

物流車両の走行実態を踏まえた EV 充電施設配置計画手法に関する研究

A Study on Charging Facility Location Planning Method based on Actual Delivery Situation of Logistics Vehicle

藤井 篤史*

Atsushi FUJII

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1. はじめに

近年、地球温暖化が問題視され、二酸化炭素排出量の抑制が急務とされている。運輸部門における排出量削減に向けては、走行時に排気ガスを排出しない都市内配送用のEVトラックの開発・導入が進められている。

しかしながら、EVトラックは航続可能距離が約60kmと非常に短く、配送の途中で充電を行う必要があるため、実社会への適用には計画的な充電施設の整備が重要である。配送トラックは配送パターンがある程度決まっているため、走行実態を分析することで充電需要が発生する地点を把握することができ、充電施設の効率的な配置を検討することが可能であると考えられる。

そこで本研究では、配送トラックの走行実態を分析した上で、充電施設配置モデルを構築し、航続可能距離や1回の充電における充電量などの制約条件の下、仮想ネットワークを用いて試算を行った。構築するモデルは、配送トラックによる全ての配送を満足するために必要な充電施設数を最小化するものである。

2. 配送トラックの走行実態分析

図-1に1回のツアー（デポを出発して、デポに戻るまでの走行）の走行距離分布を示す。5~30kmの走行が多く、約97%は60km以下の走行となっている。しかし、冷暖房の使用や道路勾配、渋滞などの影響で航続可能距離は大きく短縮される。加えて、デポに設置できる充電器の数は限られているため、全ての配送トラックが同時に充電できるわけではない。そのため、一部の配送トラックは配送の途中で充電する必要がある可能性が考えられる。

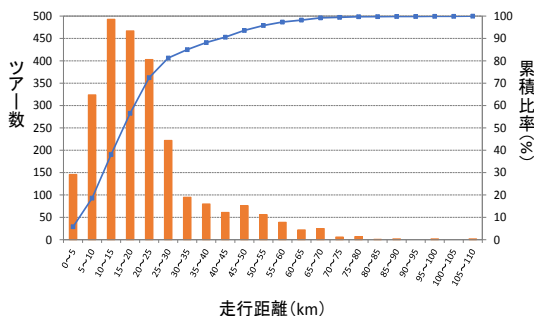


図-1 1回のツアーの走行距離分布

3. 充電施設配置モデルの定式化

本研究では充電施設配置モデルを構築し、仮想ネットワークを用いて試算する。利用するネットワークは縦9×横9の81のノードと144のリンクで構成され、ネットワークの中心にデポを配置している。各リンク長には0.5km~1kmの値をランダムに付与している。

本研究では、以下の3つの工程により充電施設配置モデルの構築を行う。

1) 走行実態の特性を表すパラメータの作成

一様乱数を用いて各トラックが行うツアー数、ツアーごとのトリップ数を作成し、各トリップの配送先ノードをネットワーク上にランダムに与える。各トリップは最短経路を走行し、トリップ距離はネットワークのリンク長を基に算出する。

2) 仮想ネットワーク上における配送経路の生成

作成した走行特性を表すパラメータを基準値として、式(1)により基準値からの誤差を最小とするように仮想ネットワーク上に配送経路を生成する。式(1)の第1項は配送距離を満たす項、第2項は地理的な条件を満たす項となっている。

$$Min G = \sum_k \sum_{c_k} \left(\sum_{x=1}^{N_{c_k}} \hat{d}_{xck} - d_{ck} \right)^2 + \alpha \sum_p \left(W_p - \sum_k \sum_c \hat{v}_{pkc} \right)^2 \quad (1)$$

k :トラック番号 c_k :ツアー番号 N_{c_k} :トリップ数

\hat{d}_{xck} :トリップxのトリップ長の生成値 d_{ck} :ツアー距離の基準値

W_p :ポイントpへの設定到達回数 \hat{v}_{pkc} :ポイントpへの到達回数

3) 充電施設配置モデルの構築

生成した配送経路が全て走行可能となり、かつ設置数が最小となる充電施設配置モデルを構築する。式(2)で表されるように、必要となる充電施設数の最小化を目的関数とする。式(3)で表される制約条件のパラメータとして、航続可能距離 (β_{max}) は40km, 60km, 80km, 充電するまでに最低限走行する距離 (β_{min}) は航続可能距離の50%, 75%を設定している。例えば β_{max} が40kmの場合には、 β_{min} は20kmまたは30kmとなる。また、1回の充電における充電量 (γ) は0.1~1.0の値を設定しており、 γ が1の場合はバッテリー容量を完全に満たすまで充電することを表している。

$$\text{Min } m = \sum_j s_j \quad (2)$$

subject to

$$\begin{aligned} \hat{u}_{c(k)} &< \beta_{\max} \quad \forall k, c \\ \hat{u}_{c(k)} &= \max_{j \in J_{c(k)}} u_{j,c(k)} \\ u_{j,c(k)} &\leftarrow \begin{cases} u_{j-1,c(k)} + d_{j^+,c(k)} & \text{if } u_{j-1,c(k)} < \beta_{\min} \\ (1 - \gamma s_{j-1})u_{j-1,c(k)} + d_{j^+,c(k)} & \text{if } u_{j-1,c(k)} \geq \beta_{\min} \end{cases} \quad (3) \\ &\quad \forall j \in J_{c(k)} \end{aligned}$$

m : 充電施設数 β_{\max} : 航続可能距離 β_{\min} : 最低走行距離 γ : 充電量のパラメータ
 s_j : ノードに充電施設が設置されていれば1, そうでなければ0
 $u_{j,c(k)}$: トラックがツアー c で最後に充電した施設からノード j まで走行した距離
 $d_{j^+,c(k)}$: トラック k がツアー c でノード j から次に走行するリンクの距離

4. 仮想ネットワークを用いた充電施設配置の試算

表-1に、配送トラック全体のツアー数を150、ツアーの平均距離を40kmに設定した場合の試算結果を示す。 β_{\max} が小さくなるほど、 β_{\min} が大きくなるほど、また γ が小さくなるほど必要となる充電施設は増加することが確認できる。 β_{\min} が大きくなると、少ないバッテリー残量の中で充電施設まで到達しなければならないため、充電施設を広範囲に配置する必要があることから、施設数が増加すると考えられる。

図-2に、 $\beta_{\max} = 40\text{km}$, $\beta_{\min} = 30\text{km}$, $\gamma = 1.0$ の場合の充電施設配置位置の例を示す。図より充電施設は配送トラックの通過回数が多いリンクに接続するノードに設置されていることが確認できる。また、設置される位置は比較的分散しており、1つの充電施設で一定エリアの充電需要をカバーしている可能性を示唆している。

次に、 $\gamma = 0.1$ における β_{\max} , β_{\min} と充電施設数、充電施設利用回数の関係を図-3, 図-4に示す。 $\beta_{\max} - \beta_{\min}$

表-1 充電施設数の試算結果

β_{\max}	β_{\min}	充電量(γ)									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
40km	30km	12	8	8	7	7	7	7	7	6	6
	20km	10	6	4	4	4	4	4	4	4	4
60km	45km	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	30km	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2
80km	60km	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	40km	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

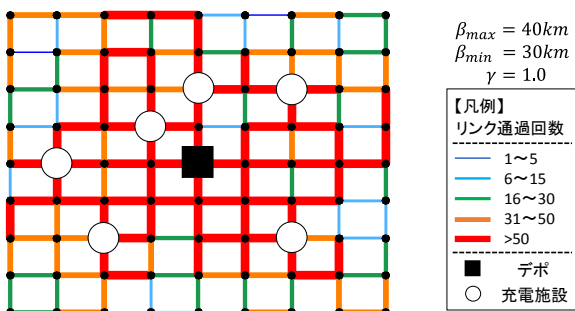


図-2 充電施設配置位置

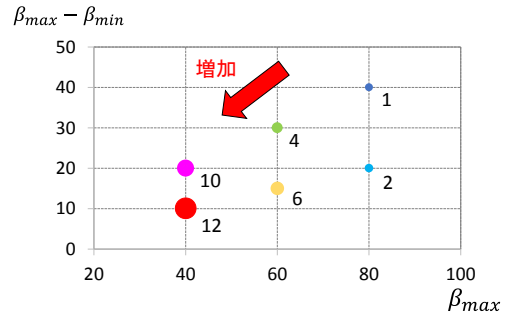


図-3 航続可能距離と充電施設数の関係

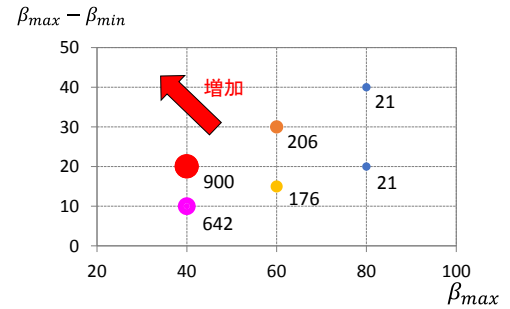


図-4 航続可能距離と充電施設利用回数の関係

は充電行動を開始するときの走行可能な残りの距離を表している。 $\beta_{\max} - \beta_{\min}$ の値が大きくなると、電池切れに対して余裕を持った走行が可能であり、必要な充電施設数は減少するが、充電を行う機会が増加することから全体の利用回数は増加する傾向にある。利用回数が増加する分、充電による時間消費が増加することにつながると考えられる。 $\beta_{\max} - \beta_{\min}$ の値が小さくなると、必要な充電施設数が増加する一方で、利用回数は減少するため、充電による時間消費は減少する。しかし、この場合には電池切れが発生するリスクを伴うことになる。また、バッテリーの性能が向上し、航続可能距離が80kmまで長くなると利用回数の差は無くなり、電池切れが発生するリスクを抑えた走行が可能であると言える。

5. おわりに

本研究では、配送トラックによる配送を全てカバーするために必要な充電施設数を最小化する充電施設配置モデルを構築した。仮想ネットワークを用いた試算の結果、一定の制約条件下において必要な充電施設数を求めることが可能であることが確認できた。

今後の課題としては、実ネットワークへ拡張すること、時間制約を考慮することが挙げられる。

参考文献

- 1) 石亀篤司, 松田真典: 充電インフラの適正配置に関する研究, オペレーションズ・リサーチ, 2011年7月号, pp.388-394, 2011

修士論文指導教員

宇野伸宏准教授, Jan-Dirk Schmoecker 准教授, 中村俊之助教, 山崎浩気助教