

# 制約条件が動的に変化する環境下における知的運転支援システムの開発

A development of the intelligent driving support system under environment where constraint condition changes dynamically

筑波大学 知的制御システム研究室  
University of Tsukuba, Intelligent control system laboratory

○高橋周太郎, 安信誠二  
○Shutaro Takahashi, Seiji Yasunobu

**Abstract:** Train plays a key role as public transportation in our daily life. However, if the transport volume decreases due to irregularities in the timetable of train, it'll be shock to our society. In that case, it is needed for train drivers to recover the transport volume by their driving skills. But actually, it's hard work for non-expert drivers to drive under dynamic environment because driving with consideration of safety and accuracy is multipurpose operation. In this study, we developed an intelligent driving support system based on driving knowledge of the expert driver under environment where constraint condition changes dynamically. By giving appropriate support to drivers, we confirmed that the developed system is effective to the achievement of the recovery of transport volume.

## 1 はじめに

現代の日本社会は鉄道等の公共交通機関によって支えられているため、それらのダイヤの乱れが生じると輸送量が減り、社会に大きな影響がでてしまう。

一般に、数分程度のダイヤの乱れが生じた場合、運転者は走行する中で様々な情報を利用しながら、できるだけ目的地に早く到着する事、安全性を考慮して、運転技術により輸送量の回復を実現しようと試みる。

しかしそのような列車の運転は、動的に変化する制約条件(制限速度・目標地点到着時刻等の様々な事項)を考慮しながらの多目的な作業となり、非熟練者にとっては困難な作業となる。

そこで本論文ではこの問題に対して、人間の感覚や知識等を取り入れた知的制御の適用を考え、熟練者の運転知識を列車の制御器に組み込むことで、非熟練者(被支援者)による的確かつ柔軟な運転を実現し、輸送量の回復につながる運転ができるように知的運転支援をするシステムの開発を目指した。

## 2 列車の運転

### 2.1 運転作法

一般に、列車の運転手は以下の情報を上手く利用し、(A)~(D)のような運転を行っている。

- 信号機の状態が変化までの時間
- 現在位置から信号機までの距離
- 駅の停車位置

(A) 発車 安全確認後、出発の合図を受けるとブレーキを緩め、ノッチを投入して加速する。

(B) 走行 速度制限が複雑に変化する区間でなければ、ある速度まで到達後にノッチオフし、通過・停止位置に対するブレーキ開始位置まで惰行運転を行う。

(C) 通過 信号機や通過駅付近においては、一旦停車してから再発進して通過、もしくはある速度を持ったまま信号機の状態が青に変化する時刻を見計らって通過する。

(D) 停車 停車駅に接近すると、残距離・乗客数・天候等の様々な事項を考慮しながらブレーキの開始位置や大きさを考えながら減速する。

その際、運転者は、(1)~(3)の条件を順守しながら運転をしている。

- (1) 制限速度の順守
- (2) 信号機・通過駅付近における通過時刻の順守
- (3) 指定した停車位置に精度良く停車

### 2.2 信号機付近における列車の運転

輸送量を回復する(目的地に早く到着する)ための運転として、信号機付近における列車の運転について考えた。信号機付近における列車の運転は、本来ならば信号機の状態が青に変わる直前に急停車し、変わった直後に急加速する速度パターンが1番最適なのだが、列車は特性上、瞬時の停車・発進という動作が困難な乗り物であるため難しい。しかし熟練者は列車の動特性を熟知し、与えられた情報を利用して Fig.1 のように、制限速度ギリギリで通過するように運転をしている。一方で非熟練者は、与えられた情報を上手く利用できないため、信号機付近において一旦停車し、再発進するという運転をする。

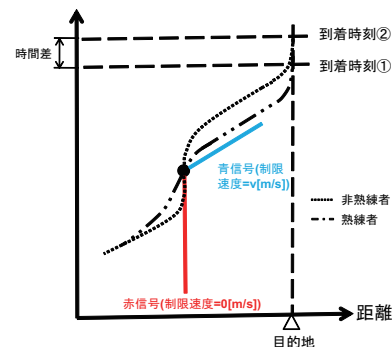


Fig. 1: 信号機付近での速度パターン

## 3 熟練者の運転の解析

信号機の状態が赤(制限速度=0[m/s])ということは、S-Tグラフの傾きの制約条件が $\infty$ であり、信号機の状態が赤から青(制限速度がある速度)に変化することは、S-Tグラフの傾きの制約条件が $\infty$ からある一定の傾きに変化するということを示す。つまり信号機の状態が赤から青に変わった瞬間に制限速度の制約条件が Fig.1 のように変化するので、熟練者はこれらの制約条件を回避するように現在状況に応じて、信号機までの残距離、信号機の状態が変化までの時間等を考慮しながら制限速度ギリギリで信号機付近を通過できるように運転をしている。

## 4 知的運転支援システムの構成

開発した知的運転支援システムは、Fig.2のように3部構成にした。

### 4.1 運転目標設定部

通過・停車区間に応じて、現在速度・制限速度・残距離・残時間等の情報から目標速度を設定する。これ

らの情報が動的に変化しても運転者は制約条件を順守しながら、所定位置に通過・停車できるように目標速度を設定する。

#### 4.2 操作量決定部

目標速度・残時間・残距離・乗り心地等を 3 章で記した熟練者の知識に基づいて考慮し、制御ノッチを決定する(予見ファジィ制御則を適用)。信号機・停車駅に近づくとブレーキをかけ、減速が始まってからは位置精度・乗り心地を考慮し、制御ノッチを決定する。具体的には、制限速度を守りながら列車を走行させる走行制御部・目標通過位置に列車を制限速度ギリギリの速度で通過させる通過制御部・目標停車位置に列車を停車させる停止制御部からの出力の最小値を制御ノッチとした。

#### 4.3 支援実行部

非熟練者による操作が、操作量決定部で決定された制御ノッチと同じになるように非熟練者に指示をする。支援情報の提示方法は画面情報を利用した。

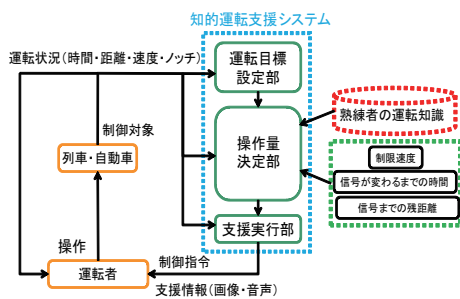


Fig. 2: 知的運転支援システムの構成

## 5 シミュレーション

### 5.1 条件

本論文ではシミュレーション環境を実際問題と同じ、ATSの働きによって安全が保障されている環境とし、制限速度を18[m/s]として出発し、出発から80[s]後に前方列車の影響で、信号機の状態が赤から青(制限速度が0[m/s]から23[m/s])に変化するとした。そして、2つの駅間(2000[m]地点)に1つの信号機(1000[m]地点)を設置し、シミュレーションを行った。

そして、支援システムを導入しない場合と導入した場合の結果を比較して、知的運転支援システムの有用性を示した。

### 5.2 結果と考察

Fig.3 からわかるように停車位置に関しては、支援システムを導入しない場合の停車位置が2001.3[m]となり1.3[m]ほどずれが生じてしまったのに対し、支援システム導入時は2000.2[m]となり、ずれが小さくなった。このことから、支援システムの導入は正確さの追求に有効であることが確認できた。

また Fig.5 からわかるように、支援システムを導入しない場合のノッチ変化回数が63回に対して、支援システム導入した場合の結果は26回となり、ノッチの変化回数が少なくなったことがわかった。この結果から支援システムの導入は、特に停車直前でのノッチ変化回数を大幅に軽減できているため、乗り心地の悪化の防止にも有効であることが確認できた。

さらに、Fig.3 と Fig.4 からわかるように、支援システムを導入しない場合は与えられた情報を上手く利

用できないため、信号機付近で一旦停車し、信号機の状態が赤から青に変わった瞬間に再発進したり停車位置付近で再加速している。この停車・再発進の際にかかる時間により、到着時間が162[s]となった。これに対して支援システムを導入した場合は、制限速度ギリギリの速度で信号機付近を通過し、停車位置付近でスムーズに停車しているので、到着時間が142.5[s]となり、支援システムを導入しない場合より19.5[s]早く目的地に到着できた。

以上の結果から支援システムの導入によって非熟練者(被支援者)でも、正確に、快適に、迅速に目的地に到着するような運転ができ、輸送量の回復につながる運転ができるようになる事がわかった。

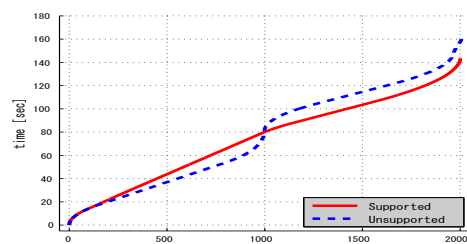


Fig. 3: S-T グラフ

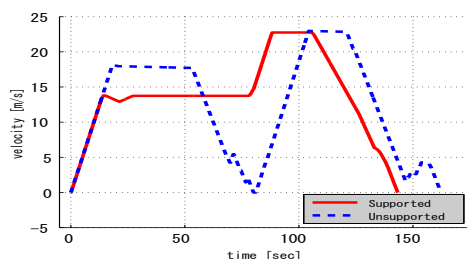


Fig. 4: 速度の時間的変化

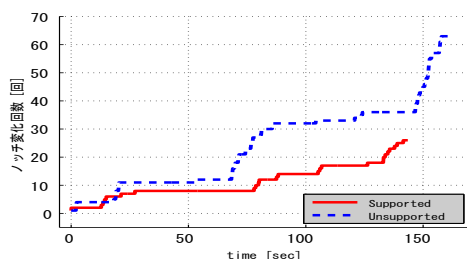


Fig. 5: ノッチの変化回数

## 6 おわりに

本研究では信号機付近における熟練者の運転について解析し、熟練者の知識に基づいた知的運転支援システムを構築した。そして、構築したシステムを用いた非熟練者による列車運転のシミュレーション実験を行い、知的運転支援システムを利用すれば、非熟練者でも正確に、快適に、迅速に目的地へ到着でき、輸送量の回復につながる運転ができる事を示した。

今後は、より実際問題に近づけるために、MatlabのVirtual Reality Toolboxを利用して、状況の可視化をしたり、シミュレーション環境をさらに複雑化することで実験の質を高めていく。

## 参考文献

- [1] 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
- [2] 安信誠二, 『ファジィ工学』, 昭晃堂, 1991