

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

RAMSの考え方に基づいて 信号システムを評価する

鉄道を対象としたRAMS国際規格の発行以来、その重要性や国内への影響が指摘されています。一方、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活発に行われています。このような状況を考えると、RAMSの各指標のバランスに優れたシステムを構成する手法を確立することが必要と考えられます。新しく信号システムを構築する際、幾つかの候補となるシステム構成案をRAMSの考え方に基づいて、線区レベルや環境に応じて評価する手法を紹介します。



平栗 滋人
Shigeto Hiraguri
総務部 人事 課長
(前 信号通信技術研究部
列車制御研究室
室長)
[専門分野] 列車制御シ
ステム、信号システム
の安全性・信頼性

はじめに

2002年9月にIEC (国際電気標準会議) から、鉄道システムを対象とした国際規格 IEC 62278が発行され、一般にRAMS (ラムス) 規格¹⁾と呼ばれています。RAMSとはReliability (信頼性), Availability (アベイラビリティ), Maintainability (保全性), Safety (安全性)の頭文字をとったものです。RAMS規格は、システムの構想段階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するマネジメント規格と位置付けられます。現在、海外では欧州を中心として、RAMS規格に則ってシステムの安全性などを立証することが主流となっています。

鉄道信号システムの最も基本的かつ重要な役割は、列車を安全に運行させることです。これまでに、国内の信号システムは高いレベルの信頼性を確保した上で、万一、故障が発生した場合には停止信号を現示するなどの安全側制御を行うフェールセーフの考え方を基本として発達してきました。国内で

は、一般的な電気・電子分野を対象とする機能安全 (☞参照) の国際規格 IEC 61508 (☞参照) を基盤とする技術指針²⁾の作成などの取り組みもあり、近年、システム開発時には、安全性に関してはRAMS規格に示されているような、体系的な分析や評価が実施される事例が多くなってきています。

一方、近年、安全はも当然のしながら、安定した輸送サービスの提供に対する注目も高まってきており、今後はRAMS性能を総合的に評価する必要性が高まるものと考えられます。

☞ 機能安全

ある機能を導入することで、潜在する危険のリスクを回避して安全を実現するという考え方を指します。潜在する危険自体を除去する考え方は「固有安全」と呼ばれます。

☞ IEC 61508

7つのパートからなり、安全性ライフサイクルや、安全性要求レベルに応じた技術要件を定めるSIL (Safety Integrity Level) などの概念を導入した点が特徴です。翻訳されJIS C 0508となっています。

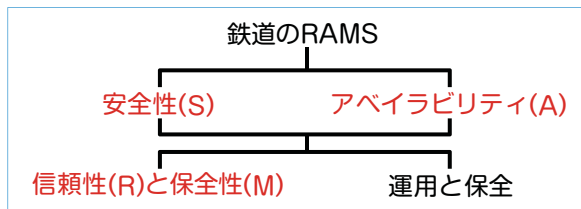


図1 RAMSの4つの指標の関係

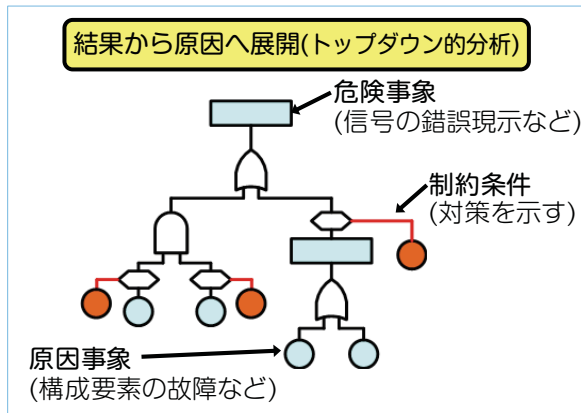


図2 FTAの概念

原因から結果へ展開(ボトムアップ的分析)			
装置・部品など構成要素	故障モード	システムへの影響	対策
A	○○○	○○○	
	×××	◆◆◆	
	△△△	○○○	
B	○○○	○○○	
	■ ■ ■	○○○	
	▽▽▽	◆◆◆	

図3 FMEAの概念

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

MTBF：平均故障間隔 (信頼性)

MTTR：平均修理時間 (保全性)

図4 アベイラビリティの一般的な定義

RAMSの考え方

信号システムの評価方法について述べる前に、RAMSに関して前提となる事項を以下に説明します。

RAMS規格は鉄道システムを対象としていますが、安全性に対する考え方についてはIEC 61508を、文書によって安全性や信頼性を立証することなどを基本とするマネジメントの考え方は、ISO 9000を基盤としています。

具体的には、RAMS規格ではシステムライフサイクルが14の段階に分類され、段階ごとに要求事項が示されています。各段階の要求事項の骨子となっているのは、計画や目標の設定、

リスク

一般的に使用される機会の多い用語ですが、安全に関する事項を規格で述べる場合の指針であるISO/IEC ガイド51では、「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、と明確に定義されており、実際の安全性分析の場面でもこの定義を前提にすることが一般的になっています。

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(参照)評価の実施などです。

RAMSの4つの指標は単独に存在している訳ではなく、相互に関連を持っています。これらの関係について、RAMS規格では図1のように示されています。これによると、鉄道のRAMSは安全性(S)とアベイラビリティ(A)に大別され、信頼性(R)と保全性(M)はその構成要素と位置付けられています。

「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、果たすことができる能力」と言うことができます。また、信頼性は故障の発生率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です。

また、もう一方の構成要素である「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量化が困難な要因です。

信号システムのRAMS評価

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

この内、安全性の評価については、列車衝突などの危険な状況に至る可能性のある事象を洗い出し、適切な対策を講じることで、危険要因をできるだけ排除することが主眼となります。このためには、FTA (Fault Tree Analysis) (図2)やFMEA (Failure Mode and Effect Analysis) (図3)などの体系的な手法を使用する事例が定着しつつあります。

一方、アベイラビリティについては、定量的に算出する方法(図4)があります。しかし、アベイラビリティを議論する場合、装置故障時の安全側制御によって危険な状態にはならないものの、列車運行の停止、あるいは、本数の減などが想定されます。したがって、単に装置の性能だけでなく、列車運行への影響も考慮した評価を行うことが望

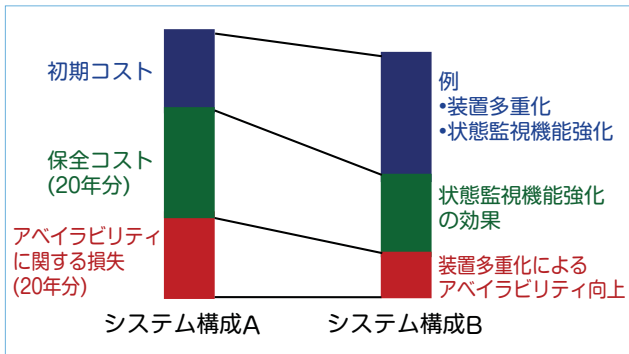


図5 アベイラビリティ評価の考え方

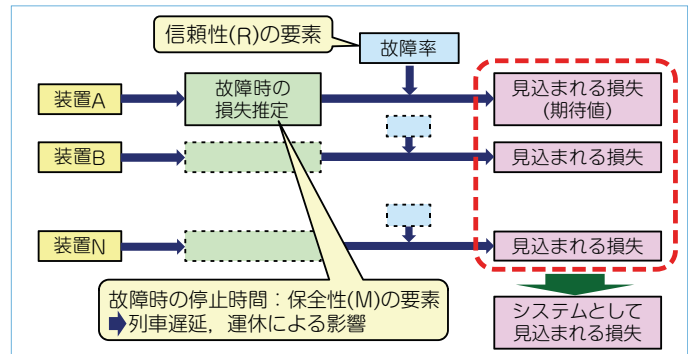


図6 アベイラビリティをコストに換算する方法

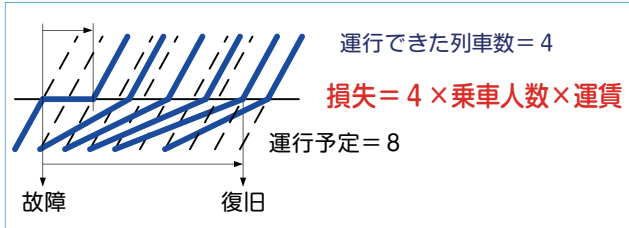


図7 損失推定の方法

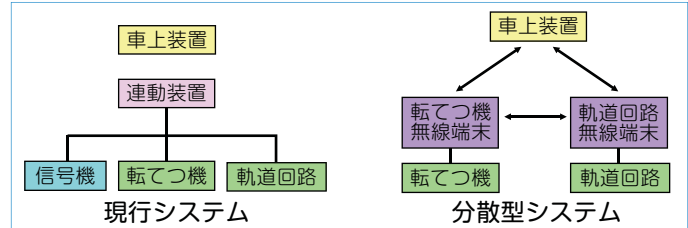


図8 モデルシステムの構成

ましいと言えますが、このような手法は明らかになっていませんでした。

そこで、アベイラビリティの要素をコスト指標に置き換えて評価する手法を検討しました。

提案する評価手法

手法の基本的な概念は図5に示すように、システムのアベイラビリティをコストに換算し、これに初期コスト、保全コストを加えた指標で評価を行います。例えば、システムBの方がシステムAより初期コストが大きくても、アベイラビリティの向上効果によってトータルではシステムBの方が優れるといった評価が行えます。

アベイラビリティをコストに換算する手順を図6に示します。

ある駅を想定し、信号機や転てつ機など個別の装置ごとに故障発生時の損失を推定します。具体的には、駅の配線、機器配置、列車の運行形態を設定しておくことによって、故障した装置に応じて、列車が走行できる進路の有無が分ります。つまり、列車の運行が通常と同じように継続できるのか、列

車間隔は延びるが運行が継続できるのか、あるいは全ての運行が停止するのかが分ります。このほか、故障時の停止時間（復旧に要する時間）を設定しておくことで、何本の列車が影響を受けるかを評価できます。

これらをもとにして、故障発生から復旧までの間に、本来走行する予定だった列車本数と停止時間中に実際に走行した列車本数の差を求め、運賃収入の差に換算することで損失を推定します（図7）。

また、装置故障の発生率も設定しておき、得られた損失の推定値と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が得られます。次に、これらの和を求めることで、システム全体として見込まれる損失の推定値が得られます。

ここで、装置故障時の停止時間が保全性の要素、装置故障の発生率が信頼性の要素ですから、両者を要素とする損失の推定値は、広い意味でのアベイラビリティの指標になるものと言えます。

ケーススタディの例

あるモデル駅を設定して評価のケーススタディを行った結果を以下に示します。

信号システムとしては、現在、在来線で主要な方式として使用されている軌道回路で列車を検知し、地上信号機を使用する現行システムと分散型の無線列車制御システム（図8）を想定しました。

分散型の無線列車制御システムとは、構想段階ではありますが、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相互に情報伝送を行い、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ものです（図9）。現行システムでは連動装置が故障すると列車運行全体に影響が波及しますが、分散型システムの場合には、装置故障時の影響範囲が限定でき、全体としてのアベイラビリティ向上が期待されます。

駅の構成としては2通りを想定し、信号装置故障時には、可能な限り代替進路で運行を継続する設定としました（図10）。

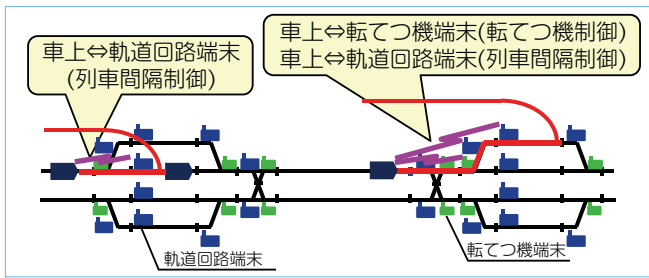


図9 分散型システム概念

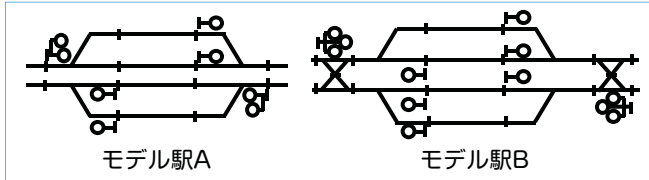


図10 モデル駅

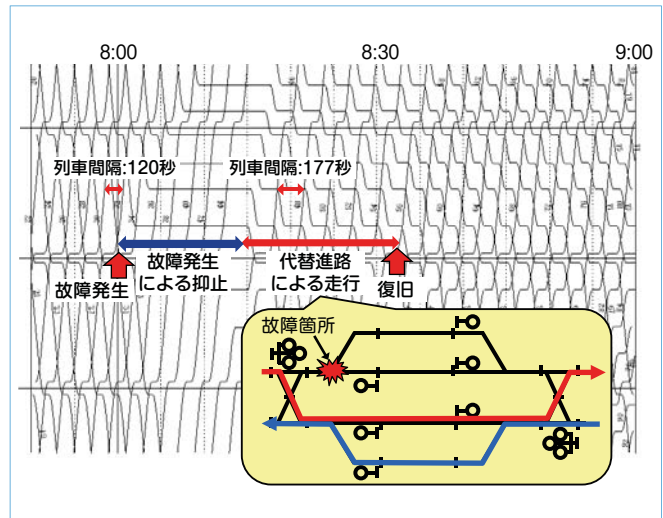


図11 設備故障時の列車走行状態の例

表1 ケーススタディの設定条件

	現行システム		分散型システム	
	故障率(1/h)	停止時間(h)	故障率(1/h)	停止時間(h)
軌道回路	3.2×10^{-7}	1.39	3.2×10^{-7}	1.00
軌道回路無線端末	—	—	7.4×10^{-7}	2.00
転てつ機	5.9×10^{-7}	0.60	5.9×10^{-7}	1.00
転てつ機無線端末	—	—	7.4×10^{-7}	2.00
信号機	1.0×10^{-7}	0.60	—	—
連動装置	1.5×10^{-6}	0.60	—	—

* 現行システムの値：鉄道総研鉄道技術推進センター鉄道安全データベースから推定
 * 分散型システムの値：仮に設定

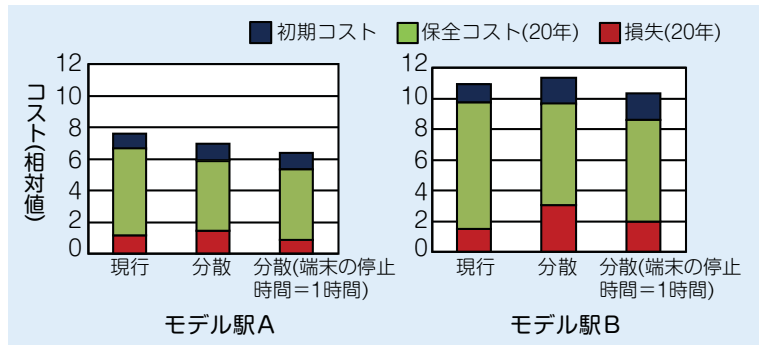


図12 アベイラビリティ算出結果の例

また、装置故障時の列車の動きを机上で評価するのは困難ですので、シミュレーションを使用しました。例えば、図11に示す例は転てつ機が故障した場合を想定したものです。故障発生直後は、下り列車は一定時間運転を抑止し、その後、代替進路を使用して列車運行を継続しています。ただし、このときの列車間隔は通常の120秒から177秒に増加しています。

システム全体の損失に初期コスト、保全コストを加えた評価結果を図12に示します。また、損失推定に使用した故障発生率と停止時間は表1に示すとおりです。

モデル駅Aでは分散型システムの方が、全体コストは低減していますが、損失については若干上回っているほか、モデル駅Bでは全体コスト、損失共に

上回っています。これは、今回の設定条件の下では、分散型システムで新たに使用する軌道回路と転てつ機の無線端末装置の数が比較的多いこと、故障時の停止時間が長いことが原因と考えられます。

ここで、無線端末の停止時間を1時間に短縮できたと仮定すると、いずれのモデル駅でも分散型システムの全体コストの方が、現行システムを下回る結果となります。このことから、今回の設定条件下で分散型システムの効果を得るためには、無線端末故障時の停止時間の短縮が鍵となることが分ります。

おわりに

ここで示した結果は、評価手法の考え方を示すためのある仮定の下でのサ

ンプルであり、列車運休時の損失の考え方、初期コストや保全コストの考え方などによって変わるものです。しかし、提案する手法によって、適用線区の条件を考慮した上で、幾つかの候補となる信号システムを総合的に比較、評価できるものと考えています。RRR

文献

- 1) 平栗滋人：RAMS規格に関する動向と課題、鉄道と電気技術、2005.3
- 2) (財) 鉄道総合技術研究所：列車保安制御システムの安全性技術指針、1996