

# RAMS に基づき信号システムを設計する

渡辺 郁夫

信号通信技術研究部  
(部長)

平栗 滋人

同  
(信号 研究室長)

岩田 浩司

同  
(列車制御 主任研究員)



わたなべ いくお



ひらぐり しげと



いわた こうじ

## はじめに

RAMSは、Reliability (信頼性：故障しにくい)、Availability (アベイラビリティ：使いたいときに使える)、Maintainability (保全性：保守しやすい)、Safety (安全性：安全である)の頭文字をとったものです。鉄道総研では、RAMSという指標に着目して、信号システムを評価したり、低コストで新しい信号システムを構成する方法について検討してきました。その概要を紹介します。

## RAMSとは

図1に示すようにRAMSの構成要素はまず大きくは安全性とアベイラビリティに分類されます。アベイラビリティは、システムがユーザに対してサービスを提供できている度合、安全性はシステムのリスクが許容できるレベルにある度合を示します。そしてアベイラビリティと安全性は、それぞれ「信頼性と保全性」と「運用と保守」から構成されます。信頼性(R)は、いろいろな操作や環境下で発生する故障や、それら故障が発生する確率などが関連します。保全性(M)は、計画的に保守するためにシステムを停止させる時間、また、システムに故障が発生した時に修理に要するまでの時間などが関連します。運用と保守は、運転モードや必要な保守、ヒューマンファクターなどが関連します。

鉄道信号は、装置の故障が重大事故に直結する可能性があるため、高い安全性が要求されます。また、安全であっ

てもシステムの故障により列車が運休したり、遅延したりするのは利用者に多大な迷惑をかけるので、同時に高いアベイラビリティも要求されます。

## 信号設備のアベイラビリティの現状

鉄道の障害データから信号設備のアベイラビリティを推定し、アベイラビリティ向上の対策を効率よく選択する手法を検討しました。ある三つの地域(A, B, C)の比較的高密度な線区と閑散線区を計6線区選定し、それら線区の信号設備のアベイラビリティを算出しました。結果を表1に示します。アベイラビリティの算出のベースは、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)の輸送障害データを使用しました。2号様式には、運休が1本以上もしくは遅延時間が旅客列車は30分、貨物列車は1時間以上のものが記載されています。信号機器が故障から復旧するまでの時間(停止時間)は、データベースに記入されている最大遅延時間と等しいと仮定して算出しました。したがって2号様式に記載されない、例えば30分未満の遅延の輸送障害は省略しています。線区ごとの5年間の信号設備に関連する延べの列車停止時間は16時間から39時間であり、これをアベイラビリティで表すと99.97%から99.92%となり、高いアベイラビリティを実現していることがわかります。また、A地域の高密度線区とC地域の閑散線区のアベイラビリティはほぼ同じ99.92%ですが、

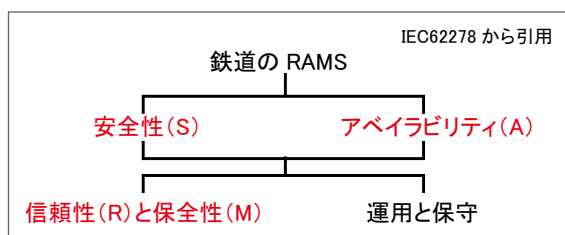


図1 RAMSを構成する4つの要素の関係

表1 信号設備のアベイラビリティの算出例

	高密度線区			閑散線区		
	A	B	C	A	B	C
輸送人数 [人/h]	1.3万	1.1万	0.6万	0.1万	0.08万	0.05万
停止時間 [h/約5年間]	39.2	16.5	33.5	16.1	24.5	38.2
影響人数 [人/約5年間]	50万	18万	20万	1.7万	2.0万	1.8万
アベイラビリティ [%]	99.92	99.96	99.93	99.97	99.95	99.92

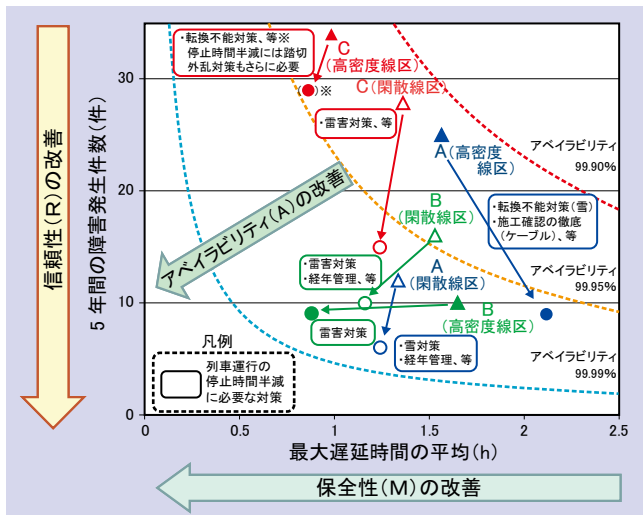


図2 効果的なアベイラビリティ向上策の策定

影響を受けた人数はそれぞれ50万人、1.8万人と推定され影響を受ける人数の観点からは、高密度線区の方がより高いアベイラビリティが求められるといえます。

輸送障害の内訳を調べると、地域によって障害発生状況が異なります。したがって、アベイラビリティをさらに向上させるためには、信号設備のどのような障害を減らすのが効果的か分析し、対策を施していくのが効果的です。図2に表1で示した各線区の列車運行が停止する時間を半減するような信号システムのアベイラビリティ向上策の例を示します。A地域では雪対策が、B地域では雷害対策が、C地域では雷害対策や踏切対策が重要であることがわかります。

### 設備故障を局所化する分散列車制御システム

駅において、列車の位置を把握し、必要な転てつ機を転換、転換後は動かないように鎖錠し、進路に関連する信号機を制御するために、連動装置が設備されています。連動装置は高い安全性・信頼性を有していますが、故障すると基本的には全列車の運行が停止してしまいます。そこで、故障してもその影響ができるだけ他に及ばないようにし、故障した機器に関連しない進路を列車が走行可能な機器構成を考えました。図3に示すように、軌道回路、転てつ機、および車上制御装置などの構成要素を無線ネットワークで接続し、これら相互の情報交信による分散型列車制御システム（以下、分散システム）です。分散システムでは単体の故障が全体に波及することがないので、全体としてのアベイラビリティが向上する可能性があります。また、軌道回路端末や転てつ機端末は、常に装置の動作の健全性をチェックしているので、保全性の向上も期待できます。これは、車上制御装置が停止限界を要求し、地上装置は要求された停止限界を管理する車上主体の制御システムです。軌道回路は

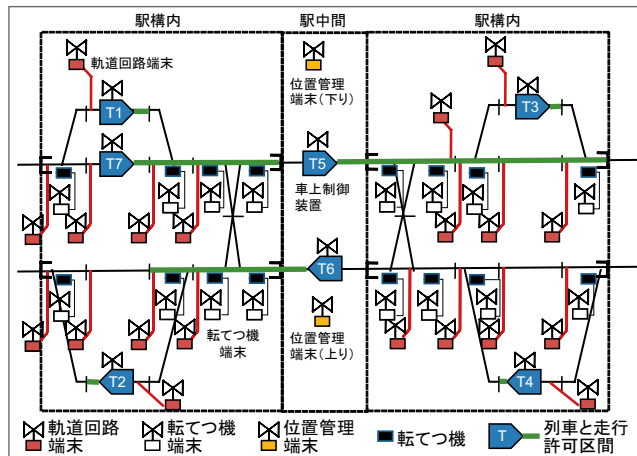


図3 分散型列車制御システム構成

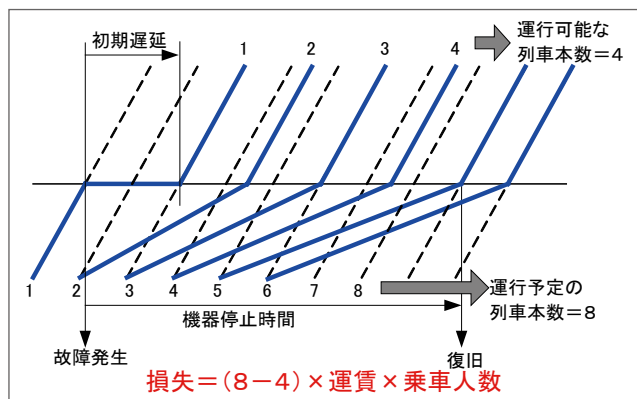


図4 列車運行への影響で生じる損失の算出方法

てっ査鎖錠、初期位置確定などの機能として限定的に使用します。地上-車上間の伝送には無線を使います。所内の試験線で試作機器による試験を実施し、このような考え方の機器構成が実現可能であることを確認しました。実用化のためには、無線伝送容量の拡大などまだ検討が必要な項目がありますが、将来は、ある線区の条件が提示されたとき、この分散システムも機器構成の候補の一つとしてあげられる時期がくるものと考えられます。

### RAMSに基づくシステム構成の選択

駅構内の信号システムを構成しようとしたとき、現行の軌道回路、信号機、連動装置による構成や上で述べた分散システムなど、いくつかのシステム構成が考えられます。RAMSの要素を反映した評価の結果から最適なシステム構成を選択する手法を検討しました。具体的には、初期コスト、保守コスト、そして、信号設備が故障した場合に列車運行に及ぼす影響で生じた損失コストの合計を求め、これが最も低くなるシステムを選択するものです。列車運行に及ぼす影響で生じた損失については、信号設備故障で計画通りに運行できなかった列車本数に基づいて算出した損失(図4)と、該当する装置の故障率を乗じて、ある一定期

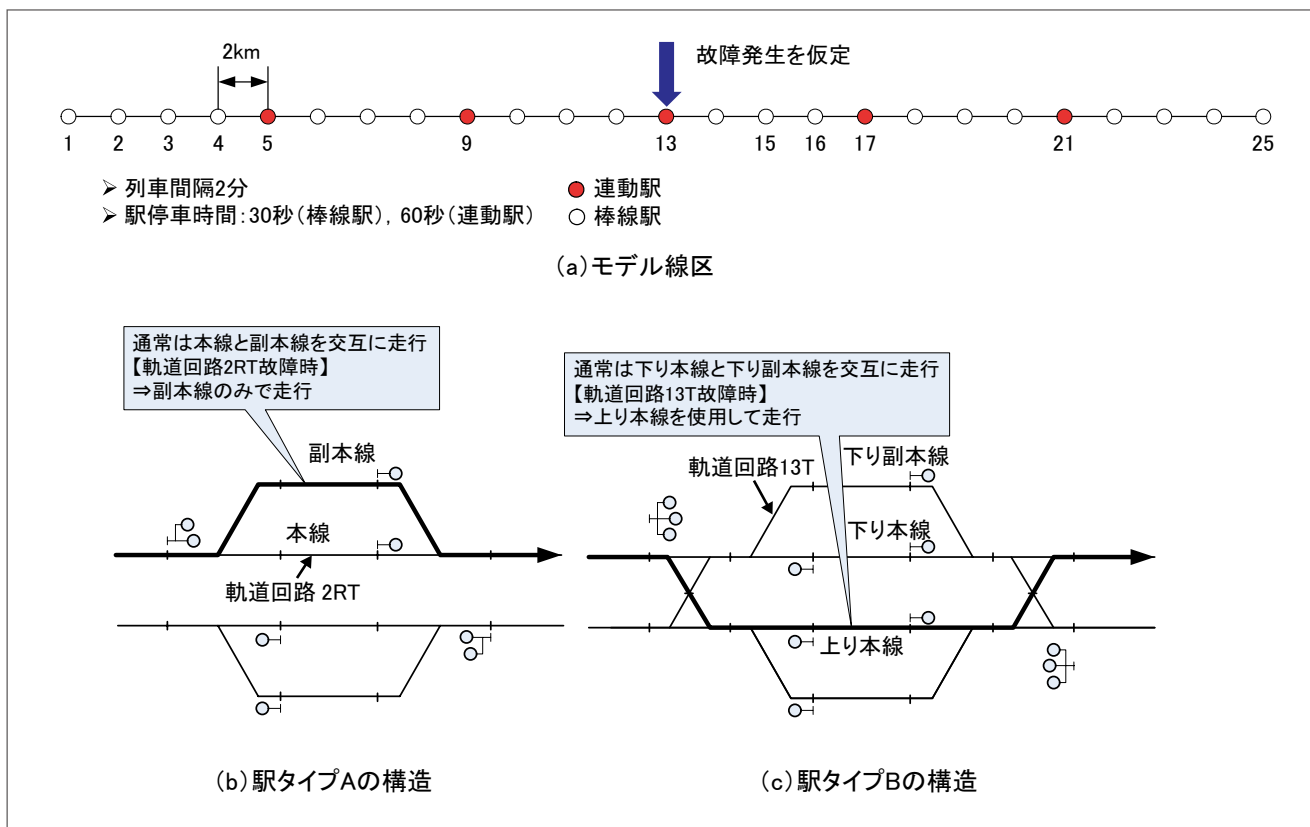


図5 評価対象モデル線区と駅の構造

間に見込まれる損失を算出します。これらを全ての装置について算出し、それらを合計することでシステム全体としての見込まれる損失を算出します。

### ケーススタディ

提案した分散システムと現行システムの構成を、高密度線区に適用した場合のコストを比較した事例を紹介します。図5に示す路線を想定しました。全部で25駅で、No.5, 9, 13, 17, 21の各駅が待避や追い越し可能な連動駅で列車は1分停車、そのほかは棒線で30秒停車、列車運行は2分間隔と仮定しました。連動駅は図5 (b), (c) に示すA, B二つのタイプの駅を対象としました。そして故障はNo.13の駅で発生すると仮定しました。故障発生については、例えば駅タイプAの構造の駅で本線の軌道回路2RTが故障の時には副本線のみを走行、駅タイプBの構造の駅で軌道回路13Tが故障した場合には、下りと上りが上り本線、下り副本線を使用して交互通行するような運行制御がなされると仮定しました。

また、各装置の故障発生確率、故障発生時の装置の停止継続時間は表2に示す値を使用し、現行システムについては、各装置の故障実績から推定しました。また、故障発生時に代替進路での運行が可能な場合、これに移行するまでの時間は15分としました。故障発生時のシミュレシ

ョン結果の走行軌跡を図6に示します。これはNo.13駅が駅タイプBの場合で軌道回路13Tが故障して、代替進路によって上下列車が交互走行した場合の結果です。図に示すように、故障発生後の初期遅延(列車抑止)以後、代替進路によって列車が走行していますが、通常時の120秒より運転間隔が177秒と延びるため、それ以降の列車に遅延が発生している様子がわかります。この場合、上下線や故障継続時間(装置の停止時間)によって幅はありますが、駅を通過(停車一発車)できる列車本数は通常の50~70%程度となり

表2 各システムの故障率と故障時の停止時間

	現行システム		分散システム	
	故障率 (/h)	故障時停止時間 (h)	故障率 (/h)	故障時停止時間 (h)
軌道回路	$3.2 \times 10^{-7}$	1.39	$3.2 \times 10^{-7}$	1.00
軌道回路 端末	—	—	$7.4 \times 10^{-7}$	2.00 または1.00
転てつ機	$5.9 \times 10^{-7}$	0.60	$5.9 \times 10^{-7}$	1.00
転てつ機 端末	—	—	$7.4 \times 10^{-7}$	2.00 または1.00
信号機	$1.0 \times 10^{-7}$	0.78	—	—
連動装置	$1.5 \times 10^{-6}$	3.28	—	—

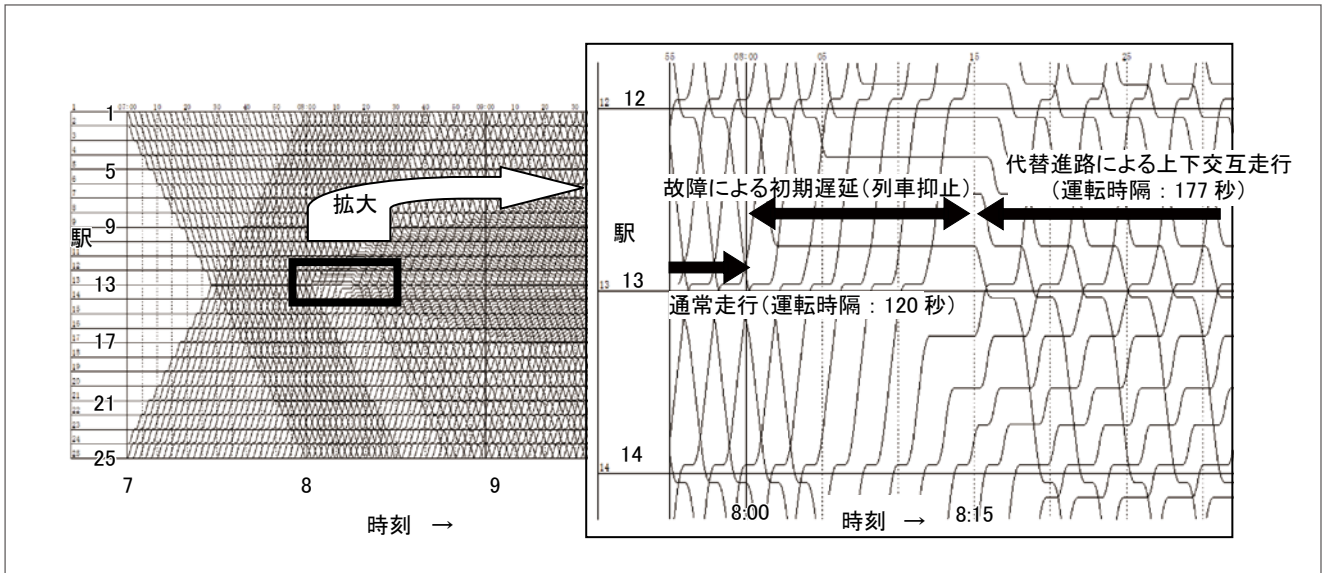


図6 故障発生時(No.13駅)の列車走行シミュレーション

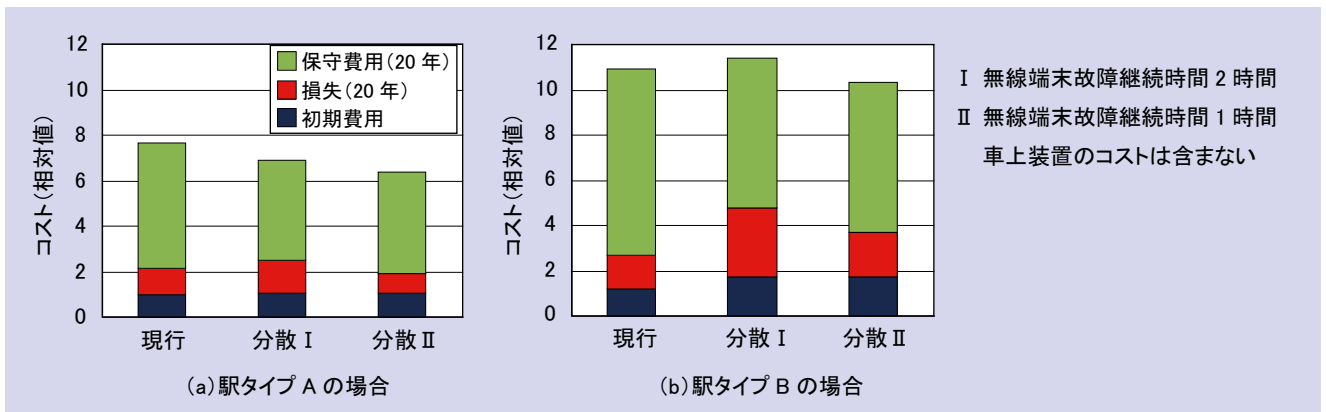


図7 システム構成ごとのコストの試算

ました。また、駅が駅タイプAの場合には運転間隔が140秒程度に延び、通過できる列車の割合は60～70%程度になります。

このようなシミュレーションを装置の故障ごとに行い、この結果から各システム構成に対する装置故障による損失見込みを求め、信号装置を設置する時の初期費用と保守費用を合わせ、トータルのライフサイクルコストを算出しました。図7に駅タイプAの現行システムの初期費用を1とした場合の駅タイプAと駅タイプBのライフサイクルコストの相対値を示します。保守コストについては、分散システムでは、転てつ機や軌道回路の動作を常時モニタリングしており、保守の必要な時期をシステムが把握できるため保守費は軽減できると考え、現行システム：分散システム = 1：0.8と仮定しました。図7(a)に示すように駅タイプAの場合、ライフサイクルコストでは、分散システムの方が有利である結果が得られています。端末の故障継続時間を2時間(分散I)から1時間に短縮できると(分散II)、

さらにコストが低減できます。図7(b)に示すように駅タイプBの場合は、分散システムでは端末機器数が多くなるため初期費用が多くなり、また、機器数の増大と共に信頼性も低下するため機器故障による損失も大きくなり、故障継続時間が2時間では不利な結果となっています。故障継続時間を1時間に短縮できれば現行システム以下のコストに抑えることができるので、機器故障の復旧を迅速に行うことも重要になってきます。

### おわりに

信号システムのRAMSの考え方、RAMSを考慮していくつかあるシステム構成から低コストな構成を選択する手法を紹介しました。保守費や初期費用の設定の仕方で結果は変わる場合がありますが、手法自体は幅広く適用可能と考えます。この手法を、より安全で、アベイラビリティが高く、低コストな信号システムの開発に役立てていきたいと考えます。RRR