

S4-6. 新しい交通システムの安全性、信頼性評価における RAMS 規格適用例

[電] ○水 間 毅 (交通安全環境研究所)

Application of RAMS Standard on Safety and Reliability for New Transportation Systems Takeshi Mizuma, Member (National Traffic Safety and Environment Laboratory)

In recent days, receiving the effectuation of RAMS standard (IEC62278), several trials are attempted to adapt this standard for new technologies and systems on railway field. However, in this standard several numerical restrictions and quantitative evidences are required and these requirements were not asked for Japanese railway authorities up to now. Accordingly, these attempts are not authorized officially yet and general application method is not established. Therefore, in this paper, I will describe the procedure of practical use on IMTS with RAMS standard and propose one of general methods with applying RAMS standard for a new transportation system.

キーワード：RAMS、交通システム、安全性、信頼性

Keywords: RAMS, Transportation System, Safety, Reliability

1. はじめに

現在、国内において、国際規格に関する議論が活発化しているが、鉄道分野においては、従来から日本で行われてきた安全性評価に関する考え方と異なる規格の導入に対し、対応を検討している最中である。特に、欧米流の数値を用いた評価に対し、どのように対応するかは重要な課題である。その中でも、IEC62278 は RAMS 規格と呼ばれ、Reliability(信頼性)、Availability(可用性)、Maintainability(保守性)、Safety(安全性)を確保するための規定がなされており、ライフサイクルの中で各フェーズにおける文書化、証明化が規定されている。

一般に、日本の鉄道分野においては、明確な文書化、証明化による認証と言った、形式的な側面よりは、安全確認走行、意地悪試験等各種の実走行を通した、実質的な側面に評価の重点を置いてきた。従って、実質的な安全性、信頼性等に関しては、十分な実績があるにも関わらず、数値的な評価やそれらを認証する文書化と言ったプロセスは遅れていた。

本稿は、今後、新しい交通システムを評価する場合、従来のような安全性、信頼性評価試験を実施するだけでなく、RAMS 規格を意識した評価も行う必要があると判断し、それらに関する検討を行ったので報告する。

2. RAMS 規格適用に関する日本の対応について

2.1 RAMS 規格の目的と有用性

RAMS 規格の目的は、鉄道システムに対して、一定のレベルの信頼性、可用性、保守性、安全性を確保させ、それらを管理するためのライフサイクルを規定して、費用に見

合った鉄道レベルを確保することである。

従って、RAMS 規格を適切に適用することは、鉄道の健全な維持、発展に有意義であることは言うまでもなく、日本にとっても、有効に適用することで、以下の利点が生じると考える。

(1) 鉄道の安全、安定輸送のための統一的な指針が示されれば、それに合わせた試験、評価を実施することで、新しい交通システム導入時に、投資費用に見合った一定水準の交通システムの実現が比較的短期間に実現しうる。

(2) システムのライフサイクルを規定しているため、長期間に亘る交通システムの安全・安定輸送を確保する意識が生じるとともに、環境に対するリサイクル問題等にも適切に対処しうる。

(3) 鉄道システムの相互直通運転に対し、比較的、短期間に同一レベルでの安全、安定輸送を実現するための指針作りが実現しうる。

(4) 同一レベルでの安全性、信頼性を有する交通システムにおいては(例えば、ゆりかもめ等の新交通システム)、車両の標準化、部品の共通化が可能となり、コストダウンが可能となる。

2.2 RAMS 規格適用の課題

一方で、RAMS 規格を日本に適用する場合の課題もいくつか挙げられる。

(1) 鉄道の技術レベルの差があまりに大きい事業者間(例えば、JR本線と中小民鉄)では、相互運転や共同運行を行う場合、RAMS の数値があまりに異なっており、共通化に却って時間、コストがかかる恐れがある。

(2) 中小規模の鉄道では、新技術を導入する際に、規格の準拠のための試験、文書化は却って時間、コストがかかる恐れがある。

(3) 日本のように、省令、解釈基準等により、独自に高い

安全、安定輸送を実現している国の場合、無理に RAMS 規格を適用しなくても、新しい技術、システム導入は事業者や行政の判断で実施できる。

2.3 RAMS 規格に対する対応

RAMS 規格は鉄道システム全体から主要なシステム内のコンポーネントに至るまで適用可能 (applicable) と記述されているが、このコンポーネントに関する解釈を統一する必要がある。

日本では、省令の基に解釈基準が存在し、解釈基準を満たすことが鉄道システム実用の前提となっている (図 1 参照)。

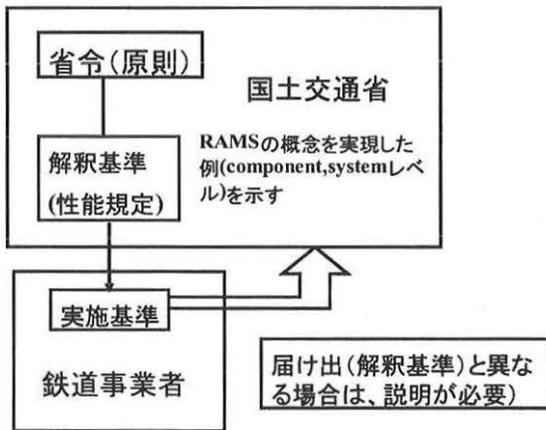


図 1 日本における鉄道システム実用化の体系

RAMS 規格の中では、一般的に受け入れられる原則として、イギリスの ALARP、フランスの GAMAB、ドイツの MEM が規定されており、その中には、DRA(Differential Risk Aversion)や新システムの衝突発生確率、最小内在的死亡率等定量的な評価指標が示されている。

これに対して、省令は法律ではあるものの、安全、安定な輸送の確保を図るという原則論が示されているのみで、具体的な数字等は示されていない。この原則を満たすものとして解釈基準が存在している。

従って、RAMS 規格に対応するには、「省令という原則 (法律ではあるが) に従い、解釈基準を満たすことで RAMS 規格に適合されたことになる。」ということが認知されれば良いと思われる。

即ち、RAMS 規格は、新しいシステムに適用されるわけであるから、解釈基準で認められる新技術、システムは基本的には新しいシステムではなく、既存技術であるという解釈で RAMS 規格の適用外であり、解釈基準に追加されるようなシステム、技術が RAMS 規格の適用を受けるということである。そして、解釈基準に追加されるということは、そのプロセス、内容は RAMS 規格に適合していると解釈できるようにすれば良いと判断できる (図 2 参照)。

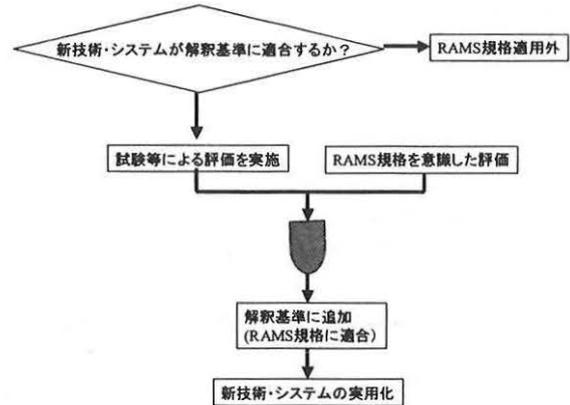


図 2 日本の鉄道における RAMS 適用の考え方の例

3. RAMS 規格適用例

2005 年 3 月から開催される愛・地球博内の会場内輸送システムである IMTS(Intelligent Multi-mode Transit System)は各種走行試験を通じた安全性、信頼性評価により、実用上問題ないと鉄道局に認められ、2003 年 8 月に「無軌条磁気誘導式交通システム」として解釈基準に追加されたシステムである。

このシステムの安全性評価、信頼性評価は RAMS 規格を意識して実施されたので、本章では、この概要について記す。

3.1 IMTS の安全性評価

本システムは、バス型車両を使用して、地上に敷設した磁気マーカを車上の磁気センサで読み取り、位置を把握し、車上のコンピュータで速度、加減速度を計算して自動走行を行う駆動方式であり、車両間は無線により衝突しない距離を保つよう制御される (隊列走行)。さらに、隊列列車間については、地上側に敷設したループコイルにより、連動システムを構成して、単線でも衝突しないよう制御される。

従って、コンポーネントレベル、システムレベルで新しい技術が使用されている。

RAMS 規格に関しては、基本的に、重要度の大きいコンポーネントについては、コンポーネントレベルでも RAMS 規格を適用し、その後、全体システムレベルでの RAMS 規格への適用を実施した。

(1) コンポーネントレベルの安全性評価について

コンポーネントレベルで重要なものとしては、車上コンピュータによるソフトウェア、ブレーキシステム、無線システムである。

表 1 にブレーキシステムに関するコンポーネントレベルでのリスク評価と許容可能レベルの設定例を示し、その FTA の結果例を図 3 に示す。

表 1 リスク評価と許容可能性レベル (コンポーネントレベル)

| ハザード発生頻度 | リスクレベル | | | |
|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| Frequent(頻繁に) | × | × | × | × |
| Probable(時々) | × | × | × | × |
| Occasional(たまに) | △ | △ | × | × |
| Remote(可能性) | ○ | △ | × | × |
| Improbable(ほとんどなし) | ○ | ○ | △ | × |
| Incredible(ありえない) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | Insignificant 無意味 | Marginal 重要でない | Critical 重大な | Catastrophic 破局的な |
| | ハザードの帰結としての厳しさのレベル | | | |

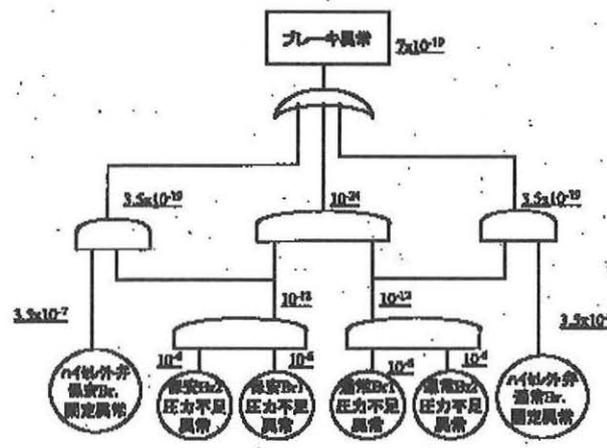


図 3 コンポーネントレベル(ブレーキ)における FTA 例

これは、ブレーキの不具合で、異常が発生する確率を $10^{-13}/h$ 以下になるように設計を求めた (システムの重大事象発生確率を $10^{-12}/h$ 以下とするため) 場合に、計算結果として $10^{-19}/h$ が得られた例である。

(2) システムレベルの安全性評価について

こうしたコンポーネントレベルでの安全性が確保 (表 1 のリスク許容可能レベルを図 3 で定量的に評価) される見通しがあった後に、システムの安全性の評価を行う。

システムとしての安全性についてのリスク許容レベルは表 2 のように示される。

表 2 リスク評価と許容可能性レベル (システムレベル)

| ハザード発生頻度 | リスクレベル | | | |
|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| Frequent(頻繁に) | × | × | × | × |
| Probable(時々) | × | × | × | × |
| Occasional(たまに) | × | × | × | × |
| Remote(可能性) | △ | × | × | × |
| Improbable(ほとんどなし) | ○ | ○ | △ | △ |
| Incredible(ありえない) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | Insignificant 無意味 | Marginal 重要でない | Critical 重大な | Catastrophic 破局的な |
| | ハザードの帰結としての厳しさのレベル | | | |

システムの安全性としては、車群内衝突、隊列車両間衝

突、車線逸脱によるガード壁接触を重大事象として挙げ、これらの起こる確率が $10^{-12}/h$ 以下となるような設計を求めた。

コンポーネントレベルとシステムレベルで要求される許容可能レベルは異なっており、コンポーネントレベルでは、システムレベルに繋がる破局的、重大なリスクレベルは極力発生を抑える代わりに、無意味や重要でないリスクレベルの発生頻度は比較的緩く設定していることである。

これに対して、システムレベルでは無意味や重要でないリスクに対してもその発生頻度を制約している。これは、安全性確保の他に信頼性確保の要素も含まれるためである。

(3) 安全性評価試験について

このようなコンポーネントレベル、システムレベルの安全性評価に続いて、実際に車両を走行させて、その安全性を評価した。

ここでは、主に、FTA で得られた安全性解析の結果が正しいかを検証することを中心として、車両走行中に異常を発生させて、そのとき、車両が安全に停止する (FTA の結果通り) かを確認することを主眼として実施した。

① 車群内衝突に関する安全性

IMTS では、隊列走行は、駅間を $30km/h$ で走行中は車間距離 $15m$ を目標として走行し、駅部では車間距離 $4m$ で停止することを目標としている。従って、隊列走行内の車両の安全性については、異常事態が発生した場合に、各車両が衝突することなく停止することを確認することを中心として評価した。

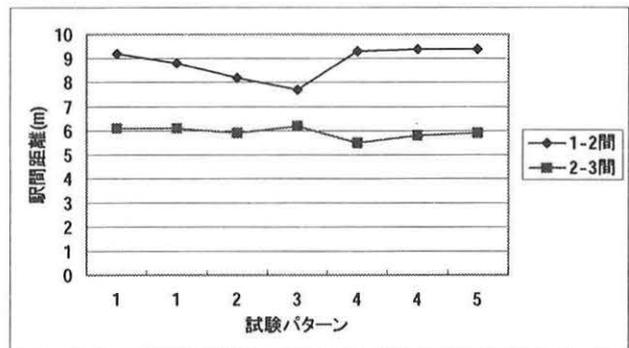


図 4 最悪故障時における、停止時車間距離

FTA では、4 重故障以上が発生して車群内衝突を起こす確率は $10^{-12}/h$ 以下となったが、3 重故障まで許容した場合、どのくらいの車間距離で停止できるかを確認したものである。

この結果から、3 重故障までの各種故障パターン (最悪事象を想定した) に対して、最低でも $5m$ の間隔で停止可能なことが示された。

② 車群間衝突に関する安全性

IMTS は隊列車群間の安全性は、地上に敷設したループコイルと車両との通信による閉そくで行うこととしているが、その安全性も同様に FTA で評価を行い、その結果を受けて、実際のループコイル、連動装置による異常時対応試験を実

施して行った。

さらに、IMTS は隊列車両の合流、分岐を自動で行うが、その場合の安全性も FTA で概略評価し、その結果、critical な事象については、実走行により確認した。その結果の概要を図 5 に示す。

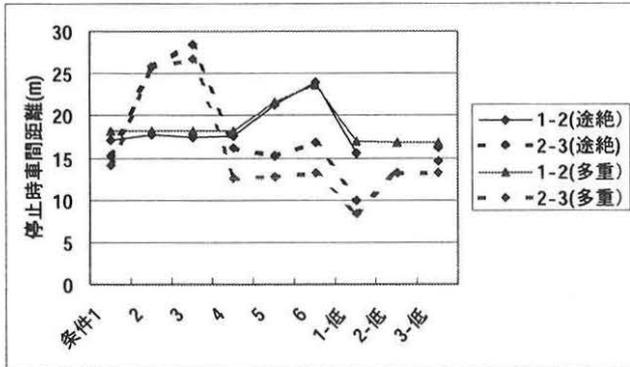


図 5 合流部における異常発生時の車間距離

3 重故障まで想定した最悪事象でも、合流時の各車間距離は 5m 以上を確保して安全に停止できることを確認した。

以上のように、安全性については、コンポーネントレベル、システムレベルでの FTA で、要求安全率（異常事象が起こる確率を、コンポーネントレベルで $10^{-13}/h$ 、システムレベルで $10^{-12}/h$ 以下とする）を満たすことを確認した後、critical な条件については、実際の車両を走行させてその安全性を確認するという手法で安全性評価を実施した。

3.2 IMTS の信頼性評価

IMTS の安全性は、FTA、試験により検証することを基本としたが、車上コンピュータを中心とした自動運転や無線による車間距離制御等従来の鉄道とは異なるシステム構成のため、システムの信頼性に関してもある程度検証しておく必要がある。IMTS については、これまでの走行実績からの評価と試験やシミュレーションによる評価を実施した。

(1) 実績による信頼性評価

IMTS は現在、淡路島ファームパーク内において会場内輸送システムとして稼働している。ここでのデータを基に信頼性を評価すると、車両の総走行時間が 10,000 時間を超えても営業時間中の故障発生は 0 件であり、運行停止に至っていない。また、営業開始前に発見された故障を考慮した時間故障率は $2.8 \times 10^{-4}/h$ であり、首都圏で運行されている列車の時間故障率と同程度であることより、運行の信頼性は十分高いと判断できる。

(2) 試験による信頼性評価

IMTS は無線を利用する車間距離制御、路車間通信を利用する閉そく制御を行うため、無線の信頼性を検証する必要があり、試験を実施して評価した。

① 路車間通信の信頼性

路車間通信機の送信出力（地上側）を低下させ、受信側（車上側）で信号増幅率を上げて送受信を行い、正常受信

回数、CRC エラー回数、照合不一致回数等を測定した。その結果、2,800 万回のデータに対し、CRC エラーは 1,500 万回あったが、照合不一致回数は 0 回であり、S/N 低下時においてもエラー未検出はないと判断された。

② 車車間通信の信頼性

車車間通信機の基本通信性能を車両の走行で確認したところ、100m 以内でのフレームエラー率 (FLR) は 10^{-6} 以下で仕様を満足しており、車車間通信が 200ms 以上途絶する事象（その場合、車両の走行は停止する）は 1 回もなかった。また、無線 LAN や Bluetooth を車内で動作させても 10^{-6} 以下の FLR を確保でき、車車間通信への影響はほぼ問題ないことが確認されたが、無線 LAN を駅部、車車間通信機の側で動作させると、若干 FLR が低下するが、車車間通信の遮断時間が 50ms 以下で実用上の問題はみられなかった。

信頼性に関しては、実システムでの稼働率を中心に評価したが、無線に関する信頼性については、今後も継続して検証していく必要がある。

4. おわりに

IMTS は、RAMS 適用の考え方を踏襲して、安全性評価試験、信頼性評価試験を実施し、十分な実用性があると判断され、2003 年 8 月に無軌条磁気誘導式交通システムとして鉄道事業法に含まれたシステムであり、2005 年 3 月から愛知県で開催される愛・地球博の会場内輸送として実用走行が開始される見通しである。

安全性については、コンポーネントレベル、システムレベルでのリスク分析を行い、最悪事象を想定して、許容される安全率が確保されるかを評価基準に置き、それらをクリアした後に、critical な事象については、実際の走行試験により、安全性を検証するという手法により、評価した。また、信頼性については、これまでの走行実績や個別試験、シミュレーション等を基に評価し、ある程度の検証は行ってきた。

こうした安全性、信頼性解析結果を反映して、会期期間中に十分な安全性、信頼性を有して運行されることを切に願う。

参考文献

(1)水間他「IMTS の安全性評価について」電子情報通信学会技術研究報告 ディペンダブルコンピューティング DC2003-89 2003.12