

# 鉄道利用者の安全性向上

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道



小美濃 幸司  
Koji Omino  
人間科学研究部 部長  
[専門分野] 人間工学

近年、日本社会の変化などを受けて鉄道の安全への関心が高まっており、利用者からより高いレベルの安全が期待されています。そこで、判断ミスによる事故防止に向けて脳活動と心理データに基づいた意思決定スキルの評価手法を開発しました。また、踏切システムの安全性向上のため踏切道センシング技術、踏切群制御および情報提示方法を提案しました。さらに、万が一の事故でも被害を軽減するために、踏切での衝突を想定した衝突安全性評価手法を開発しました。ここでは鉄道利用者の安全性向上を目指したこれらの取り組みについて紹介します。

## はじめに

日本社会の変化、激甚化する自然災害、科学技術の急速な進歩などを背景にして、近年、鉄道の安全への関心が高まっており、利用者からより高いレベルの安全が期待されています。さまざまな次元のリスクが混在する中であって、鉄道従事員の判断ミスをなくす取り組みは重要な要素であり、判断ミスをしないための意思決定スキルを向上する訓練が強く望まれます。また、踏切事故件数はさまざまな施策により大きく減少してきましたが、<sup>いま</sup>未だ鉄道運転事故に占める踏切事故の割合は大きく、その防止に向けた新たな提案が求められています。さらに、踏切事故に対する車内乗客挙動シミュレーションや列車衝突解析などの技術が進んでいることから、この技術を活用して衝

突安全性評価手法を提案し、万が一の衝突時にも安全な車両を設計する手法を構築できれば、衝突事故に対する安全性を高めることができます。

ここでは、鉄道利用者の安全性向上を目指した「意思決定スキル評価手法の開発」「踏切システムの安全性向上」「車両の衝突安全性向上」の3つの研究開発の取り組みについて紹介します。

## 意思決定スキル評価手法の開発

判断ミスによる事故防止に向けた意思決定スキルの評価手法について述べます。一般的に意思決定というと、会社の経営判断などをイメージされがちですが、心理学では現場作業でのちょっとした個人の判断も意思決定に含めて扱います。図1はそうした意思決定の流れを4段階で表したモデルです。

ある鉄道事業者から提供された事故事例を分析したところ意思決定のエラーが多く含まれていて、とくに自身の作業結果を過大評価し確認を省略してしまうといったケースが多くみられました。過大評価のような意思決定に偏りを誘発する阻害要因はいくつも知られており、図1に今回取り上げた代表的な阻害要因を示しています。ここでは阻害要因に影響されずに適切に判断する能力を意思決定スキルとよんでおり、現在、その教育訓練法の提案を目指しています。まずはそこで必要となる意思決定スキル評価手法を開発しました。

心理学および脳科学の知見をもとに、阻害要因の影響が成績に現れる意思決定の作業課題を作成しました。短期的利得を重視する傾向を測定する「タワー課題」、自分の作業結果を過大評価する傾向を測定する「確認の要否判断課題(コウテツ課題)」、衝動的に判断する傾向を測定する「BART課題」、前の選択に固執する傾向を測定する「異常時シナリオ課題」の4つの作業課題です(図2)。開発した意思決定スキル評価手法は、各意思決定の段階に対

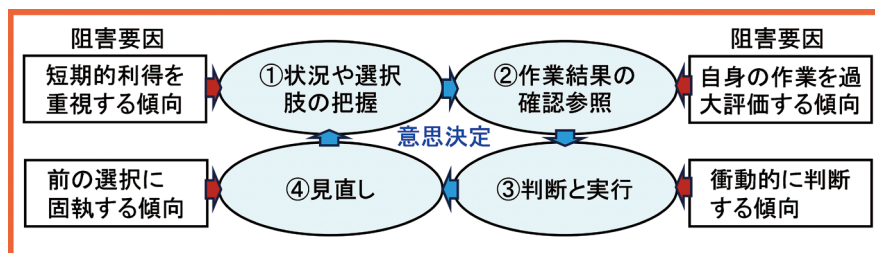


図1 意思決定の4段階モデル



図2 意思決定スキル評価方法

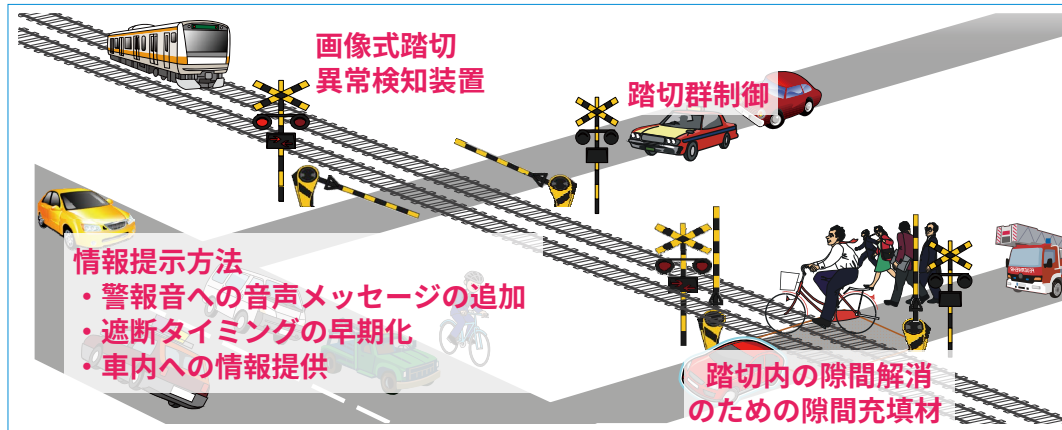


図3 安全性向上のための踏切システムの研究開発

応する作業課題の成績で、意思決定スキルのレベルを評価します。たとえば「コウテツ課題」を実施しているときの脳機能画像（☞参照）において、適切に実施できている場合には自身の作業結果をモニタリングする部位が活動することが確認され、脳科学的にも課題の有効性が裏付けられました。なお、4つの作業課題は、その成績の結果表示をする機能も付けてソフトウェア化しています。

### 踏切システムの安全性向上

次に、踏切システムの安全性向上に関する取り組みを紹介します。鉄道運転事故の4割弱を占める踏切事故の低

減を目的として、踏切通行実態の把握、踏切道センシングや車上主体制御<sup>1)</sup>などの基盤技術の開発を行いました（図3）。また、センシングで得られた道路交通量を用いた踏切群制御および危険な直前横断を抑制する情報提示方法を提案しました。

#### 踏切群制御

列車本数と道路交通量が多い通勤時間帯では、踏切遮断による道路交通流の障害が問題となっています。開かずの踏切とよばれるような踏切では、警報が鳴っていても渡りはじめてしまうとか、先行車が出口側のスペースにまだいるのに進入してしまうといったような不安全な行動が生じやすくなる

考えられます。そこで、踏切制御、列車運行および道路交通流を考慮しつつ、踏切の開扉時間を延長し、道路交通流の障害低減を図る「踏切群制御手法」を提案しました。この手法では、まず道路交通のセンシングにより道路交通量を獲得できることを前提にして、道路交通量に基づき交通渋滞の大きい踏切を推定します。そして、当該踏切に接近する上下列車に対して、地上・車上間の無線通信により走行速度を指示し、列車がすれ違う位置を踏切に近づけることで踏切が閉じている時間がより短くなるようにします。

踏切群制御手法の適用効果を評価するために、列車と踏切の動作を模擬する「踏切・列車群シミュレーター」と、踏切道内および周辺の道路交通流を模擬する「踏切交通流シミュレーター」を構築し相互に連成させることで、ある都市圏の線区とその周辺道路をモ

#### ☞ 脳機能画像（機能的核磁気共鳴断層画像法）

強力な磁場を発生させて生体の断層映像を測定する装置 MRI を使って脳内のわずかな血流変化を捉え、活動している脳領域を画像に表現する技術です。X線を使わないため放射性被曝することがなく、安全に脳の深部まで測定することができます。

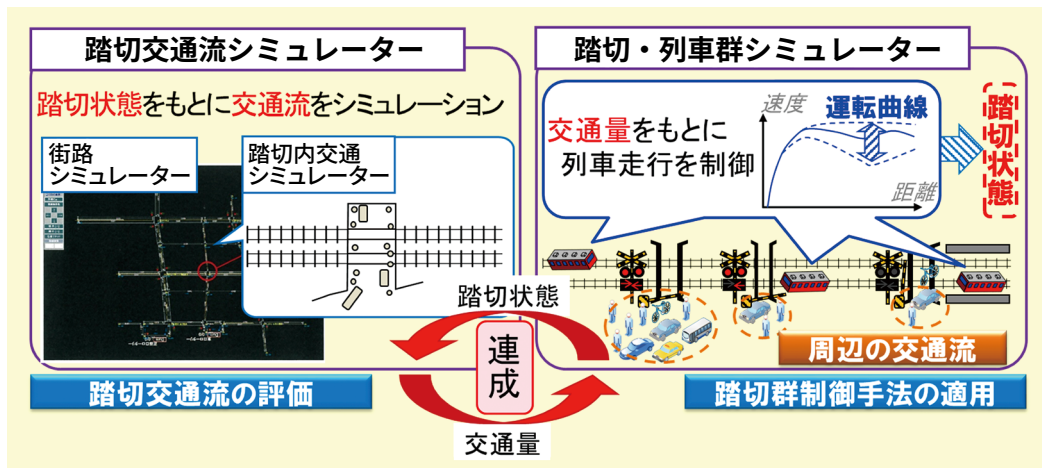


図4 踏切群制御手法のシミュレーション

デルとした評価を実施可能としました(図4)。モデル線区の通勤時間帯に相当する列車ダイヤを入力したシミュレーションにおいて、この手法を適用すると踏切が閉じている時間が最大で10%程度短くなる踏切があることや、当該踏切の自動車交通容量を増やせることを確認できました。

#### 音声メッセージと遮断タイミング

歩行者の観点から、直前横断を抑止するための対策についても検討しました。踏切歩行者の意識調査を行ったところ、警報鳴動中に進入した経験のある人の6割近くが本来の警報の意味「進入禁止」を「注意」と誤って認識していました。そこで、踏切通行を模擬したシミュレーター実験(図5左)を行い、警報鳴動中の進入防止対策として、本来の警報の意味の理解促進のために音声メッセージを加えることと、視覚的に進入禁止を伝えるというねらいから遮断かんの降下完了までの時間は変えずに降下開始のタイミングを早めることを提案しました。警報に音声メッセージを追加したところ、警報鳴動中に進入する歩行者が現行に比べ半減し(図5右上)、遮断かん降下開始のタイミングを早めたところ1/4に減ることが確認されました(図5右下)。なお、上記の警報音への音声メッセージ追加の実験については、日本信号株式会社と

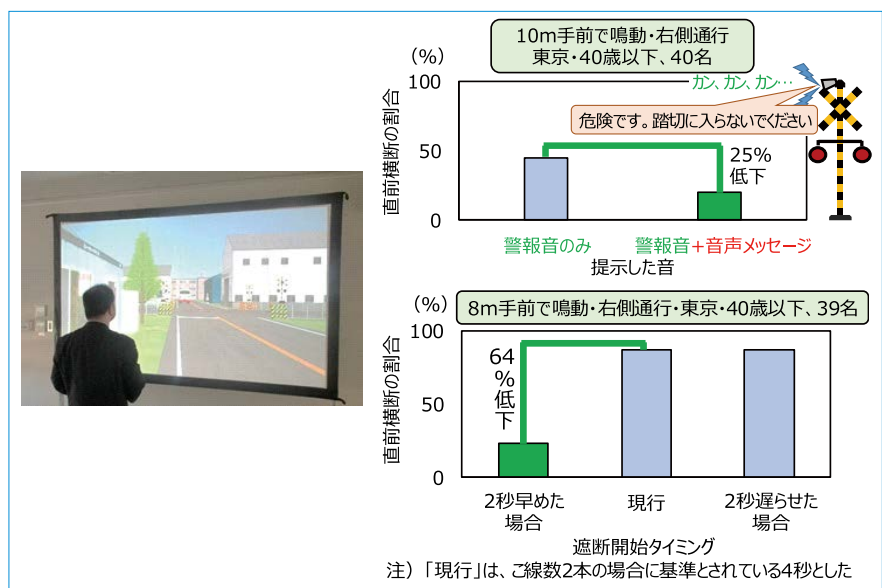


図5 シミュレーター実験による踏切警報への音声メッセージ追加と遮断開始タイミングの早期化の効果検証

の共同研究として実施したものです。

#### 画像式踏切異常検知装置

上記の対策に加えて、遮断完了後に踏切内に取り残されてしまった場合のために、自動車のみならず歩行者も検知できる画像式踏切異常検知装置と、障害物が検知された場合に列車が衝突しないようにブレーキをかける車上主体踏切制御システムの開発に取り組みました。まず、画像式踏切異常検知装置では、日射などの影響を受けにくい遠赤外線カメラを用いて、踏切内の異常の検知を行う画像処理アルゴリズムを開発しました。また、車上主体踏切

制御システムは、自列車の位置情報、速度情報に基づき、車上から踏切に対して定時間警報制御を行うことができ、かつ、踏切の状態を無線伝送により受信し、異常時には、踏切の手前で停止させる機能を有しています。なお、鉄道総研の試験線で、画像式異常検知装置と車上主体踏切制御を組み合わせた実車による統合機能実証試験を実施した結果、踏切内の支障物を検知して仕様どおり動作することを確認しています。今後、画像式異常検知装置の実用化に向けて取り組みを進めていきます。

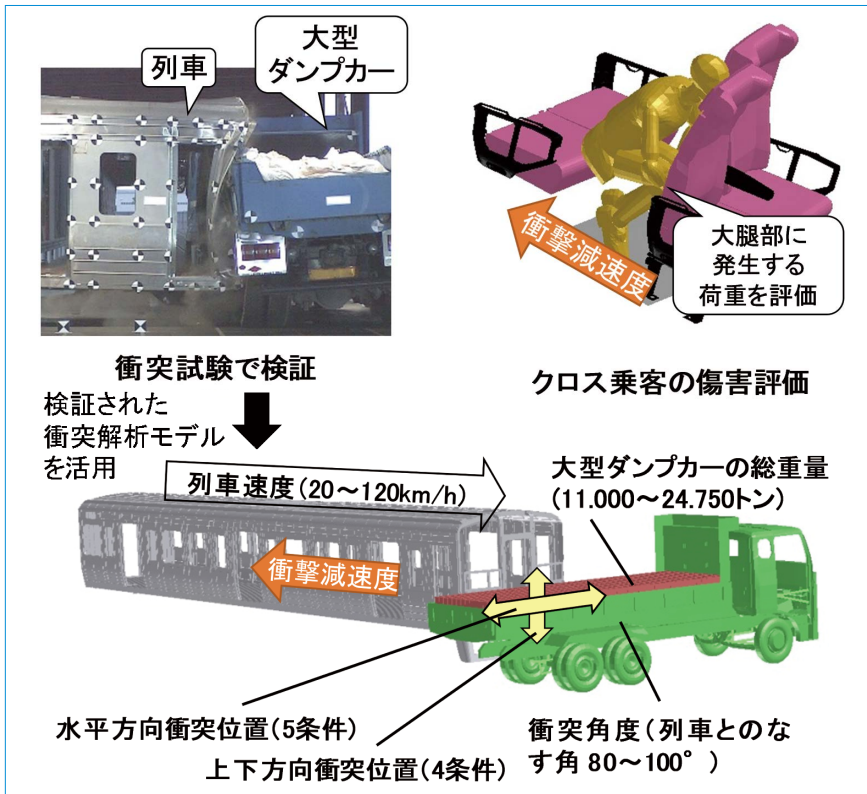


図6 踏切事故時のシミュレーション解析

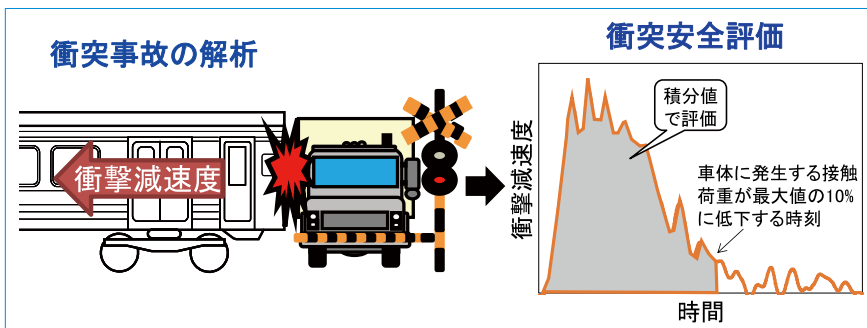


図7 車両の衝突安全性能の評価方法

### 車両の衝突安全性向上

万が一の事故でも被害を軽減するために、踏切での衝突を想定した衝突安全性評価手法について述べます。

我が国の車体構造の設計基準には、衝突安全性を評価するための指標が明示されていません。一方、欧米では評価指標が定められています<sup>2)3)</sup>が、車体強度および座席（シート）構造など車内設備の設計仕様が日本と異なっています。そこで、国内の事故統計や車両の仕様を基に、踏切事故を想定した衝突解析を多様な条件で行うことにより、国内の実情に即し、かつ乗客の

傷害度と相関の高い評価指標とこれを使った評価方法を提案しました。

列車と大型ダンパカーとの衝突時に座っている乗客にどの程度の傷害が生じるかを、列車モデルと大型ダンパカーおよび乗客と座席のモデルを使って解析により推定しました（図6）。これらのモデルの解析精度は衝突試験により検証されています。解析パラメータは列車速度、衝突位置・角度、大型ダンパカーの総重量とし、回転クロスシートに着座した乗客を対象としました。各条件で推定された傷害の程度と、車体に発生する衝撃減速度の積分

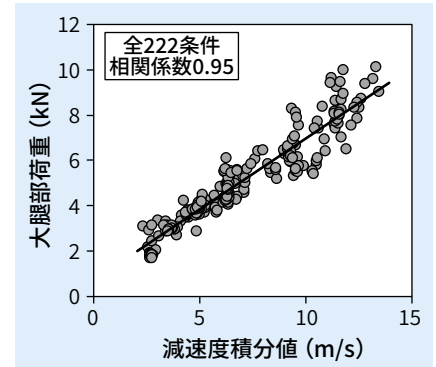


図8 減速度積分値と傷害値の相関図

値（図7、以降、減速度積分値）の相関係数は0.95（図8）で欧米の指標より高い相関がみられました。以上のことから、減速度積分値を衝突安全性の評価指標として提案しました。車体設計時の衝突解析で得られる減速度波形に対して、減速度積分値で評価することにより乗客被害軽減に向けた対策を検討できると考えています。

### おわりに

安全に利用できる鉄道であるために、安全レベルの向上を目指した絶え間ない努力が必要であると考えています。そのために、さまざまな事故・災害を想定し、未然防止、被害抑止、復旧などのさまざまな面から対策について研究開発を行っていくことが大事であり、鉄道総研はここで得た成果の実用化とともに、今後も安全のための新たな研究開発に取り組んでいく所存です。【RRR】

### 文献

- 1) 藤田浩由, 野村拓也, 北尾憲一, 小野雄人, 新井英樹, 砂場真, 石毛隆晴: 無線を活用した車上主体踏切制御システムの開発, 第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S7-5-3, 2017
- 2) CEN: EN15227 2008+A1: 2010 Railway applications-Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies, 2010
- 3) Federal Railroad Administration: 49 CFR Part 238 PASSENGER EQUIPMENT SAFETY STANDARDS, 2011