

## S7-1-6. 鉄道システム構成要素の故障率を反映させた 走行シミュレーション

[学] ○ 杉浦 章之, [正] 中村 英夫 (日本大学), [正] 山口 知宏, [正] 水間 毅 (交通安全環境研究所)

### The Simulation Reflecting Probability of Failure of Railroad System

Noriyuki Sugiura, Hideo Nakamura (Nihon University), Tomohiro Yamaguchi, Takeshi Mizuma  
(National Traffic Safety and Environment Laboratory)

The present railroad system is safe and reliable in Japan. On the other hand, new technology is introduced and there is also motion that a railroad system will be accelerated and developed more. Then, in order to build the railroad system which evaluated safety and reliability quantitatively and maintained balance, evaluation by the simulation is performed. This paper describes the outline of the simulator used for evaluation, and operation. From now on, the safety and reliability of a railroad system will be quantitatively evaluated using by this simulator. Moreover, evaluation through such a simulation agrees in an international standard, and it tries to be able to guarantee safety and reliability.

キーワード：鉄道, 安全性, 信頼性, シミュレーション  
Keywords: Railroad, Safety, Reliability, Simulation

#### 1. はじめに

現在の日本の鉄道は安全で信頼性が高いと、国際的にも高く評価されている。一方、新しい技術を導入して鉄道システムをより高速化、高度化していこうという動きもある。しかし、新技術を導入することで安全性、信頼性が損なわれる可能性もあり、それが新技術の導入に慎重な側面もある<sup>(1)</sup>。従って、安全性、信頼性を定量的に評価してバランスの取れた鉄道システムを構築することが重要である。そのための手法として、鉄道システムの構成要素をモデル化したシミュレータを作成して、列車走行シミュレーションによる安全性、信頼性の定量的検討を行う。

#### 2. 安全性の評価手法

##### (2・1) 静的評価法

新しい技術を鉄道システムに適用する場合、その技術の安全性、信頼性を実走行を通して検証することも重要であるが、鉄道システムに適用した際の安全性、信頼性を事前に検証しておくことも重要である。これは主に、設計段階、試作段階での評価であり、机上検討が中心となる。しかし、事前の検証としては重要であり、決して軽視してはならないが、基本的には個々の故障に対しての評価となるため、故障の同時発生や連鎖的な故障といった動的な評価は極めて困難である。

##### (2・2) 動的評価法

シミュレーションによる評価は動的評価法に分類される。個々の故障に対する検証は静的評価法で評価できるが、故障の同時発生や連鎖的な故障等、静的評価法では対応しきれない部分を動的評価法によって評価する必要がある。

本来ならば、試験走行を行い、それを評価するのが最も良いが、新技術を導入する際、試験走行は困難であることが多く、また数年に及ぶ長期的な試験は実質的に不可能である。そこで、シミュレーションによる評価が重要になってくる。

シミュレーションによる評価では、想定実用線区を可能な限り正確に模擬し、長期間の走行や様々な故障パターンに対する挙動を確認して、安全性、信頼性を評価する。ここでは、静的評価法では評価できなかった故障の同時発生や連鎖的な故障を、実際にシミュレーション上で列車を走行させながら発生させることができるため、より現実に近い結果を得られると考えられる。

新しい技術は日々進化しており、これらの技術を即座に評価できるシミュレータの開発と共に、そのシミュレータを用いた評価が重要になってくると思われる。

#### 3. シミュレータの概要

鉄道システムの個別構成要素を構成要素間の関係を含

めてモデル化し、個別構成要素に対する故障を、設定した確率に従って、または人為的に発生させることにより、列車走行がどのようになるかをシミュレーションする。

### 〈3・1〉 走行パターンについて

現状では、図1の線区を以下の3つのパターンで走行できるようになっている。

パターン1は、図2のように直進のみを行い、駅で一定時間停止後、走行を再開する。

パターン2は、図3のように各駅停車が駅で停車し、その後に急行が駅で各駅停車を抜いた後に、各駅停車が走行を再開する。

パターン3は、図4のように駅の手前で線を変更して駅に停車し、進行方向を変えて直進する。

この3パターンを図5に示す列車走行条件設定画面で設定して、シミュレーションを行う。

現状はこの3パターンのみであるが、将来的には実在の路線をシミュレーション可能にするための改良が必要である。

### 〈3・2〉 故障について

現仕様では、車両の故障やレールの物理的な破損等(レールの切断等)の故障は実装されておらず、地上装置の故障のみが対象となっている。具体的には、信号現示、接近鎖錠、進路鎖錠、転轍制御、転轍機、軌道反応などである。これらの1時間あたりの故障発生確率を図6に示すような故障条件設定画面で個々に設定する。

ここで設定した確率に応じて、故障が発生するわけであるが、現状では、1時間に1回のタイミングで故障するか否かが判断され、故障が発生する場合はそのタイミングで故障発生となる。従って、故障確率を上げて擬似的にシミュレーション速度を向上させた場合、それだけ故障発生間隔が広がり、詳細なデータを得ることができなくなる。つまり、仮に故障発生確率を1000倍に設定して、1000倍速としてシミュレーションを行った場合、故障が発生するタイミングは1000時間(約1ヶ月半)に1回となり、データの信頼性に問題がある。個別要素間の連鎖関係等をシミュレーションするためにも、この点にも改良が必要である。

故障が発生した場合、図7のようにシミュレーション画面の対応箇所の色が変わり、また、図8に示す走行状況表示画面に詳細な故障状況が表示される。図8における上側のグラフは速度推移を表している。

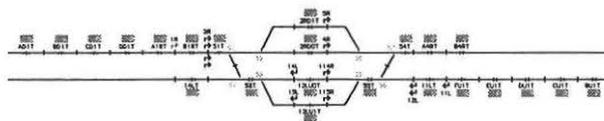


図1 走行線区

Fig. 1. Railroad Section

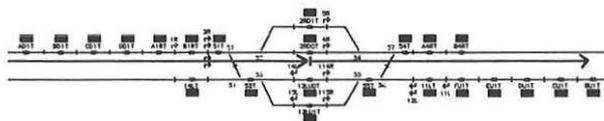


図2 パターン1

Fig. 2. Pattern 1

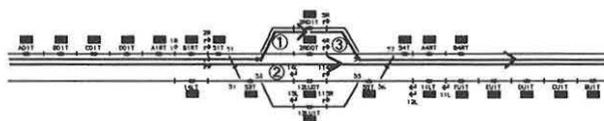


図3 パターン2

Fig. 3. Pattern 2

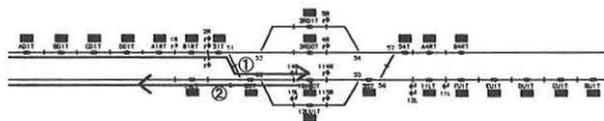


図4 パターン3

Fig. 4. Pattern 3

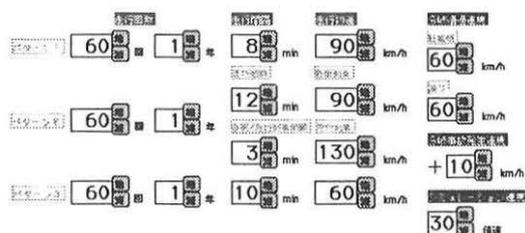


図5 列車走行条件設定画面

Fig. 5. Run Condition Setting Screen

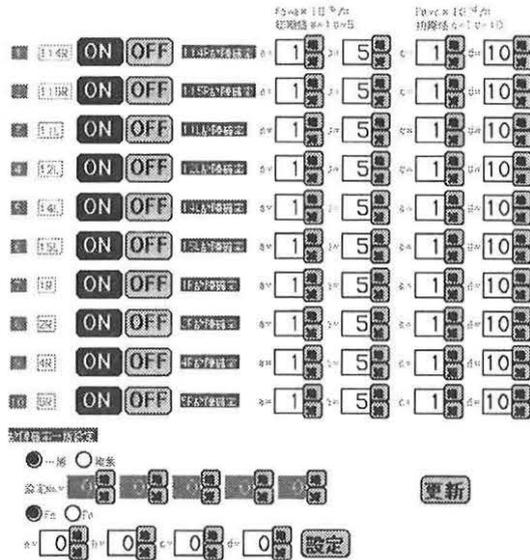


図 6 故障条件設定画面

Fig. 6. Failure Condition Setting Screen

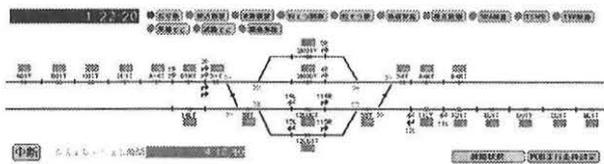


図 7 故障発生時のシミュレーション画面

Fig. 7. Simulation Screen when Failure Occurs

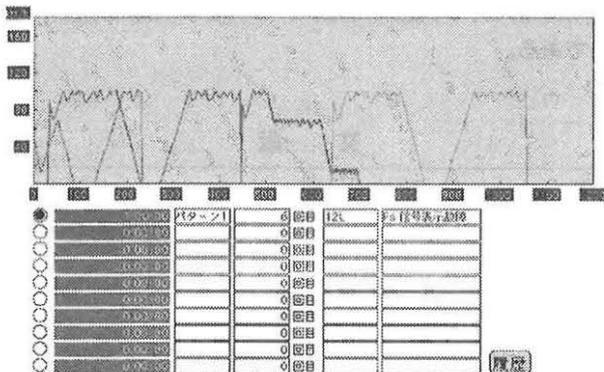


図 8 走行状況表示画面

Fig. 8. Run Situation Display Screen

#### 4. シミュレータの動作

本シミュレータの動作は、大きく分けて以下の2つの動作に分類できる。

##### 〈4・1〉 長期間シミュレーション

構成要素の故障発生確率を設定して長期間のシミュレーションを行い、確率的データを得る。現状のシステムや新技術導入の際の評価には、こちらの動作が基本となる。

まず、長期間シミュレーションにおいて、運転事故、重大事故の発生を確率的に評価する。そこで重大事故が発生した場合、後述の短期間シミュレーションにて詳細な解析を行う。

##### 〈4・2〉 短期間シミュレーション

構成要素の故障を人為的に発生させ、故障発生から事故に至る詳細な状況（設備の挙動や列車の速度変化等）など、短い時間内で発生する現象を詳細に解析する。

長期間シミュレーション中に起きた重大事故を再現して解析する場合や、あらかじめ定められたパターンに応じて故障を発生させて鉄道システムの挙動を確認する場合に利用する。

しかし、現状ではシミュレータが未完成であり、詳細な挙動が確認できないため、主に長期間シミュレーションによる評価を行っている。

#### 5. 長期間シミュレーションの一例

##### 〈5・1〉 シミュレーション条件

- シミュレーション時間は3年。
- 走行パターンはパターン1のみ。
- パターン1のみを走行する際に不要な要素の故障は考えないものとする。すなわち、パターン1上の軌道反応と信号現示以外の故障は無視する。
- 故障発生確率を $1 \times 10^{-5}/h$ と1桁下げた $1 \times 10^{-6}/h$ の2パターンのシミュレーションとする。
- シミュレーション速度を上げるため、故障発生確率を上記の1000倍とし、シミュレーション期間を3/1000年として、擬似的な3年間のシミュレーションとして扱う。

##### 〈5・2〉 シミュレーション結果

発生した故障の件数を表1に示す。また、故障発生確率 $1 \times 10^{-5}/h$ の故障発生の内約を表2に示す。故障発生確率 $1 \times 10^{-6}/h$ としたときの故障は、0時間（0日目）に軌道反応（CU1T）の故障が発生したのみで、その後3年間は故障が発生しなかった。

表 1 故障発生件数

Table 1. The Number of Failure Generating

故障発生 確率	信号現示 故障件数	軌道反応 故障件数	合計故障 発生件数	システム 故障率
$1 \times 10^{-5}/h$	4	10	14	$5.4 \times 10^{-4}/h$
$1 \times 10^{-6}/h$	0	1	1	$3.8 \times 10^{-5}/h$

表 2 故障発生データ内約

Table 2. Contents of Failure Generating

a [時間]	b [日]	c
4	167	軌道反応 (55T)
6	250	軌道反応 (AD1T)
11	458	信号現示 (12L)
14	583	信号現示 (4R)
14	583	軌道反応 (55T)
18	750	軌道反応 (FU1T)
19	792	信号現示 (12L)
19	792	軌道反応 (51T)
20	833	軌道反応 (51T)
24	1000	軌道反応 (51T)
24	1000	軌道反応 (A1RT)
24	1000	信号現示 (2R)
25	1042	軌道反応 (BU1T)
26	1083	軌道反応 (EU1T)

a: シミュレータ上での故障発生時間

b: a を 1000 倍 (意図したシミュレーション速度) に換算した際の故障発生日

c: 故障の内約

本シミュレーションでは、条件で述べた設定確率で故障が発生する箇所が 27 箇所ある。そのため、システム故障率は計算上ではそれぞれ  $2.7 \times 10^{-4}/h$ 、 $2.7 \times 10^{-5}/h$  となる。表 1 と比較してみると、2 倍以内には収まっている。 $10^{-4}$  程度の低確率のオーダーの場合、この程度の差は誤差として捉えられる。従って、概ね設定どおりの確率で故障が発生しているといえる。なお、システム故障率は故障発生数を全走行時間で除算したものである。

今回は、全ての要素において故障発生確率を一定としたが、実際には様々な要因を考慮して個々に故障発生確率を設定することになる。

また、これらの故障発生時に全て列車は停止したため安全側の故障である。今回のシミュレーションでは、危険側、つまり Fail out 側の故障は発生しなかった。Fail out 側の故障発生確率は、一律で Fail safe 側よりも 3 桁低く設定してシミュレーションを行った。そもそも、各要素が単体で Fail out 故障を起こす確率は非常に低く、要素間の連鎖関係等がまだ未実装である本シミュレータでは、Fail out 側の故障が発生する確率は極めて低い。動的評価法の主目的として、故障の同時発生や連鎖的な故障の発生による Fail out 側故障の確認が挙げられる。そのため、現段階においては、Fail out 側故障に対応したシミュレータであるとは言い難い。とはいえ、要素間の関係等を含めても Fail out 側故障は起こってはならないものであり、対策も相応に取られている。要素間の関係が完全に再現されたとしても、Fail out 側故障が頻繁に発生するようなことはないと考えられる。Fail out 側故障については、様々な条件下で主に短期間シミュレーションにて検証していく予定である。

## 6. おわりに

現在、日本では鉄道システムの安全性について、具体的な基準は定められておらず、解釈基準で安全性を示している。一方、ヨーロッパでは安全に対する許容リスクを数値で示しており、日本の鉄道に外国の新技术を導入していく動きと共に、日本の鉄道の安全性を国際規格に準拠させていこうという動きもある。また、外国の新技术への公正な評価のためにも、国際規格に準拠した数値による評価が必要になってくると思われる。

今後、このシミュレータを用いて、鉄道システムの安全性、信頼性を定量的に評価していく。また、このようなシミュレーションを通じた評価が国際基準に合致し、安全性、信頼性を保証できるように努める。しかし、本シミュレータは、現状ではまだ開発段階であり、機能の未実装、仕様上の問題点、バグなどがあり、残念ながら実用に耐え得る状態ではない。これらの問題の解決が急務である。

## 文 献

- (1) 水間、山口、佐藤、大野:「鉄道システムにおける安全性の定量的評価法」、平成 15 年度交通安全環境研究所 研究発表会 (2003)