

第5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5年2月27日(月) 10:30~12:00

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

< 配 布 資 料 >

資料 1 議事次第

資料 2 委員名簿

資料 3 配席図

資料 4 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

資料 5 試験項目一覧(非公開)

第 5 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

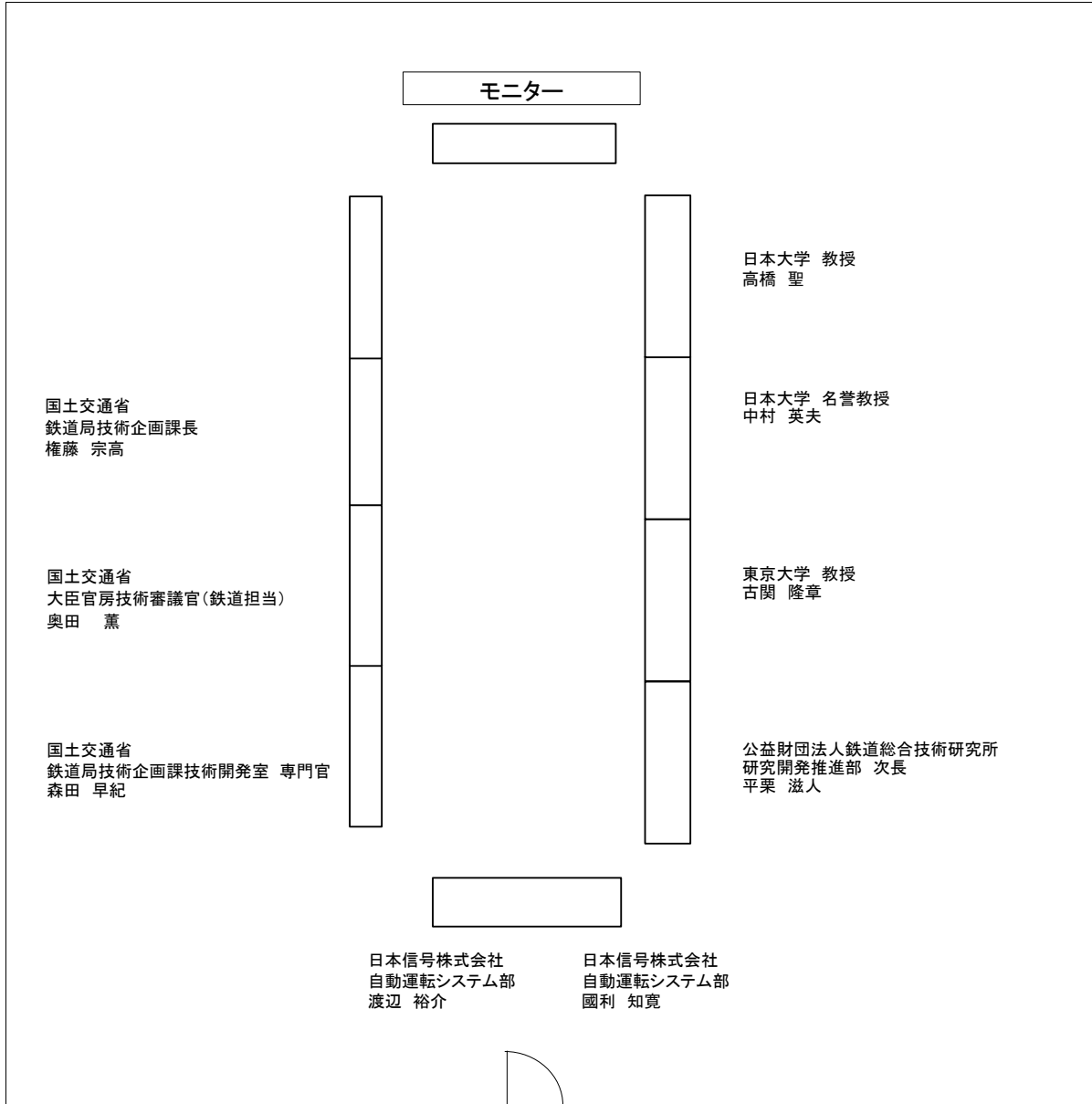
委員名簿

(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 教授 |
| 委員 | 高橋 聖 | 日本大学 教授 |
| 委員 | 藤田 浩行 | 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 専務取締役 |
| 委員 | 佐藤 安弘 | 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長 |
| 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 次長 |
| 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 | 高橋 俊晴 | 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 | 斉藤 秀俊 | 一般社団法人日本鉄道運転協会 安全企画部長 |
| 委員 | 奥田 薫 | 国土交通省大臣官房技術審議官 |
| 委員 | 権藤 宗高 | 国土交通省鉄道局技術企画課長 |
| オブザーバ | 澤田 秀樹 | 北海道旅客鉄道株式会社 電気部副部長 |
| オブザーバ | 杉浦 弘人 | 東日本旅客鉄道株式会社 電気システムインテグレーションオフィス 技術管理部 信号技術管理センター 所長 |
| オブザーバ | 田口 尚 | 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マネージャー |
| オブザーバ | 伴 貴弘 | 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 電気部 信号通信課長 |
| オブザーバ | 岡村 昌志 | 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 |
| オブザーバ | 中畑 芳樹 | 九州旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 電気部 信号通信課長 |
| 事務局 | 国土交通省鉄道局 | |

第5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

令和5年2月27日(月) 10:30~12:00
中央合同庁舎3号館6階 鉄道局大会議



オンライン出席者

| | |
|---|-------|
| 伊豆箱根鉄道株式会社 執行役員 鉄道部長 | 藤田 浩行 |
| 山形鉄道株式会社 専務取締役 | 押切 榮 |
| 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長 | 佐藤 安弘 |
| 一般社団法人日本民営鉄道協会 常務理事 | 高橋 俊晴 |
| 第三セクター鉄道等協議会 事務局長 | 高橋 正人 |
| 一般社団法人日本鉄道車両機械技術協会 車両部長 | 星 勝芳 |
| 一般社団法人日本鉄道運転協会 安全企画部長 | 斉藤 秀俊 |
| 北海道旅客鉄道株式会社 電気部 副部長 | 澤田 秀樹 |
| 東日本旅客鉄道株式会社 電気システムインテグレーションオフィス 技術管理部 信号技術管理センター 所長 | 杉浦 弘人 |
| 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マネージャー | 田口 尚 |
| 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 電気部 信号通信課長 | 伴 貴弘 |
| 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 | 岡村 昌志 |
| 九州旅客鉄道株式会社 電気部 信号通信課長 | 中畑 芳樹 |



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(中間)

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



日本信号株式会社

2023年2月27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. システムの動作
5. 安全性評価
6. 現車試験
7. 2重系の必要性について
8. まとめ
9. 今後の展望と期待される波及効果

| |
|----|
| 承認 |
| |
| 照査 |
| |
| 作成 |
| |





- ✓ 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

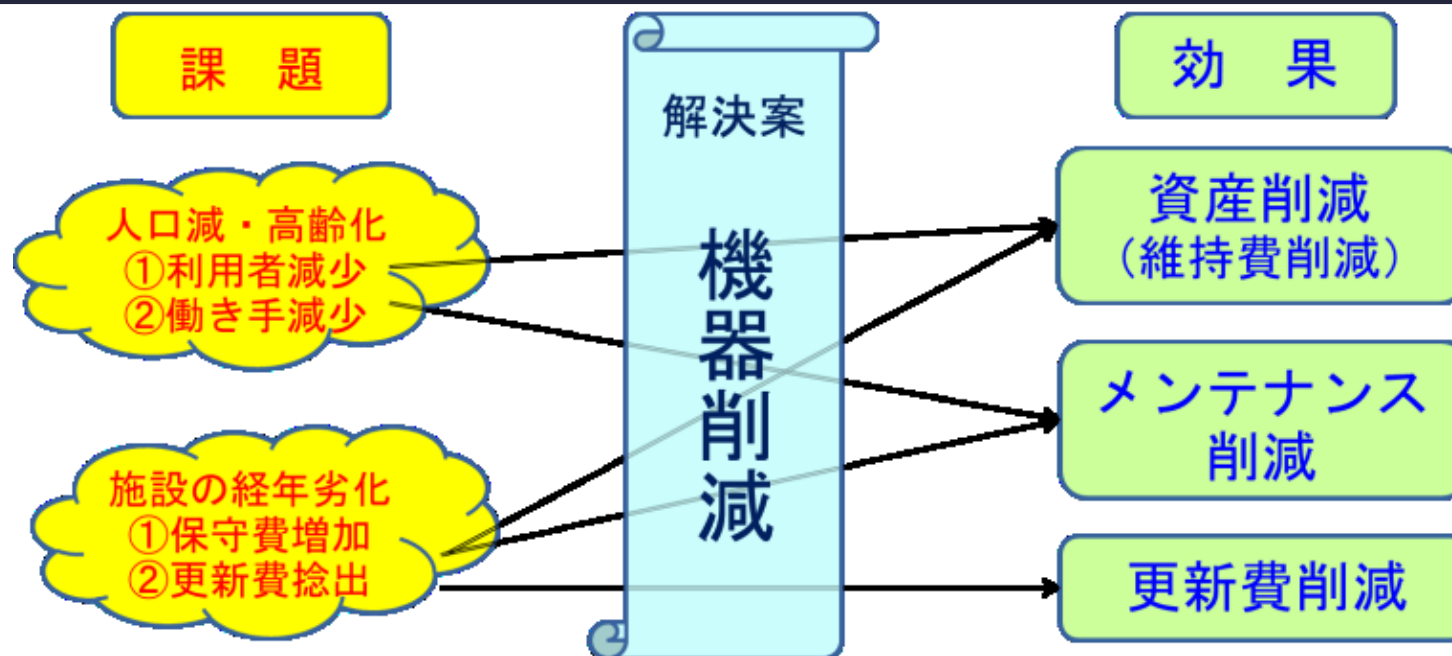


Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

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



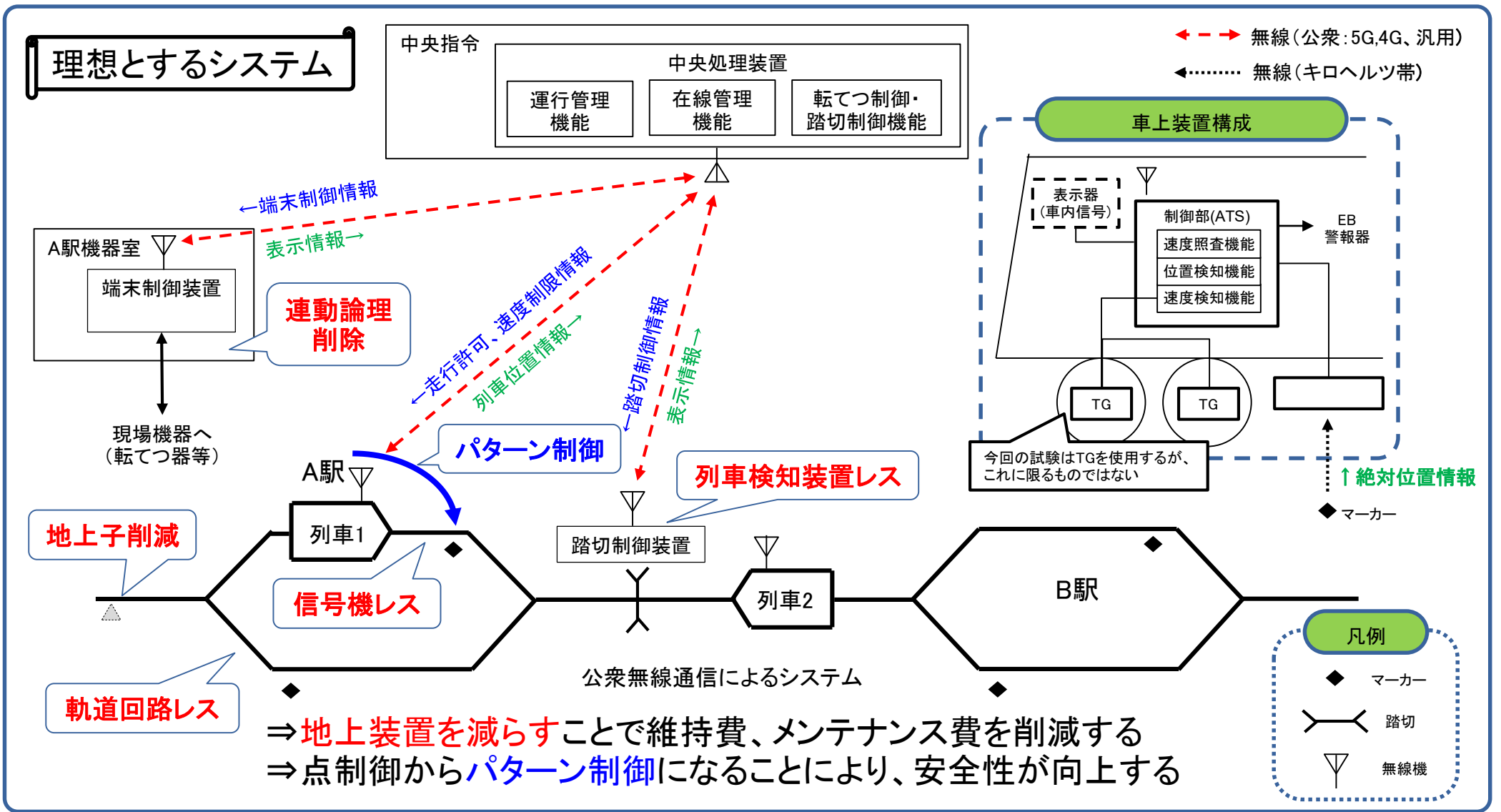
1. 背景

1.1 システム構成 [理想]



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

検討した理想とするシステム構成について以下に示す。



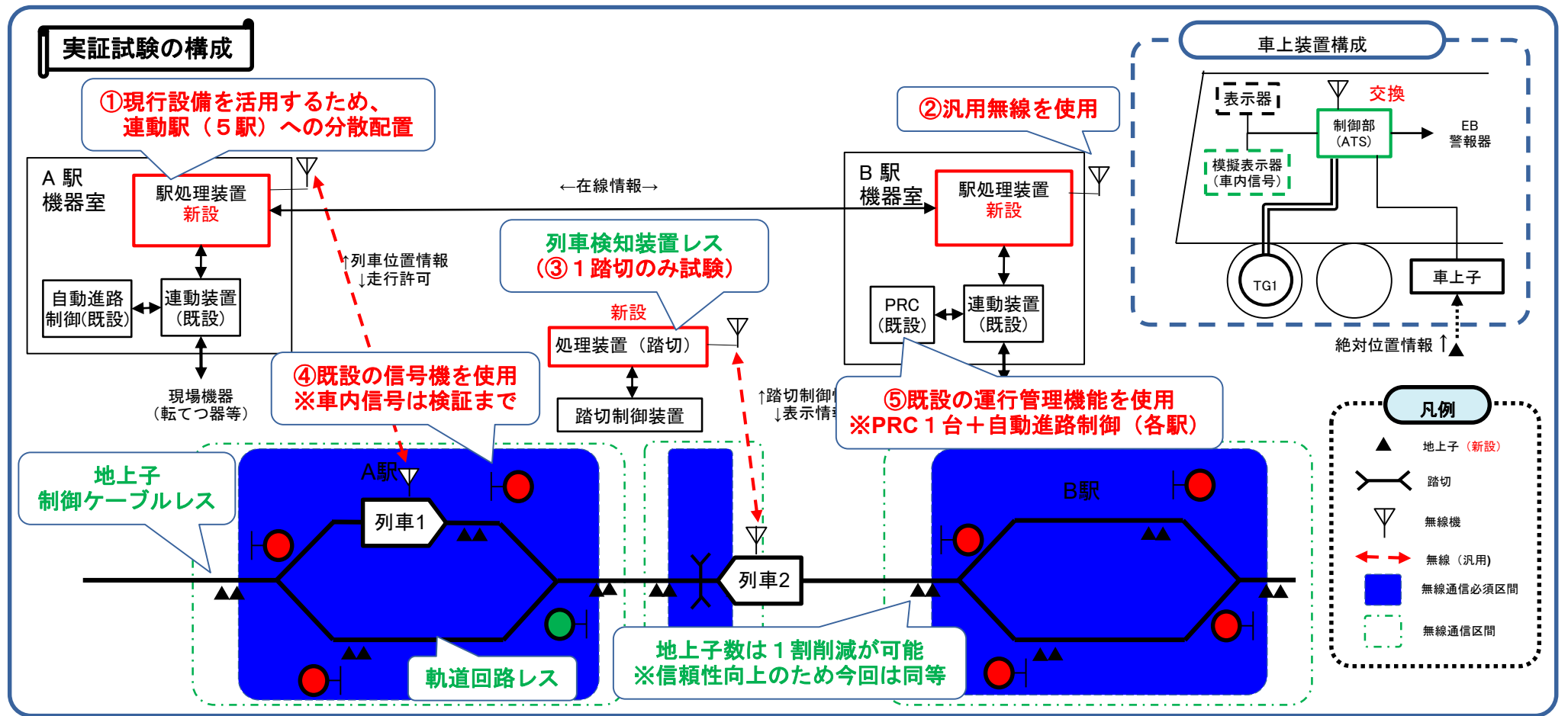
1. 背景

1.1 システム構成 [現車試験]



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

早期の実用化を実現するために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検討し、現車試験の構成は汎用無線を使用する分散構成とした。



赤字:理想型からの変更点 緑字:設備削減



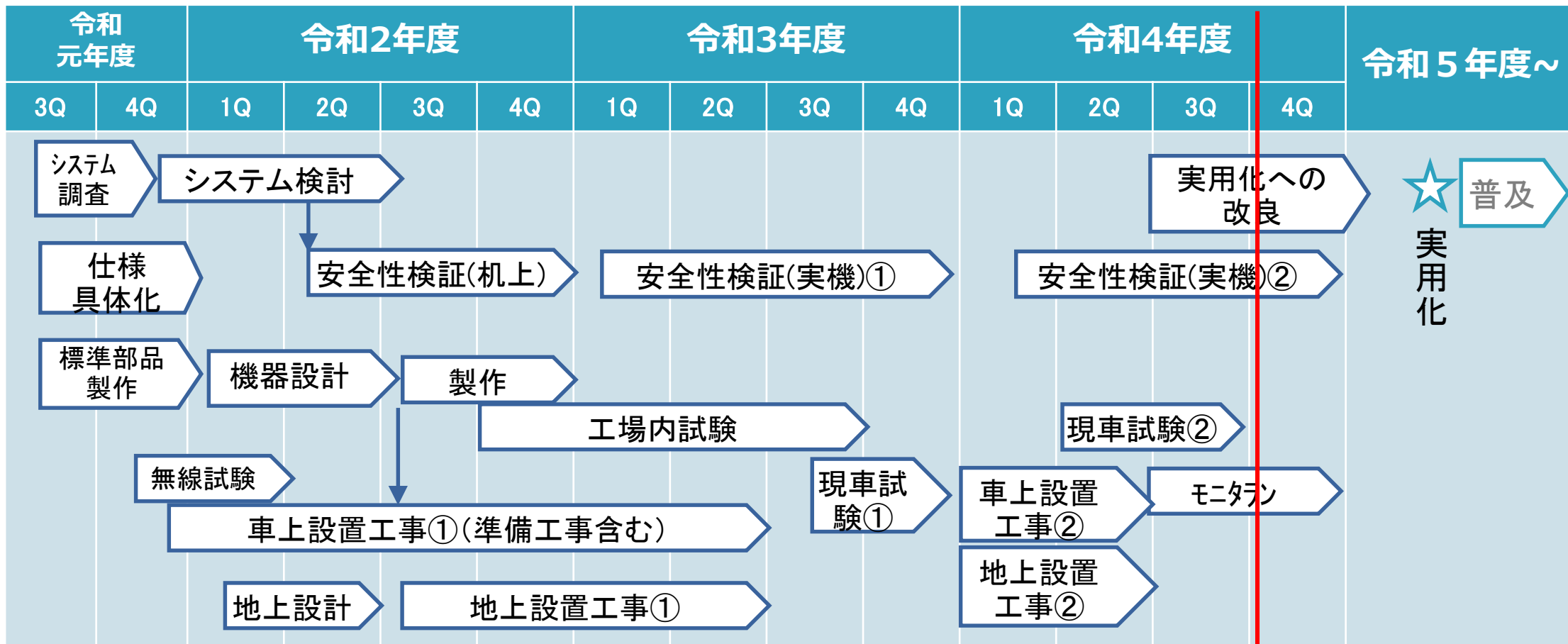
2. 開発工程

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 : 5駅2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



2. 開発工程

2.2 スケジュール変更(工期延伸)

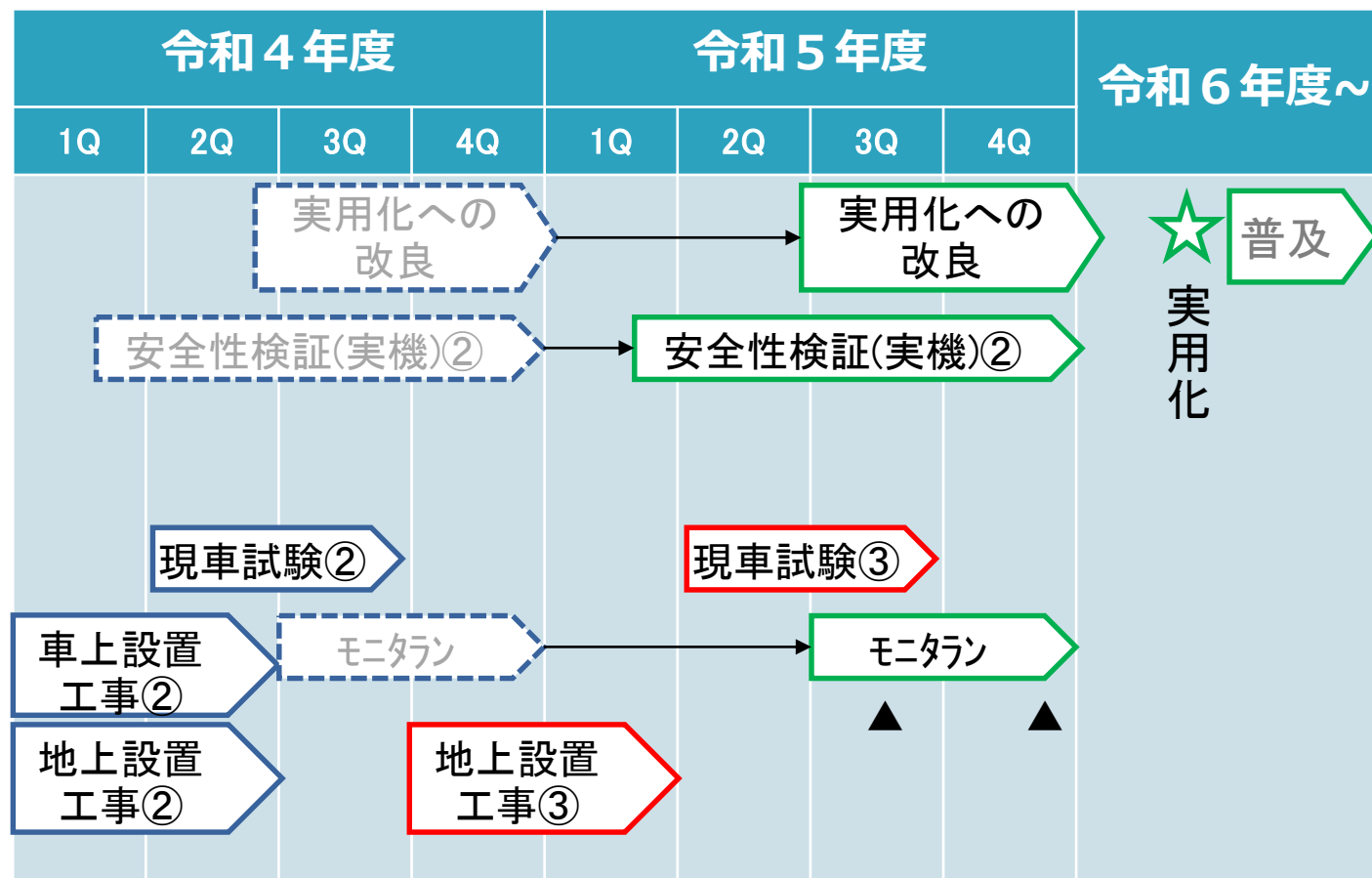


Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

令和4年度の車上2編成の試験において、無線が切れる事象が発生した。※詳細は後述
その対策として、「無線機の追加またはアンテナの配置変更、もしくはその両方が必要となる。

[地上設置工事③]

部材の手配、現地への設置後に再試験[現車試験③]を行うため、工期延伸の手続きを実施している。



▲ 技術評価検討会

追加

時期変更

※令和3年度までは省略



2. 開発工程

2.3 モニタランについて



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

また、モニタランの実施内容について整理させていただきたい。
まずは、工場内試験、現車試験、モニタランのそれぞれの目的を以下に示す。

| 分類 | 目的 |
|-------------------|--|
| 工場内試験 (模擬走行含む) | ・全ての機能試験の実施 ・異常試験など現車での発生が困難な試験の実施 |
| 現車試験 | ・実際の運用でのシステム動作の確認 ・実際の環境での機器性能(無線など)の確認 |
| モニタラン | ・走行回数を増やすことで、条件の差異によるシステム動作の違いを検証する。 |

■モニタランの試験内容(案)

走行試験の日数を減らすために、試験条件を意図的に変更した走行試験を実施する。

具体的には、以下の条件を変更した状態での夜間走行試験とする

- ①通常走行から加減速タイミングを変更しての走行
- ②無線通信レベル低下状態での走行
- ③車輪径設定値を変更しての走行



2. 開発工程

2.3 モニタランについて

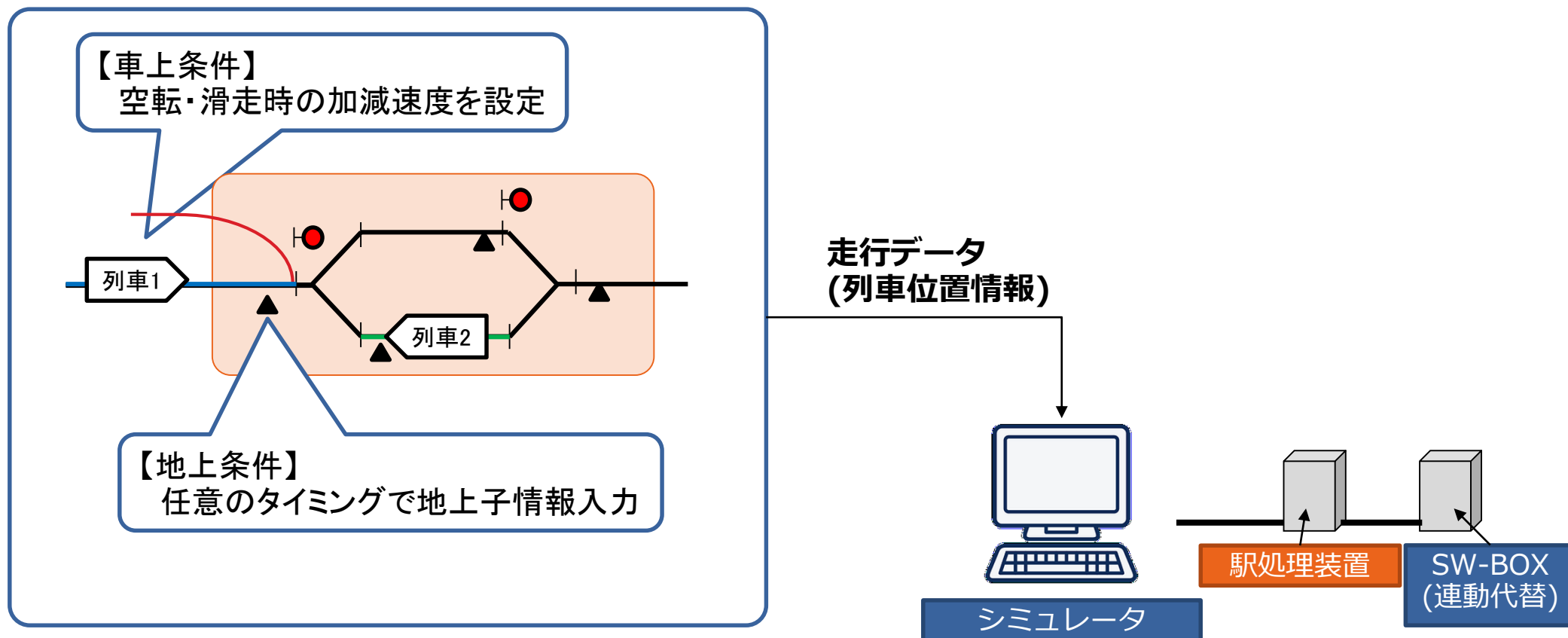


Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

■工場内での模擬走行試験

空転・滑走は現車試験で意図的に発生させるのが難しいため、モニタランで発生を期待するのではなく、車両を模擬するシミュレータを用いて、工場内で以下の模擬走行試験を実施する。

模擬走行試験の構成



2. 開発工程

2.3 モニタランについて



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

■工場内での模擬走行試験

空転・滑走は現車試験で意図的に発生させるのが難しいため、モニタランで発生を期待するのではなく、車両を模擬するシミュレータを用いて、工場内で以下の模擬走行試験を実施する。

| 試験の目的 | 空転・滑走の設定箇所 | 設定内容 | 確認内容 |
|----------------------------------|--------------------------|--|------------------------------------|
| ①空転・滑走検知の論理が正しく組んでいることを確認するため | ・加減速が発生する場所 ・勾配が大きい場所 | ・空転(検知可能) ・滑走→再粘着(検知可能) ・滑走→停車(検知可能) | ・列車位置が在線範囲から逸脱しないこと |
| | | ・微小空転(検知不可) ・微小滑走→再粘着(検知不可) | |
| ②システムとして空転・滑走への対応ができていることを確認するため | ・加減速が発生する場所 ・地上子通過直後 | ・別事業者での空転・滑走の時間に準ずる空転・滑走 | ・走行不可能な状況が発生しないこと ・速度制限を超過しないこと |



3. 前回の技術評価検討会



令和3年11月に行われた「第4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」で頂いたご意見として、以下のようなものがあった。

※実証試験に関わるご意見は以前のものも掲載

○実証試験

- ・列車の在線検知の実現手段に対し、「車上の列車位置情報を無線で受信して実現する」方式にすることで、列車検知のタイミングが変化すると思う。軌道回路と無線の場合の列車検知の差を実証試験で確認して欲しい。
- ・地方鉄道で使用されている速度発電機(TG)は、都市部で使用されているTGに対して精度が低い場合が多い。そういったTGをそのまま使えるのかなど、TGに必要な機能や性能を整理して欲しい。

→実証試験の結果部分で説明させていただきます。



3. 前回の技術評価検討会



○実証試験

・実証試験は専用無線で実施する構成になっているが、一部だけでも4Gを使用し
て試験が出来たりしないか。

→無線伝送はシステムの制御と分離しており、システムとしては4Gの使用も可能
ですが、伝送手順の変更により、地上/車上のソフトの改修量が大きいため難しい
です。

○システム

- ①列車位置検知について
- ②それぞれの装置を起動/再起動した場合のシステムの動作
- ③他システムから今回のシステムへの進入、進出時の動作
- ④安全性評価の中身(全体がわかるように)
を説明して欲しい。

→承知いたしました。



4. システムの動作

4. 1 基本動作



詳細な報告に移る前に、システムの概要を再度説明します。

- ①基本動作
- ②列車位置検知
- ③駅間での車上・地上装置の再起動
- ④システムへの進入・進出
- ⑤踏切機能



4. システムの動作

4.1 基本動作



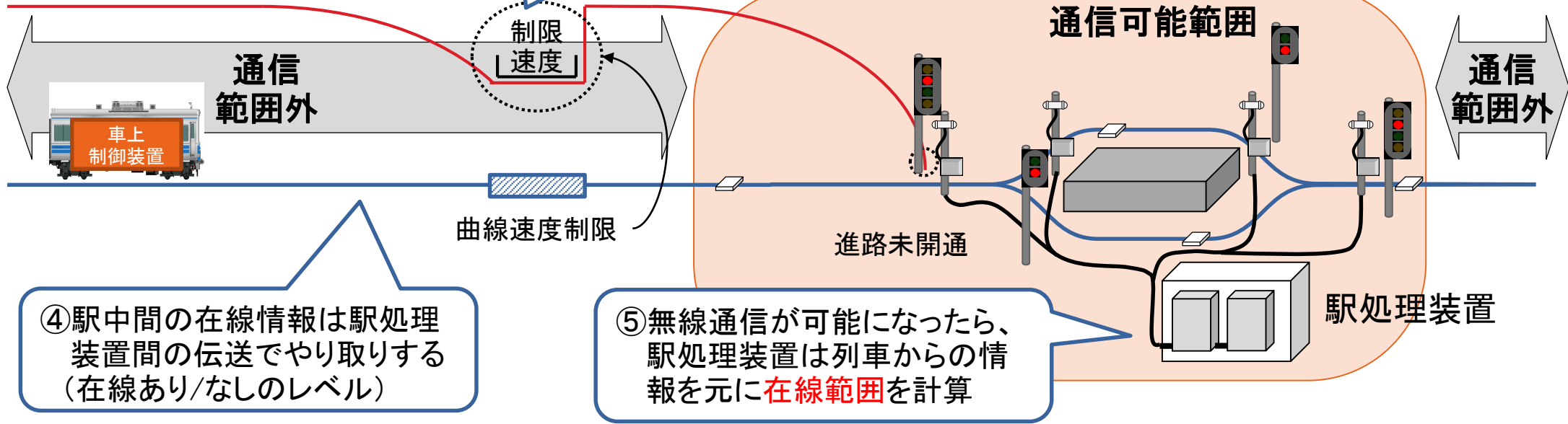
システムの基本機能

① 車上制御装置は常に
自列車位置を計算

② 車上制御装置は車上DBを基に
速度制限パターン、信号パターン(停止)を作成

③ 車上制御装置は駅処理装置からの情報
を基に信号パターンを更新

列車保安制御パターン



閉そくは固定閉そくを基本とし、場内・出発信号機が停止点となる。



4. システムの動作

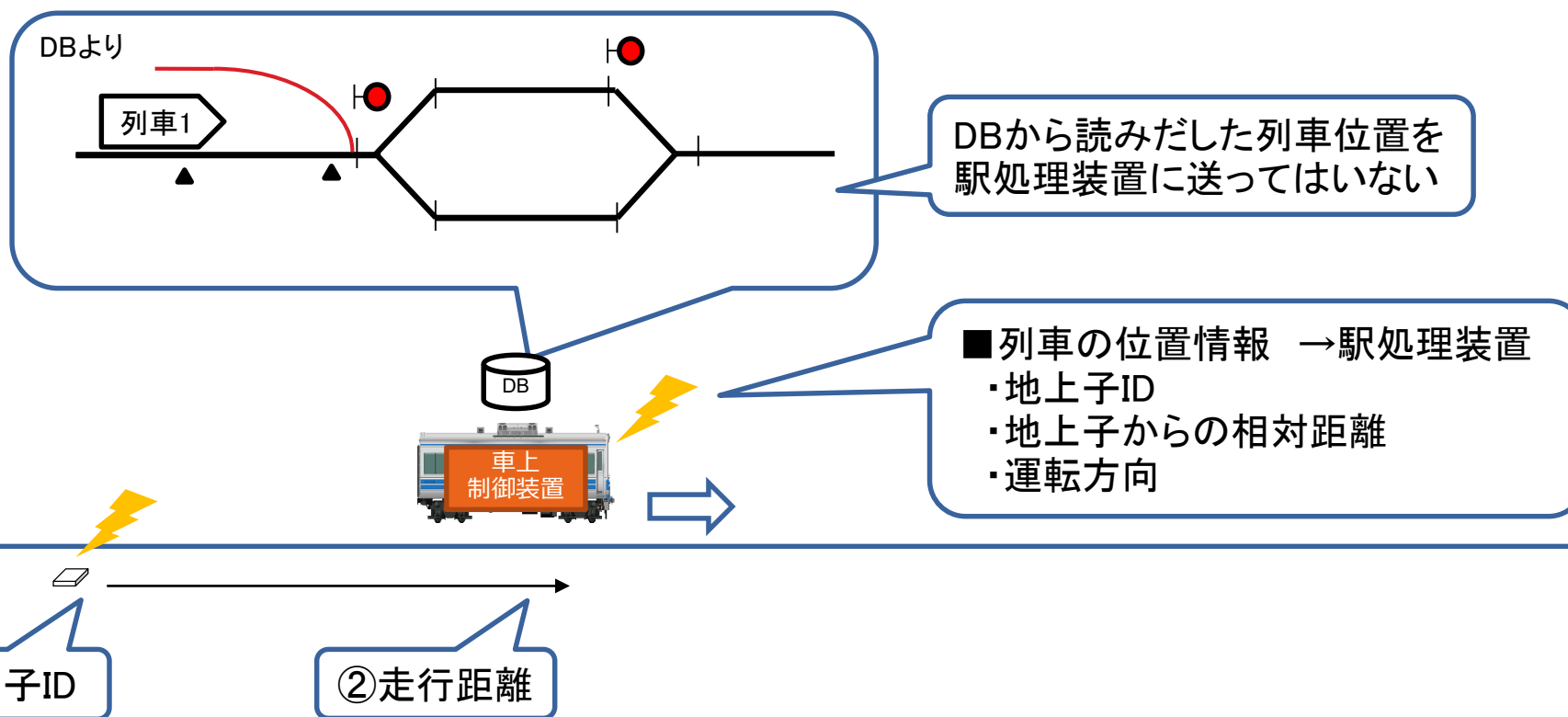
4.2 列車の位置検知(車上)



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

車上装置は最後に受信した地上子のID(①)と、速度発電機を用いて算出したそこからの走行距離(②)を地上装置に無線で送信している。

また、DBから線路データを読み出し、自列車位置を把握してDBからパターンを発生させる。



4. システムの動作

4.2 列車の位置検知(地上)



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

地上装置は無線で受信した列車の位置情報に以下のようなマージンを加えて、列車が存在するであろう範囲＝在線範囲を算出している。

在線範囲のマージン＝①固定値＋②距離誤差＋③空転・滑走誤差＋④通信遅延誤差

| 項目 | 内容 |
|----------|--|
| ①固定値 | データベースの登録誤差によるもの。 |
| ②距離誤差 | 速度発電機の誤差によるもの。 最後に受信した地上子からの走行距離に応じて在線範囲を拡大する。 |
| ③空転・滑走誤差 | 空転・滑走によるもの。 車上装置で空転・滑走の発生を検出し、発生時は在線範囲を拡大する。 |
| ④通信遅延誤差 | 車上～地上間の通信遅延によるもの。 車上装置が位置情報を作成した時間と現在の時間の差分に応じて在線範囲を拡大する。 |

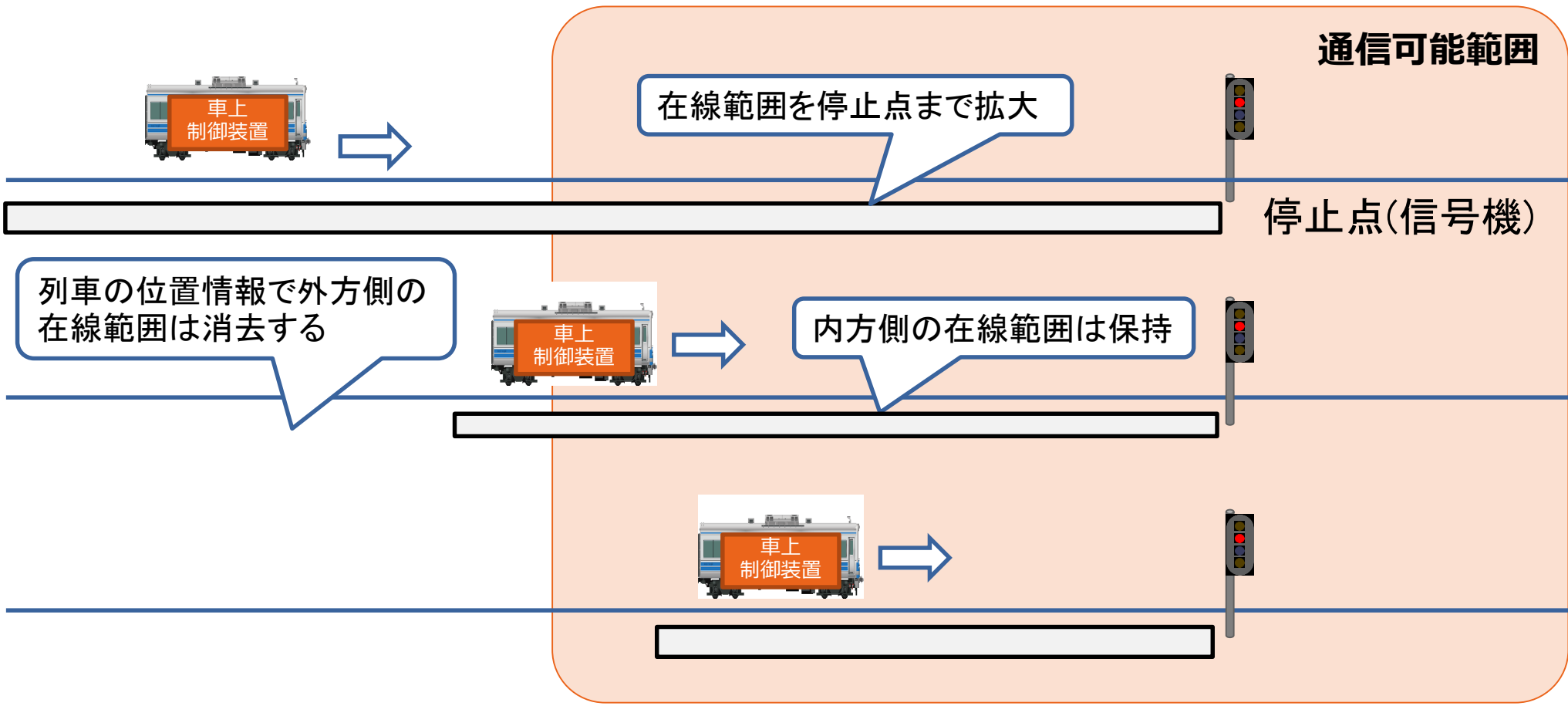


4. システムの動作

4.2 列車の位置検知(地上: 駅中間)



駅中間で通信ができない場合は、進行を許可した停止点まで在線範囲を拡大しつづける。
列車からの位置情報を受信したら、在線範囲の外方側は在線を消去し、在線範囲の内方側は連動の誤動作を防ぐために軌道リレー相当の落下を保持する。



4. システムの動作

4.3 車上装置の再起動



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

列車が駅間にいる状態で車上装置を再起動した場合、システムとしては以下の動作になる。

①車上装置：再起動により列車の位置を失うため、位置未確定となる。

位置未確定では低速の頭打ちパターンが発生する。

②駅処理装置：隣駅から受信した在線情報により、駅中間を在線状態としている。

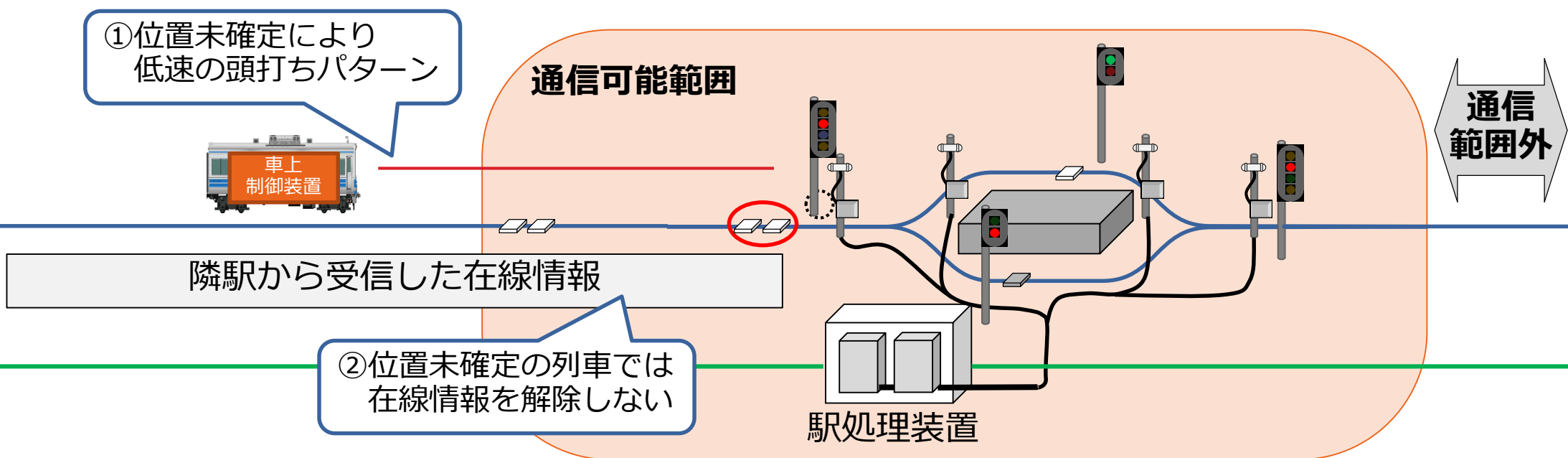
位置未確定の列車と通信しても駅中間の在線状態を継続する。

③車上装置は場内手前の地上子（図：赤丸）で位置確定するため、位置未確定の状態では在線範囲を越えることはない。

→地上子は2個置きし、1個故障しても空振らないようにする。

→車上装置でDBと地上子が不一致したら、地上装置に地上子故障情報を送信する。

赤字：安全に関わる機能



4. システムの動作

4.4 地上装置の再起動



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

列車が駅間にいる状態で駅処理装置を再起動した場合、システムとしては以下の動作になる。

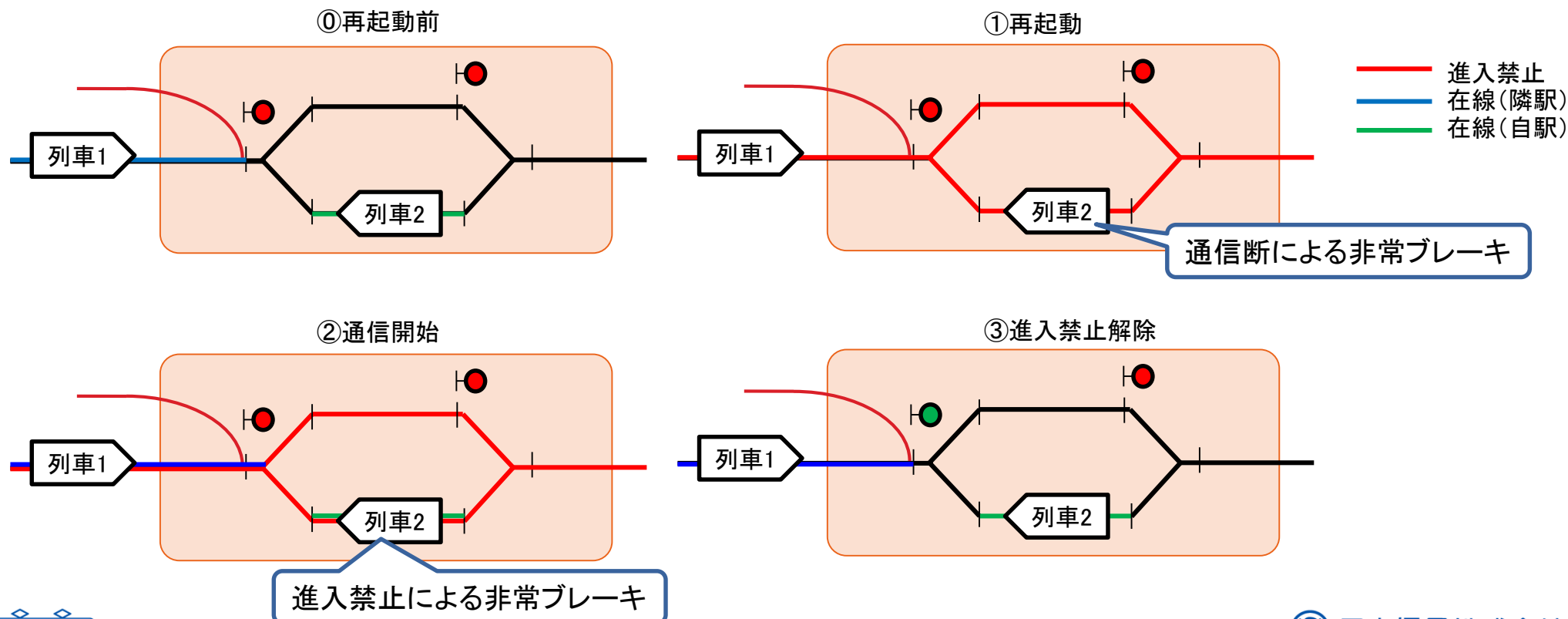
■ 駅処理装置

① 駅処理装置で異常発生時、指令は全編成の在線位置を確認した上で装置を再起動する。

① 再起動で列車の位置を失うため、**担当の全箇所を進入禁止状態で起動する。**

② 通信が可能な列車は在線が再設定されるので、指令は在線箇所を確認する。

③ 電源未投入など通信が不可能な列車の在線は**指令が手動で設定し、**
全編成の在線が設定できていることを確認して**全区間の進入禁止を解除する。**



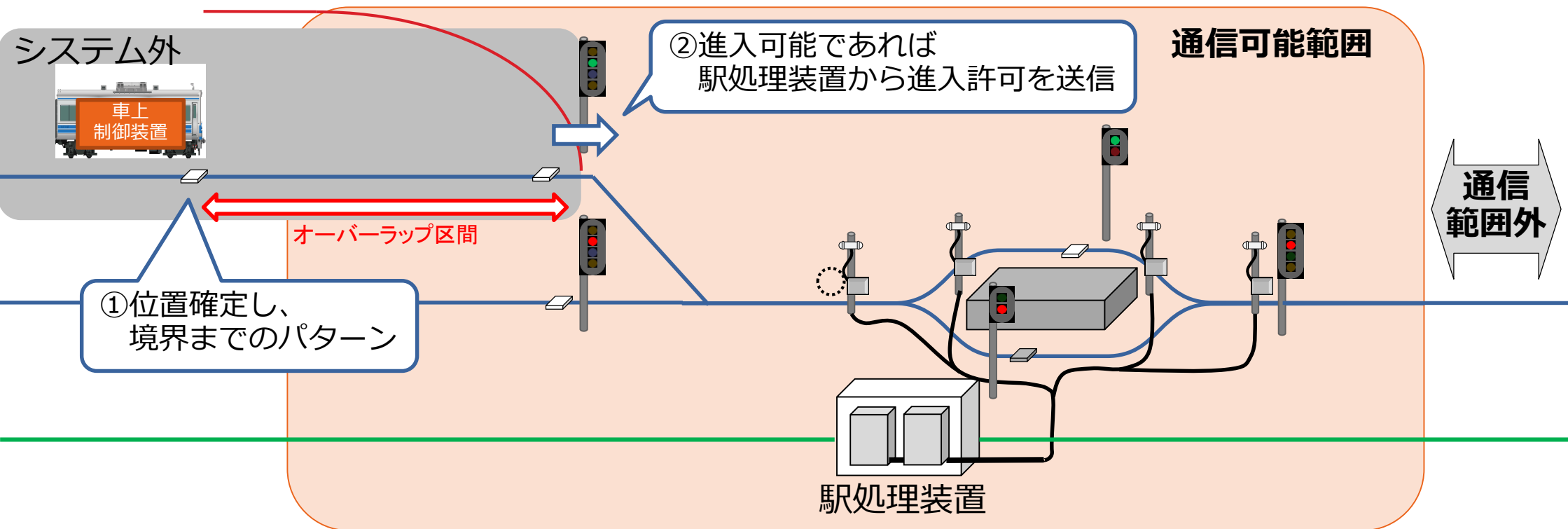
4. システムの動作

4.5 システムへの進入



システム外から列車が進入する場合、システムとしては以下の動作になる。

- ①車上装置：システム外に設置した地上子で位置確定し、駅処理装置に自列車位置を送信する。
※システムが切り換わらない場合、システム外の保安装置がシステム境界で停止させる
- ②駅処理装置：車上装置の位置情報を受信し、システムへの進入可否を判断する。
進入可能な場合は車上装置に進入許可を送信する。
- ③車上装置：システムへの進入許可を受信したら、許可された場所までのパターンに更新。
- ④駅処理装置：システム内に進入した車上装置の位置情報を受信し、列車の在線を管理する。
進入許可を出していない列車が湧き出した場合は非常ブレーキ指令を送信する。



4. システムの動作

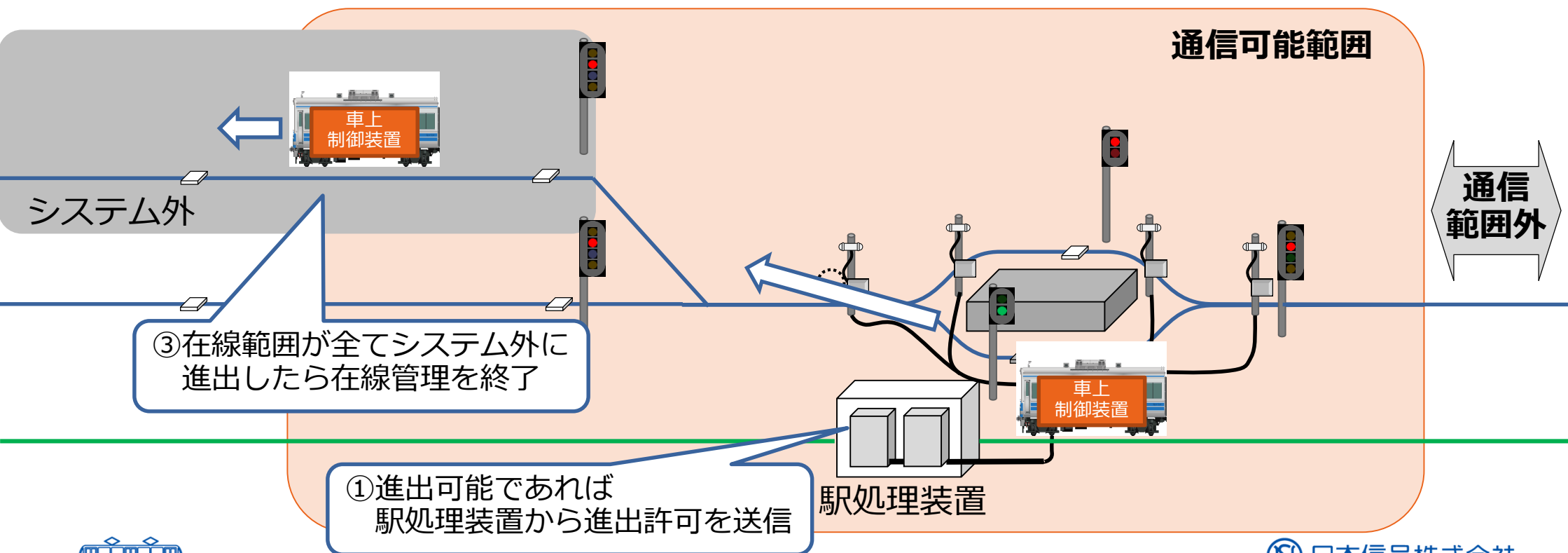
4.6 システムからの進出



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

システム外に列車が進出する場合、システムとしては以下の動作になる。

- ① 駅処理装置：システム外の保安装置から進出の可否を受信し、進出が可能な場合は車上装置に進出許可を送信する。
- ② 車上装置：システムからの進出許可を受信したら、許可された場所までのパターンに更新。
- ③ 駅処理装置：列車の在線範囲が全てシステム外に進出したら、車上装置との通信を切断して対象の編成の在線情報の管理を終了する。



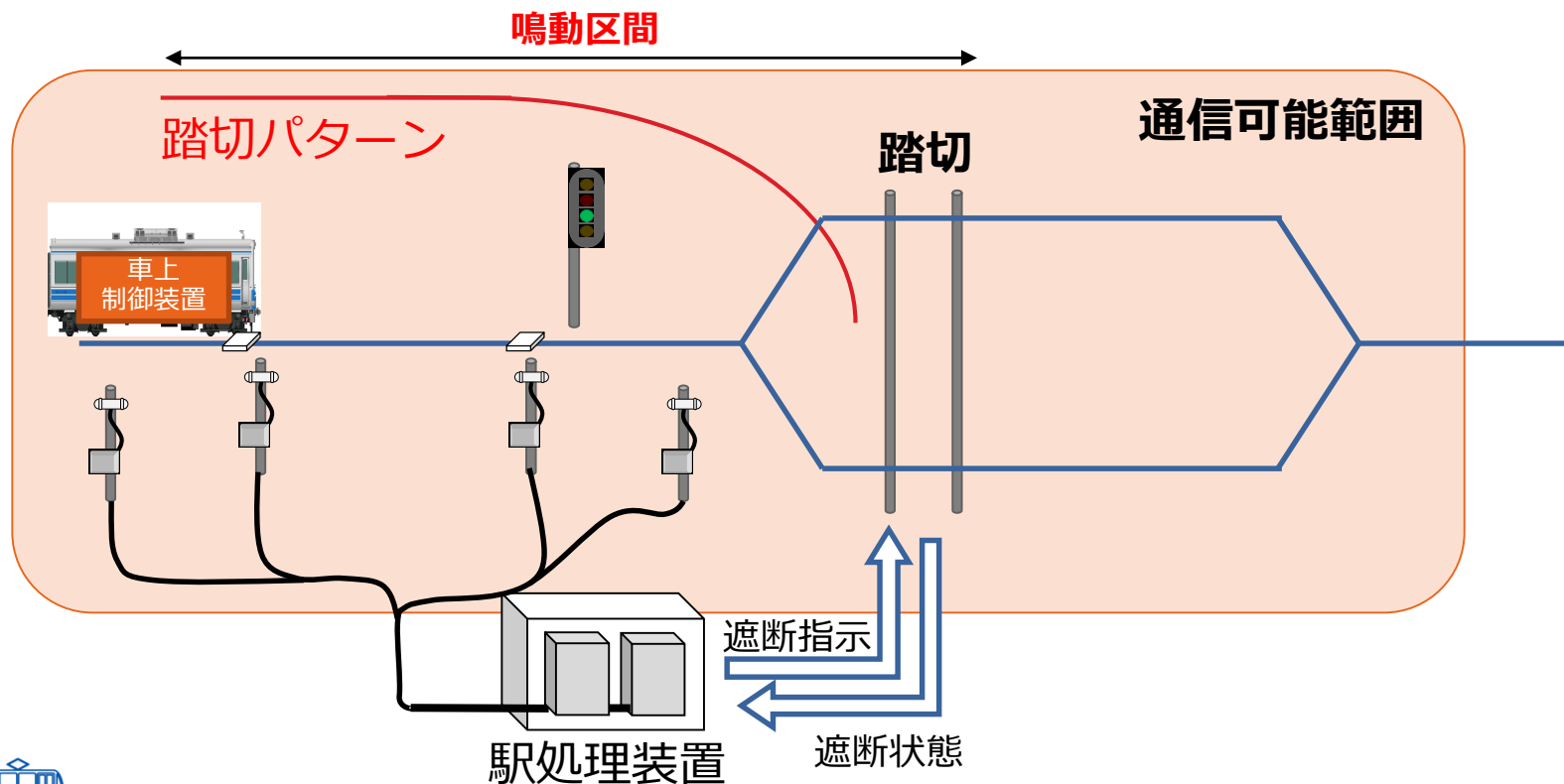
4. システムの動作

4. 7 踏切機能



踏切制御は以下の動作になる。

- ①車上装置：データベースから踏切の位置を読み出し、そこまでのパターンを発生する。
- ②駅処理装置：列車の在線範囲が鳴動区間に入ったら、踏切に遮断指示を送信する。
※今回の試験は仮想踏切制御子だが、将来的には定時間制御を予定
- ③駅処理装置：踏切が遮断完了したら車上装置に遮断完了を無線で送信する。
- ④車上装置：遮断完了を受信したら、踏切までのパターンを消去する。
- ⑤駅処理装置：列車の在線範囲が全て踏切の内方に進出したら、踏切への遮断指示を解除する。



5. 安全性評価

5.1 安全性評価(総評)



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

システムの試験項目を整理し、鉄道総研殿に評価を頂いた。 ※試験項目は別紙参照

鉄道総合技術研究所殿報告書 概要(抜粋)

- 試験項目を抽出する考え方は妥当といえる。
- 具体的な試験方法については未整理であり、試験項目の十分性については、具体的な試験方法を含めて確認する必要がある。
- 各試験項目には通し番号が付与され、トレーサビリティを管理する観点で必要な対策が取られているといえる。

試験項目インプット一覧

| No. | インプット資料 | 確認内容 |
|-----|----------|--|
| 1 | 安全性の考え方 | 記載内容を分解し、対応する試験項目を検討した。 |
| 2 | FTA | 制約ゲートに対応する試験項目を検討した。 ※全て安全関連 |
| 3 | FMEA | 各項目の知得方法と対策が実現できていることを確認する試験項目を検討した。 ※全て安全関連 |
| 4 | データベース仕様 | 各項目に対応する試験項目を検討した。 |



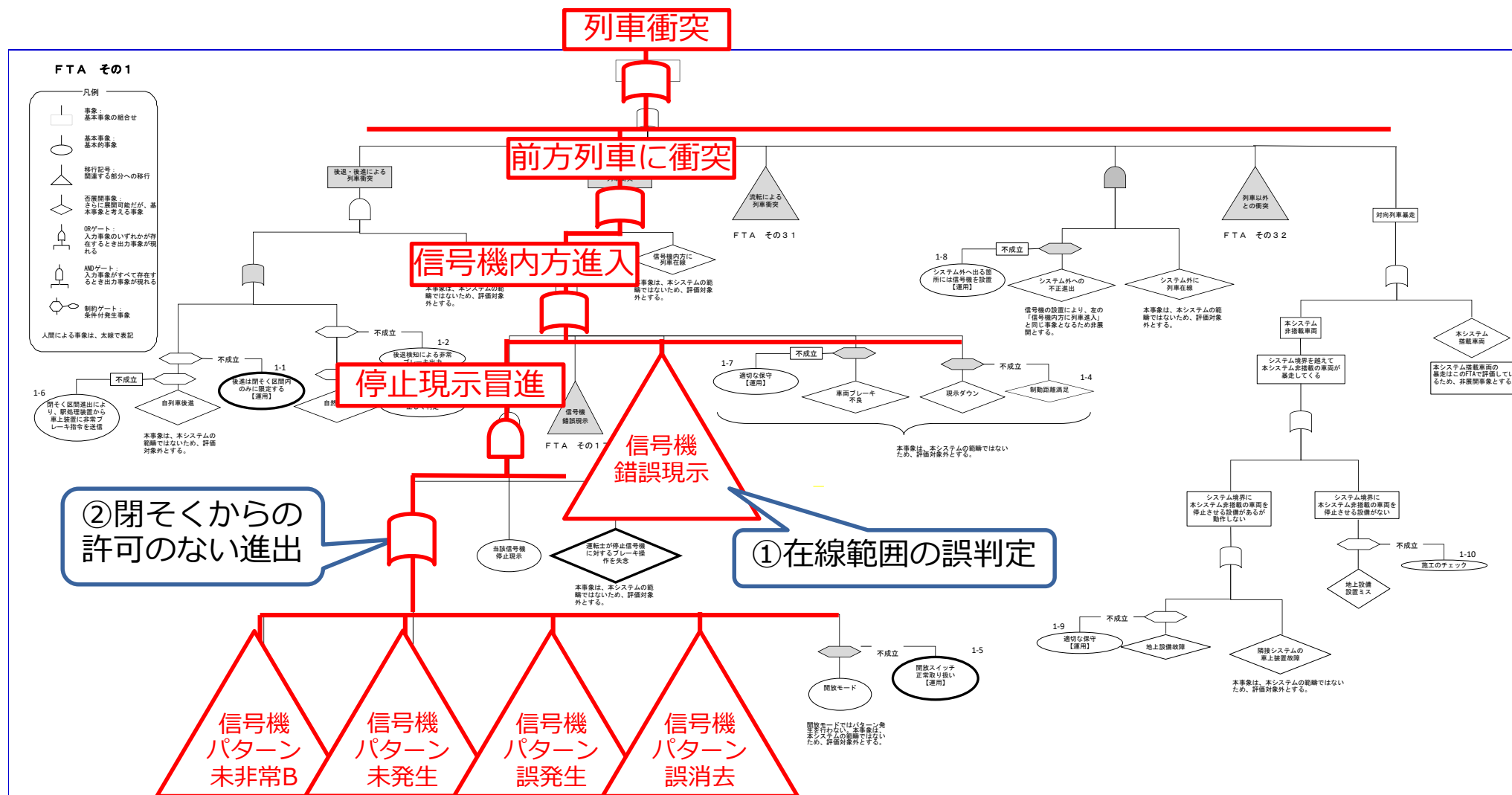
5. 安全性評価

5.2 FTA (衝突)



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

FTAで衝突、脱線、踏切未遮断をトップ事象として本システムの安全性を確認したが、列車検知を車上装置の位置情報を無線通信で受信して行うシステムであるため、次の①～③がその中核となった。



5. 安全性評価

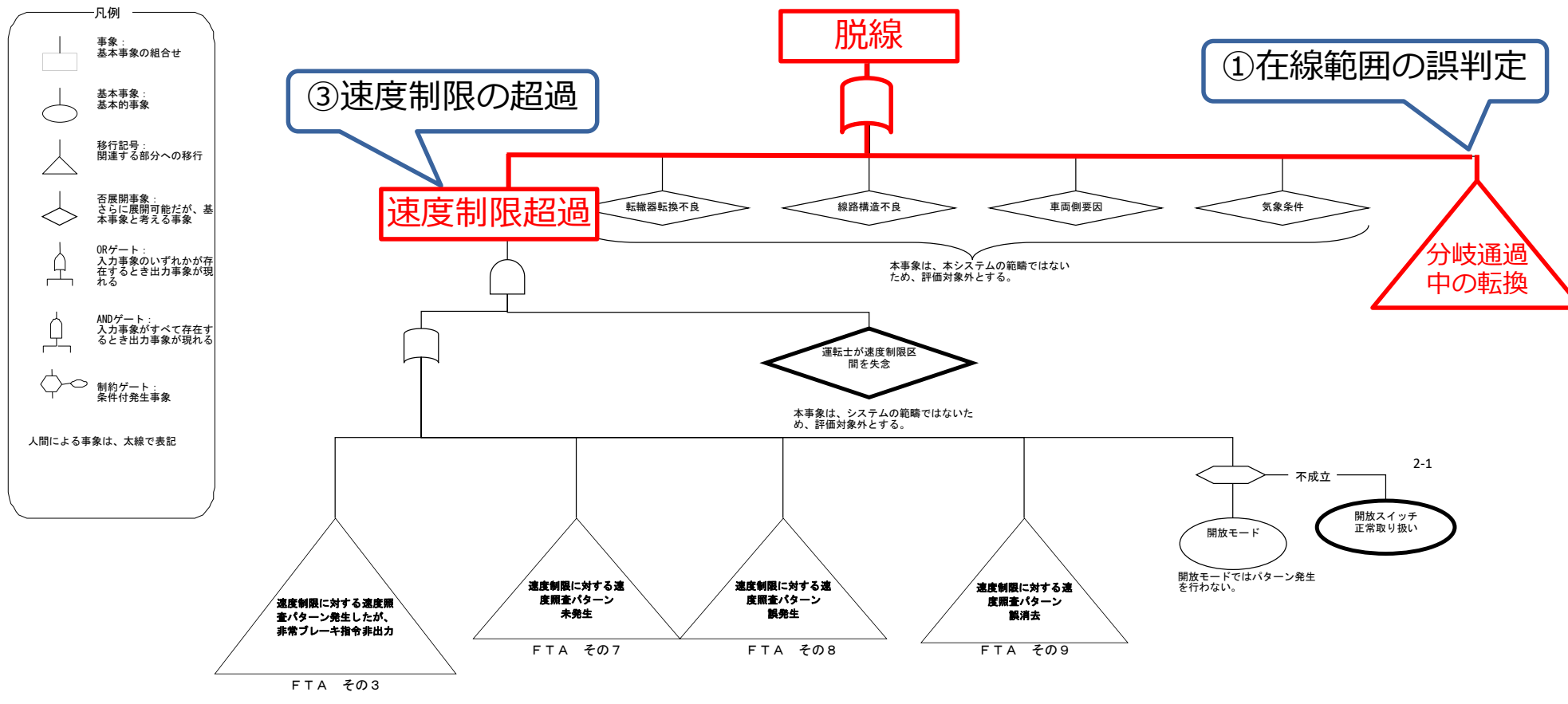
5.2 FTA (脱線)



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

FTAで衝突、脱線、踏切未遮断をトップ事象として本システムの安全性を確認したが、列車検知を車上装置の位置情報を無線通信で受信して行うシステムであるため、次の①～③がその中核となった。

FTA その2



5. 安全性評価

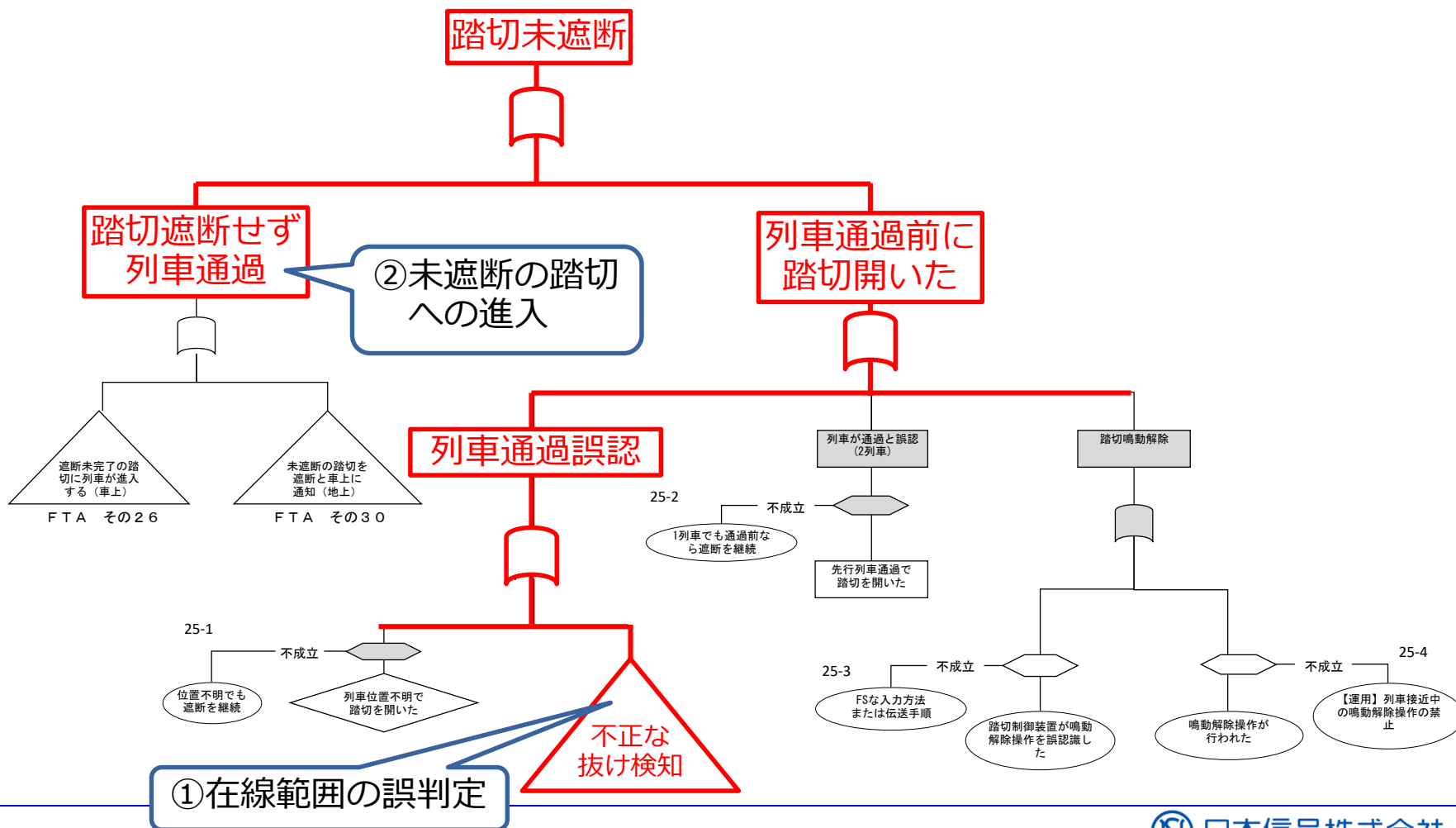
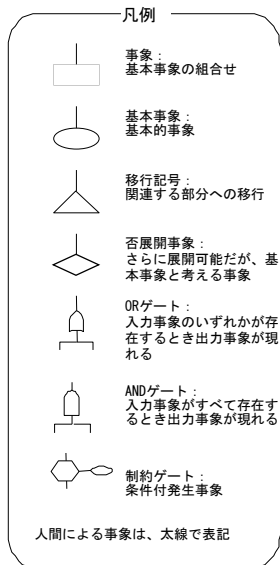
5.2 FTA (踏切未遮断)



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

FTAで衝突、脱線、踏切未遮断をトップ事象として本システムの安全性を確認したが、列車検知を車上装置の位置情報を無線通信で受信して行うシステムであるため、次の①～③がその中核となった。

FTA その25



5. 安全性評価

5.2 FTA (制約ゲート①)



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

「在線範囲の誤判定」に関する制約ゲートを以下に示す。
これらは衝突、脱線、踏切未遮断の全てに関わる内容である。

「在線範囲の誤判定」に対する制約ゲート一覧

| No. | 制約ゲート | 確認内容 | 確認項目 (別紙参照) |
|------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1-1 | 在線範囲の誤差を安全側で計算 | 列車位置が在線範囲の中に収まること | 3-5,3-7, 3-35 |
| 1-2 | データの正当性のチェック | データベースの値が正しいこと | 1-3~1-11 |
| 1-3 | 無線情報のチェック | 車上~地上の通信が正しく行えること | 7つの脅威 対策 |
| 1-4 | 速度発電機のチェック | 走行距離・方向が正しいこと | 1-2 |
| 1-5 | 運転方向/運転台条件のチェック | 走行方向が正しいこと | 1-12,1-13 |
| 1-6 | 地上子・電文のチェック | 電文を正しい位置で受信できること | 1-1,5-11 |
| 1-7 | 中間在線情報のチェック | 中間の在線状態が正しいこと | 3-15,3-16 |
| 1-8 | 起動時は全区間を在線設定する | 全区間が在線状態になること | 3-1 |
| 1-9 | 車上位置未確定でも地上で 在線を保持・拡大する | 在線の解除や在線範囲からの逸脱が発生し ないこと | 5-8,5-9 |
| 1-10 | フェールセーフ出力の使用 | 誤出力が発生しないこと | 1-11 |



5. 安全性評価

5.2 FTA (制約ゲート②)



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

「閉そくからの許可のない進出」「未遮断の踏切への進入」に関する制約ゲートを以下に示す。
これらは衝突、踏切未遮断に関わる内容である。

「閉そくからの許可のない進出」「未遮断の踏切への進入」制約ゲート一覧

| No. | 制約ゲート | 確認内容 | 確認項目 (別紙参照) |
|-----|---|----------------------------------|----------------|
| 2-1 | 閉そく区間進出のチェック | 閉そく区間進出(冒進)を検出できること | 3-39 |
| 2-2 | パターン発生の上限数チェック | パターン発生数の上限を超えていないこと | 3-22 |
| 2-3 | パターン再発生条件のチェック | パターンの再発生が行われること | 5-2,5-7 |
| 2-4 | 頭打ちパターンの発生 (位置未確定/入換) | 正確な列車位置を確定できない場合に、頭打ちパターンが発生すること | 3-25 |
| 2-5 | 外部入力条件のチェック (信号現示/転てつ器開通方向 /踏切遮断状態) | 外部入力条件を正しく受け取れること ※異常時は安全側 | 1-8~1-13 |
| 2-6 | 列車位置と進行許可のチェック | 受信した進行許可と列車位置が一致すること | 3-11 |
| 2-7 | 無線情報のチェック | 車上~地上の通信が正しく行えること | 7つの脅威対策 |
| 2-8 | 入換/開放モードのチェック | 意図しないモードにならないこと | 3-25,3-26,3-29 |



5. 安全性評価

5.2 FTA (制約ゲート③)



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

「速度制限の超過」に関する制約ゲートを以下に示す。
これらは脱線に関わる内容である。

「速度制限の超過」制約ゲート一覧

| No. | 制約ゲート | 確認内容 | 確認項目 (別紙参照) |
|-----|--------------------------|----------------------------------|----------------|
| 3-1 | パターン発生の上限数チェック | パターン発生数の上限を超えていないこと | 3-22 |
| 3-2 | パターン再発生条件のチェック | パターンの再発生が行われること | 3-24,3-26 |
| 3-3 | 頭打ちパターンの発生 (位置未確定/入換) | 正確な列車位置を確定できない場合に、頭打ちパターンが発生すること | 3-25 |
| 3-4 | 速度発電機のチェック | 走行距離・方向が正しいこと | 1-2 |
| 3-5 | 運転方向/運転台条件のチェック | 走行方向が正しいこと | 1-12,1-13 |
| 3-6 | 地上子・電文のチェック | 電文を正しい位置で受信できること | 1-1,5-11 |



5. 安全性評価

5.2 FTA (制約ゲート④)



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

制約ゲートのうち、工場内試験のみとしたものを以下に示す。

※模擬走行試験で確認

工場内試験のみで確認した制約ゲート一覧

| No. | 制約ゲート | 工場内試験とした理由 | 確認項目 (別紙参照) |
|-----|---------------------------|--------------------|----------------|
| 1-1 | 在線範囲の誤差を安全側で計算 (空転・滑走) | 空転・滑走が現車試験で発生しなかった | 3-7 |
| 1-3 | 無線情報のチェック | 異常な伝送を実現できないため | 7つの脅威 |



6. 現車試験

6.1 現車試験結果(令和3年度)



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

令和3年度 現車試験結果

| 分類 | 内容 | 結果 | 確認項目 |
|-----------|------------------|----------|---------------|
| 基本動作 | 大雄山駅⇄相模沼田駅の走行 | 否 → 良(*) | 3-24,3-27 他 |
| | 大雄山駅での折り返し | 良 | 3-36 |
| | 入換モードの動作 | 良 | 3-25,3-29 |
| | システムへの進入/進出 | 否 → 良(*) | 3-20,3-21 |
| 安全性に関わる内容 | 無線通信異常(必須区間、駅中間) | 良 | 5-1,5-2 他 |
| | 滞泊⇒誤出発 | 良 | 3-39 |
| | 地上装置起動時/故障時の動作 | 良 | 3-1,5-4,5-5 他 |
| | 駅間通信異常 | 良 | 5-3 |
| 現地特有 | 列車位置検知精度 | 否 → 良(*) | 4-1~4-10 |
| | 無線通信環境 | 否 → 良(*) | 2-1~2-15 |
| | 連動装置とのIF(タイミング) | 否 → 良(*) | 4-1~4-10 |

* 否となった項目は令和4年度に再試験を実施して良になった。
詳細は次ページで説明する。



6. 現車試験

6.1 現車試験結果(令和3年度)

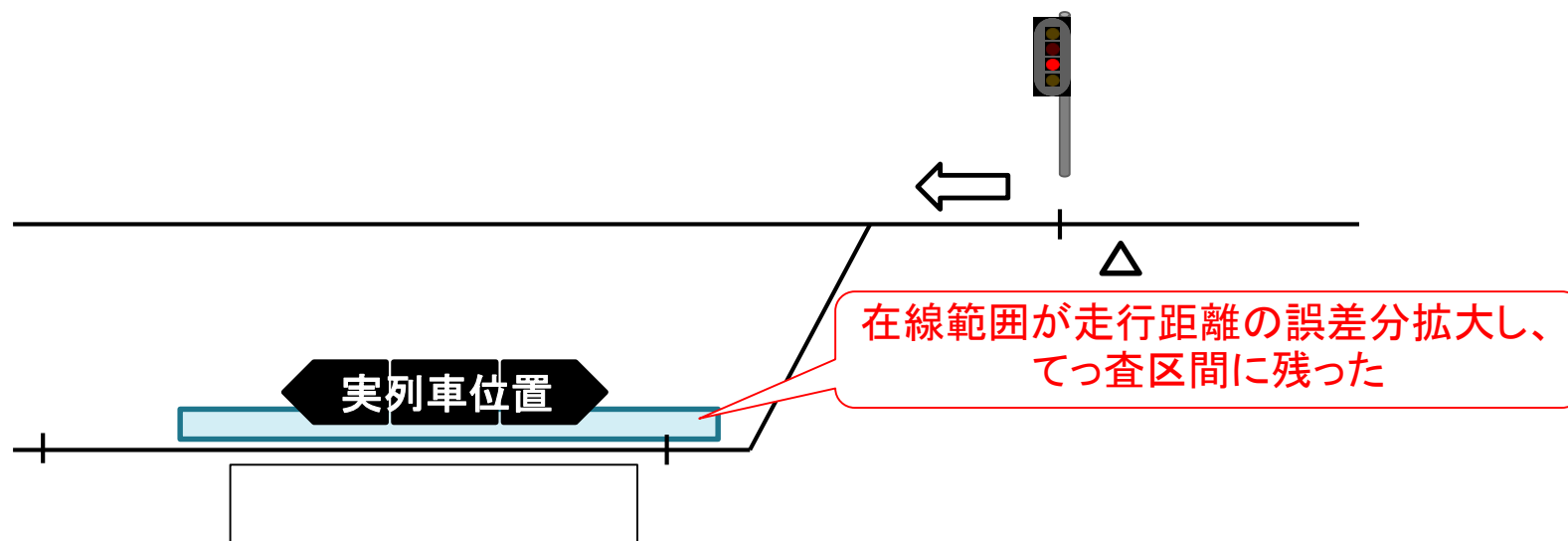


Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

■令和3年度走行試験の結果(まとめ)

否となった原因は大きく2つだった。

- ①無線機やソフトの不具合で通信不良が発生し、在線範囲が不要に拡大した。
→システムによらない内容であるため説明は割愛する。
- ②列車位置検知精度の低下により、ホーム停車時にてっ査区間を抜けなかったり、てっ査区間を抜けるまで軌道回路と比べて時間がかかる事象が発生した。



この在線範囲の拡大は、地上子からの走行距離に応じた誤差が原因であった。
対策を検討した結果を次ページに示す。



6. 現車試験

6.2 在線範囲拡大の対策について



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

■ 距離誤差による在線範囲拡大の対策

- ① マーカー(位置確定用地上子)を追加で設置する。
- ② 既設の変周式地上子で位置補正ができるようにして、走行誤差をリセットする。
- ③ 速度発電機の誤差率の見直し。
- ④ 列車の停車位置を軌道境界から離れる側に移動する。
- ⑤ 地上子、速度発電機以外の手段で位置補正を実施する。

| | 実現性 | コスト | 備考 |
|---------------|-----|-----|-------------|
| ① マーカー追加 | ◎ | △ | 設備増加が目的と不一致 |
| ② 変周式地上子で位置補正 | ○ | ○ | |
| ③ 速度発電機誤差率見直し | ○ | ◎ | |
| ④ 停車位置移動 | △ | △ | |
| ⑤ 新たな位置補正手段 | ※ | ※ | 将来的に必要な技術 |

本開発の目的を鑑み、③を選択した。

昨年度の現車試験における車上での位置検知精度(実績)が0.5%であったため、地上装置での在線範囲のマージンを5%→1%に変更して対応した。

※他システムにおいて1%で使用している実績あり



6. 現車試験

6.2 在線範囲拡大の対策について



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

■ 速度発電機の誤差率見直しについて

誤差率のマーヅンを減らしても、実際の列車位置が在線範囲に含まれるように、距離誤差が増える要因ごとに以下の対策を検討している。

| 項目 | 対策 |
|-------------|--|
| 速度発電機の種類、車種 | 長期走行でデータを取得し、使用する速度発電機での誤差率が1%未満であることを確認する。 データ取得自体は事業者個別の内容であるため、今回の開発としてはデータ取得の方法、注意点の整理までを報告範囲とする。 |
| 車輪径測定、設定 | 長期走行で車輪径の減少スピードを確認し、適切な車輪径の測定周期を制定する。 また、実測した地上子間の距離とデータベースの距離を用いた車輪径の補正も検討する。 |
| 微小な空転・滑走 | 地上子間距離で距離誤差をチェックし、規定値を超えた場合は安全側動作とする。 |



6. 現車試験

6.2 在線範囲拡大の対策について



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

■速度発電機(TG)について

都市圏で使用している高精度の速度発電機と、地方で使用されている低精度の速度発電機を比較し、今回のシステムにおける要件について整理した。

| 項目 | 使用目的 | ①パルス数 | ②走行方向 |
|---------------|--------------|------------|--------------|
| 速度発電機(低精度) | 速度計 | 2pulse/回転 | × 検知不可(1巻き線) |
| 速度発電機(高精度1巻き) | 保安装置(パターン制御) | 90pulse/回転 | × 検知不可(1巻き線) |
| 速度発電機(高精度2巻き) | 保安装置(パターン制御) | 90pulse/回転 | ◎ 検知可能(2巻き線) |
| 今回の要件 | 保安装置(列車位置検知) | 90pulse/回転 | ◎ 検知必須 |

①パルス数

- ・低精度のTGの場合はパルス数が少なく、低速での位置誤差が大きくなる。
- ・地上子を増やせば低精度のTGでも制御は可能だが、「設備を減らす」方針と相反する。
- ・高精度のTGでも保証値(±5%)で使用するの難しく課題が残る。



6. 現車試験

6.2 在線範囲拡大の対策について



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

■速度発電機(TG)について

都市圏で使用している高精度の速度発電機と、地方で使用されている低精度の速度発電機を比較し、今回のシステムにおける要件について整理した。

| 項目 | 使用目的 | ①パルス数 | ②走行方向 |
|---------------|--------------|------------|--------------|
| 速度発電機(低精度) | 速度計 | 2pulse/回転 | × 検知不可(1巻き線) |
| 速度発電機(高精度1巻き) | 保安装置(パターン制御) | 90pulse/回転 | × 検知不可(1巻き線) |
| 速度発電機(高精度2巻き) | 保安装置(パターン制御) | 90pulse/回転 | ◎ 検知可能(2巻き線) |
| 今回の要件 | 保安装置(列車位置検知) | 90pulse/回転 | ◎ 検知必須 |

②走行方向

- ・列車位置検知に使用するので検知が必須となるため1軸のTGは不適。
- ・GPS、ミリ波速度計、加速度計などと組み合わせて安全を保証する方法が考えられるが、組み合わせる機器(の故障モード)によって異なる方法となる。

速度発電機以外の列車位置検知手法については各メーカー、事業者で考え方が異なるため、本開発としては、「精度の高い2巻き線の速度発電機を追加し、従来の低精度/1巻き線の速度発電機を故障検知用として使用する」方法を提案する。



6. 現車試験

6.3 現車試験結果(令和4年度)



令和4年度 現車試験結果

| 分類 | 内容 | 結果 | 確認項目 |
|-----------------------|-------------------|----|---------------|
| 基本動作 | 大雄山駅での折り返し(2編成) | 良 | 3-36 |
| | 中間駅でのすれ違い | 良 | 3-37 |
| | 先行列車ありの走行 | 良 | 3-38 |
| 安全性に関わる内容 (2編成在線時) | 無線通信異常(必須区間、駅中間) | 良 | 5-1,5-2 他 |
| | 滞泊⇒誤出発 | 良 | 3-39 |
| | 地上装置起動時/故障時の動作 | 良 | 3-1,5-4,5-5 他 |
| 現地特有 | 列車検知精度(TGや車輪径の違い) | 良 | 4-1~4-3 |
| | 無線通信環境(折返し、すれ違い) | 否 | 3-36,3-37 |
| | 連動装置とのIF(タイミング) | 良 | 4-4~4-9 |
| 踏切制御 | 踏切正常動作 | 良 | 3-12,4-10 |
| | 踏切異常動作(無遮断、通信異常) | 良 | 5-6~5-8 |

* 否となった項目については次ページで説明する。



6. 現車試験

6.3 現車試験結果(令和4年度)



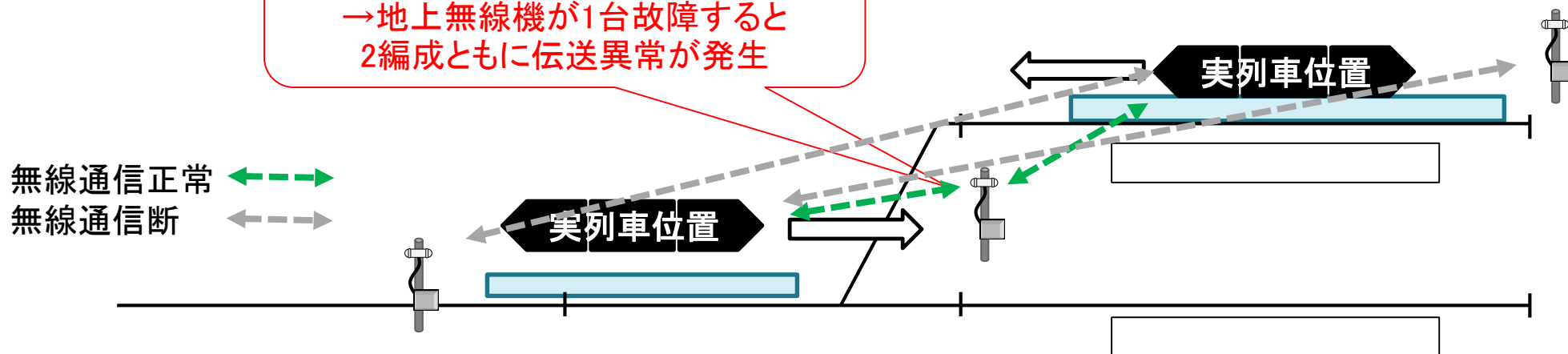
Copyright © NIPPON SIGNAL CO., LTD. ALL rights reserved.

■ 令和4年度走行試験の結果(まとめ)

- ① 2編成ですれ違い、折返しなどの走行試験を実施し、システムとしては正常に動作した。
- ② 踏切制御の走行試験を実施し、システムとして正常に動作した。
- ③ 無線通信が不安定になる場所があった。
→ 車上は進行方向1つ及び2つ先の地上無線機に電波を送信しているが、列車の車体による遮蔽と考える。

通信必須区間は地上無線機2台以上と接続可能な配置にしているが、無線機の故障などを考慮すると、列車が非常停止する可能性が残るため、無線機の追加、またはアンテナの設置箇所変更を検討している。

お互いの車体が邪魔で2編成とも
同じ無線機に接続している
→ 地上無線機が1台故障すると
2編成ともに伝送異常が発生



7. 冗長系の必要性について

7.1 車上装置



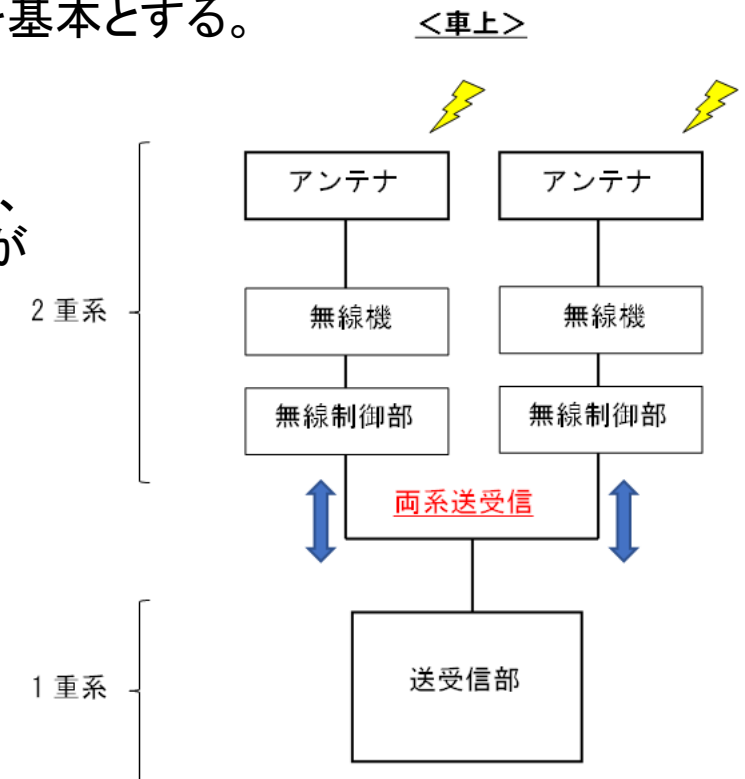
安全で安定した輸送が求められる鉄道事業において、近年、信頼性向上のために機器を2重系構成にする傾向がある。しかし今回は、コストダウンが目的の開発であるため、地方鉄道において本システムが必要最低限の冗長系で問題ないかを検討した。

■アンテナ、無線機、無線制御部

故障した際には当該列車のみならず、後続列車にも影響が波及する。
また、2重系にすることで通信の信頼性も上がるため、**2重系**を基本とする。

■送受信部

他事業者の類似装置は、1重系で10年以上の運用実績があり、無線式列車制御システムで運用しても**1重系**で十分安定運用が可能と考える。



7. 冗長系の必要性について

7.2 地上装置



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

地上装置の冗長構成について、標準的な構成としては以下を考えている。
※事業者の経営方針によっては全1重系も想定する

■アンテナ、無線機

機器としては**1重系**とし、無線通信必須区間では2台の地上無線機と接続可能な配置を基本とする。

■無線制御部

故障時に①②の列車に影響が波及するため、**2重系**構成を基本とする。

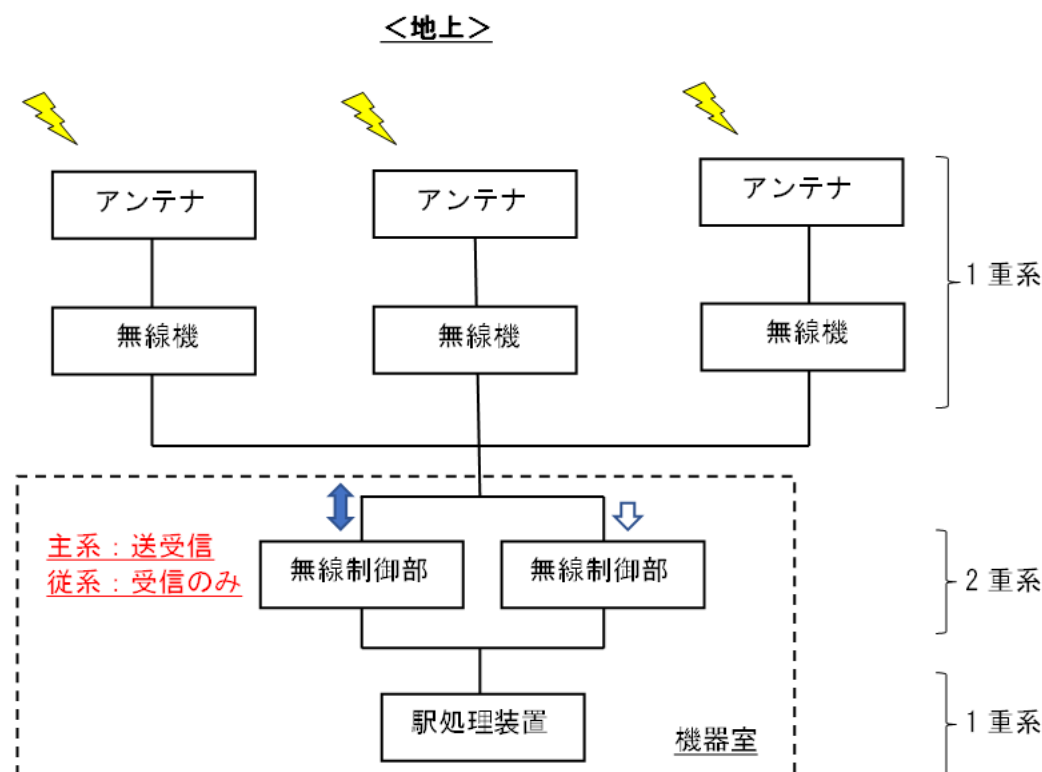
①当該駅に在線する列車全て

②当該駅に向かう列車全て

※送信は待機2重、受信は並列2重

■駅処理装置

他事業者の類似装置は、1重系で10年以上の運用実績があり、無線式列車制御システムで運用しても**1重系**で十分安定運用が可能と考える。



8. まとめ



| 項番 | 内容 |
|----|--|
| 1 | システム仕様、安全性の考え方を整理し、総研殿の安全性評価を受けた。 |
| 2 | 仕様書やFTAから試験項目と工場内、現車での実施を整理した。 |
| 3 | 工場内試験と現車試験を実施した。 |
| 4 | 位置認知精度に課題があり、地上設備を削減して保守費を軽減するために、速度発電機の誤差率を5%→1%に減らす方針とした。 【要件】高精度の速度発電機の採用と長期走行によるデータ取得が必須 |
| 5 | 2編成の試験において、無線通信が切れる事象が発生した。 システムとしてはそのまま走行できたが、安定性に課題があるため、無線機又はアンテナの配置を見直して再確認を実施する予定である。 |
| 6 | 本システムにおける標準的な冗長系構成を整理した。 【車上】送受信器1重系、無線機2重系 【地上】駅処理装置1重系、無線制御部2重系 無線機1重系(無線通信区間をオーバーラップさせる) |



9. 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年度に現車試験（導入前提） |
| 1 | 連続速度照査式（パターン式）ATS | 令和3年度に現車試験（導入前提） |
| 2 | 信号現示の車内点灯化 | 令和3年度に現車試験（試験のみ） |
| 3 | 車上検測機能 | 令和4年度に現車試験（試験のみ） |
| 4 | 無線による踏切制御 | 令和4年度に現車試験（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