

RAMS 指標に基づく信号システム評価法

信号通信技術研究部 信号
研究室長 平栗滋人

1. はじめに

鉄道を対象とする RAMS 規格 (IEC 62278) は信頼性 (R)、アベイラビリティ (A)、保守性 (M)、安全性 (S) の各指標のバランスを経済性と照らし合わせて良好に維持することを基本概念とし、体系的なリスク分析やシステムライフサイクル全般に亘る活動の文書化などが特徴である。RAMS 規格は 2002 年に国際規格として発行して以来、その重要性や影響が指摘されている。一方、近年、情報技術を積極的に利用した新しい信号システムの開発が活発化している。

このような状況から、線区のニーズや環境に応じて、RAMS のバランスに優れたシステムを低コストで構築する手法の確立が必要と考えられる。そこで、この基礎となる RAMS 指標による信号システムの評価法とシステム構成法について検討を行った。

2. 信号システム評価法

2.1 アベイラビリティ評価法

RAMS 規格では、RAMS 各要素の関係が図 1 のように定義されており、アベイラビリティ (A) が安全性 (S) と並ぶ指標であり、これらを支えるものが信頼性 (R) と保守性 (M) と言える。一方、これまで、RAM の 3 つの指標を切り口にした鉄道システムの具体的な評価方法は必ずしも具体的ではなかった。そこで、アベイラビリティを観点とした評価法について検討することとした。

提案する評価法は図 2 に示すように、大きく 3 つの段階に分類される。なお、アベイラビリティには幾つかの概念や定義が存在するが、MTBF/(MTTR+MTBF) で表現する定義を適用した。ここで、MTBF は平均故障間隔 (時間)、MTTR は平均修理時間である。

2.2 信号システムの評価

以下、図 2 に示す手順に従った信号システム評価の例を示す。

(a) 現状の把握

ここで、評価の対象としたのは、都市圏のある高密度通勤路線 (一部複々線) をモデル線として選定し、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) を基に平成 13 年 10 月~18 年 11 月の期間を対象として調査を行った。モデル線の概況は、路線長が 53km、連

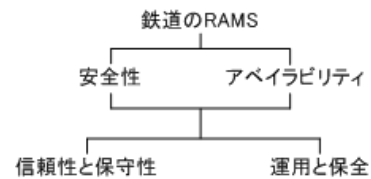


図 1 鉄道の RAMS 要素の相互関係 (IEC62278 より引用)

【STEP1】 現状把握	【STEP2】 目標値設定	【STEP3】 目標アベイラビリティを達成するための適用対策の検討
現状のアベイラビリティ (発生頻度、停止時間)	目標アベイラビリティ	適用対象機器の選定と効果 ・復旧時間の短縮効果
現状の列車ダイヤへの影響 (運休、遅延本数)	目標とする運休、遅延本数	・信頼度向上 (頻度低減)
現状のコスト	目標コスト	・保守性向上 (頻度低減) (検出精度の向上として)
		・システム全体としての効果 ・改善後の発生頻度 ・改善後の停止時間

図 2 アベイラビリティを観点とした 鉄道信号装置の評価手順

動駅数が15、上下線を合わせた1日の列車本数は2250本である。

信号設備の停止時間は、データベースに記録されている各障害における最大遅延時間に等しいと仮定し、これらの総和を総停止時間とした。この前提の下で得られた各種信号設備の総停止時間は44.6時間、アベイラビリティは99.90%（24時間運転と仮定）であった。また、モデル線のピーク時の混雑率を200%、1列車は10両編成と仮定し、列車ダイヤを考慮すると輸送量は約30万人/時となる。信号設備の停止によって影響を受ける旅客数が停止時間に比例するものとする、先の総停止時間から算出した影響を受ける旅客数は、約260万人/年となる。

(b) 目標の設定

信号設備の故障による列車運行への影響を表現する尺度としては、列車の運休本数、列車の遅延時間などが考えられるが、ここでは影響を受ける旅客数に着目した。つまり、目標としては列車遅延の影響を受ける旅客数をどの程度減少させるかを目標として設定し、これに対応する信号設備の目標アベイラビリティを導出する。

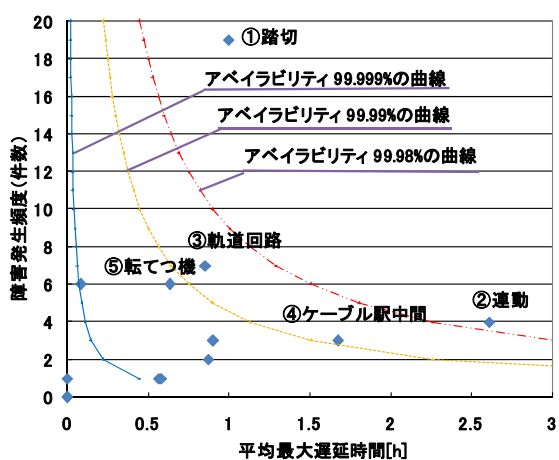
例えば、(a)に示したモデル線での影響人数を20%削減することを目標とすると、このとき信号設備に要求されるアベイラビリティは99.92%となる。

(c) 目標アベイラビリティを達成する対策の検討

信号システムには転てつ機、軌道回路、連動装置など幾つかの設備から構成されており、信号システム全体のアベイラビリティを向上させるために対策を実施する設備、および対策の内容には様々なものが想定される。図3にはモデル線における信号設備ごとの障害発生頻度（信頼性）、遅延時間＝停止時間（保守性）の関係を示す。なお、この値は、踏切障害における自動車の直前横断など、設備自体の故障以外の要因も含んだものである。これらから、例えば連動装置は停止時間が長く、障害時の復旧時間短縮、つまり、保守性の面での対策が信号システム全体のアベイラビリティ向上に大きく寄与する可能性のあることが分る。

図4は連動装置と転てつ機に関する対策が、信号システム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す。なお、ここでは、対策の対象となった原因による故障発生がなくなるものとした。

このような評価を行うことで、様々な対策案が全体のアベイラビリティ向上にどのように寄与するかを明らかにすることができ、有効な対策を効率的に選択することが可能となる。



(注) 信号設備自体の故障以外の要因も含む

図3 各設備のアベイラビリティ

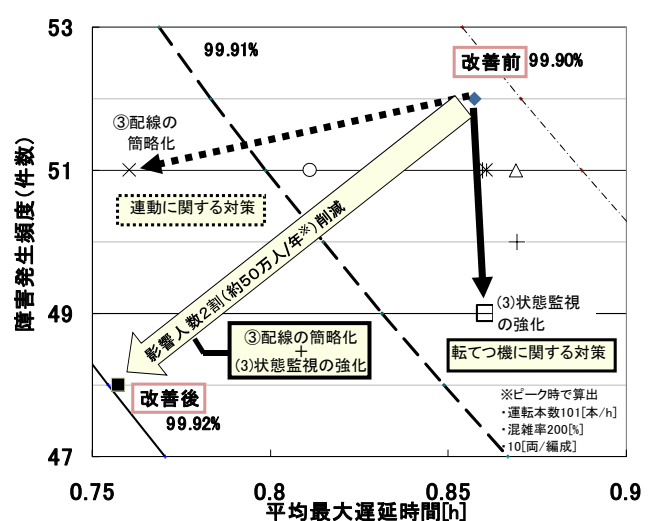


図4 アベイラビリティ向上策の評価

3. 信号システム構成法

3.1 基本的な考え方

新しく信号システムを構成する際、様々なシステム構成が候補となり得るが、線区の輸送形態や規模に応じて、RAMS の各指標のバランスに優れた構成を選択する必要がある。そこで、2. で述べたシステム評価法と同様にアベイラビリティの考え方を基本として、候補となるシステム構成を検討する手法を提案する。具体的には、システムの構成要素である各設備が故障した場合に、列車運行に及ぼす影響を推定する。また、システム構成の選定に際しては初期（導入）、および保守コストも重要な要素となることから、推定した影響をコストに換算することで、1つの尺度でシステム構成を検討することが可能になる。

3.2 設備故障による損失の推定

先に述べた3つの要素の内、初期コスト、保守コストについてはシステムを構成する機器によって決定する要素が大きいと考えられるため、以下、故障による列車運行への影響を損失（コスト）に反映する手法を示す。

損失推定の考え方は図5に示すとおりである。ある駅を想定すると、システム構成する各装置が故障した場合に対して走行可能な進路が決定できる。これから、上り列車、下り列車別に運行が継続できない場合、運転時隔は延びるものの運行は継続できる場合に分類できる。後者については、想定する駅が決まれば、どの程度の時隔で運行が可能かが推定できる。これらを基に、故障発生から復旧までの間に、本来通過できた列車本数と故障時間中の列車本数の差を求め、これを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する（図5の①）。これと装置の故障発生率の積をとることによって、装置故障によって見込まれる損失（図5の②）が得られる。各装置について得た、見込まれる損失の総和をとることでシステムとして見込まれる損失（図5の③）を得る。

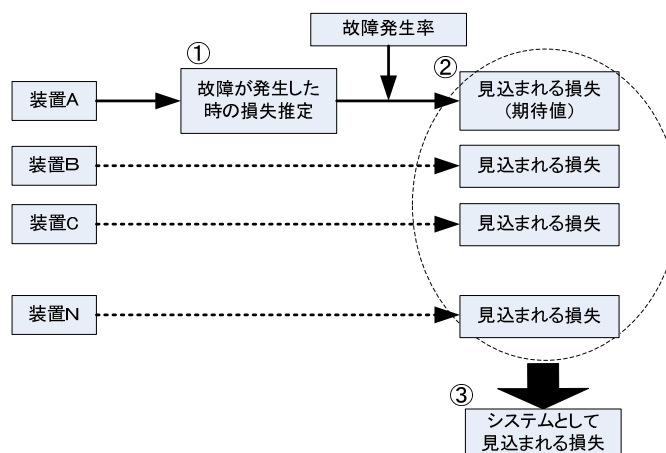


図5 設備故障による損失の推定手順

3.3 ケーススタディ

線区の規模として、上下線それぞれの列車本数が30本/時、12本/時、3本/時を設定し、それぞれに対して図6～図8に示すような駅配線を想定した。また、信号システム構成の候補としては、地上信号機を使用する現在の基本的な構成、鉄道総研で開発したCARATなどの無線による列車制御システム、さらに、構想段階ではあるが、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9）を想定した。

なお、ケーススタディは次のような前提の下で行った。

- 地上設備のコストは1駅分のみ。
- ケーブル類、電源装置などは含まない。

- 初期コストに工事費は含まない。
- 保守コストは、現在の構成：CARATなどの無線システム：提案構成＝1：0.4：0.5の比率とし線区規模による差は設定していない。

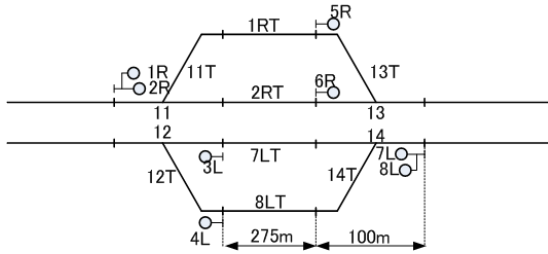


図6 30本/時の駅

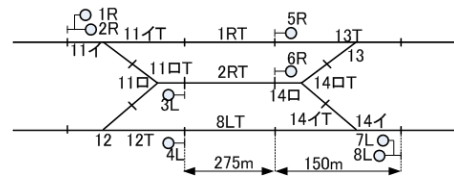


図7 12本/時の駅

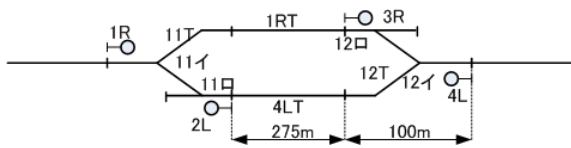


図8 3本/時の駅

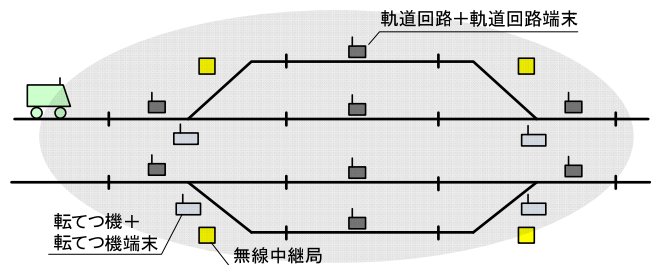


図9 新しい信号システムのご概念

図10にコスト推定を行った結果を示す。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という結果となった。また、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+損失でも有利であるとの結果となった。これらはある仮定に基づいたものであり、列車遅延や運休による損失の算定方法などにより、結果は異なる。しかし、本手法によって、鉄道事業者や線区の条件に応じたシステム構成の選択が出来るものと考えられる。

なお、結果に対する評価は、例えば初期コストがある程度必要であっても損失の低減を重視するなど、線区を取り巻く環境や鉄道事業者の考え方に依りて決まる。

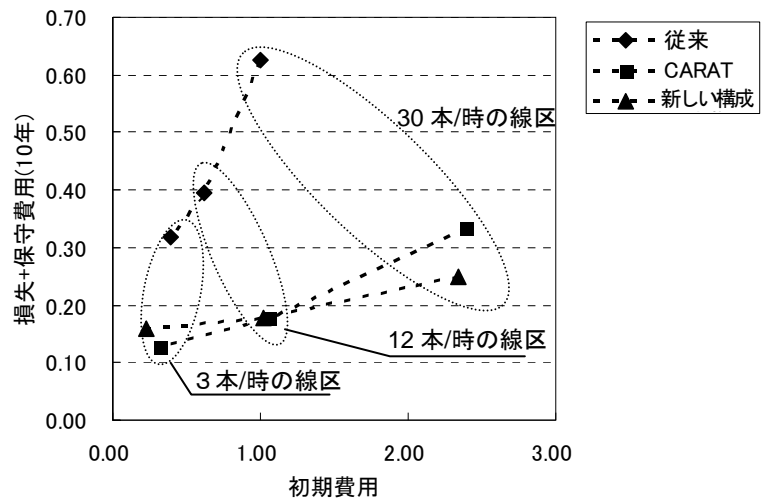


図10 コスト推定結果

4. おわりに

これまで具体的な方法が明らかでなかった、アベイラビリティに着目した信号システムの評価法と、コスト指標によって、新規に導入するシステム構成案を検討することによるシステム構成法を提案した。今後は新しい信号システムの具体化と併せて、提案手法の深度化を図る予定である。