

# 列車群の許容電力を考慮した運行方式の提案

Proposition of train service method considering permission electricity

○氏家 義弘  
○Yoshihiro UJIIE  
筑波大学 知的制御システム研究室  
University of Tsukuba Intelligent control system Lab.

安信 誠二

Seiji YASUNOBU

**Abstract:** An electricity reduction policy is found in Japan, and the service that took electricity into account is demanded from the field of railroad now. It is necessary to operate a train by changing it into the service method appropriate to it to realize service in consideration of permission electricity without reducing a transport service. However, it is difficult to hold the method without the support to a driver. Therefore I suggest the service method that can reduce peak electricity by considering the run situation of the run vehicle group in this article and build the system using it. And it is intended to hold down total electricity of the train group using it. Considered permission electricity by performing the driving order using the service method that suggested in this study; inspected that could travel by simulation.

## 1 はじめに

現在、全国で電力削減を目指す動きが活発になっている。特に重視されているのはピーク電力の抑制で、鉄道業界もさらなる電力考慮が課題となっている。

ピーク電力を減らす方法として、同じ時間帯に運行を行う列車の本数を減らす、いわゆる間引き運転が挙げられるが、輸送サービスが低下してしまい、また運行本数減少が起因の混雑による大きな遅延が生じてしまうという欠点がある [1]。このため、運行に支障をきたさないように間引きを用いない運行方式を考える必要がある。

そこで本論文では、許容電力を考慮に入れても円滑に運行が行える方式を提案し、これを用いて運転手への運転指令を行うシステムの開発を行う。このシステムを用いることによって、列車群の総電力を許容電力内に収めることを目指す。

## 2 許容電力を考慮した運行方式

許容電力を考慮に入れた運行方式は、列車群の運行状況を考慮する必要があり、運転手の経験・知識 [2] だけで解決するのは困難である。そのため、列車群の管理をしている運行管理員に着目し、運行管理員の考え方を用いてシステムを構築することを目指す。

### 2.1 運行管理員の考え方

運行管理員は、許容電力が設定された路線中で、各列車にどのような指示を与えれば許容電力内に総電力を抑えることができるかを考えている。そして各列車の現在状況から、評価指標を用いて適当な運行方法を判断し、運転手に運転指令・支援を行っている。

### 2.2 評価要素

運行制御を決める評価要素として、「総電力」と「速度偏差」の2つを用いる。

#### (1) 総電力

同時に加速を行う車両の数が多いと、総電力が増加してしまう。そのため、同時加速を行う列車の本数を減らしたり、列車の加速度を制限させることによって、総電力が許容電力内に収まるようにする。

#### (2) 速度偏差

加速度制限を速度が遅い車両を適用すると、その列車の次駅に到着する時間が遅くなり、遅延の原因となってしまふ。そのため速度偏差を用い、速度が遅い列車を判別し、優先的に加速させるようにする。

### 2.3 運転手への指令方法

運転指令は運転手が把握しやすいものにする必要がある。そこで、運転手が運転を行う際に操作するノッチの操作量に着目し、ノッチ操作量の最大量を指示することによって、許容電力を考慮した運転を行わせることにする。

## 3 列車の概要

### 3.1 列車の性能

本研究のシミュレーションで用いた列車モデルのは表1のようになっている。

### 3.2 列車の加減速度・使用電力量

列車は、ノッチを操作することによって加速・減速を行う。ノッチは、-7~7までの15段階とし、+は加速、0は惰行、-は減速を行うようになっている。

表 1: 列車モデルの仕様

車両数	5 両
車両重量	180[t]
主電動機出力	150[kW]
電動機数	12 個
編成出力	1,800[kW]
電気方式	直流 1,500[V]
最大起動加速度	3.6[km/h/s]
最大減速度	3.0[km/h/s]
一両あたりの定員	140[人]

### 3.2.1 加速度

列車は、ある程度の速度までは起動加速度で加速を行うが、速度が上がるにつれて加速度は減少する。加速度の減少具合は、列車の重量、電動機の出力、現在速度によって変わる [3]。

ノッチ操作量に対する起動加速度と電動機出力の関係を表 2 のように設定した。

表 2: ノッチ操作量と各数値の関係

操作量	起動加速度 [km/h/s]	最大編成出力 [kW]
7	3.60	1,800
6	3.09	1,543
5	2.57	1,286
4	2.06	1,029
3	1.54	771
2	1.03	514
1	0.51	257
0	0.00	0

列車がけん引力を  $F$ [kg]、速度を  $V$ [km/h] で運転されている時、列車の編成出力  $P_t$ [kW] は (1) 式のように求まる。

$$P_t = \frac{FV}{367} \quad (1)$$

ここで、走る路線が平坦 (勾配も曲線もない直線) ならば、けん引力  $F$  は、

$$F = (R_r + F_a)W \quad (2)$$

となる。 $R_r$  は走行抵抗 [kg/t]、 $F_a$  は加速力 [kg/t] を表しており、車両数を  $n$  両、車両重量を  $W$ [t]、列車の加速度を  $\alpha$ [km/h/s] とすると、それぞれ (3) 式、(4) 式のようにして求めることができる。

$$R_r = 1.32 + 0.0164V + \frac{\{0.0280 + 0.0078(n - 1)\} V^2}{W} \quad (3)$$

$$F_a = 31\alpha \quad (4)$$

(1) 式に (2)~(4) 式を適用することにより、列車の加速度  $\alpha$  は (5) 式のようになる。

$$\alpha = \frac{367P_t}{31VW} - \frac{R_r}{31} \quad (5)$$

(5) 式の加速度が、起動加速度以下になった場合は、電車はこの加速度で走行を続ける。なお、ノッチによる加速度の変化は、表 1 の最大編成出力の値を (5) 式に代入すれば求めることができる。

### 3.2.2 惰性走行

惰性走行時は、列車自体の加減速度は 0[km/h/s] であるが、走行時の抵抗によって徐々に減速する。その際の減速度を  $D$ [km/h/s] とすると、(8) 式によって求めることができる。

$$D = \frac{R_r}{31} \quad (6)$$

### 3.2.3 減速度

減速度に関しては、ノッチの操作量に対して一定の減速度になるように設定した。各操作ノッチの状態量による減速度は、表 3 のように設定した。

表 3: ノッチ操作量と減速度の関係

操作量	減速度 [km/h/s]
7	3.00
6	2.57
5	2.14
4	1.71
3	1.29
2	0.86
1	0.43
0	0.00

## 4 運転指令システム

構築した運転指令システムの全体構成は図 1 のようになっている。

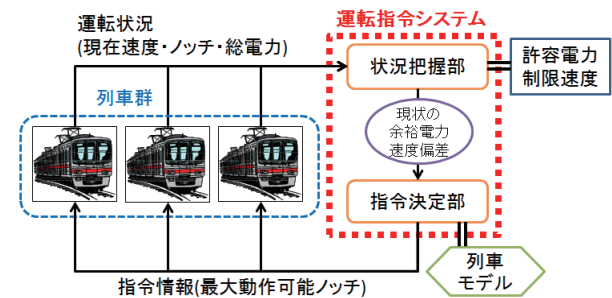


図 1: 運転指令システムの全体構成

#### 4.1 状況把握部

列車群のそれぞれの車両の現在速度、ノッチ、そして列車群全体の総電力を情報として状況把握部に入力する。その情報から、現状における余裕電力と速度偏差をもとめる。求めた2つの情報を指令決定部へ出力する。現状の余裕電力と速度偏差のそれぞれの求め方を以下に示す。

##### (1) 現状の余裕電力

余裕電力は、路線に設定された許容電力と、列車群が使用している総電力の差から求まるものである。余裕電力を  $P_r[kW]$ 、路線の許容電力を  $P_p[kW]$ 、総電力を  $P_{all}[kW]$  とすると、余裕電力は(10)式で表すことができる。

$$P_r = P_p - P_{all} \quad (7)$$

##### (2) 現状の速度偏差

速度偏差とは、列車の現在速度と路線中の制限速度の差である。列車  $i$  の速度偏差を  $v_{di}[km/h]$ 、路線の制限速度を  $v_l[km/h]$ 、列車  $i$  の現在速度を  $v_{ni}[km/h]$  とすると、速度偏差は(11)式のように求まる。

$$v_{di} = v_l - v_{ni} \quad (8)$$

#### 4.2 指令決定部

指令決定部では、状況把握部から出力された情報を入力とし、現在の状態からノッチを操作した際の値を、列車群中のそれぞれの車両に関して求める。それを評価要素として予見ファジィ制御 [4] を用いて評価し、操作指令(最大動作可能ノッチ)を決める。

具体的には、状況把握部にて求めた現状における余裕電力と速度偏差に、ノッチ操作をした際に予想される状態変化量を足すことによって将来状態(1秒後)における余裕電力、速度偏差を求める。その2つを評価要素として用い、ファジィ多目的評価を行うことによって最適な操作量を決定する。将来の余裕電力、速度偏差の算出方法は以下の通りである。

##### (1) 将来の余裕電力

将来状態の余裕電力を  $P_{rN}[kW]$ 、現状の余裕電力を  $P_r[kW]$ 、7ノッチ時の使用電力を  $P_7[kW]$ 、列車  $i$  の現在状況からのノッチ変化量を  $\Delta N_i$  とすると、将来状態における余裕電力は以下ようになる。

$$P_{rN} = P_r + P_7 \cdot \frac{\Delta N_i}{7} \quad (9)$$

##### (2) 将来の速度偏差

加速優先を決める為に将来状態の速度偏差を求

める。速度偏差を用いることによって、速度が遅い列車とそうでない列車を判別し、速度が遅い車両を優先的に加速させることができる。

列車  $i$  の将来状態の速度偏差を  $v_{dN_i}[km/h]$ 、現状の速度偏差を  $v_{di}[km/h]$ 、7ノッチ時の加速度を  $\alpha_7[km/h/s]$ 、現在状況からのノッチ変化量を  $\Delta N_i$  とすると、将来状態における速度偏差は以下のようなになる。

$$v_{dN_i} = v_{di} + \alpha_7 \cdot \frac{\Delta N_i}{7} \quad (10)$$

以上より、求めた2つの評価要素を、あらかじめ設定したメンバーシップ関数に基づいて各指標を評価することによって、操作量を決定する。各操作量決定は予見ファジィ制御則に基づいて決定することにする。図2にファジィ評価による各指標に基づいた操作量の決定過程を示す。

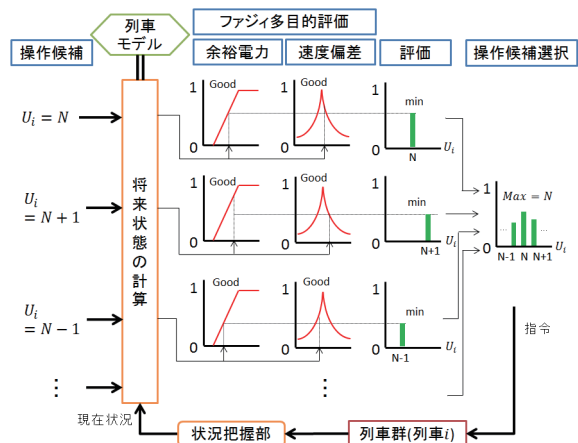


図2: 指令決定部のファジィ評価

## 5 シミュレーション

### 5.1 条件

シミュレーションを行う環境として、図3のような路線を用意した。

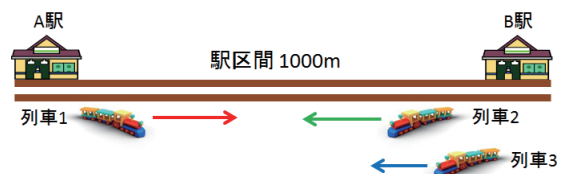


図3: シミュレーション路線

平坦な路線中に A 駅と B 駅の 2 つの駅を設置する。駅間距離は 1,000[m]、路線の制限速度は 72[km/h]、許

容電力上限は 2,500[kW] に設定した。この路線に、3 つの列車が列車群として配置されており、A 駅に列車 1、B 駅に列車 2,3 が停車している。列車群は、

1. 列車 1 が A 駅を、列車 2 が B 駅を同時刻に発車する。
2. 列車 2 が 500[m] 走行したら、列車 3 が B 駅を発車する。

というダイヤを基本として運行を行うものとする。いずれの列車の乗客率も 100 % (700 人) とする。なお、乗客 1 人の重さは 60[kg] とする。

また、前章の運転支援システムは、列車 1 と列車 3 に適用するものとする。この理由としては、最優先で加速を行って運行する列車(列車 2)が存在するときに、その他の車両(列車 1,3)に対して運転指令システムがどのような判断を行い、どのような指令を列車群に送るのかを検証するためである。

## 5.2 結果と考察

構築した運転指令システムが有効であるかを確認するため、システム適用前と適用後の総電力の結果を示す。

図 4 は、運転指令システムを適用する前の列車群の総電力のグラフである。この場合列車群は、許容電力を考慮せずに運行を行っているため、総電力が許容電力を超えてしまっている。

図 5 は、運転指令システムを適用した際の列車群の総電力のグラフである。グラフの通り、指令システムを適用することによって、総電力が許容電力内に収まっていることがわかる。

以上の結果より、本研究で構築した運転支援システムは、許容電力を考慮した運転を行えることを示した。

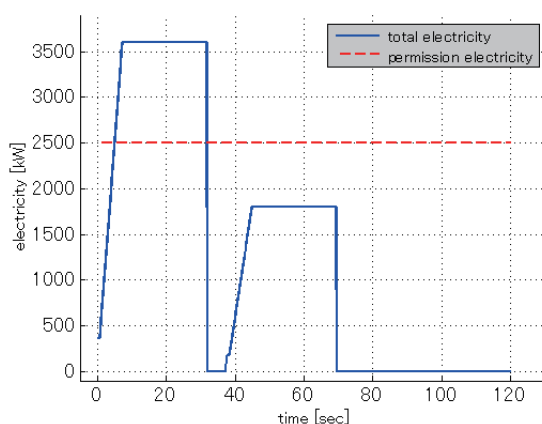


図 4: 列車群の総電力 (システム適用前)

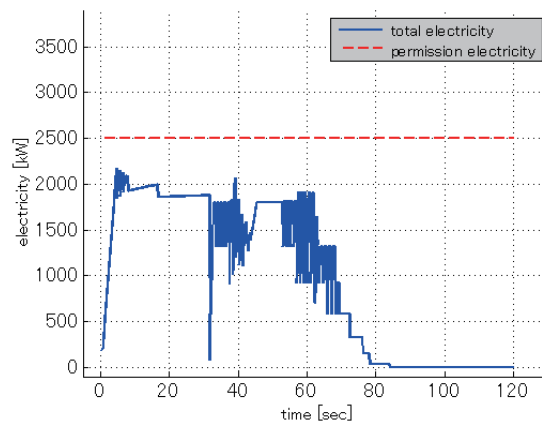


図 5: 列車群の総電力 (システム適用後)

## 6 おわりに

本研究では、列車群に許容電力を考慮した運行をさせるために、運転指令システムを構築し、その効果をシミュレーションを用いることによって検証を行った。そして検証した結果、提案手法を用いた運転指令システムは列車群に総電力を許容電力を許容電力内に収めた運転を行わせることができた。

本研究の今後の展望としては、乗客数の変化、勾配、曲線などの路線の状況などの様々な環境変化にも対応できるようにしたい。また、運転シミュレーションシステムを作成し、運転手側の視点でシミュレーションを行うことにより、運転手へ指示を送ることは効果的なのかを検証する予定である。

## 参考文献

- [1] 田口東：「東日本大震災による電力供給不足に対応した首都圏鉄道網運転調整の影響と分散乗車」、日本オペレーション・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp.4-5, 2011
- [2] 佐藤勝太, 安信誠二：「所定時刻に定位置停止を実現する運転支援システムの構築」、第 37 回知能システムシンポジウム, pp.231-234, 2010
- [3] 飯田 真,『電気鉄道』, 電気書院, 1973
- [4] 安信 誠二,『ファジィ工学』, 昭晃堂, 1991

## 連絡先

〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1  
 筑波大学 理工学群 工学システム学類  
 知的制御システム研究室 氏家義弘  
 E-mail: ujiie@fz.iit.tsukuba.ac.jp