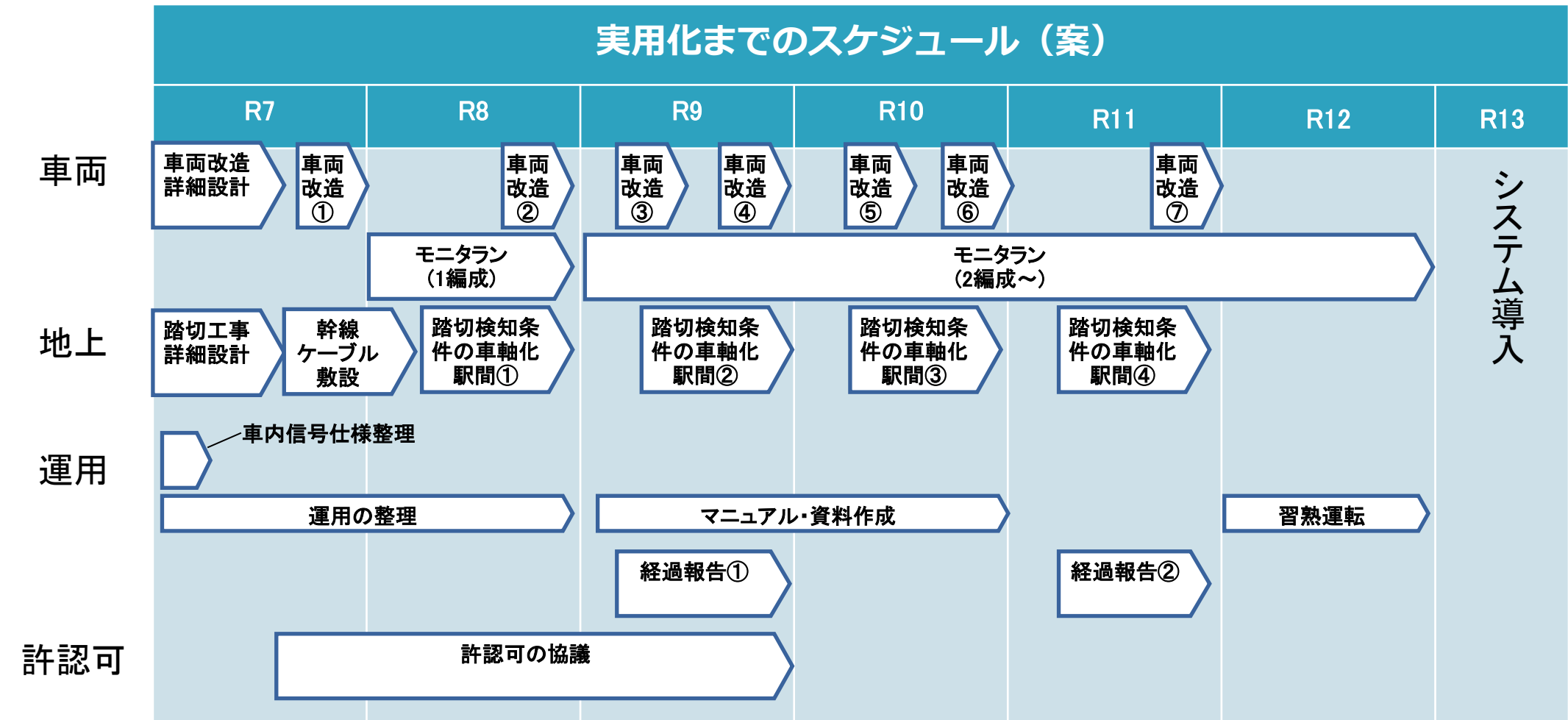
2. 開発工程

2. 3【参考】伊豆箱根鉄道におけるスケジュール

Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

令和7年度以降のスケジュール(案)を以下に示す。

- ・経過報告①は1編成目の改造が終了し、モニタラン実施後のタイミング
- ・経過報告②は車両改造が終了したタイミング



3. 前回の技術評価検討会



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

令和6年10月に行われた「第8回 地方鉄道向け無線式列車制御システム技術評価検討会」で頂いた主なご意見及びその対応方針は以下の通り。

○システム

・転覆速度と制限速度の関係で「10km/h以上低いと想定される」という記載が曖昧な根拠にとらえられる。

→ 「10km/h以上低い」という表現は訂正する。

事業者毎に線区条件は異なるため、「マージンについては、事業者毎・線区毎に都度確認が必要」という整理となった。



3. 前回の技術評価検討会



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

令和6年10月に行われた「第8回 地方鉄道向け無線式列車制御システム技術評価検討会」で頂いた主なご意見及びその対応方針は以下の通り。

○システム

- ・位置精度にはDOP値を使用すると聞いたが、DOP値は衛星の測位に適しているかどうか把握できるが、それだけで精度を測れるものではないので、測位精度の高い低いというのは表現が少し違うと思う。
→ご指摘のとおり、その後の解析でDOP値と受信状況が完全に一致しないことが判明したため、位置精度を測る指標を「GNSS測位点から軌道までの離隔」に変更して検討を進めた。この指標（離隔）は測位精度を直接的に表現可能なものであると考える（後述）
- ・車内信号化については来年度、運転取扱いも含めて安全性評価を実施すること。
→車内信号化については令和7年度に運転取扱いも含め、第三者機関にて安全性評価を実施する。



3. 前回の技術評価検討会



当初検討すべき内容を現車試験で確認するように議論が発展したため、令和6年11月8日に伊豆箱根鉄道様の大雄山線にて、委員、オブザーバーの方々に開発状況を視察していただいた。



試験時の機器設置の様子

○ 行程

時間	行程	備考
22:48	小田原駅発	
23:00	相模沼田駅着	
23:05	試験概要説明・意見交換	相模沼田駅会議室
23:45	相模沼田駅発	
23:54	大雄山駅着	
24:00	設備視察①	地上子、無線機等
24:25	設備視察②	駅処理装置、先頭車両、後部車両 ※試験車両大雄山駅ホーム入線後
25:00	大雄山駅発	行路①
25:21	小田原駅着	
25:35	小田原駅発	行路②
25:56	大雄山駅着	
26:10	大雄山駅発	行路③
26:31	小田原駅着	
26:45	質疑応答（マスコミ）	小田原駅留置車両内
27:00	意見交換	小田原駅留置車両内
27:15	解散	

試験スケジュール



4. TG1軸＋補助手段について

4. 1 経緯



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

これまで速度発電機は2軸で検討していたが、安全性評価結果及び地方鉄道の現状を鑑み、「速度発電機1軸＋代替手法」を検討した。(理由は下記参照)

- ・速度発電機1軸では検知できない故障モードがあり、第三者機関からも速度発電機2軸を強く推奨されている。
- ・1編成の前後それぞれに速度発電機がある場合は、前後の制御装置間で速度情報を伝送することで対応可能だが、地方鉄道では編成で1つの速度発電機しかない車両がある。(伊豆箱根鉄道を含む)
- ・地方鉄道では、速度発電機をもう1軸追加するには、既存の台車への改造が困難な場合がある。
- ・速度発電機1軸で走行する場合は、代替手法の追加が必要。

※伊豆箱根鉄道の現行のシステムにおいて、TGは1軸だが、列車検知に軌道回路を用いているため、該当する故障モードが発生しても安全上問題はない。しかし、本システムでは軌道回路がないことから、別途、該当する故障モードを検知する手段が必要となる。



車上装置構成 (TG1軸の場合)



4. TG1軸＋補助手段について

4.2 開発スケジュール



(1)詳細設計

補助手段の選定と詳細設計
制御部への接続方法の整理

(2)ハード設計

補助手段追加による伝送線の追加

(3)ソフト設計

補助手段を用いた速度発電機(TG)の故障検知

(4)安全性評価

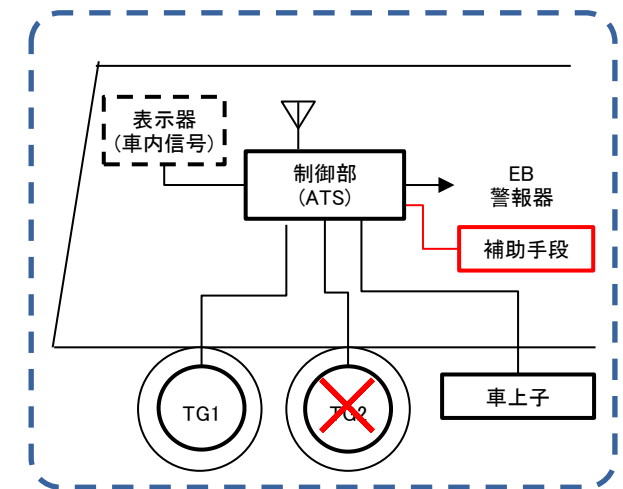
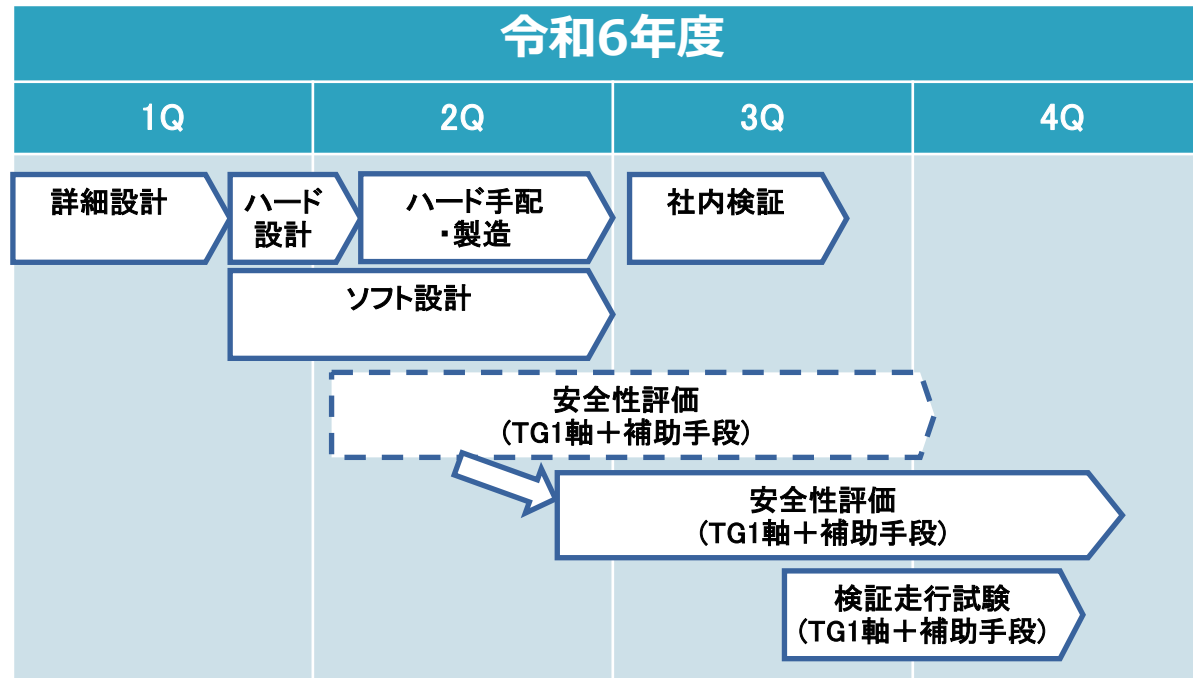
補助手段を用いた列車位置検知の安全性評価
[前提]

補助手段の精度がTG±5km/h(後述)

速度演算の内容、検証走行は評価対象外

(5)社内検証、検証走行試験

社内、現車での確認試験を実施



車上装置構成 (TG1軸の場合)



4. TG1軸＋補助手段について

4.3 補助手段の整理



代替手法として、①加速度センサ、②GNSS、③ミリ波速度計、④地上子を用いた防護の4案が挙げられる。それぞれについて、メリット・デメリットを整理した。

補助手段	機器費	設置箇所	機器数	安全性に対する課題	総合評価
加速度センサ	○ 10万円～	○ 車内設置	○ 2台/編成	△ 惰行時の精度 誤差の累積	△ 惰行時の精度 誤差の累積
GNSS	○ 10万円	○ 車内窓際設置	○ 2台/編成	△ 測位不能区間の対応	△ 測位不能区間の 対応
ミリ波速度計	▲ 300万円	△ 台車のレール上	○ 2台/編成	○ 機器異常時の動作	▲ 高性能だが高価
地上子追加	○ 10万円× 台数	○ 地上	× 多数	△ 線形の違いによる 地上子の設置位置検討 連続照査不可	▲ 線形ごとに設計 連続照査不可

○:最適 △:良 ▲:可 ×:不適



4. TG1軸＋補助手段について

4.3 補助手段の整理



以下の考えで補助手段を選定した。

- ①地上子は受信した瞬間しか判定できないので、パターン式のTGの補助手段には不適。
- ②ミリ波速度計は地方向けとしてコストが見合わないため、対象外とする。
精度は良いが、GNSS、加速度センサと10倍以上の価格差がある現状では地方向けの速度発電機補助手段としては見合わない。
大手での採用が進み、価格が下がり、副次的効果が出てきた場合、再評価が必要。
- ③GNSSは低価格であり有力な手段の一つだが、上空の見通しが悪い場所では性能が落ちるため単独で補助手段とすることが困難。
- ④加速度センサも低価格であるが、速度算出時の積分計算による蓄積誤差をリセットできないため、単体で安全性を確保することが困難。

GNSSと加速度センサの組合せで線区の条件によらず使用できる補助手段の開発を実施する。



4. TG1軸＋補助手段について

4. 4 開発の進捗



速度発電機1軸＋補助手段の開発結果について、①～③の流れで説明する。
今回の手法は標準仕様として必須とするものではなく、安全を担保できる別の手法を用いても問題ない。

- ①補助手段による速度算出方法
- ②安全性評価について
- ③現車試験結果(次章)



4. TG1軸＋補助手段について

4. 5 開発内容の詳細



速度発電機1軸の安全性について、以下の考えで安全性を確認した。

速度照査パターンを発生し速度照査を行う「第三者機関が安全性評価を実施済みの車上装置」からの変更点を対象に、TGを2軸から1軸に変更することの影響を関連する機能すべて(No. 1～7)で確認した。

会議後修正

No.	機能名称	TGを1軸にすることによる影響	内容
1	速度・位置検知	○なし	TG1台でも速度は得られる。なお、想定されるTGの誤差を考慮した列車位置を基に在線管理を行うため、影響なし
2	空転検知	○なし	時間に対する速度の変化量が規定値以上になったことで検知可能。発生時、システムで認識する列車長を安全側にすることで影響なし
3	滑走検知	○なし	同上

会議後修正



4. TG1軸＋補助手段について

4. 5 開発内容の詳細



No.	機能名称	TGを1軸にすることによる影響	内容	会議後修正
4	フォーク折れ診断	×あり	TG2台の速度情報を比較して故障を検出する診断のため、1台では検出不可	
5	速度カウンタ故障診断	○なし	TG1台ごとに実施する診断のため、影響なし	
6	位相判定回路故障	○なし	TG1台ごとに実施する診断のため、影響なし	
7	断線診断	○なし	TG1台ごとに実施する診断のため、影響なし	

➡ TG1軸ではフォーク折れ等の故障が診断できないため、故障時に列車速度および列車位置を誤認し、列車制御の安全への影響が懸念される。
そのため、TG1軸時においても、同等の故障診断ができる別の手段を開発（補助手段により算出した速度とTG1軸の算出速度の差からTG1軸のフォーク折れ等を検知する）。

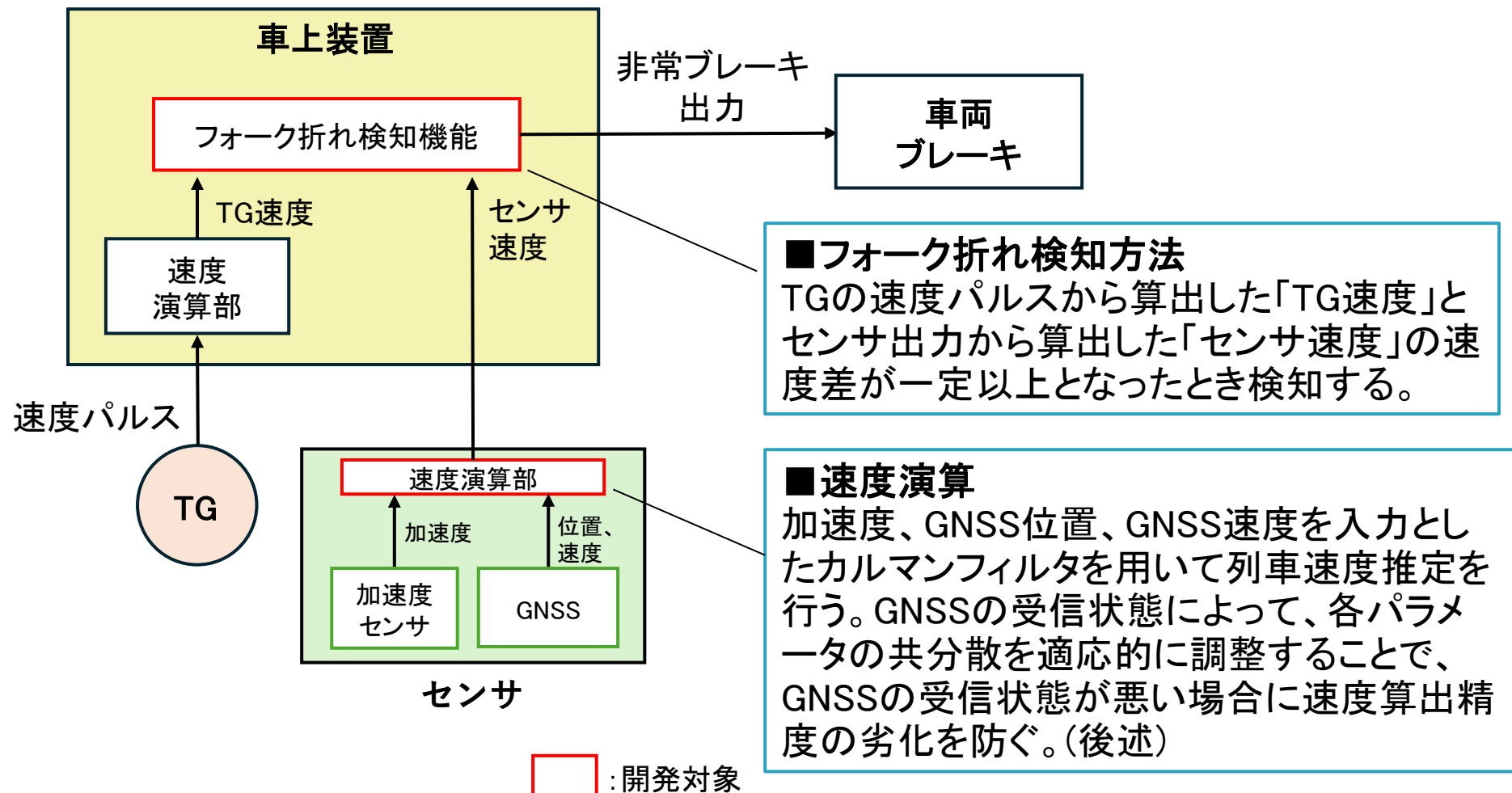


4. TG1軸+補助手段について

4.5 開発内容の詳細



補助手段から列車速度を算出し、フォーク折れを検知するためのシステム構成を示す。



4. TG1軸+補助手段について

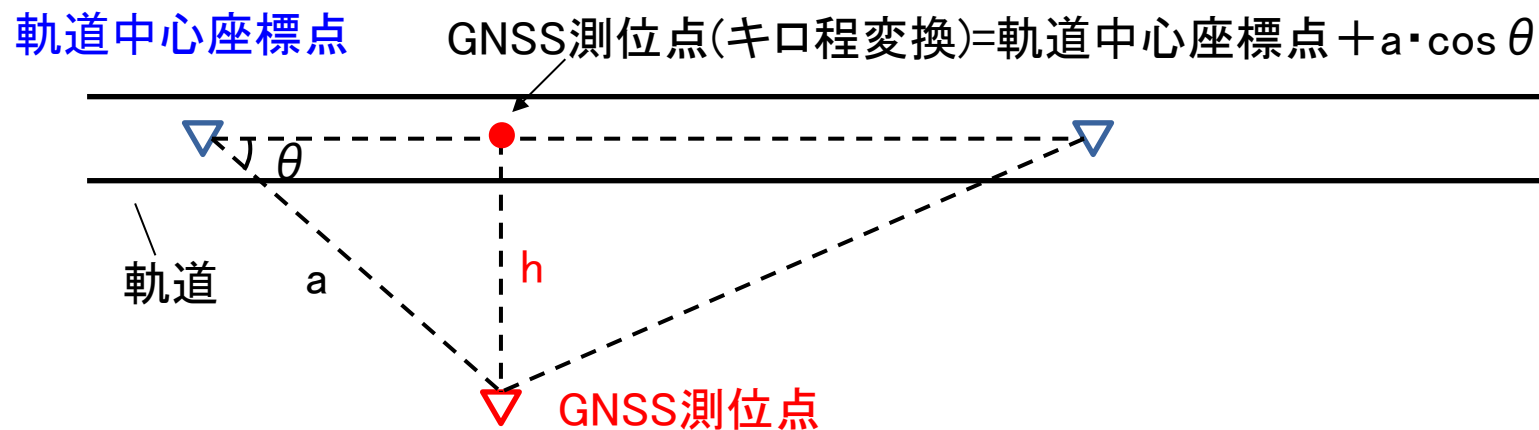
4.5 開発内容の詳細



GNSSの受信精度指標について

GNSSから受信したデータの受信精度を測る指標として、「軌道に対するGNSS測位点までの離隔」を採用した。離隔が大きいほど、GNSSの受信データは誤差が大きいとして、信頼度(重み)を下げて速度推定を行う方式とした。

※ GNSSの測位誤差はランダムで発生し、進行方向、枕木方向どちらか一方に偏らない前提とする。



【離隔hの算出手順】

- ①軌道中心のキロ程と緯度・経度の対応テーブル(軌道中心座標点)を車上装置に登録する。
- ②GNSS測位点から最寄りの軌道中心座標点2点を探索する。
- ③軌道中心座標点とGNSS測位点の位置関係から、離隔 h を算出する。
- ④GNSS測位点をキロ程に変換し、GNSS位置情報として速度推定に使用する。



4. TG1軸+補助手段について

4.5 開発内容の詳細



GNSSの受信精度低下区間の設定

線路上空の見通しが悪くGNSSの受信精度が低下することが既知の区間については、予め車上装置のデータベースに「GNSS受信精度低下」情報を登録し、当該区間のGNSS受信データの信頼度を下げること、速度推定精度の劣化を防ぐ。

GNSS受信精度
低下区間の設定

加速度センサ: 99.99%
GNSS: 0.01%

離隔 h が
【←大きい】 【小さい→】

加速度センサ: 50%
GNSS: 50%

※GNSSの割合は0%
にはならない

速度演算に使用する入力データの重みづけ(イメージ)

GNSS受信精度低下区間の設定がある場合、また離隔 h が大きいほど、速度演算に使用するGNSSデータの信頼度を下げ、より加速度センサのデータを信頼して計算することで、GNSSの受信精度悪化時に速度推定精度が劣化することを防ぐ。

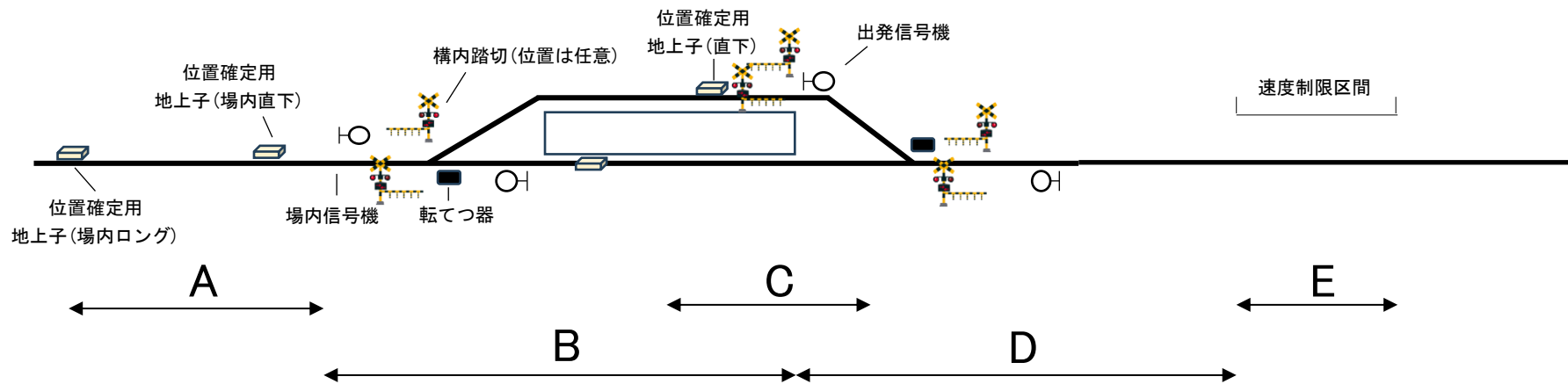


4. TG1軸+補助手段について

4.6 安全性評価



今回のシステムにおいて、フォーク折れで発生する事象を車上装置の照査速度が変化する場所とタイミングに分けて分析し、それぞれの事象について**危険事象がないかを確認した。**



■検討したフォーク折れの発生タイミング

- A: 場内ロング～場内信号機
- B: 場内直下～出発信号機(駅進入時)
- C: ホーム～出発信号機(駅出発時)
- D: 出発信号機～速度制限区間
- E: 速度制限区間

■検討したリスク事象

- ① 転てつ器の転換による脱線
- ② 未遮断構内踏切への進入
- ③ 対向列車との衝突
- ④ 後続列車との衝突
- ⑤ 制限速度の超過



4. TG1軸＋補助手段について

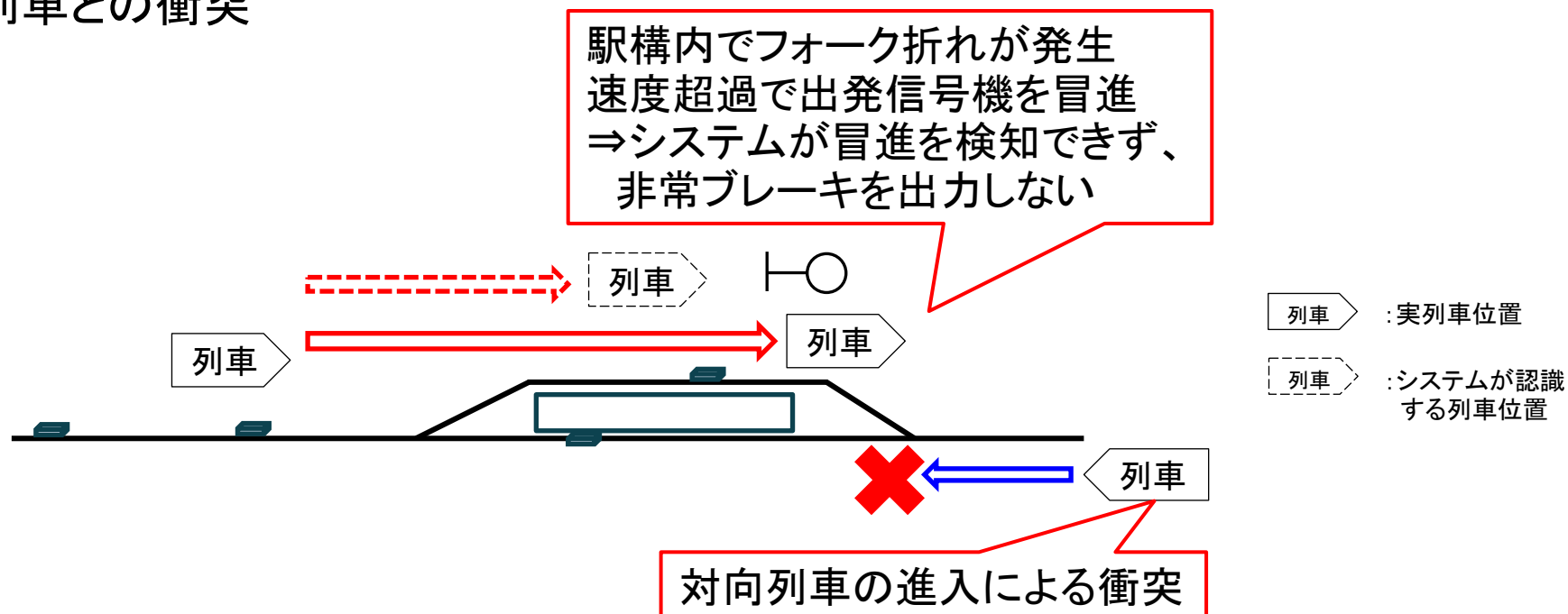
4. 6 安全性評価



■ 駅構内でのリスク事象(例)

B: 場内直下～出発信号機(駅進入時)

③ 対向列車との衝突



フォーク折れ発生時はTG速度が信用できず、システムでの列車位置の認識に対し、実際の列車が内方にあるケース、または外方にあるケースが存在する。

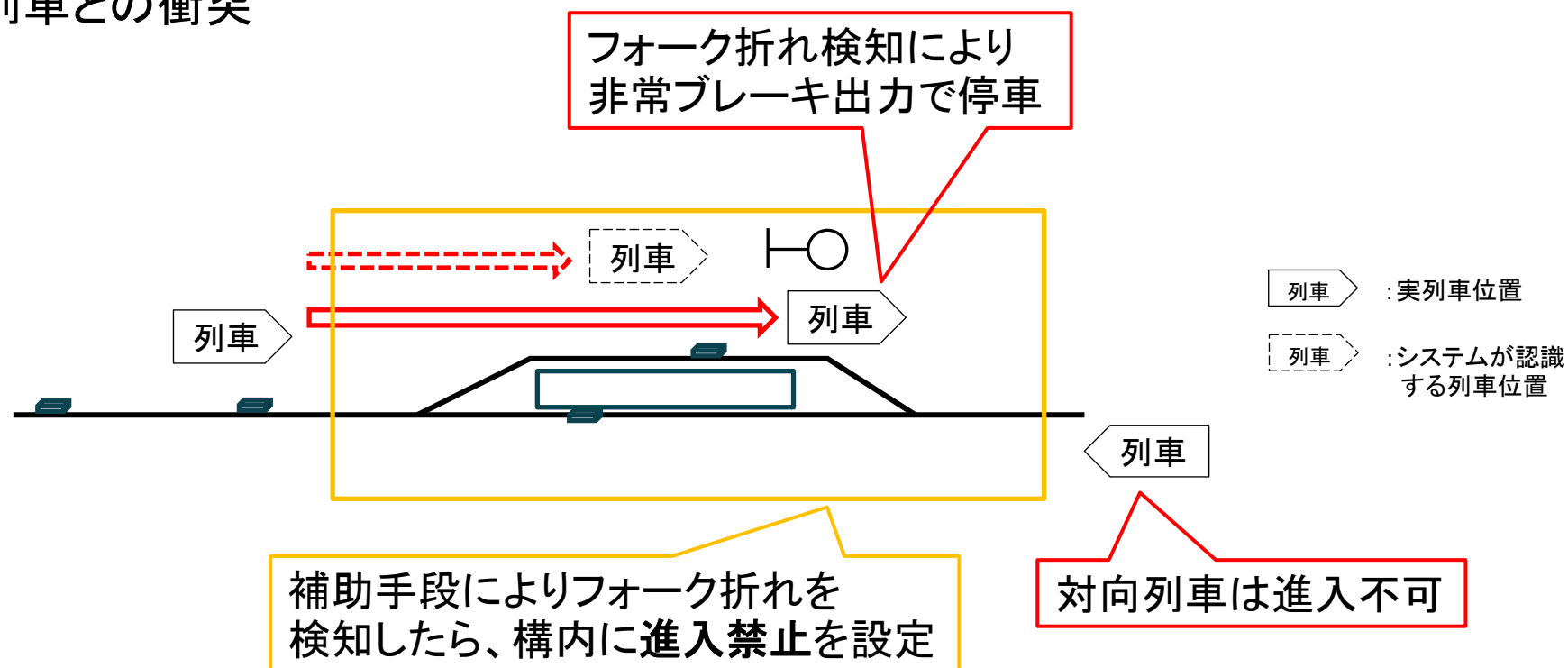
■ 危険事象(例)

システムがホームトラックに停車したと誤認識し、出発信号機の冒進を検知できず、対向列車の進入により衝突が発生する。



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. All rights reserved.

③対向列車との衝突



車上装置にて、TG1軸＋補助手段によるフォーク折れ検知により列車を停車させる。また、フォーク折れ検知時に駅構内全てを「進入禁止」に設定することで、対向列車の進入や転てつ器の転換を防ぎ、脱線・衝突を防護する。
「進入禁止」は、人間が確認扱いしないと解除できないものとする。



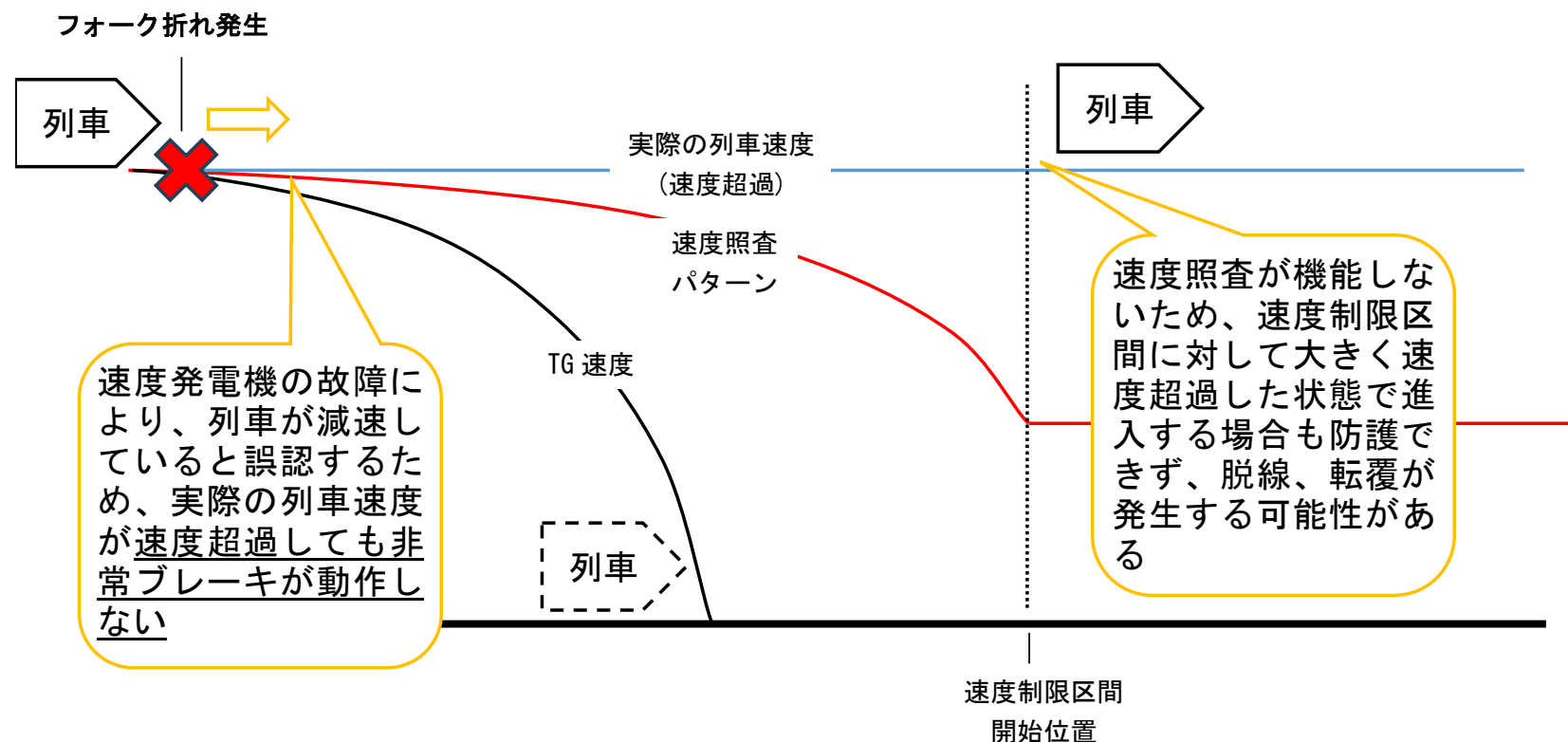
4. TG1軸+補助手段について

4. 6 安全性評価



■速度制限でのリスク事象

⑤制限速度の超過



速度制限区間進入前にフォーク折れが発生する場合のイメージ





4. TG1軸＋補助手段について

4. 6 安全性評価

■速度制限でのリスク事象への対策

以下の方法により、速度制限区間の転覆限界速度を防護可能か検証した。

- ・補助手段による防護
- ・速度照査による防護



4. TG1軸+補助手段について

4. 6 安全性評価

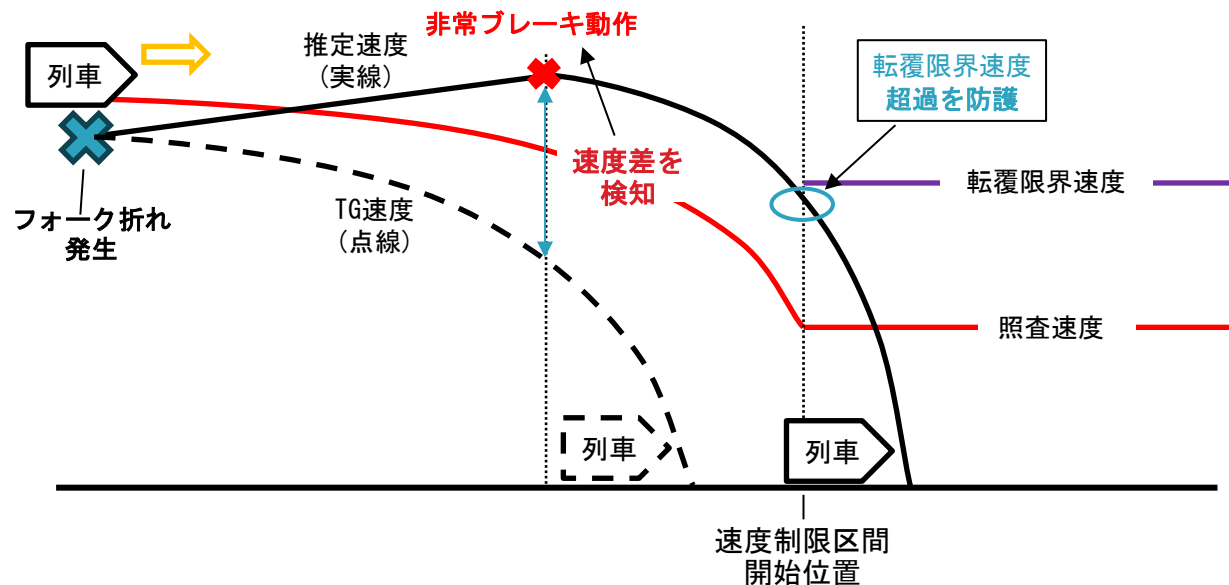


■速度制限でのリスク事象への対策

・補助手段による防護

補助手段により推定した列車速度と、TG速度の速度差が一定以上開いた場合に非常ブレーキ出力することで、速度制限区間の転覆限界速度未満に実列車速度を下げる可以降低ことができる。

会議後修正



補助手段による防護のイメージ





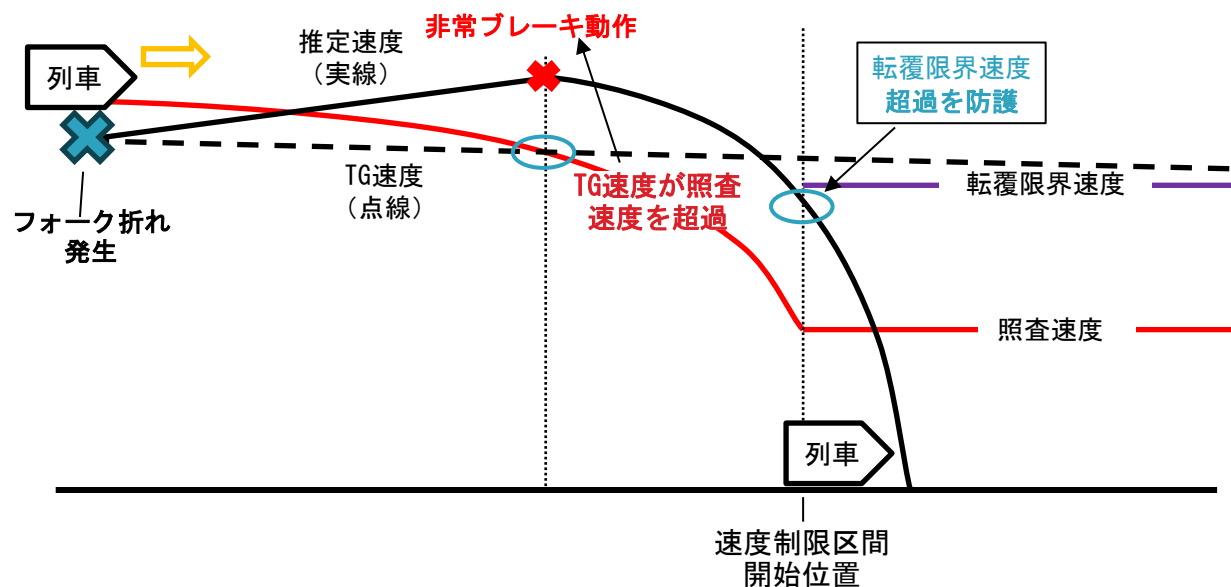
4. TG1軸+補助手段について

4.6 安全性評価

■速度制限でのリスク事象への対策

・速度照査による防護

補助手段により推定した列車速度と、TG速度の速度差が比較的小さい場合、故障が発生していても故障検知に必要な速度差まで達するのに時間がかかる。
 その場合でも、TG速度が照査速度を超過することで非常ブレーキを出力することで、速度制限区間の転覆限界速度未満に実列車速度を下げる可以降低。



速度照査による防護のイメージ

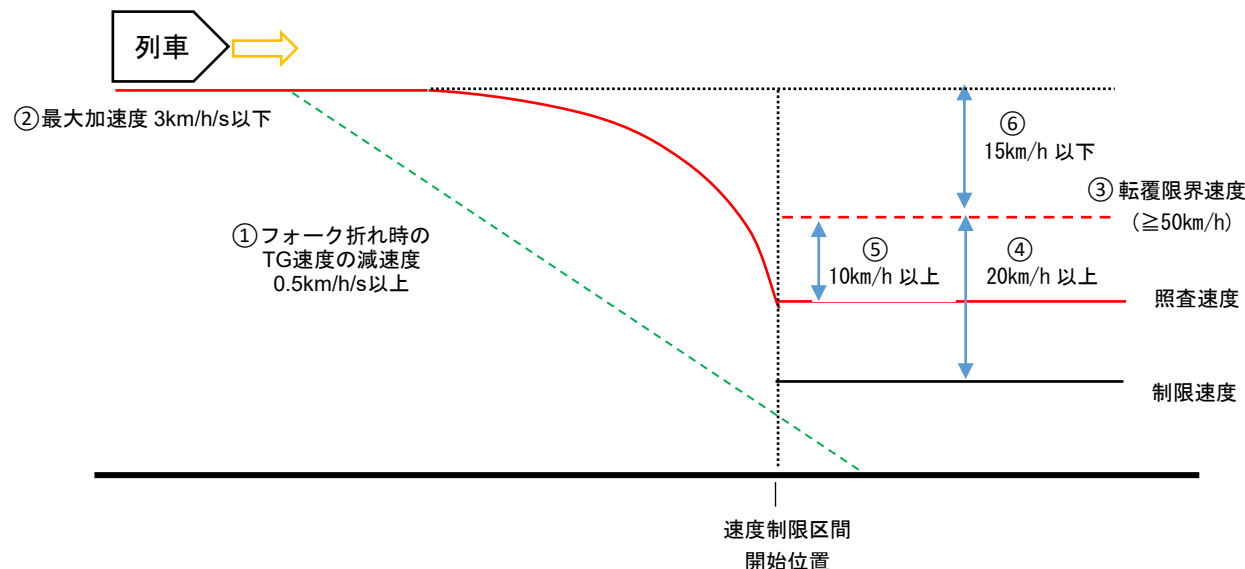


4. TG1軸+補助手段について

4. 6 安全性評価



■速度制限でのリスク事象への対策



前提とする速度制限の条件のイメージ

以下の前提で、列車速度が転覆限界速度を超過する前に検知が可能なことを確認できた。

※大雄山線における勾配(最大26.5‰)を考慮 会議後修正

①フォーク折れ時のTG速度の最低減速度 $\geq 0.5\text{km/h/s}$

②列車最大加速度 $\leq 3\text{km/h/s}$

③転覆限界速度 $\geq 50\text{km/h}$

④転覆限界速度 $\geq$ 速度制限区間の制限速度+20km/h

⑤転覆限界速度 $\geq$ 速度制限区間の照査速度+10km/h

⑥速度制限区間進入前かつ減速前の照査速度 $\leq$ 転覆限界速度+15km/h

(速度制限区間進入前かつ減速前の照査速度 $>$ 転覆限界速度の場合のみ)



4. TG1軸＋補助手段について

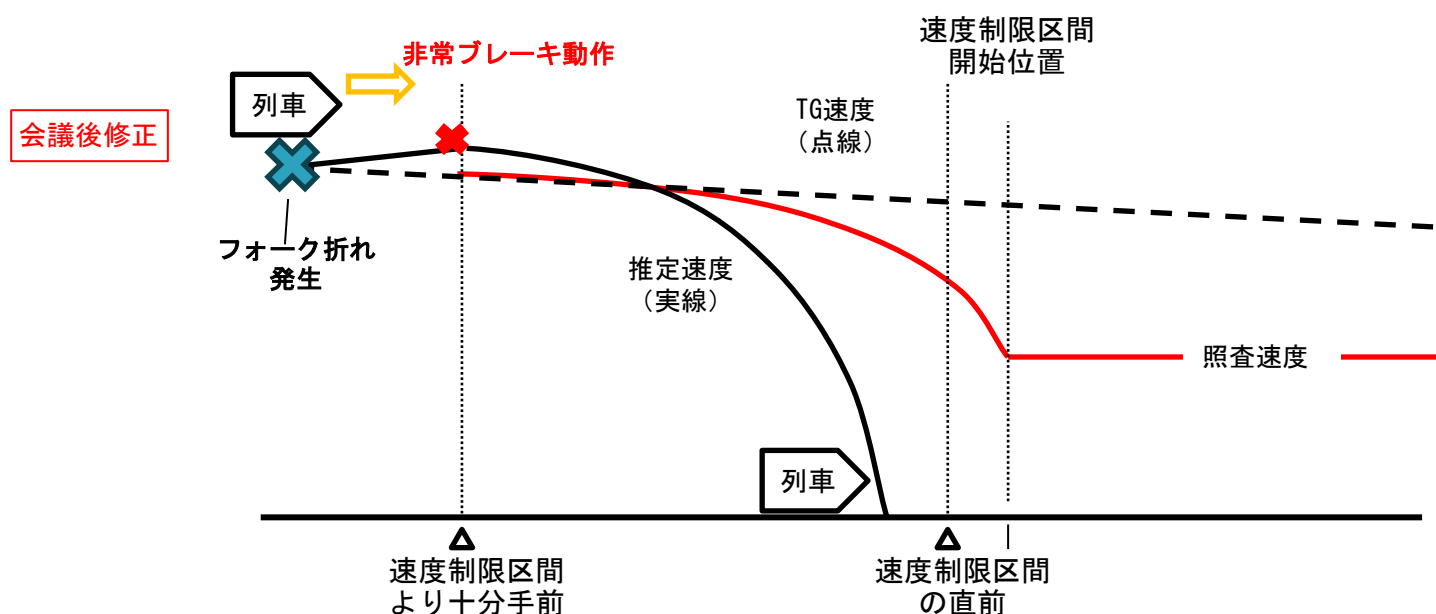
4. 6 安全性評価



■速度制限でのリスク事象の対策

【課題】

- ・大雄山線では転覆限界速度に関わる前提②～⑥が全て成立することは確認できたが、全ての地方鉄道事業者で成立するかどうかは不明なため、導入にあたり、都度確認する必要がある。
- ・成立しない場合は対象の速度制限区間の手前(例を下図に示す)に地上子を設置し、フォーク折れで発生する列車の位置認識誤差を検知し、非常ブレーキを出力することで脱線を防護する。



地上子による防護のイメージ



5. 検証走行試験(2024年度)

5.1 検証走行試験項目



2024年度に実施予定の検証走行試験項目は以下の通り。
本項に記載以外の検証は社内試験で実施する。

項番	内容	評価項目	実施理由	備考
1	速度算出性能の確認 ①GNSS＋加速度センサ ②GNSS＋加速度センサ (非明り区間模擬※)	評価基準(速度算出誤差±5km/h)を満たすか確認する	故障検知	追加試験
2	位置算出性能の確認 ①GNSS＋加速度センサ ②GNSS＋加速度センサ (非明り区間模擬※)	評価基準(位置算出誤差50m未満)を満たすことを確認する	参考値 会議後修正 ※制御に未使用	追加試験

※現車試験時に取得したデータから、GNSSが長時間受信不可の場合の模擬を実施
※以降、速度算出誤差は健全な速度発電機の色度を基準とする 会議後修正



5. 検証走行試験(2024年度)

5.2 試験項目(詳細)



【目的】

速度発電機との速度差、位置情報で故障を検知するために、補助手段の算出する速度、位置の推定精度が十分か確認する。

【評価対象】

・GNSS ・GNSS＋加速度センサ(カルマンフィルタ)

【評価基準】

①速度算出誤差

大雄山線 駅中間の速度制限箇所に対して、TGとの速度差が $\pm 5\text{km/h}$ 以下であること。

※GNSSの非明り区間は除く

②位置算出誤差

大雄山線 駅中間の速度制限箇所に対して、TGの速度累積位置との位置誤差が50m未満であること。

【結果】

①良

②良



5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験における速度算出結果について以下に示す。
速度算出誤差は空転、滑走がないことを確認し、速度発電機の速度を基準として計算した。

速度算出結果 (km/h)

	平均誤差	最大誤差	備考
GNSS	-0.59	5.39	※受信失敗時は除く
GNSS+加速度センサ	-0.61	4.95	

■ GNSS

高速より低速の方が速度誤差が大きい。(後述)
基準を達成しなかった。(±6km/h)

■ GNSS+加速度センサ

GNSSの受信状況が悪い区間もあったが、GNSS単体より安定し、基準を達成した。

次ページで詳細を説明する。

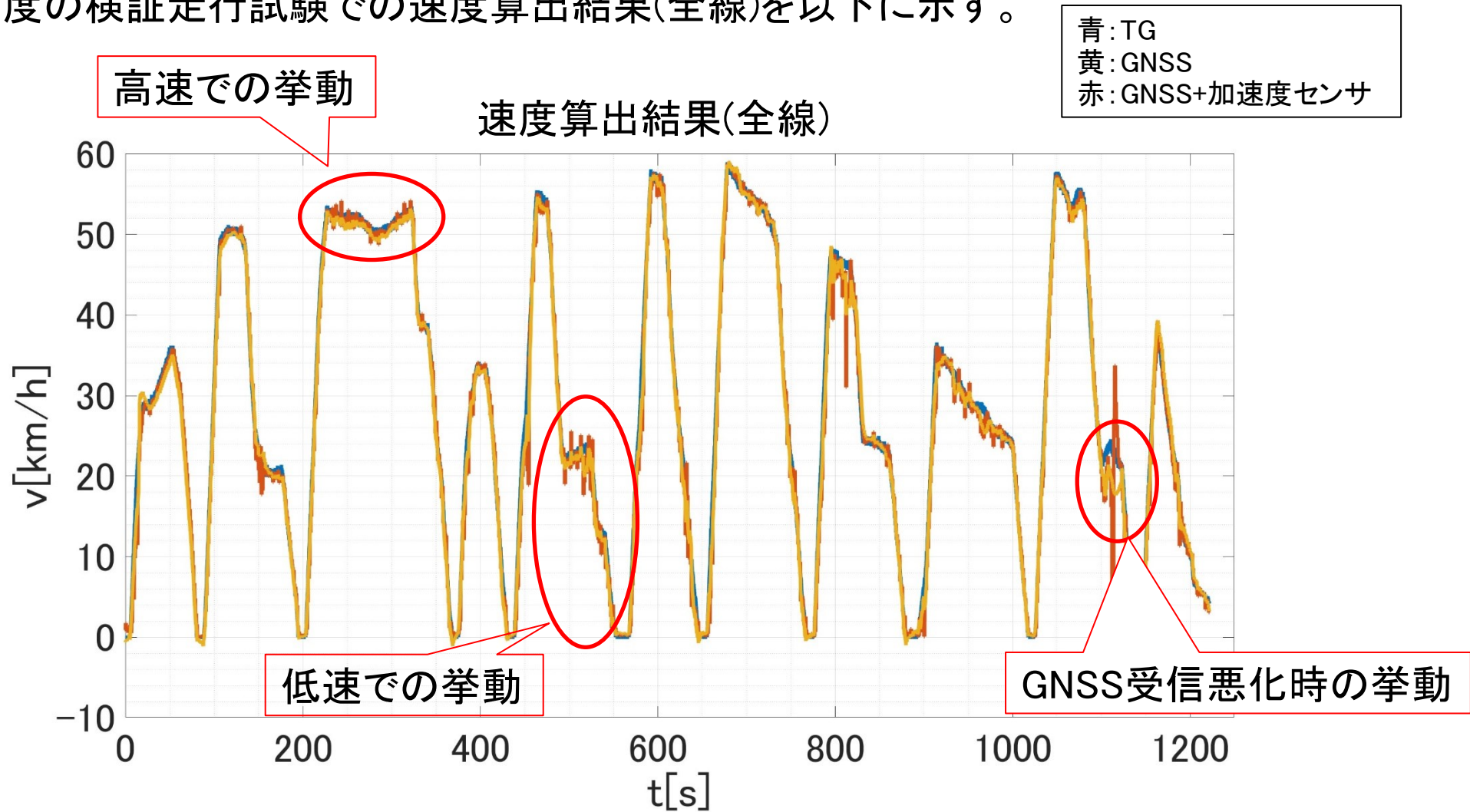


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(全線)を以下に示す。



TG、GNSS、GNSS+加速度センサのそれぞれについて、
高速、低速、GNSS受信悪化区間での速度算出結果の特徴について説明する。

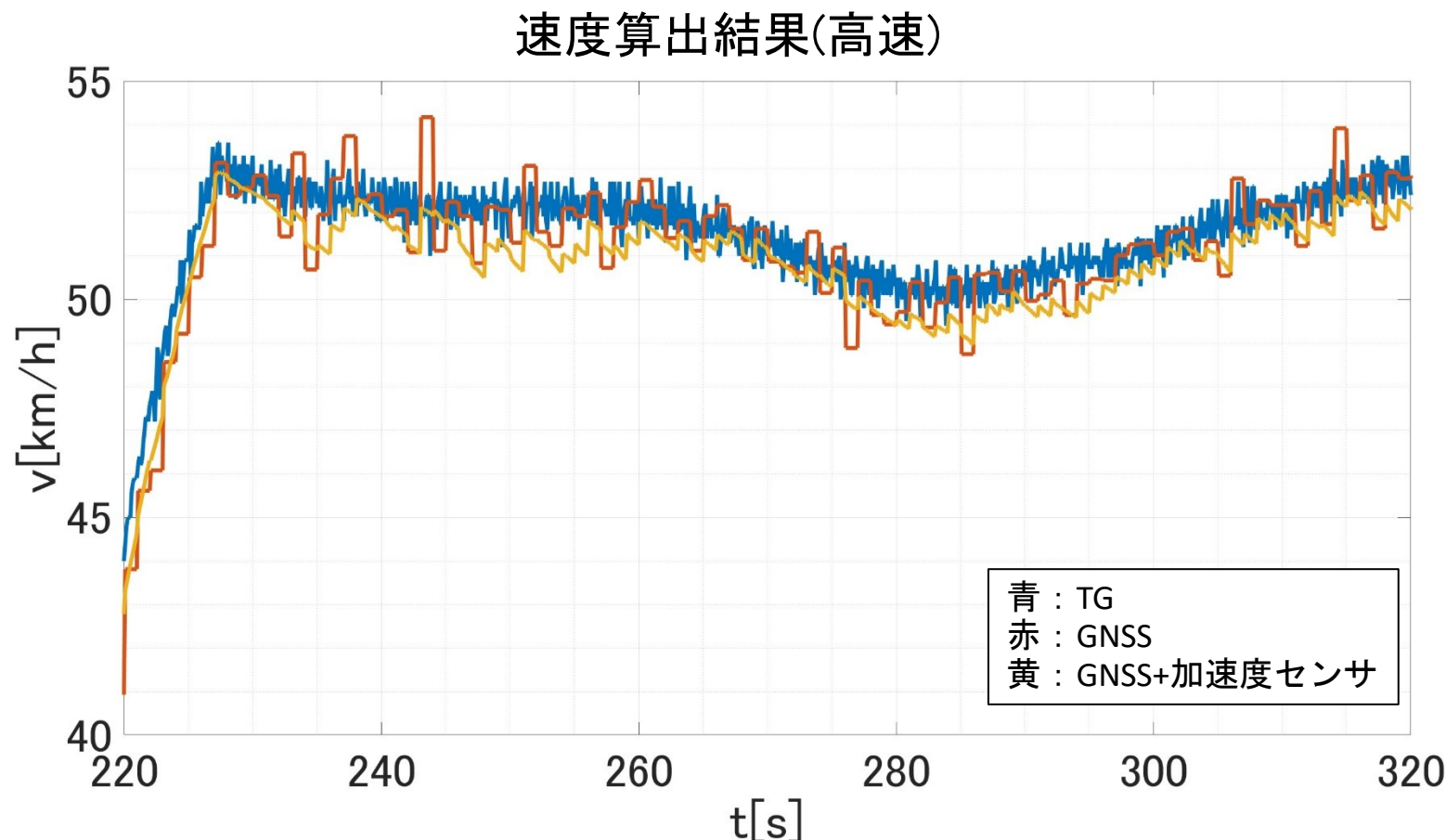


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(高速時)のグラフを以下に示す。



- ・赤: $\pm 2\text{km/h}$ 程度の誤差となった
 - ・黄: GNSSと比較して速度の変動が小さい
- GNSSより速度誤差が大きい箇所もあるが基準を満たした

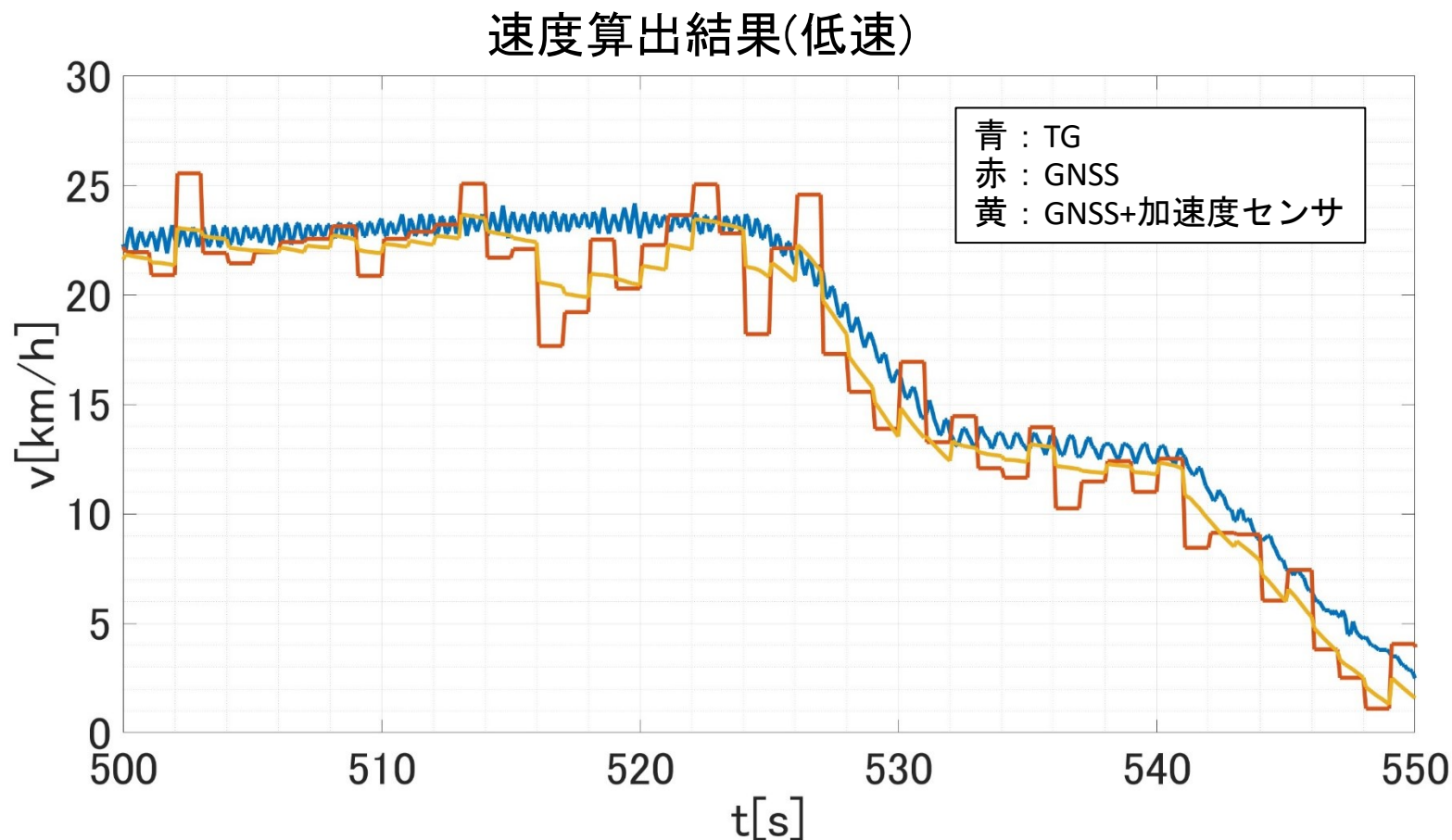


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(低速時)のグラフを以下に示す。



- ・赤: $\pm 5\text{km/h}$ 程度の誤差となった
- ・黄: GNSSと比較して速度の変動が小さい
誤差は $\pm 3\text{km/h}$ に低減した

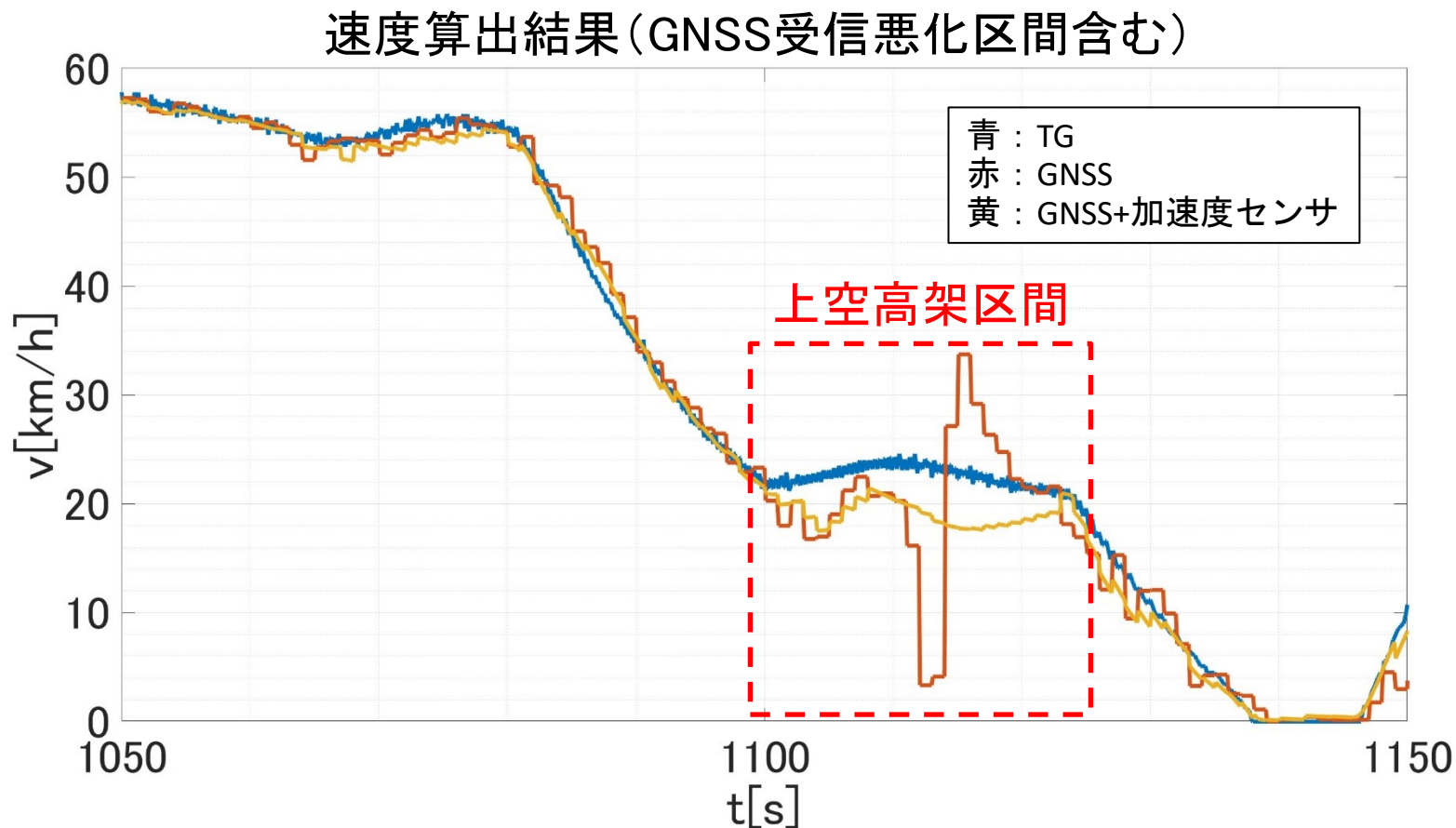


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験において、GNSSの受信状況が悪化する地点(上空高架区間)を含む区間における速度算出結果を以下に示す。



- ・赤: 上空に障害物があるため、速度が大きく変動した
- ・黄: 車上データベースに登録した「受信精度低下」設定により加速度センサのデータに重きをおいた速度演算を行うことで、GNSSの影響を受けず速度誤差が低下することを確認した



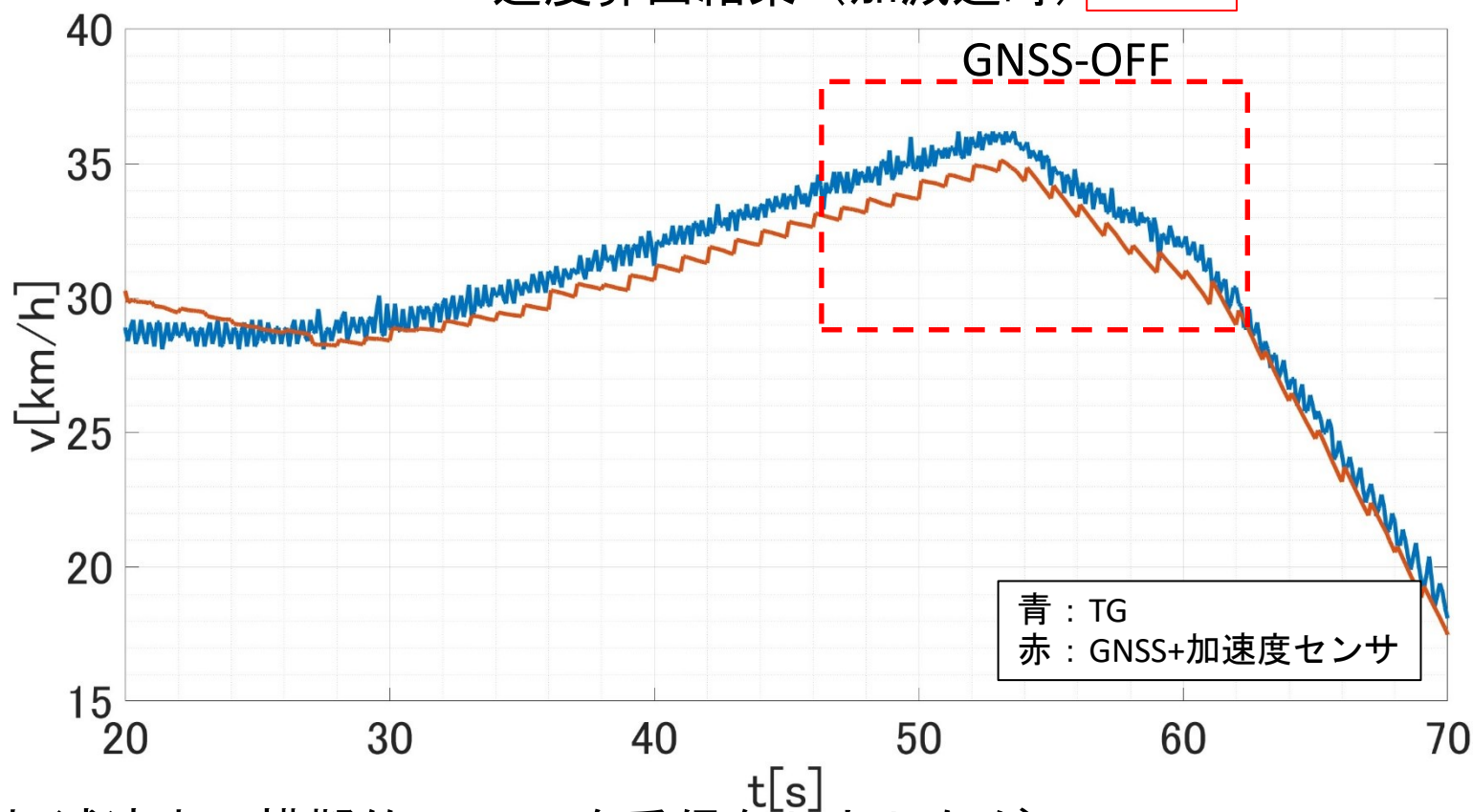
5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(GNSS受信不可模擬)の概要を以下に示す。
記録したデータからGNSSが受信できない場合の模擬データを作成し、加速度センサが
GNSSなしで列車速度を推定できるかを確認した。(加減速時、惰行時、減速時) 会議後修正

速度算出結果 (加減速時) 会議後修正



加減速中に模擬的にGNSSを受信なしとしたが、
加速度センサのデータを使用することで、TGと同等の速度を算出した。 会議後修正

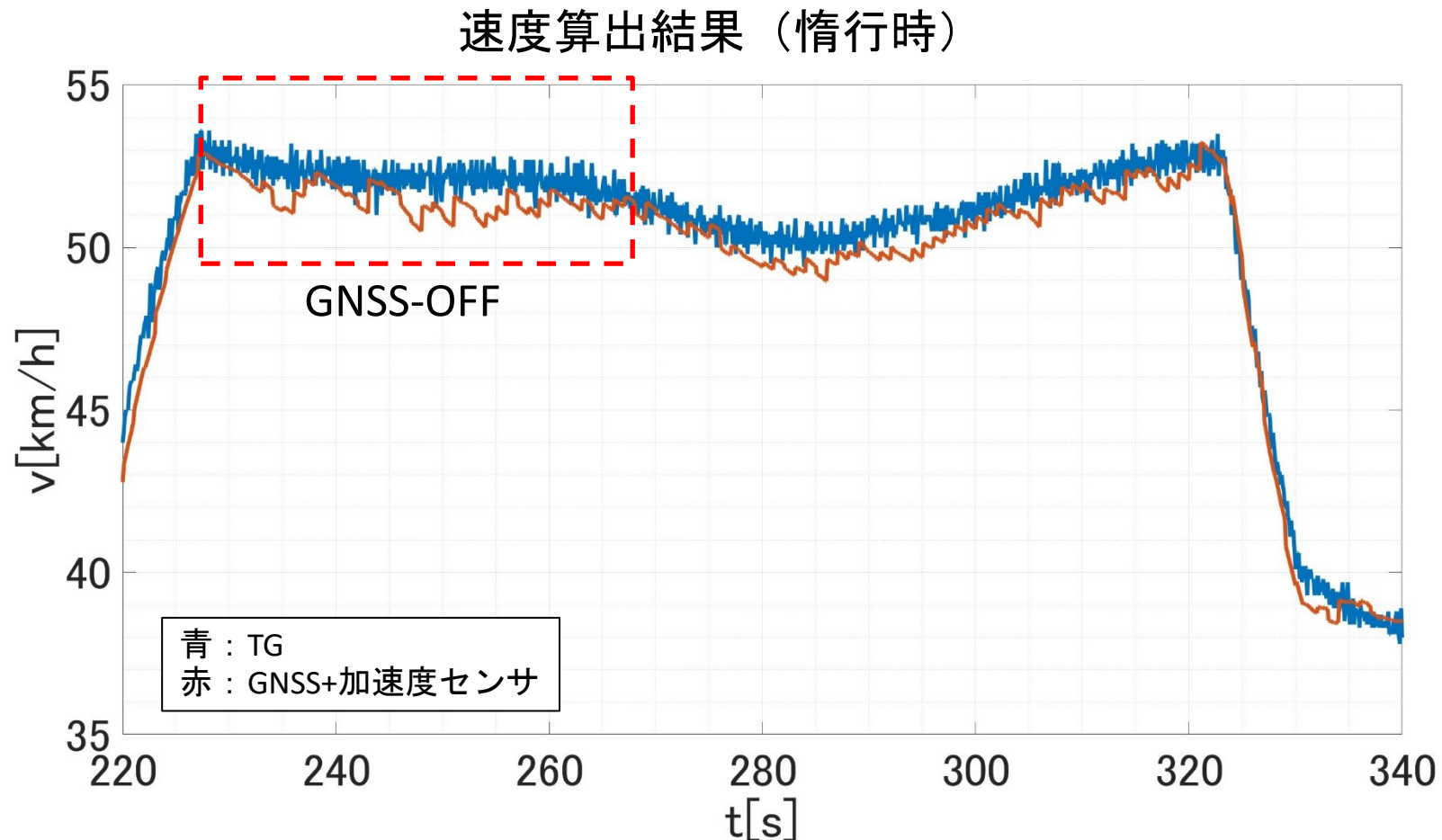


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(GNSS受信不可模擬:惰行時)の概要を以下に示す。



惰行中に模擬的にGNSSを受信なしとしたが、
加速度センサのデータを使用することで、TGと同等の速度を算出した。

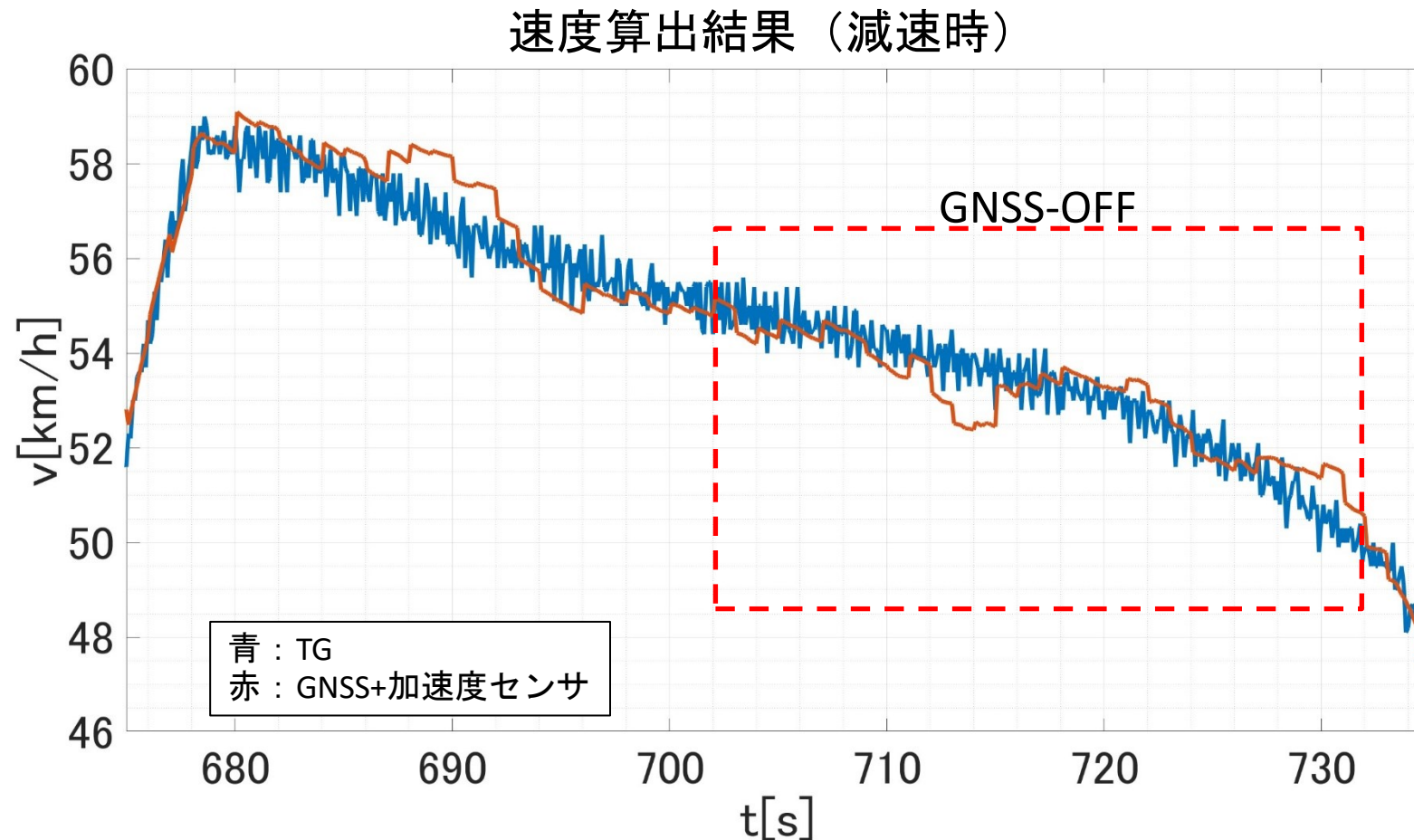


5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果



2024年度の検証走行試験での速度算出結果(GNSS受信不可模擬:減速時)の概要を以下に示す。



減速中に模擬的にGNSSを受信なしとしたが、
加速度センサのデータを使用することで、TGと同等の速度を算出した。



5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果

2024年度の検証走行試験での列車位置算出結果とその傾向を以下に示す。
列車位置算出誤差も同様に、速度発電機の色度を積算した距離を基準として計算した。

列車位置算出結果(m)

	平均誤差	最大誤差	備考
GNSS	12.1	34.8	※受信失敗時は除く
GNSS＋加速度センサ	8.7	31.1	

■ GNSS

低速より高速の方が位置誤差が大きくなった。(後述)
位置誤差と走行速度に相関があるため、GNSSの出力周期1秒の間に走行する距離の影響と考える。※ $60\text{km/h} \times 1\text{秒} = 16\text{m}$

■ GNSS＋加速度センサ

GNSS受信不可区間でもGNSS単体より安定し、基準を達成した。(25m以下)

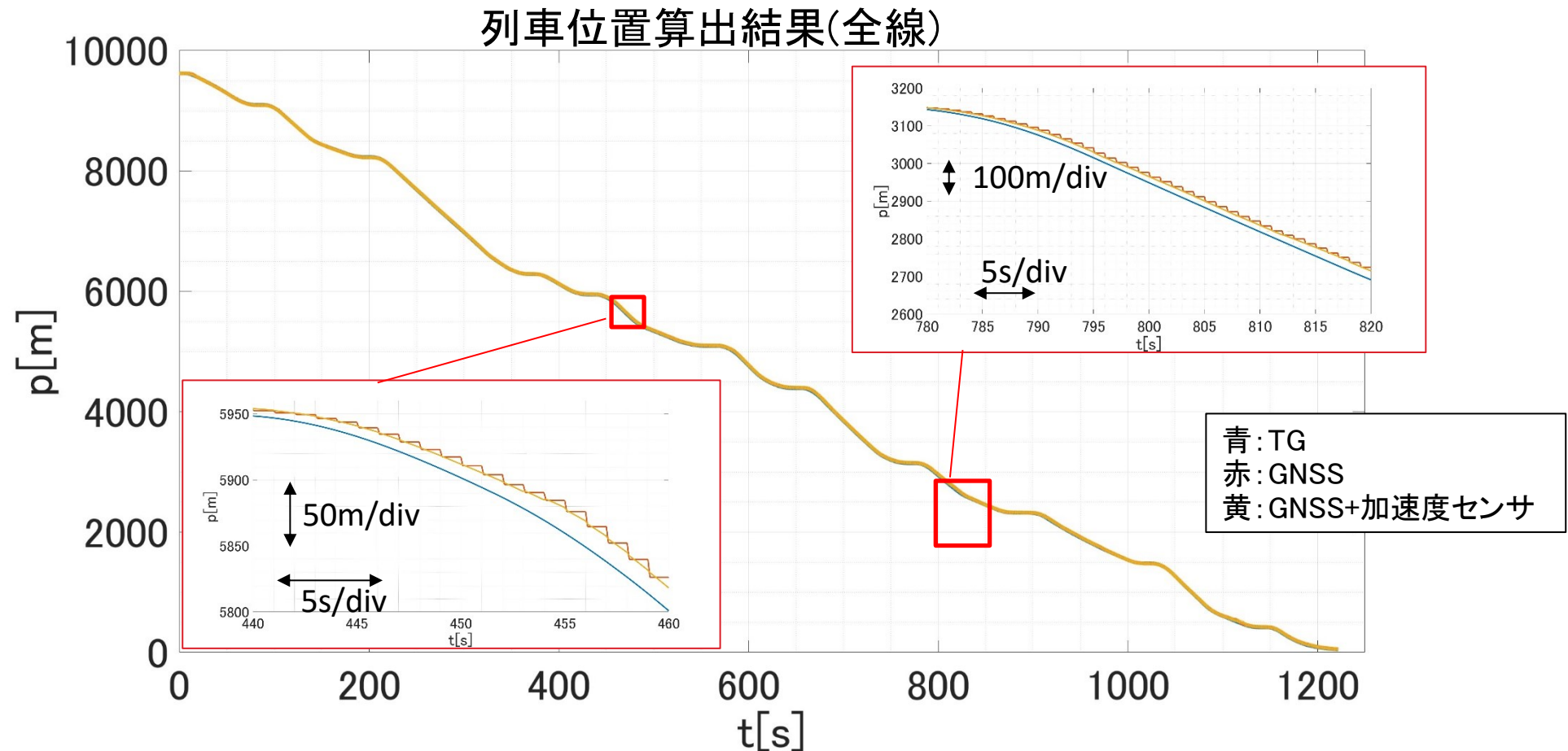
次ページで詳細を説明する。



5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果

2024年度の検証走行試験での列車位置算出結果を以下に示す。



全線の結果では位置誤差が評価できないため、次ページにて高速、低速、GNSS受信悪化区間における位置算出誤差の結果について説明する。



5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果

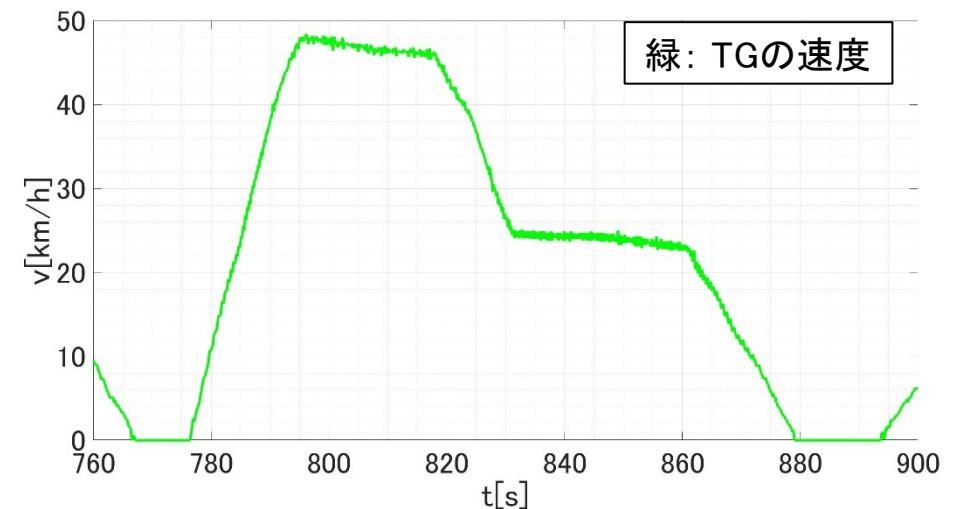
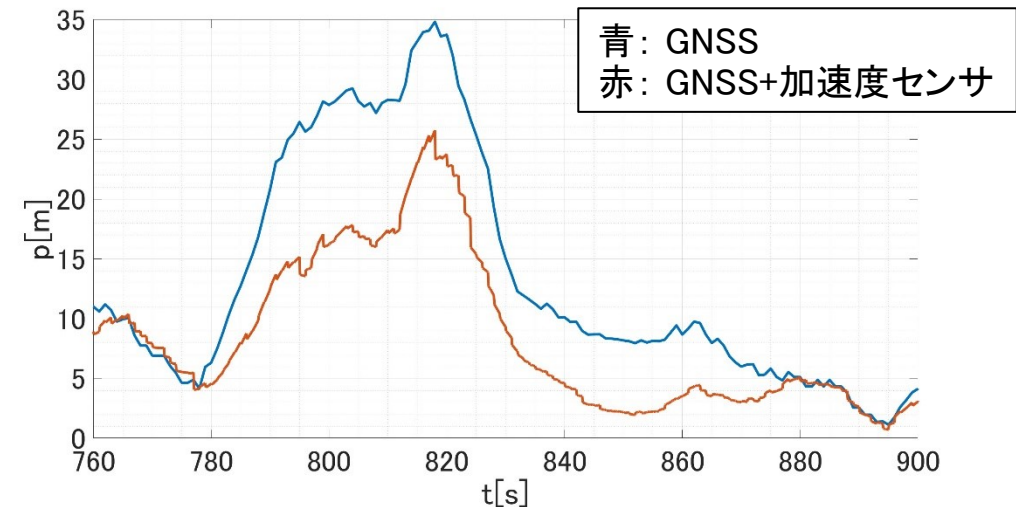
2024年度の検証走行試験での列車位置算出結果(TGとの差分)の概要を以下に示す。

■ 高速

TGに対する高速時の位置算出誤差は
列車速度に応じて大きくなった。

GNSSは1秒周期で位置情報を送信する
ため、速度が大きいほど誤差が大きくなる
と考える。

例) $60\text{km/h} = 16.7\text{m/s}$



5. 検証走行試験(2024年度)

5.3 試験結果

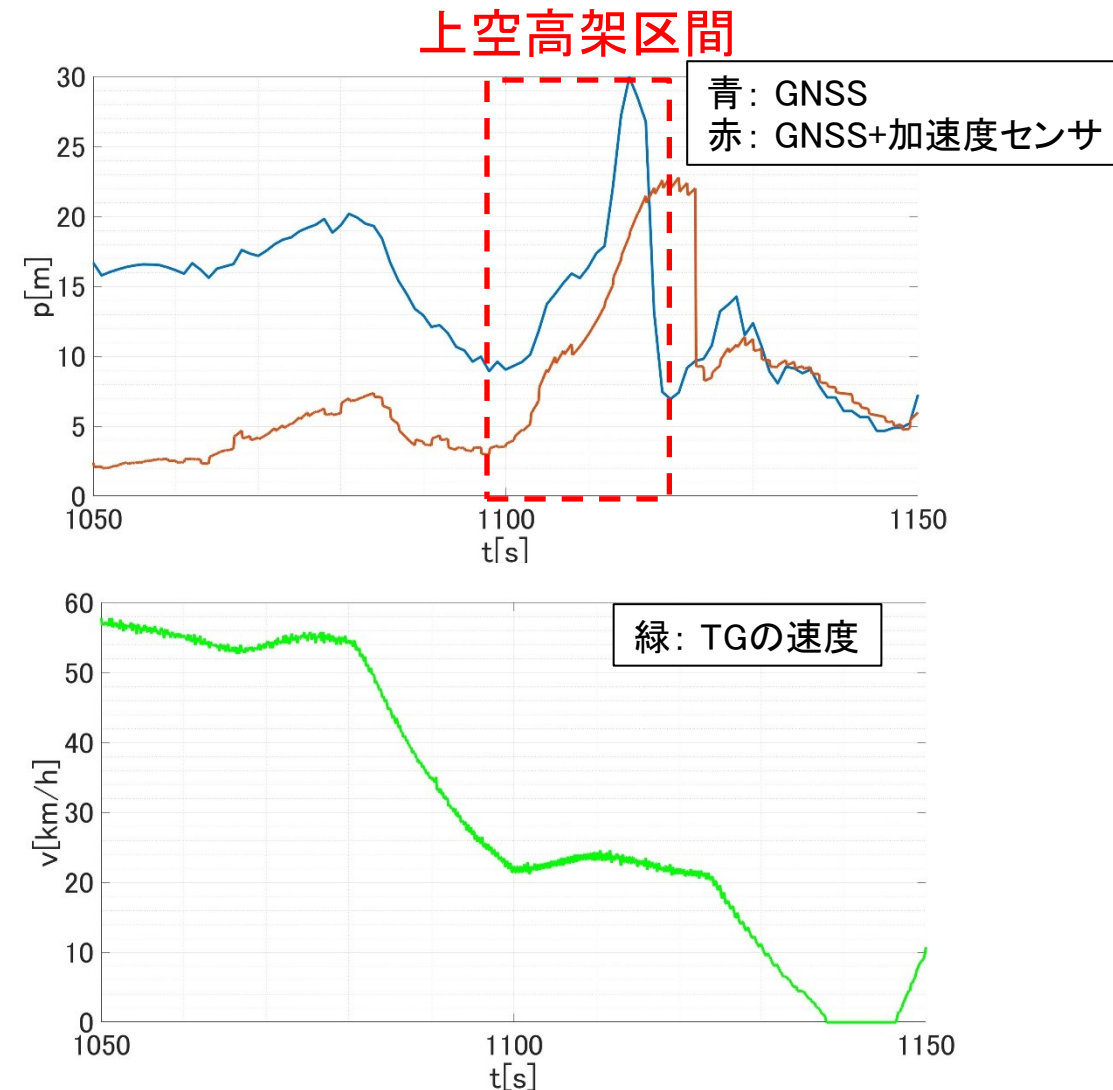
2024年度の検証走行試験での列車位置算出結果(低速・受信不可)の概要を以下に示す。

■ 低速

TGに対する低速時の位置算出誤差は列車速度に応じて小さくなった。

■ 受信不可

GNSS受信不可区間での位置算出精度は時間経過と共に悪化した。



5. 検証走行試験(2024年度)

5.4 試験結果(まとめ)



2024年度の検証走行試験の結果(まとめ)を以下に示す。

■GNSS単体（受信不可区間を除く）

- ・ TGとの速度誤差は $\pm 6\text{km/h}$ （×：基準値 $\pm 5\text{km/h}$ 以内）
- ・ TGとの位置誤差は $\pm 34.8\text{m}$ （○：基準値 $\pm 50\text{m}$ 以内）

■GNSS+加速度センサ

- ・ TGとの速度誤差は $\pm 5\text{km/h}$ （○：基準値 $\pm 5\text{km/h}$ 以内）
- ・ TGとの位置誤差は $\pm 31.1\text{m}$ （○：基準値 $\pm 50\text{m}$ 以内）

加速度センサを使用することで上空が高架に覆われている区間も含め、大雄山線全線で速度誤差 $\pm 5\text{km/h}$ を達成し、速度発電機1軸化に向け、今回の補助手段がフォーク折れ検知に有効であることを確認した。

車両改造を実施し、モニタランで推定精度を長期間確認し、パラメータ調整等により、GNSSの受信状況が悪化する区間における推定性能の更なる向上を図る。



6. 費用対効果

6. 1 前提条件



実用化に向けてシステムの導入による費用対効果を整理。
費用対効果の算出に当たっての前提は以下の通り。

- ①伊豆箱根鉄道大雄山線の路線イメージで費用対効果の検討を実施。
 - ・新システムの構成で、専用無線機を使用する
 - ※大雄山線での導入に係る費用等は引き続き精査
- ②既設のままの状態、新システムの2つの費用等を比較
 - ・既設システムからの更新とする(試験用機器を設置する前の状態を基準とする)
 - ・既設システムについても、各機器の更新費を初年度に計上
- ③国土交通省の「鉄道施設総合安全対策事業費補助」を適用し、初期費を2/3とする

【対象外】

- ・認可申請に関わる費用
- ・線形改良や線形変更によるDBの更新費用



6. 費用対効果

6. 1 前提条件

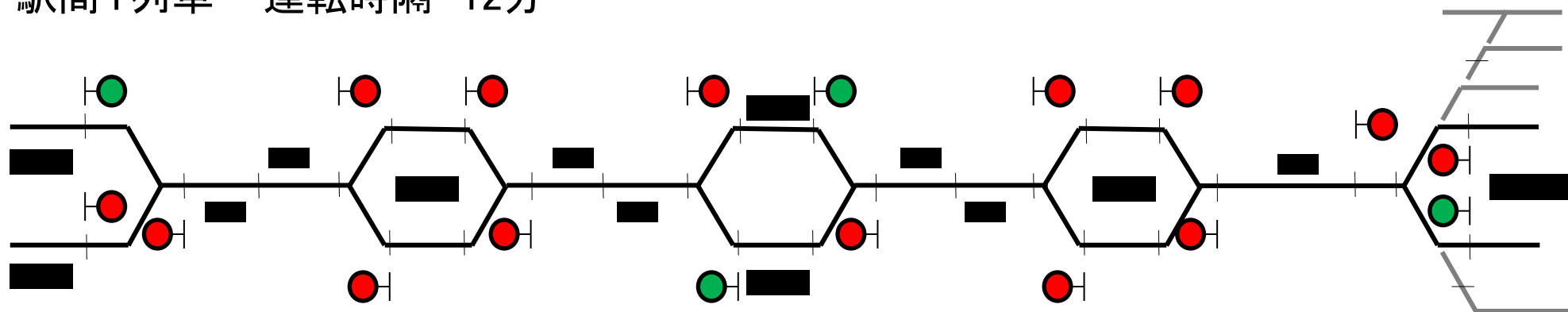


伊豆箱根鉄道 大雄山線の路線イメージで費用対効果の検討を実施。

※大雄山線での導入に係る費用等は引き続き精査

【諸元】

- ・営業キロ 10km
- ・連動駅 5駅 27軌道回路
- ・営業車 7編成(車上装置14台)
- ・既設システムの保安装置 軌道回路＋変周式ATS
- ・踏切 40箇所(AF-FC制御)
- ・最小曲線半径 R=100
- ・区間最高速度 70km/h
- ・他社乗り入れなし
- ・駅間1列車
- ・運転時隔 12分



線形イメージ



6. 費用対効果

6. 1 前提条件



既設システムにおいて、計上する費用としては以下を考慮する。

①初期費

- ・機器費 車上送受信器、ATS地上子、軌道回路関係機器、踏切関係機器

②保守費

- ・検査費 上記機器の保守費、検査費
- ・電気代 軌道回路の電気代

③更新費

- ・機器費 オーバーホール 8年、ユニット更新 15年
※1年ごとの費用に換算

④その他費用

- ・復旧対応費 異常発生時の対応費用、落雷による機器交換費用



6. 費用対効果

6.1 前提条件



既設システムと新システムにおいて、計上する費用としては以下を考慮する。

【車上設備】

大分類	中分類	既設システム	新システム
初期費	機器費	車上ATS受信器 速度発電機、試験器	制御装置、 速度発電機、試験器
		—	表示器、車上無線機、アンテナ
	DB設計費	—	車両性能、編成長、編成番号、線形、 速度制限、信号機、踏切（構内）
	車両改造費	—	設計費（機器配置、配管・配線図、 CAD化）、材料費、労務費
ランニングコスト	保守・検査費	保安装置の機能検査	
	更新費[機器]	オーバーホール8年、ユニット更新15年 ※1年ごとの費用に換算	



6. 費用対効果

6.1 前提条件



既設システムと新システムにおいて、計上する費用としては以下を考慮する。

【地上設備】

大分類	中分類	既設システム	新システム
初期費	機器費	(連動装置)	駅処理装置(各駅)
		—	地上無線機、アンテナ (約35台)
		地上子 (周波数)、試験器	地上子 (電文形)、試験器
	DB設計費	—	線形、速度制限、 閉そく、踏切(構内)
	連動改修費	—	設計費、改修費、材料費 (駅処理装置との接続)
	工事費	—	機器設置、無線用光回線敷設
ランニングコスト	保守・検査費	軌道回路、地上子 踏切機器、信号機	駅処理装置、踏切機器(構内除く)
			車上検測:地上無線機、地上子
	電気代	軌道回路	駅処理装置、地上無線機
	更新費[機器]	オーバーホール8年、ユニット更新15年 ※1年ごとの費用に換算	

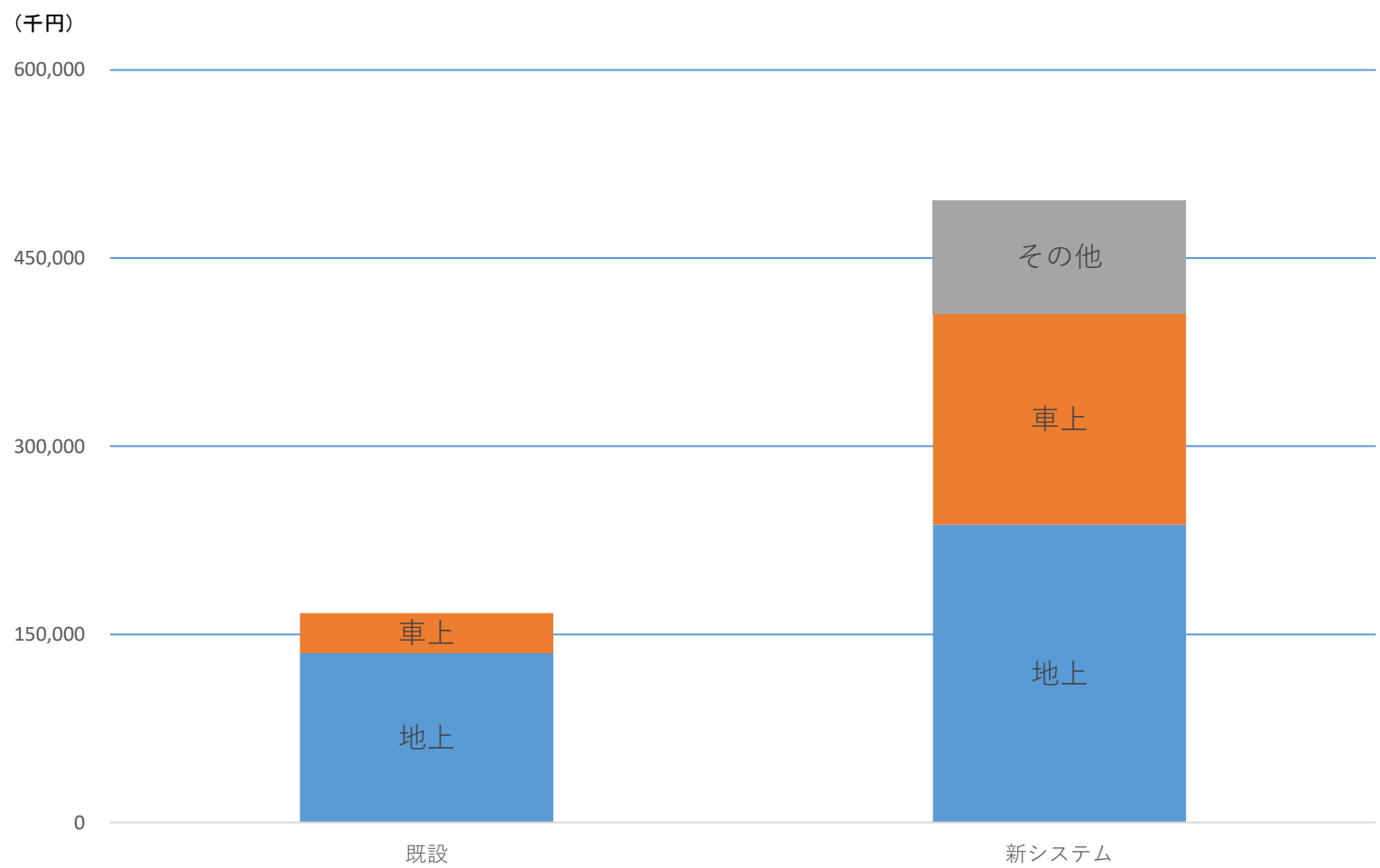


6. 費用対効果

6. 2 費用対効果(費用分析)



既設システムと新システムの初期費(全体)を示す。
既設システムの場合、費用は主に地上中心となる。

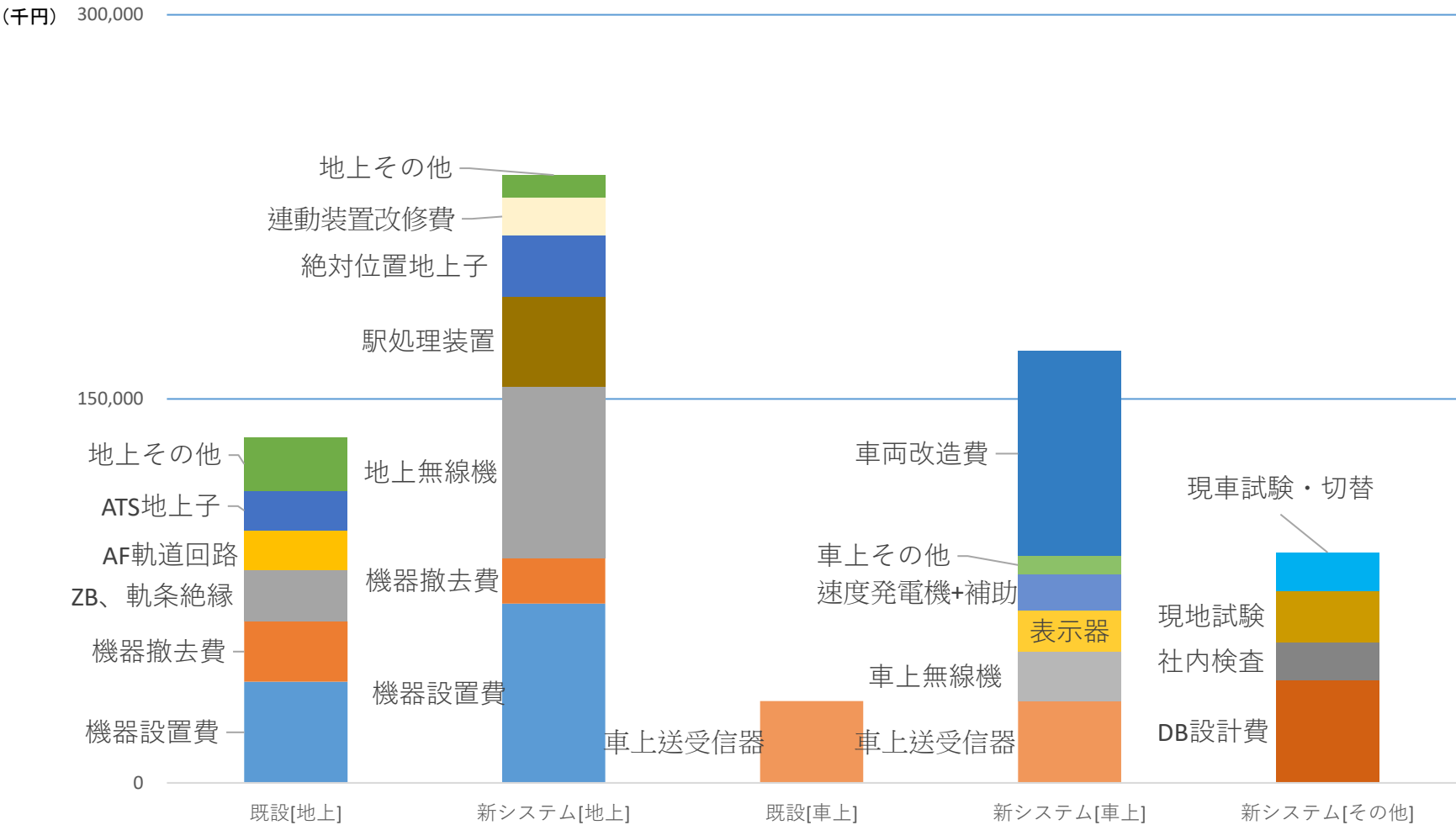


6. 費用対効果

6.2 費用対効果(費用分析)



既設システムと新システムの初期費の内訳を示す。
 地上は無線関係の機器費、設置費、車上は車両改造費が中心となっている。
 ※汎用無線を使用する場合は対象外



6. 費用対効果

6.2 費用対効果(費用分析)

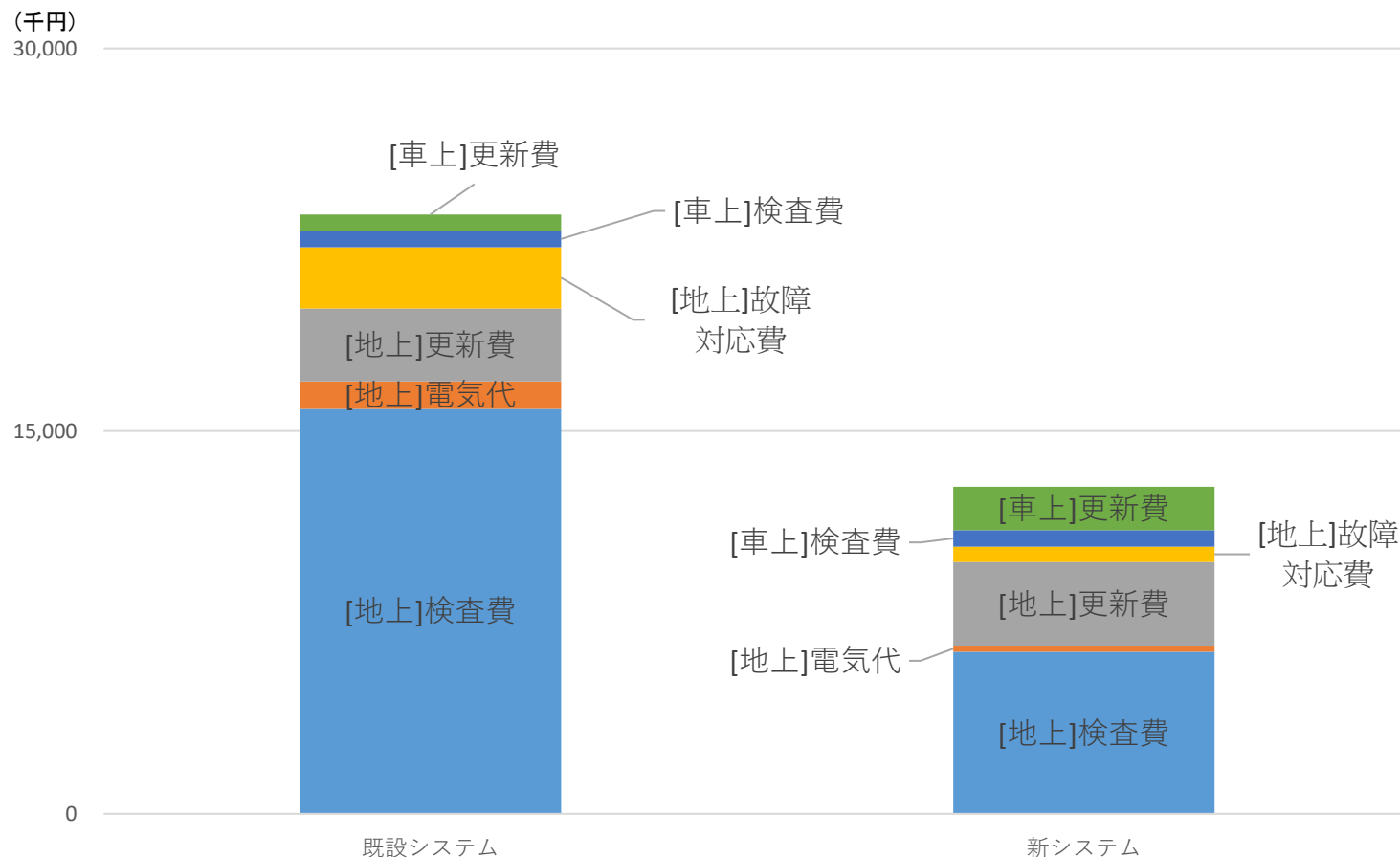


既設システムと新システムのランニングコストの内訳を示す。

既設システムは地上の検査費が中心となっており、

新システムでは地上設備を減らすことでその部分の費用を低減している。

※検査費と故障対応費低減の理由については次ページで説明



6. 費用対効果

6. 2 費用対効果(費用分析)



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

■故障対応費の削減の詳細

- ・軌道回路の場合は1箇所でも壊れたら運行が停止するため、復旧するには様々な対応が必要となるが、軌道回路の代替のメインとなる無線機は、複数の無線機で互いをカバーする配置としているため、1台故障してもすぐに故障対応を実施する必要はない。
- ・地上子についても1箇所につき2個セットで設置しているため、1台故障してもシステムに影響を与えない。

■検査費の削減の詳細

- ・車上～地上の通信状況を解析することで、各無線機の動作状況のモニタリングが可能であり、通常の動作検査を代替することができる。
- ・地上子についても受信状況とデータベースを照合することで、同様のことが可能になる。
- ・また、無線機も地上子も、故障を検出した場合には、車上装置から正常な無線機経由で地上装置に故障情報を送信する。地上装置から保守担当に故障情報を伝えることで、故障から交換までを短期間で実施できる。



6. 費用対効果

6.3 信号制御以外の分野への効果



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

新システムを導入することで得られる、信号制御以外の分野への効果を以下に示す。

項番	分類	内容
1	保線	GNSSや加速度センサを使用する場合、垂直方向への速度/加速度の値と列車位置情報を用いることで、線路の保守が必要な箇所を営業運転車で見つけることができ、保線作業を効率化できる。
2	踏切	踏切がパターン制御になるため、未遮断時や障害物検知時は非常ブレーキをかけられるので、踏切事故の防止に繋がる。 ※駅中間（踏切部）に地上無線機の設置が必要 また、鳴動時分の適正化が図れる場合がある。
3	運転	実績運転曲線を取得できるため、その利活用が期待できる。
4	保線	軌道回路、信号機、地上子を撤去することで、トラフの削減が可能となる。それにより、線路保守の効率が向上する。
5	土木	軌道回路境界を構造によらず設定できるため、車両停車位置を変更できる。それにより、カーブへの停車による間隙の防護が不要になったり、構造物の追加（バリアフリー用のスロープ等）が可能になったりする。



6. 費用対効果

6.4 費用対効果(人件費等)



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

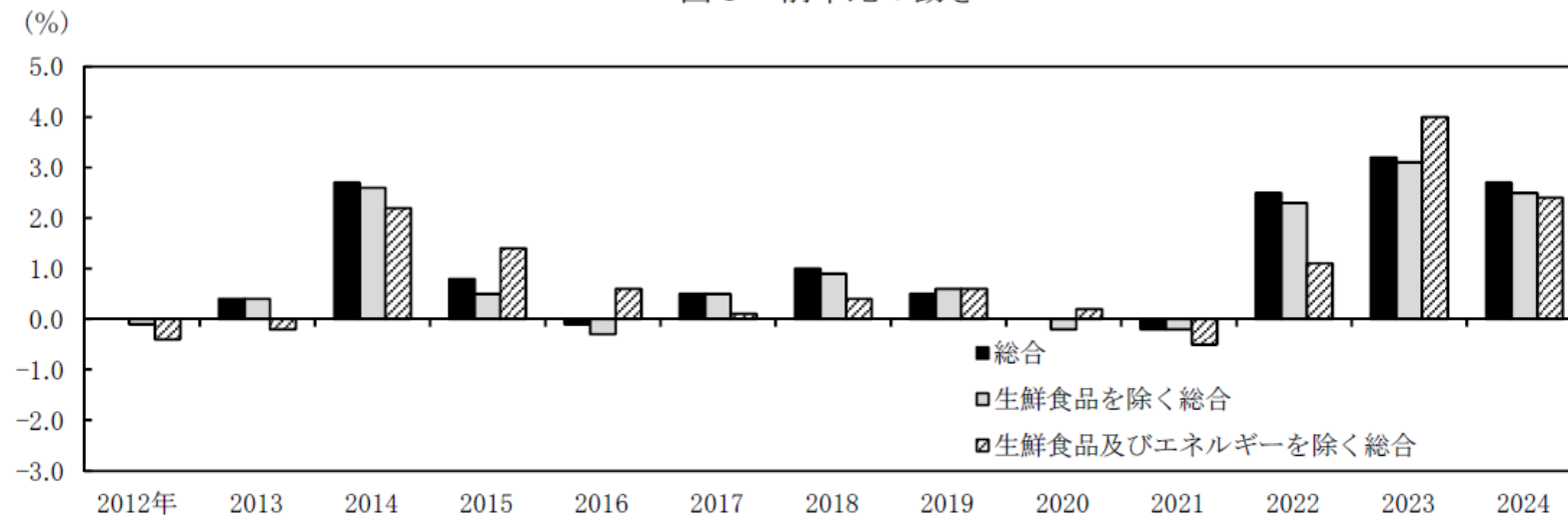
■物価の上昇について

- ・総務省の消費者物価指数から以下の方法で計算した。

総合指数(前年比) 10年平均値(2015～2024年)=1.09%

5年平均値(2020～2024年)=1.64%

図8 前年比の動き



総務省 報道資料「2020年基準 消費者物価指数(2024年12月分)」より



6. 費用対効果

6.4 費用対効果(人件費等)

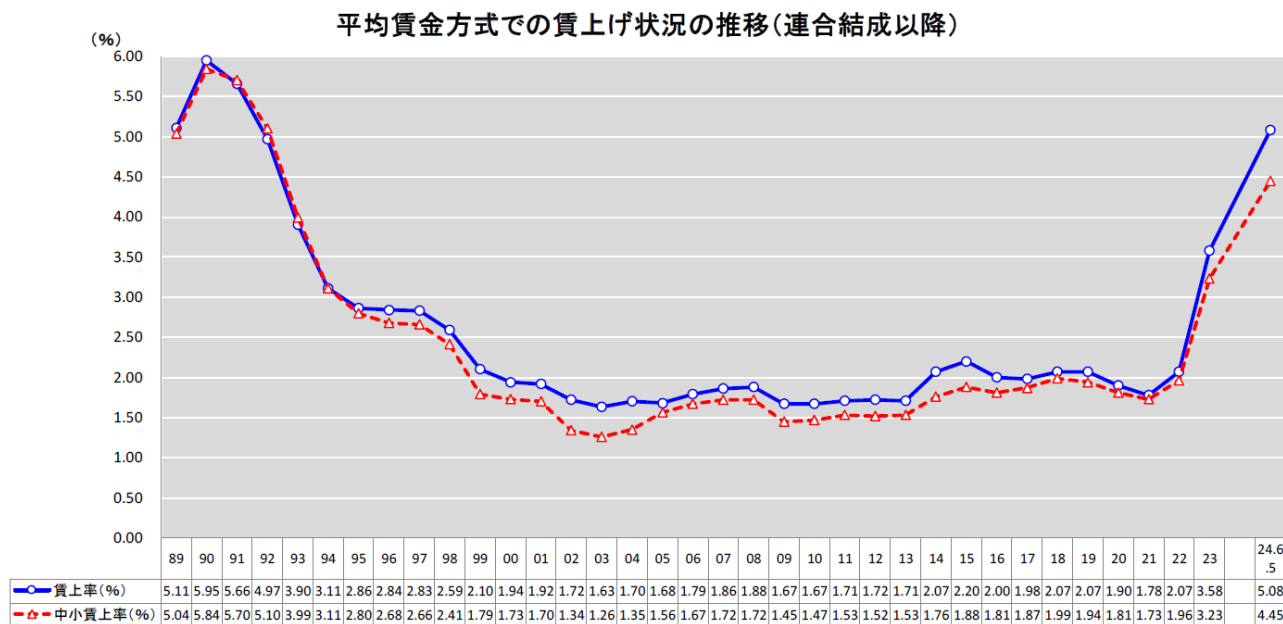


■人件費の上昇について

- 日本労働組合総連合会の「平均賃金方式での賃上げ状況の推移」を確認し、5年と10年の平均値を計算した。

春季賃上げ率 10年平均値(2015～2024年)＝2.47%
 5年平均値(2020～2024年)＝2.88%

<https://www.jtuc-rengo.or.jp/activity/roudou/shuntou/2024/yokyu_kaito/kaito/press_no6.pdf>



(注)1989～2023年のデータは、すべて6月末時点の最終集計結果。

日本労働組合総連合会 「2024 春季生活闘争 第6 回回答集計結果について」より



6. 費用対効果

6.4 費用対効果(人件費等)



■物価の上昇について

総合指数(前年比) 10年平均値(2015～2024年)＝1.09%
 5年平均値(2020～2024年)＝1.64%

■人件費の上昇について

春季賃上げ率 10年平均値(2015～2024年)＝2.47%
 5年平均値(2020～2024年)＝2.88%

物価、人件費の上昇により、累積でどのくらい費用が変わるかを計算した結果を表に示す。
 既設システムのままの方が物価、人件費上昇の負荷が大きくなる。

年数	既設	新システム	差分	既設	新システム	差分
5	6.9	3.5	3.4	8.3	4.4	3.9
10	26.3	13.3	13.0	31.9	16.8	15.1
15	60.0	30.2	29.8	73.0	38.3	34.7
20	109.4	54.9	54.5	134.2	70.2	64.0

10年平均値

5年平均値

単位:百万円

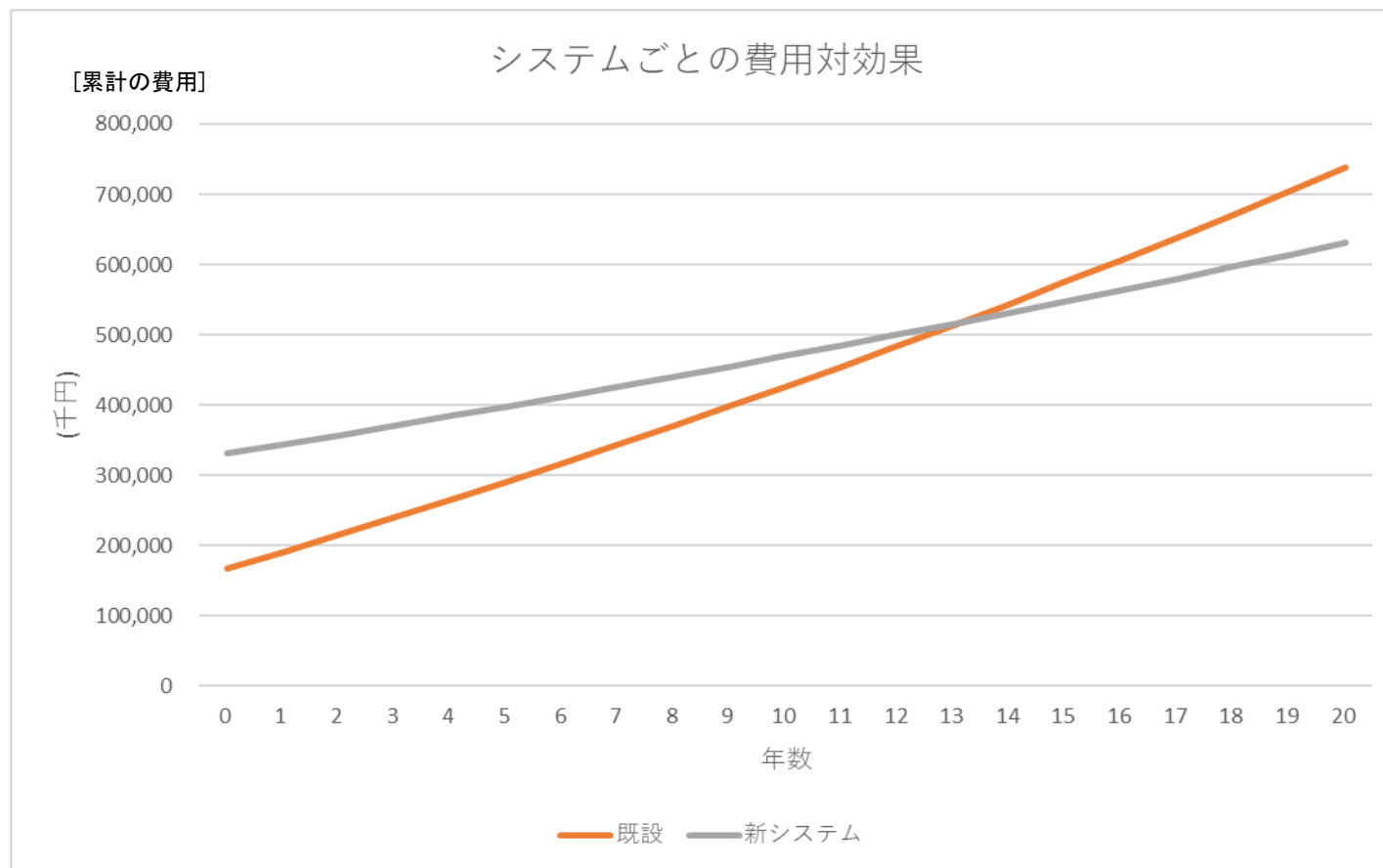


6. 費用対効果

6.5 費用対効果(まとめ)



物価と人件費上昇(10年平均)を加味した既設システムと新システムの費用対効果を図に示す。



- ・試算では導入から13年で費用対効果が同等になり、14年で逆転する。
 - ・物価と人件費上昇を加味する前は逆転が15年だったため、さらに1年早まる結果となった。
- ※初期費については補助金を使用する前提としている。

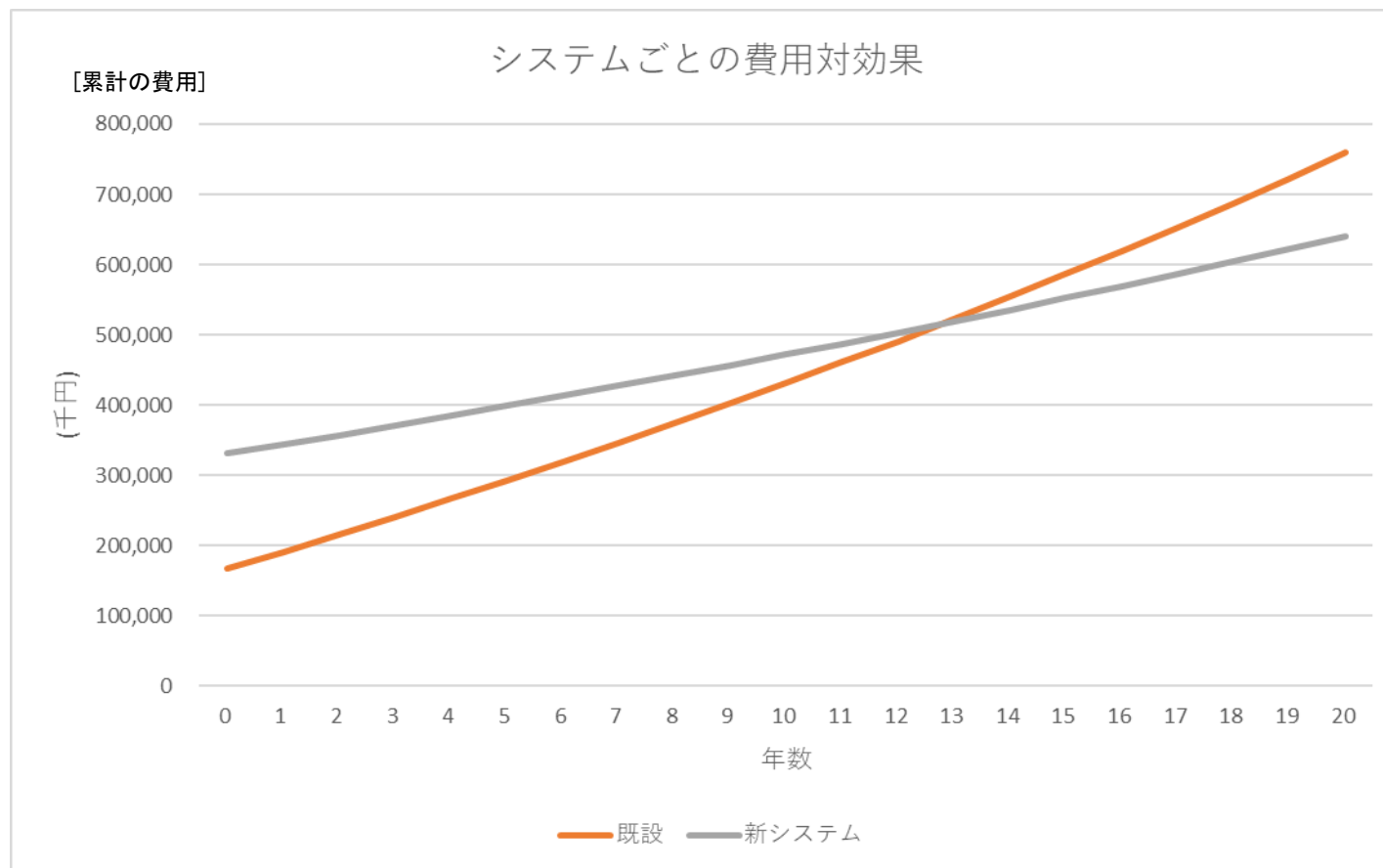


6. 費用対効果

6.5 費用対効果(まとめ)



物価と人件費上昇(5年平均)を加味した既設システムと新システムの費用対効果を図に示す。



- ・施設設備簡素化によるコストダウン効果が大きくなり、導入から13年で逆転する。
 - ・直近5年の方がインフレ率が高いため、10年平均と比較した時に逆転がさらに1年早まる。
- ※初期費については補助金を使用する前提としている。



7. 本年度までの開発成果のまとめ



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

2024年度の開発成果のまとめを以下に示す。

項番	内容	状況
1	システム仕様の具体化	完了
2	安全性評価（速度発電機1軸＋補助手段）	完了
3	試験項目に基づく社内試験	完了
4	試験項目に基づく検証走行試験	完了
5	費用対効果の分析	完了



8. 今後の展望と期待される波及効果



Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

項番1～6から必要な機能を選択してシステム構築可能



事業者の要望に合った
最適なシステムを導入しやすく
地方鉄道の維持発展に寄与

項番	内容	備考
0	①車上位置検知機能 ②無線を利用した列車検知	令和3年度に検証走行試験（導入前提）
1	連続速度照査式（パターン式）ATS	令和3年度に検証走行試験（導入前提）
2	信号現示の車内点灯化	令和7年度に検証走行試験（導入前提）
3	車上検測機能	令和4年度に検証走行試験（試験のみ）
4	無線による踏切制御	令和4年度に検証走行試験（試験のみ）
5	全線在線管理による連動機能の集約化	オプション（将来構想）：開発対象外
6	自動運転	オプション（将来構想）：開発対象外



本技術開発を行うことにより、鉄道の運営や施設の維持管理の効率化・省力化を可能とし、利用者の利便性の向上にも資する鉄道分野での生産性革命を進めることに寄与していければと考えています

ご清聴ありがとうございました