

超高頻度運行計画の頑健性と車両性能の関係に関する基礎検討

Investigation into the Relationship between the Timetable Robustness and the Vehicle Performance under the Ultra-high Frequency Train Operation

鎌木 澄也 (電気システム工学科)

Sumiya KAMAKI

交通・電力・環境システム研究室 指導教員 高木 亮 准教授

1. はじめに

我が国の大都市圏の通勤鉄道は、朝夕のピーク時間帯を中心に輸送力不足が慢性的に続いている。筆者の研究室で行われている UCRT (Ultra-Convenient Rail Transport) の研究では、複線都市鉄道における列車頻度の一般的上限 (約 30 本/時・方向) を大幅に上回る超高頻度列車運行の可能性が示されている。しかし、「荷物のドア挟まり」「急病人」などを原因とする列車の小遅延の根絶は難しく、超高頻度列車運行のもとではこうした小遅延による乱れが従来より広範囲に波及しやすいと予想されるので、これに対応するため超高頻度運行計画には十分な余裕を付加する必要がある^[1]。

本研究は、必要な余裕を得るため車両性能を高める方法について、知見を得ることを目的とする。

2. 超高頻度運行下での頑健性向上手法

列車の運行計画に余裕を持たせるとは、列車の性能などからみて可能な最短の時分 (例: 駅間走行時分、駅停車時分、複数列車間の発着時隔など) に対して、運行計画においてはこれらについてより長い時分を用いて計画を作成することである。列車が遅れた際には、この余裕を消費して遅延の回復を図ることができる。

超高頻度の運行計画においては、従来の運行計画に比べてある列車の遅れにより影響を受ける列車の数が増加することになるため、運行において避けがたく生じる小遅延の影響が広範囲にわたると予想される。このため余裕についても従来の運行計画と比べて大きめに与える必要がある。駅間走行時分についていえば、車両の性能が高ければ高いほど、また運行計画上の走行時分が長ければ長いほど、余裕も大きくなる。そこで本論文では、従来あまり検討されてこなかった、車両性能向上による余裕増加策について検討する。

車両性能向上手法として、(a) 起動加速度を向上させる、(b) 中速度域(40km/h~80km/h)の加速度を向上させる、といった方法が考えられるが、(a)の起動加速度向上は乗り心地の観点から必ずしも好ましくないと思われる。一方(b)の場合、列車の加速時の最大パワーを増大させれば現状よりも高速域まで起動加速度を維持できる。そこで本研究では、列車の最大パワーを増加させる(b)の手法を利用した場合の頑健性の評価を行う。

3. 中速度域での加速度向上による頑健性

(3.1) 頑健性評価方法

運行計画上の最高速度(=80km/h)と、当該路線において許容される最高速度(=120km/h)をそれぞれ設定し、モデル路線を走行した場合の所要時間を算出し、回復余力を求める。車両性能を変えない場合の回復余力をモデル路線における現状の頑健性とし、車両性能を変えた場合の回復余力と比較することで、車両性能向上による頑健性向上の評価を行う。

(3.2) 所要時間算出条件

所要時間を算出するにあたり、車両及び路線は都市圏の通勤鉄道を参考に以下のような条件を設定した。

- ・ 駅数: 7 駅, 路線長: 11.2km,
- ・ 速度制限: 曲線・分岐器などによる速度制限あり
- ・ 列車: 10 両編成, 定員: 1500 人, 乗車率 250%,
- ・ 起動加速度: 3.0km/h/s, 減速度: 3.5km/h/s
- ・ 走行パターン: 各駅停車, 停車時間: 40s
- ・ 車両性能: 都市鉄道でみられる一般的な性能を基準

また、中速度域の加速度を向上させる方法として、列車の出力を変え、定トルク領域の終端速度を上げる方法をとる。

現状の車両性能は列車の出力倍率 1 倍とする。

(3.3) 頑健性評価結果と考察

(3.2) の条件で列車の出力倍率 1.0 倍~2.0 倍に対してモデル路線を走行した場合の頑健性の評価を行った結果を表 1 および図 1 に示す。

この結果について考察を加える。まず、出力倍率を現状の 1 倍から x 倍に向上するためには、ある比例係数を K_1 としたとき現状と比べて $K_1(x-1)$ [円] のコストがかかることと考えられる。一方、この出力倍率向上により得られた回復余力の増分 B_{rl} については、別な比例係数を K_2 としたとき現状と比べて $K_2 B_{rl}$ [円] の投資効果として定量化できると考える。こうすると、図 1 の平面上に、出力向上による増分コストと投資効果が同一となる点の集合を、点線で示したようなある傾きを持った直線として描くことができる。

投資効果が最も高いのは、図 1 の評価結果プロットがこの点線より上にもっとも離れた点と考えることができる。図 1 の場合であれば、モデル路線に対する最適な車両性能は 1.3 倍の時であると結論づけることができる。

表 1 評価結果

出力倍率 [倍]	走行時間 (巡航速度) [s]	走行時間 (最高運転速度)[s]	回復余力 [s]	頑健性[倍]
1.0	895.51	862.25	33.26	1
1.2	889.74	843.71	51.80	1.557
1.4	887.24	831.52	63.99	1.924
1.6	886.08	824.08	71.43	2.148
1.8	885.58	819.75	75.76	2.278
2.0	885.39	817.15	78.36	2.356

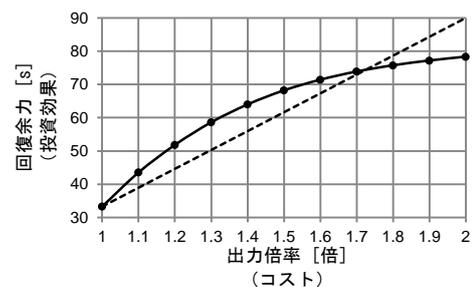


図 1 車両性能対回復余力

4. おわりに

超高頻度運行計画の頑健性と車両性能の関係について議論し、モデル路線において中速度域の加速度を向上させた場合の頑健性の評価から、車両性能と頑健性の関係について基礎的な解析を行った。

しかし、回復余力に比例した投資効果が見込めるなど、非常に簡易な仮定に基づいたものであるため、今後このように付加された回復余力が頑健性にどのようなインパクトを及ぼすか、列車間の相互作用も含めた列車運行シミュレーションにより詳細な解析を行うことが課題である。

文献

[1] 渡辺 賢央, 高木 亮: 「超高頻度運行における列車ダイヤの頑健性と車両特性の関係に関する基礎検討」平成 27 年度電気学会全国大会,5-120,(2015 年 3 月)