

4Y-06

# パーソナルモビリティの走行中無線電力伝送に向けた送電コイル設計に関する一検討

林寛将<sup>†</sup> 笹谷拓也<sup>†‡</sup> 成末義哲<sup>†</sup> 川原圭博<sup>†</sup>  
 東京大学<sup>†</sup> 日本学術振興会特別研究員 DC<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

電池やモータを搭載したパーソナルモビリティは優れた走行性やその手軽さから流行の兆しを見せ、公道での走行が許可された地域ではシェアリングサービスが台頭している。しかしこれらは充電の煩わしさや電池容量の小ささなどの問題を抱えており、走行中の充電を可能にする無線電力伝送技術はこれらの問題の解決する糸口として期待されている。大電力を伝送できることで知られる磁界共振結合方式の無線電力伝送はシステム設計の際に設置方法や設置コスト、運用コスト、電波法などの制約を考慮する必要があるが、パーソナルモビリティへの給電に関してはこれらの指標が無いのが現状である。そこで本稿では電動キックボードへの給電を例とし、既存の道路に後から設置する無線電力伝送システムについて、送電コイルの大きさの違いによって生じる、コストや効率などの間のトレードオフに関する検討を行った。

## 2 関連研究

電気自動車を対象とする磁界共振結合方式をはじめとした無線電力伝送技術が盛んに研究されている [1]。パーソナルモビリティは電池とモータを搭載するという点で電気自動車と類似しており、電気自動車を対象とする無線給電技術を応用することが可能である。

我々は走行中の給電を想定した  $2\text{ m} \times 0.3\text{ m}$  の大きさの送電コイルを用い、シミュレーションにより 90% 以上の送電効率が得られることを示した [2]。しかし、以上のコイルを実際に作成すると周波数に対し線路長が長いため分布定数回路の扱いとなり高効率な電力伝送に重要な共振状態とすることが困難であった。

成末らが提案した分散リアクタンス補償を用いると、コイル中の電流分布を均一化し、高い周波数でも駆動可能な大きなコイルを作成できる [3]。そこで本稿では、走行中無線電力伝送に焦点を当て、分散リアクタンス補償を用い

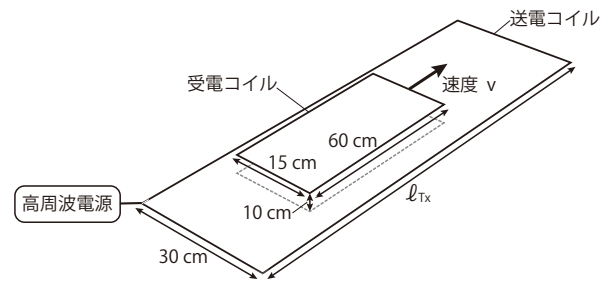


図 1: 送受電コイルの位置関係

た送電コイルを扱うことで送電コイルを大きくできる一方で、大きくすることで生じる問題点について検討する。

## 3 送電コイルの検討

分散リアクタンス補償を用いて送電コイルを大きくすると、送電コイル 1 つあたりの受電時間が増え、設備数 (コイル数) が減るため設備にかかるコスト削減につながるが、送電効率が減少するため送電電力量が増加し運用コストが増加する。また、送電コイルを大きくすると漏洩磁界が大きくなるため安全を考慮した送電コイルの設計も必要となる。

そこで本稿では、送電コイルの長さ  $l_{Tx}$  に対し走行中無線電力伝送に必要な設備数  $N$  と送電する電力量にはトレードオフの関係があることを具体的な数値計算により示す。

本稿での計算に用いたパラメータを表 1 に、想定する送受電コイルの位置関係を図 1 に示す。送電コイルの幅を  $0.3\text{ m}$  で固定し、 $l_{Tx}$  は送受電器が 1 対 1 で送受電するように速度  $v$  で 2 秒走る距離を車間距離としてこれを上限とした。受電コイルは電動キックボードのデッキ部分に配置することを想定した大きさとし、送受電コイル間のギャップ

表 1: 計算に用いたパラメータ

受電コイル	$0.6\text{ m} \times 0.15\text{ m}$	送電コイル	$l_{Tx} \times 0.3\text{ m}$
$\min\{l_{Tx}\}$	0	$\max\{l_{Tx}\}$	$2v$
線種	銅	線径	2 mm
周波数 $f$	6.78 MHz	速度 $v$	20 km/h
ギャップ $g$	100 mm	走行距離 $L$	1 km
必要電力量 $E$	10 kJ	送電電力 $P$	200 W

Consideration of Transmitting Coil Design for In-motion Wireless Power Transfer for Personal Mobility Devices

<sup>†</sup>Hiromasa Hayashi, <sup>†‡</sup>Takuya Sasatani, <sup>†</sup>Yoshiaki Narusue, and <sup>†</sup>Yoshihiro Kawahara

<sup>†</sup>The University of Tokyo

<sup>‡</sup>JSPS Research Fellow

を 100 mm とした。コイルは簡単のため 1 巻きとし、ノイマンの式により相互インダクタンスを算出し、抵抗は表皮効果による抵抗と分散リアクタンス補償に用いるキャパシタの  $Q$  値を 500 としたときの寄生抵抗のみとした。また電動キックボードは 1 km を 20 km/h で走行するとし、そのために必要な電力量を 10 kJ, 送電電力を 200 W とした。

### 3.1 設備数と送電電力量の計算

はじめに、送電コイル 1 つを通過するときの平均の送電効率について計算により得た結果と、分散リアクタンス補償を送電コイルに施した場合について電磁界シミュレーションにより得た結果を図 2 に示す。ただし、各長さの送電コイルに対し効率が最大値の 95% 以上となる区間で受電するとし、効率は最大効率を算出した。また、シミュレータは Altair inc. 社製の FEKO を用いた。計算により得た結果とシミュレーションにより評価した結果の誤差は 1.5% 未満であった。図 2 から、効率が最大となる  $l_{Tx}$  は受電コイルの長さと同じ 0.6 m であり、 $l_{Tx}$  を 10 m 以上としても 70% 以上の平均効率を維持していることが分かる。

次に、送電コイルの長さ  $l_{Tx}$  と表 1 の値を用いた場合の 1 km あたりの設備数（コイルの数） $N$  の関係を図 3 に示す。算出には式 (1) を用い、分母は送電コイル 1 つあたりの給電したエネルギーであり、 $E$  は距離  $L$  を走行するのに必要なエネルギーである。効率  $\eta_{total}$  は無線電力伝送の効率に整流器やモータなどの効率 0.8 を乗じた効率である [4]。図 3 から、0.6 m 以上の範囲では反比例に近いグラフが得られ、 $l_{Tx}$  が大きいほど設備数は小さくなり、設備にかかるコストは減少すると言える。

ここで、本稿では送電設備の出力を  $P = 200$  としたが、無線電力伝送された電力のみで等速走行する場合に必要な送電電力  $P$  は式 (2) により算出される [4]。  $R$  は走行抵抗である。送電設備の出力  $P$  が大きくなると設備にかかるコストが増加するが、図 3 のように  $l_{Tx}$  を大きくし、設備数を減少させると出力の増加を抑制できる。

$$N = \frac{E}{P \int_0^T \eta_{total}(t) dt} \quad (1)$$

$$P = \frac{RLv}{\eta_{total} N l_{Tx}} \quad (2)$$

最後に、送電コイルの長さ  $l_{Tx}$  と表 1 の値を用いた場合の送電電力量  $PTN$  の関係を図 4 に示す。ただし、 $T$  は 1 つの送電コイルを通過する時間である。送電電力量  $PTN$  は式 (1) より、必要電力量  $E$  を平均効率で割ったものである。したがって、図 2, 4 は同じ性質を示すものであり、効率が最大になる 0.6 m で送電電力量は最小となる。すなわち、 $l_{Tx}$  が 0.6 m より大きくなると使用する電力量が多くなるため、運用コストは増加すると言える。

以上をまとめると、コストを小さくする送電コイルの長さ  $l_{Tx}$  は受電コイルの長さである 0.6 m 以上であるが、大

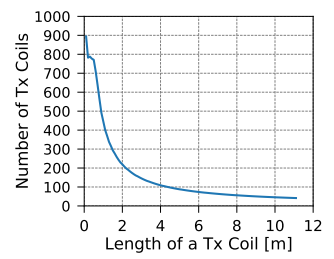
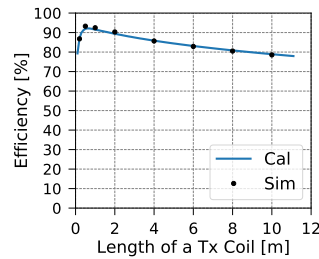


図 2: 送電コイルの長さとの関係 図 3: 送電コイルの長さとの関係

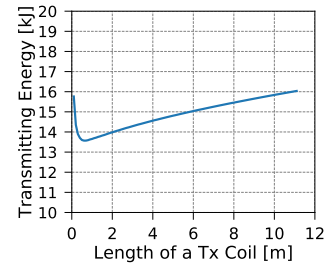


図 4: 送電コイルの長さとの関係

きくするほど設備数が減少する一方で、送電する電力量が大きくなるため、設備自体のコストと運用コストがトレードオフの関係となっていることが明らかになった。

## 4 おわりに

本稿では走行中無線電力伝送に用いる送電コイルの長さに関して検討し、電動キックボードを例とした制約条件のもと計算を行った。送電コイルの長さを大きくすると設備数と送電する電力量にトレードオフの関係があることが明らかになった。漏洩磁界など他の指標も含めて送電コイルの長さを決定する手法を議論することが今後の課題である。

本研究は JST ERATO 川原万有情報網プロジェクト (JP-MJER1501), JSPS 特別研究員奨励費 (JP18J22537), (株)メルカリの助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Siqi Li and Chunting Chris Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol.3, no.1, pp.4-17, Mar. 2015.
- [2] 林寛将, 笹谷拓也, 成末義哲, 川原圭博, "パーソナルモビリティへの磁界共振結合型無線電力伝送における位置ずれの影響評価," 信学ソ大, B-21-5, Sept. 2018.
- [3] 成末義哲, 川原圭博, 森川博之, "分散リアクタンス補償を用いた共振器内電流分布均一化に関する検討," 信学ソ大, B-21-8, Sept. 2018.
- [4] 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," 信学技報, WPT2016-16, pp.33-37, 2016.