

列車群を効率良く走らせる

平栗 滋人

信号通信技術研究部(信号 研究室長)



ひらぐり しげと

はじめに

大都市の通勤路線などでは、特に朝夕のラッシュ時間帯には列車を利用する乗客の数も多いため、駅の停車時間が延びる場合がしばしば見られます。また、列車が非常に短い間隔で走行しているため、前方の列車が遅れた場合、その後ろの列車が駅の手前で一旦停止し、さらに後続の列車に影響が発生しやすくなっています。ここでは、他の列車の運行状況に関する情報を利用する運転制御によって、このような影響を少なくする手法について紹介します。

遅れが発生した場合の影響

列車をどれだけ短い間隔で走行させることができるかは、車両性能の他、信号設備の条件などで決まります。現在の鉄道では、路線を一定の長さの区間に区切り、1つの区間には1列車しか在線できないことを原則として、安全を確保しています。駅では列車が停止するため、その分だけ次の列車が到着できるタイミングが制約を受け、駅の近傍が運転間隔のボトルネックになる場合が多くなります(図1)。

一方、列車に与えられる情報は、信号機によって与えられる停止位置や制限速度であり、この範囲であれば列車

は前方の列車にできるだけ近づいて走行することができます。ところが、前方の列車に遅れが発生すると先に述べたように、駅以外の箇所で停止せざるを得ない場合があります。この結果、次々と列車が近づいて多くの列車が減速や停止を余儀なくされると、線区全体として列車の走行時間が延びたり、遅れの回復に時間が掛かることがこれまでの検討で分っています。

このような状況を避けるためには、主に前方の列車の運行状況に関する情報に基づいて列車を制御することが考えられます。しかし、現状では列車に与えられるのは信号機の情報に限られています。したがって、このような制御を実現するためには列車の運行状況を把握し、これらの情報を列車に対して伝送する手段が必要になります。

情報伝送を利用した列車制御

近年、情報技術を積極的に利用した新しい列車制御システムの開発が、国内外で活発に行われています。鉄道総研でも、以前にCARAT (Computer and Radio Aided Train Control System; カラット) と称する、地上制御システムと列車との間の情報伝送に無線を用いたシステムの開発を

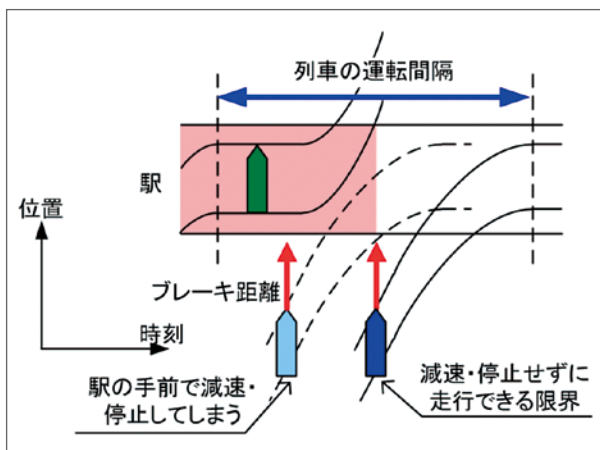


図1 駅近くでの列車間隔

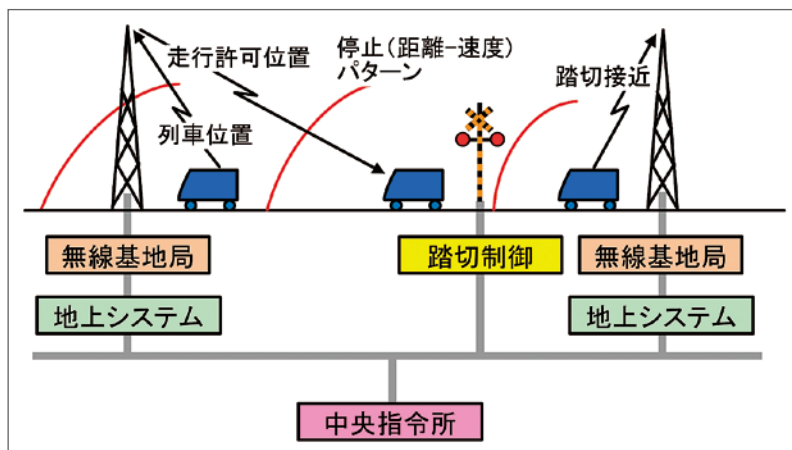


図2 無線による列車制御CARATの概念

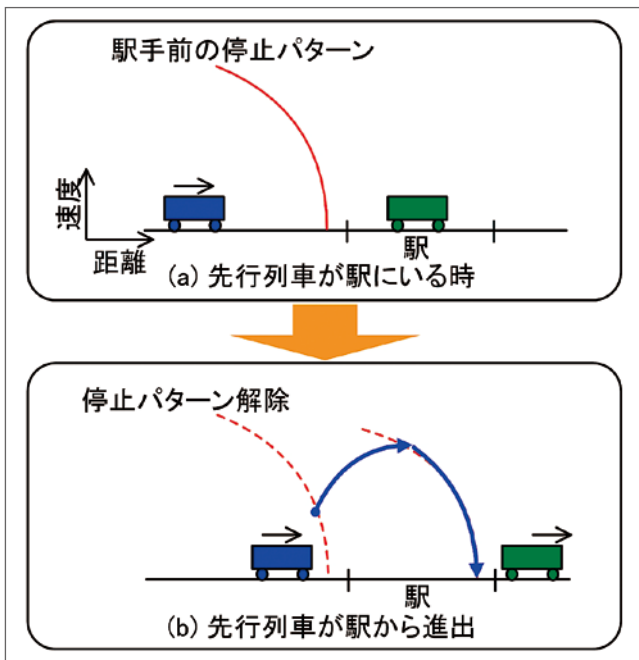


図3 駅進入時の走行パターン

行いました(図2)。CARATでは列車が自身の位置を連続的に検知し、その情報を無線により地上システムに伝送します。地上システムは各列車が安全に走行できる範囲を判断し、その終端の位置(走行許可位置)を無線により各列車に伝送します。各列車はこの情報に基づいて、安全に走行できる位置-速度パターンを算出し、速度が超過した場合にはブレーキを掛ける制御を行います。

このような機能の目的自体は、現在の信号システムと同じ安全の確保にあります。しかし、列車との間での連続的かつ双方向の情報通信や、列車自身の連続的な位置検知を基本機能として有している点が特徴です。これらは、CARATに限らず、近年、開発されている各種の列車制御システムの特徴であり、このようなシステムは先に述べたような列車の運行状況を考慮した、より高度な制御を実現できる可能性を持っていると言えます。

駅での運転間隔を最小にする手法

実際の列車の運行状況は様々ですが、ここではまず、駅に向う列車が先行列車に接近している場合を前提として、運転間隔をできるだけ短くする手法の基本的な考え方を示します。

列車が駅に進入しようとするとき、先行列車が駅に在線する間は、駅の手前に停止できるような位置-速度パターンの範囲で走行します(図3(a))。先行列車が出発すると、このパターンが解除され、駅に進入できるようになりま

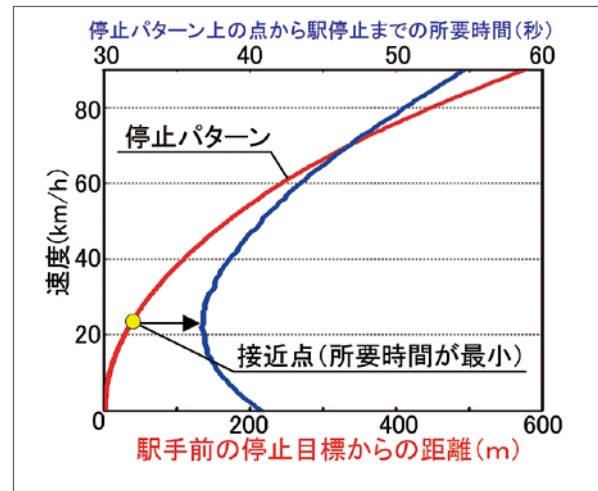


図4 駅手前の停止パターンと駅到着までの所要時間

す(図3(b))。ここで、先行列車との間隔を最小にするためには、パターンにできるだけ近づいておき、これが解除されてから駅に到着するまでの走行時間を最小にすれば良いことになります。つまり、パターンが解除される時点で、パターン上のどこかの点に到達することが第一の条件となります。

次に、このパターン上の点の中から、駅に到着するまでの所要時間が最も短くなる点を見出す必要があります。この点を接近点と呼ぶことにします。図4は、後で述べるシミュレーションのモデル駅における、駅手前の停止パターンと、パターン上の点から駅到着までの所要時間の関係を示したものです。この場合では、パターン上の速度22m/hの点で所要時間が最小となっており、これが接近点となります。ちなみに、速度0km/hに対する所要時間が駅手前で一旦停止した状態から、駅に到着する場合の所要時間になります。

接近点は、駅手前のパターンの起点から駅停車位置までの距離や、車両性能などの条件によって異なりますが、これらの値が分れば事前に求めておくことができます。したがって、走行中の列車に対しては、先行列車が出発して停止パターンが解除される時刻が与えられれば、駅に向う列車に対する制御の目標が定まることになります。なお、停止パターンが解除される時刻については、先行列車の到着時刻や停車時間のデータなどから予測することを想定しています。

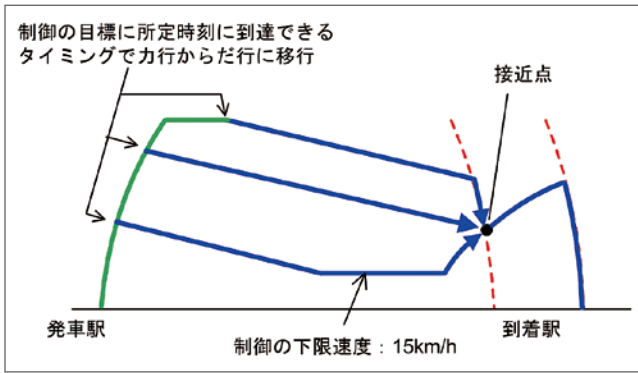


図5 接近点に向かう速度制御

列車の速度制御

停止パターンが解除される予測時刻を得た列車が、この時刻に接近点に到達するような制御の考え方を図5に示します。走行に要するエネルギー消費の観点からは、できるだけ「だ行」する区間を長くする方が良いことが、これまでの検討で分かっていますので、この考え方を基本としました。

また、実際には駅間に多くの列車が走行している状況が想定されます。この場合、駅に向って先頭にいる列車だけではなく、他の後続列車に対しても適切な制御をしないとこれらの列車が結局は停止してしまい、全体として効果が小さくなる懸念があります。そこで、図6に示すように、駅に向う全ての列車を対象として、いわばバケツリレー式に、各列車の制御目標となる駅手前の停止パターンの解除時刻を予測して列車に伝送します。

列車制御の手順

ここまでは、遅れなどの原因によって列車間隔が小さくなった場合を想定し、列車間隔を短くする列車制御の方法について述べてきました。しかし、実際にはこのような状況ばかりではなく、特に遅れがなく計画どおりに走行でき

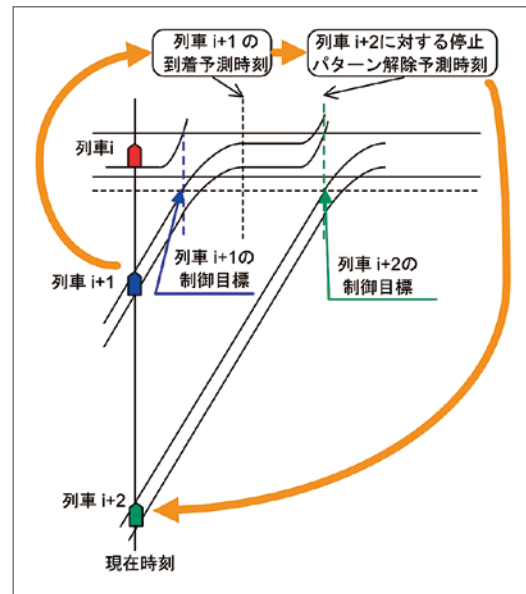


図6 複数列車の制御

る場合、自身が遅れて先行列車との間隔が通常より大きくなっている場合などが想定され、このような状況に合わせた制御が必要になります。

図7に列車の運行状況に応じて適切な制御目標を設定する手順を示します。このような制御を予測制御と呼ぶことにします。

列車に対する制御の目標としては、駅到着に関するもの（位置：所定の停車位置、速度：ゼロ、時刻：ダイヤで決められた到着時刻）と、先に述べた駅進入時の制御に関するもの（位置と速度：接近点、時刻：駅手前の停止パターンの解除時刻）の2種類があります。列車は状況に応じて、この内から適切な方を目標として設定します。例えば、列車が計画どおりに運行されている場合には前者、列車同士が通常より接近している場合には、後者が目標となります。

このような制御によって、自身が遅れていて前方に余裕

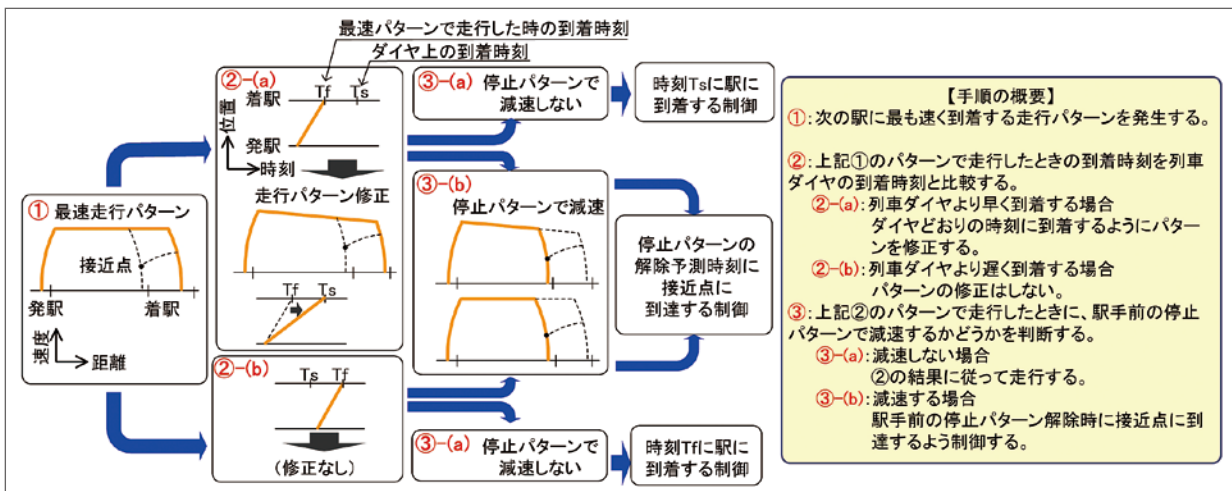


図7 列車制御の手順

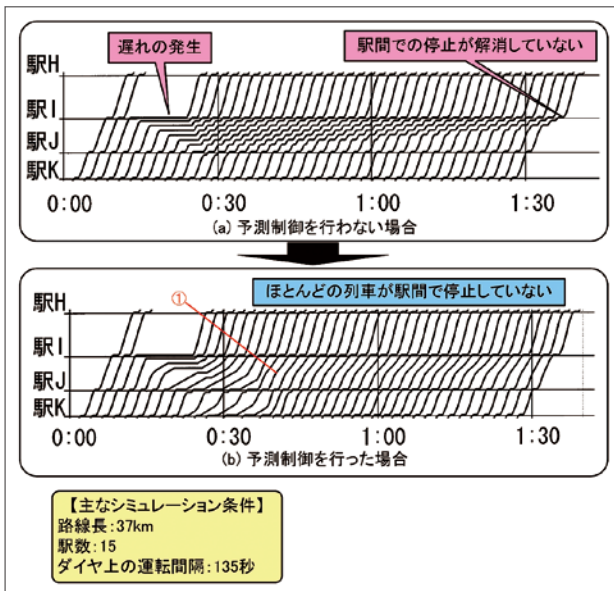


図8 シミュレーション結果(走行軌跡)

がある場合にはいわゆる回復運転を、特に遅れなどが発生していない場合にはダイヤに従った所定の運転を、先行列車が遅れているような場合には速度を適切に制御して、運転間隔を最小にするような制御を選択することが可能になります。

予測制御の効果

予測制御の効果を、モデル線を設定して計算機シミュレーションによって検証しました。

その結果の一部と、主なシミュレーション条件を図8に示します。ここでは、中間の駅Iで、ある列車に10分の遅れが出た場合を想定して予測制御を行わない場合(図8(a))と、予測制御を行った場合(図8(b))の走行軌跡を示しています。予測制御を行わない場合には、シミュレーション上の最後の列車まで、全ての列車で一旦停止が繰返し発生していることが分ります。これに対して、予測制御を行った場合には、遅れの原因となった長時間の停車の影響が出ている箇所以外では、一旦停止はほとんど発生していません。

図9には終点の駅Aにおける、各列車の到着時刻のダイヤからの遅れ時間を示します。予測制御を行った場合には35番目の列車で遅れがゼロになっています。しかし、予測制御を行わない場合、シミュレーションの時間内では遅れがゼロになっていません。

図10には駅Jと駅Iの間での、ある列車(図8(b)の①)のシミュレーションの結果として得られた走行曲線を示します。先行列車との間隔が小さくなったために、駅手前の接近点を通過する制御が行われていることが分ります。なお、途中、だ行しているにも関わらず、減速していない

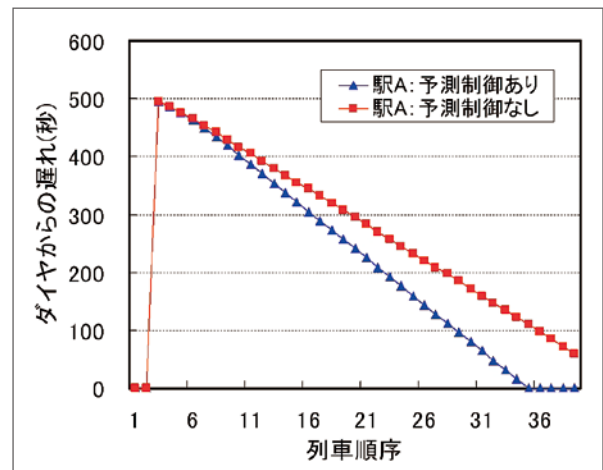


図9 シミュレーション結果(ダイヤからの遅れ)

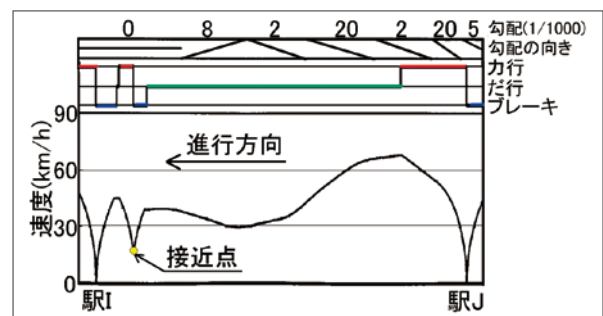


図10 シミュレーション結果(ランカーブ)

箇所があるのは下り勾配の影響によるものです。この結果から、先に述べた制御論理によって、運行状況に応じた到着目標の設定がされ、その結果に応じて、できるだけだ行を継続する(力行/だ行/ブレーキ、の切換え頻度を少なくする)走行が行われていることが分ります。

おわりに

比較的簡単な前提条件で予測制御の手法と効果について紹介しました。

このような制御の実現のためにはCARATのような高度な列車制御システムの基本機能が活用できることは、先に述べたとおりです。しかし、予測制御は信号システムによって安全が確保された範囲内で効率的な制御を行うものですので、保安に直接関係する訳ではありません。したがって、信号システムとは別に予測制御のための情報伝送路として、汎用性のある無線装置などを利用することも可能であると考えています。

また、予測制御列車制御を実際に適用するためには、駅の線形(待避・追越設備のある駅、折返し駅など)や通過列車の有無など、幾つかの形態が考えられるので、これらを考慮した制御論理の検討や、効果の見極めが必要であり、今後、更に検討していきたいと考えています。RRR