

都市間高速道路網における走行中給電インフラの
最適配置に関する研究：長距離貨物トラックの電動化を念頭に

走行中給電機能を備えた道路ネットワーク整備の評価方法に関する
研究プロジェクト

2024 年 9 月

公益社団法人 日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。

シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。

シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によってとりまとめたものを収める。

シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。

シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。

シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電話 (03) 3263-1945 (代表)

Fax (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-901

令和5年度自主研究プロジェクト

「走行中給電機能を備えた道路ネットワーク整備の評価方法に関する研究」

刊行：2024年9月

都市間高速道路網における走行中給電インフラの最適配置に関する研究：
長距離貨物トラックの電動化を念頭に

Study on the Optimal Allocation of Wireless Electric Charging Lanes on Intercity Expressway Networks: Case of Long-Distance Freight Trucks

主査：福田 大輔（東京大学大学院教授）
Daisuke FUKUDA

<要旨>

地球温暖化対策の一環として、自動車からの二酸化炭素排出量削減が求められている。それを実現するためには、動力源の脱炭素化、具体的には、従来のガソリン車から電自動車や燃料自動車への移行が必要とされる。しかし、電気自動車は、ガソリン車に比べて航続距離が短いことや、充電のために時間を要することなどの課題が指摘されている。とりわけ、大型貨物車は、その性質上電動化の実現がより困難だと言われている。そのような課題を克服する手段として新たに注目されつつあるのが、走行中給電技術である。架線あるいはワイヤレス方式により、車両が走行しながら充電をすることができるこの技術によって、バッテリーの小型化や、充電に費やす時間が短縮されることで、大型貨物車の脱炭素化に寄与することが期待される。

本研究では、日本の都市間高速道路における、実際の長距離貨物輸送を対象として、走行中給電インフラの最適配置についての基礎的検討を行った。Bゾーン単位の各OD(起終点)ペア間の普通貨物車の移動において使用されると考えられる経路、走行中給電レーンのリンク単位での整備パターンシナリオ、給電技術の充電性能シナリオを設定した上で、走行中給電によるエネルギー供給のみで移動することができるトリップの総数、すなわち、電動化できるとみなされたトリップ数を最大化するような最適化問題を整数計画問題として定式化した。その上で、異なる整備シナリオや給電性能シナリオにおいて、長距離貨物輸送を最大化するための走行中給電インフラの最適配置と、それにより電動化されるトリップの数を分析した。

最適化計算の結果として、例えば、トリップ長500km以上かつODトリップ数が上位5%に含まれるODペアに限定した上で最適化計算を行い、それらのODペア間の移動を電動化するための、最適な走行中給電インフラの配置を具体的に導出することができた。また、感度分析より、整備状況がある一定の水準を超えると、給電インフラの設置に対する、電動化されるトリップ数の割合は小さくなることが示唆された。

キーワード：走行中給電技術、数理最適化

Keywords : Wireless Charging Technology, Mathematical Optimization

プロジェクト研究メンバーおよび執筆分担

主　　査：	福田　大輔	東京大学大学院（全章）
メンバー：	川崎　新世	東京大学大学院（全章）
	味水　佑毅	流通経済大学
	平田　輝満	茨城大学
	岡　　英紀	計量計画研究所

（令和6年8月現在）

目次

1章　はじめに	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 報告書の構成	3
2章　関連研究のレビューと本研究の位置付け	4
2.1 走行中給電レーンの配置に関する研究	4
2.2 走行中給電の費用便益分析に関する研究	4
2.3 本研究の位置付け	5
3章　走行中給電技術の実態	6
3.1 走行中給電の現状	6
3.2 スウェーデン現地調査	7
4章　走行中給電レーン最適配置問題の定式化	10
4.1 最適化問題の概略	10
4.2 使用データ	11
4.3 ダイクストラ法による経路選択	12
4.4 整数計画問題	12
5章　シミュレーション結果とその考察	15
5.1 給電レーン整備シナリオの影響分析	15
5.2 車両の給電能力シナリオの永享分析	21
6章　おわりに	25
6.1 本研究の結論	25
6.2 今後の課題	26
参考文献	27

1章 はじめに

1.1 本研究の背景

近年、地球温暖化対策として、CO₂排出量の削減が求められている。日本の運輸部門によるCO₂排出量(2021年度)は、総排出量の17.4%を占めている(国土交通省)。この運輸部門によるCO₂排出量を削減するには、一つには動力源の脱炭素化、具体的には、従来のガソリン車から電気自動車や燃料電池車への移行が必要となる。

しかし、電気自動車の課題として、ガソリン車と比較すると、航続距離が短いこと、充電のために時間を要すること、車両価格が高いことなどが挙げられる。とりわけ大型貨物車は、その性質上移動距離が長く、車体が重いことから、頻繁な充電行動を行うか、あるいは、重い充電池を必要とするため、電動化がより困難とされている。(Börjesson et al. (2021))

そのような課題を克服するために注目されているのが、走行中給電技術である。今までに導入されてきた代表的な給電技術として、充電コネクタを利用した接触充電、電磁誘導などを利用した非接触式充電、専用のステーションで使い切ったバッテリーと充電されたバッテリーを交換するバッテリー交換式などが挙げられるが、これらの充電方式は車両が止まった状態で充電を行う静的充電である。一方、走行中給電は、電磁誘導やパンタグラフを利用して、車両が走行しながら充電が可能な動的充電である。これらの給電技術の利点や課題をまとめると表1.1¹の通りである。

表 1.1 充電方式による違い

	利点	課題
静的充電	・整備コスト ・充電効率	・充電時間・頻度
	・安全性	・充電時間・頻度
動的充電	・充電時間	・整備コスト ・バッテリー規格の統一 ・充電頻度
	・充電時間・頻度	・整備コスト ・充電効率

¹Tan et al. (2022) を参考に作成

走行中給電方式では、給電インフラである電化道路の整備が進めば、実質的な航続距離を格段に伸ばすことができ、バッテリーの小型化や、充電に費やす時間の短縮を可能にすることが期待される。それゆえ、前述したように困難とされている長距離移動の大型貨物車の電動化のための解決策とも考えられている。ヨーロッパを中心に公道での実験的導入がなされており、日本でも実証実験が行われ始めている。例えばスウェーデンでは、総延長 2400km の電化道路の構築を計画しており、国内南部の幹線道路で 4 パターンの走行中給電技術の比較を行っている。

一方、電化道路網は高い投資コストを要すため、費用対効果や最適な整備方針を十分に検討する必要がある。Fuller (2016) や Chen et al. (2016)において、費用対効果や給電レーンの配置の研究が進められているが、簡易的なネットワークでの分析に留まっている。Börjesson et al. (2021) によると、電化道路網は高い投資コストに対して限界費用が低いことから、規模の経済を有しており、1kmあたりの電化道路の便益はネットワーク全体の規模に依存するため、密度の経済を有している。そのため、電化道路網の供給は、社会的に最適な量に比べ少なくなり、設定される使用料は高くなる可能性が示唆されており、そのような観点も考慮する必要がある。

そこで本研究では、給電レーンの適切な配置を、日本の高速道路ネットワークと長距離貨物輸送を対象に検討する。また、整備状況シナリオや電化道路による充電の電力のシナリオを変化させることによって、適切な配置や、電動化される長距離貨物車の数がどのように変化するかを分析する。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は以下の 2 点である。

- 長距離貨物車を対象とした、日本の高速道路ネットワークにおける、走行中給電対応道路の適切な配置を検討すること。
- 走行中給電対応道路網の整備シナリオ及び給電道路の電力と、長距離貨物車の電動化の関係を分析すること。

1.3 報告書の構成

本報告書の構成は以下のとおりである。第2章では、走行中給電の配置や費用対効果に関する研究を整理し、本研究の位置付けについて述べる。第3章では、今までに行われている、走行中給電の実証実験や、現状の性能について整理する。第4章では充電レーンの最適配置を計算するモデルについて説明する。第5章ではモデルによる計算結果を述べる。最後に、第5章では、本研究の結論を整理し、今後の課題について述べる。

2章 関連研究のレビューと本研究の位置付け

2.1 走行中給電レーンの配置に関する研究

Fuller (2016) は、カリフォルニア州の主要道路を表現したネットワークを用い、主なODペアの電気自動車による移動を可能にするための、電化道路の配置を調べた。使用されたODペアは主要都市を結ぶ39通りで、距離は最短で97マイル(156km)、最長で334マイル(538km)である。各ODペアの移動においてバッテリーが尽きないという制約と、各給電リンクでの充電回数が規定の回数を超えないという制約のもと、給電レーンの整備コストを最小化する問題として定式化された。図2.1はEVの航続距離が200マイル(322km)、走行中給電が100kWの場合に、必要となる給電レーンを示している。紫色の線が示す道路ネットワーク4891マイル(7871km)のうち、黄色の線が示す給電レーン241マイル(388km)が必要であるという結果を得ている。

2.2 走行中給電の費用便益分析に関する研究

Fuller (2016) は前項で述べた問題設定で、電化道路の整備コストを推定した。走行中給電の電力を20kWから120kW、車両の航続距離を100マイル(161km)から300マイル(483km)に変化させ、異なる組み合わせで評価した。航続距離を固定し、走行中給電の電力を変化させたとき、20Wから60Wにかけては比較的大幅に整備コストが減少する一方で、電力が大きくなると、コストを減少は緩やかになることを明らかにしている。また、航続距離が200マイル(322km)で電力が40kWのとき、約25億ドルのコストとなり、100kWまで電力が向上すると、10億ドルまでコストを削減できるという結果を得た。

Börjesson et al. (2021) は電化道路の社会的便益を評価するミクロ経済モデルを開発し、スウェーデンの高速道路網と実際の貨物輸送に適用した。電化道路の整備状況として、小規模、中規模、大規模の3種類のネットワークを想定しており、それぞれの総延長は315km, 1211km, 1941kmである。それらの電化道路網のもと、各輸送者は輸送コストを最小化するように、経路と車種、積載量を選択する。車種はディーゼル車とハイブリッド車から選択され、経路には鉄道や海上輸送も含まれる。結果として小規模なネットワークに比



図 2.1 最適化された電化道路の配置 (Fuller, 2016)

べ、中規模ネットワークでは、電化道路 1kmあたりの利用する走行台キロメートルは 2 倍に増加することを明らかにした。一方、大規模ネットワークになると、電化道路 1kmあたりの利用する走行台キロメートルは減少するという結果も得ている。これらは、電化道路の延長による便益が、ネットワーク全体の整備水準に依存することを示唆している。

2.3 本研究の位置付け

本研究では、日本の高速道路ネットワークと、貨物車の交通量データを用いて、より多くの輸送を電動化するための電化道路網の配置方式について検討する。また、以上の関連研究を踏まえて、給電の電力や電化道路のネットワーク規模と、電化道路の便益の関係についても調査する。

3章 走行中給電技術の実態

3.1 走行中給電の現状

3.1.1 世界での実証実験

本項では、世界で行われている、走行中給電の代表的な実証実験を整理する。実用化が早いとされる、路線バスなどの地域内輸送を対象とした実験は数多く行われているが、近年では高いコストを要する、長距離輸送を対象とした実験も行われてきている。

スウェーデンでは、総延長 2400km の電化道路の構築を計画しており、国内南部の幹線道路を中心に 4 パターンの走行中給電技術の実証実験を行っている。それぞれの実験で用いられた充電方式は、パンタグラフ式、コイルを用いた電磁誘導式、可動アームと道路に埋め込まれたレールを用いたスロットカー方式、道路上のレールを使用する接触式である。対象となったのは、主に長距離トラックであり、それぞれの方式のコストや性能を評価して、技術の選定が進められている。また、ドイツでは、貨物トラックを対象としたパンタグラフ式の電化道路が、高速道路上に約 10km 整備され、実証実験が 2022 年度末まで行われた。

3.1.2 日本での実証実験

日本では、柏の葉スマートシティにて、日本初の公道における走行中給電実証実験が、2023 年 10 月から行われている。¹この実験では、道路上の送電コイルと、車両下の受電コイルによって、給電が行われる方式で、給電道路は都市内の交差点付近に設置されている。2028 年の実用化を目指し、2025 年の 3 月まで行われる。

高速走行時の給電技術に関する研究も進められており、田島 (2022) は走行中給電システムを、大型トラックに適応した結果について報告している。道路脇に設置された給電レーンに、給電アームによって直接接触することにより給電する方式であり、車両総重量 45t の EV トラックが 80km/h 走行時に、450kW で充電することを可能にしている。この技術により、80km/h で走行する場合、50km のうち 30% にあたる 15km で走行中給電を

¹<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10514.html> を参照

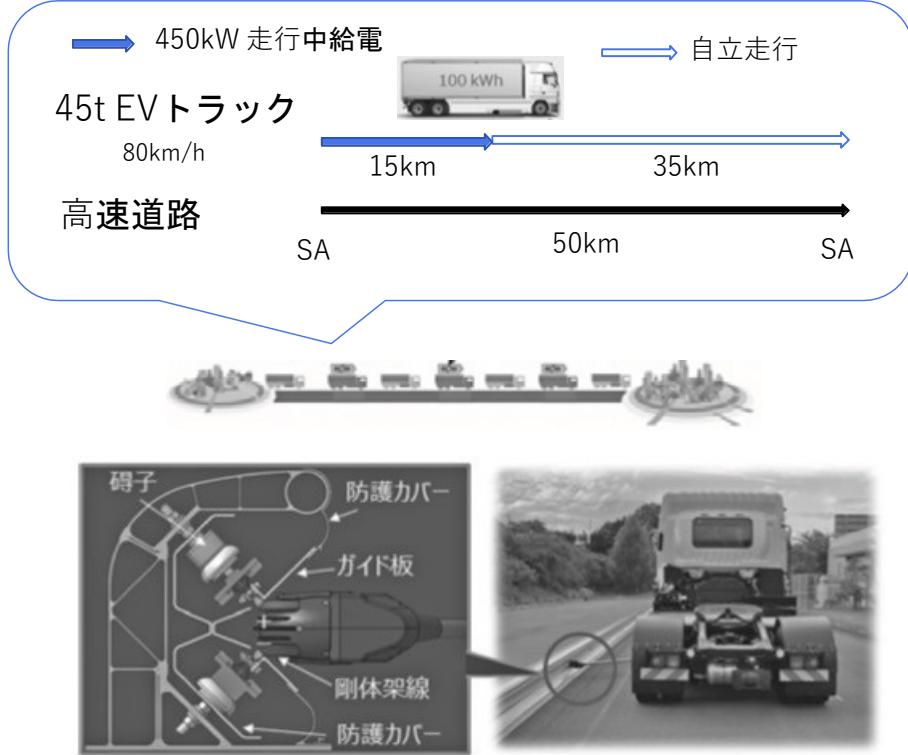


図 3.1 走行中給電技術の性能事例（田島 (2022) の内容に追記修正して作成）

行うことで、バッテリーが尽きることなく走行を継続することができる（図 3.1）。

3.2 スウェーデン現地調査

本節では、スウェーデンで行った現地調査により得られた知見をまとめます。

3.2.1 ゴットランド島現地調査

2023年10月8日、スウェーデンのゴットランド島を訪問した。ゴットランド島では、同年9月まで、イスラエル企業 Electreon Wireless による走行中給電道路の実証実験を行っていた。ヴィスピー空港とヴィスピー市内を結ぶ道路のうち、1.2km と 400m の 2 区間に給電道路は設置され、給電は、道路に埋め込まれた送電コイルと、送電コイルに電気を送る道路脇の管理装置によって行われた。訪問時には、道路脇の管理装置は撤去されていたが、送電コイルは道路に埋め込まれたままであった。図 3.2 は給電道路が送電コイルが埋め込まれている道路の写真である。外観上は、コイルが埋め込まれていない部分と大差なく、電磁誘導による給電方式は、景観的に優れていると考えられる。



図 3.2 ゴットランド島の対象道路（舗装下に給電設備が埋め込まれている）

3.2.2 インタビュー調査

2023 年 10 月 10 日に, Electreon 社の現地担当者に, ゴットランド島での実証実験についてのインタビュー調査を行った.

担当者によれば, 電化道路からの充電出力は車両の速度によらず一定であり, 車両に搭載された受電コイルの数によって決まる. 実験で使われたバスには 3 つの受電コイルが搭載されており, 最大 75kW の給電が可能で, 40t の EV トラックには 4 つの受電コイルが搭載されており, 時速 80km で走行しながら, 最大 100kW の給電が可能である. これにより, 走行中給電のために, 速度を低下させることによる, 混雑の影響は考慮する必要がなくなると考えられる. 図 3.3 は実際に使われたバスとトラックの写真である.

ゴットランド島の実験で用いられた電磁誘導による給電方式の利点について, パンタグラフを用いた架線式と比べると, 安全性が高いこと, 維持管理のコストが安いこと, そして各車両に充電した電力の管理の容易さが挙げられた.



図 3.3 走行中給電対応バス（ゴッドランド島）

なお、スウェーデン運輸局は、前節で述べた、スウェーデン国内で行われた実証実験で用いられた、4種類の電化道路の維持管理コストを算出している。²Electreon社による電磁誘導方式の場合、1年間、1方向、1kmあたり、2万スウェーデン・クローナ(約28万円)に対し、Siemens社による、架線式の場合、12万2千スウェーデン・クローナ(約173万円)と算出されている。これは主に、架線のメンテナンス費用による違いである。また、他の2つの給電方式と比較しても、電磁誘導方式は、道路の塗装や交通管理の点でコストが安く算出されている。

担当者によれば、電磁誘導方式では、コイル1つの長さは車両の長さよりも短いため、それぞれのコイルがどの車両にどの程度の電力を供給したかの把握が容易である。一方、架線式では、パンタグラフが連続しているため、供給した電力の把握が難しい可能性があることを示唆した。これは、使用者から電力使用料金を徴収する方法に影響すると考えられる。

以上のように、各給電方式によって、特性やコストが大きく異なるため、走行中給電の導入に際しては、それらを比較して検討する必要がある。

²<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/55d0f4ba4fb244969d0b000afec37110/vagunderhall-och-kostnader-for-olika-typer-av-elvagar—rapport.docx.pdf> を参照

4章 走行中給電レーン最適配置問題の定式化

4.1 最適化問題の概略

本研究では、日本の都市間高速道路における実際の長距離貨物輸送を対象として、走行中給電インフラの最適配置についての基礎的検討を行う。対象とするOD（起終点）ペア間の普通貨物車の移動において使用されると考えられる経路、走行中給電レーンのリンク単位での整備パターンシナリオ、給電技術の充電性能シナリオを設定した上で、走行中給電によるエネルギー供給のみで移動することができるトリップの総数、すなわち、電動化できることみなされたトリップ数を最大化するような最適化問題を整数計画問題として定式化する。その上で、異なる整備シナリオや給電性能シナリオにおいて、長距離貨物輸送を最大化するための、走行中給電インフラの最適配置と、それにより電動化されるトリップの数を分析する（図 4.1）。

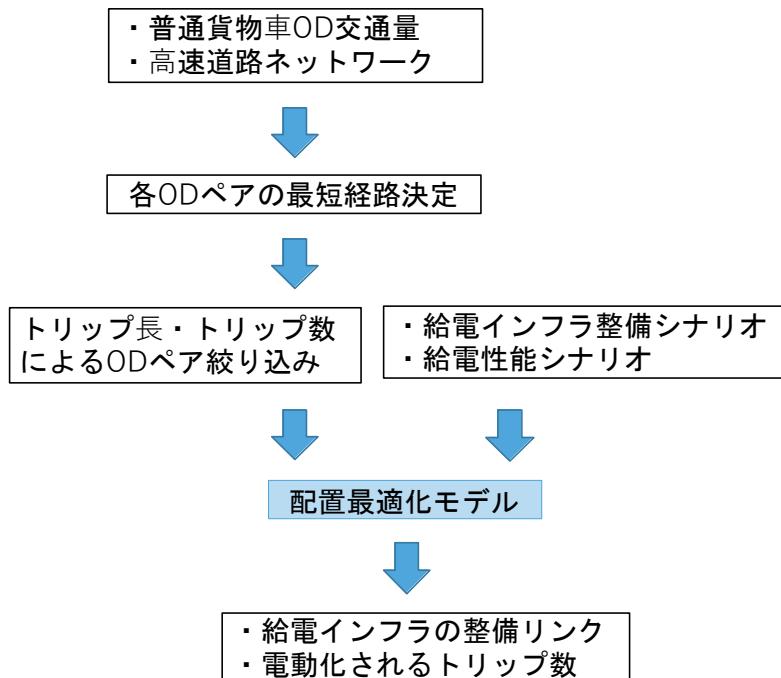


図 4.1 モデル分析の全体像

4.2 使用データ

本研究では、デジタル道路地図（DRM：Digital Road Map）様式No.3403をベースとした高速道路ネットワークを用いて最適配置問題の検討を行う。ここで高速道路の定義は、高速自動車国道、都市高速道路、その他公社・公団が管理する道路とする。図4.3.はネットワークのリンクを示しており、全リンク数は約6万で、平均長さは613mである。

貨物車OD交通量のデータは平成27年度の道路交通センサスの結果を用いる。ここでは、普通貨物車のBゾーン単位ODペア間のトリップ数を用いる。但し、計算量の関係上全てのODペアを同時に分析対象とすることは難しく、トリップ距離とトリップ数の組み合わせによって、適宜文政対象とするODペアを絞り込むこととする。

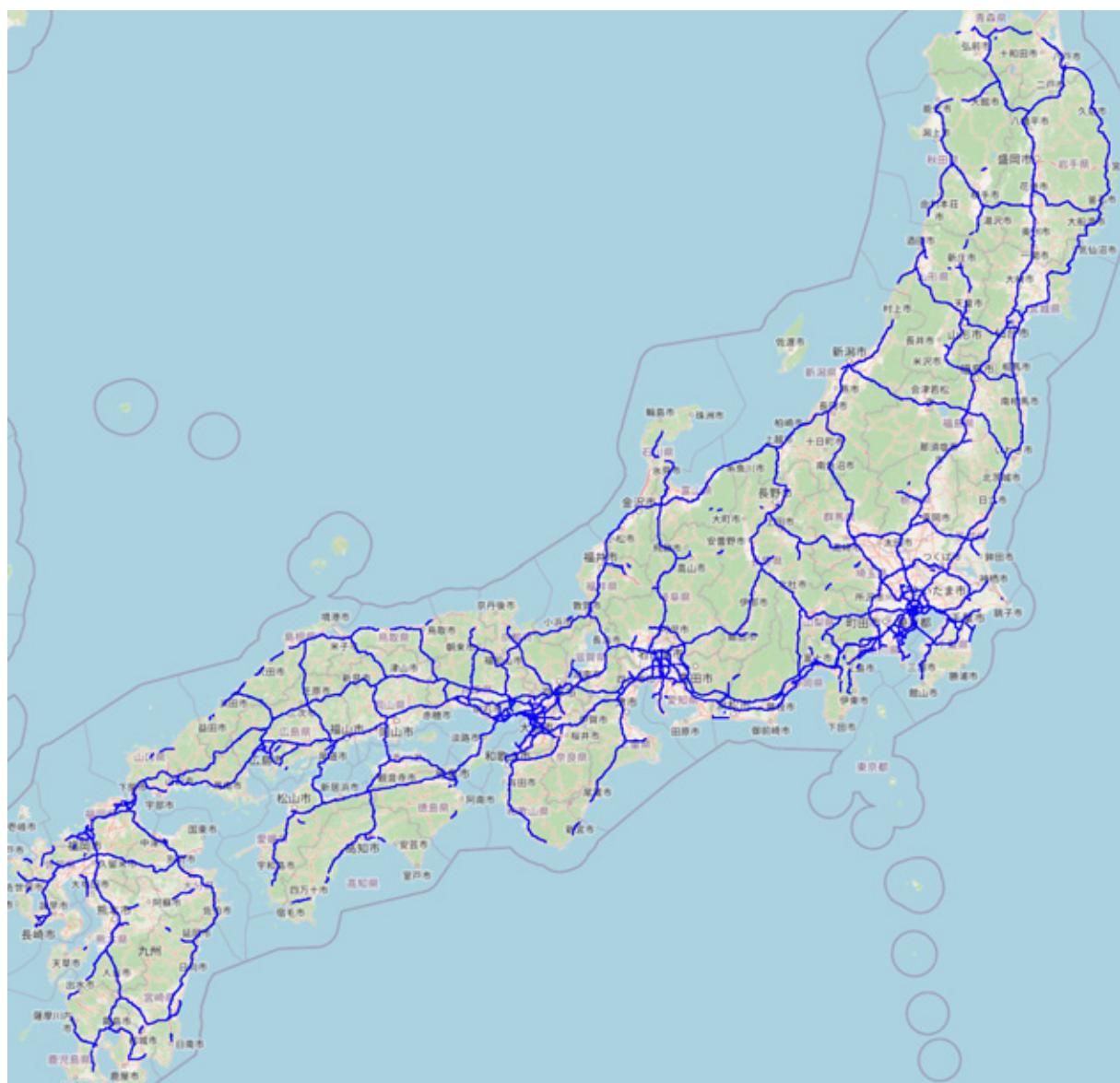


図 4.2 分析対象道路ネットワーク

4.3 ダイクストラ法による経路選択

まず、各トリップがガソリン車の場合に使用するルートを調べるために、ダイクストラ法による最短経路探索を行う。各リンクの重みは、 $t_a + \frac{\pi \cdot l_a}{\gamma}$ によって導出する。 t_a はリンク a を法定速度で通過する所要時間、 l_a はリンク a の長さを表している。 π は走行距離あたりの燃料費、 γ は時間価値を表しており、城間・福田 (2021) に準拠して 14(km/円)、40(円/min) に設定する。

4.4 整数計画問題

電気自動車によって移動することができる OD ペアの数を最大化するための給電レンの配置を求める整数計画問題について説明する。これは、前項の経路選択によって単一の利用経路がすでに確定した各 OD ペアに対し、それらが使用するルートと、充電レンの上限数、給電の電力を反映するパラメータを与えることで、給電レンがネットワーク上でどのリンクに配置されるのかを求めるモデルである。但し、本モデルでは、充電ステーション等における、静的充電は行わないことを仮定している。

以下に、モデルの目的関数、制約条件、式中で使われている文字の定義を示す。

目的関数

$$\max \sum_{e \in E} x_e \cdot m_e \quad (4.1)$$

制約条件

$$\sum_{a \in A} z_a \leq n \quad (4.2)$$

$$z_a \in \{0, 1\} \quad for \quad \forall a \in A \quad (4.3)$$

$$x_e \in \{0, 1\} \quad for \quad \forall e \in E \quad (4.4)$$

$$x_e \leq \frac{\sum_{a \in A} z_a \cdot d_{a,e} \cdot l_a}{\sum_{a \in A} d_{a,e} \cdot l_a} + k \quad for \quad \forall e \in E \quad (4.5)$$

変数の定義

A : リンク集合 (要素を a とする)

E : ルート集合 (要素を e とする)

x_e : ルート e を電気自動車で移動できるかを表すバイナリー変数. 電動化可能であれば 1, そうでなければ 0

m_e : ルート e のトリップ数

z_a : リンク a に充電レーンが整備されているかを表すバイナリー変数. 整備されていれば 1, されていなければ 0

n : 充電レーンの上限数

$d_{a,e}$: ルート e にリンク a が含まれるかを表すバイナリー変数. 含まれていれば 1, いなければ 0

l_a : リンク a の長さ

k : 走行中給電の電力を反映するパラメータ

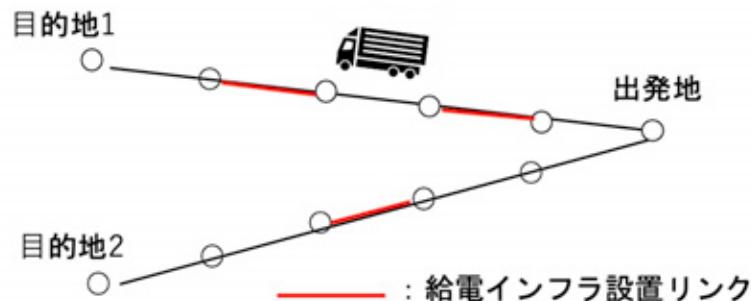
4.4.1 目的関数

式(4.1)は、給電レーンの配置によって、電気自動車で行うことができるトリップの数を最大化することを表している。

4.4.2 制約条件

式(4.2)は、給電レーンを配置するリンクの数の合計が、上限数 n を超えないことを表している。式(4.5)は、各ルートの長さのうち、給電レーンが設置されているリンクの長さが一定の割合を超えている場合、そのトリップが電気自動車によって行うことができるとみなされることを表しており、その割合は k によって決定される。 k が 0.7 であれば、ルート内に配置された給電レーンの長さが、ルート全体の長さの 30%以上であれば、電気自動車によってそのルートを通行することができるとみなす。ルート前半の 30%に給電レーンが固まって配置されているような場合でも、現実的には途中でバッテリーが尽き

例. 目的地1へのトリップ数 > 目的地2へのトリップ数,
 $n = 3$, $k = 0.7$ の場合



ODペアが電動化できるかはトリップ長に対する、
給電インフラ設置リンクの長さの割合により決定

図 4.3 モデル分析の出力イメージ

ることになるが、簡易化のため本研究では、トリップを電動化できるとみなす。

5章 シミュレーション結果とその考察

5.1 給電レーン整備シナリオの影響分析

本項では、給電レーンの設置数の変化による、給電レーンの配置や電動化されるトリップ数の変化をまとめる。

5.1.1 条件設定

ODペアとして、500km以上のペア(計19,000ペア)のうち、トリップ数が6以上であるペア(計500ペア)を用いる。給電レーンの設置数は、80から640まで、40ごとに変化させる。 k の値は0.7に固定する。これは、田島(2022)が報告した技術では、50kmのうち、30%にあたる15kmで走行中給電を行うことで、走行することができるところから設定した。また、計算量を少なく抑えるため、得られる解の、最適解との相対許容範囲を最大10%まで広げた。

5.1.2 最適配置

図5.1～図5.6は、それぞれの給電レーン設置数における、最適配置を示している。青線が示すリンクに給電レーンが設置されることで、最も多くのトリップ数を電動化することができるところを表している。

給電レーン設置数が少ない段階では、東京・福岡間での給電レーン設置が、貨物車の長距離トリップの電動化に有効であることが示されている。給電レーンの整備が進んで行くと、東北自動車道や、北陸自動車道への設置が、貨物車の電動化に大きく寄与することが示唆されている。

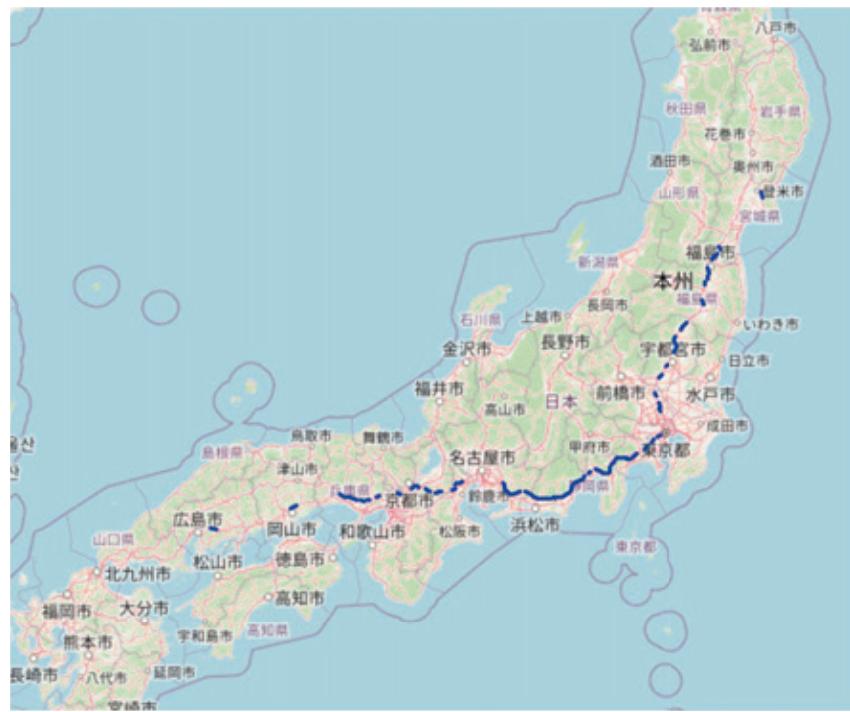


図 5.1 納電レーン最適配置結果 ($n=80$ の場合)

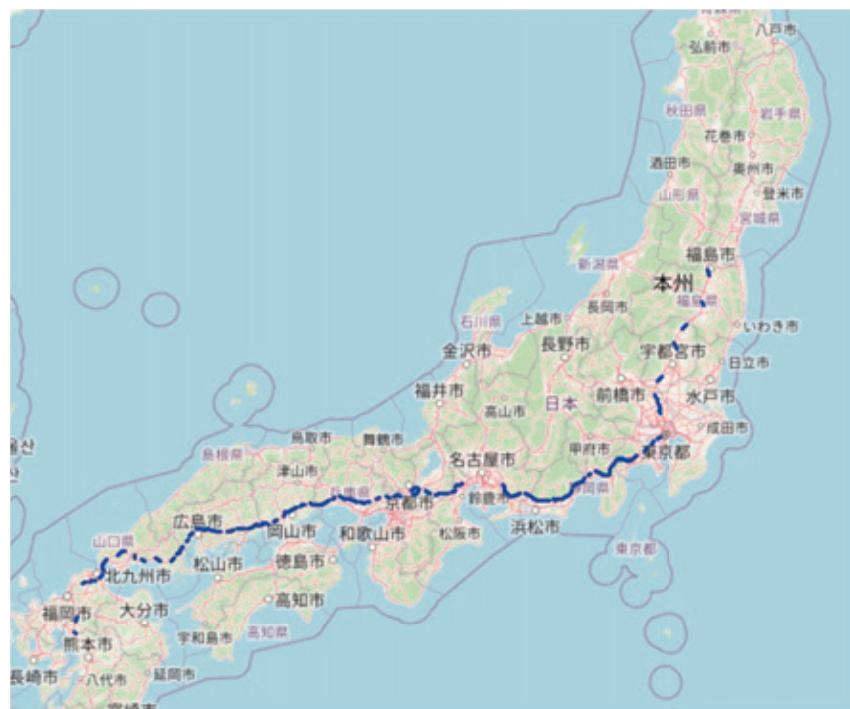


図 5.2 納電レーン最適配置結果 ($n=200$ の場合)



図 5.3 給電レーン最適配置結果（n=320 の場合）

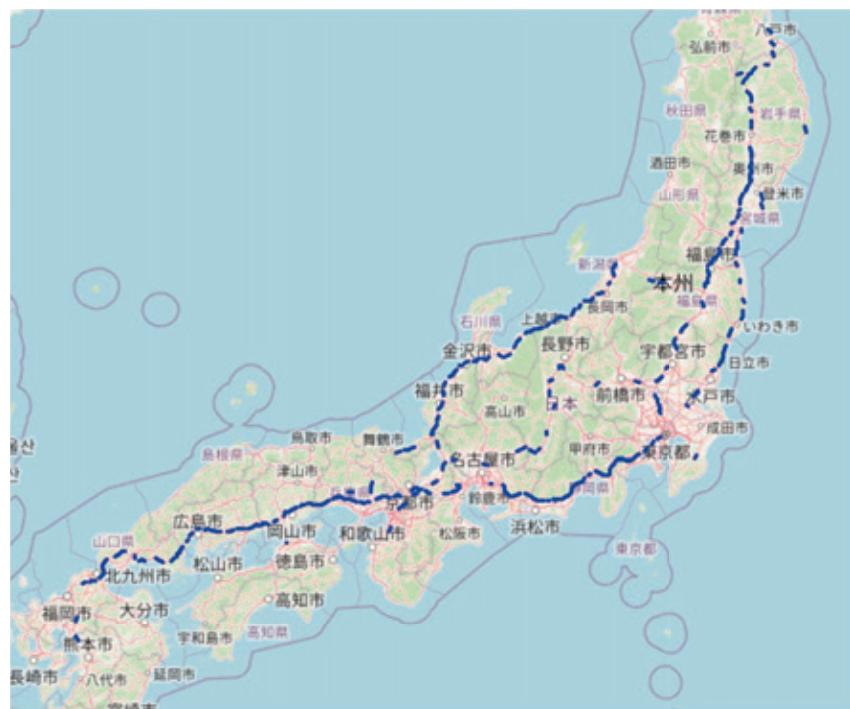


図 5.4 給電レーン最適配置結果（n=440 の場合）



図 5.5 給電レーン最適配置結果（n=560 の場合）



図 5.6 給電レーン最適配置結果（n=640 の場合）

5.1.3 トリップ数

図 5.7 は、給電レーン設置数と、電動化トリップ数の関係を示しており、図 5.8 は、給電レーン設置数と、電動化されるトリップ総距離の関係を示している。

給電レーン設置数が 240 を超えるまでは、設置数に対して、電動化トリップが大きく増加するのに対し、240 を超えると、電動化トリップの増加が緩やかになることが示された。これは、Börjesson et al. (2021) における、小規模、中規模、大規模の給電道路網による便益の傾向と一致しており、給電インフラが密度の経済を有することを示している。

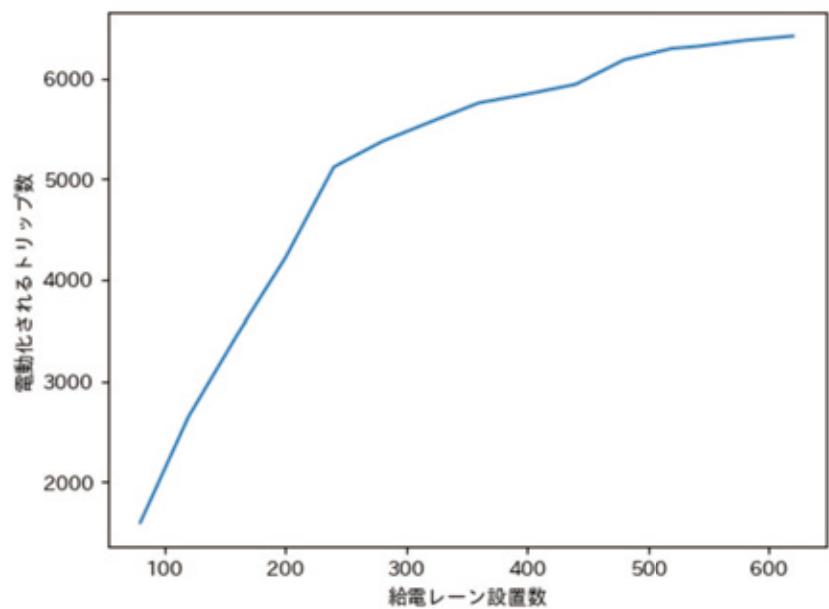


図 5.7 給電レーン設置数と電動化されるトリップ数の関係

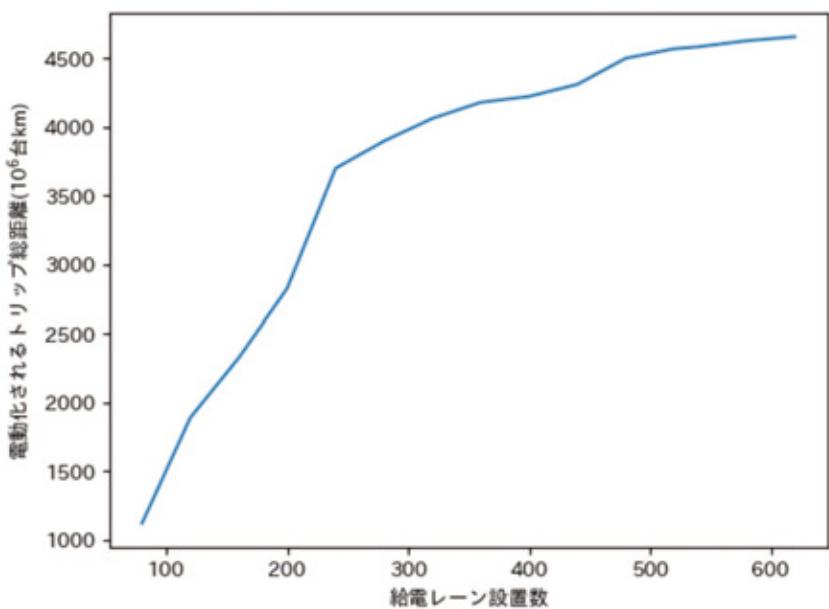


図 5.8 給電レーン設置数と電動化されるトリップ総距離の関係

5.2 車両の給電能力シナリオの永享分析

本項では、走行中給電における車両の給電能力の変化による、給電レーンの配置や電動化されるトリップ数の変化をまとめる。

5.2.1 条件設定

給電能力の変化を反映するために、モデル k の値を、0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8 に変化させる。電力の目安は、 k が 0.6 のとき、337.5kW であり、 k が 0.8 のとき、675kW である。給電レーン整備数は 110 で固定し、OD ペアは、トリップ長 1200km 以上である 355 ペアを用いる。

5.2.2 最適配置

電力を増加させることにより、給電レーンの数が同じでも、広い範囲にレーンを設置できることが確認された。ただし、 k が 0.8 のときは、レーンが設置される範囲が狭まる結果となった。これは、使用したトリップ数が少なく、各トリップが 1200km 以上と長距離であるため、特定のトリップを電動化させることによる最適配置への影響が大きくなつたためであると考えられる。

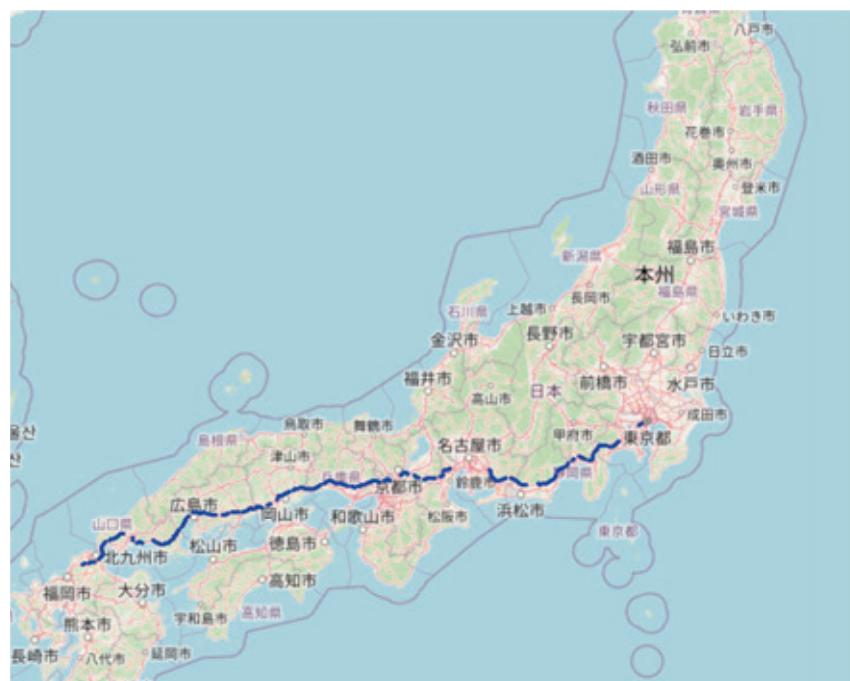


図 5.9 $k=0.6$

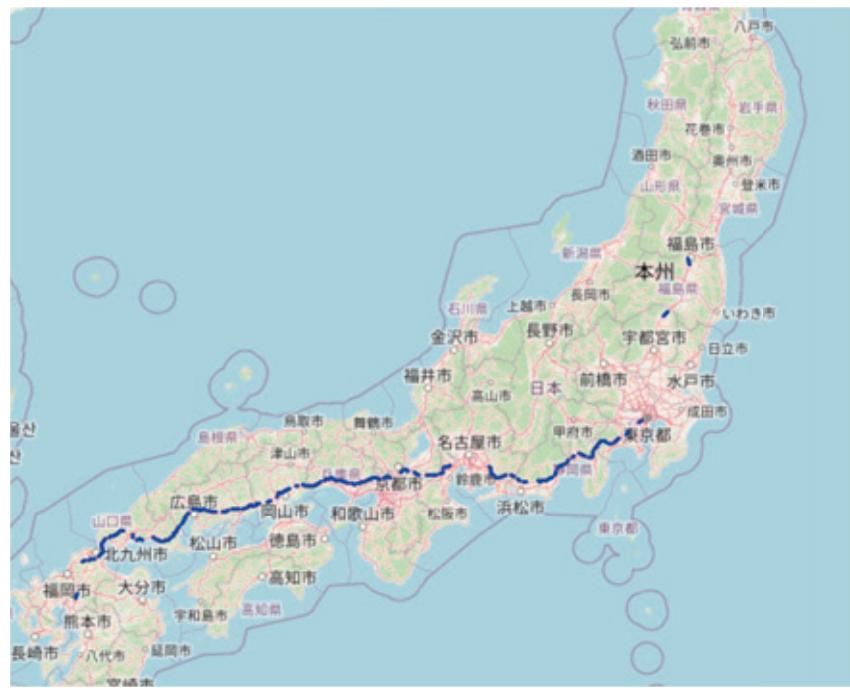


図 5.10 k=0.65

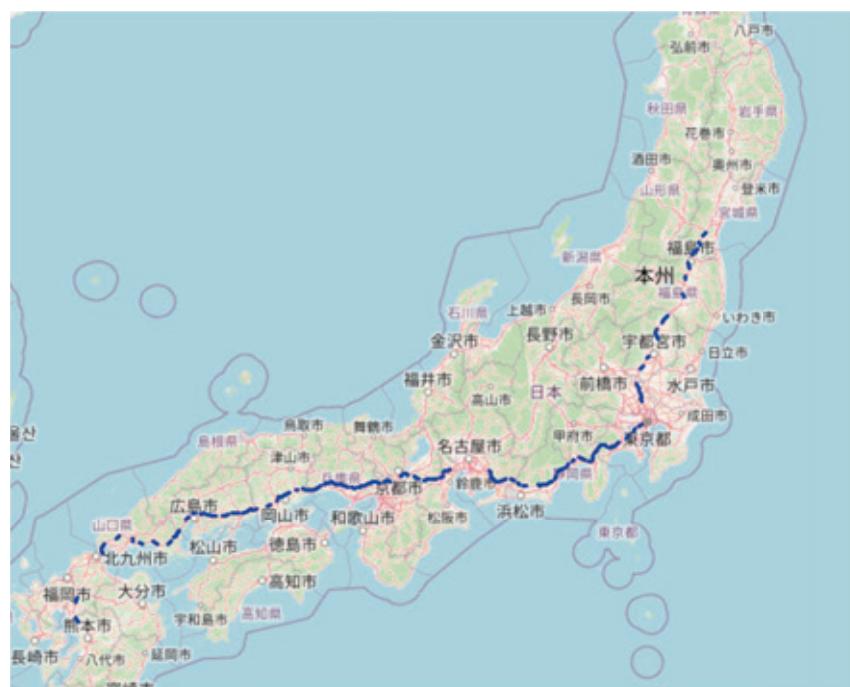


図 5.11 k=0.7

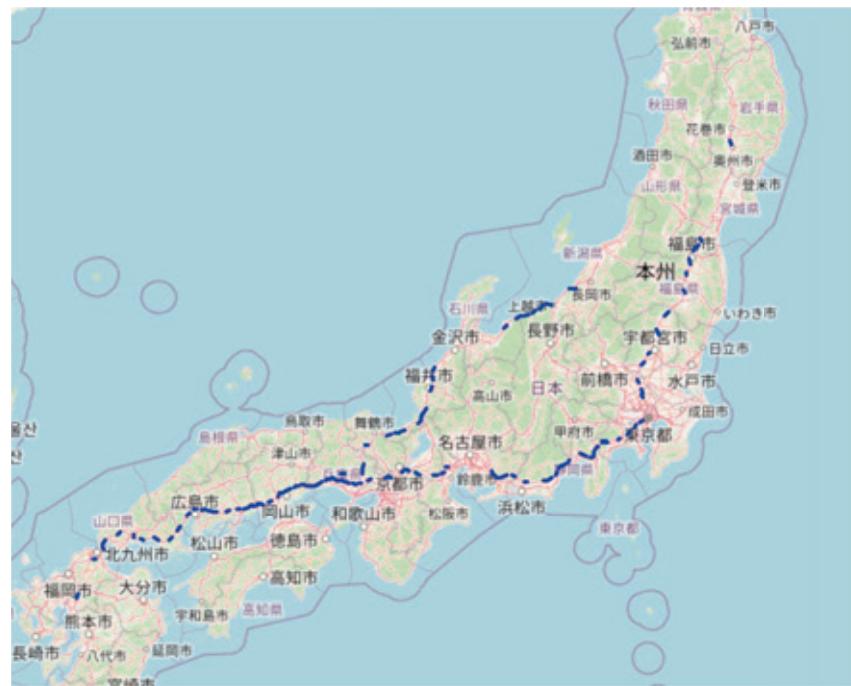


図 5.12 k=0.75

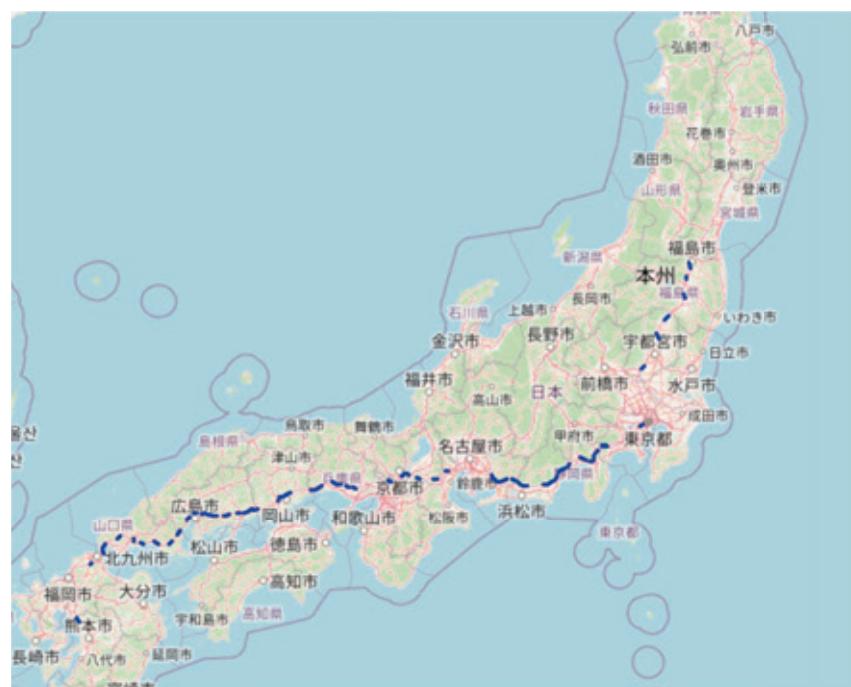


図 5.13 k=0.8

5.2.3 トリップ数

図 5.14 は、電力シナリオと、電動化トリップ数の関係を示しており、図 5.15 は、電力シナリオと、電動化されるトリップ総距離の関係を示している。

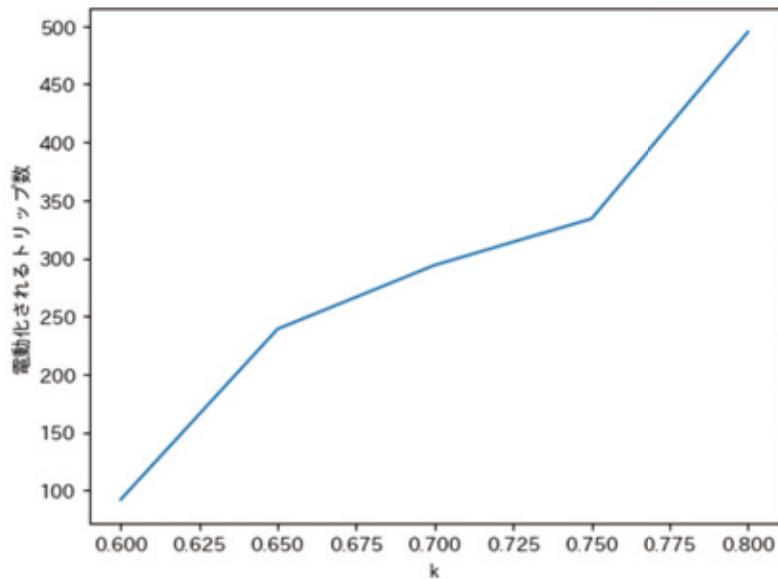


図 5.14 k の値と電動化されるトリップ数の関係

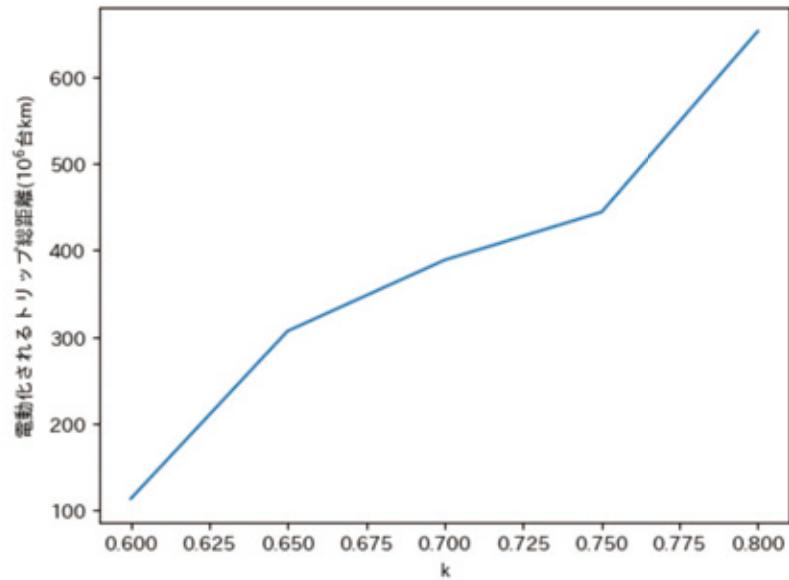


図 5.15 k の値と電動化されるトリップ総距離の関係

6章 おわりに

本章では、本研究で得られた結論と今後の課題を述べる。

6.1 本研究の結論

本研究では、日本の都市間高速道路における、走行中給電対応道路網の最適な配置を、電動化される長距離貨物トラックの数を最大化するという観点から調査した。

第1章では、本研究の背景と目的を示した。走行中給電技術は、電気自動車の課題を克服し、とりわけ大型貨物車を電動化することが期待されている。給電インフラの配置や費用対効果は、十分に検討される必要があるが、既往研究では簡易的なネットワークでの分析に留まっている。また、ネットワークの規模や給電性能も考慮しなければならないことが示されている。本研究では、日本の高速道路ネットワークにおける給電インフラの最適な配置を、ネットワークの規模や給電性能を変化させた上で、検討することを目的とした。

第2章では、走行中給電インフラの配置や、走行中給電対応道路網の費用対効果に関する既往研究を整理した。走行中給電インフラの最適な配置や費用対効果を調査する手法を述べた上で、本研究ではそれらを簡易化し、大規模な日本の高速道路ネットワークに適応することとした。

第3章では、まず、世界で行われてきた、長距離輸送を対象とする走行中給電の実証実験を整理し、日本での走行中給電の現状についても述べた。次にスウェーデンで行った現地調査の結果を述べた。これらのことから、走行中給電は、充電方式によって異なる性能や課題を持つことを示した。

第4章では、走行中給電レーンの最適な配置を求める問題の設定について述べた。各ODペアが使用するルートと、充電レーンの上限数、給電の電力を反映するパラメータを与えることで、電動化されるODペアが最大になる給電レーンの配置を求める整数計画問題である。目的関数、制約条件を定式化し、説明した。

第5章では、普通貨物車のBゾーン単位ODペア間のトリップを用いて、給電レーンの配置と、電動化されるトリップ数を最適化計算した結果を示した。結果として、東京・福岡間に給電レーンが優先的に配置された。また、整備状況がある一定の水準を超えると、

給電インフラの整備に対する、電動化されるトリップ数の割合は小さくなることが確認された。

6.2 今後の課題

本研究では、日本の高速道路ネットワークを用いて分析を行ったが、リンク数が膨大であることから、計算量が増加した。そのため、使用するODペアの数を、距離やトリップ数によって制限する必要があった。リンクが細かく分割されている区間が存在したため、最適配置問題に適するよう簡易化されたネットワークを用いることで、ODペアの数を増やして分析を行うことができる。同様に計算量を少なく抑えるために、各トリップのバッテリー残量に関する制約を緩めて分析を行った。トリップの長さのうち、30%に給電レンジが設置されていれば、電動化が可能であると仮定したが、こちらも、より簡易なネットワークを用いることで、トリップが使用するルート上の各ノードでのバッテリー残量を計算し、電動化が可能かを判断することができる。

実際の長距離輸送では、途中のパーキングエリア等で休憩を行い、そこで静的充電を行うことが考えられる。また、ハイブリッドトラックの導入も考えられ、モデル内でこれらの要素を考慮することで、より適切な配置や費用対効果を求めることができる。

参考文献

- [1] Börjesson, Maria, Magnus Johansson, and Per Kgeson (2021) “The economics of electric roads,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, p. 102990.
- [2] Chen, Zhibin, Fang He, and Yafeng Yin (2016) “Optimal deployment of charging lanes for electric vehicles in transportation networks,” *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 91, pp. 344–365.
- [3] Fuller, Micah (2016) “Wireless charging in California: Range, recharge, and vehicle electrification,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 67, pp. 343–356.
- [4] Tan, Zhen, Fan Liu, Hing Kai Chan, and H. Oliver Gao (2022) “Transportation systems management considering dynamic wireless charging electric vehicles: Review and prospects,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 163, p. 102761.
- [5] 国土交通省ホームページ「運輸部門における二酸化炭素排出量」. (Accessed on 01/27/2024).
- [6] 城間洋也・福田大輔 (2021) 「電気自動車充電施設の配置が経路及び車種の選択に及ぼす影響」, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 第76巻, 第5号, 847–858頁.
- [7] 田島孝光 (2022) 「走行中充電システムと我が国の取り組み」, 建設機械施工, 第74巻, 第1号, 81–83頁.

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ
http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-901 「都市間高速道路網における走行中給電インフラの
最適配置に関する研究：長距離貨物トラックの電動化を念頭に」

走行中給電機能を備えた道路ネットワーク整備の評価方法に関する
研究プロジェクト

2024年9月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会