

⑬ シミュレーション技術と鉄道信号の安全

交通システム研究領域

※吉永 純 工藤 希

1. 研究の背景について

鉄道は地上・車上の膨大な部品群で構成された大きなシステムであるが、輸送力増、遅延防止等の利便性向上等を目指し信号システムのデジタル化等の技術革新も日々進められている現状である。

しかし開発された新システムの導入により安全性が低下することは許容されない。信号システムについては、既存のシステム以上の安全性があることを検証するために他産業同様、FTA (Fault Tree Analysis)、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) の両解析技法が一般的に使われ、加えて近年では 2002 年に発行された IEC62278 (RAMS 規格)、IEC62279 等の安全性解析手順を規定する国際規格及びこれらを引用する多くの近年制定又は改定された IEC 規格群の影響により、特に海外向けの鉄道製品についてはこれらに定められた手順への適合性、さらには子規格といえる EN50129 (Safety Case) に参考値として示されている安全率の具体的数値 (Safety Integrity Level) を満たしていることを示すために、多くの時間とコストをかける事例が多くなっている。これらの規格は、バランス良く安全性・信頼性・可用性等の要素を評価できる手法である反面、複雑なシステムほど検証作業工数・書類作成が膨大になる性質を有しているためである。

当研究所では、鉄道システム全体における RAMS 規格に沿った安全性・可用性等について簡易に評価する動的なシミュレーションを開発し、システム全体を定量的に評価する手法の開発を進めてきたところである。これらの成果を受け、現在、機器故障や人的なヒューマンエラーに起因する不具合が、システムへ影響を及ぼす影響等について、ボトムアップ的な数量的解析手法により検討する機能を有したシミュレータを今年度末に完成させる工事中である。本稿ではシミュレータの機能と役割について述べたい。

2. シミュレータの開発について

2. 1. 安全性評価シミュレータ概要

鉄道安全性評価シミュレータ (以下単に「シミュレータ」という。)は、主に 4 つの機能を有している。(1) は他列車が走行する中での自列車の手動運転機能であり、(2) は複合的な事故の多角的視点からの解析のための機能であり、いずれも本シミュレータの主要機能であるが、本稿では (3) (4) を中心に述べる。

- (1) 鉄道運転シミュレータ機能
- (2) 運転状況記録装置データによる状況再現機能
- (3) 安全性評価シミュレーション機能
- (4) 任意路線・信号保安装置作成機能

図 1 に、シミュレータの機能構成図をまとめる。

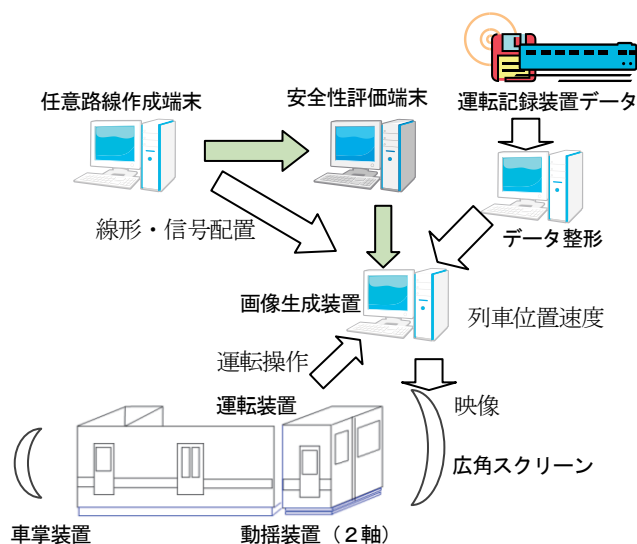


図 1 シミュレータ機能構成図

安全性評価シミュレーションは、図 1 のうち「評価端末」において実行される最大 100 倍速の高速シミュレーション機能である。評価対象とする路線形状は任意路線作成端末により作成した路線であり、機器・走行列車に、事前に設定した確率によりランダムに生じる故障を与えて、列車運行に与える影響を評価するものである。故障発生はログ記録され、必要によってはその状況を前後方映像による運転シミュレーション

として再生することが可能な設計として開発を行っている。

2. 2. 路線作成機能

運転教育用シミュレーションに使用する鉄道路線の場合、極めて高精度かつ風景映像まで含めた膨大なデジタルデータの作成が必要であり、そのためには大規模な工数が必要であった。本シミュレータにおいては映像の逼真性の必要が相対的に低いことから、駅ホーム、鉄道信号機、橋梁、周辺建物、踏切等の映像は事前に作成した標準データベース上のデータを組み合わせることで表現することにより、運転走行を十分に体験できる品質を維持しつつ、高度な画像処理等の専門技術を有しないユーザの能力でも、信号機の配置された線路上を走行できる路線を作成する機能を開発することとした。具体的には、ユーザ側での路線作成をしやすい以下の作成手順と入力インターフェースを設けることとした。

- (1)路線図形式での線路線形（曲線、カント、勾配）設定
- (2)路線図形式での鉄道建設物、路盤種類等の設定
- (3)路線図形式での分岐器番数、緩和曲線の設定
- (4)路線図又はキロ程により、表形式での軌道回路、信号機、信号機に付帯する地上子、各種標識類の配置設定（外部ファイルからのインポートも可能）
- (5)地上信号機及び分岐器の連動の表形式での設定
※連動図表における鎖錠、信号制御又はてっ査鎖錠に関する関連性により入力する
- (6)地上信号機動作の論理矛盾チェック及びプレビュー
- (7)線路周辺建物を配置（航空写真を利用する機能あり）

この機能では自由な路線作成に加え、実際の鉄道路線においては固定的となっている、たとえば軌道回路割（信号機配置の間隔）については列車のブレーキ距離等から理論的に決定されて変更が難しいものについて、車両性能向上に伴う変更や軌道回路分割のようなシミュレータ上でのデータ変更が容易に行うことができる。

2. 3. 故障シミュレーション機能

2. 2で作成した路線において、以下の設備故障及びヒューマンエラーを模擬した異常を確率的に発生させることにより、路線における信号装置の可用性、安全性についてシミュレーションを行う機能である。

列車運行は後述するダイヤ設定された列車を模擬しており、想定しえないような故障・異常が発生した場合の安全性も含めた長期間でのシミュレーションを行うことができる。

2. 3. 1 設備故障シミュレーション

故障が設定できるものとしては、信号機、連動装置、分岐器（転てつ機）に対して、故障種別と故障発生率をパラメータ設定する機能を開発している。

現状では、故障の結果以下の現象が発生するように機能を製作している。

- (1)常置式信号機の異常現示
- (2)保安装置（ATS）の異常動作（不作動、異常作動）
- (3)連動装置の異常動作（固着）
- (4)分岐器（転てつ機）の不転換、トングの不圧着

2. 3. 2 ヒューマンエラーシミュレーション

運転中の列車に対し、次の異常が確率的に発生する設計とした。異常状態の発生確率は、発生率の低い「通常」モードから高い「圧迫」モードに状態遷移（逆に確率的に低位モードにも推移）する過程をたどるように構成することで、異常の発生確率が単純化せずより現実的となるようにしている。異常発生の結果として、以下の現象が発生するように機能を製作している。

- (1)分岐器、曲線での速度超過
- (2)停車駅の誤認（駅進入速度の超過）
- (3)信号機の誤認（信号機指示速度の無視）
- (4)ブレーキタイミング遅れ（秒数は多段階）

2. 3. 3 列車ダイヤ設定

列車遅延時の影響波及防止に関する研究活用も考慮し、最大 16 本分の列車ダイヤを作成する機能を搭載することとし各列車に対して走行経路（発着番線）、運転時分、駅停車時分の設定と、自列車/他列車の設定を行う機能を開発することとしている。また、各列車に対しての各停車駅での乗降客の乗降時間を設定する機能を設け、各駅での乗降時間を設定可能とすることで停車駅での列車乗降時間の遅延による列車遅延を再現することとしている。

3. まとめ

開発中の鉄道安全性評価シミュレータの、安全性・可用性に関する動的な安全性評価シミュレーション機能に関してユーザ側が作成した路線上で動的な評価を行う機能について述べた。信号機の配置等の変更後の評価や、ヒューマンエラーや特異な異常状態時のシミュレーションまでを含めた動的な評価、さらには安全性を高める何らかの補助装置についての評価、といったことへの活用が可能であり安全性向上への一助になると考えている。

最後に、本シミュレータの研究目的へ多大な理解とご協力をいただいております関係皆様へ厚く御礼申し述べさせていただきます。