

無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会 (第5回)

日 時：令和3年10月28日(木) 16時～17時半

場 所：(WEB)

一 議 事 次 第 一

1. 開 会

2. 議 事

- ・ 運輸安全委員会からの勧告等を受けた対応について
- ・ その他

3. 閉 会

《配布資料》

資料1 横浜シーサイドライン鉄道人身障害事故に関する運輸安全委員会からの勧告への対応

資料2 東京都、埼玉県で震度5強を観測した地震による日暮里舎人線の被害について

無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会
名簿

	会社名	役職等
座長	東京大学大学院	工学研究科電気系工学専攻 教授 古関 隆章
委員	(独)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
委員	(公財)鉄道総合技術研究所	研究開発推進部次長 平栗 滋人 車両制御技術研究部部長 山本 貴光
委員	横浜シーサイドライン	常務取締役技術部長 田中 耕
委員	東京都交通局	車両電気部長 野崎 慎一
委員	ゆりかもめ	執行役員技術部長 菅野 正平
委員	舞浜リゾートライン	取締役安全マネジメント推進担当部長 トランジット部長 渡邊 貴志
委員	愛知高速交通	常務取締役運輸技術部長 加藤 寿
委員	大阪市高速電気軌道	常務取締役交通事業本部長 堀 元治
委員	神戸新交通	取締役安全統括管理者 吉田 雅好
委員	国土交通省鉄道局	技術審議官 江口 秀二 技術企画課長 岸谷 克己 安全監理官 中谷 育夫

運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計にあたっての取組み（案）

1. はじめに

令和元年6月1日に株式会社横浜シーサイドライン新杉田駅構内で発生した鉄道人身傷害事故については、令和3年2月18日に運輸安全委員会から鉄道事故調査報告書が公表されるとともに、下記2. のとおり国土交通大臣に対して勧告がなされたところである。

これを受け、鉄道局においては、運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計にあたって検討すべき事項について、横浜シーサイドライン以外の6事業者等へ調査を行い、結果を下記3. にとりまとめたところ、以下に示すものである。

2. 運輸安全委員会からの勧告（令和3年2月18日）の概要

運輸安全委員会の事故調査報告書においては、「近年ますます複雑化が進む車両の設計において、鉄軌道における運転士又は前頭に緊急停止操作を行う係員が乗務しない列車の自動運転システム等の設計及び製造並びに改造にあたっては、システムインテグレーションを実施する設計体制を構築した上で、危険な事象につながる条件を設計前に欠落なく抽出・評価し、その対策を安全要件事項として反映することが重要であり、製造や運用を含めたライフサイクル全体を対象とした安全監理が必要である。その中で、鉄軌道事業者及び車両メーカー等はより慎重に設計前に設計体制等の確認や調整、安全要件の抽出のフェーズを設け、それぞれを十分に実施し、設計後等に安全性の検証を十分に行うべきものと考えられる。」とされた上で、以下の4項目が勧告されている。

- 1) 運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計にあたっては、設計・製造プロセスを参考に、「設計体制等の確認や調整」、「安全要件の抽出」、「安全性の検証」の各フェーズを設け、それぞれを十分に実施する。
- 2) 「設計体制等の確認や調整」のフェーズでは、システムインテグレーションを実施する設計体制を構築し、その中で会社間の役割や責任分担、各装置に対し各会社が標準としている仕様あるいは一般的と認識している仕様などを確認し調整する。
- 3) 「安全要件の抽出」のフェーズでは、発生が想定される異常状態に対して、網羅的な安全性の確認がなされるよう、システムの特성에応じて、体系的な安全性解析などを実施し、安全確保に必要な要求事項等を整理する。
- 4) 「安全性の検証」のフェーズでは、上記3)で抽出した安全要件などについて、システム全体が十分に安全性を確保しているかなど、設計の結果を検証する。

※システムインテグレーション：

地上設備を含めた全体システムを俯瞰し、各装置の目的、仕様、特徴を踏まえたうえで、関係者の統一された認識の下、不具合の発生しうる様々な状況を想定し、安全性の高い車両に構成することを言う。

3. 運輸安全委員会への勧告に対する各フェーズへの対応について

今般、上記に示された3つのフェーズ、すなわち「設計体制等の確認や調整」、「安全要件の抽出」、「安全性の検証」について、運転士が乗務しない鉄軌道事業者や車両メーカー（以下「事業者等」という。）への調査を実施した結果、設計当時には、現在用いられているFTA^{※1}やFMEA^{※2}などの手法による検証が行われていなかった路線もあったが、各事業者等からは当時の知見に基づいてそれらに類似する安全要件の抽出、またその検証作業が行われていた。

また、開業後の設備更新などの機会を通じ、検証作業は続いており、各事業者等において安全性のさらなる向上に向けた取組が続けられていた。

調査において、各事業者等から受けた具体的な報告内容を以下のようにとりまとめた。なお、これらの事項は、今後、運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計を行う場合に留意すべき事項となるものと考えている。

※1：FTA(Fault Tree Analysis)

信頼性や安全性の観点から好ましくない事象を最初に挙げて（頂上事象）、そのような事象に至る要因等を解析する手法

※2：FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)

部品レベルで起こる故障がシステムの出力にどのように影響するかを解析する手法

(1) 「設計体制等の確認や調整」

システムインテグレーションを実施する設計体制を構築し、その中で会社間の役割や責任分担、各装置に対し各会社が標準としている仕様あるいは一般的と認識している仕様などを確認し調整する

「危険な事象につながる条件を設計前に欠落なく抽出・評価し、その対策を安全要件事項として反映することが重要」との観点から、適切な設計体制等を構築し、鉄道事業者とメーカー間など関係者間で認識の相違を生じないようにすることが重要である。

本件について、各事業者等からの報告によれば以下のとおり

〔システムインテグレーターの責任明示の例〕

- 発注仕様書において、設計、製造に関して車両メーカーに責任がある旨を定めていた。
- 発注仕様書において、車両メーカーがシステムインテグレーターとなることを定めていた。

〔関係者による合議体を組成した例〕

- 設計体制は、鉄道事業者、浮上システムの開発会社、車両メーカー・装置メーカーの三者で設計から製作、試験、開業まで行う体制を構築していた。
- 鉄道事業者のほか、車両メーカーや設計コンサルタント等を構成メンバーとした「監理事務所」を設置し、その中で車両メーカーが全体を一元的に管理していた。

以上のようにシステムインテグレーターとしては、発注仕様書等において車両メーカーがその役割を担うことを明らかにしていたほか、関係者による合議体を組織した場合などがあり、関係者間で認識の相違を生じないように必要な体制が構築されていた。

(2) 「安全要件の抽出」

発生が想定される異常状態に対して、網羅的な安全性の確認がなされるよう、システムの特性に応じて、体系的な安全性解析などを実施し、安全確保に必要な要求事項等を整理する

欧州等においては、許容されるリスクという考え方により安全が数値で規定されているが、日本では、数値だけではなく、新しいシステム・技術が、従来のシステム・技術に比して同程度以上の安全性が確保されているのか、という議論が重要となっている。

複雑化する車両の設計等に対応するためには、従来の日本の安全性評価の手法に加え、FTA や FMEA といったリスク分析の手法もあり、これらの手法も活用しつつ、新しいシステム・技術が、従来のシステム・技術に比して同程度以上の安全性が確保されているのか、という点についてより精緻に評価を行っていくことが重要である。

本件について各事業者からの報告によれば以下のとおり。

〔安全性解析の例〕

- 鉄道事業者は発注仕様書で安全性・信頼性設計書を提出するよう車両メーカーに指示し、車両メーカーにおいて、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。
- 頻繁な設計協議の中で、FMEA 的な考え方を適用し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。

- 無人運転を行っている他社の事故事例を参考にして、発生が想定される異常状態(動作)を整理し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。
- 設計会議の中で新交通システムの設計基準検討委員会等で定めた設計基準に基づき、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。

以上のように過去の不具合や事故事例等を参考に設計会議等の中で安全が確保されているか繰り返し議論を行う事例や安全性・信頼性に係る設計書の提出をメーカーに求めた事例など、当時の知見に基づき、必要となる安全要件の抽出が行われていた。

(参考) FEMA 及び FTA について (別紙)

(3) 「安全性の検証」

抽出した安全要件などについて、システム全体が十分に安全性を確保しているかなど、設計の結果を検証する

(2) で抽出した安全要件に基づき、設計上の安全性が確保されているかを検証することや検証時に新たな要件が見つかった場合には必要な対応を行い、安全性を高めていくことが重要である。

また、検証にあたっては、設計・製造のプロセスで評価された安全性が運行開始後においても引き続き確保されていることを確認するアウトプットとしての側面も重要であり、プロセスとアウトプットの両面から安全性の適切な検証体制を構築することが重要である。

本件について各事業者からの報告によれば以下のとおり。

〔安全性検証の例〕

- 検査・試験段階での安全性の検証において、設計時には想定していなかった安全要件に気が付いた場合は躊躇なく改修やソフト変更を実施するなどして設計の結果を検証していた。
- 安全要件抽出のフェーズで整理した課題について、設計、品質管理に反映するとともに、システムの機能・安全性を車両搭載前及び搭載後(実車)において確認し、設計の結果を検証していた。
- 新規設計時の試験調整作業で各機器の動作記録を活用し、システム全体の健全性確認を実施するなどして、設計の結果を検証していた。
- システム全体の安全性検証を研究機関に依頼し、設計の結果を検証していた。

以上のように抽出した安全要件などについては、実機を通じた試験等により検証を行い、その結果に応じて必要な改修を行うなどの対応を行っていたほか、研究機関に依頼し、設計の結果を検証したなど各事業者等において必要となる安全性の検証が行われていた。

4. おわりに

運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計にあたっては、「設計体制等の確認や調整」、「安全要件の抽出」、「安全性の検証」の各フェーズにおいて、それぞれを十分に実施することが重要であり、3.においてこれまでの各事業者による取組み事例などを示した。

これらにより、横浜シーサイドライン以外の無人で自動運転を行っている6事業者においては、いずれの事業者も当時の知見に基づき、安全性の検証がなされていることを確認した。

国土交通省においては、今後、運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計を行う者に対して、これらの情報を提供し、安全性や信頼性に係る評価が適切に行われるよう指導していくことが重要である。

事業者名	設計体制等の確認や調整のフェーズ	安全要件の抽出のフェーズ	安全性の検証のフェーズ
(株)横浜シーサイドライン (金沢シーサイドライン)	設計体制の確認や調整が不十分 設計体制について鉄道事業者と車両製造メーカーの間で認識の相違があった。	安全要件の抽出が不十分 初めての新交通システムの設計であり、1000型車両(有人運転で設計され、無人運転仕様に改造されたベース車両)及び普通鉄道車両の実績をもとに設計した際に、無人運転を行う際の安全性確保のための検討が十分に行われていなかった。	安全性の検証が不十分 設計・製造において注意すべき事項が十分に整理されていなかったため、安全要件の抽出が不十分となり、設計会議等での安全性の検証が十分実施できていなかった。

その他の各社においては、設計体制等の確認や調整、安全要件の抽出、安全性の検証の実施状況として以下を確認した。

(株)ゆりかもめ (東京臨海新交通臨海線)	発注仕様書において、設計、製造に関して車両メーカーに責任がある旨を定めていた。	無人運転を行っている他社の事故事例を参考に、発生が想定される異常状態(動作)を整理し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	安全要件抽出のフェーズで整理した課題について、設計、品質管理に反映するとともに、システムの機能・安全性を車両搭載前及び搭載後(実車)において確認し、設計の結果を検証していた。
東京都 (日暮里・舎人ライナー)	設計に関する仕様書において、車両メーカーに責任がある旨を定めていた。	自社で発生した事故のうち、無人運転の設計の参考となる事故等、安全に係る異常状態(動作)を整理し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	新規設計時の試験調整作業で各機器の動作記録を活用し、システム全体の健全性確認を実施するなどして、設計の結果を検証していた。
(株)舞浜リゾートライン (ディズニーリゾートライン) ※ 添乗員が乗車	鉄道事業者のほか、車両メーカーや設計コンサルタント等を構成メンバーとした、「監理事務所」を設置し、車両メーカーが全体を一元的に管理していた。	監理事務所メンバーによる協議を重ね、課題を抽出し、設計上、漏れの無いレベルまで精度を向上させ整理し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	安全要件抽出のフェーズで整理した課題について、検証を行い、システム全体が十分に安全性を確保しているか設計の結果を検証していた。
愛知高速交通(株) (東部丘陵線)	設計体制は、鉄道事業者、浮上システムの開発会社、車両メーカー・装置メーカーの三者で設計から製作、試験、開業まで行う体制を構築していた。	頻繁な設計協議の中で、FMEA的な考え方を適用し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	設計時には想定していなかった安全要件についても、検査・試験段階で安全性の検証を行い、新規の要件に気が付いた場合は躊躇なく改修やソフト変更を実施するなどして設計の結果を検証していた。
大阪市高速電気軌道(株) (南港ポートタウン)	発注仕様書において、車両メーカーがシステムインテグレーターとなることを定めていた。	発注仕様書で安全性・信頼性設計書を提出するよう車両メーカーに指示し、車両メーカーにおいて安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	安全性・信頼性設計書を用いて車両設計への反映と対策実施を確認し、装置完成時、車両完成時にそれぞれ機能試験を実施して、安全性を確保しているかなど、設計の結果を検証していた。
神戸新交通(株) (・ポートアイランド線、 ・六甲アイランド線)	・建設企業体を設立してシステム全体を管理する体制を定めていた。 ・仕様書において、システム全体の調整を大手鉄鋼メーカー(製品の製造ノウハウがある)が実施するよう定めていた。	・設計会議の中で新交通システムの設計基準検討委員会等で定めた設計基準に基づき、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。 ・設計会議の中で異常状態の想定(異常対応の設計など)に漏れないよう整理し、安全確保に必要な要求事項等を整理していた。	・安全要件抽出のフェーズで整理した課題について検証を行い、システム全体の安全性を、研究機関に依頼し、設計の結果を検証していた ・安全要件抽出のフェーズで抽出した課題について故障発生時の安全側への動作など、安全性を確保していることを設計会議において確認し、設計の結果を検証していた。

※システムインテグレーション: 地上設備を含めた全体システムを俯瞰し、各装置の目的、仕様、特徴を踏まえた上で、関係者の統一された認識の下、不具合の発生しうる様々な状況を想定し、安全性の高い車両に構成することを言う。

※1 FMEA(Failure Modes and Effects Analysis)

部品レベルで起こる故障がシステムの入力にどのように影響するかを解析する手法。

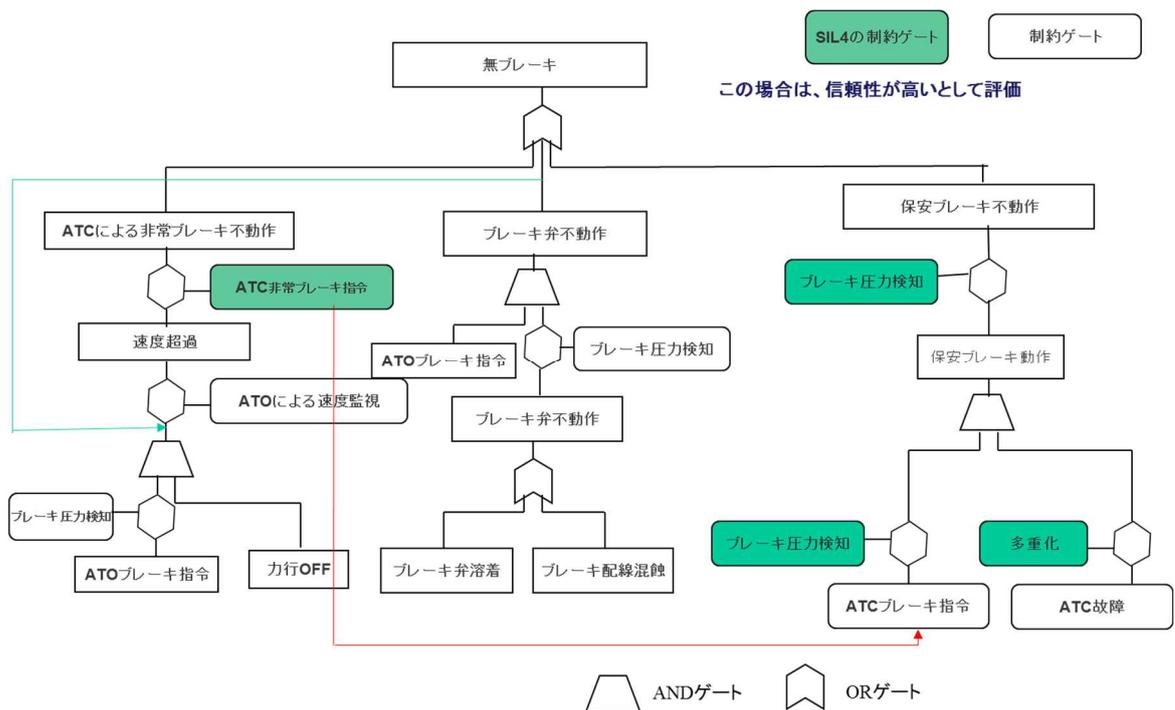
(イメージ)

サブシステム	構成部品、機能	故障モード	影響	故障検知	評価
ATO車上装置	コネクタ	断線	動作停止	ATO動作停止検知	○
		短絡(混蝕)	誤動作(逆走)	短絡検知	検知回路の信頼性
	力行指令	断線	動作停止	ATO動作停止検知	○
		短絡	力行継続	短絡検知	検知回路の信頼性
ATC車上装置	コネクタ	短絡(混蝕)	誤動作(逆走)	短絡検知	検知回路の信頼性
	非常ブレーキ指令	短絡	無ブレーキ	短絡検知	検知回路の信頼性
		断線	非常ブレーキ指令	回路構成	○
ATO-VVVF	配線	断線	動作停止	VVVF故障検知	VVVF故障検知の信頼性
		短絡(混蝕)	動作継続	短絡検知	検知回路の信頼性

※2 FTA(Fault Tree Analysis)

信頼性や安全性の観点から好ましくない事象を最初に挙げて(頂上事象)、そのような事象に至る要因等を解析する手法。

(イメージ)



【情報提供】

令和3年10月7日 千葉県北西部を震源とする地震による
日暮里・舎人ライナーの被災状況について

東京都交通局

令和3年10月28日

第5回 無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会

発災状況

- 令和3年10月7日（木） 22時41分 千葉県北西部を震源とする地震 震度5弱（指令所震度計による）

被災状況

- 乗客 3名負傷（いずれも軽症との報告あり）
- 車両 全20編成中、6編成損傷（4編成復旧済、2編成修繕方法検討中）
- その他設備 ホームドア等、複数の箇所での損傷あり

1 これまでの対応状況（運行再開まで）

10月8日（金）

- ・ 9時30分頃～15時30分頃まで
運輸安全委員会による事故調査（1回目）
- ・ 26時頃 クレーンによる脱輪した車両の搬出作業終了
走行路内設備・施設の点検及び復旧作業開始

10月9日（土）

- ・ 終日 走行路内設備・施設の点検及び復旧作業

10月10日（日）

- ・ 7時30分頃～13時頃まで
運輸安全委員会による事故調査（2回目）
- ・ 19時 走行路内設備・施設の点検及び復旧作業完了
本線上の在線列車（10編成）の入庫完了
- ・ 26時頃 試運転列車の運転による安全確認完了

- 点検・復旧により**運行可能な車両を15編成確保**
（全20編成）

2 これまでの対応状況（運行再開後）

10月11日（月）

- ・ 始発より運行再開（朝ラッシュ時間帯（午前7時～10時）は通常ダイヤよりも1割程度少ない運行本数）
※始発から10時までは、引き続き路線バスの増便や民間バスの活用などによる振替輸送を実施
※多くのお客様は、復旧したライナーを御利用されており、特段の混乱なし
- ・ 局内に**安全統括管理者をトップとした被害検証・対策会議を立上げ**（第1回会議を10月15日に開催）
 - 運行可能な車両を17編成確保（全20編成）**
※現時点では運用可能な車両を18編成確保

10月12日（火）

- ・ 始発より通常運行再開

10月14日（木）

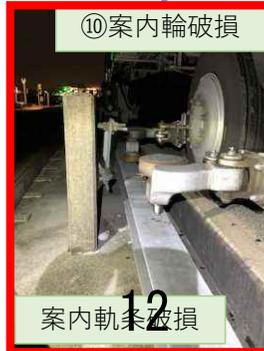
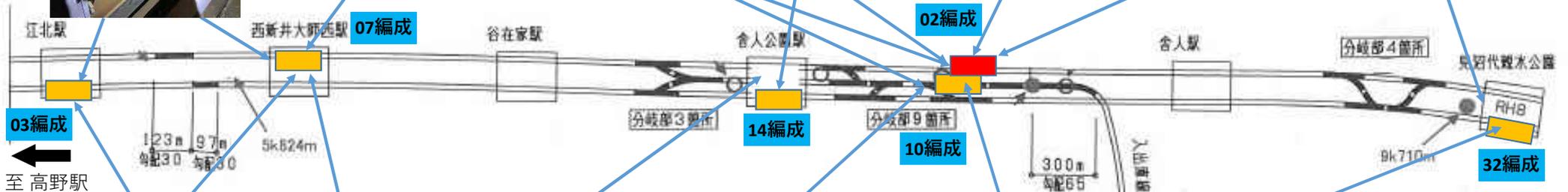
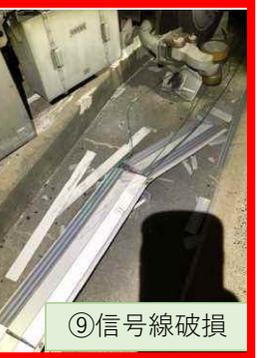
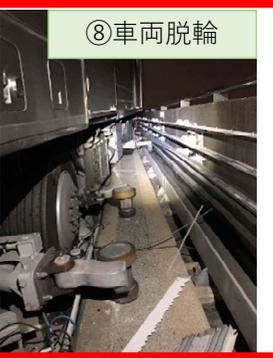
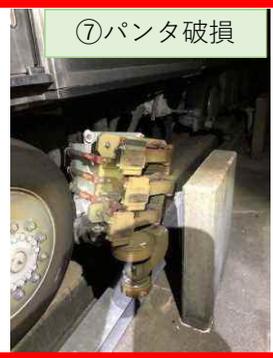
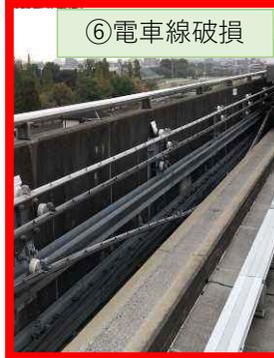
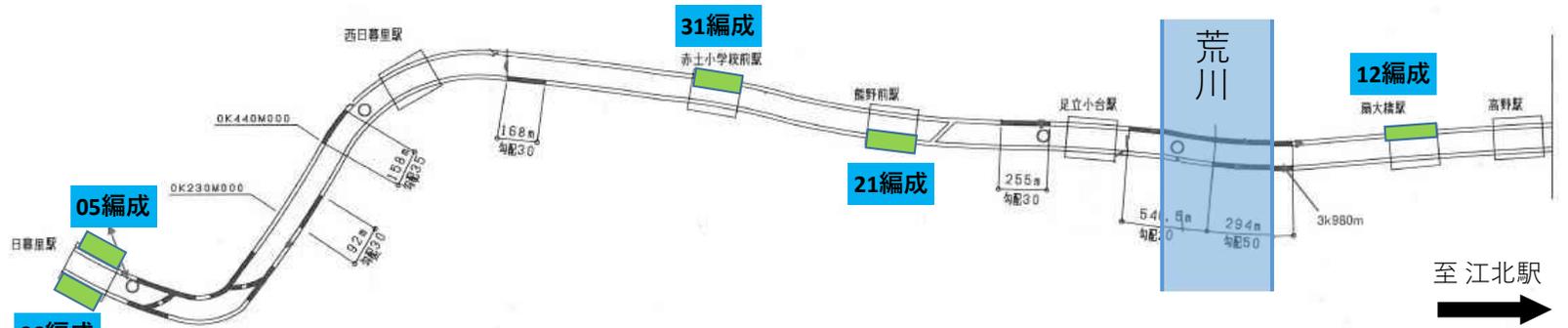
- ・ 警備員を配置し安全を確保していた、西新井大師西駅のホームドア本復旧

3 今後の予定

- ・ 運行不可の車両については修繕方法を検討中
引き続き、国土交通省と連携し、必要な対策を検討

日暮里・舎人ライナー 地震被害について

地震発生時の設備の被害状況



- 在線列車の凡例
- 損傷なし
 - 損傷あり
 - 損傷あり (走行輪脱輪)

1. 事故等種類 自然災害（地震）による被災（車両脱輪）
2. 発生日時等 令和3年10月7日（木） 22:41頃（※地震発生時刻）
3. 場所 日暮里舎人ライナー 舎人公園駅～舎人駅間
（舎人公園駅より約150mの分岐器付近）
4. 列車 日暮里駅発 見沼代親水公園駅行 第2265A列車
5. 車両形式等 300形02編成（5両編成）
6. 負傷者 乗客3名 いずれも軽症※
※うち2名は救急搬送されたが入院者は無し

7. 概況
舎人公園駅～舎人駅間走行中、震度5弱の地震の影響により、先頭車両（5号車）の走行輪が脱輪した。また、案内輪の案内軌条側へのせり出しや乗り上げ、パンタグラフ等の機器の損傷も発生した。

- 走行輪脱輪 5号車第2台車
- 案内輪のせり出し、または、乗り上げ
3号車第1-1、第1-2、第2-1、第2-2
4号車第1-1、第1-2、第2-1、第2-2
5号車第1-1、第1-2、第2-1、第2-2
- 機器損傷
2号車 パンタグラフ碍子
（抜粋） 3号車 案内アーム
5号車 スカート、接触検知、除雪装置

8. 原因 運輸安全委員会等で調査中

9. 国土交通省の対応

- 10月8日（金）運輸安全委員会3名による現地調査
関東運輸局2名随行
- 10月10日（日）運輸安全委員会3名による現地調査

10. 付記

- 当該列車は自動運転中で、乗務員は乗車していなかった。
- 当該列車には乗客20～30名が乗車していた。
- 地震発生時に当該列車以外に本線に在線していた10本の列車のうち5本でも、パンタグラフ等の一部機器に損傷が発生した。
- 地上設備の一部（案内軌条、電車線、伝送ループ線、ホームドア等）でも損傷が発生した。

現場位置図



損傷箇所詳細（抜粋）



3号車案内輪乗り上げ



現場状況図

