

ソフト連結を用いた超高頻度列車運行の可能性の検討

Possibility of Ultra-high Frequency Train Operation Using the Soft Coupling Technique

角濱 文隆 (電気システム工学科)

Fumitaka KAKUHAMA

電気鉄道システム研究室 指導教員 高木 亮 教授

1. はじめに

都市部の鉄道では、未だ改善を要するレベルの激しい混雑がラッシュ時を中心に広く確認されている。複雑な線化などの大規模投資によらず混雑緩和を実現する手法としては、信号システムの改良による列車運行の高頻度化がある。その構想中の信号システムのひとつにソフト連結が挙げられる。本研究では、ソフト連結を都市鉄道へ適用した場合、都市鉄道が発揮しうる輸送力の限界を明らかにすべく検討を行う。

2. 列車間隔制御

2.1 れんが壁衝突(Brick wall collision)仮説⁽¹⁾

先行列車が仮に減速度無限大で急停車した場合であっても、後続列車が先行列車に衝突しないよう制御する考え方である。ただし、「減速度無限大」の仮定は過剰に安全側であり、この制約を緩和すれば列車頻度は増大可能だが、追突の危険もあり減速度の設定には慎重さが求められる。

2.2 移動閉塞システム

移動閉塞システムは、従来の固定閉塞システムとは大きく異なり、後続列車の進行可能な範囲が先行列車の挙動に合わせて連続的に変化する信号システムであり、列車間隔制御に用いる情報の種類により以下の2つに大別される：

1. 純移動閉塞 (PMB: Pure Moving Block): 後続列車の進行可能限界が先行列車の位置にのみ基づくもの
2. 相対移動閉塞 (RMB: Relative Moving Block): 後続列車の進行可能限界が先行列車の位置と速度に基づくもの

2.3 ソフト連結

ソフト連結とは、PMBにおける最小列車間距離を下回る距離で2つの列車を超近接走行させることである。この時の列車間距離は約50cm程度と著しく短く、現行の信号システムに比べて極めて高速・高精度な制御が要求される。このためには、先行列車の速度や加速度の目標値と現在値などの情報を、先行列車と後続列車の間で直接かつ極めて低遅延で通信できるシステムがなければならない。

3. 駅発着時隔

3.1 概要

任意の駅において、同一方向に進行する2列車のうち先行する列車がホームを発車した瞬間から、後続列車が同一ホームの所定停止位置に停車する瞬間までの時間を指す。

3.2 後続列車の減速度(加速度)

時刻 $t - \Delta t$ [s] での先行列車の速度を $v_{A(t-\Delta t)}$ [km/h]、加速度を $a_{A(t-\Delta t)}$ [km/h/s]、後続列車の速度を $v_{B(t-\Delta t)}$ [km/h]、通常減速度を β_N [km/h/s]、非常減速度を β_E [km/h/s]、異常減速度を β_U [km/h/s] とおけば、時刻 t [s]

における後続列車の減速度 $\beta_{B(t)}$ [km/h/s] は以下の通り：

$$\beta_{B(t)} = \beta_N \times \frac{v_{B(t-\Delta t)} - \left(\frac{\beta_U - \alpha_{A(t-\Delta t)}}{\beta_U} \right) v_{A(t-\Delta t)}}{v_{B(t-\Delta t)}} \dots \dots \dots (1)$$

3.3 駅発着時隔の比較⁽²⁾

ソフト連結を含む5種類の信号システムの駅発着時隔を比較した。先行列車の駅発車の遅れに伴い、後続列車が減速度を余儀なくされるケースで計算した。

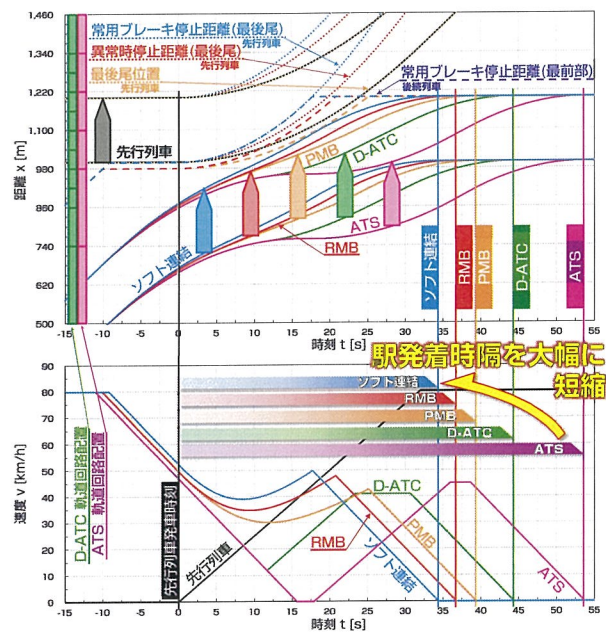


図1 駅発着時隔の比較

また、後続列車が先行列車の直前に停車してから再出発する場合、後続列車が先行列車に影響されない場合、どの場合もソフト連結が最短の駅発着時隔となり、現行システムよりも10%以上の時隔短縮効果を持つことを明らかにした。

4. おわりに

現在普及しているどの方式よりも、駅発着時隔の短縮にはソフト連結が最も効果的であることを示した。従って、ソフト連結の導入で、列車運行の更なる高頻度化または時隔余裕の増加によるダイヤの頑健性向上の可能性がある。

ソフト連結は、ひとたび列車間距離が余裕距離 d_M に等しくなれば、それ以降は減速度設定によらず現在の連結器による連結とほぼ同等の安全性を有すると評価できる可能性もあり、比較的容易な実現が期待できると思われる。

文 献

- (1) 高木亮:「移動閉塞システムにおける複数列車の同期運行の検討」, 平成23年電気学会産業応用部門大会, 3-103, (2011)
- (2) 角濱文隆, 高木亮:「ソフト連結を用いた超高頻度列車運行の可能性の検討」, 第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL 2017), No.S9-4, (2017)