

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

鉄道の安全・安心を目指した 研究開発



鈴木浩明
Hiroaki Suzuki

研究開発推進部 主管研究員
[専門分野] 人間工学, 実験心理学

鉄道システムをより安全で安心なものにするには、自然災害、車両や設備の異常、運行に関わる者の重大なエラーなど、安全や安定運行を脅かす要因の発生や変化をリアルタイムで把握して、即座に対処していかななくてはなりません。そのためには、進展の著しいICT（情報通信技術）を鉄道システムのさまざまなプロセスに適用して、鉄道技術をデジタル化する必要があります。ここでは、デジタル化の意味や適用例を紹介しながら、鉄道の安全・安心をさらに高める取り組みについて述べます。

はじめに

「安全」と「安心」を区別するならば、安全は客観的にリスクが小さいこと、安心は主観的にリスクが小さいことと定義できます。

「安全」の究極の理想は、リスクがゼロ、すなわち事故が絶対に起きないことです。しかし、多くの場合、その実現は困難なため、対策に要するコストや利便性を考慮した上で、大半の利用者がリスクを許容可能な（やむをえない）レベル以下と判断する場合、安全であると考えます。

一方、安全性の高さをいくら説明しても、利用者が不安を感じるようであれば、安心できるシステムとはいえません。鉄道への不安としては、乗車中に事故が起きる、ダイヤが乱れて用事に間に合わないなどが考えられます。前者は安全への不安、後者は安定輸送への不安です。

鉄道への安心を高めるには、安全性についての正確な情報と、安定した輸送を実績として示すことが重要です。安全なくして安心は得られません。

ここでは鉄道の安全と安定運行を脅

かす要因とその対策について、近年急速に発達しているICTの適用を中心に紹介します¹⁾。

安全・安定を脅かす要因

外部要因と内部要因

安全と安定運行の阻害要因は、鉄道システムの外部からの要因と、内部の要因に区別できます（図1）。外部要因で顕著なものは自然災害です。大地震による施設破壊、台風やゲリラ豪雨にともなう河川氾濫や土砂崩れが引き起こす施設・設備の損傷などが代表例です。くわえて、外部の社会的な要因には、踏切や線路内への侵入、放火、テロなどが含まれます。

一方、内部要因は、人に関するものと、車両や設備などの技術的なものに分けられます。運転や保守作業での手順誤りなど、人的な要因はヒューマンエラーともよばれます。技術的な要因の例としては、車両をはじめ、軌道、信号、電車線、構造物など、鉄道を構成するハードやソフトの故障や損傷があげられます。

鉄道総研では、車両、施設、運転、

人間科学などの各分野における研究はもちろん、複数技術分野の総合力を集めたプロジェクト型研究開発でも、安全を最重点課題と位置づけて取り組んできました^{2)~9)}。

3つの安全対策

安全対策は、次の三つのフェーズに分けられます（図2）。

(1) 異常の発生を防ぐ

踏切事故をなくすために高架化する。その結果、大雨による線路冠水も生じなくなるといった例です。安全を阻害する要因を取り除く根本的な対策ですが、費用と時間がかかります

(2) 事故の発生を防ぐ

鉄道とそれを取り巻く環境に異常や変化が生じて、適切な手段で対応することで事故を発生させない対策です。踏切遮断中の車の侵入や、前方での土砂崩れの発生時に、センサーで検知して列車に伝えることで衝突を防ぐことができます。運転士が意識を失い、一定時間に渡って何も運転操作をしない場合、自動で非常ブレーキがかかるシステムにしておけば安全性が高まります。上記(1)の対策が困難な場合、最

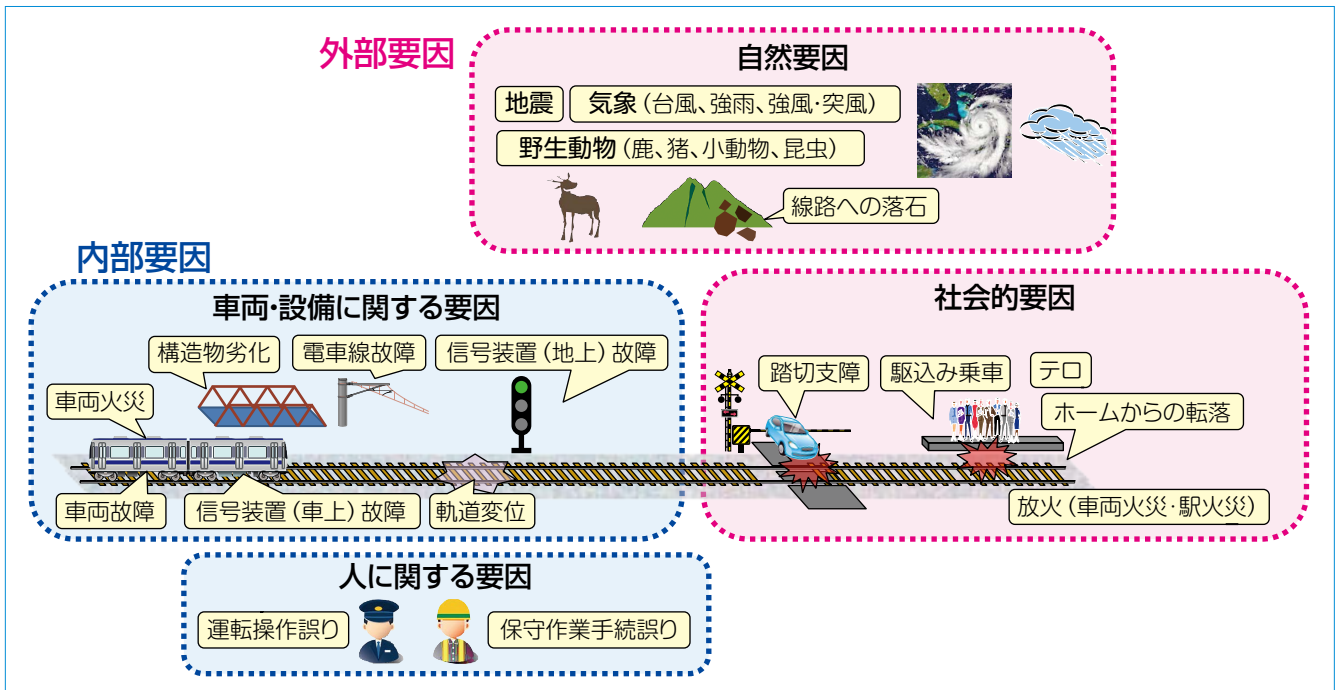


図1 鉄道の安全と安定運行を阻害する要因¹⁾

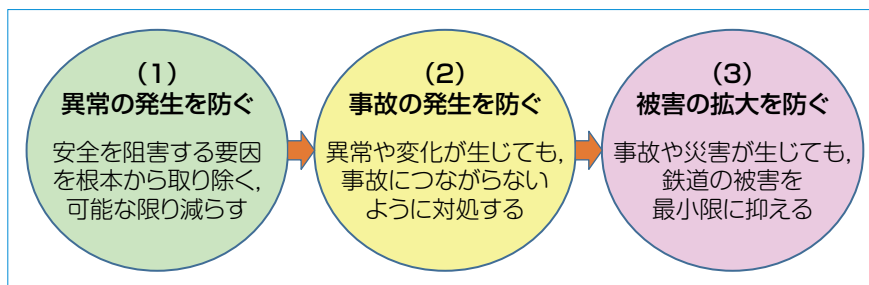


図2 安全対策の三つのフェーズ

も現実的で有効な対策です。

(3) 被害の拡大を防ぐ

前記の対策を施しても、事故や災害をゼロにするのは難しいため、第三の備えが必要です。土砂崩れや踏切侵入による衝突事故の発生に備え、車両や車内設備を工夫して、衝撃緩和構造とすることで、乗客や乗務員の被害を抑えることが可能です。大地震の際に有効に機能する避難誘導システムをあらかじめ構築しておくことも有効です。

鉄道とデジタル化

日本社会の総人口や就労人口が減少していくと、鉄道の運行や技術開発を

担う人口も減少します。人材確保が次第に難しくなることを想定すると、列車運行や設備保守の省力化と自動化、業務の一層の効率化が急務です。

これを実現するには、従来の技術に加えコンピューターと直結した先進的なICTを積極的に取り入れて、「鉄道技術をデジタル化」する必要があります。

デジタル化とは、狭義には連続的なアナログ量を離散的なデジタル量に変換することを意味しています。しかし、近年のセンサー、コンピューター、ネットワークの高性能化と低コスト化によって、デジタル化の概念は拡張さ

れてきました。デジタルデータをコンピューター上に蓄積し、ネットワークで共有して、迅速かつ高精度にシステム状態を把握、分析、予測、判断することが可能になってきました。ここでは、これを「業務のデジタル化」と総称します。具体的には、以下の四つのステップから構成されます(図3上段)。

①データ取得：現実の事象をデジタルデータ化してネットワークを通じて収集します。

②分析・予測：収集したデータをもとに現実の事象をデジタルモデルとしてリアルタイムで再現し、モデルを分析して現実の状況の詳細

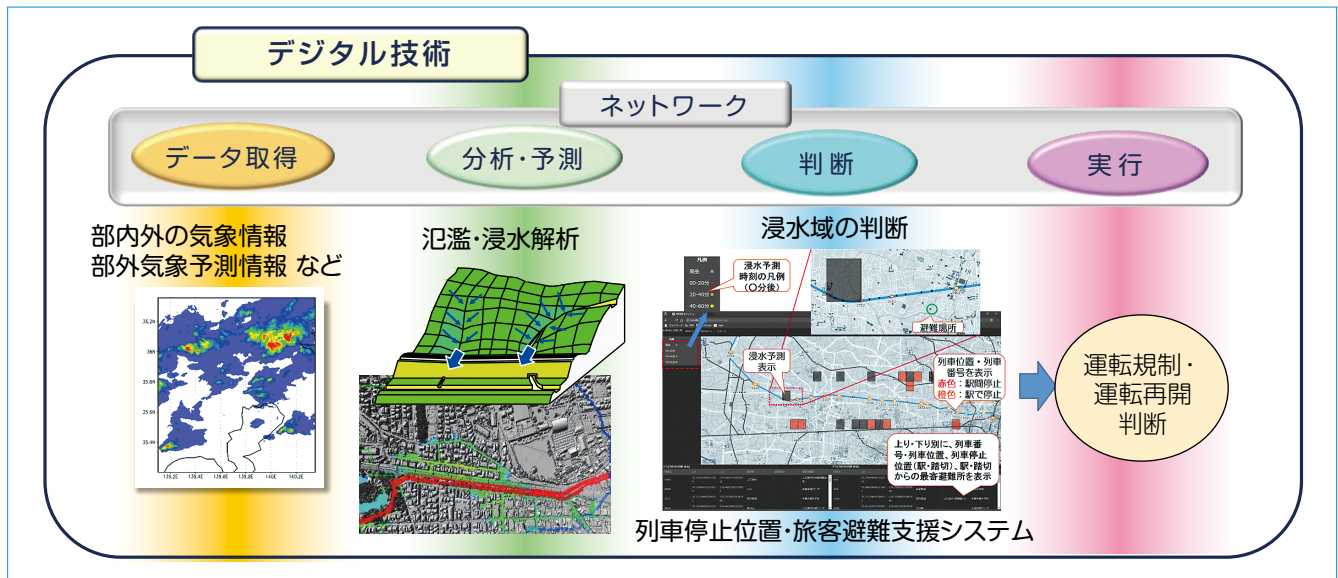


図3 リアルタイムハザードマップ技術のデジタル化

な理解と将来予測を行います。

- ③**判断**：モデルに基づく分析・予測結果から、現実の事象への必要な対策を示します。
- ④**実行**：必要なタイミングと手段で業務を高い精度で制御します。

デジタル化の適用例

図2で示した三つのフェーズのうち、(2)と(3)の安全対策は、デジタル化の適用によって、精度や効果が格段に向上します。現在取り組んでいる研究テーマの中から、外部要因として気象災害(リアルタイムハザードマップ)と、内部要因としてヒューマンエラー(乗務員の心身状態モニタリング)の2例を紹介します。

(1) リアルタイムハザードマップ

局地的な短時間強雨や突風など、事前に予測が難しい顕著気象災害が増えています。このため、減災技術を確立し、鉄道システムのレジリエンス(破局状態回避と早期回復)を向上することが急務になっています。減災技術には、外力の検知、災害ハザードの予測と評価、運転規制と旅客の安全確

保、災害後の迂回計画・復旧戦略^{うかい}などの一連の技術が含まれます¹⁰⁾。まさに、デジタル化が期待されるテーマです。短時間強雨を例に、具体的な流れを説明します(図3)。

- ①**データ取得**：部外・部内の気象情報や部外機関の気象予測情報を入力します。
- ②**分析・予測**：上記の情報を元に氾濫・浸水域を分析して、予測します。なお、過去の知見から豪雨時の浸水域や浸水深を推察する従来型のハザードマップでは、急変する局所的豪雨に十分対応できません。観測記録の最大値を更新する雨がたびたび観測されている状況では、保有している排水設備の能力を超える量の出水が考えられ、これまで浸水していない箇所でも浸水する可能性があるためです。そこで、地形情報を用いた流出解析に線路側溝や横断排水溝などの排水設備のモデルを導入し、さらに、高架橋や盛土といった構造物の情報を付加することで、実際の氾濫状況を再現できる解析手法の開発を進

めてきました。

- ③**判断**：氾濫・浸水域の予測結果をもとに、列車をどこに停車すれば安全か、場合によっては旅客をどこに避難させればよいかを判断します。
- ④**実行**：事業者による運転規制、旅客避難、早期の運転再開判断などに活用します。

(2) 乗務員の心身状態モニタリング

つぎに内部要因の例として、乗務員の心身状態モニタリングへの適用例を説明します(図4)。乗務員の心理・生理状態の変化を検出して、ヒューマンエラー事故を未然防止するための研究です⁹⁾。

- ①**データ取得**：乗務員の視線、表情、脳活動、心拍などの自律神経系の指標や機器操作のタイミングなどの運転状況データを入手します。
- ②**分析・予測**：上記の生理指標の変化と運転状況データとの関係から開発した人間工学的モデルを活用し、疲労、眠気、集中度などの心理・生理状態を予測します。
- ③**判断**：心理・生理状態が異常であ



図4 乗務員の心身状態モニタリング技術のデジタル化

ると予測された場合、列車運行に及ぼす影響を比較して、より安全な対策を判断します。

④**実行**：その結果をもとに、乗務員に警告信号を送ったり、覚醒度や集中度を高める刺激を提示したり、場合によっては、直接運転に介入して制御を行います。

列車運行の安全性を高めるだけでなく、乗務員ごとの特徴を定量化して訓練や技量の向上に活かすことが可能です。これらは、将来の自動運転（添乗員付き半自動運転や完全な無人運転）を目指す際の貴重なデータになると考えています。

ただし、営業運転中の列車で乗務員の脳活動などを計測するのは現実的ではありません。このため、さまざまな生理指標を計測し、指標間の対応関係を分析することで、実際の運転場面でも計測可能な生理指標を絞り込むための研究を進めています。

おわりに

ここでは、最先端のICTを活用し、鉄道技術のデジタル化を推進して、鉄

道システムの安全性をさらに高めるための研究の方向性を紹介しました。なお、デジタル化の適用は安全の分野に限りません。メンテナンス、低コスト化、サービス向上など、鉄道への信頼と競争力を高めるためのあらゆる分野への拡張が可能です^{11)~13)}。

鉄道総研では、鉄道技術の変革を目指してICTを活用したデジタル化の研究を一層推進することで、鉄道システムのさらなる発展に貢献したいと考えています。**RRR**

文献

- 1) 久保俊一：ICTで創る安全・安心のための新たなシステム、第31回鉄道総研講演会要旨集、pp.7-12、2018
- 2) 鈴木康文：鉄道システムの安全性・信頼性向上の研究、JRガゼット、Vol.71、No.3、pp.38-41、2013
- 3) 鈴木浩明：安全な鉄道の実現に資する研究開発、JRガゼット、Vol.74、No.1、pp.39-42、2016
- 4) 佐々木君章：30周年を迎えた鉄道総研の研究開発、安全性の向上、RRR、Vol.73、No.12、pp.20-23、2016
- 5) 室野剛隆：鉄道における地震対策と地震情報の活用、RRR、Vol.76、No.3、pp.4-7、2019
- 6) 太田直之：鉄道の防災技術、RRR、Vol.75、No.10、pp.4-7、2018
- 7) 石田弘明：車両の走行安全性を評価する、RRR、Vol.70、No.2、pp.4-7、2013
- 8) 寺田夏樹：列車運行のさらなる安全向上、RRR、Vol.76、No.1、pp.8-11、2019
- 9) 中川千鶴、秋保直弘、吉江幸子、小島崇、鈴木綾子：生理指標を活用して運転士の状態を推定する、RRR、Vol.76、No.6、pp.8-11、2019
- 10) 鈴木浩明：リアルタイムハザードマップの構築、第30回鉄道総研講演会要旨集、pp.45-50、2017
- 11) 村本勝己：持続可能な安全を実現するメンテナンスの高度化、第31回鉄道総研講演会要旨集、pp.33-40、2018
- 12) 平栗滋人：鉄道の低コスト化をめざして、RRR、Vol.74、No.6、pp.4-7、2017
- 13) 鈴木浩明：鉄道利用者の快適性に関わる研究の現状と課題、鉄道総研報告、Vol.34、No.1、pp.5-8、2020