

信号システムのRAMS分析

平栗 滋人

信号通信技術研究部(信号 研究室長)



ひらぐり しげと

はじめに

近年、鉄道分野において、RAMS(ラムス)と呼ばれる概念が注目されています。RAMSとはReliability(信頼性)、Availability(アベイラビリティ^(注1))、Maintainability(保全性)、Safety(安全性)の頭文字をとったものです。特に2002年9月にIEC(国際電気標準会議)から国際規格IEC62278(以下、RAMS規格)が発行されて以来、国内でも、その重要性和影響が指摘されています。

一方、近年、国内外を問わず、無線通信やその他の情報技術を積極的に活用した新しい列車制御システムの開発が盛んに行われています。

このような状況を考慮すると、RAMSの考え方に則って信号システムを評価する手法や、RAMSのバランスに優れたシステムを低コストで実現する手法の確立が求められていると言えます。

ここでは、RAMS規格を始めとする信号分野の国際規格の動向を紹介する他、鉄道総研で行ったRAMSの考え方に則った鉄道信号システム分析の検討事例について述べます。

RAMSとは

RAMS規格は鉄道システムを対象としています。一般的な電気・電子分野の安全性に関する国際規格IEC61508と、良く知られている品質マネジメントの国際規格ISO9000を基盤とし(図1)、システムの構想から廃棄までのライフサイクル全般において、RAMSの4つの指標を経済性と照らし合せ、システムを総合的にバランス良く維持するための活動について規定しています。RAMS規格の中で示されるシステムライフサイクルは14の段階に分類されていて、段階ごとに要求事項が示されています。これらの要求事項の骨子となっているのは、計画や目標の設定、実行と検証、これらの活動の文書による記録、体系

的な安全性分析とリスク評価の実施などです。ライフサイクル中で作成される文書の中で、重要なものの1つにセーフティケースと呼ばれるものがあります。これは体系的な安全性分析などに基づき、システムの安全性を立証する文書群を指します。また、ここで言う「リスク」とは、「危険な事象の発生頻度」と「その結果の深刻さの度合い」との組み合わせと定義されています。

RAMS規格の中では、RAMSの4つの指標の関連について示されています(図2)。これによると、鉄道のRAMSの構成要素は安全性(S)とアベイラビリティ(A)に分類されます。「アベイラビリティ」とは、「ある装置やシステムが要求された機能を所定の時間の間、果たすることができる能力」と言うことができます。アベイラビリティの構成要素としては、「信頼性(R)と保全性(M)」および「運用と保全」が挙げられています。この内、信頼性は故障の発生率

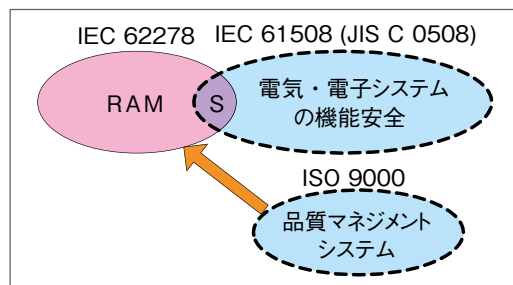


図1 RAMS規格の位置付け

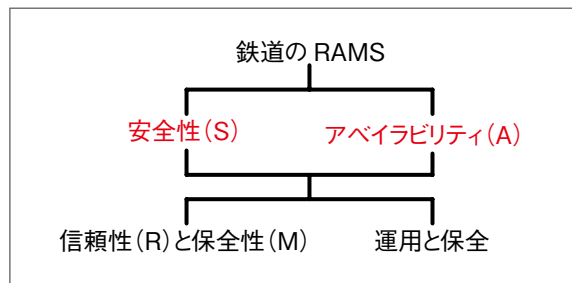


図2 RAMSの4つの指標の関係

(注1)2007年12月に発行されたIEC62278邦訳版の表記に従いました。

や故障のシステム全体への影響などであり、保全性は計画保全の時間や故障原因特定に要する時間、修理に要する時間などが挙げられます。一方、後者の「運用と保全」は、運転モードや保全の体制、ヒューマンファクタなどを指すとされており、どちらかというとき定性的な要因と言えます。また、これらの要素の内、システムの安全性に関わる事項やハザード(致命的な事象に至る可能性のある状態)が安全性に関するものとされています。

RAMS規格に関連する動向

RAMS規格は鉄道システム全般を対象にしていますが、信号分野の要件を考慮した、幾つかの子規格が発行されています(図3)。これらには、ソフトウェアの安全性を対象としたIEC62279(2002年9月発行)、安全に関連する情報伝送を対象とするIEC62280(2002年10月発行)、システムの安全性を対象としたIEC62425(2007年9月発行)があります。

ソフトウェアに関するIEC62279は、先に述べたIEC61508のソフトウェアに関する部分を引用して、鉄道信号の要件を考慮した内容となっています。情報伝送に関するIEC62280は、無線を含む情報伝送路を対象とし、Part1(専用伝送路)とPart2(汎用伝送路)に分れています。特にPart2ではセキュリティ上の危険に関する分析と対策実施を要求しています。システムの安全性に関するIEC62425はRAMS規格に基づいて、鉄道信号システムの要件を考慮した上で、より具体的な要求が示されています。

これらは、RAMS規格と同様、体系的な安全性分析の実施、文書による記録などによって特徴付けられます。これに対応してシステム開発を行う場合、文書作成に要するコスト増大などの課題があることも事実です。その一方で、このような手法や考え方は、システムの信頼性や安全性を証明するための国際的に通用する方法論の1つと言うこともできます。また、近年の企業活動のグローバル化や説明責任に対する要求の高まりなどの社会的な背景もあります。

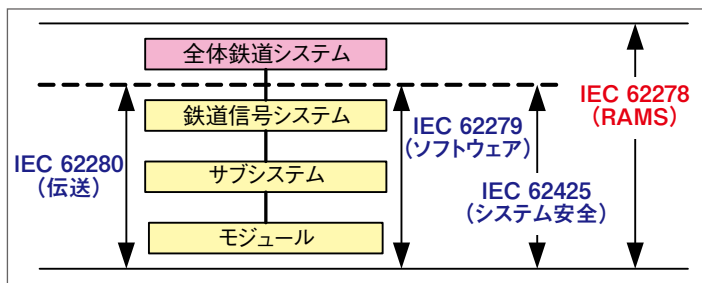


図3 RAMS規格と信号分野の子規格との関係

この他、これまでの実績に基づく優れた国内技術を積極的に海外に発信するという観点からも、RAMS規格を中心とした考え方に対応した信号システムの評価方法、開発方法の確立の必要性が高まっていると言えます。

RAMSの考え方による信号システム分析

RAMSの考え方に基づき、信号システムの評価方法と新しく信号システムを構成する際の方法について、鉄道総研で行った検討事例を以下に紹介します。

先に紹介したように、RAMS規格では、RAMSの4つの指標の中で、安全性(S)とアベイラビリティ(A)の2つが主要な指標と位置付けられています。

この内、安全性の分析や評価の方法について、信号分野においては、システムにとっての致命的事象(例:信号システムにおける信号機の錯誤現示)から原因事象へトップダウン的に展開するFTA(Fault Tree Analysis)や、システム構成要素の故障モードからシステム全体への影響を分析するFMEA(Failure Mode and Effect Analysis)などにより、システムの安全性に影響する要因を体系的に洗い出し、その対策を検討する手法の適用事例が増えてきており、ある程度定着しつつあると言っても良い状況と思われます。

一方、アベイラビリティを始めとするRAMの要素については、信頼性などの個別の値については議論されることもありますが、システム全体としてどう評価するのか、という点については具体的な方法が明らかになっていない状況と言えます。

そこで、これらRAMの要素の評価方法を中心に検討を行った結果を紹介します。

信号システム評価の方法

ここで紹介する評価手順は、実際の障害データ分析を行い、これを基にしてシステムの目標アベイラビリティを定め、さらにこれを達成するための対策の効果を評価するというものです。

首都圏で一部に複々線区間を持つ通勤路線を例とした、分析と評価のケーススタディの例を以下に示します。

分析は鉄道総研 鉄道技術推進センターの鉄道安全データベース(2号様式)の平成13年10月~18年11月について行いました。データベースから、信号装置別の障害発生頻度と障害発生による最大遅延時間が分りますので、これらから信号装置のアベ

基礎データ

- ・ 鉄道総研鉄道技術推進センター鉄道安全データベース(2号様式)
- ・ 平成 13 年 10 月～ 18 年 11 月

対象路線

- ・ 路線長 53km
- ・ 連動装置のある駅 15 駅
- ・ 列車本数(上下線) 2250 本/日

信号装置の総停止時間：44.6 時間
信号システムのアベイラビリティ：99.90%
障害の影響を受けた乗客数：約 260 万人(ピーク時輸送量を前提)

図4 現状のアベイラビリティ算出の例

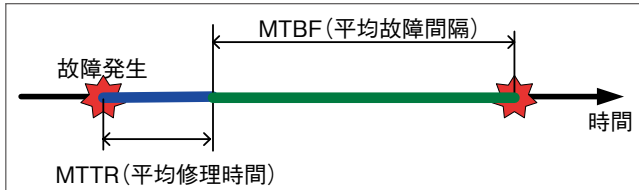


図5 アベイラビリティの概念

アベイラビリティと障害発生によって影響を受ける列車乗客数を算出しました(図4)。なお、アベイラビリティは次の式のように算出されます(図5)。

$$\text{アベイラビリティ} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

ここで、MTBF(平均故障間隔)は信頼性(R)の指標であり、障害発生頻度から求めることができます。MTTR(平均修理時間)は保全性(M)の指標です。ここでは、データベース中の最大遅延時間が、停止時間に等しいと仮定しました。

図6には信号装置ごとのアベイラビリティの例を示します。この場合、例えば連動装置は、障害が発生した場合の停止時間の影響が大きく、保全性を改善することが信号システム全体のアベイラビリティ向上にとって有効であることが分ります。

目標とするアベイラビリティの設定は、信号設備の故障によって影響を受ける乗客数に対して行います。ここでの分析例では、現状、影響を受けている人数が年間約260万人です。仮にこれを20%削減することを目標とすると、このときの信号装置全体のアベイラビリティは99.92%となり、現状より0.02%の向上が必要になります。これは、設備の停止時間を年間1.7時間削減することに相当します。

アベイラビリティを目標までに向上させるためには、幾つかの対策が考えられますが、一般的にはできるだけ数少ない対策で効率良くアベイラビリティを向上させることが望ましいと言えます。図7は図6の一部を拡大したイメージのものです。信号システムを構成するものの中で、連動装置と転てつ機に関する対策が、全体のアベイラビリティ向上に与える効果を評価した例を示しています。なお、

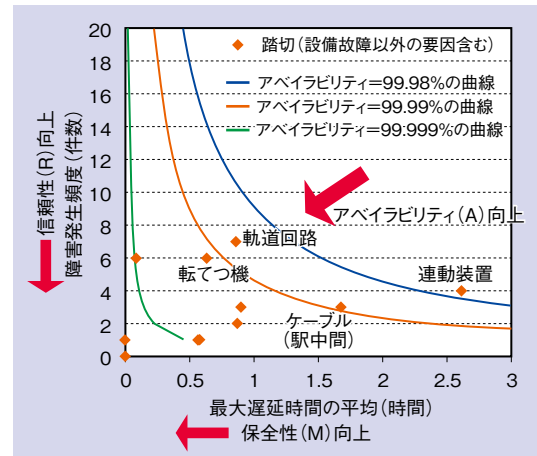


図6 信号設備のアベイラビリティの例

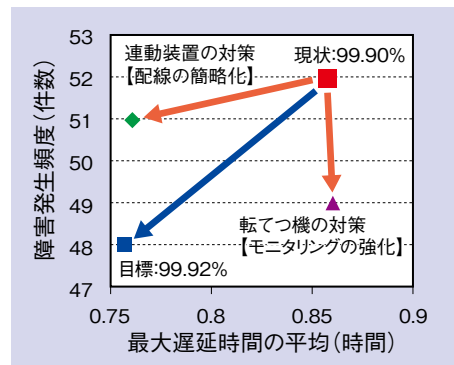


図7 アベイラビリティの向上策の評価例

ここでは、対策の対象となった原因による障害の発生がなくなるものと仮定しました。

この例では連動装置に関する配線の簡略化により、保全性の改善効果が大きく見込まれます。一方、転てつ機に関してモニタリング機能を付加することで障害自体の発生を防ぐことができれば、信頼性に対する改善効果が期待されます。この結果、両者の組合せによって全体として目標アベイラビリティ99.92%を達成することが期待できます。

このような評価手法によって、システム全体の目標アベイラビリティを達成する対策の組合せを効率的に選定することができるようになります。

信号システム構成の検討方法

信号システムを新しく構成する際、様々な構成が考えられますが、路線の輸送形態や規模に応じて、適切な構成を選択する必要があります。そのためにアベイラビリティの考え方に基づいて、候補となる構成を検討する方法を検討しました。

具体的には、信号設備が故障した場合に列車運行に及ぼす影響を推定し、これをコスト(損失)に換算します。さらに、初期(導入)と保守コストを併せて考慮することで、システム構成の候補を検討します。

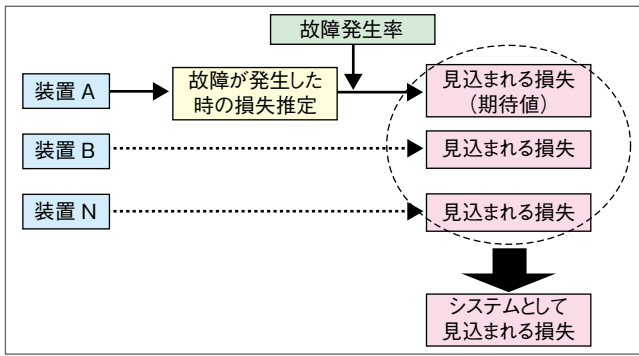


図8 装置故障による損失推定概念

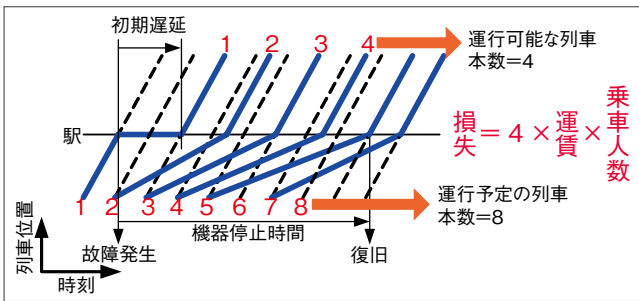


図9 損失推定の例

ここで、損失を推定する考え方を図8に示します。ある駅を想定すると、ある信号装置が故障した場合に対して走行できる進路の有無が決ります。これによって、運行が継続できるのか、運転間隔は延びるが運行が継続できるのかが分ります。後者の場合には、駅の設備条件によって、どの程度の間隔で運行できるかを求めることができます。これらを基にして、故障が発生してから復旧するまでの間に、本来通過できた列車数と故障時間中の列車数の差を求め、運賃収入の差に換算することで故障が発生した場合の損失を推定します(図9)。

この損失の推定値と装置の故障発生率の積をとることによって、装置ごとの故障によって見込まれる損失が得られ、これらの総和をとることで、システムとして見込まれる損失の推定値を得ることができます。

以下にケーススタディの結果を示します。ここでは、線区規模に対応した3種類の駅(図10)と、信号システムの候補として、3種類の構成を仮定しました。信号システムの内の1つは、無線LANネットワークにより軌道回路、転てつ機などの現場機器が情報伝送を行い、各設備の自律的な動作によって連動、列車制御を実現する将来的なシステム構成(図11)を想定しました。

図12にコストの推定を行った結果を示します。この場合には、30本/時のような高密度線区では、新しいシステム構成が初期コストは増加する反面、保守コストと損失の面では有利である他、3本/時程度の線区ではCARATのようなシステムが初期コスト、および保守コスト+損失

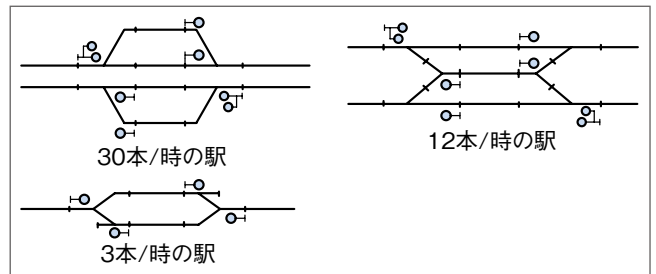


図10 検討対象の駅モデル

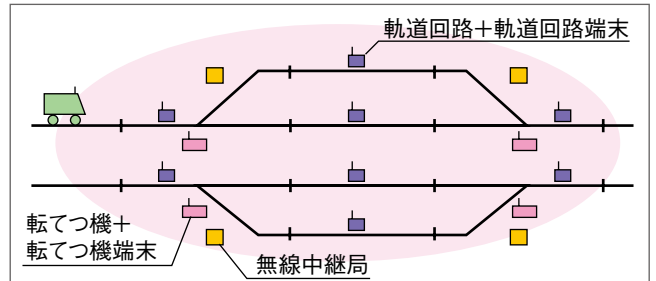


図11 新しい列車制御システムのイメージ

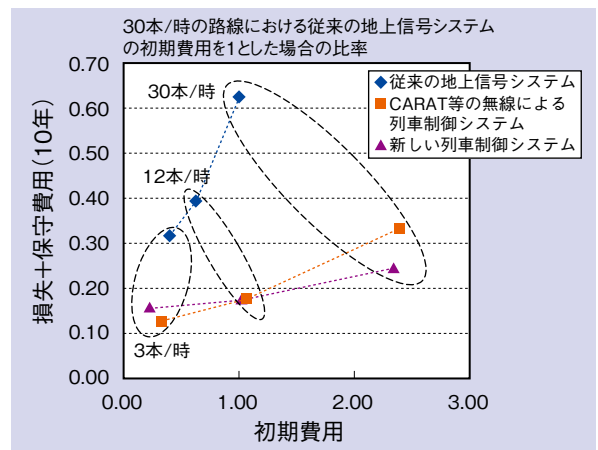


図12 コスト推定の例

でも有利であるということが分ります。

このような方法によって、導入するシステム候補を路線の条件に応じてコストの観点から比較検討することが可能になります。

おわりに

RAMS規格を取り巻く動向と、鉄道総研で検討した信号システムのRAMS分析の事例を紹介しました。

ここで示したケーススタディの結果は、対象とする路線の障害の状況、あるいは列車運休時の損失の考え方、システムの初期コストや保守コストの考え方などによって変わるものですが、システムの評価や検討の手法自体は様々な状況に応じて適用可能と言えます。今後は、将来の新しい信号システム構成を検討する中で、紹介した手法の深度化を図っていく予定です。RRR