

所定時刻に定位置停止を実現する運転支援システムの提案

A proposal on a driving support system for fixed position and scheduled time

佐藤 勝太 安信 誠二

Shota Sato Seiji Yasunobu

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1 序論

近年、列車の運転において運行ダイヤの高密度化やホームドアの導入に伴い、より安全で精密な運転が求められるようになってきている。そのため、自動列車運転 (ATO: Automatic Train Operation) システムの導入が進められている。ATOは、運転者に代わり列車の運転を自動で行うものであり、多くの研究がなされている [1][2][3]。

しかし、コスト面などの問題もあり人が運転を行っている場合も多い。そこで、我々は列車を運転するのは人とし、運転の負担を軽減するために運転支援の研究を行ってきた。これまでは、最短時間走行において制限速度と定位置停止を支援するシステムを開発しその有効性を確認している [4][5]。

本研究では、状況変化に対応するために速度評価と停止評価に加え時刻評価という3つの評価を考慮する事が重要であると考えた。なぜなら、列車には時刻表がありそれに従い運転する必要があるからである。また、実際は前方列車の遅れなどにより到着時刻が変更になる場合があり状況変化に応じた判断が求められているからである。

本稿では、制限速度を守りつつ所定時刻に定位置停止を実現する運転支援システムを提案し、シミュレーションにより運転支援システムの有効性を確認する。

2 列車の運転

運転者が行う操作は加速と減速のみとなっているが、所定時刻運転を行う事が難しく、熟練を要する操作となっている。

2.1 列車運転における評価指標

列車の運転における主要な評価指標は、

- (1) 走行速度を制限速度以下に保持しているか
- (2) 指定した位置に精度よく停止しているか
- (3) 指定した到着時刻を守っているか

である。運転者は、これらの指標を満足するように運転している。

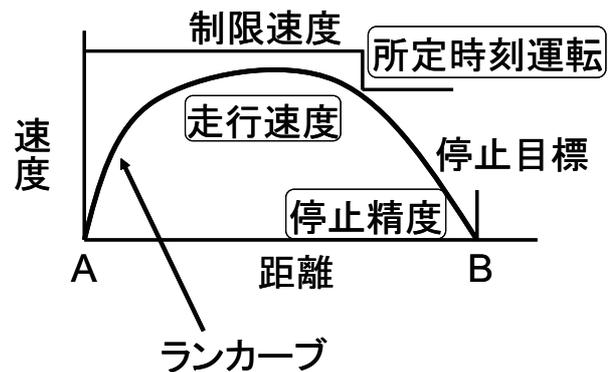


Fig. 1: 列車の運転の評価指標

Fig. 1は、列車が走行する際に距離や速度がどのように変化していくかを描いた図である。横軸が距離 $X(m)$ 、縦軸が速度 $V(m/s)$ で表され、これをランカーブ (速度曲線) と言う。また、横軸が距離 $X(m)$ 、縦軸が時間 $T(s)$ で表される曲線を時間曲線と言う。

2.2 支援者の知識

本稿では、熟練者が支援者となった場合を考える。また、運転者と支援者 (熟練者) の関係を Fig. 2 のようにモデル化した。その場合、支援者は、次の3つのように段階的に状況を考えながら運転者に支援情報を提供している。

[運転目標設定] 時刻表と運転状況 (時間, 距離, 速度, ノッチ) から運転目標 (目標到着時刻, 目標停止位置) を設定する。

[運転] 運転状況と運転目標から目標速度と減速度を設定する。

[運転支援実行] 目標速度と減速度と運転状況から加減速指令を決定し、運転者に支援情報を提示する。

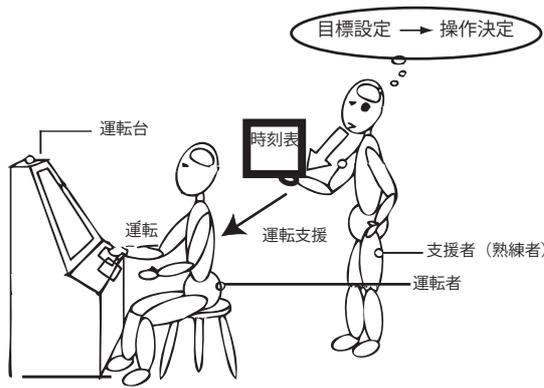


Fig. 2: 列車の運転支援のモデル

3 運転支援システム

3.1 システムの構成

運転者と支援者の関係を基に構成した運転支援システムを Fig. 3 に示す. 本システムは, 大きく分けると運転目標設定部, 運転部, 運転支援実行部の 3 つの部分から構成されている.

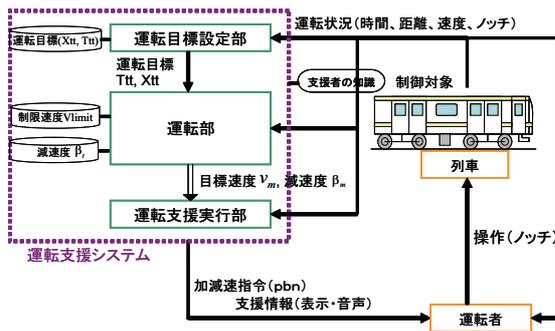


Fig. 3: 運転支援システムの構成

3.2 運転目標設定部

時刻表を保持していて, 運転目標 (目標到着時刻, 目標停止位置) を設定する部分である. 目標停止位置は運転中一定であるが, 目標到着時刻は変更することができる.

3.3 運転部

運転状況と運転目標から目標速度 v_m と減速度 β_m を決定する部分である. 以下に, 目標速度と減速度の計算方法を示す.

Fig. 4 より, 現在の地点からの残時間を t_d , 残距離を x_d , 減速パターンで走行する時間を t_z , 距離を x_z とする. そのとき, (1), (2), (3) 式のように表す事ができる.

$$x_d - x_z = v_m (t_d - t_z) \quad (1)$$

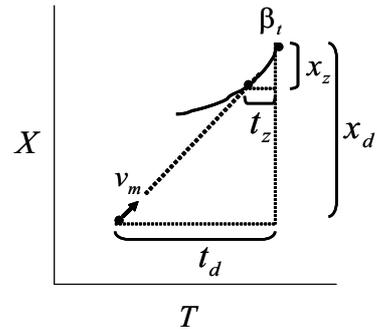


Fig. 4: 目標速度 v_m の計算

$$t_z = \frac{v_m}{\beta_t} \quad (2)$$

$$x_z = \frac{1}{2} \beta_t t_z^2 = \frac{v_m^2}{2\beta_t} \quad (3)$$

(2), (3) 式を (1) 式に代入すると,

$$\frac{v_m^2}{2\beta_t} - t_d v_m + x_d = 0 \quad (4)$$

となる. また, v_m について解くと,

$$v_m = \frac{t_d \pm \sqrt{t_d^2 - \frac{2x_d}{\beta_t}}}{\frac{1}{\beta_t}} \quad (5)$$

となり, 目標速度 v_m が計算される.

また, 減速パターン v_t は,

$$v_t = \sqrt{2\beta_t x_d} \quad (6)$$

となる. そして, 減速度 β_m は, 目標速度 v_m と減速パターン v_t から決定される.

3.4 運転支援実行部

運転支援実行部は, 目標速度 v_m , 減速度 β_m と運転状況から加減速指令を決定し, 支援情報を提示する部分である. モニターに現在の運転状況や支援情報を提示し, 運転者はこれを見ながら運転を行っている. 支援情報の提示画面を Fig. 5 に示す. 支援情報として, 残距離, 残時間, 現在速度, 制限速度, 現在ノッチ, 支援情報ノッチを運転者に与えた. また, 現在ノッチと支援情報ノッチの差を提示し, 現在速度が制限速度を超えたら赤で表示することで支援情報を分かりやすくした. Fig. 5 の場合, 現在ノッチが 3 で支援情報ノッチが 7 である. その差分の 4 が画面中央に表示されている.

4 シミュレーション

自動運転と支援システムの有効性を確認するためにユーザー A, B によるシミュレーションを行った.

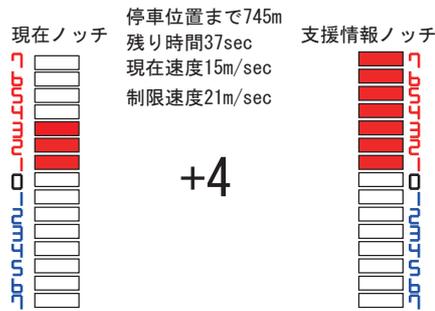


Fig. 5: 支援画面

4.1 シミュレーション条件

(1): スタートから 40[s] までは、目標到着時刻を 80[s] 後に設定し、40[s] 以降は目標到着時刻を 110[s] に変更している。

(2): スタートから 40[s] までは、目標到着時刻を 120[s] 後に設定し、40[s] 以降は、目標到着時刻を 100[s] に変更している。

また、停止位置までの距離 1000[m]、制限速度 21[m/s] としてシミュレーションを行った。

シミュレーションの様子を Fig. 6 に示す。画面に現在の状態や支援情報が表示され、ユーザーは PS2 用のコントローラを用いてノッチ操作を行う。ボタンが加速ノッチ、×ボタンが減速ノッチとなっている。



Fig. 6: シミュレーション風景

4.2 シミュレーション結果

列車の運転のシミュレーション結果を以下に示す。

Fig. 7 は (1) の自動運転、Fig. 8 は (1) のユーザー A、Fig. 9 は (1) のユーザー B、Fig. 10 は (2) の自動運転、Fig. 11 は (2) のユーザー A、Fig. 12 は (2) のユーザー B のランカーブである。また、(1) と (2) の場合の運転状況 (運転時間と運転距離) を表 1、表 2 に示す。

表 1 より、自動運転の場合の到着時刻の誤差は 0.2[s]、停止位置の誤差は 0.1[m]、ユーザー A の場合の到着時刻の誤差は 0.7[s]、停止位置の誤差は 2.5[m]、ユーザー B の場合の到着時刻の誤差は 0.7[s]、停止位置の誤差は 2.5[m] であった。

表 1: (1) のシミュレーション結果

	運転時間 t[s]	運転距離 x[m]
自動運転	109.8	1000.1
ユーザー A	110.7	1002.5
ユーザー B	110.7	1002.5

表 2: (2) のシミュレーション結果

	運転時間 t[s]	運転距離 x[m]
自動運転	99.9	1000.2
ユーザー A	97.2	997.1
ユーザー B	103.5	999.3

表 2 より、自動運転の場合の到着時刻の誤差は 0.1[s]、停止位置の誤差は 0.2[m]、ユーザー A の場合の到着時刻の誤差は 2.8[s]、停止位置の誤差は 2.9[m]、ユーザー B の場合の到着時刻の誤差は 3.5[s]、停止位置の誤差は 0.7[m] であった。

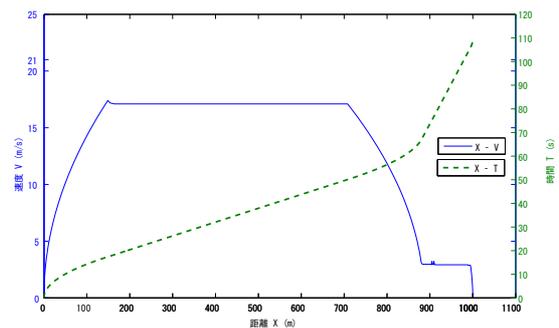


Fig. 7: (1) の自動運転の結果

4.3 考察

Fig. 7 より、自動運転では出発してから制限速度を超えないように列車を運転していて 700[m] 付近でブレーキをかけている事が分かる。定速走行時のノッチ操作の変動が少なく、なめらかな曲線を描いているので良い運転と言える。

Fig. 8 より、ユーザー A はノッチ操作をしきりに行っているため凹凸の運転曲線になってしまいあまり良い運転ではなかった。

Fig. 9 より、ユーザー B はノッチ操作の変動が少なく自動運転に近い運転曲線になった。

Fig. 10 より、自動運転では出発してから制限速度を超えないように列車を運転していて 850[m] 付近でブレーキをかけている事が分かる。ノッチ操作の変化が少なくなめらかな曲線を描いているので良い運転と言える。

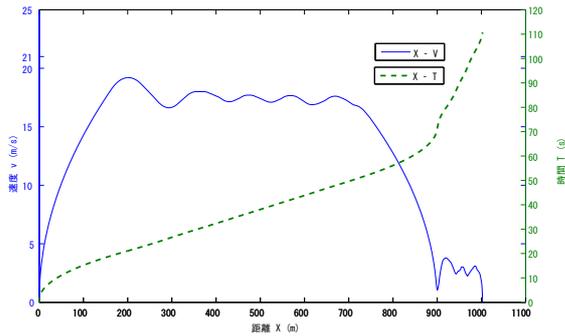


Fig. 8: (1) のユーザー A の運転結果

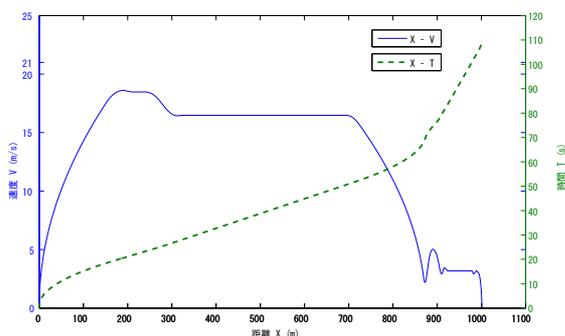


Fig. 9: (1) のユーザー B の運転結果

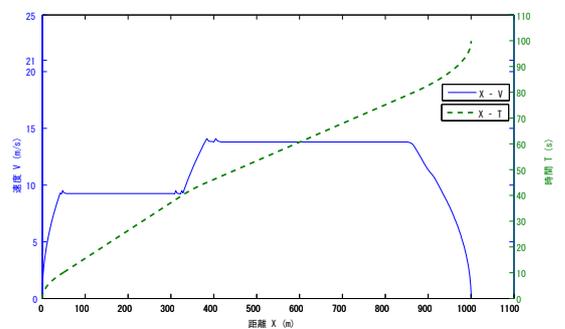


Fig. 10: (2) の自動運転の結果

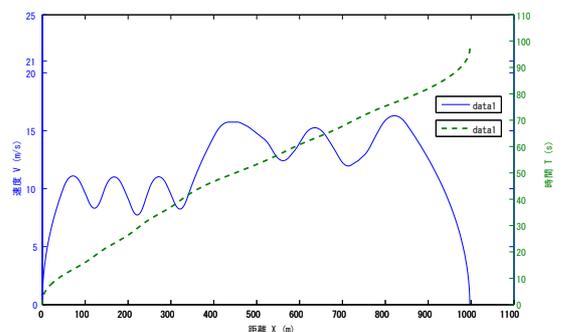


Fig. 11: (2) のユーザー A の運転結果

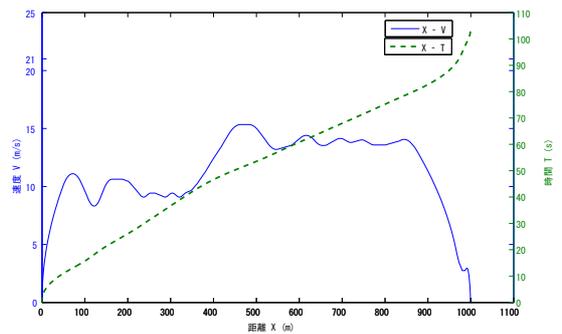


Fig. 12: (2) のユーザー B の運転結果

Fig. 11 より、ユーザー A はノッチ操作をしきりに行っているため凹凸の運転曲線になってしい良い運転とはいえない結果となった。

Fig. 12 より、ユーザー B はユーザー A よりもノッチ操作の変動が少なく自動運転に近い運転曲線になった。目標到着時刻の誤差や目標停止位置の誤差は (1) の場合に比べ (2) の方が大きかった。

また、(1) の 40[s] 後に目標到着時刻が変化する場合でも、Fig. 8, Fig. 9, Fig. 11, Fig. 12 よりユーザーが支援情報に従い列車を運転する事で所定の時刻に目標の停止位置に到着する事ができた。

しかし、自動運転による支援情報は PD 制御のものであるためノッチの上下変動が大きく追従するのが難しいといった問題点もあった。そこで柔軟な制御を行うためにファジィ制御を導入する事を検討している。

そして、支援情報として画面のみだと分かりづらいという意見があったので今後、電車で GO! や音声による支援を取り入れる事を検討している。

5 結論

本稿では、運転支援システムを提案し列車の運転に適用した。

シミュレーションにて、提案する運転支援システムが制限速度を守り所定時刻に定位置停止を実現する事に有効であることを確認した。

参考文献

- [1] 安信誠二, 宮本捷二, 井上廣一: 「予見 Fuzzy 制御方式による列車自動運転」, 計測自動制御学会, システムと制御, Vol.28, No.10, pp.605~613, 1984
- [2] 安信誠二: 「ファジィ制御方式と実システムへの適用」, 電気学会論文誌 C, Vol.109-C, No.5, pp.330~336, 1989
- [3] 大矢純子, 鎌田恵一, 中澤弘二: 「省エネルギーと定刻運転を目指す自動列車運転システム」, 東芝レビュー, Vol.61, No.9, pp.33~36, 2006
- [4] 陳宏揚, 安信誠二: 「列車運転の知的支援システムの開発」, 第 48 回知的制御研究会, pp.51-54, 2005
- [5] 佐藤勝太, 安信誠二: 「知的運転支援の列車への適用」, 第 54 回知的制御研究会, pp.22-23, 2008