G-24

消費電力低減のための動的計画法を用いた一列車走行法の検討

One train running method using a dynamic programming for reduction power consumption

○川龍一[1], 香取照臣[2], 泉隆[2]
*Ryuichi Kawa[1], Teruomi Katori[2], Takashi Izumi[2]

Calculation for power consumption reduction running curve, we use dynamic programming that includes vehicle's notch feature and consider running resistance. We could get best running curve and power consumption.

1.　まえがき

鉄道は大量性，安全性といった特徴を持った交通機関である．日本は比較的人口密度が高く，都市内輸送，都市間輸送において鉄道が重要な役割を担っており，日本での交通において電気鉄道は交通の主流となっている．

電気鉄道は電気エネルギーにより走行するため，消費電力を低減することは重要な課題である．このようなことから回生電力の利用も含めて，電力を低減する列車走行法の求め方を研究している．

本論文では動的計画法による列車の最適な走行パターンを求めることについて述べる．

2.　動的計画法による最少消費電力の算出

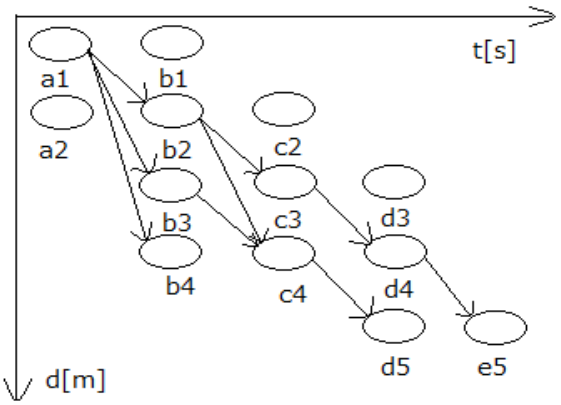

図 1　1 列車における動的計画法の流れ

動的計画法は最適化問題を解くもので，部分的な最適解を求めていくことを順次行うことで，問題全体の最適解を求めていく．

図 1 のように a1 から e5 までを走査し，動的計画法の特徴から，同じことを 2 回以上繰り返すことなく消費電力が最小となるパターンを算出できる．

図 1 は本研究で用いている動的計画法のモデルで縦軸に距離 d，横軸に時間 t，傾きが速度 v である．

本研究では次状態(走行位置)の決定は速度 v とノッチから図 2 のノッチ曲線で電流 I を求める．ノッチ曲線は主電動機の特性を考慮して，実際に列車が走行する際に有効となる速度，引張力，電流などの関係を表したものである．電流 I から図 3 により引張力 F を求める．この引張力 F を車両の重量で割ることにより加速度 a が求まり，a は図 1 での速度の変化すなわち傾きの変化であるので，そこから次の時点の位置 d が求まる．これを駅停車までくりかえし消費電力量を求める．

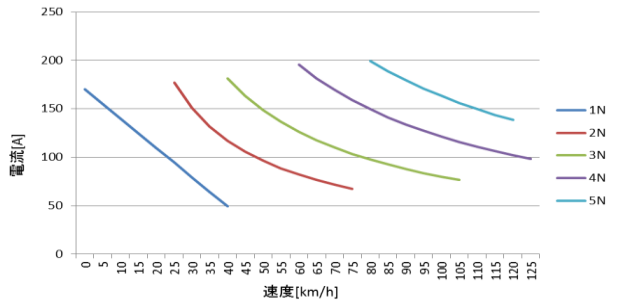

図 2　ノッチ曲線(速度－電流)　[1]

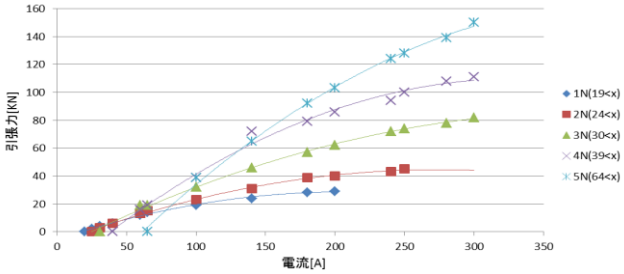

図 3　ノッチ曲線(電流－引張力)　[1]

3.　動的計画法によるシミュレーション

図 1 の動的計画法の流れに基づいて消費電力を求め

1:日大理工・学部・子情　2:日大理工・教員・情報

る．図 4 にフローチャートを示す．

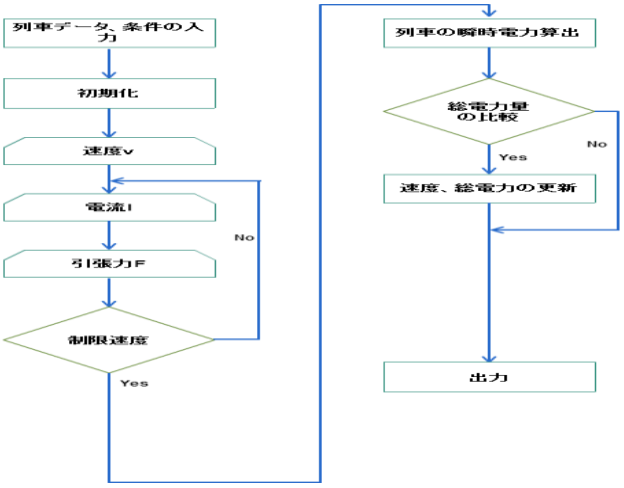

図 4　動的計画法のフローチャート

2 で述べたように速度から電流を求めていき，制限速度を超えていないかなどの判断をしながら，その時間ごとの電力を算出し比較をしてより少ない電力の総和(=電力量)を出力する．

電力の算出は架線から供給される架線電圧 1500[V]を V とし，ノッチ曲線から算出した電流値を I とし，以下の式より求める．

$$P[W] = I[A] \times V[V] \quad (1)$$

それに加え列車が平坦直線路を走行する時に発生する走行抵抗も考慮する．

$$Rr = (16.2 + 0.242v)Md + (7.65 + 0.0275v)Mt + \{0.0275 + 0.076(n-1)v^2\} \quad (2)$$

Md:動力車の重量　Mt:付随車の重量

v:列車の速度　n:1 列車の車両数

4.　結果と考察

モデルとした車両は東葉高速鉄道 2000 系である．走行時の条件を表 1 に示す．

表 1　走行時の条件

走行距離	1000・2000[m]
所要時間	66・105[s]
列車数	10両編成1列車
制限速度	100[km/h]

表 2　消費電力

	総消費電力量[MWh]
1000m走行列車	18.59
2000m走行列車	27.43

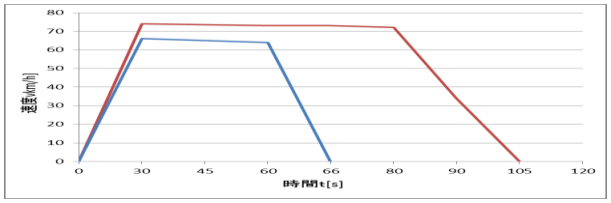

図 5　ランカーブ(時間－速度)

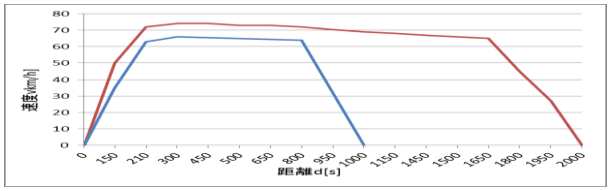

図 6　ランカーブ(距離－速度)

図 5，6 より，駅間距離 1000m (青線)は出発から 30 秒まで加速し惰行をしたのち減速，駅間距離 2000m (赤線)は出発から 30 秒まで加速し，そこから 80 秒まで惰行運転，最後に減速する走行方法が最適となった．この 2 つの結果から惰行運転の時間をとることで電力を節減している．ここでは勾配を考慮していないため，勾配を考慮すると，惰行運転中などに加速が必要になるので電力量も増え走行方法も変わる．

5.　まとめ

少ない消費電力量の走行パターンを求めるため，最適解を効率よく求められる動的計画法を用いて結果を算出した．動的計画法に車両のノッチ特性を組み込み，走行抵抗を考慮することで，時間ごとの最も少ない電力量を求め，総和から消費電力量を求めることができた．

今後の課題として，き電回路モデルによる電圧降下の組み込み，複数列車の走行による回生電力を活用した電力低減走行法を検討することなどが挙げられる．

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）