

## 安全研究所25年の歩み

### The History of Safety Research Laboratory over the Past 25 Years

JR東日本研究開発センター 安全研究所

福山 浩史



Safety Research Laboratory was established in April 1, 1989 after the Higashi Nakano accident occurred that a train collided with other train as one of the countermeasures. This laboratory has developed many safety mechanisms, systems, rules and so on for the purpose of higher railway safety. I introduce some of safety development over the past 25 years in this review.

#### 1. はじめに

1988年12月5日、中央緩行線東中野駅において、お客さま1名と運転士が死亡するという列車追突事故が発生しました。当社では、このような事故を二度と起こさぬよう翌1989年度を安全元年と位置づけ、ATS-P設置の線上げ導入や各支社への訓練センターの開設などの各種対策をとるとともに、鉄道の安全を総合的・科学的に研究する専門機関として「安全研究所」を4月1日に設立しました。

25年前から、発生した事故に対処するだけでなく、事故を予知し未然に対処することが求められており、これは現在の安全研究所のミッションとしても引き継がれており、鉄道の事故防止全般に関する研究開発を進めていることは25年間の変わらぬテーマとなっています。

また、1990年代は、来宮駅列車衝突事故や水戸駅触車事故、籠原駅構内脱線事故などが発生し、残された安全上の課題が浮上してきました。また、2004年の新潟県中越地震での上越新幹線の脱線事故、2005年の羽越線脱線事故など重大な事故も発生、これらの事故調査にも参画し、原因を見据えた事故対策に関する研究開発も進めることにもなりました。結果として、未然防止を標榜する一方で事故の再発防止を進める研究開発にも取り組み、鉄道の安全性向上に役立つことができたと考えています。

以下では、この25年間の分野別の主な研究開発成果について述べます。

#### 2. 安全研究所での25年間の主な研究開発内容

##### 2.1 ヒューマンファクター

安全の確保のためには人とシステムの連携が重要です。人のレベルアップ、現場の安全力向上、人の力を落とさないシステム化を柱とし、安全に関わる教育手法の開発、最適なヒューマン・マシン・インタフェースの構築などの研究開発を進めています。

##### ○「4M4E 分析手法」の開発

事故の対策を確実に実施するには、「事故および事故の“芽”」を正しく把握するとともに、そこから教訓をしっかりと抽出し、その教訓を活かして再発・未然防止を図ることが重要です。当社にとっての「事故の“芽”」である「注意を要する事象」はその大部分がヒューマンエラーに起因して発生しているため、事故を未然に防止するためには、ヒューマンファクターの視点から「事象」を的確に分析することが求められていました。

4M4E分析は、事故や事象の中で発生した個々のヒューマンエラーに対して、人 (Man)、もの (Machine)、環境 (Media)、管理 (Management) の4つの観点 (4M) から要因を抽出し、さらに、抽出されたそれぞれの要因に対して、人 (Education)、もの (Engineering)、環境 (Environment)、管理 (Enforcement) の4つの観点 (4E) から対策を検討する分析手法です。

当社版の「4M4E分析」では、それに加えて「構造分析シート」というシート上で、エラーごとに「4M」でその誘発要因を捉え、重要な要因について「なぜ」を繰り返し「真の要因」を抽出できる「4Mなぜなぜ分析」を行うことにしました。そして、「真の要因」に対して、4Eの観点から防止対策を多面的に検討した上で、有効な対策について確実に実行でき

るよう「だからどうする」を繰り返して対策を考え出すこととしました。これは「4Eだからどうする分析」と命名しました。開発した4M4E分析は、2004年度より当社内の事故・事象分析に利用しています。

また、4M4E分析を訓練するツールとして「なぜなぜ君」を開発し、4M4E分析のポイントやヒューマンファクターの考え方を理解してもらうこととし、分析支援ツール「掘り下げ君」を併用することで4M4E分析の質的向上が図られています。

#### ○「他山の石」置換え支援ツール

事故の対策を考える上で、過去の事故や他の職場などで発生した事故に学ぶことは重要ですが、自分で経験したことのない事故の教訓から学ぶことは容易ではありません。そこで、他の箇所が発生した事故などの「他山の石」を分析フローとワークシートに従って議論を進め、自箇所が発生したこととして置き換えることができるツールを開発し、2013年より職場単位で活用しています。

#### ○ヒューマンファクターの観点からの教育訓練

ヒューマンファクターの観点を取り入れた職場内教育を進めることを目的に、コンピュータ技術の進展にあわせて乗務員教育訓練や線路作業員用の触車事故防止訓練などのシステム化に取り組み、魅力あるソフト、使い易いシステムを開発してきました。2008年度から開発を進めた保守用車作業従事者スキルアッププログラム(図1)は、保守用車を使用する際に陥りやすいヒューマンエラーについて学習し、エラーによる事故を未然に防止するためのスキルを習得できるものとして開発を進めました。本訓練ツールは実例に基づく映像やCGにより現実に近い内容を体験でき、能動的な学習ができる構成になっており、2010年度から社内やパートナー会社での研修において使用されています。なおこのプログラムは、「実践可能なスキル習得のためのヒューマンエラー防止プログラム」として第7回日本e-Learning大賞経済産業大臣賞を受賞しました。



図1 保守用車作業従事者スキルアッププログラム

なお、チームによるエラー防止の観点から、指令担当社員を対象にコミュニケーション能力を高めることなどを目的としたJR型CRM訓練を2002年度から東京総合指令室と共同で開発し、2004年度から実施しています。CRM自体は元々航

空界の用語で、Crew Resource Management、すなわちパイロットが活用できるリソースをできるだけ有効に使うことで安全性を高めていくための手法であり、この考え方を応用して指令員向けにしたものです。発生した輸送障害や異常時をチームで適切に振り返ることを通して、いろいろな教訓を抽出し、かつ即共有化し業務に生かすことが可能となっています。

#### ○ヒューマンマシンシステムの解明

1996年度には、ATSが設置された1966年以降の信号冒進について分析し、その特徴や発生傾向の把握、ATS-SN区間の安全性向上策などについて検討を行いました。

さらに信号冒進の防止にヒューマンマシンシステムの視点からアプローチすべく、事故予防型運転台シミュレータを設置して適正な作業と機器配置の研究に取り組みました。その成果として、運転台のATS-Pインタフェース改善など現車の設計に反映させることができました。

#### ○東日本大震災などの教訓の利活用

2004年10月の中越地震発生後には、初動体制や安否確認の重要性を記載するなど「大地震発生時の対応マニュアル」の内容の見直しを行ったほか、携帯版対応マニュアルも合わせて作成しました。また、大地震が発生した際に適切な行動がとれるように実効性のある訓練を企画し実施できる「震災リスクマネジメントマニュアル」も策定しました。

2011年3月の東日本大震災後には、発災後に臨機応変に対応できたことが被害軽減につながったことを教訓として得ました。そこで、事故・トラブルや災害発生時にお客さま・社員の命を守るために、危険を予測し臨機応変に行動できるよう「異常時イメージトレーニング法」を開発しました。また、地震・津波発生時の避難誘導については、具体的な避難誘導のための要件および対策の方向性を提案しました。

#### ○ヒューマンファクターの観点からの事故防止

現場第一線でのヒューマンエラー防止の支援として「事故防止のキーポイント」や「安全のヒューマンファクター」を発行し、社員のヒューマンファクター意識の向上をはかりました。

また、事故の未然・再発防止のための取り組みを自律的に行っていくことができるよう、ヒューマンファクターに係わる知識やスキルを吸収していく場として、2006年10月に「安全のポータルサイト(以下、安全ポータル)」を大宮支社で試行の上、2007年4月からイントラネット上で全社に公開しました。

安全ポータルのコンセプトは、「現場の安全力向上に役立つ情報を定期的に発信する」、「現場が必要ときに情報を簡単に検索できる」の2点で、本社安全企画部と安全研究所とで定期的に情報発信を進めています。特に安全研究所からは、「ヒューマンファクターニュース」というヒューマンファ

クターに関するテーマを発信しており、継続中です。またポータルサイト上で情報交換のできるコミュニケーション機能について開発を進めています。

## 2.2 安全性評価

鉄道システム全体の安全性を評価し、新たなリスクに備えるという観点から、安全対策の優先順位を決定するための指標や、お客さまへの影響を考慮した輸送安定度指標などの研究開発を進めてきました。

### ○鉄道全体のリスク評価の取り組み

1987年に当社が発足して以降、毎年着実な安全対策を継続してきた結果、鉄道運転事故の発生件数は、2000年頃には会社発足時の半分以上にまで低下してきました。一方で、対策の効果は年々低下してきており、経験や勘だけでなく科学的なアプローチに基づく安全対策の必要性が高まっています。

そこで鉄道においてもリスク評価の考え方を適用して必要な対策を立案することのできる手法の開発に取り組んでいます。リスクは、発生頻度や事故後の影響を組み合わせる客観的に算定される工学的リスクが一般的ですが、各リスクに対して事業者責任などにより重み付けした社会的リスクが必要であると見え、部内原因のリスクと部外原因のリスクを比較することが可能な評価手法について研究しています(図2)。

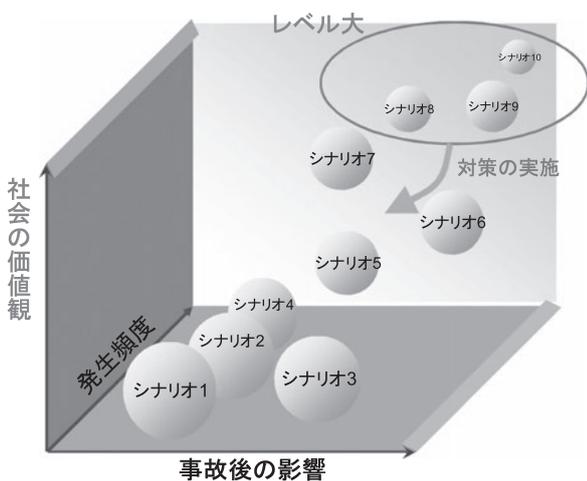


図2 社会的リスクの評価

リスク評価に関しては、これまでマサチューセッツ工科大学と共同研究を行うなど、社外の専門家の知見を活用した取り組みを行ってきました。今後も大学やシンクタンク等と連携し、実践に役立つ評価手法の確立に向けて取り組んでいきます。

### ○輸送安定度指標 POINT

従来輸送障害が発生した際、その規模を示すデータとして、列車の運休や遅延といった鉄道運行側のデータが主

に利用されていたため、輸送障害の規模をお客さまの視点で表す方法がなく、優先順位をつけた対策の検討が困難でした。

そこで、輸送障害発生時のお客さまへの影響を、お客さまに迷惑をかけた時間と、その人数、そして輸送障害発生の原因の組み合わせで評価し、その評価結果を階級の考え方でランク付けを行う「POINT (Personage Of Influence on Transportation)」なる概念を考案しました。

POINTは、2005年度より東京総合指令室、その後順次主要線区に導入され、輸送障害時のお客さまへの影響を計る社内指標として活用されています。

## 2.3 安全システム・保守作業

「新しい信号通信システムの構築」と「保守作業の安全性向上」を課題として研究開発を進めてきました。

### ○新しい信号通信システムの構築

安全研究所発足直後には、信号通信システムの基本デザインを明らかにすべく、次世代信号通信システム検討委員会を設置し、今後めざすべき方向は「脱軌道回路、車上主導制御、デジタル技術の活用」であることを明らかにしました。

このうち車上主導制御については、1991年度から山手・京浜東北線ATC更新用としてパターン型ATCシステムの開発に取り組み、1996年に本社に設置されたプロジェクトチームに引き継ぎ、D-ATCとして実用化されました。

さらにこの提言の本格的実現をめざして、1995年度から、デジタル無線をベースとした新しい鉄道制御システム(ATACS)の開発に着手しました。ATACSについてもプロジェクトチームに引き継ぎ、2011年より仙石線にて実用化されました。

### ○地方交通線向け列車制御システム

地方交通線に1986年度から導入された特殊自動閉そく式電子符号照査式(以下、電子閉そく)は、20年以上経過しており更新時期が迫っていました。また、地上には多くの信号設備が設置されており、メンテナンスコストが上昇しています。そこで電子閉そくに代わり、各地上設備をコンパクトに統合した新たな設備として、汎用無線技術を利用した地方交通線向けの低コストな列車制御システムの開発を、電子閉そく線区である小海線をターゲットに行いました。

### ○踏切事故の防止

踏切事故防止については、障害物検知装置に続く対策の開発をめざし、斬新な踏切デザインや視認性の高いしゃ断機の開発などに取り組みました。このうち次世代踏切と称する門型の踏切デザインについては、踏切事故が弱点とされていた山形新幹線のモデル踏切に採用されました。また、しゃ断桿

の強度を高めた上で国際的によく使われている赤白の配色にして視認性も高め、しゃ断機降下時の進入抑止力向上を図った赤白大口径しゃ断桿も開発し、複数の踏切に導入されています。

#### ○保守作業の安全性向上

1989年10月の常磐線大津港～磯原間での列車脱線事故を契機として、線路閉鎖作業の安全システムの構築に着手しました。また、1993年度からは、常磐線水戸駅、東北本線鹿島台駅での作業員の触車死亡事故に端を発し、GPSと無線を用いた列車接近警報装置の開発に取り組ましたが、当時はコストの問題などから実用化には達しませんでした。

現在では、GPSの汎用化によるコストダウンや精度向上に伴い、軌道回路のない区間の列車警報装置や、多線区間でも適応可能な列車接近警報装置の開発に取り組んでいます。

また、1998年度からは、線路閉鎖工事時の手続き誤りの防止を目的に汎用技術を活用した線路閉鎖手続きを支援するシステムの開発に着手し、保守用車進路構成機能を付加して、2006年度より篠ノ井線に導入されました。現在は、全社展開に向け複線化対応機能の開発を進めています。

#### ○新幹線新型確認車

1991年から入換車両自動運転システムの開発に取り組みましたが、在来線に自動運転を取り入れることは難しく実用化には至りませんでした。しかし、その成果は進路監視システムの成果と合わせ、画像処理技術を用いることで初列車前の線路上の安全確認が自動で実施できる新型確認車の開発に活かされ実用化されました(図3)。長野新幹線開通に合わせて同新幹線に導入されたのち、この成果は全新幹線区間に導入されました。



図3 新幹線確認車

#### ○新幹線保守作業の安全

新幹線の保守作業は作業時間帯にのみ実施されますが、大型の保守用車の運行は人間の注意力による安全確保のみでした。そこで、保守用車同士の衝突などを防止する新幹線保守作業安全システムを開発し、2001年度から2003年度にかけて実用化されるとともに、「分岐器割出し防止機能」も開発し、2007年度に全ての新幹線保守用車に導入されました。

また保守作業員のさらなる安全性向上をめざして、線路作業区間の隣接線を保守用車が通過する場合に、地上作業側と保守用車双方で相互の位置や接近距離が把握でき、双方に接近警報が鳴動する新型線路作業用送受信機を開発し、2010年度から当社新幹線に導入されています。

#### ○保守用車短絡走行など

大型化する保守用車と列車との衝突防止を図るため、軌道回路は短絡し踏切制御子は短絡しない車載型短絡器を開発し、保守用車の短絡走行に向けた開発を行い、短絡走行が可能な区間から導入が開始されています。

また、軌陸車の誤載線防止や保守用車の線路閉鎖区間外への進出を防止するために警報を発する保守用車ロケーションシステムの開発を進めています。

### 2.4 車両・旅客安全

乗り上がり脱線事故の根絶に向けた研究を車両と軌道の両面から取り組んできました。また、新たな車両の転覆評価手法の導入に向けた研究、あるいは、駅での車両とお客さまの接点における安全性向上の観点から、ホーム検知装置などの研究開発を進めてきました。

#### ○脱線現象の解明

脱線現象の理論的解明をめざして、車両運動のシミュレーションによる解析と、その結果を検証するための実列車での走行データ(車輪・レール間の輪重、横圧、アタック角など)の測定(図4)に取り組んできました。



図4 走行試験の様子

また、ボルスタレス台車の側線用分岐器上での脱線事故など、実際に発生した脱線事故の原因究明にも取組み、現車での再現試験などから判明した対策や管理基準の提言を行ってきています。その後も、低速走行時の脱線事故に関する知見を蓄積し、レールと車輪間の摩擦係数と脱線事故の関連などに関する研究を進めています。また、影響している因子について改善できる対策を提言してきました。

今後も脱線に関する技術向上および技術継承に努め、車輪フランジとレール間の摩擦係数増加のメカニズムを解明し、乗り上がり脱線しない軌道と車両の諸元や管理方法を示すため、今後も鉄道固有の技術として研究を進めていきます。

## ○風による転覆耐力に関する研究

標準軌を走行する新幹線は転覆耐力が高く、多くの区間に防音壁が設置されており遮風効果も高いと考えられます。そこで、風洞試験や実列車での測定により防音壁の遮風効果を検証し、一定条件下では、安全性を確保した上で運転中止の基準を30m/sから35m/sに緩和できると確認することができました。これに基づき1995年12月から規制基準が変更され、風による輸送障害を大幅に改善することができました。

また、2003年に鉄道総合技術研究所より提唱され、強風を受けた車両の転覆耐力をより精緻に評価可能な「詳細計算式」を用いた運転規制を行うため、実車などで確認する取り組みも進めています。

## ○運転台の衝撃吸収構造の開発

1992年9月の成田線大菅踏切での事故後、大型自動車などとの衝突時に列車内に生存空間を確保する目的で衝突解析の研究を進め、お客さまと運転士の安全を確保するために、車両前面に適切にクラッシュアブソルブションを設置することにより衝撃吸収を図れる車体構造を検討しました(図5)。この結果はE231系以降の車両設計に反映されています。

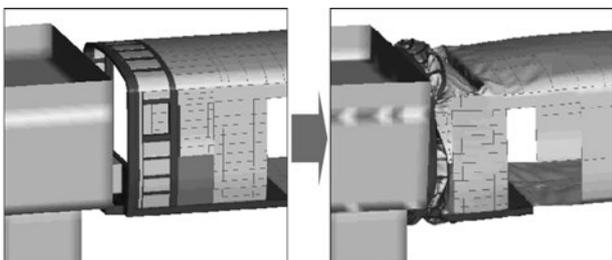


図5 運転台の衝撃吸収構造

## ○超音波式ホーム検知装置

駅停車時に運転士のブレーキ操作ミスにより、ホームから外れた箇所でも列車が停止した場合に車掌が誤ってドアを開扉するとお客さまが転落する可能性があります。これを防止するため、ホームを検知してホームがないところではドアを開

けない安全装置として超音波式ホーム検知装置を開発しました。2006年から京浜東北線で使用を開始し、順次使用線区を拡大しています。

## ○安研型防護無線自動発報システム

安研型防護無線自動発報システムは、「衝突・脱線・転覆」を発報の対象とし、それらの事象を検知した場合は、その情報を自動的に防護無線機に伝送し発報させるシステムです。開発にあたっては、テクニカルセンターで開発した脱線検知装置の判定アルゴリズムを活用し、既存の加速度センサーにより列車衝突・転覆を検知する機能を加えた新たな検知システムとして開発を行い京浜東北線のE233系以降の先頭車両に導入されています。

## 2.5 自然防災

2005年12月に発生した羽越本線列車脱線事故の対策の一つとして2006年2月に防災研究所が発足しましたが、それ以前は安全研究所内で自然防災に関する研究が行われていました。自然防災については、ソフト面を主体としたアプローチである「適切な運転規制手法の構築」などに取組んできた安全研究所時代の成果を以下に簡単に紹介します。

### ○適切な運転規制手法

自然災害の多くを占める降雨災害について、安全性の向上とダウンタイムの短縮をめざした実効雨量を用いた運転規制手法の開発に取り組み、2007年度から導入されました。

国鉄末期に起きた餘部事故以来の課題である強風については、統計学的手法を応用した強風予測手法の開発に取り組んできた結果、2005年に強風警報システムとして京葉線に導入され、2010年に全社展開されています。

地震に関しては、ガル値よりも構造物被害と相関の高いSI値の導入に関する研究を進め、2003年に在来線、2005年に新幹線の運転規制に導入され、的確な運転規制が可能となりました。

## 3. まとめ

以上、簡単に安全研究所25年間の成果を紹介いたしました。今後も鉄道の究極の安全に向けて、情熱と知恵と努力により、次の25年も安全な鉄道を提供していくための研究開発を進めていきたいと思っております。