

安全に関する研究開発について



JR東日本研究開発センター 安全研究所 所長 加藤 正道

安全計画2008およびニューフロンティア2008で示された安全上の課題を着実に達成するため、JR東日本研究開発センター安全研究所では、「鉄道に関わる事故防止」、「安全・安定輸送の確保、地震時の安全対策」および「ヒューマンファクター」の3つの柱で研究開発に取り組んでいます。研究開発に際して、新潟県中越地震時の新幹線の脱線や、福知山線での脱線事故など、大きな災害や事故の教訓を安全対策に活かすことをはじめとして、潜在あるいは顕在リスクを定量化し、研究開発の取組みにおける選択と集中に活かすとともに、予防的な安全管理体制の構築に向け、会社の安全性や安全活動の指標の策定などについて研究開発を進めています。本稿では、研究開発の考え方と、主なテーマのねらいや課題等について紹介します。

1 はじめに

今年度は安全計画2008の2年目を迎え、現在、

- ・安全設備重点整備計画
- ・安全のレベルアップ
- ・安全マネジメントの変革
- ・安全文化の創造

の4つの柱に基づいて、研究開発成果の導入も含め、様々な安全対策が進められているところです。さらに、今年度から当社の新たな中期経営構想「ニューフロンティア2008」がスタートし、その基本構想の6つの柱の第一番目に改めて、「安全・安定輸送への耐えざる挑戦を続けます」という方針が掲げられました。

また、昨年10月に発生した新潟県中越地震における走行中の新幹線の脱線、更には本年4月に発生した福知山線における列車脱線事故と、鉄道の歴史上でも大変大きな事故・災害が発生しており、こういった事故・災害から最大限の教訓を学び取り対策に生かすことも大きな課題です。

2 研究の3つの柱

このような状況を踏まえ、研究の柱について次のような考え方に基づいて策定しました。

「鉄道の安全の歴史は事故の歴史である」とよく言われます。実際、これまで様々な事故から教訓を学ぶことによって今日の安全な鉄道を築いてきたといえます。但し、経験だけに立脚した安全対策に頼っている限り、安全のレベルはそのうち頭打ちとなってきます。今後、効果的に鉄道

の「究極の安全」を目指していくためには、事故に学ぶだけの対策ではなく、科学的に鉄道システム全体のリスクを評価して対策を進めていくことが必要と考えられます。また、近年企業活動に関わるリスクマネジメントが非常に注目されており、企業のリスクを客観的に評価して事前に対策を打つという考え方が広まってきています。

そこで、鉄道システム全体のリスクを見据えた上での研究戦略を進めることとしています。一般に、技術が高度化するとシステムの安全性が高まる反面、事故の規模も巨大化する傾向にあります。鉄道においてリスクを的確に評価する目的は、当社の安全レベルを知ることでだけでなく、システムのどの部分にどのような危険が潜んでいるのかを定量的に知る、すなわち当社にとってどのような事故がどの程度重大なのかを知り、安全戦略の最適な意思決定に役に立てていくことが極めて大切だと思います。

以上のことから、後述する「鉄道システム全体の信頼性評価」で示すリスクマップ等に基づき、次の3つの柱を立てて取り組むこととしました(図1)。

- (1) 鉄道に関わる事故防止
- (2) 安全・安定輸送の確保・地震時の安全対策



図1 研究の3つの柱

- ①リスクマネジメントへの挑戦
- ②自然災害への対応
- (3) ヒューマンファクター

3 研究のねらい

これら研究の3つの柱のねらいを以下に述べます。

(1) 鉄道に関わる事故防止

列車衝突や脱線防止など主に部内原因に起因する重大な事故の防止、ホーム等におけるお客様の安全確保、協力会社社員の安全など研究領域の拡大と深度化を図ります。

(2) 安全・安定輸送の確保・地震時の安全対策

研究のねらいをより分かりやすくするため、柱を更に2つに分け、①自然災害への対応、②リスクマネジメントへの挑戦、としました。①については、自然災害のうち、これまで未着手であった雪害対策などへの研究領域の拡大、②については、鉄道システム全体の信頼性を安全性、輸送安定性を含め総合的に評価する手法の開発などに取り組むことをねらいとしています。

(3) ヒューマンファクター

事故の原因究明ならびに再発、未然防止に向け4M4E分析手法の導入が進んでいますが、ヒューマンファクターの観点を的確に支援する調査手法に関する研究、ヒューマンファクターを考慮した新しい指導・訓練手法の研究などを主なねらいとしています。

4 主な研究の概要

安全計画2008およびニューフロンティア2008の着実な達成に向け、現在実施している主な研究テーマについて、そのねらいや課題等について示します。

4.1 鉄道に関わる事故防止

4.1.1 乗り上がり脱線に関する研究

2000年3月に発生した地下鉄日比谷線の脱線事故から5年、乗り上がり脱線に関する研究が各所で行われ、脱線のメカニズムがほぼ解明されてきました。しかし、脱線への影響が大きいと想定される、車輪とレール間の摩擦係数のように、条件とその値が明確でない部分があることや、乗

り上がり脱線は複数の要因が重なって起きていると考えられ、各要因の脱線に対する影響を明確にする必要もあります。当社で過去10年間に亘る研究や走行試験データ(図2)より、乗り上がり脱線防止に効果のある因子は何かを明確にしました。(詳細は本誌、特集論文「乗り上がり脱線に関する研究」参照)

さらに、車輪とレール間の摩擦係数について、摩擦調整剤等を使用して一定範囲内に収め、低速乗り上がり脱線を防止するために、台車試験装置による脱線模擬試験などを実施し研究しています。今後、摩擦調整剤の使用方法や、軸箱支持剛性など適切な台車の仕様について研究を深度化する予定です。

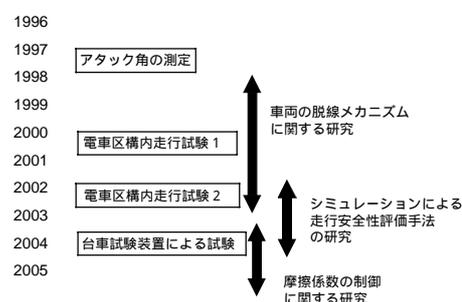


図2 当社における乗り上がり脱線に関する研究

4.1.2 列車通過時の列車風に関する研究

列車の速度向上に伴い空気力学的な現象が顕著になる傾向にあり、新幹線が通過線のない駅ホームを通過する場合に発生する列車風の風速がホーム上のお客さまに影響を及ぼさないように、一定値以下に抑える対策が必要となります(図3)。これまでの新幹線では、国鉄時代に示されたホーム上のお客さまの安全に対する指標に従い、列車の高速化に伴う列車風の増大に対して、ホーム上の退避幅を見直したり、ホーム上に安全柵を設けたりして、ホーム上のお客さまが受ける風速を一定値以下に抑えるようになってきました。この指標は気象庁風力階級に基づいたものですが、対象物の周囲で観測される事象により風の大きさを区分したものであり、風速の作用時間を考慮していないため、列車風のように短時間で大きく変化する現象に対して、安全性を評価する上で適切かどうかという問題があります。そこで、お客さまの安全の観点から通過線のない駅ホームで発生する列車風の許容レベルについて、被験者に姿

勢安定性評価等を行い、許容範囲を推定しました。(詳細は本誌、特集論文「列車通過時の列車風に関する研究」参照)

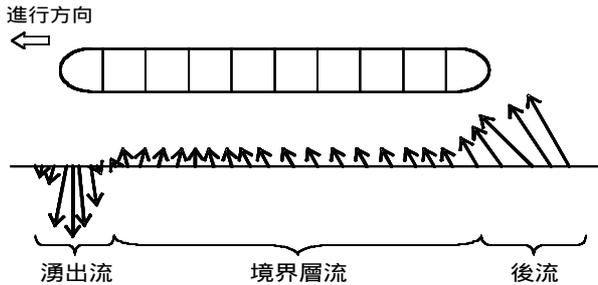


図3 列車風の模式図

4.1.3 保守用車短絡走行の研究

線路のメンテナンス作業に用いる保守用車の大型化が進み、最大のものは総重量が60t以上になっており、一方で電車や気動車は軽量化が進み約30tとなっています。現在、保守用車が作業している区間に列車を進入させない措置は、係員の注意力に依存して行われています。そこで、列車と同じく保守用車を短絡走行させて信号機に停止信号を現示することにより、列車と保守用車の衝突を防止するバックアップシステムを開発しました(図4)。このシステムは軌道回路を短絡し、踏切には影響を与えない短絡器を開発、保守用車に搭載することで実現されています。中央線(上野原～小淵沢)における走行試験及び試行の結果、実用可能と判断され、導入条件の整った他線区への展開を推進しています。今後は、CTC線区や軌道回路方式の異なる線区への展開を可能とするための研究を進めていきます。

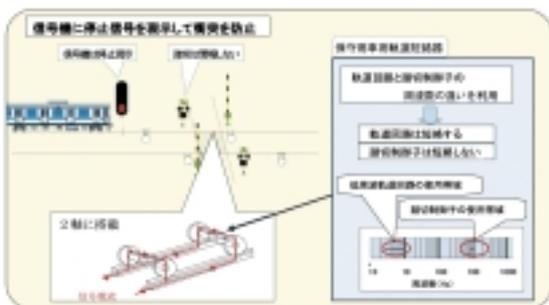


図4 保守用車短絡走行システム

4.2 安全・安定輸送の確保・地震時の安全対策

4.2.1 リスクマネジメントへの挑戦

リスクマネジメントについては、鉄道システムのリスクを客観的に評価し事前に対策を打つ観点から、「価値軸の

構築」、「ヒューマンファクターからの探求」、「定量的安全評価手法の構築」の3つの視点で取り組んでいます。ここでは「価値軸の構築」関連の研究に関して紹介します。

4.2.1.1 鉄道システム全体の信頼性評価

鉄道システム全体の信頼性を安全性、輸送安定性、社会的影響を含め、総合的に評価する手法の開発に取り組んでいます。図5は「鉄道システムに関する事故のリスクマップ」の一例ですが、マップの右上ほど、発生する頻度が高く、かつ発生した場合の影響が大きい事象ということになります。さまざまな安全対策を実施することにより、右上の事象が左下へ移動していくこととなります。その一例として、列車衝突事故に関して、ATSの発達により、そのリスクは左下に移動し、残るリスクは人間と機械のインタフェース等で発生する事象を残すまでにリスクが低下したことが分かります。

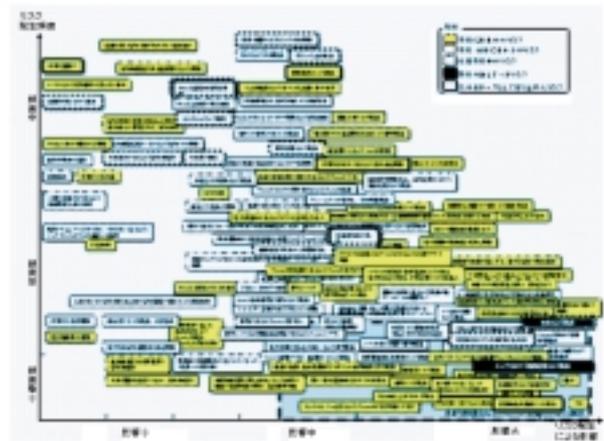


図5 鉄道システムに関する事故のリスクマップ

このマップにはもうひとつ、第3の軸が必要です。それは、社会の価値観を加味した価値軸です。同じ事故・輸送障害でも、例えば部内原因と部外の原因とでは、社会の評価は大きく違ってきます。また、「リスクマップ」の作成は、当社の鉄道システムの安全性と今後取り組むべき課題を示すことにつながります。想定すべきリスクをすべて洗い出し、マッピング精度を上げることが必要ですが、この検討が先述した「研究の3つの柱」の策定に生きています。今後、価値軸の策定など課題をクリアーし、将来的に当社全体の安全施策や安全活動の指標としていくことをねらいとしています。

4.2.2 自然災害への対応

自然災害に対しては、これまで、「強風警報システム」、「SI値による地震時運転規制」および「実効雨量による運転規制」などが開発を終え、実用化または実用化の準備に入っています。今後は、課題の残る雪害対策、中越地震を踏まえた地震対策に関する研究等に取り組みます。

4.2.2.1 強風警報システム

現行の強風時列車運転規制ルールは、風速計で観測された瞬間風速のみにもとづいて一律に一定時間規制するため、列車ダイヤが乱れる原因になっています。これを解決するため、風速の予測を用いた運転規制方法（強風警報システム）を開発しました（図6）。強風警報システムを用いることで、現行ルールと同等以上の安全性を保ちながら、運転規制時間を短縮する効果が期待できます。

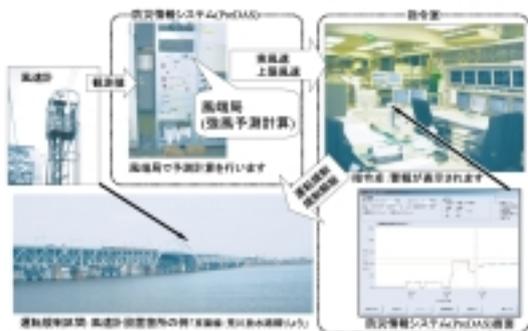


図6 強風警報システムの情報の流れ

本システムは、今年8月から京葉線で稼動していますが、導入効果を確認しながら、全社的に拡大する予定です。（詳細は本誌、特集論文「強風警報システムの開発」参照）

4.2.2.2 地震影響評価システム

最高速度360km/hを目指した新幹線高速化プロジェクトの一環として、様々な研究、開発、試験が進められています。地震に関しては、高速化によるリスクの増加を許容限度内に抑える対策を講じる必要がありますが、鉄道の地震リスクを定量的に評価する手法は確立していませんでした。そこで新幹線システム全体の地震時リスクを定量的に評価する手法を開発することを目的として、地震活動度モデルや車両の地震時走行安定性、高架橋の耐震性能、地震早期検知システムの警報特性等の評価パラメータを組み合わせた地震影響評価手法の開発を進めてきました。また、リスク評価作業をPC上で効率的に実施し、結果を視覚的

に表現するために、アプリケーションソフトを開発しました（図7）。様々な属性パラメータが地震リスクに与える寄与を定量的に把握でき、今後の新幹線の地震リスクマネジメントにおける活用が期待できます。（詳細は本誌、特集論文「地震影響評価システムの開発」参照）

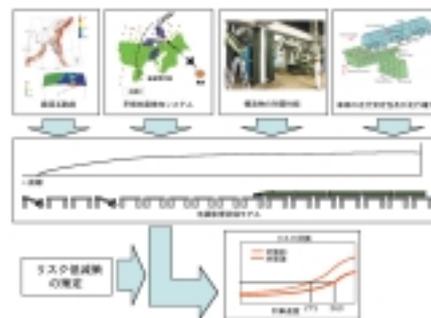


図7 新幹線地震影響評価システムの全体構成

4.3 ヒューマンファクター

人間が介在するあらゆる場面でヒューマンファクターを考慮し、人間との境界を最適にして事故の未然防止を図り、予防的な安全管理体制を構築していくために、①ヒューマンエラー防止、②ヒューマンファクターを考慮した指導・訓練手法、③異常時におけるパフォーマンスの確保、④予防的な安全管理、の各アプローチで取り組んでいます。ここでは、②③に関する研究テーマを紹介します。

4.3.1 4M4E訓練・支援ツールの開発

2005年度からヒューマンエラーに起因する「注意を要する事象」の分析に、昨年度開発した当社版の「4M4E分析」を用いています。分析を適切に行うためには、ヒューマンファクターに関する知識や基本的な考え方をしっかり理解しておく必要があるため、「4M4E分析訓練・支援ツール」の開発を行っています。「4M4E分析訓練ツール」は、「慣れの怖さを知る」「異常時のエラーを理解する」など5つのシナリオで構成され、問題・解説の構成によりヒューマンファクター上の知識や分析上のポイントを習得するツールです（図8）。一方、「4M4E分析支援ツール」は、実際に「注意を要する事象」の分析を行う際に必要なヒューマンファクター上のアドバイス等を提供し支援を行うツールであり、訓練ツールが基礎編であるのに対し、実践編に当たりエラー分析のスキルアップが図られるとともに、経験の浅い分析者でも一定の質の分析を可能にするツールの開発を行っています。



図8 4 M4 E分析訓練ソールの画面

4.3.2 リスクモニタリング訓練手法の研究

運転業務におけるエラーのリスクは作業により異なり、また同じ作業であっても、状況等により変化します。本研究では、熟練運転士のインタビューにより、要注意エラーや要注意状況を収集するとともに、エラー防止の工夫について整理しました(図9)。その結果、要注意と考えているエラーは「5つのタイプ」に、エラーが発生しやすい状況は「3つの次元」に分類でき、また「エラー防止の工夫」については、エラー内容に応じて行われていることが分かりました。熟練運転士は、エラー防止スキルを継続的に成長させるため、要注意状況等の蓄積をベースに、作業状況に応じてリスクの予測や検出を行い、エラーを回避していく「リスクモニタリングサイクル」と、自分自身のヒヤリハット等を振り返り、その原因等から、今後のエラー防止につなげていく「リスクセンス蓄積・成長のサイクル」という2つのサイクルを持つことが推定されました。今後はモデル職場における議論を通して、エラー防止スキルの評価を行い、具体的な教育訓練手法に展開していきます。(詳細は本誌、特集論文「熟練運転士が持つエラー防止スキルの研究」参照)

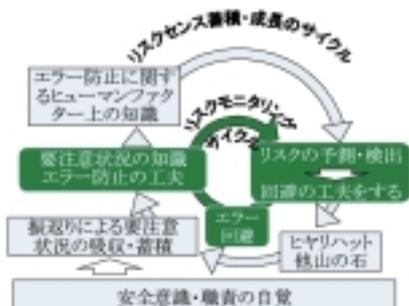


図9 運転士のエラー防止スキル蓄積・活用のモデル

5 おわりに

研究成果が活用され、鉄道の安全性や安定性を持続的に向上させていくためには、支社や現場第一線の社員との意思疎通が不可欠です。安全計画2008で示される指針を着実に達成していくために、研究開発が果たすべき役割を的確に捉え、研究成果が迅速に業務に活用されていくよう、今後ともお客さまと現場に基軸を置いた研究開発に取り組んでいく所存です。