

背景要因を考慮した運転作業エラーのリスク評価手法の開発

宮地 由芽子* 柴田 徹*

Development of Evaluation Method of Risk of Train Driver's Error with Consideration on Inducement Factors

Yumeko MIYACHI Toru SHIBATA

In order to find out an effective measure in limited time and budget, a priority needs to be judged corresponding to the purpose and effect of a measure. One of priority judgments is the size of a risk. We improved FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) for the risk assessment of human error phenomena, and developed it to a new risk assessment technique. In order to use this technique, sufficient background factors of accidents and incidents need to be analyzed. Moreover, for prevention of human errors, not only the error phenomena but also the inducement factors should be grasped. We combined the result of the risk assessment of the error phenomena with the factors which induced generation of the error phenomena. As a result, we were able to present the method of management of human error prevention which could be adopted in a railroad office.

キーワード：ヒューマンエラー，リスク，安全管理，運転作業

1. はじめに

ヒューマンエラーの防止には、それを誘発する現状の問題点を如何に的確に洗い出せるかが鍵であり、その把握方法には事故やトラブル事例の分析¹⁾と職場の実態調査²⁾の2つのアプローチがある。ただし、組織において事故が発生するまでの間には、複数のヒューマンエラー事象が発生しており、また、それぞれのヒューマンエラーにも、さらに複数の背景要因が影響している。よって、1つの事故から考えられるヒューマンエラー防止対策は様々なものがある。一方で、限られた時間、限られた予算の中で効果的な対策を整備していくためには、“どのような場面”における“どのようなヒューマンエラー”が“どのような頻度”で“どのような被害”の事故に繋がる可能性があるのか、その「リスク」の大きさを評価し、対策の目的と効果に見合った優先順位を判断することが必要である。

「リスク」とは、「危険性」すなわち「危険の程度」である。「危険」とは、「あぶないこと。生命や身体の損害、事故・災害などが生じる可能性のあること。」である。確実に発生するかどうかかわからないことについて、その発生の可能性や危なさの程度を予測することを「リスク・アセスメント（リスク分析あるいはリスク評価）」と言う。

国際規格「リスクマネジメントシステム構築のための指針」^{3) 4)}では、「リスク (risk)」とは、「事態の確か

らしさ (the probability of an event) とその結果 (its consequence) の組み合わせ (a combination)」と定義されている。また、信頼性工学では、リスクは“望ましくない事象として何が起きるか？”“どの程度起きるか？”“その被害はどの程度か？”3つの疑問に答える尺度であり、「危害を引き起こすハザード発現の蓋然性と危害の程度」と定義されている⁵⁾。「ハザード」とは、「危害を引き起こす可能性のある識別可能な状況すなわち潜在的な危害シナリオ」と定義されており、“どんな状況が発生したら危険なのか？”を考える時の最初の状況のことである。また、「蓋然性」とは、「ある事柄が起こる確実性や、ある事柄が真実として認められる確実性の度合い。確からしさ。これを数量化したものが確率」である。

信頼性工学の分野では、故障事象の抽出のために FMEA (Failure Mode and Effects Analysis: 潜在的故障モード影響解析) 手法を用いてリスク分析を行うのが一般的である^{6) - 8)}。そこで、本研究では、FMEA 手法を応用し、ヒューマンエラーに対するリスク評価手法を開発した。すなわち、“どんなヒューマンエラー事象が起きるか？ (「エラーパターン」とする)”、“エラーパターンの発生し易さはどの程度か？ (「発生し易さ」とする)”“事象の進展を予想すると、エラーパターンによる被害はどの程度か？ (「最大影響」とする)”の3つの要素によるリスク評価を試みた (図1参照)。

ただし、ヒューマンエラーの的確な防止のためには、(事象を把握するだけでなく) その誘発要因を把握すべきである。そこで、本研究では、鉄道事業者の安全マ

* 人間科学研究部 (安全性解析)

特集：ヒューマンファクター

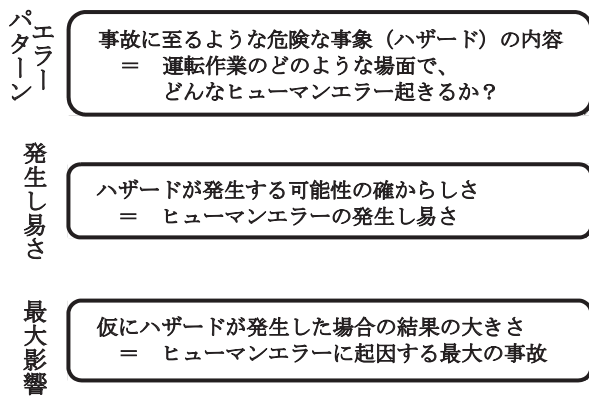


図1 ヒューマンエラーのリスク評価に必要な3要素

ネジメントの実施を支援するため、エラー事象に影響する誘発要因と事象に対するリスク評価を用いた管理法も開発した(図2参照)。

本報告では、研究の一例として、運転作業におけるヒューマンエラーについて実施した手続きと結果を示す。

2. リスク評価方法の概要

事故に至ると想定されるヒューマンエラー(ハザード)を抽出する方法には、主に2つの考え方がある。

2.1 エラーパターンの抽出

事故に至ると想定されるヒューマンエラー(ハザード)を抽出する方法には、主に2つの考え方がある。

- a) 求めている作業の内容や条件から想定する方法 (つまり、原因から結果を想定する方法)
- b) 実際に発生した事故やトラブルからその原因となっ

ている事象を把握し、一般化して想定する方法 (つまり、個別の結果から原因を一般化する方法)

新しいシステムを構築しようとする場合は、a)項の方法が適している。ヒューマンエラーとは、人間行動の多様性であり、求めた作業行動に対する変動(ズレ)であるため、エラーパターンの抽出方法には人間の動きのズレを示す用語(動作を修飾する副詞)を手がかりに発想していく方法^{9) 10)}や作業条件を構造的に分析していく方法¹¹⁾などが提案されている。ただし、ヒューマンエラーは作業の内容や条件といった状況要因だけに起因するわけではなく、実際の作業や作業が作り上げる職場の雰囲気等も影響する。よって、作業の内容や条件から網羅的に抽出したつもりでも、後から想定外のヒューマンエラーが発生したということがないよう、十分な確認が必要である。

一方、既にある程度の作業実績がある場合は、b)項の方法を採用する方が効率的である。ただし、事故やトラブルについて、その原因事象を十分に把握できることが、この方法を採用する前提条件である。事故やトラブルの発生までには、小さなミスが幾つも発生していることが多い。そのため、原因事象の的確な分析ができないと、設定ミスや状況知覚のミスなどの最初のヒューマンエラー(初期事象)にのみ着目しがちであり、「最初のヒューマンエラーに気づかない」「気づいても正しく処理できない」などのヒューマンエラー(事後事象)を十分把握できない場合が多い。しかも、事後事象は、機器やシステムの支援がなく人間の判断に依存することが多いため、事故の影響を大きくしている場合が多い。そのため、実際に発生した事故やトラブルから、事故に至ると想定されるヒューマンエラー(ハザード)を把握する

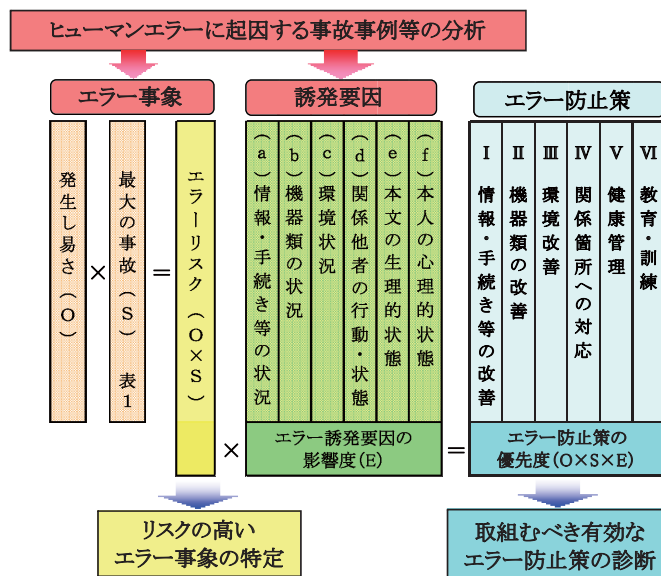


図2 ヒューマンエラーのリスク評価の手続き概要

時は、見つけ難い事後事象についても漏れなく把握できるように、事故が発生するまでの経緯を把握することが重要である¹²⁾。そして、個別の事故やトラブルの分析結果から得られたヒューマンエラーの内容を一般化するため、分類を行う（ここでは、その分類を「エラーパターン」という）。その時、後で評価結果を活用し易くするため、ヒューマンエラーの発生メカニズムをふまえた分類を行う。ヒューマンエラーの分類方法には様々な考え方があるが、「求められている正しい行動以外の行動があったか？なかったか？」と「その行動は意識してやった自発的な行動か？意識せずに自動的に発生したものか？」の2つの視点を組み合わせた4分類¹⁾が最低限必要である。

2.2 ヒューマンエラーの「発生し易さ」

信頼性工学のように機器故障をハザードと考える場合は、「発生し易さ」は故障の発生確率であり、対象部品の一定期間の故障数から試験的に算出することが可能である。

しかし、ヒューマンエラーの場合、試験的に再現できるのはごく一部の場面にすぎない。特に、緊急時の心理状態の再現は困難である。また、行動の有無は試験データとなり易いが、認知や判断といった内的プロセスの有無は試験データ（観察データ）として取得困難である。そもそも現実場面では様々な要因や条件が複合的に作用しているため、全ての把握は技術的にも不可能である。

そのため、ヒューマンエラーの場合には、職務や安全について十分な経験をもつエキスパート判断を用いた評価方法が代替手法として用いられる¹¹⁾。ただし、鉄道業界だけでなく社会一般的な問題として、団塊世代の大量退職や技術継承の問題から、今後はエキスパートを担う人材が少なくなっていくことが見込まれる。また、各種の安全対策が施行されたことにより事故の件数が少なくなっている状況では、知見の蓄積やエキスパートとなり得る人材の育成も現状の課題の一つである。

そこで、本研究では、観察データの代わりとして、事故には至らない潜在的な事象、すなわちヒヤリハットやインシデント情報の活用を検討した。

ここでは、「一定の期間に特定の地域でどんなヒューマンエラーが実際に発生しているか」を「発生し易さ」の代替指標とする。具体的には一定の期間・一定の基準で収集されたインシデント等の事例情報から、結果事象の発生に至るまでのヒューマンエラー事象の連鎖の経緯を分析し、エラーパターンに分類し、対象事例に対する各パターンの出現頻度の比を算出した。

2.3 ヒューマンエラーに起因する「最大の事故」

同じ行動結果から引き起こされる事故は、実際には、場面や条件によって多様である。ただし、リスクとは可

能性の評価であるため、多様な事故結果から、想定し得る最も危ない事故だけを考えれば良いはずである。この時、考えるのは、エラーパターンや発生し易さを評価する時に用いたインシデント等の事例での結果ではない。各パターンのヒューマンエラーが発生した後、様々な条件が付加され、事態が進展した先にどんな結果が考えられるかを想定する。

事故の内容を質的に表現する方法は様々あるが、評価手法としては、1つの指標に集約できた方が望ましい。そこで、ここでは、ヒューマンエラーに起因する影響として想定し得る「最大の事故」を5段階に分類し、それぞれについて表1に示す数値を割り当てた。なお、ここでのエラーパターンの抽出はインシデント等の事例情報に基づいているため、中には、事故の発生シナリオ上、偶発的に発生した事象であり、“最悪を考えたとしても、そのヒューマンエラーが事故の直接の原因となることはない”という内容も含まれている。こうしたエラーパターンについては、事故の原因にはなり得なくても、他のヒューマンエラーの発生原因になっている場合が多いため、「1」未満という意味で「0.1」の値を付与した。

表1 想定される最大の事故の評価暫定値

想定される最大の事故	値
列車衝突後、転覆が想定される場合	9
列車脱線後、転覆が想定される場合	7
旅客転落・係員触車が想定される場合	5
列車衝突後、転覆まではいかない場合	3
列車脱線後、転覆まではいかない場合	1
直接の事故は想定し難いが、他のエラーパターンを誘発する事象となり得る場合	0.1

2.4 「発生し易さ」と「最大の事故」の評価の組合せ

リスク評価の目的は対策の優先順位を得ることにあるため、評価結果が一元量であることが望ましい。一方、リスクの要素となる指標の組合せ方法にはさまざまな考え方があるが、一般的には乗算（かけ算）を用いることが多い^{8) -10)}。

そこで、本研究では、「発生し易さ」と影響指標である「最大の事故」の組合せの方法として一般的な乗算を用いることとした。

2.5 リスク評価結果を管理に活かすための指標

ヒューマンエラー事象は、ヒューマンエラーの誘発要因の結果にしか過ぎない。したがって、ヒューマンエラーの的確な防止のために管理対象とするのは事象（結果）だけではなく、誘発要因（原因）である。

ヒューマンエラー事象としては同じ行動結果であっても、それを発生させているメカニズム（心理的原因）は

特集：ヒューマンファクター

異なる場合がある。例えば、同じ「減速時機の遅れ」という行動結果であっても、眠気があってうっかり減速しそびれた場合と、回復しようという意図があって減速が遅れた場合とでは、心理的メカニズムが異なるため、適切な防止対策も異なる。

そこで、エラーパターンに対するリスクと共に、ヒューマンエラーの発生に対する誘発要因の影響の程度（「要因影響度」とする）を把握し、これらを検討材料としてヒューマンエラーを防止するための管理方法を提示した（図3参照）。

例えば、「操作が未熟」、「速度感覚が身につけていない」「知識不足」などの場合は、通常の運転技能や正しい取扱を身につける教育訓練を強化することが必要である。また、「睡眠不足」や「病気」などの場合は、点呼などの体調把握・健康管理を強化すべきである。あるいは、意識していない場合にうっかり行動した結果がヒューマンエラーであった場合は、行動を行なった当事者はヒューマンエラーをしたことに気づきにくいので、機械的にヒューマンエラーを検出し、気づかせるような警報

装置の導入が有効である。また、他のことを考えていたり（雑念）、異常場面で意識的に何もせずにいたりする場合は、そうした誤った判断がいかに危険かを理解してもらおう（違反に対するリスク教育）必要がある。以上のように、行動時の心理状態によるエラー特徴やどのような場面でヒューマンエラーが発生したかといった誘発要因に対応する、必要なヒューマンエラー防止策を関連づけ、その優先度を算出した。

優先度は、エラー事象に対するリスクと誘発要因の影響度を組合せたものである。

どのようなエラー誘発要因がヒューマンエラー発生に影響しているかは、人に求める作業内容や事故防止の仕組みだけではなく、その特定地域の人的特性も影響する。そのため、トラブル事例を元に実態を調べてみる必要がある。そこで、本研究では、一定の期間の間に特定の地域で発生した誘発条件の割合を要因影響度として算出した。なお、厳密にはヒューマンエラー事象と誘発条件の同時発生が必ずしも因果関係を示すとは限らないが、同時発生傾向が複数件データで認められれば、そこ

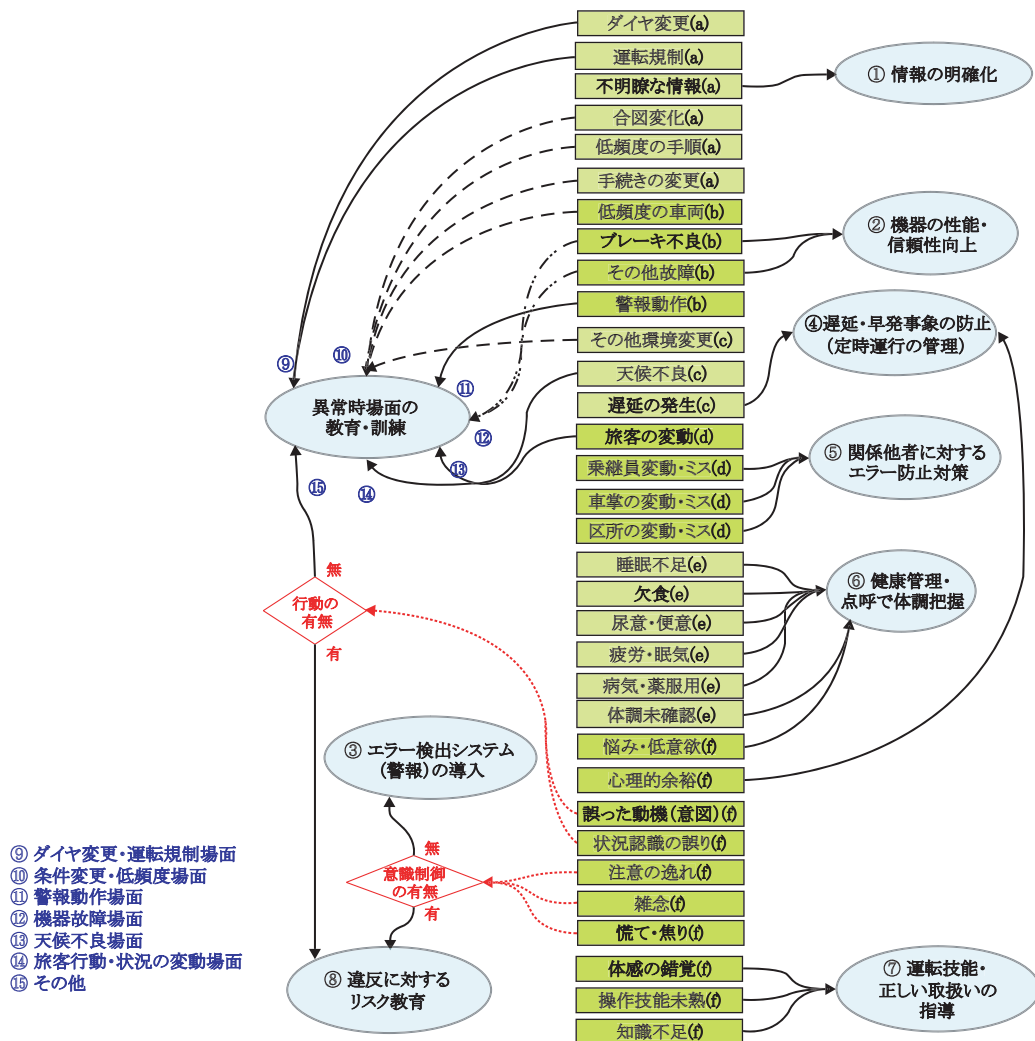


図3 誘発要因の例とエラー防止策の関連づけ ((a) ~ (f) は図2に対応、①~⑮は図4に対応)

に何かしらの関連性を推定できると仮定した。

2.6 エラー防止策の優先度算出結果の一例と考察

結果の一例を、図4に示す。

この結果では、作業環境や作業内容などの改善を行なう時に事故につながり易いヒューマンエラーが発生し易いため、そうした場面を模擬した教育・訓練が必要であることが分かった(図4中⑩)。

人の安全行動に影響する要因として、当事者のリスクに対する認知についての近年の研究によると、人間中心の設計をしていますが、利便性を中心とした工学的対策は、時に、安全対策としては負の効果をもたらすことがあることが指摘されている¹³⁾。ここでのリスクの結果は一例ではあるが、その指摘を裏付けたひとつの基礎データである。対策が有効に機能するかどうかは、対策の内容だけでなく、実施方法にも依存する。すなわち、対策を実施する際は、その対策の実行あるいは享受側の人間の動機付けを高めるといった個人差の制御が重要である。

また、当該結果では、運転士自身が異常時という場面に気付かない場面も多く、警報などのシステムによるバックアップも有効であることがわかった(図4中③)。

3. まとめと今後の課題

本研究では、運転作業におけるヒューマンエラーの「発生し易さ(相対的な発生頻度)」と「最大の事故」の

評価を組み合わせたりリスク評価法を開発した。さらに、ヒューマンエラーの的確な防止のためには、(事象を把握するだけでなく)その誘発要因を把握すべきであることから、鉄道事業者での安全マネジメントの実施を支援するため、エラー事象に影響する誘発要因と事象に対するリスク評価の結果から、取組むべき管理法を提案した。この結果、“どのような場面”における“どのようなヒューマンエラー”が“どのような頻度”で“どのような被害の”事故に繋がる可能性があるのかといったリスク評価から、対策の目的と効果に見合った優先順位を判断し、限られた時間・予算の中で効果的な対策の整備が可能になった。

ただし、そもそも源泉データとなるインシデント等の事例情報が十分な内容でなければリスク評価は実施できない。特に、組織要因など間接的な影響を及ぼす要因については、1つ1つの事故事例に対する分析だけでは十分に把握し難く、また、事故を発生させるような危険性が職場に包含されていても、事故が発生するまでは改善に取り掛かれにくいということがないよう、職場の安全風土評価²⁾のような事例分析以外のアプローチも併せて検討が必要である。このため、我々は、安全マネジメントの支援手法として3つのアプローチを提案している(図5参照)。

なお、本研究におけるエラーパターンの「最大の事故」の評価は暫定値であるため、実際の遅延時分や旅客人数等の観察データを用いて、今後は、精度を向上していく

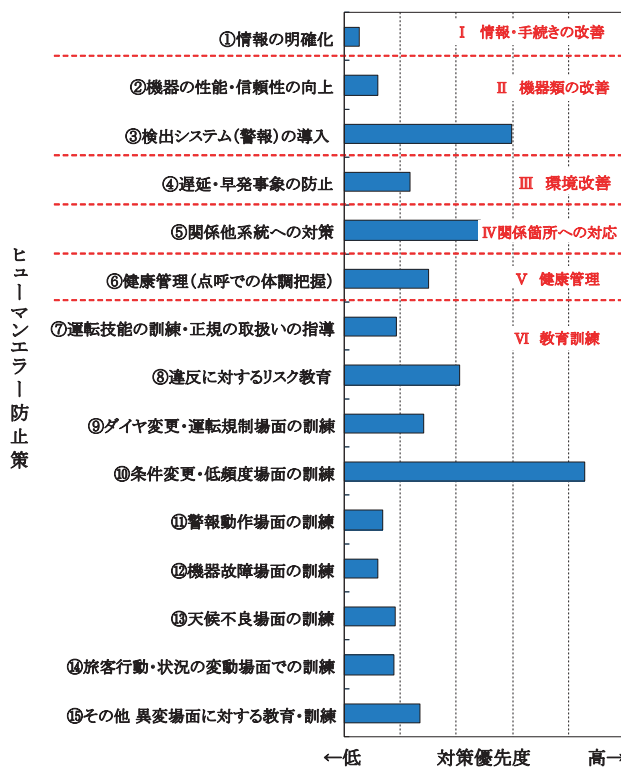


図4 エラー防止策の優先度算出例

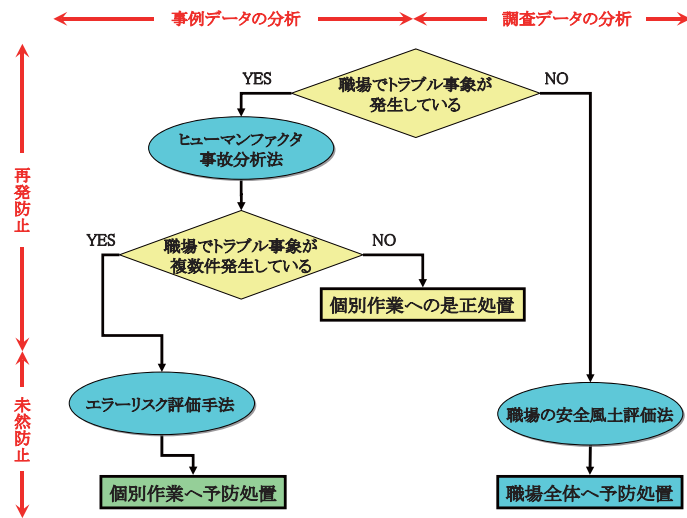


図5 安全マネジメント手法の対応関係

必要がある。ただし、リスク評価の値は、評価の目的に適った精度であることが手法の要件である。例えば、手法として4段階評価であっても、評価対象が全て同一の結果であれば、優先順位を得るという目的には適わない。リスク評価の目的に適う最低限の条件は、必ずしも客観的な評価基準が必要なのではなく、評価対象の中で相対的な比較が出来れば良い。

ヒューマンエラーのリスク評価の研究は比較的新しい研究分野であり、具体的な手続きは今後も議論されていくべき課題である¹⁴⁾。また、安全マネジメントは、PDCAサイクル（Plan, Do, Check, Action）の確立といわれるように、取り組みを繰り返してこそ意味がある。鉄道の職場で継続して取り組み易い手法となるよう、実際の職場管理のあり方をふまえて、今後も深度化を行なう所存である。

文献

1) 宮地由芽子：職場安全管理の改善に向けたヒューマンファクタ分析手法、鉄道総研報告, Vol.21, No.5, pp.11-16, 2007
 2) 宮地由芽子・村越暁子・赤塚肇・鈴木綾子：職場の安全風土評価手法の開発、鉄道総研報告, Vol.23, No.9, pp.23-28, 2009
 3) 日本規格協会：JIS Q 2001:2001 Guidelines for development and implementation of risk management system, 2001.
 4) 日本規格協会：JIS Q 2001:2001リスクマネジメントシステ

ム構築のための指針, 2001
 5) 日本信頼性学会：『信頼性ハンドブック』, 日科技連, 1997
 6) 小野寺勝重：『グローバルスタンダード時代における実践FMEA手法 品質管理と信頼性, 保全性, 安全性解析』, 日科技連出版社, 1998
 7) 真壁肇・鈴木和幸・益田昭彦：『品質保証のための信頼性入門』, 日科技連出版社, 2002
 8) 鈴木和幸：『未然防止の原理とそのシステム 品質危機・組織事故撲滅への7ステップ』, 2004
 9) 益田昭彦・岩瀬智之・鈴木和幸：信頼性・安全性解析のための人・環境・装置の三要素FMEA手法の解析, 日本品質管理学会『品質』, Vol.29, No.1, pp.122-135, 1999
 10) 鈴木和幸・金田健・平野謙：未然防止へのFMEAの活用とその改良, 電気通信大学情報システム学シンポジウム, pp.72-79, 2001
 11) 宮地由芽子・柴田徹・井上貴文・鈴木和幸：作業の階層構造に基づくヒューマンエラーの相対的リスク評価手法, 日本信頼性学会誌『信頼性』, Vol.28, No.7, pp.521-533, 2006
 12) 宮地由芽子：組織事故防止に向けた背景要因の分析法, 鉄道総研報告, Vol.18, No.2, pp.47-50, 2004
 13) 増田貴之・芳賀繁：運行動作モデルと事故防止, 日本信頼性学会『信頼性』, Vo.31, No.3, pp.223-228, 2009
 14) Robert Cosier: Human factors influence on dependability performance, 2007年IEC/TC56東京国際会議 Work Shop, 2007.