

走行中ワイヤレス給電における車両別要求電力と バッテリー残量の簡易モデル

山田 悠人* 居村 岳広 (東京理科大学)

A Simplified Model of The Power Requirement and Battery Level for Dynamic Wireless Power Transfer by Various Vehicles

Yuto Yamada*, Takehiro Imura, (Tokyo University of Science)

There are several papers that consider the power requirements for wireless power transfer while driving, but none that compare all vehicles. In this paper, we have calculated the power consumption at high speed for major vehicles used in Japan and simplified the relationship between battery power and driving distance. A simple driving pattern was used, but with strict requirements. As a result, it was found that a Heavy-duty truck (25 t) can be operated for 800 km, and a Light-duty vehicle can be operated without the need to consider range.

キーワード：ワイヤレス電力伝送, 走行中給電, 電気自動車, 要求電力
(Wireless Power Transfer, Dynamic Charging, Electric Vehicles, Power Requirement)

1. 序論

磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送についての研究が近年活発になっている[1]。ワイヤレス電力伝送を電気自動車へ適用する研究も多く行われ、利便性が向上するものとされている[2-7]。現在電気自動車は充電スポット不足に伴う利便性の低下、自宅に設置する充電設備を含めたトータルの車両価格の上昇、ガソリンに比べてエネルギー密度が低いことに伴う航続距離の低下と航続距離を補うためのバッテリー容量の増加による重量アップ、そして今後すべての車両が電動化することを踏まえたバッテリーに用いられる資源不足、そしてプラグを介した感電事故等の課題を抱えている[8-10]。また電気自動車はエンジンを搭載しないため燃焼時発生する排熱を利用できず冷暖房使用時はさらに航続距離の減少につながることが懸念されている。しかしながら電気自動車へのワイヤレス給電、特に走行中の電気自動車へ道路からワイヤレスで充電を行う技術(Dynamic Wireless Power Transfer : DWPT)は現在の電気自動車抱える問題である、利便性、車両価格、バッテリー重量、バッテリー不足、航続距離不足、プラグを介した感電事故等あらゆる問題を根本的に解決するとして非常に注目されている[11-14]。停車中ワイヤレス給電は2020年10月

にSAE J2954が整備され[15]規格化されるに至ったが、広く普及するには遠い。さらに走行中給電は停車中給電と比較して技術的に考慮すべき点が多くさらに先の未来であることが予測される。しかしながら走行中ワイヤレス給電を社会実装するためには長期的な研究が不可欠であり、未来を見据えた研究が重要である。本論文では走行中給電が初めに導入されるであろう高速道路を想定し、高速道路を走行する大型トラック、高速バス、中型バス、小型トラック、そして乗用車を例にとり各車両の走行時必要な電力を求め、バッテリー残量にあてはめて走行中給電が行われた時の航続距離のモデルを示した。これまで多くの論文で車両の走行時出力が求められていたが[16]、高速道路に限定し、日本の法規制を考慮して航続距離にまで落とし込んだものはいまだない。2節で理論を示し、3節で様々な車両のケーススタディを示し、4節で結論とする。

2. 理論

ここでは走行中ワイヤレス給電を行う上で対象となる電動車が走行時に必要な牽引力 $F(t)$ を求め、機械的動力変換効率、モータ駆動効率、インバータ変換効率等を考慮しバッテリーが失うエネルギー量 $E_{discharge}$ を求める。

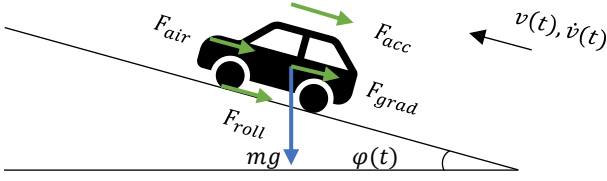


図 1 車両に走行時かかる抵抗力
Fig. 1 Resistance force applied to the driving vehicle.

〈2・1〉 車両牽引力の導出 ここでは車両が速度 $v(t)$, 加速度 $\dot{v}(t)$ で走行する場合の車両が前に進むために必要な牽引力 $F(t)$ を求める。図 1 に車両が走行時にかかる主な抵抗力を示した。車両を前に引っ張る牽引力はこれに釣り合う力となる。 $F(t)$ は加速抵抗 F_{acc} , 転がり抵抗 F_{roll} , 勾配抵抗 F_{grad} , 空気抵抗 F_{air} を用いて(1)式で表すことができる[17-22]。

$$F(t) = F_{acc}(t) + F_{roll}(t) + F_{grad}(t) + F_{air}(t) \\ = m\dot{v}(t) + \mu_{rr}mg \cos \varphi(t) + mg \sin \varphi(t) \\ + \frac{1}{2}\rho C_d A(v(t) - v_{wind}(t))^2 \quad (1)$$

加速抵抗に作用する回転部分相当質量は、本研究では加速を考慮せず、かつ車両ごとに別々の複雑な計算を要することから無視する。また実際の走行ではカーブ時に発生する抵抗 $F_{curvature}$ があるが今回は無視している。 μ_{rr} はタイヤの転がり抵抗係数、 ρ [kg/m³] は空気密度、 C_d は空気抵抗係数、 A [m²]は全面投影面積、 φ は勾配を表している。

〈2・2〉 バッテリーが消費する電力量の導出 (1)式によって車両が前進するのに必要な力 $F(t)$ が求まった。ここでは実際に電気自動車が行走時消費する電力量を計算し、ワイヤレス電力伝送によって電力が供給された場合のバッテリー残量の導出について述べる。

電気自動車が速度 $v(t)$, 加速度 $\dot{v}(t)$ で走行時、車両を牽引するパワー $P(t)$ と T 秒間で必要な電力量 E は(2)(3)で表すことができる。

$$P(t) = F(t)v(t) \quad (2)$$

$$E = \int_0^T P(t)dt \quad (3)$$

次にワイヤレス給電の結合部からタイヤまでのエネルギー伝達を考えると、図 2 の主な素子で損失が発生する。

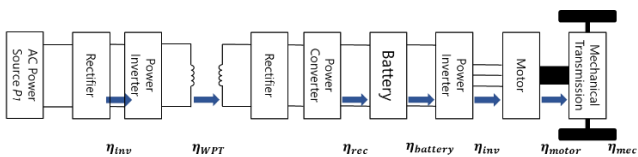


図 2 ワイヤレス電力伝送を搭載した電気自動車の主な損失
Fig. 2 The main losses of electric vehicles with wireless power transfer.

これによりバッテリーが消費するエネルギー $E_{discharge}$ は(4)で表すことができる。

$$E_{discharge} = \frac{E}{\eta_{mec}\eta_{motor}\eta_{inv}\eta_{battery}} \quad (4)$$

次に AC 電源からワイヤレス電力伝送によって EV に伝達される電力を $P_1(t)$ とするとバッテリーに充電されるエネルギー量 E_{charge} は(5)で表す。

$$E_{charge} = \int_0^T P_1(t)\eta_{inv}\eta_{wpt}\eta_{rec}dt \quad (5)$$

よってバッテリー残量 C_δ の増減 ΔC_δ は(6)で表せる

$$\Delta C_\delta = E_{charge} - E_{discharge} \quad (6)$$

3. ケーススタディ

ここでは今回検証する車種と走行パターンについての前提を説明する。車両別消費電力の計算の際に用いる各コンポーネントでの損失について表 1 にまとめた[18]。

〈3・1〉 検討車両の設定 まず始めに比較検討する車種について次のような車種を用意した。乗用車は日産自動車の Leaf S を用いた。小型トラックとしていすゞ自動車の ELF カーゴタイプを用いた。こちらは主に市街地で用いられ、コンビニエンスストアや宅配便として活躍するサイズとなる。中型トラックとしていすゞ自動車の FORWARD のカーゴタイプを用いた。大型高速バスは日野自動車の SELEGA を用いた。最後に大型トラックはいすゞ自動車の GIGA のカーゴタイプを用いた。いずれの車種でも各自動車メーカーの諸元に基づき、最大積載量での運用としている。使用した車種のデータを表にまとめた [23-29]。バッテリー容量は航続距離算出に非常に重要である。しかしながら、今回例に挙げた車両は電気自動車としてすでに販売されているものではなく、また走行中ワイヤレス給電を想定されていない。そこでトラックやバスの搭載バッテリー容量については、VOLVO FL ELECTRIC という GVW16.7 トンクラストラック [30]を参考にした。これはバッテリー容量 317kWh で航続距離 300km とされている。車体の重量は航続距離に大きく影響するため 25 トントラックでは FL ELECTRIC と同等の以上の航続距離を達成するにはバッテリー容量を増やす必要がある。そのため、25 トントラックのバッテリーを 400kWh とした。その他の検証車種のバッテリー容量については車体重量に比例して設定した。なお乗用車についてはバッテリー容量を少なくしすぎるとバッテリー寿命に悪影響を及ぼすため[31] [32]、市販のものを踏襲した。

表 1 各素子で発生する損失
Table 1 Loss generated by each element

	η_{inv}	η_{wpt}	η_{rec}	$\eta_{battery}$	η_{motor}	η_{mec}
Efficiency	0.98	0.95	0.95	0.98	0.90	0.97

表 2 検証する車両の諸元
Table 2 Specifications of the verified vehicle

	Light duty vehicle 乗用車	Class3 truck 小型トラック	Class5 truck 中型トラック	Coach 高速バス	Class8 truck 大型トラック
型番	Nissan leaf S	ISUZU ELF	ISUZU FORWARD	HINO SELEGA	ISUZU GIGA
Gross Vehicle Weight (GVW): m [kg]	1,765	4,775	7,900	15,715	24,820
Length: L [mm]	4,480	4,990	8,485	11,990	11,950
Hight: H [mm]	1,540	3,055	2,550	3,750	2,490
Width: B [mm]	1,790	1,890	2,260	2,490	3,035
Air drag coefficient: C_d	0.28	0.6	0.6	0.55	0.6
Front surface area: A [m ²]	2.5	5.7	5.7	9.3	7.5
Battery capacity : C_d [kWh]	40	75	120	250	400
Rolling resistance coefficient: η_{rr}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Vehicle speed: $v(t)$ [km/h, (mph)]	80(50)	80(50)	80(50)	80(50)	80(50)
Vehicle acceleration: $v'(t)$ [m/s ²]	0	0	0	0	0
Air density: ρ [kg/m ³]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

〈3・2〉 走行パターンの設定 次に走行パターンについて述べる。基本的に本論文では走行中ワイヤレス給電が最初に本格的に導入されるであろう高速道路での走行を前提としている。消費電力の激しい重量車の燃費計算の方法より重量車の都市間走行モードにおいてはわずかな勾配が複数回あるものの時速 80km 定速とされている[19] [20]。本論文では EV ならではの回生があることや初期検討であることを考慮し、勾配はないものとする。重量車でなくても走行パターンは同様とした。走行時は常にコイル一つ当たり 22kVA の電力 P_1 がコイル間効率 η_{coil} 95% で送られるものとする。車両ごとに搭載受電コイル数は異なるため車両ごとの図にそれぞれ記載している。また、トラックドライバーは 4 時間の運転ごとに 30 分以上の休息が義務つけられている。そこで 4 時間おきに 60 分の休憩を SA 等で取り、その間停車中ワイヤレス給電が同じくコイル一つ当たり 22kVA で行われる。

〈3・3〉 車両別消費電力とバッテリー まず乗用車と 25 トントラックの速度別のバッテリーが消費する電力 $P_{discharge}$ を以下図 3 に示した。

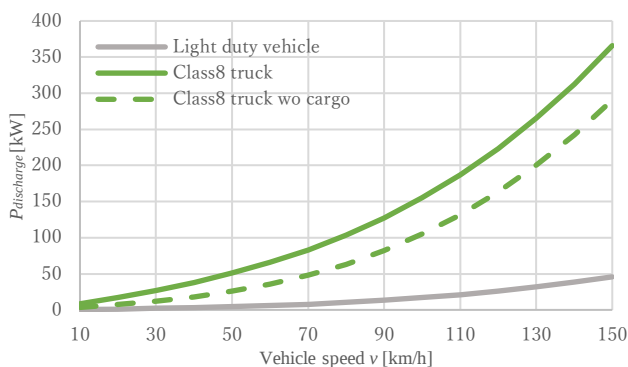


図 3 走行速度と走行時バッテリーが消費する電力の関係
Fig. 3 Relationship between driving speed and power consumed.

図 3 は Class8 truck の貨物が載っていない場合も同時に示している。空気抵抗による消費電力は速度の二乗の関係にあるため、時速 80km と時速 60km では 40% 程度消費電力が異なることがわかる。また Class8 truck では荷物を降ろすと時速 80km の時、約 50kW 弱程度消費電力を抑えられることがわかる。これより、速度や積載量が非常に重要であることがわかる。表 3 に時速 80km で走行した時の各車両のバッテリーが消費する電力をまとめた。大型車ほど非常に消費電力が大きいことがわかる日本では軽自動車も多くシェアがあるが乗用車よりもさらに消費電力が小さいとして今回考慮している。

表 3 車両ごとの消費電力
Table 3 Power consumption per each vehicle.

Light duty vehicle	Class3 truck	Class5 truck	Coach	Class8 truck
10kW	39kW	47kW	80kW	100kW

次に各車両ごとの走行について考える。

(i) 乗用車

図 4 に乗用車の航続距離とバッテリー容量の関係を示した。乗用車は走行時消費する電力よりも供給される電力の方が大きいため、実際は充電されないが容量以上の電力を受け取っていることがわかる。すなわちワイヤレス給電路上を走行しているうちは航続距離が無限である。また今回時速 80km 定速での走行であるが乗用車は時速 100km での走行が許されている。図 4 に時速 100km での走行での結果も示したが、消費電力に比べて供給電力の方が多くバッテリーが減らない結果となった。

EV の弱点の一つに冷暖房による消費電力が大きいというものがある。最近では従来の PTC ヒータの代わりに消費電力の低いヒートポンプ式空調の導入が研究されているがそれでも 2kW 程度の電力を消費する[33]。ワイヤレス電力伝送

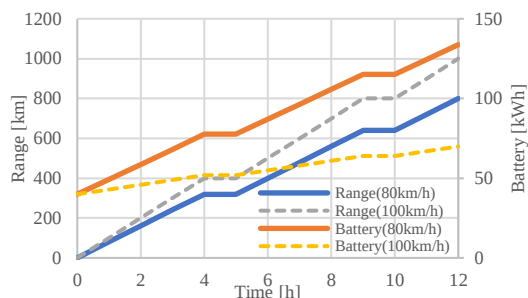


図 4 乗用車の走行距離とバッテリー残量の関係(受電コイル一つ搭載、停車中給電なし)

Fig. 4 Relationship between driving distance and the level of battery power of a light duty vehicle. (One power receiving coil installed, no power supply while stationary).

なしで走行した時、空調を作動させると航続距離が約 20km 程度減少するが、ワイヤレス電力伝送によって航続距離を考える必要がなくなることも同時に言える。

(ii) 小型トラック

図 5 に小型トラックの航続距離とバッテリー容量の関係を示した。小型トラックは乗用車と比べてあまり車体の長さが変わらず、受電コイルを複数搭載できない上、消費電力は乗用車の 4 倍近くになるため航続距離は 300km 程度にとどまった。積載量 4 トンクラスの小型トラックは一運行当たりの走行距離が 300km 未満の運航事業者の割合が、60%程度である [34]。積載量 2 トンクラスであれば長距離運航の機会はさらに減少することが予想され、またこれ以上の航続距離を望む場合は搭載バッテリー容量を増やすという事も考えられる。一方、もし走行中給電なしで 300km の航続距離を達成しようとする 150kWh のバッテリーが必要である。つまり今回 75kWh であるから、走行中給電を導入したことによってバッテリーの重さを 150Wh/kg とすると 500kg 程度削減できたことになる[35]。積載量 2 トンとすると 25%に相当する上、電費も向上できたといえる。

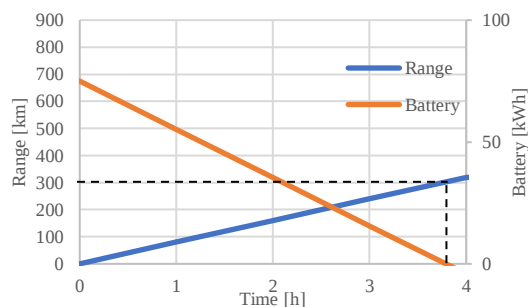


図 5 小型トラックの走行距離とバッテリー残量の関係(受電コイル一つ搭載)

Fig. 5 Relationship between driving distance and the level of battery power of a Class3 truck. (One power receiving coil installed.)

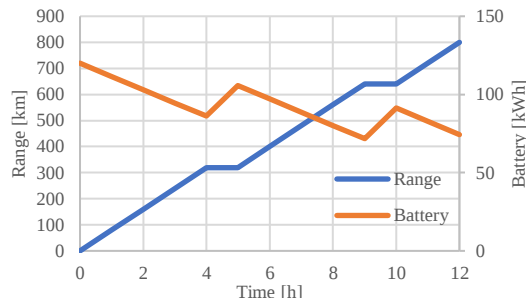


図 6 中型トラックの走行距離とバッテリー残量の関係(受電コイル二つ搭載、停車中給電あり)

Fig. 6 Relationship between driving distance and the level of battery power of Class5 truck. (Two power receiving coil installed, power supply while stationary).

(iii) 中型トラック

図 6 に中型トラックの航続距離とバッテリー容量の関係を示した。中型トラックは車体の長さがあるため受電コイルを 2 個搭載し、走行中給電にて 44kVA 分の電力を受け取る。また停車時には同様に 44kVA の停車中給電を実施する。停車中給電では 1 個のコイルから給電を行った。これより運航開始から 12 時間経過しても高速道路を降りた後の市街地を走行するのに十分なバッテリー容量を残していることがわかる。中型トラックは都市間輸送だけでなく、都市内輸送の役割も担うため、今回の結果は非常に有益なものであると考える。また一方で、バッテリー容量を減らして積載量の増加と電費の向上を図ることも可能である。

(iv) 高速バス

図 7 に高速バスの航続距離とバッテリー容量の関係を示した。高速バスは車体が長い受電コイルは 3 つ搭載し、走行中給電にて 66kVA 分の電力 P_1 を受け取る。停車中も同様である。また高速バスは停車時間を各 30 分とした。これにより、時速 80km で走るとすると、11 時間で 800km の走行が可能となった。高速バスは車幅が広く空力が大きい、車体重量の割に消費電力が大きい。図 7 に時速 100km での走行での結果も示したが、連続で走行するとすると、航続距離

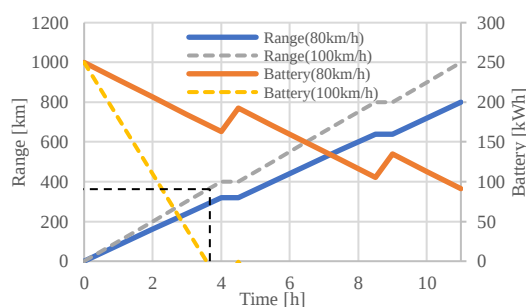


図 7 高速バスの走行距離とバッテリー残量の関係(受電コイル三つ搭載、停車中給電あり)

Fig. 7 Relationship between driving distance and the level of battery power of Coach. (Three power receiving coil installed, power supply while stationary).

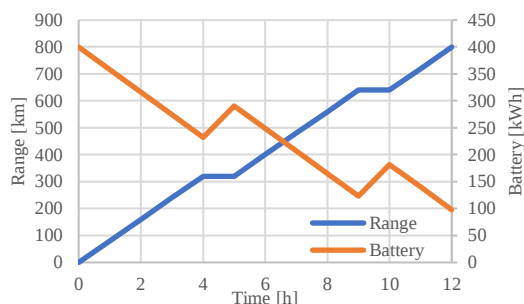


図 8 大型バスの走行距離とバッテリー残量の関係(受電コイル三つ搭載、停車中給電あり)

Fig. 8 Relationship between driving distance and the level of battery power of Class8 truck. (Three power receiving coil installed, power supply while stationary).

は 400km に満たなくなってしまうことがわかった。

(v) 大型トラック

図 8 に大型トラックの航続距離とバッテリー容量の関係を示した。大型トラックは車体の長さが長いので受電コイルを 3 個搭載し、ワイヤレス給電にて 66kVA 分の電力を受け取る。これにより 12 時間の運行時間で 800km の走行が可能としている。各運搬先や営業所では約 6 時間強の充電時間で満充電にできるが、商用車は稼働率が非常に高い[34]。商用車の停車中給電としてはさらなる充電出力が求められる。

TESLA の Class8 truck として GVW36 トンクラスの SEMI という機種の発売が期待されているが、空気抵抗係数 C_d 0.36 で航続距離 800km をバッテリー容量 1MWh 程度以下で走行するとされている。36 トンの SEMI と比べて 25 トントラックは軽い、バッテリーサイズは約半分以下に抑えることができ、また空気抵抗係数をさらに 0.36 程度まで大幅に削減することで、さらに航続距離増加や、バッテリー減少につながることができる。と考える。

4. 結論

本論文では電気自動車が走行する際に消費するエネルギーとバッテリー残量の関係について示した。また結果では重量車の簡単な走行パターンを意識して走行中ワイヤレス給電が初めに導入されるであろう高速道路にて定速での検証を行った。現在発売されている VOLVO の EV トラックや、販売を予定している三菱 FUSO の EV トラックと比較すると、走行中ワイヤレス給電を導入することによってバッテリー容量を半分程度に抑えつつも航続距離を倍以上に延ばしている。使用した 25 トントラックを充電なしで 800km 走行させようとする 1MWh のバッテリーが必要である。つまり走行中給電や停車中給電を使用することによって 600kWh のバッテリーを削減することができる。バッテリーの重量を 150Wh/kg とし、価格を 1 万円/kWh とすると[35]、

4 トンの重量削減と、600 万円の車両価格の低減につながる。価格については 3 万円/kWh という最近の研究[36]もあるため経済効果は大きい。総重量が 25 トンのトラックにとって 4 トン分貨物を積むことができるのは非常に大きくまた価格も求めやすくなった。

販売が予想される TESLA の SEMI を走行中給電を用いずに 1MWh のバッテリーを積載して走行させると、650km 程度の航続距離にとどまった。800km の走行が可能と発表されていることから本検証方法は比較的厳しく評価していることがわかる。今回は実際の走行パターンである UDDC や燃費計算の際に用いる WLTC モード等を用いていないため厳密な評価とは言えないが、WLTC モードの高速走行モードの平均速度は時速 60km 程度となっているように、非常に厳しい条件を採用しているため、高速道路での走行においては正しい検証を示していると考えられる。また、実際の高速道路では一番左の車線に走行中ワイヤレス給電レーンが設置されることが考えられる。重量車は消費電力が大きく、常に左車線を走行することが予想されるため法定速度が時速 100km の小型車両やバスであっても時速 80km でのワイヤレス給電となる。

本論文の結果より、電気自動車へのワイヤレス給電はバッテリー容量を大幅に削減し航続距離も延ばせることがわかった。バッテリーの需要の増加に対し供給が間に合わないとの見込みがある中、バッテリー容量を半分程度以下にまで減少することができるメリットは非常に大きい。WPT4 クラスの 22kVA の平均送電電力において、乗用車に関しては走行中給電によってバッテリー容量の減少を考慮する必要がないため、SA 等での大規模な停車中給電設備が不要であることも大きい。一方で走行中給電を実用化するためには、車両サイズや運用方法等を考慮した適切なバッテリー容量の選定や、商用車に関しては停車中給電のさらなる高出力化が課題である。

文 献

- [1] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," *Science*, Vol. 317, No. 5834, pp. 83-86 (2007).
- [2] Y. Yamada, T. Imura, "A study on Optimization of Wireless Power Transmission Ferrite-less Coils in the 85 kHz Band by Numerical Analysis," *EVTeC2021*, Yokohama, 2021, May.
- [3] R. Tavakoli and Z. Pantic, "Analysis Design and Demonstration of a 25-kW Dynamic Wireless Charging System for Roadway Electric Vehicles," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Sep

- 2018.
- [4] H. Fujimoto, O. Shimizu, S. Nagai, T. Fujita, D. Gunji and Y. Ohmori, "Development of Wireless In-wheel Motors for Dynamic Charging: From 2nd to 3rd generation," IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (WoW), Korea, pp. 56-61, 2020.
 - [5] K. Sasaki, T. Imura, "Combination of Sensorless Energized Section Switching System and Double-LCC for DWPT," 2020 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), nov.2020.
 - [6] Y. J. Jang, S. Jeong and Y. D. Ko, "System optimization of the On-Line Electric Vehicle operating in a closed environment", ScienceDirect, Comput. Ind. Eng., vol. 80, pp. 222-235, Feb. 2015.
 - [7] O. C. Onar, J. M. Miller, S. L. Campbell, C. Coomer, C. P. White and L. E. Seiber, "A novel wireless power transfer for in-motion EV/PHEV charging," 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA.
 - [8] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, May 2013, doi: 10.1109/TPEL.20.
 - [9] M. M. Thackeray, C. Wolvertonb and E. D. Isaacs, "Electrical energy storage for transportation—approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries," Energy Environ. Sci., 2012, vol. 5, 7854–7863.
 - [10] Mariz B. Arias, Sungwoo Bae, "Electric vehicle charging demand forecasting model based on big data technologies," Applied Energy, Volume 183, Pages 327-339, 2016.
 - [11] P. D. Aghcheghloo, D. J. Wilson and T. Larkin, "Towards the Electrification of Road Infrastructure," Equity in Transportation, New Zealand, Mar. 2020.
 - [12] S. Li and C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 3, no. 1, pp. 4-17, March 2015.
 - [13] K. W. Klontz, D. M. Divan, D. W. Novotny and R. D. Lorenz, "Contactless battery charging system," US Patent 5157319, 1991.
 - [14] Chwei-Sen Wang, O. H. Stielau and G. A. Covic, "Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no. 5, pp. 1308-1314, Oct. 2005.
 - [15] SAE International, "Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology J2954," Issued 2016-05, Revised 2020-10.
 - [16] Highways england, "Feasibility study : Powering electric vehicles on Englands major roads," 2015.
 - [17] M. Ziyadi, H. Ozer, S. Kang, I. L. Al-Qadi, "Vehicle energy consumption and an environmental impact calculation model for the transportation infrastructure systems," Journal of Cleaner Production, Volume 174, 2018, Pages 424-436.
 - [18] J. Asamer, A. Graser, B. Heilmann, M. Ruthmair, "Sensitivity analysis for energy demand estimation of electric vehicles," Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 46, 2016, Pages 182-199, Jul. 2016.
 - [19] 独立行政法人 自動車技術総合機構, "燃料消費率試験 (WLTC モード) ,".
 - [20] 独立行政法人 自動車技術総合機構, "燃料消費率試験 (重量車 (2025 年度燃費基準対応)) ,".
 - [21] B. J. Limb et al., "Economic Viability and Environmental Impact of In-Motion Wireless Power Transfer," in IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 5, no. 1, pp. 135-146, March 2019.
 - [22] 竹内琢磨, 郡司大輔, 居村岳広, 堀洋一, "走行中ワイヤレス電力伝送における必要送電電力の簡易計算法," IEICE Technical Report, June 2016.
 - [23] いすゞ自動車 Forward, https://www.isuzu.co.jp/product/forward_post/index.html, [オンライン].
 - [24] いすゞ自動車 GIGA, <https://www.isuzu.co.jp/product/giga/>, [オンライン].
 - [25] 日産自動車 LEAF S, <https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf.html>, [オンライン].
 - [26] 日野自動車 SELEGA, <https://www.hino.co.jp/selega/>, [オンライン].
 - [27] TESLA SEMI, <https://www.tesla.com/semi>.
 - [28] K. Holmberg, P. Andersson, N. O. Nylund, K. Mäkelä, A. Erdemir, "Global energy consumption due to friction in trucks and buses," Tribology International, Volume 78, 2014.
 - [29] 村野昭人, 鈴木武, "コンテナヤードにおけるヤードトレーラーの燃料消費量推計モデルの構築," 国土交通省, 国土技術政策総合研究所, Sep. 2004.
 - [30] Volvo FL Electric: <https://www.volvotrucks.com/en/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>.
 - [31] L. Patnaik, P. S. Huynh, D. Vincent and S. S. Williamson, "Wireless Opportunity Charging as an Enabling Technology for EV Battery Size Reduction and Range Extension: Analysis of an Urban Drive Cycle Scenario," IEEE Wow, 2018, pp. 1-5.
 - [32] S. Jeong, Y. J. Jang, D. Kum and M. S. Lee, "Charging Automation for Electric Vehicles: Is a Smaller Battery Good for the Wireless Charging Electric Vehicles?," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 16, no. 1, pp. 486-497, Jan. 2019.
 - [33] C. Cuevas, S. Declaye, V. Lemort, "Experimental characterization of a reversible heat pump for hybrid and electric vehicles," Advances in Mechanical Engineering, Apr 2019.
 - [34] 日本自動車工業会, "普通トラック市場動向調査," Mar. 2021..
 - [35] E. Sproul et al., "Electrification of Class 8 Trucking: Economic Analysis of In-Motion Wireless Power Transfer Compared to Long-Range Batteries," 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2018, pp. 744-748, doi: 10.1109/ITEC.201.
 - [36] A. Shekhar, M. Bolech, V. Prasanth and P. Bauer, "Economic considerations for on-road wireless charging systems - A case study," 2015 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (2015 WoW), 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/WoW.2015.7132804.