

研究の背景と目的

- 踏切道がある等の一般的な路線(以下、「一般的な路線」という。)における自動運転の検討が進められている
 - 地方鉄道においても、運転コストの削減が可能となる自動運転を、最小限の設備投資で実現することが待たれている
 - 近年開発が進むカメラ・センサ類は、見通しがよい等の条件において車上的における走行路上の支障物検知に活用できる可能性がある
- 当研究所では、これまでも新たな設備の導入や更新する設備に対して安全性評価を実施してきた
 - 自動運転を導入する場合においても、既存の装置との機能の差を考慮した安全性評価を実施することが想定される
- 一般的な路線における自動運転を現行の手動運転と同等の安全性で実現することに資する安全性評価手法について、カメラ・センサ類を対象に検討した

GOA3及び4の実現に向けた課題

- GOA2.5については、JR九州香椎線で実用化
- GOA3及び4では、前方を視認できる係員が不在となるため、走行路上の安全確保が重要**
 - 新交通システムやモノレールにおいては、走行路上の安全確保を高架構造やホーム柵により既に実現
 - 一般的な路線においては人や自動車などが容易に線路内に立ち入ることができるため、新交通システム等と同様に全線にわたって立ち入り防止柵や地上側の支障物検知装置を設置する方法が考えられるが、コスト面から現実的ではない

鉄道における自動運転技術検討会のとりまとめ

「鉄道は、各種装置や管理体制等のほか、鉄道利用者、踏切道行者、鉄道沿線住民等の遵法行動や自制的行動により運行の安全を確保するものであり、一般的な路線での自動運転を導入する場合においても、この方針は大きく変える必要はない」としたうえで、「各路線の実情を十分に評価し、従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能が確保できるように、安全に関する総合的な対策の視点により線路上の支障物への対応を行うことが適切である」とされている

鉄道における自動化レベル

自動化レベル (IEC 62277:2015 E 3802) (注: 内は国産の主な事例)	乗務形態のイメージ (注: 内は国産の主な事例)	国内の導入状況
GoA0 非自動運転: TDS GoA1 非自動運転: NTO	運転士(および乗客)	踏切道がある等の一般的な路線
GoA2 半自動運転: STO	運転士(列車発着、緊急停止時、避難誘導等)	一部の地下鉄 等
GoA2.5 緊急時必須操作を行う係員(付随自動運転) (注: 内は国産の主な事例)	列車の運転に専念する係員(緊急停止時、避難誘導等)	無し
GoA3 添乗員付き自動運転: DFO	列車に専念する係員(避難誘導等)	一部のモノレール
GoA4 自動運転: UTO	係員の乗務無し	一部の新交通 等

IEC 62277:2015 E 3802: 自動運転軌道内軌道運行システムによる交通
IEC 62277:2015 E 3802: 自動運転軌道内軌道運行システムによる交通
GoA: Grade of Automation (注: 内は国産の主な事例)
TDS: On-Sight Train Operation, NTO: Non-automated Train Operation, STO: Driverless Train Operation, DFO: Driverless Train Operation, UTO: Unattended Train Operation

鉄道における自動運転技術検討会のとりまとめ(概要)より
<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001512320.pdf>

安全性評価手法の検討

- 安全性評価は、新しいシステムなどに対して技術的な観点から安全上の問題がないかについて評価を行うもの
 - 既存装置の置き換えを想定する場合、既存装置との機能差分、機能差分が他装置へ与える影響、及びインターフェースの差分等を評価項目として挙げ、リスク分析に基づいた定量的評価やシステムの安全管理に関わる定性的な評価などを実施
 - 自動運転における安全性評価の場合も、**評価基準はこれまでの考え方と同様に「従来と同等かそれ以上の安全性を有すること」が適切**
 - 装置が担う機能に変更がある場合には、整理した結果を踏まえて装置の機能を明確にすることが重要

前方支障物検知に対する検討

- GOA3及び4においては、走行路上の安全確保が課題
- 現在の鉄道法規に運転士の前方監視についての規定はない

鉄道における自動運転技術検討会のとりまとめ

「運転士が運転中、線路内支障物を発見する法的義務は、鉄道法規には規定されていないものの、事故防止の観点から、万が一、運転士が確認できる範囲で線路内支障物を発見した場合は、乗客及び公衆の安全確保や運転士の自己防衛等の観点から、気笛吹鳴や列車を停止させるブレーキ操作を行うことにより、事故防止や被害軽減に最善を尽くしている実態がある。」
「各路線の線形、列車速度、周辺環境等により、必要な対応は異なると考えられることから、鉄道事業者においては、各路線の実情を十分に評価し、従来の一般的な路線での安全性と同等以上の性能が確保できるように、安全に関する総合的な対策の視点により線路上の支障物への対応を行うことが適切である。」

- 運転士に前方監視義務がないことから、単純に運転士の能力と比較して従来と同等の性能を有しているかの評価を行うことは適切でないため、周辺規定を調査

道路交通法第33条第3項

自動車の「運転者は、故障その他の理由により踏切において当該車両等を運転することができなくなつたときは、直ちに非常信号を行う等踏切に故障その他の理由により停止している車両等があることを鉄道若しくは軌道の係員又は警察官に知らせるための措置」及び、「当該車両等を踏切以外の場所に移動するため必要な措置」を義務付け

道路運送車両の保安基準第43条の2

「自動車には、非常時に灯光を発することにより他の交通に警告することができ、かつ、安全な運行を妨げないものとして、灯光の色、明るさ、備付け場所等に関し告示で定める基準に適合する非常信号用具を備えなければならない」

道路運送車両の保安基準の細則を定める告示第64条

非常信号用具の灯火は「夜間200mの距離から確認できる赤色の灯火」

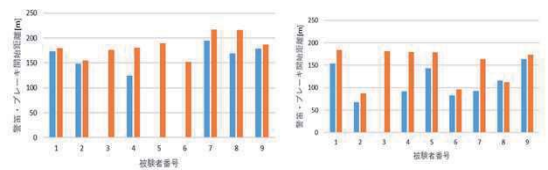
- 列車運転士は、この非常信号用具による赤色灯火を認めるときは、現実に発生している非常事態を回避するために非常停止の措置を行う必要がある
- 車上のカメラ・センサ類に求める性能の基準として、見通しや天候等の条件が良い場合において、**少なくとも200mの距離から確認できる能力を有することが、従来と同等の性能を有している判断の基準になり得ると考えた**

まとめ

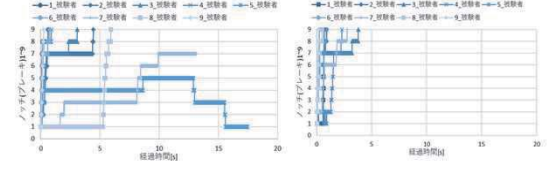
- 一般的な鉄道に自動運転を導入する際の安全性評価手法として、装置が担う機能に変更がある場合の評価の考え方を整理
- 今後導入が期待されるカメラ・センサ類の評価基準として、踏切における道路運送車両の非常信号用具の灯火の基準を参考に示し、シミュレータでの試験によりその数値の妥当性を示した
- 但し、見通しや天候等の条件によっては検知できない可能性もあるため、実現にあたっては、他の方策を組み合わせる総合的に検討する必要がある
- 今後は、鉄道における自動運転の評価手法について引き続き検討を行いたい

運転シミュレータによる試験

- 動力車操縦者免許保有者がシミュレータを低速(35km/h)と高速(70km/h)で障害物のある路線を運転した走行記録及び運転中の視線計測から、運転士の運転操作の実態把握を実施
- 障害物は、線路中央に白色の四角形を配置
- 試験には、9名の被験者が参加
- 9名は20代から50代の男性で、それぞれ別の事業者における運転を経験



警報・ブレーキ開始距離 (35km/hで走行) (70km/hで走行)



ブレーキの強さ (35km/hで走行) (70km/hで走行)

- 視線計測によって求めた障害物を視認してからブレーキ操作を行うまでの時間差の平均は低速、高速によらず2秒程度
- この時間と走行速度を考慮すると、本試験で被験者は障害物の200m程度手前で検知していることがわかった