

移動閉そくシステムによる都市鉄道の超高頻度運行の可能性



AH12219 吉枝 春樹
指導教員 岩倉 成志

1. 本研究の目的

東京都市圏の鉄道は、朝ラッシュ時の混雑率が180%を超える路線が存在するなど、いまだ深刻な混雑状況となっている。今後は少子高齢化が進行するとはいえ、東京都市圏の人口減少は緩やかだと予想されており、混雑の自然解消は期待できない。

しかし、複々線化などのインフラ整備を前提とした従来からの輸送力増強策は、鉄道事業者にとって収入の増加がほとんど期待できないにもかかわらず、巨額の事業費を要するため、実施は困難である。

そこで、本研究では東急田園都市線および半蔵門線を対象に、次世代の保安システムである移動閉そくシステムを適用することで高頻度運転化を図り、インフラの投資を抑制しながら混雑を緩和する手法を提案する。

2. 高頻度運行のために解決すべき問題

本研究で目指す超高頻度運転は、乗車率の低減による停車時間の短縮、走行制御の改善による列車間隔の最適化を通じて、輸送力の増強を図るものである。ここでは、運転時隔（先行列車発車から後続列車発車までの時間）の決定要因を分析し、時隔短縮の策について述べる。

2.1 運転時隔の決定要因

最も列車が接近する点は、駅を発車する列車の最後尾と、駅に到着する列車の先頭である。そのため、運転時隔は駅付近の条件によって決定される。

まず、停車時間の影響である。先行列車が駅に停車している間は後続列車が一方的に接近し、後続列車が追いつく。停車時間が変動すれば、運転時隔にそのまま影響する。

このほかの因子は、先行列車が駅を発車してから、後続列車が駅に停車するまでの時間である。これを追込み時間といい、図1に示す。図1は縦軸を距離、横軸を時間にとり、駅付近の2列車の挙動を示した。太線は列車の先頭と最後尾を表し、後続列車の前の

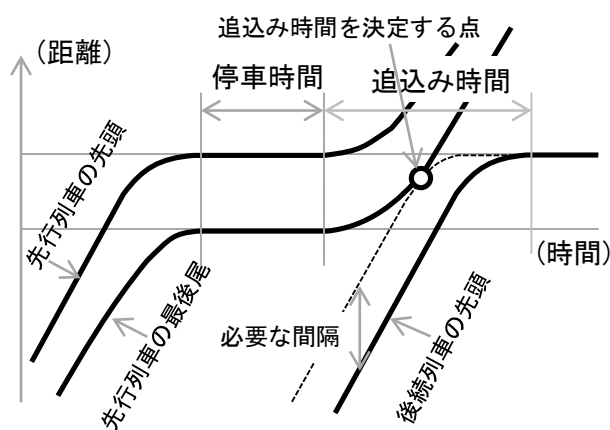


図1 駅付近での列車の相互作用

点線は、後続列車が先行列車との間に確保すべき距離を示している。

後続列車が駅に接近するとき、先行列車の速度が後続列車の速度を上回るまで距離間隔は縮まり、その後は距離間隔が伸びる。また、後続列車は徐々に減速するため、先行列車との間に必要とする距離も徐々に短くなるなど、複雑な関係となる。

列車同士の距離間隔が確保すべき距離間隔と同一になる点（図1 中点線と先行列車最後尾の接触点）が追込み時間を決定する。

2.2 運転時隔の最小化

ここまで見てきた複雑な要因を制御することで、運転制御の最適化を図る。

列車間に確保すべき距離は後続列車の速度によって決定されることから、後続列車の速度が低い状態であれば、先行列車との距離を短縮することが可能である。ただし、極端に低速走行させると、駅の停止位置に到達するまでにむしろ時間がかかることもあるため、妥当なバランスをとることが求められる。また、先行列車の発車前に後続列車が到達して駅手前で停止することのないように、事前に速度を調整するなどして後続列車が到達する時間を調整する必要がある。

3. 研究のシナリオ

本研究では、超高頻度運転化が可能な運転パターンを求め、その運転パターンを反映したダイヤを作成して、これを乗客の乗降行動と列車の挙動の両方を再現可能なマルチエージェントシミュレーションシステム (MAS) によって評価することで、超高頻度運転の可能性を示す。

ランカーブは、図 2 に示すような、横軸を距離、縦軸を速度及び時間として表した図である。これは列車の挙動の観察に適するため、追込み時間を短縮する対策の検討に用いる。

一方、列車の運転時隔には、停車時間の影響も大きい。MAS は列車の挙動と乗客の行動の両方をシミュレーションできるため、停車時間を精度よく再現できる。これにより、停車時間の妥当性を確認する。

4. ランカーブ作成システムの開発

各地点に対応する速度と時間を自動的に計算するシステムである。東急電鉄から提供頂いた作成基準に基づき、力行終了直後の急激な減速など、運転上無理のある動作は行わないようにした。

計算ピッチの基準は距離とし、1m 毎に線形情報及び車両性能情報から車両の速度を計算する。

各地点での速度を決定後、速度からその地点への所要時間を計算する。先行列車の時間と位置の情報を予め与えれば、先行列車と安全な間隔を保てる最高速度を決定し、次ステップの計算時に基準とする。

車両の挙動は運動方程式によって求める。加速力及び車両の重量は東急電鉄よりご提供頂いた車両性能データおよび列車抵抗式より算出しており、定員乗車状態を想定したデータとなっている。

5. エージェントモデル (MAS) の課題と改良

現状のモデルの課題として、駅間走行時間の過小推計と、停車位置の不正確さがある。

駅間走行時間の過小推計に対しては、速度上昇に伴う加速度の低下、空気抵抗の再現、駅停車時等の減速度を実態に即したものとす等の改良を行う。

停車位置の不正確さは、列車エージェントが駅を通過してしまう場合があり、所定の乗降行動のシミュレーションが行われなため、停車時間が過小推計される事象を引き起こしている。これは計算ステップが時間基準のため、計算ステップ間の距離が長

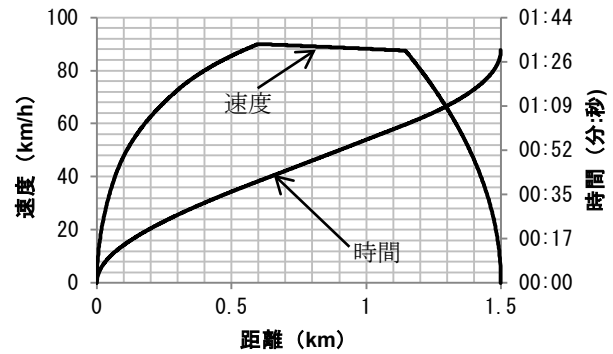


図 2 ランカーブの一例

くなり、ブレーキ開始が遅れることが原因と考えられる。プログラムの構造上根本的な解決は難しいが、実用上支障ない範囲に収まるようプログラムの改良を行う。

6. 研究の進捗状況と今後の予定

6.1 ランカーブ作成システムの開発状況

基本的な速度曲線を作成し、移動閉そく時に先行列車の影響を受けない最小の時隔を算定できたが、先行列車の位置情報を読み込みに不具合があり、先行列車による影響が正しく再現できていない。

6.2 MAS の改良状況

加減速性能の適正化を実施した。また、簡易的手法だが、駅の停止位置の精度を改善した。

MAS は本研究室で実績のあるシステムだが、これまでダイヤの変更はほとんど行ってこなかったため、これに起因する不具合がある。列車の増発で分岐器の動作パターンを変更するとエラーとなるほか、列車エージェントの発車制御に不具合があり、本来は発車すべき列車が発車しない不具合が発生している。

6.3 今後の予定

ランカーブの分析により、現状の停車時間に対応可能な運転間隔・パターンを割り出し、これを踏まえて超高頻度化させたダイヤ案を作成する。

このダイヤ案を MAS に入力してシミュレーションを行い、乗客の行動を踏まえて実現性を検証し、高頻度運転の可能性を示す。

謝辞

本研究の実施にあたり、データをご提供頂いた東京急行電鉄株式会社様および東京地下鉄株式会社様に、この場を借りてお礼申し上げます。