

⑧鉄道の自動運転 GOA3,GOA4 に使用する車上カメラ・センサ類の安全水準に関する考察

交通システム研究部

※工藤 希

押立 貴志（客員研究員）

1. はじめに

鉄道において、踏切道がある等の一般的な路線の自動運転については、「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめが公表(2022年9月、以後、「検討会とりまとめ」という)¹⁾された。

本研究では、鉄道の自動運転の自動化レベルGOA3及びGOA4において線路内への人立入りの検知に使用される車上カメラ・センサ類について、機械類に関する国際規格に準拠した考え方と、「工学システムの社会的安全目標の新体系」²⁾に関する考え方に沿って、安全水準のあり方を考察する。

2. 検討会とりまとめの要点

検討会とりまとめでは、自動運転では、従来の安全性と同等以上（既存線区の場合は当該線区、新規線区の場合は周辺環境との分離等の条件が同等の線区）の性能を確保することとし、表1のとおり自動化レベルが設定された。

表1 自動化レベル

自動化レベル	内容
GOA2.5	列車の先頭車両の最前部の運転台に緊急停止操作等を行う係員が乗務する。線路内への人立入りについては、手動運転と同様に係員による対応が可能である。
GOA3	列車の前頭には係員が乗務する必要がない。
GOA4	係員が乗務する必要がない（無人運転）。

備考：GOA(Grade of Automation)とは、鉄道における自動運転のレベルを示すものである。

また検討会とりまとめでは、「鉄道専用敷地内は立ち入り禁止とする法的措置のもと、列車運転士の前方視認力のみに頼って線路内への人等の立ち入り及び自動車の侵入に対する安全・安定輸送の確保をしているものではない。自動運転、手動運転にかかわらず、鉄道利用者、踏切道通行者、鉄道沿線住民等の遵法行動や自制的行動によることが一般原則であり、鉄道利用者等の理解と協力が不可欠である。鉄道事業者においては、線路内への立入防止柵や自動車用防護柵の設置、気笛吹鳴、列車を停止させるブレーキ操作等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り、自動運転での対応

にあたっては、コスト負担を含めて合理的で実行可能な技術の導入を検討すべきである」としている。

そのため、GOA3及びGOA4に車上カメラ・センサ類の使用を検討する際には、その位置づけと安全水準の考え方が課題となると考えた。

3. 国際規格に準拠した非常停止装置の考え方

国際標準化機構(International Organization for Standardization)発行の国際規格 ISO 12100（機械類の安全性－設計のための一般原則－リスクアセスメント及びリスク低減。日本産業規格（Japanese Industrial Standards）では JIS B 9700）の段階的安全方策の考え方に準拠して、部外者が行う突発的な事象である鉄道の線路内への人立入りに対する各種処置を整理すると次の①～④のとおりと言える。

- ① 鉄道沿線住民等の遵法行動や自制的行動によることが一般原則である点から、「本質安全対策」を担う主体は、鉄道沿線住民等である。
- ② 線路内への立入防止柵や自動車用防護柵の設置については、「安全防護対策」である。
- ③ 気笛吹鳴は本質安全対策を担う鉄道沿線住民等への警告であり、本質安全対策を補完する緊急措置としての「付加保護方策」である。
- ④ 線路内への立入者を発見した場合に列車運転士が行うブレーキ操作は、既に発生した異常事態への対応であり「付加保護方策」である。

この整理から、GOA3及びGOA4において、信号機等の確認を目的としない、人立入りの検知に使用する車上カメラ・センサ類は「付加保護方策」に分類されると考えられる。

4. 工学システムの社会的安全目標の新体系

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会が公表(2020年8月)した「工学システムの社会的安全目標の新体系」では、ALARP(As Low As Reasonably Practicable)の考え方に沿ってリスク許容の領域等を設定することが提言されている。

安全目標には、達成できないことが許容されない安全レベル（基準A）が存在し、その状態を達成

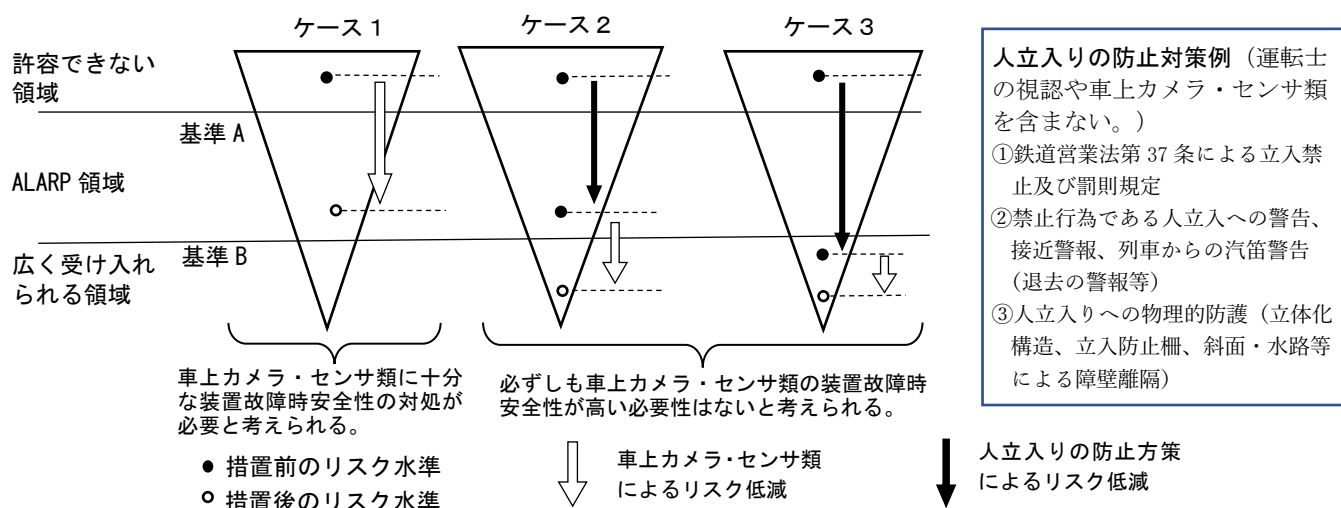


図1 安全目標と線路内への人立入りに関する車上カメラ・センサ類の関係性

すればさらなる改善を求めないレベル（基準 B）も存在する。基本的には、基準 A は事業者と社会との合意事項である。基準 A と基準 B との間の判断は、ALARP 領域として、便益、リスク低減により得られるメリットと低減に要するコストとの兼ね合い、さらには代替施策におけるリスクとの兼ね合いで目標値を定めるべきであるとされている（図 1 参照）。

5. 考察

線路内への人立入りは、路線毎に周辺環境が異なるうえ、部外者行為の多様性や、予測不可能な突発的な事象のため、鉄道事業者のみに於いて全てを措置できるものではない。

事故の発生が極めて抑制され、本質安全対策及び安全防護対策が相当程度有効に機能している場合、「付加保護方策」のみに使用されるカメラ・センサ類の装置には以下の要件があると考えられる。

- 異常事態の発生を検知した場合に迅速に作動することが必要。
- 他の装置の動作に優先して作動することが必要。
- 高度な故障時安全性は必要ない。但し、高度な故障時安全性を求めないならば、本質安全対策及び安全防護対策に置き換えることはできない。
- 誤検知による非常停止の動作は、自動運転システム全体の信頼性を失いかねないため、誤検知率を低下させ、検知の確実性の向上の努力が必要。

また、ALARP の考え方に沿った検討では、車上カメラ・センサ類は、①基準 A をクリアするた

めのものかどうか（図 1 ケース 1）、②使用停止に伴う社会的影響の程度、③人立入りの防止対策等のリスク低減効果の状況（図 1 ケース 2 及び 3）、④装置故障時の安全リスク変化の増大の程度、によって、安全水準が異なると考えられる。

自動運転においても従来の安全性と同等以上の性能を確保することとされており、カメラ・センサ類が「付加保護方策」であるならば、人立入りの防止対策は、図 1 のケース 2 及び 3 のように十分な安全水準とする必要がある。

6. おわりに

本研究は、鉄道の自動運転 GOA3 及び GOA4 において線路内への人立入の検知に使用される車上カメラ・センサ類の安全水準のあり方を検討した。自動運転に車上カメラ・センサ類の使用を検討する際には、車上カメラ・センサ類がどの段階の安全方策にあるかを決め、それに対応した安全水準を求める必要があると考える。今後は、自動運転を導入する鉄道事業者等のシステムの試験及び最適化といった新たな課題等に対しても、引き続き技術検討の支援等を行っていきたい。

参考文献

- 国土交通省ホームページ：
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000058.html
- 日本学術会議ホームページ：
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t293-5.pdf>