

輸送・情報分野におけるシミュレーション技術の活用

平栗 滋人*

Applications of Simulation Technologies in Transport Information Field

Shigeto HIRAGURI

This paper outlines the applications of simulation technologies to train operation and signalling systems. It describes the backgrounds and the development of simulators in each field. It also describes the difficulties of conventional simulators and the recent development aiming at resolving them. The new simulator can reflect the interaction between the passenger behavior, the train movement and the conditions of signalling systems, to obtain more precise simulation results. Finally, it shows a combination technology between the new simulator and the communication network simulator for the radio-based train control system, and its application in the future.

キーワード：シミュレーション，性能評価，輸送計画，列車ダイヤ，信号システム

1. はじめに

鉄道の輸送サービスにおいては、利用者にとって利便性が高く、かつダイヤ乱れなどの発生時にもできるだけ混乱を少なくできることが求められる。このためには、列車ダイヤに代表される輸送計画の作成や、状況に応じた運転整理が適切に行われることなどが重要である。また、閉そく区間長や保安制御の速度パターンなど信号システムの設計も、ダイヤ作成の制約条件の一つとなる最小運転時隔や、ダイヤ乱れからの回復性能に影響する。

輸送計画や運転整理の方針、信号システムの設計が、上述のような観点からどの程度妥当であるかの検討、評価は事前にできることが望ましい。このためには、多数の列車や旅客の動きを考慮する必要がある。しかし、これらを実際の車両や設備を使用した試験によって行うことは現実的に不可能である。したがって、輸送計画や信号設備を事前に評価するためには、シミュレーションが有効かつ不可欠な手段である。鉄道総研でも目的に応じて幾つかのシミュレータの開発に取り組んできた。本稿では、列車運行に関する評価を主目的とするシミュレーション技術の活用について、これまでの取り組みの概要と今後の方向性について述べる。

2. シミュレーション開発と利用の概要

2.1 列車運行・旅客行動シミュレータ

従来、列車ダイヤの評価は実際にダイヤが施行された後に、乗車人員報告（ノリホ）や運行管理装置などに記

録される運行実績時刻などを利用して行われている。この場合、ダイヤの評価から、改正が実際に行われるまでには概ね1年程度の期間待たなければならない。また、従来のデータは列車ごとに集計されたものであり、個々の旅客が経験する乗換えや混雑の程度などを反映したものではない。さらに、鉄道事業者にとっては、旅客の集中による乗降時間の増大とそれによる列車遅延は避けたい事象である。このような観点からダイヤの評価を行うために、列車の運行や混雑状況に応じて、個々の旅客がどのような行動をとるかを推定できる「列車運行・旅客行動シミュレータ」^{1) 2)}を開発した。

本シミュレータにおける処理の流れを図1に示す。自動改札機などから得られるODデータ、列車ダイヤデータを入力として、旅客の乗車列車の選択、乗換え、列車内での乗車位置などの推定を行う。列車については、ダイヤを参照して運行を模擬し、駅における旅客の乗降人数や時間を推定する。ここで、乗降時間に応じて列車を遅延させ、その結果に応じて旅客の行動を推定する。このように、個々の旅客の行動と列車運行を相互に関連付けることで、旅客の集中による列車遅延、遅延による更なる旅客の集中という、「増延」と呼ばれる現象を表現することが可能になっている。

出力画面の例を図2に示す。このように、列車の運行状況のほかに、旅客が経験すると推定される待ち時間や混雑度合いなど、旅客の利便性の視点からの評価も可能である。

本シミュレータは、鉄道事業者におけるダイヤ改正の事前検討などに利用されているほか、運転整理案の評価手法の研究開発^{3) 4)}や3.1で述べる、より精緻な評価を行うための基本ツールとして活用している。

* 信号・情報技術研究部 部長

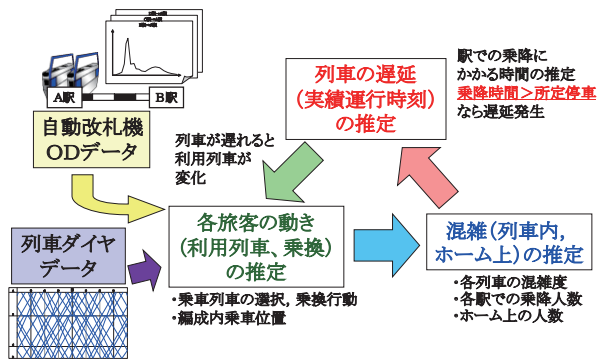


図1 列車運行・旅客行動シミュレータの構成

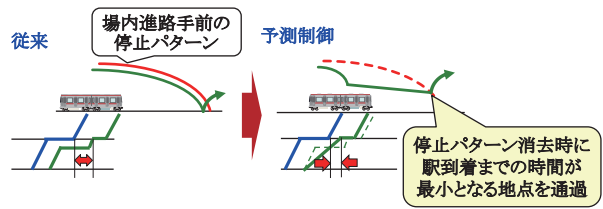
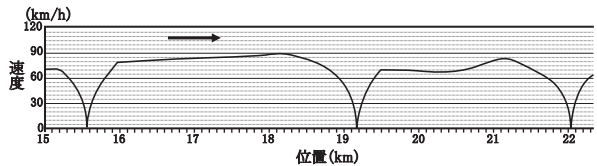


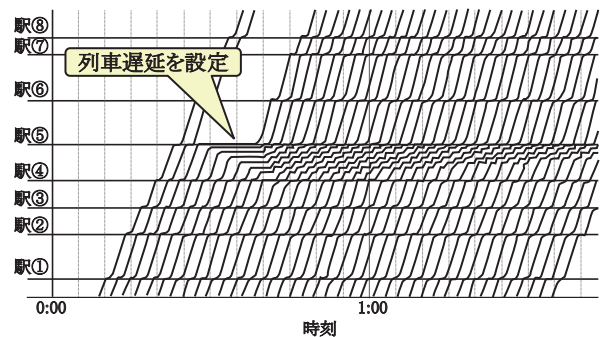
図3 予測制御の概念



(a) 実績運転曲線



図2 列車運行・旅客行動シミュレータの出力例



(b) 実績走行軌跡

図4 信号設備評価シミュレータの出力例

の走行状態を詳細に計算することで、運転曲線レベルで模擬できる。

本シミュレータは開発後、改良を加えたものが鉄道事業者における信号設備の改良効果の検討などに利用されたほか、図3に示す予測制御⁷⁾など新しい列車制御方式の研究開発のツールとして活用された。結果の出力例を図4に示す。

2.2 信号設備の評価シミュレーション

信号設備は列車運行の安全確保が第一の使命であるが、効率的な運行と言う観点からは、制約条件の一つとなる場合がある。例えば、閉そく区間長を短くして、信号現示を3現示から5現示にした方が、一般的には最小運転時隔を短くすることができる。1990年代に国内外で、いわゆる移動閉そくを実現する無線式列車制御システムなどの研究開発が活発化した時期に、信号システムの改良や置換えによる高密度運転の実現が注目され、文献5) などのような様々な検討が行われた。

この時期に、鉄道総研では運動装置の制御論理や転てつ器の転換時間なども含む信号設備の条件にしたがって、列車群の走行を模擬する「UTRAS (Universal Train Simulator)」と呼ぶシミュレータを開発している⁶⁾。本シミュレータの機能は、列車群走行シミュレーションと最小運転時隔の算出機能に大別される。信号設備については、地上信号方式を始め、ATCや無線式列車制御システムにも対応可能である。列車走行については、駅間

2.3 従来の課題

これまでに述べたように、それぞれの目的に応じたシミュレータを開発し、鉄道事業者における検討や鉄道総研での研究開発に活用されている。しかし、2.1で述べたような輸送計画や運転整理手法の評価への利用を主目的とするシミュレータにおいては、駅間の列車走行については、駅の着発時刻レベルで推定を行っており、2.2で述べたような駅間での詳細な列車の動きまでは反映されていない。一方、2.2で述べたような、信号設備の評価を主目的とする場合は、旅客の動きまでは反映していないため、駅の停車時間については固定値を使用するか、あるいは事前に設定しておいた列車遅延時の値を部分的に使用するなどしていた。

それぞれの基本的な性能を評価する場合には、このよ

うなシミュレーションでも十分である。しかし、より精緻な評価や、列車運行に要するエネルギーなども含めた評価を行う場合には、信号設備の条件を考慮した列車運行と旅客行動の双方を考慮することが必要である。また、先述の予測制御など、高密度運転を想定した柔軟な制御を目的とする列車制御方式の検討においては、旅客の行動も考慮して駅の停車時間をできるだけ正確に推定する必要がある。

3. シミュレーションの高度化と活用

3.1 運転曲線レベルでの列車運行シミュレーション

近年、輸送計画に対する要求は定時性のほか、経済性、省エネルギー性など多様化しており、その評価に際しては、これらの観点から行う必要が高まるものと想定される。都市圏の高密度線区では、特に朝ラッシュ時などに、列車や駅の混雑によって小規模な遅延が発生しやすい状況にある。このような場合、列車は信号の影響を受けて減速せざるを得なくなることがしばしば発生し、通常の運転曲線通りの走行ができないことも考慮する必要がある。そこで、2.1で述べた、「列車運行・旅客行動シミュレータ」をベースとして、信号設備条件も考慮して駅間の走行状態を精緻に模擬し、密接に関連し合う、旅客行動、列車混雑、列車走行などの相互作用を反映できるシミュレータを開発した^{8) 9)}。

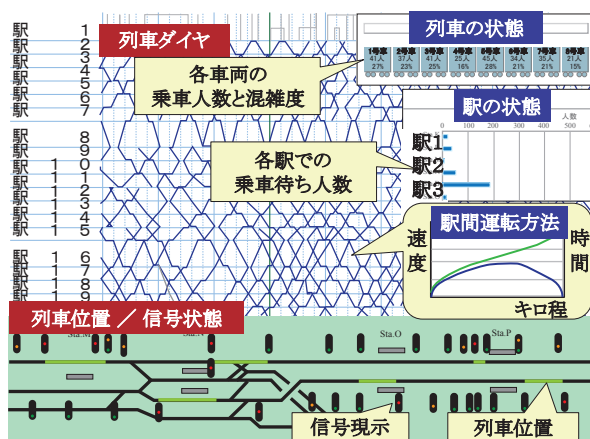
本シミュレータは旅客の行動に加えて、信号条件などを考慮した駅間走行、旅客集中による出発遅延、列車ごとの力行時の消費電力量などを推定する機能を持つ。この結果として、図5に示すように旅客利便性、鉄道事業者の経営、社会に対する影響の観点で、運行計画を評価することができる。

本シミュレータには、回生電力を含めた消費電力量のより正確な計算や様々な信号設備への対応など、さらなる改良・機能向上の必要がある。しかし、2.3で述べた課題を解決するものであり、今後、活用の機会がさらに増えるものと考えている。

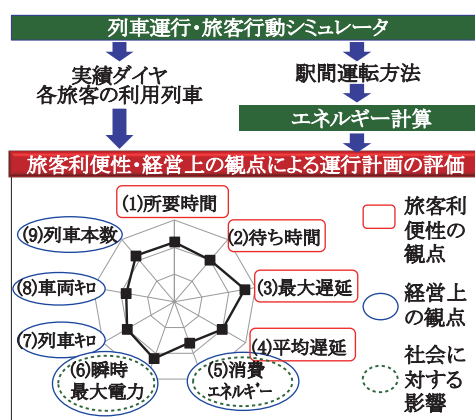
なお、本研究開発は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

3.2 無線式列車制御システムへの対応

近年、ATACS¹⁰⁾などの無線式列車制御システムが実用化され、今後の導入拡大も想定される。これらのシステムでは、無線通信の途絶などの異常発生時には、列車を停止させるなどの安全側の制御を行うことが一般的である。また、列車は沿線に設置した無線基地局との間で通信を行うが、時分割方式の多重伝送を行うような場合、あるエリアをカバーする無線基地局と通信できる列車数に上限がある。したがって、大規模駅などではダイヤ乱



(a) シミュレーション結果の表示



(b) 多様な観点からの評価

図5 運転曲線レベルでの列車運行シミュレーション

れ時などに、列車運行に影響が生ずる可能性がある。

鉄道総研では、効率的な無線回線設計を支援するシミュレータ¹¹⁾をベースとして、地上のネットワークも含めて、無線式列車制御システムの通信性能を評価するシミュレーションシステムを開発した¹²⁾。これと3.1で述べたシミュレータを連携させることによって、列車運行への影響を考慮した上で、無線式列車制御システムの基地局配置などの設計にも活用できると考えている。

4. 今後の展開

3.1で述べたシミュレータの開発によって、本来は密接に関係しているが、従来はできなかった旅客行動、列車混雑、列車走行の相互作用を反映したシミュレーションが可能となった。現在、図6に示すように、無線式列車制御システム用の通信ネットワークシミュレータとの連携のほか、き電システムや詳細な車両性能を反映できる機能の開発に着手している。これによって、システム設計が列車運行に及ぼす影響や、逆に想定する列車運行を実施するために必要なシステム要件を導出するような活用法も想定している。また、消費電力量をより高精度

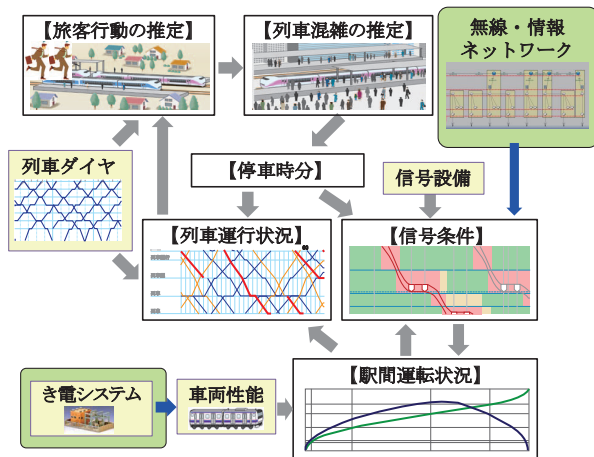


図6 シミュレーションの今後の展開

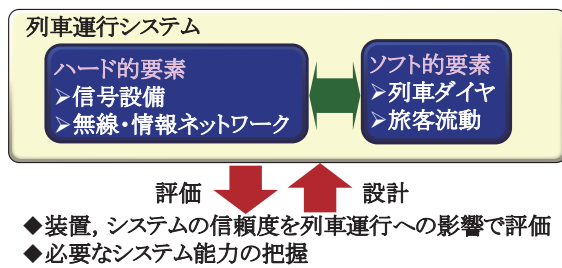


図7 シミュレーションの新たな活用例

に推定、評価することも期待できる。

一方、従来は信号設備のRAMS¹³⁾に関する性能、特に安全性(S)と並んで主要な指標であるアベイラビリティ(A)の評価については、機器自体の故障率などをベースとする評価に留まっていた。しかし、これを機器の故障の結果として、最終的に列車運行の利便性に及ぼす影響を指標として評価することで、線区規模や列車の運行形態に応じて、システムを構成する機器に対して要求される信頼度を示すことが期待される^{13) 14)}。図7に概念を示したこのような評価を行う上でも、本稿で述べたシミュレーション技術は有効なツールになるものと考えている。

5. おわりに

列車の運行に関する評価に活用するシミュレーション技術の開発概況と活用に関する展望について述べた。

シミュレーションについては、高精度、高機能であればよい訳ではなく、目的に応じて適切に選択、使用することが必要である。今後も様々な要求に応えられるツールとしての整備を図るとともに、これらの活用により、

鉄道の利便性や安全性に貢献する新たな提案を行っていききたい。

文献

- 1) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: 列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.4, pp.5-10, 2007
- 2) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による列車ダイヤ評価手法, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.130, No.4, pp.459-467, 2010
- 3) 山内香奈, 平井力: ダイヤ乱れ時の利用者不満モデルに基づく運転整理案評価手法, Vol.25, No.12, 2011
- 4) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による運転整理案評価手法, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.133, No.7, pp.756-764, 2013
- 5) 高密度運転調査専門委員会: 列車の高密度運転システム, 電気学会技術研究報告, No.415, 1992
- 6) 平尾裕司, 長谷川豊, 稲毛弘苗, 平栗滋人: 列車制御シミュレータUTRASの開発と信号方式の評価, 鉄道総研報告, Vol.9, No.1, pp.55-60, 1995
- 7) 平栗滋人, 富井規雄, 長谷伸一: 予測制御による列車制御方式, 鉄道総研報告, Vol.17, No.6, pp.29-34, 2003
- 8) 武内陽子, 坂口隆, 熊澤一将, 國松武俊, 佐藤圭介: 運転曲線レベルで再現可能な列車運行シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp.41-46, 2014
- 9) 武内陽子, 坂口隆, 熊澤一将, 國松武俊, 佐藤圭介: 高機能な列車運行・旅客行動シミュレータの開発と列車運行の多面的評価, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.135, No.4, pp.411-419, 2015
- 10) 武内浩一: 無線による列車制御システム(ATACS), 鉄道と電気技術, Vol.17, No.4, pp.24-27, 2006
- 11) 川崎邦弘, 関清隆: 鉄道向け無線データ回線シミュレータの開発, 鉄道総研報告, Vol.28, No.4, pp.23-28, 2014
- 12) 菅原宏之, 北野隆康, 川崎邦弘: 無線式列車制御用通信ネットワークの性能評価システム, 鉄道総研報告, Vol.28, No.11, pp.31-36, 2014
- 13) 平栗滋人: RAMS指標に基づいた鉄道信号システムの構成法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.11-16, 2009
- 14) 岩田浩司, 平栗滋人, 渡辺郁夫: アベイラビリティを観点とした鉄道信号設備の評価法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.5-10, 2009