

G-23

動的計画法による走行抵抗を考慮した消費電力低減の駅間走行法

To Reduce Power Consumption Running Curve Between Stations Considering Running resistance Using Dynamic Programming

○野村清之¹, 香取照臣², 泉隆³

*Kiyoyuki Nomura¹, Teruomi Katori², Takashi izumi³

To reduce power consumption, we find the running curve that take a minimum amount of power using dynamic programming. And to generate realistic running curve, we are considering running resistance.

1. まえがき

鉄道は安全性・信頼性の面で自動車交通やほかの交通の面から比べても高く評価されて、日本の都市において主流の交通手段となっている。1986年頃から減速の時に主電動機を発電機と利用し発生させた電力を近くを走るほかの電車に供給し、電力を再利用する回生ブレーキの導入など、消費電力低減に努めている。また列車の走り方は莫大にあり、組み合わせ爆発が起きてしまう。

本研究では列車抵抗を考慮した消費電力を低減する列車走行法の検討をしている。本論文では、電力量を最小とする走行曲線を動的計画法を用いて求める方法を述べる。

2. 列車運行の基礎

<2.1>ランカーブ

時間に対する列車の速度の変化を表したグラフをランカーブ(運転曲線図)と呼ぶ。図1はランカーブの例である。ランカーブは一般に横軸に距離とすることが多いが、図1では横軸を時間としている。

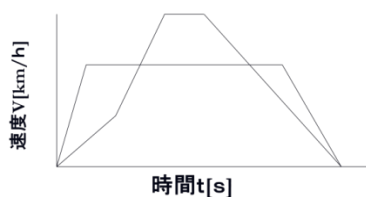


図1 ランカーブの例

図1の2つのランカーブを比較すると、加速に違いがあり、モーターの消費電力が異なる。

<2.2>回生電力

ブレーキ時に、モーターを発電機として作用させる。発生した電力を架線に戻して近隣を走行する列車が電力を使えるようにする。これを回生電力という⁽¹⁾。

3. 動的計画法による列車走行パターンの算出

<3.1>動的計画法

動的計画法は最適化問題を解くもので、その最適化問題を1種の多段決定問題としてとらえ、決定すべきX個の最適決定を順次行うことで問題全体の最適解を模索する⁽²⁾。

<3.2>最小電力値のランカーブ生成方法

図2に示すように、横軸に列車の走行時間、縦軸に列車の走行距離をとる。横軸は1[s]ごとに縦軸は0.01[m]ごとにとった配列を2つ用意し2列車を表現する。

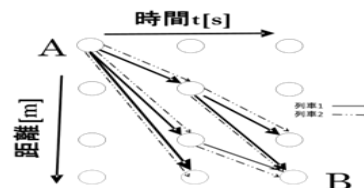


図2 動的計画法による列車走行パターン

ある時刻 t[s]における列車の現在位置 d[m]から時刻 t+1[s]の列車の位置を列車の加減速度の限界まで0.1[m]刻みで動かす。その各々の場所での加速度、速度を求める。この二つの値より電流値が決まる。その後電力を算出する。速度に対する電流特性を図3、電力算出の式を式(1)に示す。

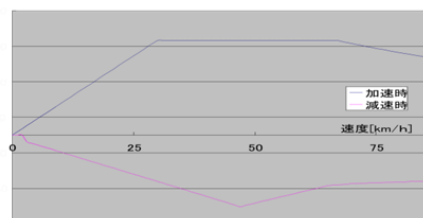


図3 速度に対する電流特性⁽²⁾

$$P[W]=I[A] \times V[V] \tag{1}$$

ここで電圧は1650[V]一定とする。

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大短大・教員・総合 3 : 日大理工・教員・情報

走行抵抗を考慮するため t+1 秒での速度より引張力を算出する。引張力はモーター特性を示したノッチ曲線から得た。同時に t+1 秒の速度から走行抵抗を求める。走行抵抗の式を式(2)に示す。

$$R_t = (16.2 + 0.242V)M_d + (7.65 + 0.0275V)M_t + \{0.0275 + 0.076(n-1)\} \quad (2)$$

M_d : 動力車の重量(ton) M_t : 付随車の重量(ton)

V: 列車の速度 n: 1 列車の車両数

求めた 2 つの値はともに力であるので二つの値を足しその値を t+1 秒での引張力とし、引張力を速度に戻す。その速度に応じた位置に列車の位置を変更することで走行抵抗を考慮した。変更した位置にもともと入っている電力値と先ほど求めた電力値を比較する。評価値は、総電力量が少ないものを最適解とする。総電力量を以下の式に示す。

$$\text{総電力量} : f(i, j, t) = \min[f(i, j, t-1) + |\Sigma P|] \quad (3)$$

$f(i, j, t)$ は、時刻 t における列車(i)と列車(j)位置での総電力量、 ΣP は、時間 t における列車(i)と(j)の瞬時電力の和を示す。これを繰り返し終点まで行う。解がすべて出た後、終点から始点に逆戻りをする。解がある場合、列車の総電力量と瞬時電力を最小とする走行パターンが求まる。

4. 結果

表 1 走行時の条件

列車数	10両編成2列車
探索距離	0.1[m]刻み
列車の加速度	-0.5~+0.5[m/s ²]
制限速度	80[Km/h]
走行距離	1200[m]
所要時間	105[s]
走行抵抗	あり

2 列車は同じ駅間を逆向きに同時出発で走っている設定である。表 1 の条件で回生電力を考慮した 2 列車のシミュレーション結果を実線、回生電力を考慮しない場合を点線で図 3,4 に示す。また回生電力を考慮していない場合、2 列車が同じランカーブで走行しているとする。

表 2 消費電力

	総消費電力量(MW)
回生電力考慮なし2列車	194
回生電力考慮あり2列車	180

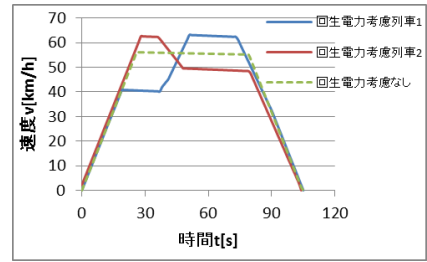


図 3 ランカーブ

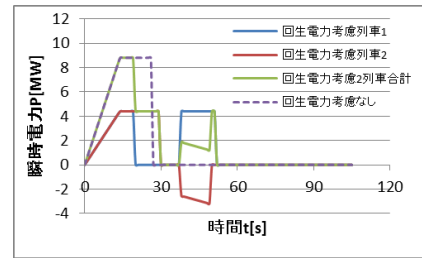


図 4 瞬時電力の推移

回生電力を考慮した結果、回生電力を考慮していない結果より消費電力を 14MW 低減できた。図 3 の実線のランカーブより 80 秒後から 2 列車とも減速し、回生失効が起きている。現在の設定では 2 列車を同時に発車させているので、発車タイミングをずらすことによって、片方の列車が力行している時にもう一方の列車が減速をしている状況を増やすことで消費電力が低減できる。

5. まとめ

列車が目的地に時間内に到着し、動的計画法を用いて消費電力が最小となるランカーブを求めた。また、走行抵抗を考慮することでより現実的な走行曲線を得られた。

今後の課題として距離を伸ばすこと、列車数の増加が挙げられる。これらを実現する上で計算時間の増加、メモリ不足の可能性があるため、こちらも検討の必要がある。

参考文献

- (1) 運転理論研究会, ” 運転理論(改訂版) ”, 日本鉄道運転研究会 (2002 年)
- (2) 鎌原今朝雄, ” 電力設備の容量計算 ”, 日本鉄道電気技術会 (1999 年)
- (3) 野村, 香取, 泉, ” 動的計画法を用いた消費電力低減の駅間走行法の検討 ”, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会, PS4-5(2013. 9)