

# トラック隊列走行の運用コストによる最適編成の評価

05001431 東京海洋大学 \*戸田 麟太郎 TODA Rintaro

01900990 東京海洋大学 渡部 大輔 WATANABE Daisuke

## 1. はじめに

トラック隊列走行 (Truck Platooning) とは、先頭車の運転手が後続車の制御を行うことができる電子連結を用いた、自動運転の応用の一つであり、増加し続ける貨物輸送需要と深刻なドライバー不足など、近い将来のトラック輸送の効率化のための解決策として期待されている。トラックの隊列走行に対して、燃料費や人件費などのコストの最小化や評価を行う研究 [1, 2] がなされてきた。川瀬他 [3] では人件費、燃料費、車両・貨物コストの評価を、幹線上で機会的に隊列を形成するという仮定をおいて行っている。本研究は機会的形成ではなく事前計画として、後続無人隊列走行を対象とした燃料費、人件費、貨物コストを対象とし、様々なパラメータを変化させることで各ケースの最適編成台数を提案する。

## 2. トラック隊列走行の概要

隊列走行では空気抵抗の低減による燃料費の削減、後続無人化による人件費の削減が可能である。後続無人の運用システムについては、マッチングを行う主体のほか、隊列の形成・解除とともに隊列を組むトラックの待機スペース (Platooning Formation Center) が必要となる。本論文ではこれを PS (Platooning Station) と呼ぶこととする。

本論文では日米欧の取り組みの比較に基づき、日本の幹線輸送の隊列走行のケースを考察する。数値計算のパラメータについては、現状の日本における数値を用いることとする。最大隊列構成台数としては、日本においては現状3台までと規定されているものの、規制緩和の可能性を鑑みて、欧州での想定である6台と設定した。

## 3. 定式化

本研究では、以下のルートにおけるコストを定式化する。トラックが単一の GW (Gateway) を起点とし、単車走行で幹線上の PS へ向かい、そこで隊列を形成する。後続無人であるので、ここで後続トラックのドライバーは GW へ乗用車でまとめて戻す (回送)。幹線上を隊列走行し、次の PS において隊列を解除する。最後に後続車のドライバーを終点の GW から回送し、GW まで単車走行を行う。起点側を GW1、PS1、終点側を GW2、PS2 とした。回送時コストも含めている。

又、隊列対応トラックが、1台のみでなく到着時刻を同じくして複数台で PS に到着するケースを想定したものが、変数の「到着時間の同じトラック台数」であり、その群が1時間あたり何回 (何台ではなく) 到着するかを表すのが「隊列対応トラックの到着回数」である。数値計算において特別に待機時間の上限を設けない限り、トラックが「最大隊列構成台数」到着してから出発をする。後続トラックが到着するまで待機中も人件費がかかり、待機中は燃料費は発生しないことを仮定する。

入力変数、数値計算において基本とする入力値

$n_t$ : 分析対象のトラック台数 (台)、6 台

$n_g$ : 到着時間の同じトラック台数 (台)、1 台

$n_p$ : 最大隊列構成台数 (台)

$t_g$ : 隊列対応トラックの到着回数 (回/時間)、6 回

$t_1, t_2$ : GW-PS 間の時間距離 (分)、いずれも 20 分

$t_H$ : PS-PS 間の時間距離 (分)、359 分

$d_1, d_2$ : GW-PS 間の距離 (km)、いずれも 10km

$d_H$ : PS-PS 間の距離 (km)、446km

$r_1, r_2$ : 連結、解除時間 (分)、いずれも 10 分

$c_l$ : 1時間あたりのドライバーの時間価値 (円/時間)、1739 円

$c_c$ : 1時間あたりの貨物の時間価値 (円/時間)、328.9 円

$c_{ft}, c_{fa}$ : 1L あたりの燃料費 (円/L)、軽油 (トラック) とガソリン (乗用車)、各 103 円と 138.4 円

$\delta_t, \delta_a$ : 燃費 (km/L)、トラックと乗用車、各 4.26km/L と 22.0km/L

$e_{LV}, e_{FV}$ : 空気抵抗削減率、先頭車と後続車、各 0.97 と 0.925

$i$ : 隊列走行インセンティブ率、1.1

GW1-PS1-PS2-GW2 走行中の人件費 (回送時含む)

$$\left\{ t_1 \left( 2n_t - \frac{n_t}{n_p} \right) + \frac{t_H n_t i}{n_p} + t_2 \left( 2n_t - \frac{n_t}{n_p} \right) \right\} \frac{c_l}{60} \quad (1)$$

待機、隊列形成解除中の人件費

$$\left\{ \frac{60n_t}{t_g n_p} \left( \frac{n_p}{n_g} - 1 \right) + r_1 \frac{n_t}{n_p} + r_2 \frac{n_t}{n_p} \right\} \frac{c_l}{60} \quad (2)$$

GW1-PS1-PS2-GW2 走行中のトラックの燃料費

$$\left[ \frac{d_1 n_t}{\delta_t} + \frac{d_H}{\delta_t} \left\{ e_{LV} \frac{n_t}{n_p} + e_{FV} \left( n_t - \frac{n_t}{n_p} \right) \right\} + \frac{d_2 n_t}{\delta_t} \right] c_{ft} \quad (3)$$

GW1-PS1, GW2-PS2 回送の乗用車の燃料費

$$\left( \frac{d_1 + d_2}{\delta_a} \right) c_{fa} \quad (4)$$

4. 数値計算

前章での定式化に基づき、数値計算において基本とする入力値を用い、いずれかのパラメータを変化させることで隊列走行の様々なケースの運用コストを求めることとする。対象区間として、神奈川県厚木市と大阪府茨木市の各GW間の長距離幹線輸送を想定する。

最大隊列構成台数を1台から6台まで変化させたときの総運用コストについて、図1のように、構成台数が多くなると主に人件費が削減されることから総運用コストが低くなるのが分かる。なお同時に、トラックの待機時間と隊列形成解除時間が発生することに留意する必要がある。

次に、隊列対応トラックの到着回数を変化させたときの最大隊列構成台数ごとの総運用コストは図2のようになる。到着回数が低いときは待機時間が長くなるため、隊列構成台数を少なくするほうがコストが低くなる。最適編成は、到着回数が0-0.201回のときは1台での単車走行、0.202-0.45回のときは2台隊列3群、0.45-1.36回のときは3台隊列2群、以降は6台1群となる。

ドライバーの時間価値(時給)を変化させた場合を示すと図3のようになる。ドライバーの時間価値が高くなると、人件費が上昇することから、最大隊列台数を多くすることで総運用コストが小さくなる。

5. 結論

本論文では、トラック後続無人隊列走行における運用コストを定式化し、運用コストが最小となる最適編成を導出した。今後の課題として、多様な輸送需要に対応するために、複数のPS間の隊列走行について対象としたモデル化を行う必要がある。

参考文献

[1] Bhoopalam, A.K., Agatz, N., and Zuidwijk, R.: Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research, *Transportation Research Part B*, **107**, 212-228, 2018.

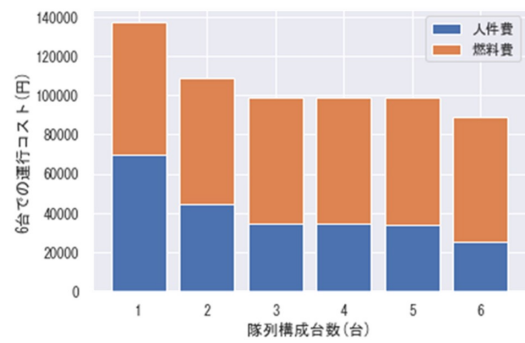


図 1: 最大隊列構成台数と総運用コスト

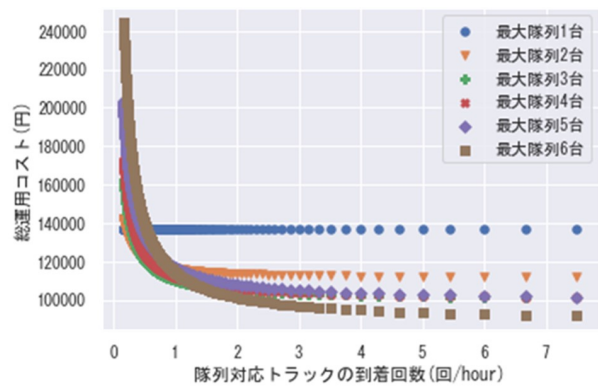


図 2: 隊列対応トラックの到着回数と総運用コスト

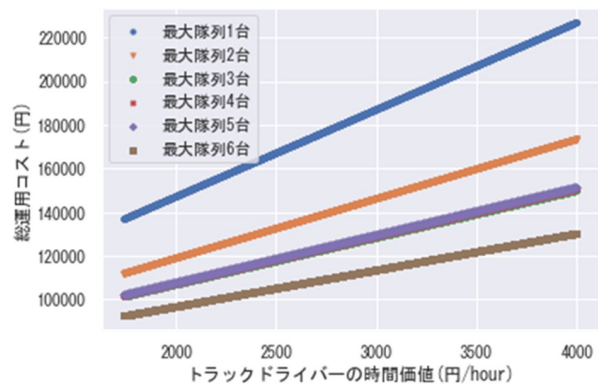


図 3: トラックドライバーの時間価値と総運用コスト

[2] Watanabe, D., Kenmochi, T. and Sasa, K.: An Analytical Approach for Facility Location for Truck Platooning-A Case Study of Unmanned Following Truck Platooning System in Japan-, *Logistics*, **5(2)**, 27, 2021.

[3] 川瀬俊明, 平田輝満, 森岡駿介, 鍛冶竜馬: ドライバーコストを考慮した隊列走行の車両マッチングに関するシミュレーション分析, *土木計画学研究・講演集*, **58**, 2018.