

効果的な鉄道の安全対策が新たな課題を惹起する —「安全の4M」と「リスク」の体系化による考察とマネジメントの重要性—

片方 喜信（東日本旅客鉄道株式会社 安全企画部, y-katagata@jreast.co.jp）

石田 東生（筑波大学 システム情報系, ishida@sk.tsukuba.ac.jp）

岡本 直久（筑波大学 システム情報系, okamoto@sk.tsukuba.ac.jp）

The effective railway safety measures may cause new risks: Historical review of consequences of safety 4M and importance of continuous and effective management

Yoshinobu Katagata (Transport Safety Department, East Japan Railway Company)

Haruo Ishida (Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba)

Naohisa Okamoto (Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba)

要約

鉄道においては、ヒューマンエラーによる重大な事故防止策としてヒューマンが担う部分の装置化・自動化を図ることで、ヒューマンエラーの発生する機会を減少させてきた。また、ヒューマンエラーはあり得るという考え方に立ち、「ATS-P」形に代表される信号機の確認操作等のバックアップシステムの整備を進め事故防止に効果を上げてきている。しかしながら、装置の自動化に伴うデータ入力ミス、装置故障時の不慣れな作業、自動化されたバックアップ装置への安全過依存など、その操作・運用・マネジメントに対する新たな形態のヒューマンエラーが発生している現実にある。「ハザード」が潜在的にありそれが「リスク」として認識され、「アクシデント・インシデント」として顕在化する前に未然防止策を探り、実践することが重要であるとの認識のもと、「安全の4M」の視点を踏まえた「ハザードとリスク」と「アクシデントとインシデント」の体系化・普遍化を図り、実務レベルで使用できるように具象化することは、ものの本質を捉え未然防止策立案に必要な不可欠な要件となる。今後、社会から不断に要請される安全の追求のための、大きなリスクマネジメントサイクルのあり方を提案する。

キーワード

安全の4M, リスクとハザード, リスクマネジメント, ATS-P 形, 信号システム

1. はじめに

鉄道における列車運行の安全は、図1に示すように、①列車の運転、車両・地上設備のメンテナンスなど鉄道システム内だけで安全のしくみを構築できる領域、②踏切や駅ホームなど自動車ドライバー・歩行者や乗客と直接接点があり協調して安全のしくみを構築している領域、③大雨・地震・強風等という自然災害との遭遇を想定して安全のしくみを構築している領域という、それぞれに異なる特徴を有する三つの領域で追求されている。

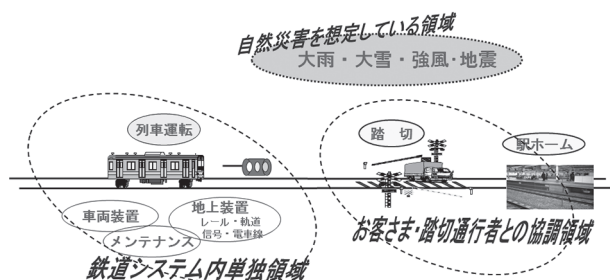


図1：鉄道の安全システムの各領域

また図2に示すように鉄道の安全のしくみは「安全の4M」（橋本，1988；芳賀，1991；正田，1988）というMan（人間）、Machine（装置、機械）、Media（媒体、ルール、制度）と、これらの連携を総合的に図るManagement（マネジメント）の4つの要素で構成されていると考える。

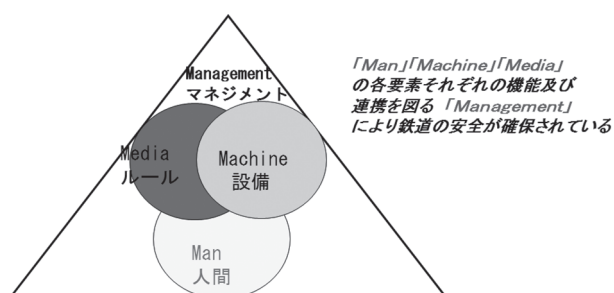
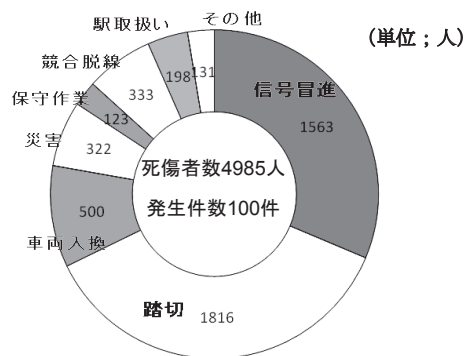


図2：「安全の4M」

1958年度から2014年度までのJR東日本エリアで発生した、旅客が死亡した事故、10人以上の死傷者のあった事故、脱線車両が20両以上のあった事故と定義される重大運転事故⁽¹⁾に関して、事故類型別に死傷者数を図3に示した。

図3の内容を発生頻度と損害の程度の視点でプロットしてみると、踏切事故と停止信号を見誤って起きた衝突・



(凡例)

- ・信号冒進；信号冒進事故
- ・踏切；踏切事故
- ・車両入換；車両入換中の事故
- ・災害；災害原因での事故
- ・保守作業；
 - 地上・車両保守時の事故
- ・競合脱線；
 - 地上・車両双方要因の事故
- ・駅取扱い；
 - 信号機等の誤操作の事故

図3：重大運転事故の死傷者数

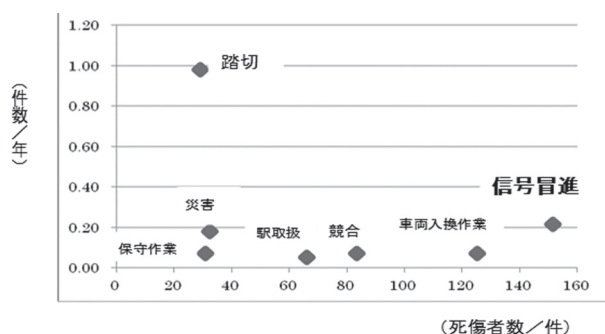


図4：重大運転事故の発生頻度と損害度合

脱線事故（以下「信号冒進事故」という）の二つが重大性の大きいことが見て取れる（図4）。

踏切事故と違って、信号冒進事故は図1の①に明記した鉄道システムと列車運行にのみ原因と対処策が存在する事故であり、責任と対策領域の所在がより明確である。したがって、本研究では、国鉄時代を通じてJR東日本エリアで発生した信号冒進事故事例及び安全対策の取組み事例に対象を絞って分析を進めることとする。

本研究では、まず第2章において列車運行の安全システムの特徴として、上記のように異なる三つの特徴のある領域で安全対策を行っていること等、鉄道特性上の特徴を有していることを述べる。第3章では1958年度から2014年度までの57年間のJR東日本エリアにおける信号冒進事故の発生状況を調査し、そのうちの信号冒進事故発生状況を「車内警報装置」、各「ATS-S」等のバックアップシステムの技術的変遷との比較を行った。第4章では、信号冒進事故件数が減少した理由を、多面的な要因から考察をし、さらに第5章では、「ハザード・リスク」

と「インシデント・アクシデント」の体系的モデル化を試み、第6章では社会の安全に対する不断の要請に対応すべく「安全の4M」の向上に伴う新たなリスクの出現とその対応策を整理した。そして第7章では、今後の安全のレベルアップに向けた課題について、リスクの徹底的な把握、特定、分析とトータルな視点でリスクを捉えるManagementの重要性を述べている。第8章では本研究の成果と残された課題について整理している。

2. 列車運行の安全システムの特徴

列車運行の安全システムは、次の三つの特徴を備えている。

2.1 列車運行は三つの領域で行っている

列車運行は、『列車の運転、車両・地上設備のメンテナンスという鉄道システム内単独だけで完結できる領域』、『踏切や駅ホームで自動車ドライバーやお客さまと直接接点があり協調して安全のしくみを維持している領域』、さらに『大雨・地震・強風という自然災害との遭遇する領域』など、三つの領域の安全システムのもとで行なわれている（片方，2011）（図1）。

2.2 多岐にわたるインフラ設備（車両や地上設備・装置＝「Machine」、多様な関係者（乗務員やメンテナンス要員、運行管理者＝「Man」）が関わっている

発生した事故・事象の要因は何処にあるかを分析する際に使用される「安全の4M」という普遍的なモデルがある。すなわち、列車運行の安全システムを構成している各要素であるMan・Machine・Media・Managementを「安全の4M」と普遍化して捉え、一つの事故・事象の要因を単に“係員のエラーがあったから”とだけに終わらせることなく、その要因を多面的に俯瞰することが重要であるという考えである（柳田，1994）（図2）。

2.3 鉄道の特性—専用の空間（専用軌道）の保有—

鉄道は、列車運転中前方の支障物を自動車のように運転ハンドルを操作して避けることはできないという特性を持っている。そのために、車両の走行する空間には他の支障物の進入を防ぐ必要がある。そのためには車両限

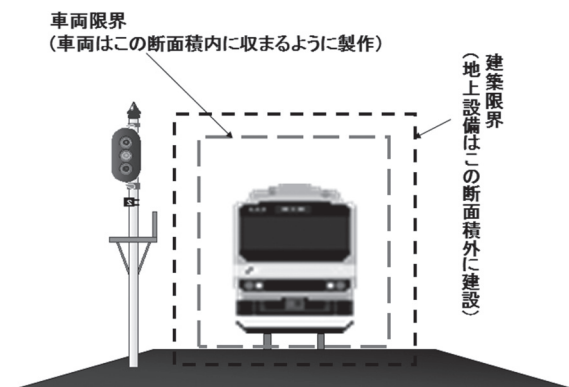


図5：専用軌道の確保—“横の保安”—

界と建築限界を絶対に重複させないようにすることを“横の保安”と呼んで実践している（塩沢，2002）（図5）。

さらにこの“横の保安”が保たれているという前提で、レールという専用のガイドを一次元運動している列車運行システムは、ガイド上を走行する前方を走行する列車との衝突を回避する必要がある。このために、閉そく区間を定め後続列車を進入させないというブレーキシステムを確立しており、列車衝突事故や列車脱線事故回避の極めて主要な手段となっている。この列車運転方向の安全を保つことを、“横の保安”に対して“縦の保安”と呼んでいる（塩沢，2002）（図6）。信号冒進事故は、“縦の保安”が破れた結果、発生した事故である。

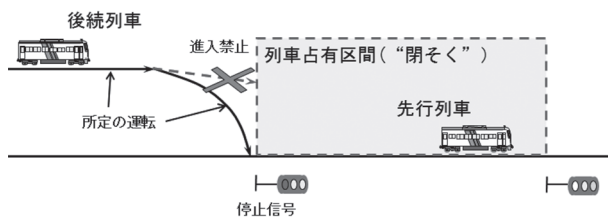


図6：列車衝突防止のしくみ—“縦の保安”—

3. 信号冒進事故の発生状況

図7に1958年度から2014年度まで57年間におけるJR東日本エリアにおける本線信号機（場内、出発、閉そく各信号機）の信号冒進事故発生件数とバックアップシステムの導入状況を示す。バックアップシステムの整備時期と、国鉄からJR東日本への移行を勘案した時代区分毎に発生件数を表1に整理する。

運転士の注意力に完全に依存し、保安装置がまったくなかった時期と、列車運転中の前方信号機が停止信号の場合に運転士に停止信号であることの注意喚起をさせる

表1：事業体別の信号冒進事故件数とバックアップシステムの変遷（1958年度～2014年度）

事業体	期間（年度）	バックアップシステム	発生件数(件/年)
国鉄	1958～1965	車内警報装置	3.38
	1966～1986	ATS-S形	2.19
JR 東日本	1987～2014	ATS-S形及びATS-P形	0.11

「車内警報装置」の時期に相当する1958～1965年度の列車事故発生頻度は1年間平均で3.38件と高い水準である。次に導入されたシステムは「ATS-S」形であり、これは基本的に前述の「車内警報装置」に停止機能を付加した装置である。運転士が警報を受けた場合、「確認扱い」（＝警報を受けた場合、停止信号であることを確認したという意味の意図で「確認ボタン」を操作すること。以下「確認扱い」という）を行なわないと、非常ブレーキ

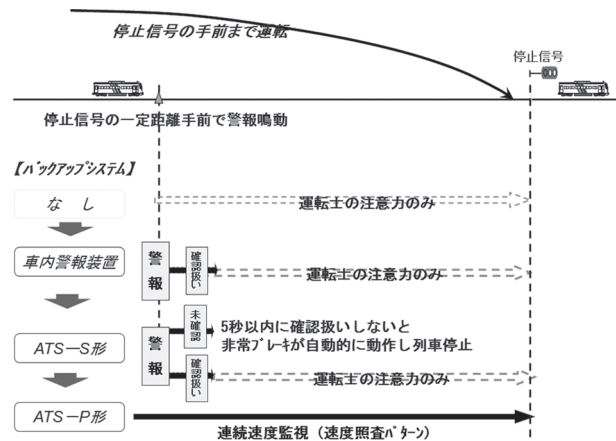


図8：信号冒進事故防止バックアップシステムの機能変遷

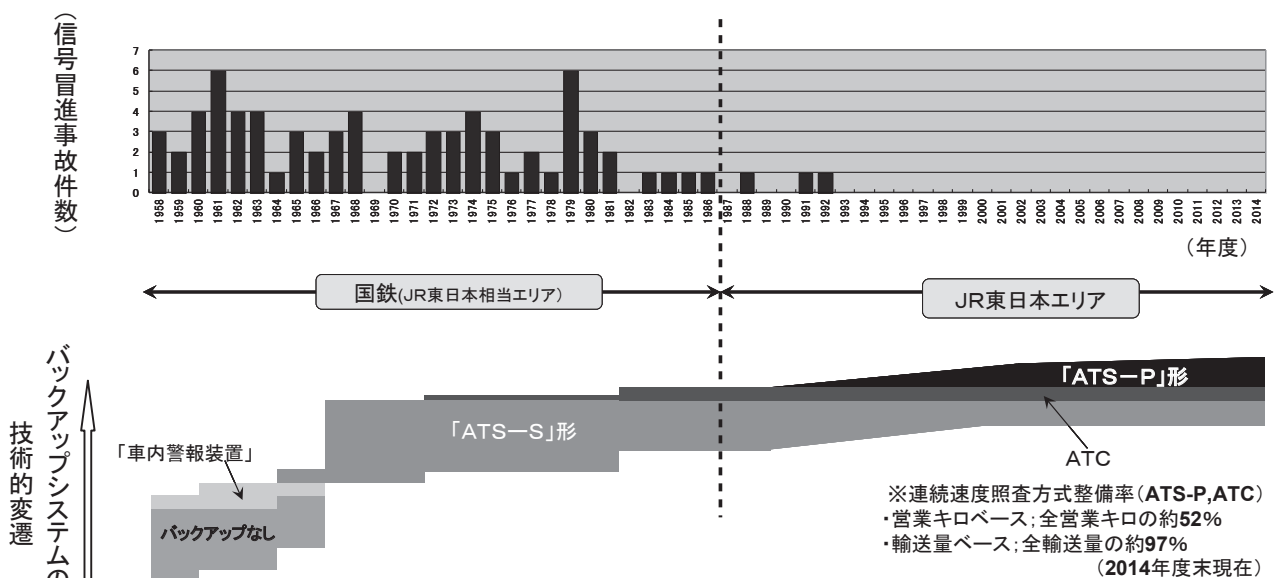


図7：信号冒進事故発生件数とバックアップシステムの変遷（1958年度～2014年度）

を自動的に作動させ停止信号機手前に列車を停止させるシステムである。この「ATS-S」形の導入された1966～1986年度の期間には1年間平均発生件数は2.19件と大きく減少しており、バックアップシステムの改善効果があったことが見て取れる。さらに1987年度以降、連続速度照査装置である「ATS-P」形が徐々に導入されてきた2014年度までの信号冒進発生件数は1年間平均で0.11件と大幅に減少している。「ATS-P」形の整備区間での信号冒進事故は現在まで全く発生していない。図8に「車内警報装置」、「ATS-S」形、「ATS-P」形とバックアップシステムの機能改良の変遷を示す。

4. なぜ信号冒進による列車事故が減少したのか

「ATS-S」形は、信号冒進事故防止に大きな効果を発揮したが、その後にも発生した事故の要因分析からその弱点が明らかにされた。そしてシステム上の弱点をカバーした連続速度照査方式の「ATS-P」形が整備されることにより、信号冒進事故は大幅に減少した（柚原他，2012；片方他，2015）。その特徴的な理由を以下に述べる。

4.1 「ATS-S」形のシステム上の弱点

「ATS-S」形の弱点の主なものは以下のとおりである。

- ① 運転士は、正常状態で運転をしていてもATSロング地上子地点で停止信号機であることを注意喚起する警報音が常時鳴動するため警報音を形式的に認知する傾向に陥りやすい。（「警報への無意識反応」）
- ② 警報を受けて「確認扱い」とすると、停止信号機の手前に停止するまで、運転士の注意力のみの運転となる。（「確認扱い後の運転士依存」）

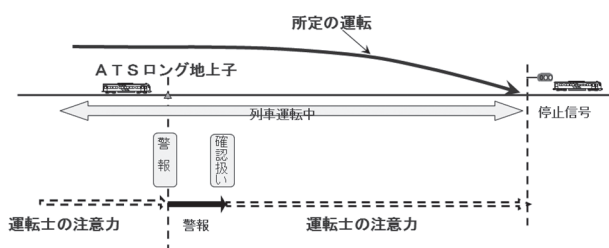


図9：「ATS-S」形の確認扱い後の弱点

- ③ 列車運転密度の高い区間では信号機間隔（閉そく区間長）が短く、重複するため警報発生時に前方の信号機が停止信号でないことがある。（「信号機の重複」）

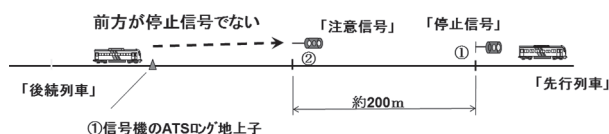


図10：信号機間隔の短い箇所でのATSの警報

4.2 「ATS-P」形の整備

これらの主な「ATS-S」形の弱点を、新たに導入した連続速度照査方式の「ATS-P」形で克服した。

「ATS-P」形の特徴は、車両側で停止信号機までの距離と列車速度とを連続してチェックしており、列車の速度が停止信号機までに停止できない場合に、連続速度照査パターンによるブレーキが動作して停止できるように制御するシステムである（図11）。

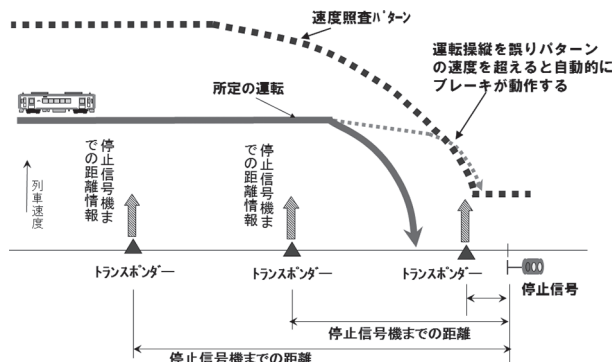


図11：「ATS-P」形の機能概要

4.1に示した「ATS-S」形の①、②、③の弱点は「ATS-P」形の機能により以下のように解決を図ることができた。

- ①「警報への無意識反応」の解決
正常な運転を行って列車の速度が速度照査パターンに異常に接近しない限り警報はなく、信号機の手前に停止するまで運転に専念できる。
- ②「確認扱い後の運転士依存」の解決
“停止信号機までの距離”情報を基に、車両に搭載した処理・演算装置で連続して停止信号機までの速度照査パターンを作成・更新しているため、運転途中で運転士の注意力のみという状態に変化することはない。
- ③「信号機の重複」の解決
地上からの“停止信号機までの距離”情報は、前方を走行している列車の位置に応じて変化し更新されている。よって後続の列車は“停止信号機までの距離”情報に応じて必要な連続速度照査パターンを車両自身が作成・更新しているため、信号機の表示に従い運転に専念できる。

4.3 Managementの成果

国鉄からJR東日本に事業体の変更された1987年前後のそれぞれ5年間の年平均の信号冒進事故発生件数を表2に示す。「安全の4M」のMachineに相当する「ATS-S」形の整備進捗状況は同じレベルであるにもかかわらず信号冒進事故の1年間平均発生件数が0.80件から0.40件と半減している。

これは安全のレベルアップにはATSシステムというMachineの要素だけでなく、JR東日本発足以降、安全を経営の最重要課題に位置付けた企業風土の変革をはじ

表 2：国鉄と JR 東日本における信号冒進事故発生比較

事業体	期間（年度）	発生件数(件/年)
国鉄	1982～1986	0.80
JR 東日本	1987～1991	0.40

めとして、社員の自主・自意識の醸成、事故・事象発生時には Man のみの責任に帰するのではなく Man・Machine・Media・Management という多面的な視点で原因究明を図ることの重要性の指導等、Management の要素の大きな寄与のあることを示唆していると考え。

その代表的な Management の事例を以下に述べる。

4.3.1 安全推進組織の確立

JR 東日本が発足して以降、「安全」を経営のトッププライオリティと位置付け、安全推進組織の整備・充実を図ってきた。具体的には以下のものがある。

- ・ 運輸部門、設備・車両メンテナンス部門、列車運行部門の既存の縦系組織に対してこれらの横断的な組織として安全専門部署を新たに設置した（1987 年）。
- ・ 鉄道事業本部長をトップとし、安全対策全般の施策を議論・決定する鉄道安全推進委員会を新設した（1987 年）。

4.3.2 リスクマネジメントの確立

国鉄時代では、事故の発生後の再発防止という後追いの対応が主体であった。国鉄時代と JR 東日本の「鉄道運転事故等の報告・分類規程」の事故分類を図 12 に示したが、国鉄時代は、事故の手前の運転阻害の内容を責任事故として分類していることから、発生要因をヒューマンの責任に帰するという視点が強かったことがうかがえる。

JR 東日本発足以降は、重大な事故（アクシデント）の前に軽微な事象（インシデント）がありさらにその手前にヒヤリハットがあるという考え方をベースに、それぞれの段階でそのアクシデントの予兆を摘み取り、アクシ

デント発生を未然に防ぐという考え方（比屋根，2012）を展開してきた。これを確実に実行するために、発生したアクシデント、インシデントを正しく報告し、その内容を重大な事故になる恐れ的大小に応じて分類することを定めている社内規定である「鉄道運転事故等の報告・分類規程」の改変を行ってきた。

さらに対応策を策定するためにアクシデント、インシデントを分析するにあたっては、ヒューマンのみの責任にせず原因究明を主眼にするという考え方を基本にして、「4M4E 分析手法」を開発・運用している。この手法により多面的（4M）な視点で要因分析しその要因ごとに対応した未然防止策（4E）をたて事故の発生を未然に防止している（図 13）。

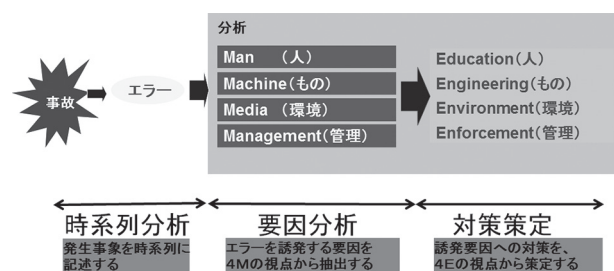


図 13：「4M4E 分析手法」

また、このインシデントの徹底的な分析により、現状の安全作業と安全ルール（「安全の 4M」では Media に相当する）の適合状況を検証し、現場第一線の作業と安全ルールとの齟齬がないように安全ルールの適正化を図っている。

4.3.3 安全設備重点投資の計画的な策定・実践

安全システムの装置化及び地上設備や車両の老朽取替を確実にを行うために、1987 年の JR 発足以降、安全の 5 カ年計画と共に計画的な安全設備重点投資計画を策定し、現在まで実践している（東日本旅客鉄道株式会社，2014）（図 14）。

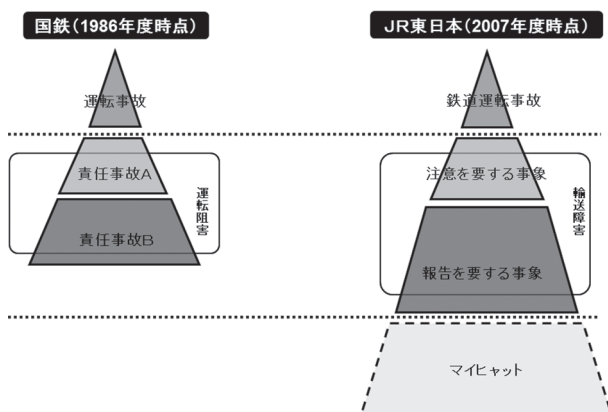


図 12：「鉄道運転事故等の報告・分類規程」の概要

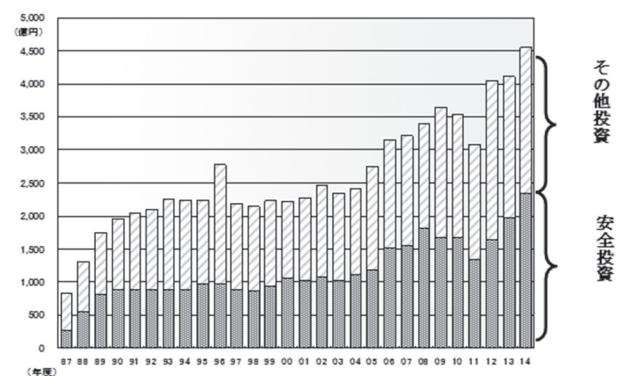


図 14：設備投資の概要（1987～2014年度）

トの根本要因を排除し未然防止に繋がる。すなわち、安全のしくみを構成している「安全の4M」の力をさらに高めていくことの重要性を示唆している。

6. 「安全の4M」の向上による新たなリスクの発生

「ATS-P」形の整備が信号誤認による列車事故防止に有効に機能し、極めて安全性の高いレベルに引き上げている。これは、「ATS-P」形の整備が「安全の4M」の一つの要素である Machine のレベルアップに留まらず、さらには、運転士の信号の確認行為が運転士の注意力にのみ依存したしくみの抱えるリスクの低減となることであり、運転士 (Man) の負担軽減、その効果を確実化させる教育・訓練の充実、それらの総合的なマネジメントとして鉄道システム全体の「安全力」のアップになる。すなわち「安全の4M」力の向上・システムチェンジである。その結果として向上した「安全力」は、利便性・快適性・速達性という社会からの不断の要請への対応を可能にし、この対応策は現状のシステムチェンジを図ることとなる。そして、このシステムチェンジがさらに新たなタイプの「リスク」を生み出すこと、すなわちハザード領域、リスク領域を広げることを意識する必要がある。以下、信号冒進事故に限定せずこのような例を概観する。

6.1 不断の社会的な要求への対応によるリスク

鉄道事業は、利便性・速達性・快適性といった社会的な要求の実現に向け、安全の確保を前提にして、列車運行のサービス向上を求めている。

「ATS-P」形の整備により、信号冒進による列車事故発生の可能性が非常に小さくなったことが、社会的な要求への対応を可能にさせた。現在「ATS-P」形を整備し終わっている中央快速線（東京～高尾）では、混雑緩和のために列車本数の増加が実現されている。この中で、「ATS-B」形（「ATS-S」形と機能としては同様バックアップシステム）の時代と「ATS-P」形の時代とを比較すると、列車本数が大幅に増加しているにもかかわらず、「ATS-P」形の時代には列車事故の発生はゼロであり、「ATS-P」形の信号冒進防止機能の優位性がわかる。しかし、このことによりハザード領域が拡大している可能性のあることを忘れてはならない（図 17）。

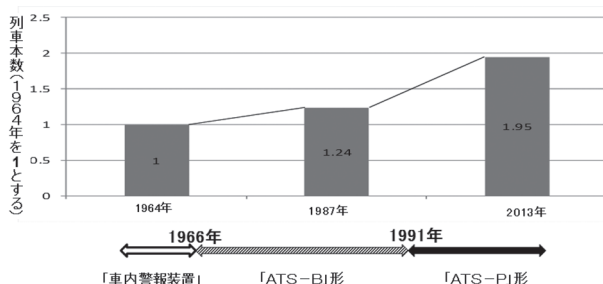


図 17：中央快速線における列車本数とバックアップシステムの変遷

6.1.1 列車運行管理の高度化による線区相互直通運転の実現

列車事故の可能性の排除、信号冒進防止保安装置の均一化は列車運行管理の高度化・集中化を進め、湘南新宿ライン（2001 年開業）、上野東京ライン（2015 年開業）の開通を果たし、輸送体系の充実、混雑緩和を実現した。

また、東北新幹線の列車は、新幹線の福島駅から奥羽本線へ、盛岡駅から田沢湖線への乗り入れを可能にし、新幹線と在来線との直通運転を実現させた。

これらは Machine の整備により高度なサービスが可能になった事例であるが、ハザード領域の拡大にもなっている可能性があることも事実であろう。

6.1.2 「ATS-P」形が導入された直接的な効果による速達性、利便性の実現

「ATS-P」形の整備は、列車運行計画策定にあたり“過走余裕距離の確保”という条件の解放を可能とし、これによりピーク 1 時間当たりの運転列車本数の増加、駅間運転時間の短縮を実現させた。

また、「ATS-P」形に使用しているトランスポンダを使用して、列車種別毎に踏切の鳴動時間の制御を可能にして、踏切通行者の利便性向上に寄与している。

社会的な要求に対応するということは、上述したように相互直通運転のエリア拡大、新しい地上・車両設備の導入により、サービスの向上（利便性・速達性・快適性）をもたらしてきた。しかしながら、これは一方では鉄道輸送の安定性が損なわれているという近年の顕在化している諸課題に直結している。すなわち、相互直通運転による運行エリアの拡大は少しの列車ダイヤ乱れでもその影響範囲の拡大につながる。また、新しい地上・車両設備の導入は設計・製作・保守において質的高度化を求められることになる。これは「安全の4M」により安全を維持してきた状態に、新たな許容できない可能性のあるリスクを課すことになりかねない。この対応を的確に行うためにも、平素からハザード領域の拡大の変化を意識しつつ潜在しているリスクを先取りして分析する、Management が重要である。

6.2 定常状態が崩れることによるリスクの出現

鉄道に関する技術基準省令には「列車の運転は、必要に応じ、停車場における出発時刻、通過時刻、到着時刻を定めて行わなければならない」（国土交通省鉄道局監修，2014）と定めている。すなわち列車ダイヤを定めておかなければならないということである。これは、定められた運転時刻どおりに列車が停車場から出発し、停車場に到着する、または通過すること、いわゆる“定時運転”に努めることは、列車運行にかかわる関係者間の様々な作業や打ち合わせ・手続きが“いつもと同じ作業”を可能にし、ヒューマンエラーを惹起しがちな変化点・変更作業を排除することになる（稲垣・田中，2007；吉村，2009）。さらに言い換えるなら、列車運行にかかわる各種の安全作業は、予め定められた列車ダイヤを基準にして、

その列車運行を“いつもと同じ作業”を確実にこなせるように構築されているのである。

しかしながら、“いつもと同じ作業”は、インフラ設備の故障等の発生により、“いつもと違う作業”への対応、すなわち不慣れな突発的対応が必要となる。また、効率的な作業の構築、未然防止対策としての新たなシステムチェンジや定期的メンテナンスのために、計画的な変更作業（すなわち“いつもと違う作業”）が生じる。過去にも、鉄道信号の見誤りにより発生した常磐線での三河島事故（1962年5月3日発生死者167名・負傷者296名）では、列車が遅れていたすなわち“いつもと同じでない作業”中での列車衝突事故であった（日本鉄道運転協会，2008；三輪，1979）。

“いつもと違う作業”はその変更となった理由により図18に示すように大きく二つに分類できる。

① 意識的・計画的な変更作業

再発・未然防止対策、効率性向上のため従来の手動作業を自動化してシステムチェンジした機器・装置を使用した作業

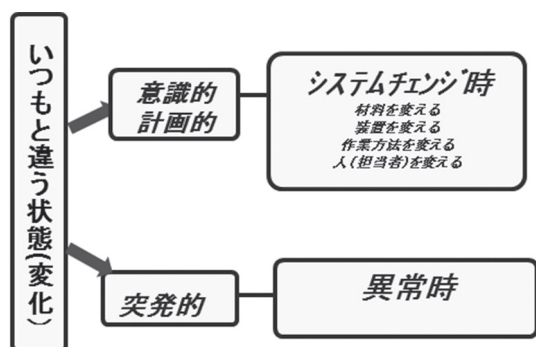


図18：いつもと違う状態

② 突発的な変更作業（異常時状態）

地上・車両設備の故障等による異常時作業

6.2.1 手動作業を装置化・自動化しシステムチェンジしたことによるリスクの出現

列車運行の安全システムの特に鉄道システム単独の領域において、過去にヒューマンエラーによる重大な事故が発生し大きなダメージを受けてきた。そのリスクを軽減すべく、再発・未然防止対策、作業の効率性向上策として装置化・自動化によりシステムチェンジを進め、ヒューマンエラーによる大きな事故の防止に効果を上げてきた。

しかしながら、定常状態にあつては、自動化に伴う事前のデータ入力ミス、自動化されたバックアップ装置への安全過依存、その操作・運用・ルールに対する新たな形態のヒューマンエラーが発生してきているのも現実である（Reason, 2010）。その事例を表1に例示する。

この上段の事例は、自動化に伴うデータ入力というこれまでにない新たな作業におけるヒューマンエラーである。また、下段の事例はヒューマンエラーの機会を減少させるべく導入した Machine への安全過依存がもたらした特徴的な事例として上げられる。いずれも装置化・自動化のシステムチェンジがもたらした新たなリスクとして認知する必要がある。

6.2.2 地上・車両設備故障による異常時状態でのリスク

地上・車両設備故障による突発的な変更作業は、定常状態では作業のめったにない不慣れな異常時作業であり、思わぬヒューマンエラーを惹起する可能性が高い。すなわち異常時対応能力の低下である。その例として、駅における転轍器故障による列車脱線となった事例として以下に示す。

表3：装置化・自動化によるヒューマンエラー

エラー内容	従来のしくみ (手動作業)	新たな対策 (システムチェンジ)	ヒューマンエラー
システムへのデータ入力誤り	線路保守作業を行う際は、保守作業区間に列車を運転させないように列車司令員と打ち合わせをして行う。	保守作業員がシステム端末器を操作し、信号機に停止信号を表示させて、保守作業区間への列車運転させないようにする。	保守作業を開始する際、保守作業区間を誤って入力し、作業を開始した。【データ入力誤り】
保安装置の開放	停止信号の信号機の手前で警報鳴動後、ブレーキ手配を行って停止する。	停止信号の信号機までに停止できる速度超過していれば、自動的にATSブレーキが動作する。	ATSブレーキ動作で停止後、ATS装置を開放して運転を開始。【システムへの過依存】

表4：異常時対応能力の低下による事故事例

エラー内容	従来のしくみ (手動作業)	新たな対策 (システムチェンジ)	ヒューマンエラー
装置故障時の操作不良	駅長が列車のポイントを転換し信号機を操作して、列車を出発させる	列車運行管理システムが、自動的に進路の構成、列車順序を制御して出発させる	ポイント故障の際に、異常時の操作に不慣れなため、ポイント開通せぬまま出発させ列車脱線【不慣れ作業】

6.2.3 「いつもと違う状態」を意識する重要性

6.1 から 6.2 で具体的な事例を述べたが、列車ダイヤの乱れすなわち列車輸送の安定性の欠如による異常時状態の発生は思わぬヒューマンエラーを惹起しかねない。よってこの異常時状態を定常時状態に可能な限り早期に復旧することは、安全な列車運行の確保をできる状態に戻すことにほかならない。またこれは列車ダイヤの乱れによるご利用されるお客さまへの不安を払しょくすることにも繋がる。以上の状態を普遍化して図 19 に示す。

図 18 に示すように、安全を確保するには定常時状態を可能な限り維持すること、すなわち“いつもと違う状態”を意識し、突発的な異常時状態を作らない事である。そのために定常時状態で安全のしくみを構成している「安全の 4M」力のレベルアップが重要である。

7. 今後の安全のレベルアップに向けた課題

今後、益々高まる社会からの要請に対応するためにも、重大な事故の減少という現状に満足することなく、究極の安全に向けたさらなるリスクマネジメントの進化・探求が求められている。その課題について以下に整理する。

7.1 発生したインシデントの徹底的な把握とリスクの特定・認知

国鉄時代は事故の発生後の再発防止という対応が主体であったが、JR 東日本では重大な事故が発生する手前でその要因を摘み取り事故の発生を未然に防ぐという考え方を確立してきた。すなわちハインリッヒの法則、バードの法則⁽²⁾として普遍的に言われているように、大きな事故の前に軽微な事象がありさらにその手前にヒヤリハットがあるという基本的な考え方を進めてきた。この方法を確実なものとするために、発生したアクシデント、インシデントを正しく把握・報告するのみならず、ヒヤリハットのような顕在化していないものまでを広く認識し、その内容を重大な事故になる可能性の大小に応じて分類し、対策実施の優先順位を定め、安全のしくみを構成している要素である Man と Machine と Media をその未然防止策として有効に使用する Management が重要である。

7.2 リスクの分析

特定・認知したリスクの分析にあたっては、Man だけの責任追及では、安全システム環境を原点から変えることにならず、同じ要因による事故を繰り返すこととなり、抜本的な対策とはなり得ない。よって、「4M4E 分析手法」などを活用して、多面的に俯瞰して原因究明を主眼にリスクの分析・対策の策定・実行が重要である。

このリスクの徹底的な分析により、現状の現場第一線の安全作業と安全ルール（「安全の 4M」の Media に相当）のマッチング状況を検証し、第一線の安全作業実態にあった安全ルールの適正化を図ることは、第一線現場作業と安全ルールの齟齬による新たなリスクを排除することに繋がる。

また、発生したインシデントのうち人的要因に伴うものについては、そのエラー要因が知識的なものか、技術的なものか、あるいは意識・感性的なものなのかを分析し、それに応じたレベルアップ方策に向けた教育・訓練メニューに反映させることが重要である。

7.3 定常状態の維持

社会的な要求に対応するということは、「安全の 4M」により安全性を維持してきた状態に、新たな許容できない恐れのあるリスクを課すことになる。

この新たな許容できない可能性のあるリスクは、定常状態を崩す、すなわち異常時状態を作り出しているリスクとして捉え、「リスクの回避」、「リスクの低減」という視点からの考察をした。

7.3.1 リスクの回避

実施したシステムチェンジが所期の目的を果たすことができるように、新たに導入した地上設備、車両設備の設計・製作及び教育・訓練の高度化・信頼性向上はもちろんのこと、この装置導入による新たな列車運行・設備保守のエリア拡大に対する的確な対応は異常時状態の出現を抑えることになり、すなわちリスクを回避することに繋がる。

「リスク」を低減しようと施した新たな再発・未然防止策が、新たなタイプの事故を生み出さないよう「リスク」領域を広げたことを認識し、Man・Machine・Media 個々

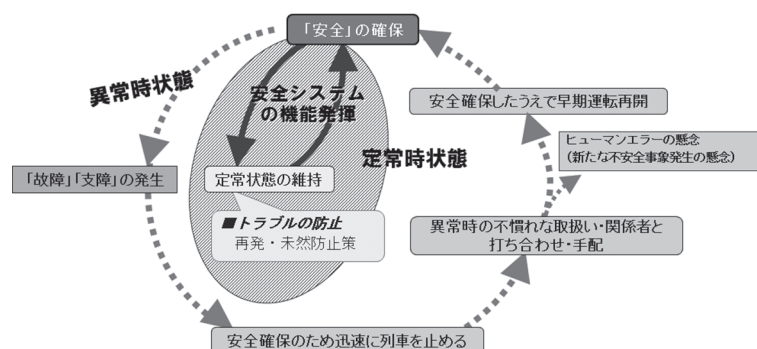


図 19：定常時状態と異常時状態

のレベルアップに留まらず、その要素相互のインタフェースを十分に考慮し、列車運行の安全システムを機能させるリスクマネジメントのより一層のレベルアップが今後求められる。

7.3.2 異常時対応力の向上—リスクの低減—

近年の大きな事故の減少に伴い異常時に遭遇する機会が減少してきている中で、異常時の的確な対応が求められる。

異常時の発生態様は多岐にわたりその対応方は千差万別であり、実際の場面では事前に想定した異常時対応マニュアルにない状況があり得る。想定していない異常発生時に、臨機応変に対応できるよう想定し得ないことがあることを前提にした“異常時遭遇に当りその状況に応じた臨機応変な対応を施す”を考えさせるような、従来とは違った教育・訓練・シミュレーションにより、異常時対応力を身につけることが重要である。

また、近年、さまざまな企業が過去の事故を教訓すべく事故等の展示館（大場他，2015）を設置している。これは過去の重大な事故を知り、学ぶことは、個人では経験できない事例を身につけ、実際に異常時に遭遇した際にどう行動するのかの想像力を養うことに繋がる。この想像力の多寡が、異常時に遭遇した際のパニックに陥る程度を左右し、その条件、環境に応じた柔軟な対応を行わしめることになる。

7.4 リスクマネジメントのより一層のレベルアップ

上述した列車運行において信号確認の安全については、1950年代はManに依存する割合が高く、それがヒューマンエラーが直接事故として表出している。1960年～1980年代、1990年～2010年代と進むに従ってManとMachineとの連携関係が重要になってきた。すなわちヒューマン・マシン・インタフェースを含めそれを繋ぐMediaの要素、さらにはこれら全体を有機的に結びつけるManagementの要素が大きなウェイトを占めていること（Hollnagel, 2006）、ヒューマンエラーによる事故を発生させないためには、ヒューマンエラーはある一定の確率により発生するという前提に立ち、ヒューマンへの対処療法ではなく安全システム全体に施すこと（中田，2013）、の重要性を信号冒進事故の安全対策の技術的変遷の事例が示唆している。本稿では、Man・Machine・Mediaの3Mのそれぞれのレベルアップを束ねる、すなわちManagement力が重要になることを述べてきた。

社会的な要求の拡大・巨大化・複雑化が深まっている今日、3M相互の連携を考慮しつつ、関係者（Man）の意識、技術（Machine）の進歩、それを繋ぐ規則・ルール（Media）の充実、これをベースにした企業文化の醸成といったものをダイナミックに運用（Management）していくことがますます求められる。

「安全の4M」力の向上は安全性の向上を獲得し、より高度のサービスを可能にした。これと同時に、ハザード・リスク領域の拡大の可能性ももたらすことを忘れてはな

らない。すなわち、「安全の4M」が「3M + Management」という認識に変化・進化を遂げつつ向上し続けていく必要がある。

8. 本研究の成果と課題

上述した内容をまとめ、本研究の成果として以下に整理する。

- ① 信号冒進事故例を57年間にわたり調査・分析し、安全の3M(Man・Machine・Media)を中心とした改善に努めた安全対策が、そしてこれらを総合するManagementの考え方が有効に機能していることを明らかにした。（3章、4章）
- ② 事例を基にしたリスク・ハザードモデルから、効果的施策がもたらした成果の一つであるサービス（速達性・利便性・快適性）向上が、新たなリスクやサービス低下をきたす可能性のあることを明らかにした。（5章）
- ③ 3Mのそれぞれのレベルが一定レベルにまで引き上がってくると、これをトータルに視るManagementの重要性が増すことを取組み事例の実際から明らかにした。また、「安全の4M」はそれぞれが並列ではなく、むしろ「3M + Management」という概念に進化しつつあることを事例から明らかにした。（7章）
- ④ 現在の安全システムが有している潜在的な課題の解決に向け、ハザード・リスクという一般的な概念に抽象化したうえで実務レベルに具象化することの重要性の提言を行った。（7章）

なお、本研究の今後の課題としては次のことが挙げられる。

- ① 信号冒進事故例以外にも踏切事故などが存在する。また、最近では、ヒューマンエラーによるものではないが、運行の安全性やサービスの信頼性に影響を及ぼす事例も多く報告されている。これらについての特徴や対応策についての分析・考察は残されている。
- ② そして、より高度なオペレーションやサービスに対する社会的なニーズは、より高く、厳しくなっている。これらを総合的に把握して、鉄道サービス全体によりよい安全性と安定性の確保へ向けた安全の3M + M (Management)の具体的なあり方を議論する必要がある。
- ③ 本稿では、JR東日本のデータを使用して分析をおこなったが、安全の考え方、システム改良は事業者や国において異なっていると想像できる。パッケージ型のインフラ輸出として鉄道オペレーションが脚光を浴びている現在、輸出想定国における分析は不可欠である。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、貴重なアドバイスをいただいた東京大学特任教授の島村誠氏、また貴重な各種データを提供いただいたJR東日本安全企画部の皆さんに、誌

面をお借りしてお礼を申し上げます。

注

- (1) 重大運転事故の定義は、以下の場合である。
- 事故のため旅客が死亡したもの
 - 旅客、職員、公衆の区別なく事故のため10人以上の死傷者があったもの
 - 20両以上の脱線車両数があったもの
 - その他特に重大と認められるもの
- (2) 「ハインリッヒの法則」、「バードの法則」と言われているものがある。ハインリッヒの法則では、労働災害約5,000件のデータから、重大事故、軽微な事故、傷害に至らない事故の比率を1:29:300としている。バードの法則では、約175万件のデータからその比率を1:10:30:600としている。いずれも大きな事故の手前で予兆があるという考え方。

引用文献

- 芳賀繁 (1991). うっかりミスはなぜ起きる. 中央労働災害防止協会.
- 橋本邦衛 (1988). 安全人間工学. 中央労働災害防止協会.
- 東日本旅客鉄道株式会社 (2014). 安全報告書 2014.
- 平野敏右 (1991). 安全の目盛. コロナ社.
- 比屋根均 (2012). 技術の知と倫理. 理工図書株式会社.
- 土方透・Nassehi, A. (2002). リスク制御のパラドクス—. 新泉社.
- Hollnagel, E. (2006). ヒューマンファクターと事故防止. 海文堂.
- 稲垣啓・田中征夫 (2007). 変化点管理における見える化の役割. 日本生産管理学会全国大会論文集, Vol. 25, 197-200.
- 一般社団法人日本企画協会 (2009). 国際規格 ISO31000.
- James Reason, 佐相邦英訳 (2010). 組織事故とレジリエンス. ㈱日科技連出版社.
- 片方喜信 (2011). 第44回安全工学会研究発表会 論文集.
- 片方喜信 (2014). JR 東日本「事故の歴史展示館」について. 日本機械学会誌.
- 片方喜信・石田東生・岡本直久 (2015). 信号誤認による列車事故の防止システムの技術的変遷と有効性の考察. (投稿中)
- 国土交通省鉄道局監修 (2014 年). 鉄道に関する技術基準省令.
- 正田亘 (1988). ヒューマン・エラー—過誤は巨大化する—. エイデル研究所.
- 三輪和雄 (1979). 空白の5分間 (三河島事故のある運転士の受難). 文芸春秋社.
- 中田亨 (2013). ヒューマンエラー抑止のための理論と実践. 安全工学会誌, Vol. 52, No.2, 817.
- 大場恭子・吉澤厚文・北村正晴 (2015). Safety- II の実現に向けたレジリエンスエンジニアリングの導入 (6) Attitude 向上を目指した福島事故遺産の保存に関する研究. 日本原子力学会 2015 春の大会予稿集.

社団法人日本鉄道運転協会 (2008). 重大運転事故記録・資料. 社団法人日本鉄道運転協会.

塩沢寛 (2002). 鉄道の運転の仕組みとルール. 日本鉄道図書.

柳田邦男 (1994). 事故調査. 新潮社.

吉村達彦 (2009). 変化点管理. クオリティマネジメント, Vol. 60, 10-17.

柚原直弘・稲垣敏之・古川修 (2012). ヒューマンエラーと機械・システム設計. 講談社.

Abstract

Railway operator have been trying to prevent serious accidents through installation of new equipment and systems. We reviewed signal accident data for 57 years in JR East and concluded that these efforts worked well. Based on the empirical consideration on safety 4M (Man, Machine, Media and Management) and its consequences on Risk-Hazard, we find that these effective measures may cause new incidents and instabilities and accordingly know the importance of continuous management.

(受稿: 2015 年 8 月 27 日 受理: 2015 年 10 月 16 日)