

走行中ワイヤレス給電における 薄型エッジワイズコイルの実現に関する基礎研究

清水 廉哉[†] 山原 孝裕[‡] 塙 昂樹[‡] 居村 岳広[‡] 堀 洋一[‡]

[†] 東京理科大学理工学部 〒278-0022 千葉県野田市山崎 2641

あらまし 走行中給電は電気自動車のバッテリーの重量問題を解決しうる技術として注目されている。現在走行中給電で利用されているリッツ線コイルは埋設が必須となるが、メンテナンス性や形而変化による劣化において不利である。エッジワイズコイルは、リッツ線コイルと比べて薄いコイルであるためアスファルト表面への設置が可能となり、埋設によるデメリットを改善することが出来る。反面エッジワイズコイルはリッツ線コイルと比べて性能が低いため、エッジワイズコイルの解析及び測定を通して検討した。解析では 1700×600 , 1200×600 のエッジワイズコイルをパラメータごとに比較解析し、傾向とアスファルトからの影響を解析、またそれを元に最適化を行い Q 値は 67.6%改善した。実測においてはエッジワイズコイルの巻き数ごとの比較を行った。巻き数ごとの影響は解析と実測で傾向が一致し、また実測における Q 値の最大値は 102 となった。今回の検討を踏まえて、エッジワイズコイルを路面に設置することの可能性が示せた。

キーワード ワイヤレス給電, 走行中ワイヤレス給電, 最適化, エッジワイズコイル

Basic Research on Realization of Thin Edgewise-type Coil for Dynamic Wireless Power Transfer

Renya SHIMIZU[†] Takehiro YAMAHARA[‡] Koki HANAWA[‡]

Takahiro IMURA[‡] and Yoichi HORI[‡]

[†] Tokyo University of Science 2641 Yamazaki, Noda-shi, Chiba, 278-0022 Japan

E-mail: shimizu.renya22@gmail.com

Abstract Dynamic power supply is attracting attention as a technology that could solve the weight problem of electric vehicle batteries. Litz wire coils, which are currently used for in-transit power supply, must be buried, but they are disadvantageous in terms of maintenance and deterioration due to metaphysical changes. Edgewise-type coils are thinner than litz wire coils and can be installed on asphalt surfaces. On the other hand, Edgewise-type coils have lower performance than litz wire coils, and this was investigated through analysis and measurement of Edgewise-type coils. In the analysis, Edgewise-type coils of 1700×600 and 1200×600 were compared and analyzed for each parameter, and the tendency and the influence from asphalt were analyzed and optimized based on them. In the actual measurement, a comparison was made for each number of turns of Edgewise-type coils. The maximum Q-value was 102. It is thought that optimization through the aforementioned analysis and improvement of the size will bring the coil close enough to the target litz wire coil.

Keywords Wireless Power Transfer, Dynamic Wireless Power Transfer, Optimization, Edgewise-type coil

1. 序論

1.1. 研究背景

電気自動には航続距離が短いという弱点がある。解決しうる技術としてワイヤレス電力伝送が注目されている。現在ワイヤレス電力伝送には様々な方法があるが、10cm 以上の距離を比較的高効率に伝送できる磁界結合方式が使われている。ワイヤレス電

力伝送により電気自動車の航続距離の問題が解決できる。送電コイルの設置方法として[1]~[2]が挙げられる。[1]では走行中給電においてコイルを埋設しアスファルトに MMA 樹脂を流し込む方法が提案された。しかし埋設を行った場合、埋設工事のコストや故障した時の掘り起こしによるメンテナンス性などの問題が発生する。[2]ではこの問題を解決とし

て路面設置型コイルを用いた。しかし用いられているコイルはフェライトを用いていて厚い。この問題を解決するため、本稿ではフェライトなどを用いないシンプルな路面設置型のエッジワイズコイルを提案する。

エッジワイズコイルは、銅板を平面に巻くことによって表面積や薄さなどの点にメリットを持つコイルのことである。本稿では埋設に用いられるコイルの規格の中で各パラメータを変え、エッジワイズコイルの性能及び傾向を解析した。またこれに加えて実際のエッジワイズコイルを計測した。

2. エッジワイズコイルの概要

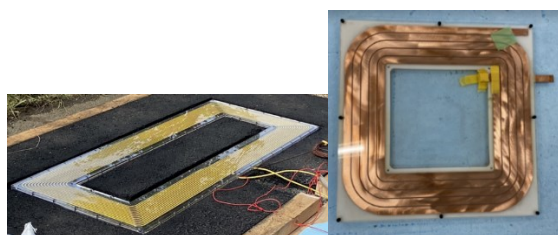
2.1. 送電コイルの埋め込み時の問題点

電気自動車に対するワイヤレス給電では、送電側の設備を地面に埋設し、また受電側の設備を電気自動車に搭載することを前提に議論されている[1]。

送電用リッツ線コイルはケースを含めない場合6mmもの厚みがある。そのため送電用のリッツ線コイルは道路の表面に置くと走行の邪魔になるため、地面に埋設する必要がある。しかし送電コイルを地面に埋設するには、大規模な工事を必要とし、また埋設したコイルは時間が経つにつれて

2.2 エッジワイズコイルの仕組み

この問題を解決するために本稿ではエッジワイズコイルを提案する。



(a)リッツ線コイル (b)エッジワイズコイル

Fig.1 送電コイル

Fig.1 の(a)は現在走行中給電で検討されているリッツ線コイル、(b)はエッジワイズコイルである。Fig.1 に示すように、通常の走行中給電に用いられるコイルは細い銅線を束ねたリッツ線を横に巻くことで作られる。それに対してエッジワイズコイルはFig.1(b)のように、断面積が長方形の銅板を短辺方向に巻いたコイルを指す。

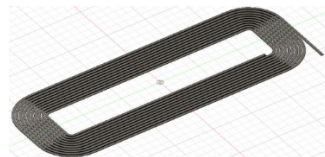


Fig.2 1700×600 のエッジワイズコイル

Fig.2 は提案する送電用エッジワイズコイルのcad データである。

送電用エッジワイズコイルは送電用リッツ線コイルと比べて極めて薄い。この送電用コイルであれば地面に直接置いたとしても車の走行の邪魔になる可能性は低いと考えられる。これにより埋設が不要となり、前述した問題点を解決できる。

2.3 エッジワイズコイルの解析

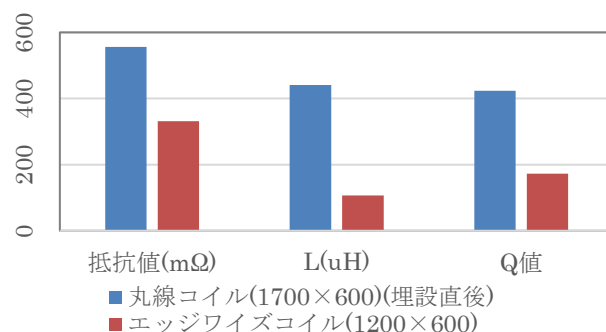


Fig.3 エッジワイズとリッツ線の比較

Fig.3 からわかる通り、リッツ線コイルと比べてエッジワイズコイルは性能が低い。そのため仮にエッジワイズコイルを送電コイルに用いた場合、現時点では性能が大幅に下がることが予想される。先行研究【3】～【4】においても、走行中給電に用いられる大型のエッジワイズコイルの最適化やアスファルトからの影響を述べたものはなかった。このためエッジワイズコイルの最適化及びアスファルトからの影響を検証する必要がある。

本稿ではエッジワイズコイルの解析及び測定、比較を通して、エッジワイズコイルの傾向及び最適化、アスファルトからの影響の検証、またリッツ線コイルと比べた時のエッジワイズコイルの実用性を検討する。

3 エッジワイズコイルの解析

3.1 1700×600mm のコイル

本項目では先行研究において送電側に用いられるコイルと同じ 1700×600mm サイズのエッジワイズコイル(以下 1700 コイル)を解析し、抵抗値、Q 値の値からエッジワイズコイルの傾向及び実用性を探るものである。

Fig.4 は基本となる 1700 コイルの図である(以下基本 1700 コイル)。このコイルは巻き数が 10 巻き、断面は 15×2mm、線間距離が 5mm となっている。この基本 1700 コイルの物理的パラメータを比較解析する。Q 値を性能の指標として論じているため、以下の解析では Q 値のみを示す。

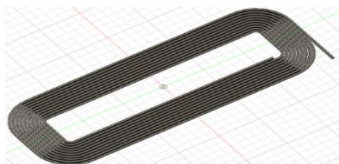


Fig.4 基本 1700 コイル

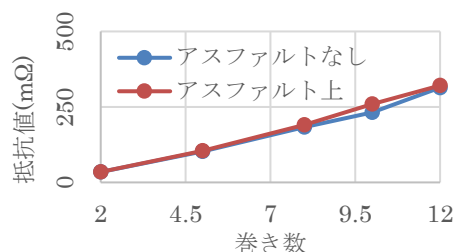


Fig.5 巻き数に対する抵抗値

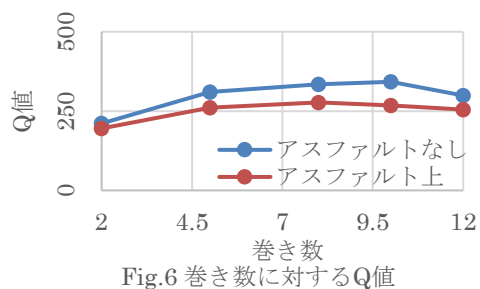


Fig.6 巻き数に対するQ値

Fig.5,6 は巻き数に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値は巻き数が増えるごとに増大し、アスファルトによって 5%程度増している。Q 値は 10 回巻の時で最大の 342 となった。アスファルトからの影響は 15%程度生じている。また 5~10 回巻間の変化は小さい。12 回巻の変化は中心の間隔が小さくなったことで発生したと考えられる。以上の結果から、最適な巻き数は 10 回巻であるとした。

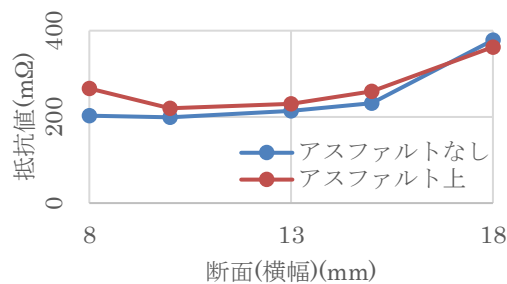


Fig.7 断面に対する抵抗値

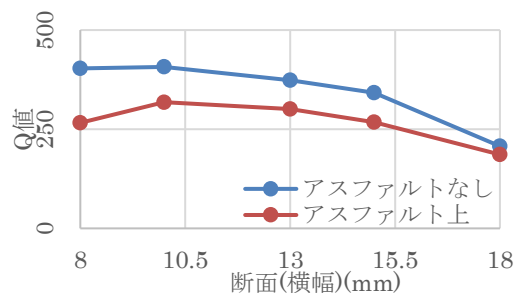


Fig.8 断面(横幅)に対するQ値

Fig.7,8 は横幅に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値は 18mm の時上昇するのみで、それ以外の変化は小さい。これは線間距離が小さくなったことによる影響が大きいと考えられる。またアスファルトの影響は横幅が 8mm の時に 31.0%と特に大きい。それ以外の影響は 10%前後と小さかった。アスファルトからの影響は 8mm の時 34%、それ以外は 20%前後だった。この時の Q 値の最大値は横幅 10mm の時の 407 であり、これは解析 3.1 を通して最大の値だった。以上の結果から、最適な断面の横幅は 10mm であるとした。

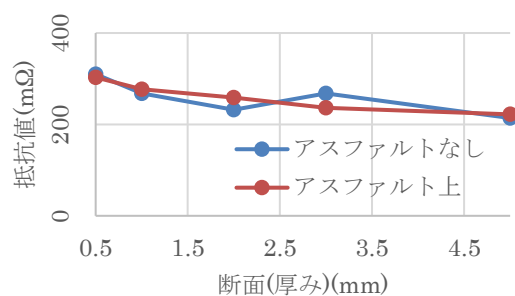


Fig.9 断面(厚み)に対する抵抗値

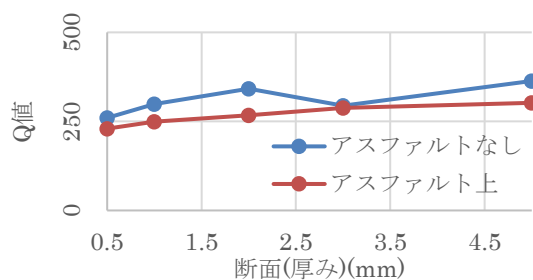


Fig.10 断面(厚み)に対するQ値

Fig.9,10 は厚みに対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値は厚みが大きくなればなるほど小さくなったが、2mm 以降の変化は小さい。アスファルトからの影響は厚みが大きくなればなるほど大きくなり、0.3~11%程度変化した。この時の Q 値の最大値は厚み 5mm の時の 363 だった。最適な厚みは変化が小さくなる 2mm とした。

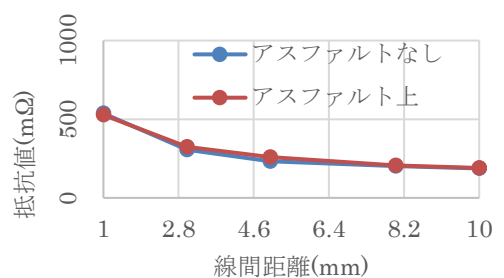


Fig.11 線間距離に対する抵抗値

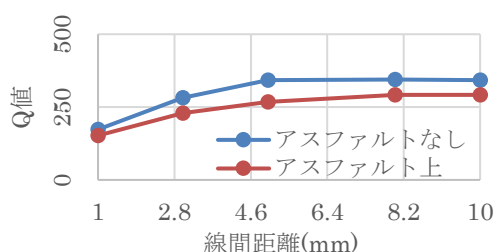


Fig.12 線間距離に対するQ値

Fig.11,12 は線間距離に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。線間距離の抵抗値は 1~5mm 間で大きく下がり、5~10mm 間での変化は小さかった。アスファルトからの影響は 2%程度と極めて小さかった。Q 値は線間距離が 5mm 以降変化が小さくなり、アスファルトからの影響は 15~20%程度だった。最大の Q 値は線間距離が 8mm の時の 344 だった。以上の解析から最適な線間距離は 8mm とした。

3.2. 1200×600mm のコイル

本項目では次項で製作するコイルと同じ 1200×600[mm]サイズのエッジワイズコイル(以下 1200 コイル)を解析し、抵抗値、Q 値の値からエッジワイズ

コイルの傾向及び実用性を探るものである。また銅板の表皮効果を踏まえて、厚みを 0.5mm とした。

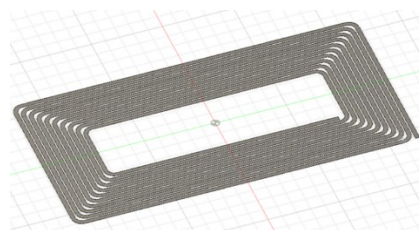


Fig.13 基本 1200 コイル

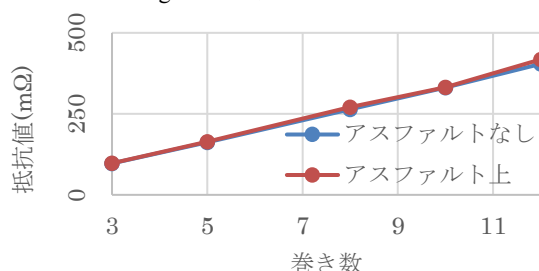


Fig.14 巻き数に対する抵抗値

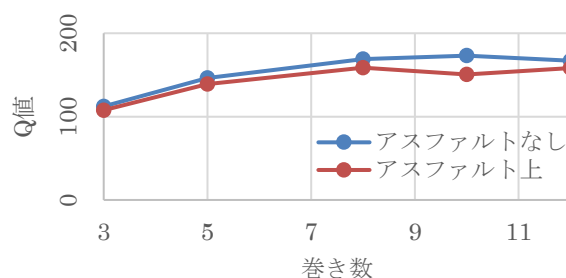


Fig.15 巻き数に対するQ値

Fig.14,15 は線間距離に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値は巻き数が増えるごとに増大している。Q 値は巻き数が 10 回巻の時に最大の 173 となった。アスファルトからの影響は 20%程度と高くなっている。上記の解析から、最適な巻き数は 10 回とした。

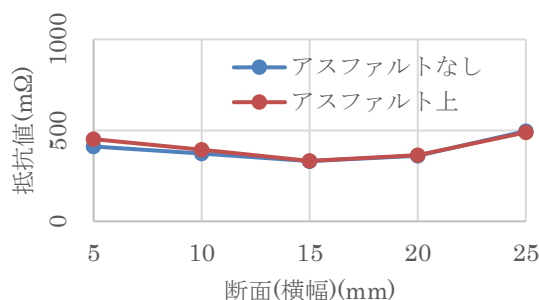


Fig.16 断面(横幅)に対する抵抗値

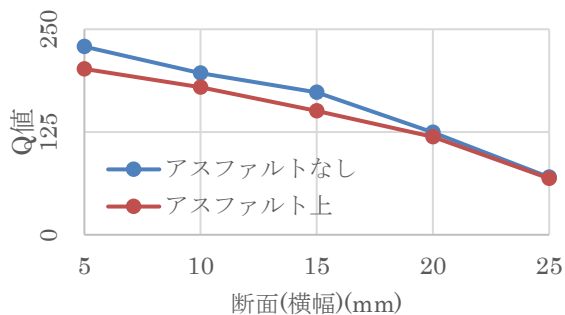


Fig.17 断面(横幅)に対するQ値

Fig.16,17 は横幅に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値は 15mm の時最小となった。Q 値は巻き数が 5mm の時に最大の 228 となった。上記の解析から、最適な横幅は 5mm とした。

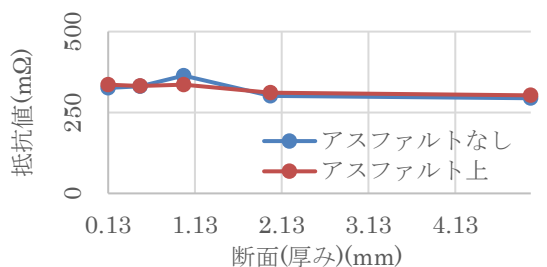


Fig.18 断面(厚み)に対する抵抗値

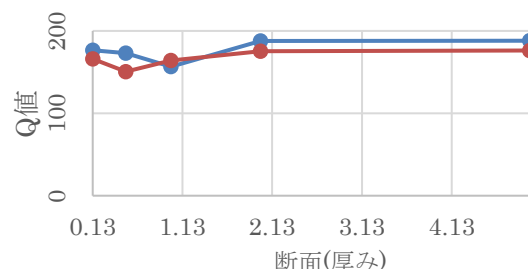


Fig.19 断面(厚み)に対するQ値

Fig.18,19 は線間距離に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。Q 値は厚みが 5mm の 188 が最大となった。この傾向は 1700 コイルと大きく異なっている。銅の表皮効果を考え、最適な厚みは 0.5mm とした。

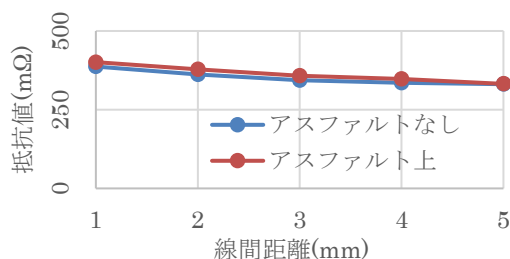


Fig.20 線間距離に対する抵抗値

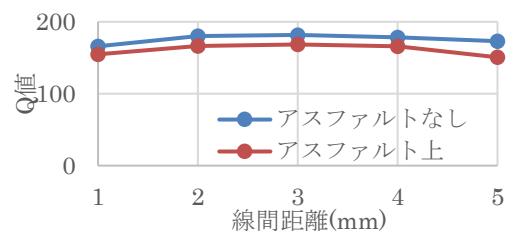


Fig.21 線間距離に対するQ値

Fig.20,21 は線間距離に対する抵抗値、Q 値の解析結果を示している。抵抗値、Q 値共に変化に乏しく、アスファルトからの影響は共に 5%程度と低かった。最適な線間距離は 3mm とした。

3.3. エッジワイズコイルの最適化

解析 3.2 を元に、それぞれ Q 値が最も高いパラメータを組み合わせ最適化されたエッジワイズコイルを作成した(以下最適化 1)。この時の Q 値は 213 であり、解析 2.2 における横幅が 5mm より僅かに低かった。このことからエッジワイズコイルにおいては、一つのパラメータを変化させると他のパラメータにおける最適な値が変化すると考えられる。

次に解析 3.2 において最も Q 値が高い横幅が 5mm のエッジワイズコイルを元に、線間距離、巻き数を改めて最適化した(以下最適化 2)。Fig.22 はその際のを比較したものである。最適化 2 において Q 値は元のコイルから 67.6%上昇した。

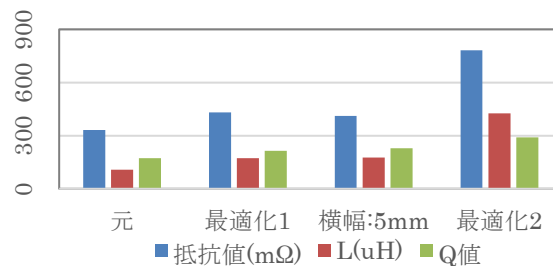


Fig.22 エッジワイズコイルの最適化

4. シミュレーションと実測の比較検証

4.1. 実験による実測の方法

エッジワイズコイルを製作し、実測を行った。実験では外側から銅板を接着していき、銅板を一回巻くごとに測定を行った。製作には銅板と銅テープを用いた。

測定では抵抗値、インダクタンス、Q 値を計測した。またスタイロフォーム上における空中と同様の条件での測定と、実際の道路に載せてのアスファルト上での測定の 2 通りを行った。



Fig.23 10 回巻コイル(左:空中,右:地面)

4.2. 解析と実測の比較

実測によって 1200 エッジワイズコイルにおける巻き数ごとの抵抗値、Q 値を測定した。

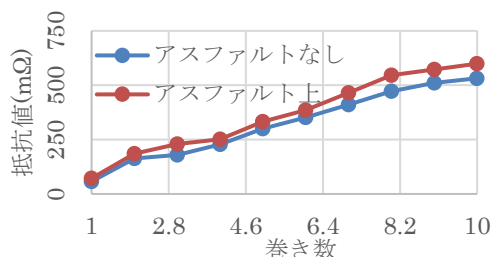


Fig.24 抵抗値(実測)

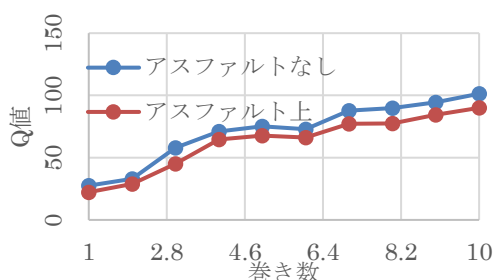


Fig.25 Q値(実測)

Fig.24,25 は実測における抵抗値、Q 値である。抵抗値、Q 値共に巻き数の増加に合わせて増大した。またアスファルトからの影響は、抵抗値、Q 値は 10% 影響が生じた。最大の Q 値は 10 回巻の時の 101 となった。

また解析 2.2 における巻き数の解析を 1~10 回巻で行った。実測と同様に抵抗値、Q 値は増大した。またアスファルトからの影響は 1~6 回巻では 1% 程度と小さかった。

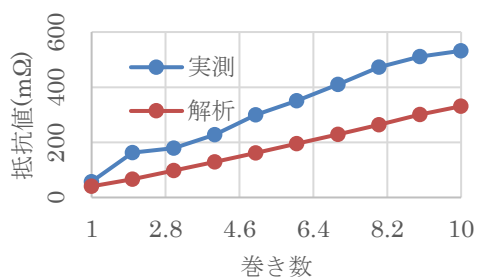


Fig.26 抵抗値(比較)

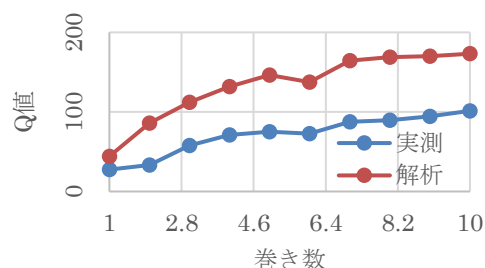


Fig.27 Q値(比較)

Fig.26,27 は抵抗値、Q 値における実測と解析との比較である。抵抗値、Q 値で傾向が一致したことから解析の精度が示された。実測の抵抗値は解析から 2 倍程度になった。これは銅テープを用いた接着が大きな要因であると考えられる。

5. 結論

1700×600 においては巻き数、線間距離、断面の横幅の影響が特に大きかった。1200×600 においては線間距離の影響が小さくなり、パラメータにおける最適な数値は 1700×600 から変化した。このことを踏まえ 1200 コイルの巻き数、横幅を改めて最適化することによって、Q 値が 173 から 290 になり 67.6% 上昇した。

実測においては解析と実測の比較から解析の精度が示された。またエッジワイズコイルが受ける地面からの影響が少ないことが分かった。また実験において Q 値の最大値は 102 となった。今回の検討を踏まえて、エッジワイズコイルを路面に設置することは可能性が示せた。

文 献

- [1] Koki Hanawa and Takehiro Imura and Yoichi Hori and Nagato Abe, "Proposal of Coil Embedment Method by Pouring Resin Materials for Dynamic Wireless Power Transfer" Wireless Power Week (WPW) 5-8 July 2022
- [2] A. NAGAI and T. KITAMURA and M. EBIZAWA and M. ISITOB, "Densification of Core-Less Power Inductor for High Frequency Applications" IEEE Transactions on Industry Applications Vol.138 No.9 pp.723-729
- [3] 北村 拓海, 川原 翔太, 永井 歩美, 海老澤 満男, 石飛 学, MHz 級高周波パワーインダクタの提案, パワーエレクトロニクス学会誌 42 巻 p158
- [4] 永井 歩美, 北村 拓海, 海老澤 満男, 石飛 学, 高周波電力用空心インダクタの高密度化, 電気学会論文誌 138 巻, p. 723-729, Sep 2018