

鉄道信号システムのメンテナンスへの RAMS の適用

*安岡 和恵 渡部 厚史 松本 雅行 (東日本旅客鉄道株式会社)
服部 鉄範 (財団法人鉄道総合技術研究所)

Adapting RAMS to Maintenance of Railway Signalling Systems

Kazue Yasuoka*, Atsushi Watabe and Masayuki Matsumoto (East Japan Railway Company)
Tetsunori Hattori, (Railway Technical Research Institute)

In the construction and maintenance of railway systems, it is essential to apply the RAMS method throughout their life cycle. By implementing the requirements of RAMS at each stage of a railway signalling system's development and managing risks in consideration of frequency of hazardous occurrences and their severity, it becomes possible for the system to be maintained effectively and economically.

Because of importance of risk analysis in RAMS, we have analyzed data of hindrances to signalling operations over the last three years within East Japan area. As a result of our analysis, especially regarding equipment with a large number of passengers affected, the conclusion is that some systems should be re-designed if it can not clear the targeted time with routine maintenance. In this paper, we adapt RAMS to maintenance of railway signalling system and indicate the way of evaluating its reliability.

キーワード : RAMS, 鉄道信号システム, リスク分析
(RAMS, railway signalling system, risk analysis)

1. はじめに

RAMS 規格とは、鉄道信号システム全体の安全性・信頼性の評価を行う手法を規格化したものであり、2002 年 IEC 国際規格 (IEC62278) として制定された。ある条件下で、RAMS の諸条件を論証することがこの規格の基礎となっており、RAMS 管理を通じて、そのシステムのユーザを満足させることが目的となる。

鉄道システムにおいては、起こりうるハザード (障害・危険性) を論理的に分析し、それに起因する事故に至る経過を解析し、それに伴うリスクを数値化することによって、そのシステムがライフサイクルを通して、経済性と照らし合わせて許容されるリスク内に維持できることを論証する手法を規定している。

本稿では、鉄道信号システムを適切に保守するために、RAMS のリスク分析の考え方をういて稼働中のシステムを評価し、より良いシステムとしていく方法について述べる。

2. JR 東日本における鉄道信号システムに関する課題

JR 東日本の信号部門では、運用中の装置が故障すると、メーカー毎に開催している機器故障管理会議で故障原因の特

定や対策の水平展開を機器毎に行っている。この対応を、RAMS の 14 段階のサイクルに当てはめて考えた場合、第 11 段階 (運用と保全) から第 13 段階 (改修と追加) のサイクルで回しているケースが多いのが実態である。通常は問題があっても、第 13 段階のサイクルでの改修等によって対処している (図 1 のサイクル A)。

しかし、鉄道信号システム全体で見た際、目標とする安定性を実現させるためには、システム全体の視点から個別装置の安定性が適切かどうか、評価する必要がある、個別機器毎の故障を評価するだけでは不十分である。

なぜなら、システム全体で評価することで、どの装置に課題があるのか全システムを比較することにより、明確にすることができるためである。また、故障原因によっては、今後は、必要により 3 番目のサイクルまで戻す (図 1 のサイクル B) ことも検討する必要がある。そのためには、障害発生時の故障要因分析だけでなく、一定期間に取得した故障データをリスク分析により解析し、RAMS のどの段階まで戻すべきかという議論を行う必要があると考える。

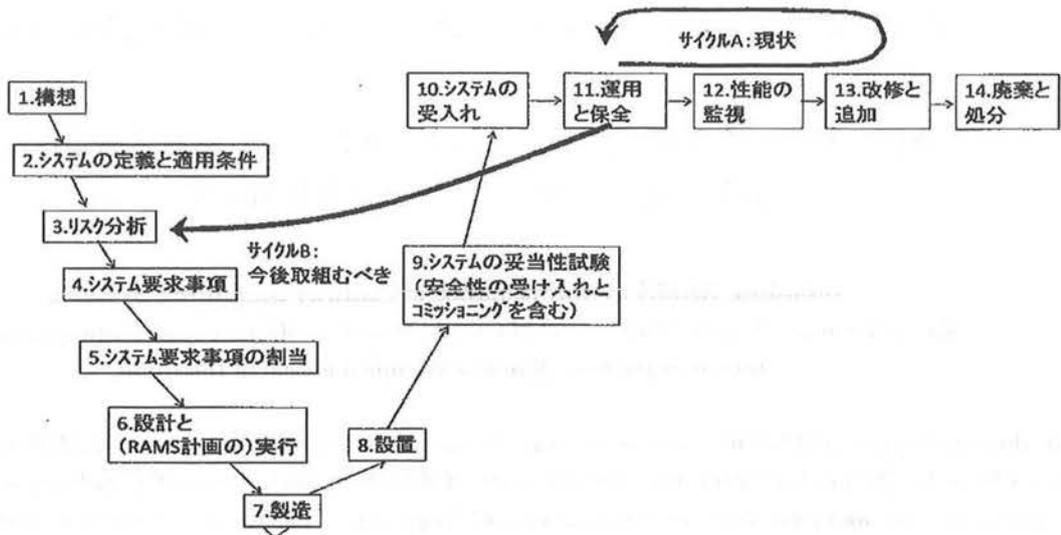


図 1 システム検討に対する RAMS サイクル (V 図)
Fig. 1. The "V" representation.

3. リスク管理の重要性

RAMS ではリスク分析をライフサイクルの各段階で実施して文書化していかなければならないとしている。通常、RAMS で言うリスク管理とは、安全性に関わるリスクを言っている。

本稿では、安全性に関わるリスク管理ではなく、システムの運用段階での「信頼性」についてリスク管理の手法を適用することを提案する。その際には安全性のリスク管理と同様に、“発生頻度”と“結果の深刻さの程度”から信頼性に関わるリスクを求め、図2に示すようなマトリックスにおいて信頼性に関わるリスク管理を行う。ここでは“深刻さの程度”を表す、適切なパラメータを検討した。

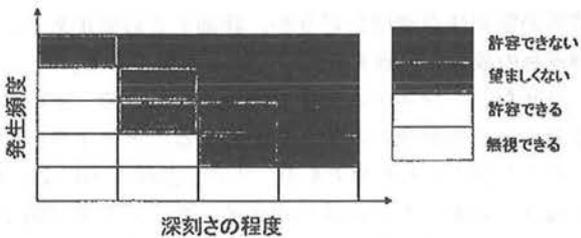


図 2 RAMS におけるリスク分析
Fig.2. Typical example of risk evaluation and acceptance.

具体的なパラメータとして例えば稼働率、遅延時分などがある。鉄道信号システムの場合、首都圏及び地方線区でのお客さまへの影響度を加味できる項目をパラメータとして選定することが適している。

4. 分析と結果

〈4-1〉分析

過去 3 年程度の信号に関わる当社管内の輸送障害のデー

表 1 障害データの主な分類

Table 1. Classification of trouble data.

項目	分類
線区種別	東京 50km 圏、東京 100km 圏、地方線区
設備種別	ATC、ATS、CTC/PRC、軌道回路、ケーブル、諸設備、信号機、継電連動、電子連動、電源装置、転てつ機、踏切、閉そく装置
故障要因	偶発故障、設計・製造、ヒューマンエラー

タについて分析を行なった。但し、冗長系装置は、装置が停止する故障（片系故障は対象外）を対象とする。なぜなら、片系故障では、列車の遅れも無く、お客さまにご迷惑がかかることがないためである。

実際の分析は、下記の 4 ステップにより行った。

(1) ステップ 1

過去 3 年間の障害データを表 1 のように分類した。

(2) ステップ 2

障害データから、深刻さの程度を表す適切なパラメータとして、遅延時分、故障率 (件/時) を選択した。なお、遅延時分を選択したのは、お客さまへの影響度を加味できるパラメータである。お客さまの数にほぼ比例して、列車影響本数は多くなっており、結果として遅延時分も多くなるためであり、お客さま影響を間接的に表している数値であるためである。

(3) ステップ 3

障害データから以下の値を計算した。

・故障率 = 1/MTBF (件/数) とする。

MTBF (時間/件) = 総稼働時間/総故障件数

・総遅延時分は、線区種別間 (例：東京 50km 圏、100km 圏など) の比較を容易にするため、1 設備あたりに換算して算出する。

(4)ステップ 4

J R 東日本の信号部門で、安定輸送における目標値の一つが、「ダウンタイム 60 分以下」となっている。これを満足する遅延時分を推定し、目標値として設定した。

〈4・2〉分析結果

(1) 線区種別による分析

まず障害データを線区種別毎に解析を実施した (図 3)。東京 50km 圏の装置故障による総遅延時分は他のエリアと比較し、長くなる傾向がわかる。

結果的にお客さまへの影響が大きいのは、列車本数の多い東京 50km 圏であることが明確となった。

これまで、J R 東日本では、東京駅を中心とした 100km 圏を対象として故障しにくい設備の導入を均一に進めてきた。しかし図 3 より、東京 100km 圏よりも 50km 圏に集中して設備の故障対策を行うことで効率的に、お客さまへの影響を減らすことが可能となることわかる。

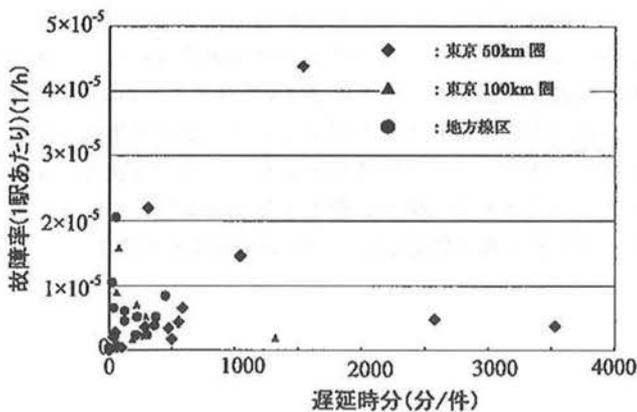


図 3 線区種別による分析
Fig.3. Analysis in each area.

(2) 設備別分析

他の線区と比較して、東京 50km 圏はお客さま影響が大きいことが判明したため、東京 50km 圏での設備の故障率を分析した (図 4)。

発生頻度は低いが、一度発生するとお客さま影響が大きい設備として、ケーブルや CTC/PRC 装置 (遠隔で列車進路を制御する装置) があげられる。

また、旧型電子運動装置は故障頻度が高く、ケーブルや CTC/PRC 装置には及ばないものの、平均遅延時分が大きいお客さま影響が大きい設備と言える。

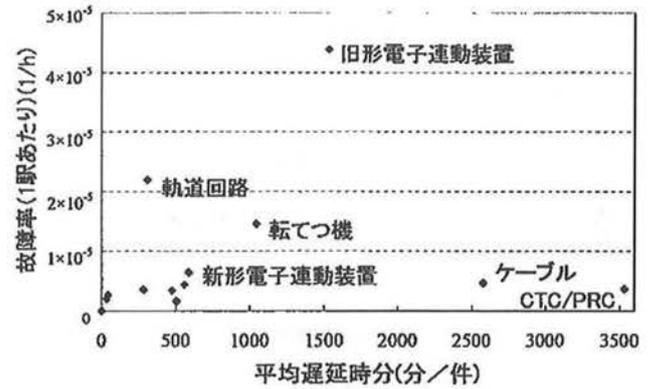


図 4 東京 50km 圏の設備別分析
Fig.4. Cause of system down within 50km radius from Tokyo station.

① CTC/PRC

図 5 より、CTC/PRC の故障原因を分析したところ、ソフトウェアに関する製造不良は頻度が大きく、影響度も高くなっている。

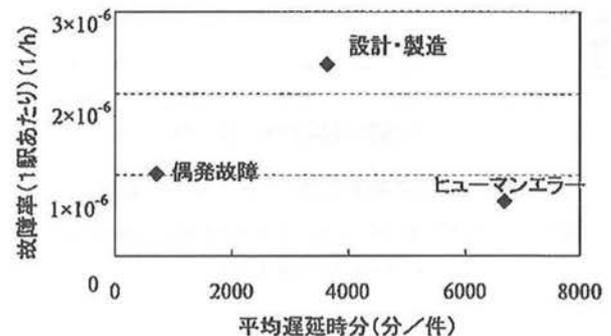


図 5 CTC/PRC システムダウン要因
Fig.5. Analysis of cause of CTC/PRC system down.

②ケーブル

図 6 より、ケーブルは、工事に関わる配線ミスなどの人的要因が大きな影響を与えている。

設計・製造については、現場で作ったコネクタの不具合が原因となり不具合が発生している。

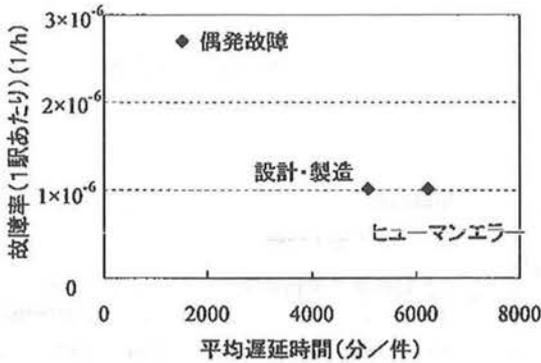


図6 ケーブル不具合の要因

Fig.6. Analysis of cause of cable breakdown.

③ 旧形電子連動装置

図7より、旧形電子連動装置は、一過性の通信異常などの偶発故障の影響が大きくなっている。

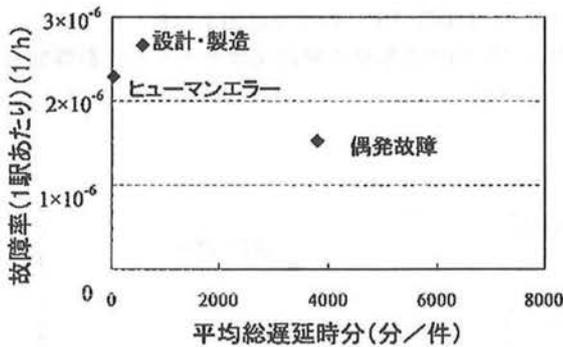


図7 電子連動装置システムダウン要因

Fig.7. Analysis of cause of electronic interlocking system breakdown.

(3) 対策方針

分析結果を元に、故障原因毎に対策について検討した。

① ヒューマンエラー (CTC/PRC、ケーブル)

早期に実施する対策としては、教育訓練による早期復旧対策を行う。但し、今後の設備更新時においては、マンマシンにおける過剰な機能の削減とヒューマンインターフェースの改善を行う。また、配線作業など、ミスをしやすい作業を削減可能な設備の導入を更新時に計画する必要がある。

② 設計・製造 (CTC/PRC、ケーブル)

ソフトウェアについては、工場内出荷試験での対策を実施すると共に、想定できないソフトウェア要因の故障によりシステムダウンが発生しないよう、制御方法について検討を行なう。

また、現場で作成するコネクタは、製造ミスの要因となる

ため、現場加工を無くすよう、構造を見直す。

③ 偶発 (電子連動装置、ケーブル)

構成部品による一過性の伝送エラーなど、発生前に防止することが難しい。電子連動装置は2重系を基本としているため、エラー発生時の制御方法について検討を行う。ケーブルについては、レール下へ布設される部位の防護や、故障を見つけやすくするために、防護管を一部やめるなど、施工面でカバーすることを検討した。

JR 東日本では、ネットワーク信号制御システムの開発を行い、ケーブルを含めた末端付近までのシステム全体を2重化したシステムの開発を行った。今後は、抜本的な対策の一つとして、ネットワーク信号制御システムの導入を計画している。

5. まとめ

本稿では、RAMS のリスク分析の考え方を鉄道輸送の信頼性評価に応用し、稼働中の鉄道信号システムの評価方法について提案した。鉄道システム全体を対象とした、線区種別、設備種別、故障要因毎のデータ分析により、例えば故障発生頻度が多少高い装置であっても、お客さま影響が少ない装置もあるといった知見が得られるなど、鉄道システム全体で評価を行うことの有効性が確認された。今後は更に正確な評価ができるよう、RAMS サイクルの第12段階 (性能の監視) に相当する部分として、故障発生時に記録を残すべきデータについて検討を行い、適切な状態に設備を近づけるための RAMS 管理を適切に実施していくことで、更に高品質な鉄道信号システムの実現を目指す。

文 献

- (1) Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety, IEC 62278 Ed. 1.0:2002 / EN 50126(1999)
- (2) 平栗滋人:「RAMS 指標に基づいた鉄道信号システムの構成法」、鉄道総研報告、vol.23、No.1、pp.11-16(2009)
- (3) 南谷崇:「フォールト・トレラント・コンピュータ」、オーム社(1991)
- (4) 真壁肇:「信頼性工学入門」、日本規格協会(2000)
- (5) Y.Hirano, et al: Development of Railway signalling System based on Network Technology, Proc. of IEEE SMC(2005)