ミクロモデルとマクロモデルによる 列車運行シミュレーションの結合

非会員 明日香 昌 (三菱電機)

正員 駒谷 喜代俊 (三菱電機)

A Combined Approach of Microscopic and Macroscopic Simulation for Rail Traffic

Masashi Asuka, Non-member, Kiyotoshi Komaya, Member (Mitsubishi Electric Corp.)

This paper presents a combined approach of rail traffic simulation using suitable models both microscopic and macroscopic. In rail traffic, the train motions do not directly depend on the preceding train motions like road traffic, but only depend on the code speed in the block section belonging at the present time. Using the history of the code speed in each block section, the simulation of each train running between stations can be performed independently. Based on this fact, we have formed a new microscopic model and proposed a combined approach applying the macroscopic model to normal train runs and the microscopic one to others. Our combined approach makes it possible to get quick responses of macroscopic simulation and detailed results of microscopic one.

キーワード：鉄道、シミュレーション、ミクロモデル、マクロモデル、信号保安制御、進路制御

1. まえがき

鉄道システムの計画・制御ではあらかじめ列車運行を正確に知ることが必要である。安全面での検証のためには実物を使って実験を行うことも可能であるが、計画・制御のためには多様な条件の下で繰り返して試行できる計算機シミュレーションが多用されている^{(1),(2)}。列車運行は実システムのモデル化が比較的容易であることから、列車の力学的な走行はもとより、信号保安系や運行管理系を含めたシステムの挙動を忠実に模擬できる。

さて、列車運行シミュレーションではミクロモデルとマクロモデルが使われる。ミクロモデルでは車両の加減速性能や線路の勾配、曲率などをもとにした運動方程式により列車の走行を力学的に表現する^{(3)~(5)}。そして、この方程式から区間内の全列車の位置と速度を例えば1秒といった微小時間間隔で逐次計算して、システムの状態を一斉に遷移させることによりシミュレーションを実施する。これは現実には忠実なモデル化が可能であり、車両機器や地上設備の設計から列車の運転曲線（列車の駅間走行をあらわす曲線）や運転間隔（これを時隔と呼ぶ）の計算までの幅広い用途に適用されている。しかし、精密なモデルを取り扱うため、多数の列車を対象としたシミュレーションでは膨大な処理時間を必要とすることが使用上の制約となっている。一方、マクロモデルでは列車の動きを駅での到着および出発という2種類のイベントで離散的に表現する⁽⁶⁾。そして、時間の進行に従って実行可能なイベントを順次処理

して、システムの状態を現実と同じ順序で遷移させることによりシミュレーションを実施する。これは駅間走行時間や時隔に一定の仮定をおくことにより列車の走行を近似したモデルであり、駅での着発時刻を短時間で計算できる。このため、ダイヤ作成⁽⁷⁾およびダイヤ乱れ時の計画ダイヤへの復旧制御（これを運転整理と呼ぶ）⁽⁸⁾などの用途に適用されている。しかし、当然のことながら列車が駅間で停止したり、徐行運転をする場合には適用できない。

このように、ミクロモデルは高い精度が要求される用途に、マクロモデルは応答性が要求される用途にと、個別に使い分けられてきた。しかし、列車運行の高密度化および車両性能の多様化⁽⁹⁾に対応して、シミュレーションの高精度化と処理時間の短縮という相反する要求の両立が望まれるようになってきた。その解決策として、一連のシミュレーションの中で2つのモデルを併用し、ミクロシミュレーションとマクロシミュレーションを結合することが考えられる。すなわち、高い精度が要求される場合でも、かならずしも対象区間内の全列車をミクロモデルでシミュレーションする必要はなく、先行列車や進路開通待ちによる速度制限を受けずに走行（これを標準走行と呼ぶ）できる列車と駅間についてはマクロモデルを適用し、それ以外の場合のみにミクロモデルを適用すればよい。

本論文では、従来のミクロモデルの構成を見直して、新たに自律型ミクロモデルを開発し、ミクロシミュレーションとマクロシミュレーションを結合できるようにしたので報告する。まず、列車の走行は直接的には信号現示によっ

のみ影響を受ける点と、駅間での走行をつなぎ合わせることができる点に大きな特徴がある。こうした列車運行に特有な性質を利用して、自律型マイクロモデルでは列車走行および進路設定に基づく信号現示速度の時間的な遷移情報を作成することにより、列車単位および駅間単位のシミュレーションを相互に依存しない形で実施できるようにした。そして、基本的にはマクロシミュレーションを実施し、イベントの処理可能性から判断して標準走行が不可能な列車および駅間のみを対象として、信号遷移情報から位置と時刻に対する信号現示速度を求めてマイクロシミュレーションを実施する。このように、列車と駅間を指定してマイクロシミュレーションを実施することができるので、状況に応じて2つのシミュレーションを使い分けることにより、必要な精度の確保と処理時間の短縮が可能になる。

本論文では、2章、3章で従来のマイクロモデルとマクロモデルについて述べる。第4章では新たに提案する自律型マイクロモデルによるマイクロシミュレーションとマクロシミュレーションの結合方法について述べる。第5章では提案した自律型マイクロモデルと従来のモデルを比較し、その有用性を示す。

2. ミクロモデル

列車運行のマイクロモデルは図1に示すように列車走行、信号現示、進路制御の3つのモデルから構成される。これらはさまざまなレベルの詳細さでモデル化できるが、一般には以下のようにまとめられる⁽⁴⁾。

列車走行モデルは次の運動方程式により列車の力学的な運動を模擬し、走行状態として列車の位置と速度をもつ。

$$\dot{x} = v \quad (1)$$

$$\dot{v} = (f_1 - f_2 - f_3 - f_4)/W \quad (2)$$

ここで、 x と v はそれぞれ列車の位置と速度である。 f_1 は引張りあるいは制動力で、運転操作に応じて車両条件から求められる。 f_2 は走行抵抗で列車の重量と速度から算出する実用的な近似式が知られている。 f_3 と f_4 はそれぞれ勾配抵抗と曲線抵抗で、線路の勾配と曲率をまとめた路線条件から求められる。さいごに、 W は列車重量で車両の空車重量および車内乗客数から算出されるが、定数として車両条件に含めることも多い。

次に、列車は運転士が行う加速や減速などの運転操作に応じて走行する。列車の運転には様々な規則が設けられているが、運転士は信号現示速度を遵守して運転することが基本である。ただし、例えば安全面からポイントやカーブの通過速度を制限するために、特定の地点で最高速度が制限される場合がある。また、例えば駅での定位置停止のように、特定の地点に停車させるために、列車の位置と速度に応じて運転操作が規定される。こうした運転操作を模擬するために、目標速度に対して列車の位置と速度から決定される運転操作をまとめた運転規則を用意する。そして、

図1 従来型マイクロモデルの構成

Fig. 1. Schematic structure of the conventional microscopic model.

列車走行モデルは信号現示速度および地点対応の速度制限に基づいて目標速度を設定し、現在時刻での位置と速度から運転操作を決定する。なお、特定の地点での速度制限は変更できない路線特性として路線条件に含める。

以上に述べた列車走行モデルにより、1本の列車が自由に走行する状況は模擬できる。しかし、列車運行を表現するためには、さらに信号現示と進路制御をモデル化する必要がある。これらは鉄道固有の機能で、シミュレーションモデルにも特色が強く出る分野である。

まず、信号現示は閉そく区間と対応づけてモデル化される。鉄道システムでは線路を多数の区間（これを閉そく区間と呼ぶ）に分割し、1つの閉そく区間には1本の列車しか進入させない。このため、列車が閉そく区間に進入するたびに、後続列車が追突せずに安全に停止できるように、信号条件に基づいて後続する複数の閉そく区間で信号現示速度が設定される。同様に、自列車の進路が開通するまでは進路内に進入できないように信号現示速度が設定される。さらに、進路が開通すると進路内に他の列車を進入させないように信号現示速度が設定され、この状態は列車が進路を通過し終るまで継続する。そこで、信号現示モデルは列車位置および進路状態に基づく信号現示速度の変化を模擬し、信号状態としては各閉そく区間の信号現示速度をもつ。具体的には、列車走行モデルと進路制御モデルからそれぞれ現在時刻での列車位置と進路状態を受け取って、各閉そく区間の信号現示速度を更新する。そして、新たに設定された信号現示速度が列車走行モデルで参照される。

一方、進路制御モデルは列車が到着あるいは出発する際の進路設定を模擬し、進路状態としては各駅でどの進路が設定されているかをもつ。具体的には、列車走行モデルから現在時刻での列車位置を受け取って、計画ダイヤと照合して適正な進路を設定する。さらに、進路が設定されたことは信号現示モデルに伝えられ、信号条件に基づいて関係する閉そく区間の信号現示速度が設定される。このとき、進路を設定するための条件、および設定を要求するタイミングを実システムに合わせて模擬する必要がある。ここ

で、進路設定条件としては、すでに設定済の進路との支障がもっとも重要な条件である。また、設定要求のタイミングとしては到着については特定の地点通過、出発については出発可能時刻の一定時分前とすることが多い。

このようにマイクロモデルでは列車走行、信号現示、進路制御の3つのモデルが時間の進行に従って、それぞれの状態を一斉に遷移させることによってシミュレーションが行われる。したがって、マイクロモデルは列車走行だけでなく信号や進路の状態も含めたシミュレーションが可能で、時間間隔を細かくすれば、列車運行を高い精度で予測できる。しかし、列車本数や路線規模が大きくなると、膨大な処理時間を必要とする。

3. マクロモデル

マクロモデルでは駅での到着および出発という2種類のイベントによって列車運行を表現する。イベントが発生すると、列車の状態は走行中から停車中へ、あるいは停車中から走行中へと離散的に変化する。一方、駅では番線在線中と空き状態が交互に繰り返される。そして、イベントは一般には表1に示した運転条件と計画ダイヤに基づいて処理される⁽⁶⁾。

表1 運転条件と計画ダイヤ
Table 1. Conditions for train movements and train diagram.

	運転条件	計画ダイヤ
列車	駅間最小走行時間	各駅着発時刻
	各駅最小停車時間	各駅使用番線 車両運用
駅	最小進入、進出時隔	到着順序 出発順序
	最小折返し時間	
	駅間最大許容列車本数	

ここで、駅の運転条件にある最小進入、進出時隔は列車が信号現示によって減速させられることなく走行できる最小の運転間隔である。最小進入時隔は先行列車と自列車の到着時刻の間隔を、最小進出時隔は同様に出発時刻の間隔を示し、各駅ごとに計算される。次に、駅間最大許容列車本数は1閉そく区間には1列車しか進入させないことから発生する運転条件である。これは同時に駅間を走行できる列車本数が駅間の閉そく区間数以下になることを示し、この数よりも多くの列車が出発する場合はその出発時刻が制約を受ける。

さて、マクロモデルによるシミュレーションでは、図2に示すように、次に発生するイベントを列車の運転条件と計画ダイヤから計算した発生予定時刻の順にイベントテーブルに登録し、その先頭イベントから順番に取り出して処理していく。取り出されたイベントはまず駅の状態および

運転条件と計画ダイヤから、発生予定時刻に処理可能かどうか判定される。処理可能ならば、イベントを処理して列車と駅の状態を更新するとともに、次のイベントを発生させ、その発生予定時刻を計算してイベントテーブルに登録する。また、処理可能でないならば、発生予定時刻を計算しなおして、イベントテーブルに再登録する。

着イベントの処理では、列車を停車中に、駅を番線在線中に状態更新する。そして、当該駅からの発イベントを発生予定時刻とともにイベントテーブルに登録する。当該駅の到着時刻は以下の手順で求められる。まず、着イベントの発生予定時刻には、後方駅の出発時刻に駅間最小走行時間を加えた到着可能時刻と、計画ダイヤ上の到着時刻の遅い方が登録されている。そして、先頭イベントとなると、当該駅の番線使用状態および到着順序を照合したうえで、最小進入時隔から駅での設備使用可能時刻を計算し、これと発生予定時刻の遅い方を到着時刻とする。

次に、発イベントの処理では、列車を走行中に、駅の番線を空き状態に更新する。そして、前方駅への着イベントを発生予定時刻とともにイベントテーブルに登録する。当該駅の出発時刻は以下の手順で求められる。まず、発イベントの発生予定時刻には、当該駅での到着時刻に各駅最小停車時間を加えた出発可能時刻と、計画ダイヤ上の出発時刻の遅い方が登録されている。そして、先頭イベントとなると、当該駅の出発順序を照合したうえで、最小進出時隔および駅間最大許容列車本数から駅間の設備使用可能時刻を計算し、これと発生予定時刻の遅い方を出発時刻とする。

なお、以上では着発イベントの処理について述べたが、列車の始発駅と終着駅では車両運用をもとにした特殊な処理が必要である。例えば、駅の着発線で折返して始発する列車の発イベント処理では、前運用列車の到着時刻に最小

図2 マクロシミュレーションの進行
Fig. 2. Schematic structure of the macroscopic simulation.

折返し時間を加えた時刻が出発可能時刻となる。

このようにマクロモデルでは、運転条件と計画ダイヤに基づいた列車運行を比較的単純な処理によって模擬でき、短時間で各駅における列車の着発時刻を求め、番線使用や車両運用の状況を正確に把握できる。しかし、列車が駅間で停止したり徐行する場合にはマクロモデルを適用できず、正確なシミュレーション結果を得るためにはマイクロモデルを用いる必要がある。

4. 自律型マイクロモデルによるシミュレーションの結合

本章では、列車単位および駅間単位のシミュレーションを相互に依存しない形で実施するよう構成した自律型マイクロモデルについて述べ、これによりマイクロシミュレーションとマクロシミュレーションを結合する方式を示す。

<4.1> 自律型マイクロモデル 従来のマイクロシミュレーションは微小時間間隔で各列車の位置と速度を計算し、それに応じて信号と進路の状態を遷移させることにより、実システムを忠実に模擬するものである。このため、マイクロモデルは列車相互が密接に関連した構成をとっている。

ところで、例えば道路交通では先行車両の位置と速度から自車両の運転操作が決定されるが、鉄道の場合には、先行列車の位置に応じて設定された信号現示速度から運転操作が決定される。つまり、列車相互の位置関係が直接問題になるのではなく、かならず信号現示速度を介して先行列車の影響を受ける。また、進路設定においても同様で、進路設定条件で問題となるのは、例えば他の列車がすでに進路を設定していたり、進路内に在線しているなどの進路支障がないことであり、列車相互の位置関係は直接には必要ない。そして、進路の支障や開通は信号現示速度が変化することによって運転士に伝達される。このように、列車運行は列車相互の位置関係と進路設定に密接に関連するが、直接的には信号現示速度によってのみ影響を受ける点に大きな特徴がある。一方、マクロシミュレーションが到着と出発のイベントを最小単位としていることから明かなように、列車の走行は駅出発から次駅到着までの駅間走行の繰返しである。よって、全路線にわたる列車運行も各駅間の走行に分割できるという特徴がある。これらの特徴に着目すると、列車相互の関連は直接的には必要なく、原理的には信号現示速度が示されれば、列車単位および駅間単位にシミュレーションを自律的に実施できることがわかる。

我々は上記の考え方に基づいて、図3に示した構成をもつ自律型マイクロモデルを開発した。このモデルでは各閉そく区間で信号現示速度が変化する時刻を記録した信号遷移情報をもつことにより、信号現示モデルと進路制御モデルを列車走行モデルから切り離れた点に大きな特徴がある。具体的には、シミュレーションの対象列車と駅間が与えられると、信号現示モデルと進路制御モデルは対象列車に対する信号遷移情報を作成し、列車走行モデルのみが時間の

図3 自律型マイクロモデルの構成

Fig. 3. Schematic structure of our proposed microscopic model.

進行に従って状態を遷移させる。ここで、信号遷移情報は列車走行に基づくものと進路設定に基づくものに区別して扱う。信号現示モデルは前者を、進路制御モデルは後者を処理し、信号現示モデルが両者を重ね合わせる。そして、信号現示モデルは列車走行モデルから対象列車の位置と時刻を受け取って、信号遷移情報から信号現示速度を決定する。一方、列車走行モデルは従来と同様に、信号現示速度を受け取って、運転操作を決定して微小時間後の位置と速度を計算する。

さて、列車走行に対する信号現示速度は図4に示すように変化する。すなわち、列車末尾が閉そく区間へ進入（これを完全進入とよぶ）するたびに変わり、列車が遠ざかるに従って信号条件に基づいて段階的に高くなり最高速度に達する。そこで、各列車は閉そく区間ごとの完全進入時刻

図4 列車走行に対する信号現示速度の変化

Fig. 4. Train movements and the code speed in the each block section.

図5 列車走行および進路設定に基づく信号遷移情報

Fig. 5. The history of the code speed in the block section imposed by train movements and the route settings.

を記録した走行データをもつものとする。そして、信号現示モデルは対象列車に対する先行列車の走行データから信号条件に基づいて信号遷移情報を作成する。例えば、図4において、閉そく区間Gの信号遷移情報は t_F から t_E までが S_0 、 t_E から t_D までが S_1 、 t_D 以降が S_2 となる。ここで、先行列車としては基本的には駅間で対象列車の直前を走行する列車を1本登録するだけでよい。ただし、駅構内の線路配置および対象列車の進路によっては、1～2本の列車を先行列車に登録する必要がある。例えば、引上線など本線以外から先着した同一方向の列車や、平面交差を渡って先発した異方向の列車が登録される。そして、複数の先行列車が登録された場合は、各列車ごとに信号遷移情報を作成した後に下位の信号現示速度を優先して重ね合わせる。

次に、進路制御モデルでは対象列車に対する進路支障の発生時刻と解消時刻を先行列車ごとに進路支障情報として登録する。そこで、各列車は通過する進路ごとの進路開通時刻を記録した進路データをもつものとする。そして、先行列車の進路データにある進路開通時刻を進路支障発生時刻とする。また、先行列車の走行データに基づいて、進路条件から対象列車の進路に対する支障の解消時刻を求める。こうして求められた進路支障情報は信号現示モデルに送られて信号遷移情報が作成される。信号現示モデルは列車走行および進路設定に基づく信号遷移情報を、図5に示すように、下位の信号現示速度を優先して重ね合わせ、対象列車に対する信号遷移情報を作成する。一方、対象列車の進路設定は最後に進路支障が解消した時刻以降であれば、いつでも可能である。通常は地点通過あるいは出発可能時刻の一定分前に進路設定が要求されることが多い。そこで、進路制御モデルは列車走行モデルより位置と時刻を受け取って、進路支障解消時刻と比較して進路開通時刻を決定する。

<4.2> シミュレーションの結合 自律型マイクロモデルによるシミュレーションでは、対象列車と駅間を入力として、各閉そく区間ごとの完全進入時刻および進路開通

時刻を出力とする。これはマクロシミュレーションにおいて、出発時刻から到着時刻を求める処理に対応する。そこで、マクロシミュレーションを基本として、必要に応じて列車と駅間を指定してミクロシミュレーションを実施することにより、両者を結合することができる。具体的には、図2において、処理可能性の判定結果から発生予定時刻を再計算する場合にのみ、ミクロシミュレーションを実施すればよい。3章で述べたように、着イベントの発生予定時刻には計画ダイヤより早着しない範囲で、自由に走行した場合の到着時刻が登録されている。よって、この発生予定時刻通りに着イベントを処理できないならば、先行列車や進路設定の影響で標準走行ができないことを示す。したがって、この場合には、自律型ミクロモデルに基づくシミュレーションにより信号現示と進路制御を考慮に入れた到着時刻を計算して、これを発生予定時刻としてイベントテーブルに再登録すればよい。このようにして、自律型ミクロモデルを用いれば、ミクロシミュレーションとマクロシミュレーションを結合することができる。

5. 考察

自律型マイクロモデルによるシミュレーションの結合は列車群制御（地下鉄などで行う走行時間、停車時間の調整による計画ダイヤへの復旧制御）や運転整理といったダイヤ乱れ時のシミュレーションへの適用⁽¹⁰⁾が有効と考えられる。本章では、従来モデルとの比較を通して、提案モデルの有用性を示す。

まず、自律型マイクロモデルでは従来と同じ列車走行モデルを用いて、微小時間間隔で列車の位置と速度を計算する。よって、シミュレーションの精度は従来と同じになる。また、シミュレーションの処理時間は列車の位置と速度の計算回数に依存するので、これも従来と同じになる。なお、自律型マイクロモデルでは信号状態と進路状態を微小時間間隔で更新する処理は不要になるが、かわりに先行列車の走行データと進路データから信号遷移情報を作成する

表2 標準走行できない列車の発生状況
Table 2. Number of trains running between stations in disrupted situations.

初期遅延 (分)	駅間走行回数			駅間走行時間 (時：分：秒)		
	総数	着遅延する場合の 駅間走行回数	標準走行できない場合の 駅間走行回数	総走行時間	着遅延する場合の 駅間走行時間	標準走行できない場合の 駅間走行時間
10	1573	94 (5.98)	29 (1.84)	282:33:15	15:13:45 (5.39)	05:23:15 (1.91)
30	〃	243 (15.45)	93 (5.91)	287:43:45	44:09:15 (15.35)	21:08:35 (7.35)
60	〃	283 (17.99)	133 (8.46)	298:43:30	61:47:30 (20.69)	37:47:00 (12.65)
90	〃	316 (20.09)	166 (10.55)	310:00:45	77:11:00 (24.90)	52:10:30 (16.83)

() 内の値は総数に対する割合 (%)

処理が追加される。しかし、2つの処理は内容的にはほぼ同じであり、その処理は位置と速度の計算と比べれば短い時間で実施できる。さらに、計算回数はシミュレーションの時間間隔が細かい、あるいは駅間走行時間が長いほど増加するが、信号遷移情報の作成時間は常に一定である。これらの点より、自律型マイクロモデルによるシミュレーションは精度面でも処理時間面でも従来のマイクロシミュレーションと原理的には差がない。

さて、自律型マイクロモデルを用いると、一部の列車および駅間についてのみマイクロシミュレーションを実施し、その他はマクロシミュレーションを適用することができる。マイクロシミュレーションとマクロシミュレーションの処理時間は一般的には数十分単位に対して秒単位という程度の差がある。よって、従来のように区間内の全列車を対象としてマイクロシミュレーションを実施する場合と比較すると、マクロシミュレーションを実施できた列車と駅間の割合に応じて処理時間は大幅に短縮される。例えば、ダイヤ乱れ時には標準走行できない列車が発生する。これは広い区間で、長い時間にわたって遅延がおこるほど多く発生する。また、ダイヤの密度が高いほど多く、平面交差をもつ端末駅付近にも多く発生する。しかし、遅延区間を通りすぎれば、標準走行できる場合が多い。よって、シミュレーションの結合により、標準走行ができない列車と駅間を選択してマイクロシミュレーションを実施すれば、必要な精度を保ちつつマイクロシミュレーションを実施する範囲（列車と駅間）を減少させることができるので効率的である。

一例として、表2にダイヤ乱れ時の列車運行状況をあげ、マイクロシミュレーションの実施対象となる駅間走行回数および駅間走行時間が、初期遅延によりどのように変化するかを定性的に示す。これは、新幹線に代表される都市間の高速高密度路線を想定し、3時間の範囲（列車本数225、駅数38）を対象として、1本の列車に10分から90分の出発遅延を発生させた場合の、マクロシミュレーションによる計算結果である。なお、駅間走行時間とは（当該駅到着時刻－前駅出発時刻）を意味する。また、標準走行できない場合とは、着遅延する場合の内で、駅間走

行時間が駅間最小走行時間よりも長い場合である。まず、初期遅延が大きくなると、駅間走行回数において着遅延する場合と標準走行できない場合はともに増加するが、90分遅延の場合でも後者は前者の約半数程度しかないことがわかる。しかも、後者の総数に対する割合は10%しかない。一方、駅間走行時間も初期遅延に応じて増加し、標準走行できない場合が特に増加する。これは、列車が駅間で長時間停止する場合が、標準走行できない場合に含まれているからと考えることができる。しかし、総走行時間に対する標準走行できない場合の割合は17%から2%の範囲にあるので、マイクロシミュレーションの計算回数を大きく減少できることがわかる。

このように、自律型マイクロモデルによりマイクロシミュレーションとマクロシミュレーションを結合すれば、マイクロシミュレーションの実施対象を自由に選択できるので、状況に応じて2つのシミュレーションを使い分けることにより、必要な精度が確保でき、マイクロシミュレーションの選択範囲に応じて処理時間の短縮も実現できる。

次に、自律型マイクロモデルを用いると、特定の列車と駅間を対象として、繰り返しシミュレーションを実施することができる。例えば、列車群制御では計画ダイヤとともに前後列車との運転間隔に基づいて、停車時間や走行時間を調整する。このとき、調整量をきめる制御方式の評価はシミュレーションを用いて行う。自律型マイクロモデルでは、先行列車の走行データと進路データから信号遷移情報を作成して、列車走行を模擬する。そこで、走行データと進路データが用意されておれば、任意の列車および駅間を対象として、様々な条件を変えて何回でもシミュレーションを実施できる。したがって、制御方式を効率よく評価でき、有効である。また、平面交差での進路制御順序を決定する入出競合判断においても、再シミュレーションの機能は有効である。すなわち、自律型マイクロモデルを用いると、マクロシミュレーションでのイベント発生予定時刻から決定される進路制御順序でシミュレーションを進めるが、競合判断対象列車に対してはマイクロシミュレーションを実施して、進路制御のタイミングを詳細に調べることができる。

そして、その結果から状況に応じて進路制御順序を入れ替えて再シミュレーションすることができる。これにより競合判断方式の評価も効率よく行える。

6. むすび

列車運行に対する新しいシミュレーション技術として、マイクロモデルとマクロモデルによるシミュレーションの結合について述べた。これは、各閉そく区間で信号現示速度が変化する時刻を記録した信号遷移情報に着目して、列車単位および駅間単位のシミュレーションを相互に依存しない形で実施できるよう構成した自律型マイクロモデルに基づいている。このモデルにより、マクロシミュレーションの実施を基本として、標準走行ができない列車と駅間についてのみマイクロシミュレーションを実施するというように、マイクロシミュレーションの実施対象を自由に選択できる。よって、必要な精度の確保と処理時間の短縮という相反する要求が両立できる。さらに、特定の列車と駅間に対して、マイクロシミュレーションを繰り返して実施できるので、列車群制御や入出競合判断の方式検討を効率よく行うことができる。

なお、本論文では従来と同様に微小時間間隔で列車の位置と速度を計算する列車走行モデルを使用した。しかし、信号遷移情報からは各閉そく区間内で列車走行の目標速度の変化時刻がわかる。今後は、それに対応してシミュレーションをより効率的に実施する列車走行モデルの適用を検討する予定である。

(平成6年8月25日受付、同7年12月18日再受付)

文 献

- (1) 列車群管理プロジェクト研究室：「列車トラフィック・シミュレーション・システム」，鉄道技術研究報告，1140（昭55-3）
- (2) 荒屋真二・曾根悟：「都市型軌道輸送システムの列車群制御とシミュレーションによる特性解析」，電学論C，101，97～104（昭56-4）
- (3) 宮本捷二・井原廣一・刈谷志津郎・今泉藤麿・大島弘安：「軌道輸送システム用計画設計システムTRANSPLAN」，日立評論，60，751～756（昭53-10）
- (4) 荒屋真二・片岡正俊・高橋啓一・居蔵和徳：「軌道交通システムシミュレータ ACTS」，三菱電機技報，53，836～840（昭54-11）
- (5) 小山敏博・江連久：「列車制御総合シミュレータ」，計測と制御，32，582～585（平5-7）
- (6) 佐藤章・池田宏・小野耕司：「新幹線列車トラフィックシミュレーションシステム」，計測と制御，19，671～675（昭55-7）
- (7) 片岡健司・駒谷喜代俊：「対話型ダイヤ作成支援システム DIAPLAN」，電学論D，112，153～162（平4-2）

- (8) 駒谷喜代俊：「運転整理支援エキスパートシステム」，計測と制御，32，586～589（平5-7）
- (9) 高密度運転システム調査専門委員会：「列車の高密度運転システム」，電気学会技術報告，415（平4-4）
- (10) 明日香昌・駒谷喜代俊・府川達也・森原健司：「列車群制御シミュレータの開発」，第28回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，195～199（平3-11）

明日香 昌

(非会員)1965年1月6日生まれ。90年3月京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修士課程終了。同年4月三菱電機(株)入社。現在、産業システム研究所ビル・交通システム開発部第4グループにて列車運行管制システムに関する研究に従事。情報処理学会、人工知能学会会員。

駒谷 喜代俊

(正員)1954年1月13日生まれ。79年3月京都大学大学院工学研究科修了。同年4月三菱電機(株)入社。システム工学、知識工学の交通システムなどへの応用に関する研究に従事。現在、産業システム研究所ビル・交通システム開発部第4グループマネージャー。工学博士。電気学会、計測自動制御学会、情報処理学会会員。