

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

		氏名 (ふりがな)	所属		役職
①研究代表者		居村 岳広 (いむら たけひろ)	創域理工学部 電気電子情報工学科		准教授
②研究 テーマ	名称	走行中ワイヤレス給電のコイル埋設についての研究			
	政策 テーマ	[主テーマ] タイプIVのため特定なし [副テーマ] なし	分科会/ 公募タイプ	ハード分野	
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと	令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計	
	4,009万円	4,643万円	4,862万円	13,514万円	
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏名		所属・役職 (※令和6年3月31日現在)			
堀 洋一		東京理科大学 創域理工学部電気電子情報工学科 教授			
藤本博志		東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授			
清水修		東京大学大学院新領域創成科学研究科・特任講師			
畑勝裕		東京大学大学院生産技術研究所・助教			
阿部長門		東亜道路工業(株)・技術営業部長			
多田悟士		東亜道路工業株式会社技術研究所・第三研究室長			
増戸洋幸		東亜道路工業株式会社技術研究所・第三研究室主任研究員			
⑤研究の目的 目的：走行中充電における道路側コイルの電気的特性と機械的強度向上させた上で、アスファルトへの埋込み技術確立を目的とする。電気的特性（効率・電力など）と機械的特性（耐久性など）を各種コイルと比較し、経年劣化の評価を行い、埋込み深さの最適化、サイズ、材質、低コストコイル等の可能性を示す。					

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

- ・研究の進捗や、研究の目的に沿って研究期間内に目指した目標の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等（外注を実施している場合は、その役割等も含めて）について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。）

- ・研究期間内に目指した目標、実施方法等に当初の提案書から変更があれば、その理由を含めて記入下さい。

本委託研究は、走行中ワイヤレス給電の送電に使用する給電用コイル（コイルケースを含む 以下「コイル等」という。）の電気的特性と機械的特性を向上させ、アスファルト舗装内に埋設した状態で大型車の走行に対する長期耐久性を確保できるコイル等の設計及び埋設技術を確立することを目的とする。

■研究課題

- ・埋設時の効率と電力の両立
- ・道路の耐久年数

■3年間の目標【当初目標】

- ・電気的特性として効率90%以上と電力10kW以上を埋設時に達成。
- ・49kN 載荷時のたわみ量0.4mm以下を実現。
- ・N6 交通量相当において耐久年数10年以上の舗装。

1年目に当初目標に匹敵する結果を得られたため、目標を上方修正し、下記のように記載した。

■3年間の目標【修正後】

【性能目標（2023年度）：①室内試験，③校内埋設試験，④実車による耐久走行試験】

効率：①95%以上、③90%以上

電力（ショート型）：①埋設前 20kW、③埋設後 15kW（埋設時の電力低下半減）

電力（オープン型）：①埋設前 15kW、③埋設後 10kW（埋設時の電力低下半減）

③道路使用年数（FWD試験）：10年

④耐久走行試験：N6交通量相当で載荷試験2.4%以上

3年間の結果は以下の通りであり、概ね達成できた。

■結果【3年間】

- ・効率：95%以上（校内埋設）
- ・電力（ショート型）：埋設後 55kW（換算値、校内埋設）
- ・電力（オープン型）：埋設後 7.9kW（換算値、校内埋設）
→1層オープン型コイルではアスファルト上に置いた時VNA換算値で出力電力12.3 kW、伝送効率90.1%を達成

道路使用年数（FWD試験）：10年以上（校内埋設）

耐久走行試験：実車による耐久試験で50万輪達成（車輪通過率2.4%で30年相当、BWPにおける車輪通過率7.2%相当で10年相当）

研究実施体制と分担を図1に示す。

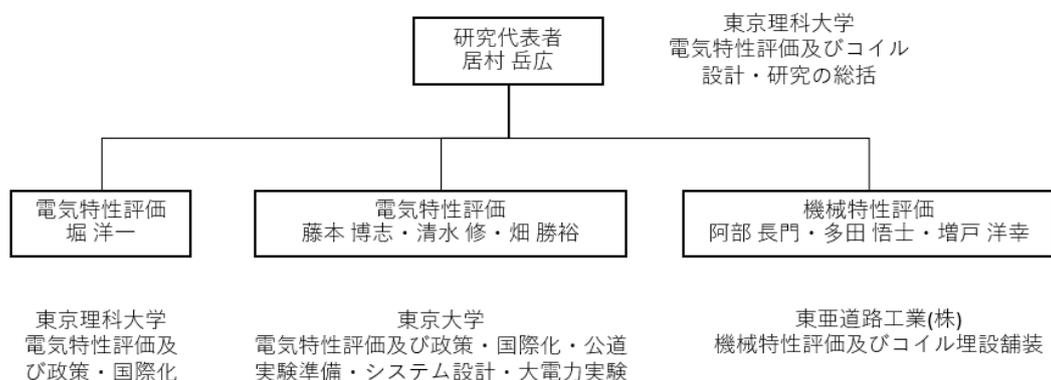


図1. 研究実施体制

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

・中間・FS評価で示された「修正内容」「指摘事項」等を記載するとともに、それへの対応状況を記入下さい。

● FS評価

・想定される耐用年数に基づく更新も踏まえたコスト、電磁界の人体や周辺環境への影響、漏電対策の安全性に関する検討を取り入れた研究計画としていただきたい。

⇒コメントありがとうございます。走行中ワイヤレス給電システムのインフラ整備のコストに関する検討を行っています。コストに関しては、初期費用までの算出がほぼ終わりました。見直し等によって初期費用に関しては他で検討されていた額に比べ大幅に安くすむ事が確認できました。引き続きランニングコストの計算を行っており、少なくとも初期費用に関しては自動車技術会で発表予定です。安全性のご提言ありがとうございます。

・次の段階（室内試験から学内道路埋込試験、学内道路埋込試験から実物大試験走行試験）に進むにあたり確保すべき性能をあらかじめ明確にして、その性能が確保できたことを確認した上で次の段階の試験を進めていただきたい。

・ケースとして道路内に埋め込まれた場合の道路性能・耐久性等の目標性能を明確にした上で研究を進めていただきたい。

⇒コメントありがとうございます。目標性能が不明瞭だったので、まず、3年間の目標などの提示を冒頭でさせて頂きました。性能目標の明確化を行うと課題の明確化にもつながり、研究を加速する上で非常に大切な事柄であったので、感謝申し上げます。

・給電効率悪化の解決、コイルの埋設技術自体の改善、実用化のためのプレキャスト工法の検討など、社会実装を目指した研究計画としていただきたい。

⇒コメントありがとうございます。様々な視点の社会実装の課題がありますが、主に指摘頂いたコイル周りの課題について回答させて頂きます。走行中ワイヤレス給電のインフラ整備にかかる費用の多くはコイル代のため、コイルのコスト低減は必須と考えております。その上で、給電効率の悪化は原因解明とその対処方法の確立が必要であり、両面か

らアプローチしています。低コスト化の鍵を握るもう一つのアプローチがご指摘頂いているプレキャスト工法になり、次年度2022年度の検討課題となっています。社会実装可能なコイルと埋設方法を確立しておけば、公道実験への実施が可能となり、更には事業者が手を挙げてくれたときにすぐに提供できるため、その様な目的意識を持って進めさせていただきます。

・研究期間終了後も継続が必要な計画であることに加え、SIPの後継プロジェクトでも走行中充電が研究される予定となっている。申請者も共同研究機関として関わることに言及しており、新道路技術会議の成果として社会実装されるまでの見通しを明確にしていきたい。

⇒コメントありがとうございます。NEDO側でも空港内などの非公道を想定した埋設研究がターゲットとなっており、協調して進めていきます。本プロジェクトでは、走行中ワイヤレス給電用のコイル設計や施工方法の改良も一つの大きな成果ですが、更に、大型車を使った実車での耐久試験によって車輪通過確率と耐久年数を評価することで、安心して公道実験へとつなげることが出来ます。公道実験への導入に関しては、この様な検証をクリアしたコイルと埋設方法であれば、導入する側にとっては安心して導入できるメリットは大きいです。アスファルト道路に走行中ワイヤレス給電用コイルを埋設して実車を使用して行うこの様な試験は国内では行われておらず、新道路技術会議の成果として世に発表することが出来ます。

● 令和3年度中間評価

・個別研究相互の関係を明確にした上で、システムとして成果をわかりやすく示すことを考えて継続していただきたい。

⇒コメントありがとうございます。見通しの明確化の重要性をご指摘頂きありがとうございます。

・合理的な舗装構造の立案と各種性能の確認を行って、実用に近い形で無線給電道路の施工を実施していただきたい。

⇒コメントありがとうございます。舗装構造の立案や性能確認に関しては、理科大構内の埋設試験や11月から実施中の土木研究所構内の円形走行路(輪荷重75kN載荷 大型トラック)の走行試験を開始し、FWD載荷試験やひずみ計測を実施している最中です。

・本研究の終了後、供用中の道路において実証試験を行えるよう、必要な性能をどこまで達成できたかを明確にしていきたい。

⇒コメントありがとうございます。現時点では供用中の道路は頂けておりませんが、頂けた場合に必要な性能をどこまで達成できたかと考えての「⑥これまでの研究経過、目標の達成状況」方には記載させて頂きました。「⑥これまでの研究経過、目標の達成状況」で記載させて頂いたとおりですが、一部繰り返させて頂きますと電気的特性の大電力化に関しては非常に良い結果が得られており、DWPTに十分な性能を得られております。さらなる大電力化は敷設率低減につながられるので、更に上を目指しております。機械的特性に関しては土木研究所の円形走行試験路の走行載荷試験を通じて、舗装の耐

流動性やひび割れ抵抗性などの性能指標についてどの程度まで満足できるか、満足するための設計方法がどうなるかまとめていきたいと思っております。N6交通量の検証に関しては学内埋設試験で実施いたします。

● 令和4年度中間評価

・技術的な可能性は理解できるが、社会実装される姿をイメージすることが難しいことから、現場実装を意識して研究を取りまとめられたい。

⇒コメント有り難うございます。走行中ワイヤレス給電は多くのステークホルダーがいるため、社会実装のイメージの大枠から述べていきます。DWPTに関する社会実装に関しては、他のプロジェクト同様に、小規模なパイロットプロジェクトから進めていくのが現実的と考えております。社会実装のため、エネルギー効率、コスト効果、安全性、ユーザー満足度などの観点からの評価を行い、利用者からのフィードバックを行い、段階的に拡大するのが現実的と考えられます。また、同時に、関連するステークホルダーとの連携は必須なので、自治体、自動車メーカー、電力会社など、道路管理者などの関連するステークホルダーとの連携を強化も必要と考えております。パイロットプロジェクトの後には本格的な大規模導入を行うことで短期間での利用者の増加などを促進し、利用者効率の面で効率的な運用が可能となると考えています。

次に、現場実装という視点での研究ですが、コイル埋設はバラツキなどが生じるのが前提としてあるので、埋設方法とコイル設計の最適化を行うことで、環境変化に対してロバストな提案ができるように進めていきます。

・コイルの発熱対策、漏洩磁界対策を公道での実証実験に向けた課題として掲げられており、実証実験の実施のために達成すべき水準、又は達成が望ましい水準をあらかじめ示すことが望ましい。

⇒コメント有り難うございます。実証実験のために達成すべき水準としてアスファルトが熱でダメージを受ける温度から発熱の一つの水準を設定できる可能性があることについて言及しています。

また、漏洩磁界に関しては、国際的にも議論がつついており、まだ定められていないですが CISPR11 や SAE 規格の J2954 など参考になる値があり、その値に準拠した形で将来定められる可能性があります。ただし、現時点では、国内の電波法と合致しない場合もあるため、国内の電波法の値を遵守して研究開発も実証実験も進めていく必要があります。今後、これら値は見直される可能性もありますので、これら基準値を注視していくことが重要と考えております。

研究開発としては、これら値を注視しつつ、技術的にどの程度まで下げられる可能性があるのかを評価していきます。

⑧研究成果

- ・本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。

[A]埋設コイルの大電力化

走行中ワイヤレス給電は大電力化が求められている。そこで、耐電圧と対電流を考慮したコイルの設計を行い、アスファルト舗装にコイルを埋設したときの伝送効率 η 及び出力電力 P_{out} を測定した。

- 2021年度

2021年度は素線径0.05 mm、素線数4,000本のリッツ線を使用し、リッツ線の許容電流が38 Aまで対応可能となった。2021年度の埋設実験に使用したコイルを図2、舗装断面図を図3、伝送特性（VNAによる換算値）を図4に示す。



図2 2021年度埋設コイル

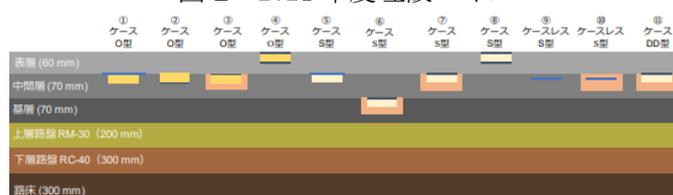


図3 2021年度学内埋設実験の舗装断面図

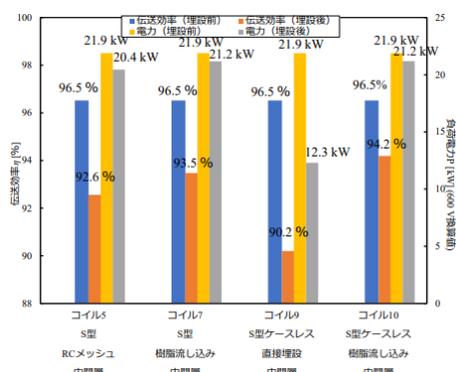


図4 2021年度学内埋設実験における伝送特性（最大電流負荷）

● 2022年度

2022年度は素線径0.05 mm、素線数10,000本のリッツ線を用いており、リッツ線の許容電流が96 Aまで対応可能となったため、更なる大電力化に成功した。このリッツ線を用いてコイルを作成し、2022年度学内埋設実験を行った。実験に使用したコイルを図 5、舗装断面面図を図 6、伝送特性（VNAによる換算値）を図 7に示す。

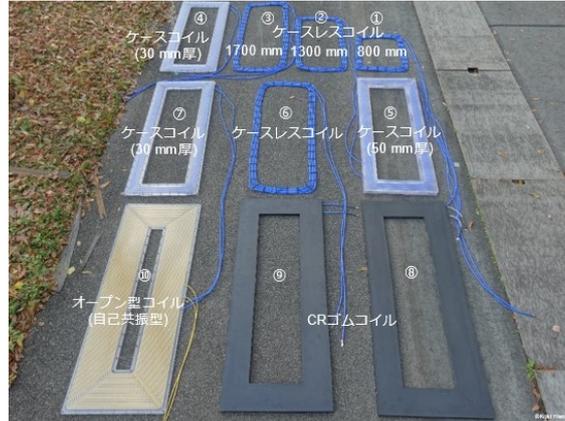


図 5 2022 年度学内埋設実験用コイル

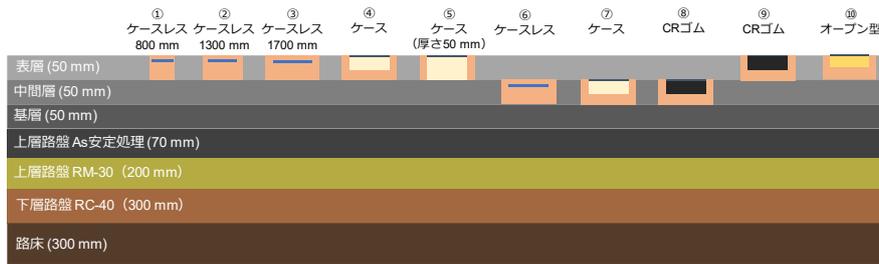


図 6 2022 年度学内埋設実験舗装断面図

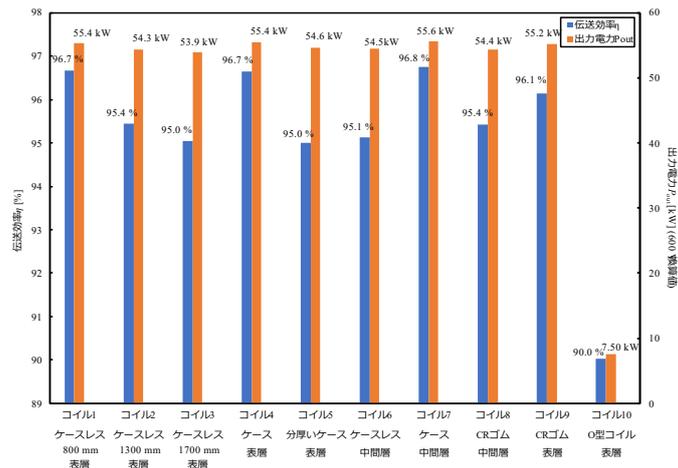


図 7 2022 年度学内埋設コイルの伝送効率 η と出力電力 P_{out} (最大電流負荷)

● 2023年度

2023年度は素線径0.1 mm、素線数2,500本のリッツ線を用いており、リッツ線の許容電流は96 Aのまま大電力を維持しつつ、素線径が2倍、素線数が0.25倍になることでコイルのコストを低下させることに成功した。このリッツ線を用いて2023年度学内埋設実験を実施した。2023年度学内埋設実験に用いたコイルを図 8、舗装断面図を図 9、伝送効率（VNAによる換算値）を図 10に示す。

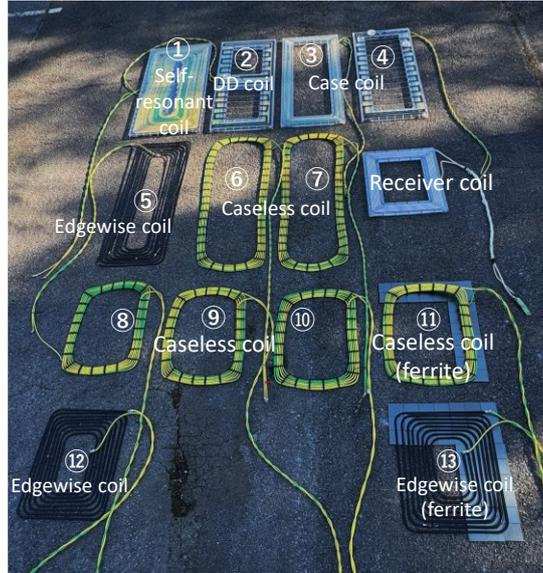


図 8 2023 年度学内埋設コイル

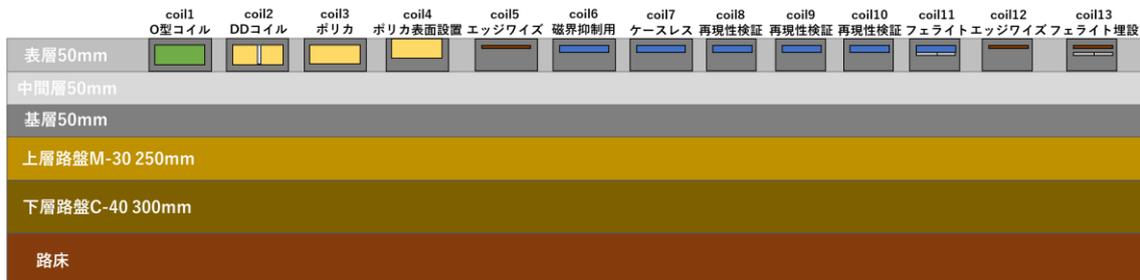
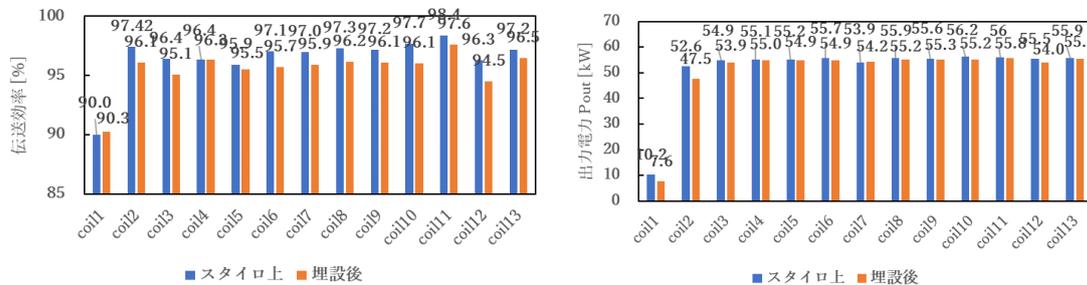


図 9 2023 年度学内埋設実験舗装断面図

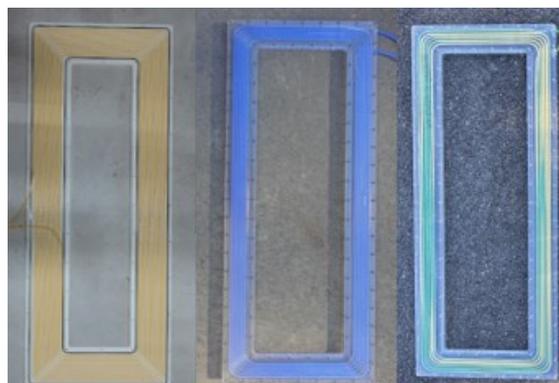


(a) 伝送効率 η

(b) 出力電力 P_{out}

図 10 2023 年度学内埋設実験における伝送特性（最大電流負荷）

ここで、各年度に実施した学内埋設実験において代表的なコイルであるケースコイルの伝送特性を比較する。測定に使用したコイルを図 11、伝送特性（VNA による換算値）を図 12 に示す。2021 年度のコイルは VNA の換算値で出力電力が 20 kW なのに対して、2022 年度及び 2023 年度のコイルは 55 kW 以上の電力をとれていることが確認できた。



(a)2021 年度 (b)2022 年度 (c)2023 年度

図 11 各年度に作成したケースコイル

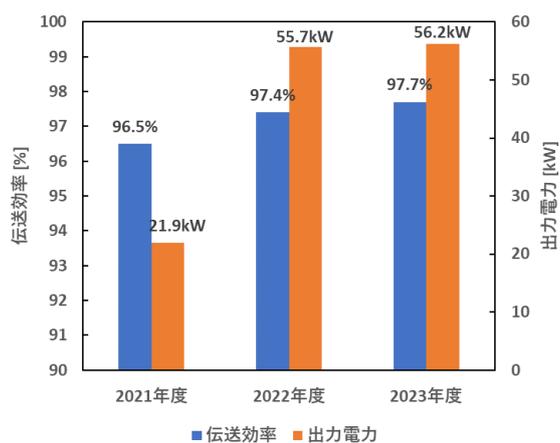


図 12 各年度に作成したコイルの伝送特性

[B] 電気的特性と機械的特性の両立

電気特性と機械特性の両立が本テーマの大きな課題であった。この課題に対しても十分な成果を得られた。2023年度の代表的なコイルを中心に述べる。

まず、電気特性と機械特性の総合評価を表1に示す。電気特性は Q 値も最低800以上であるので、効率も95%~96%が得られた。電力も600V換算値で37.8~65.2kWと十分である。今回のリッツ線の電流制約を考えると最大値は55kW前後となるが、これは線の太さを太くするなど容易に改善できる。次に、機械特性に関しても、道路設計の10年を超えており、十分な構造及び耐久性があるといえる。このように、電気特性と機械特性の両立が達成できた。



(a)ケースコイル(コイル3, 4) (b)ケースレスコイル, 1700 mm(coil7) (c)ケースレスコイル, 800 mm (coil8, 9, 10)

図13 2023年度埋設コイル (一部)

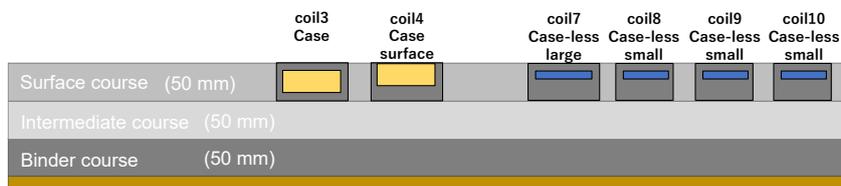


図14 2023年度学内埋設実験舗装断面図 (一部)

表1 総合評価

	Coil 3 Case	Coil 4 Case surface	Coil 7 Case-less large	Coil 8 Case-less small	Coil 9 Case-less small	Coil 10 Case-less small
Q	1246	1229	815			
Efficiency [%]	94.3	96.5	95.4			
Power [kW]	65.2	52.3	37.8			
許容走行日数 [年] (N6)	78.2	41.6	70.9			
	Coil 8 Caseless small	Coil 9 Caseless small	Coil 10 Caseless small			
Q	978	1079	945			
Efficiency [%]	96.1	96	96.1			
Power [kW]	45.3	44.8	48.9			
許容走行日数 [年] (N6)	46.7	75.4	85.1			

[C]機械的特性の評価

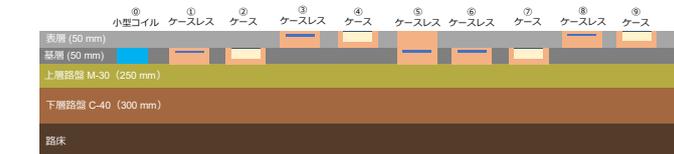
a)土木研究所での走行載荷試験から得られた知見

土木研究所では大型車による繰り返し走行載荷試験を実施し、給電用コイル及び舗装の強度や耐久性の検証、走行試験前後における電気的特性及び機械的特性の変化の検証である。2022年度に使用した埋設コイルと2023年度に使用した埋設コイルを図 15、舗装断面図を図 16、舗装平面図を図 17に示す。2022年度に埋設したコイルは計50万輪載荷試験を実施し、2023年度に埋設したコイルは20万輪載荷試験を実施した。図 18よりIWPに埋設したコイルについてはコイル5のみ走行試験による特性悪化がみられずVNA換算値で伝送効率93 %、電力52 kWであった。コイル5は基層から表層まで樹脂で施工しているため、コストはかかるが長期的にコイル特性を維持するためにはコイル5の施工方法が適していると考えられる。コイル6、8については50万輪の走行によりそれぞれ伝送効率が換算値で85 %、84 %と低下はしていたものの舗装としては安全に走行可能であったため、強度としては十分であると考えられる。また、図 19よりコイル15以外は載荷試験による特性悪化は顕著でなく、埋設場所のすべての箇所において引き続き走行可能な舗装状態であったため、コイル及び埋設技術の改良により機械的特性の向上を確認できた。

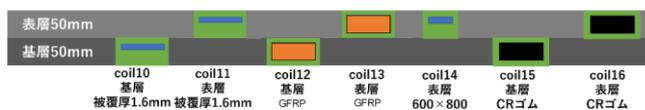


(a)2022年度土木研究所埋設コイル (b)2023年度土木研究所埋設コイル

図 15 土木研究所埋設コイル



(a) 2022 年度埋設断面図



(b) 2023 年度埋設断面図

図 16 土木研究所でのコイル埋設実験における舗装断面図

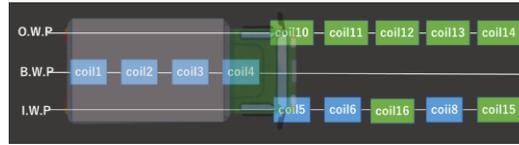


図 17 2023 年度埋設平面図

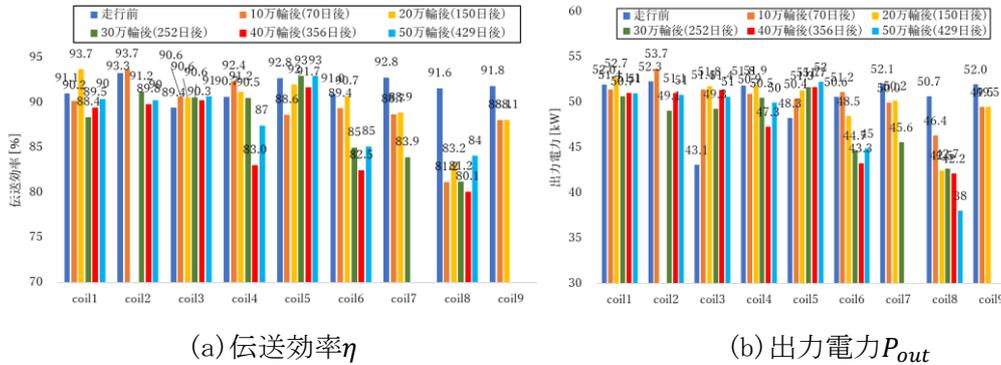


図 18 2022 年度埋設コイルにおける 50 万輪走行前後での伝送効率 (最大電流負荷)

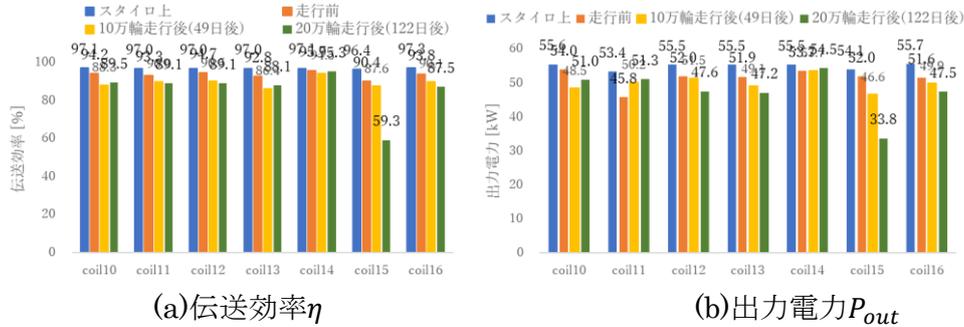


図 19 2023 年度埋設コイルにおける 20 万輪走行前後での伝送効率 (最大電流負荷)

b) 機械的特性に関する研究成果

機械特性の評価には、基層もしくは中間層、表層への給電コイルの耐久性向上のための埋設方法を検討してきた。

2021年の結果に基づき、給電コイルの埋設、舗装との一体化の重要性が明らかになり、MMA系の樹脂接着剤を開発し、接着力(舗装内の固定)不足による表層へのひび割れ進展を抑制する方法を開発した。

コイルケースの素材に関しては、ポリプロピレン (PP) 樹脂やABS樹脂に対し、ポリカーボネート(PC) 樹脂が曲げ及び接着特性に優れていることを明らかにした。コイルケースのない直接コイル埋設に関しては被膜リッツ線を用いることが最適と判断された。

S型コイルケースやDD型コイルケースに関して、3D-FEMを用いた解析によりコイルケースの厚さや直接埋設の応力分散効果を確認し、コイルケース厚の薄い構造やコイルケース周辺に目地やシールの必要性を確認した。

土木研究所内の大型車両の載荷試験により、車輪間 (BWP) の走行によるダメージの確認により、車輪通過位置 (IWP、OWP) のダメージよりも10倍以上小さく、長期運用の可能性を確認した。

[D]埋設コイルの発熱・放熱特性

本測定ではアスファルト舗装内に埋設した送電コイルを用いて、伝送距離200 mm、受電電力10 kWを想定した時の埋設コイルの発熱を計測したものである。回路シミュレーションの結果より、受電電力10 kWのとき、送電コイルの消費電力が120 Wであったことから、コイルが120 Wの電力を消費するように直流電流を印加し、その時の発熱と放熱を計測した。計測に使用したコイルの概要を図 20、測定結果を表 2に示す。

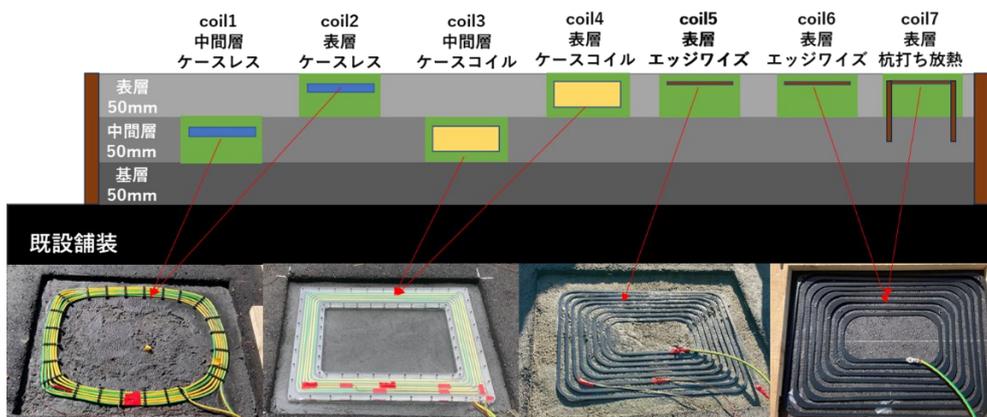


図 20 アスファルト舗装内のコイル概要

表 2 発熱測定の結果

	基層□	中間層□	コイル部分□
Coil 1□	直線□ +3.1□	角□ +3.5□	直線□ +6.9□
Coil 2□	角□ +1.1□	角□ +3.5□	直線□ +9.0□
Coil 3□	角□ +2.2□	角□ +5.5□	ケース中-直線□ +20.9□
Coil 4□	角□ +1.2□	角□ +5.2□	ケース中-直線□ +20.1□
Coil 5□	直線□ +0.2□	直線□ +2.0□	直線□ +3.8□
Coil 6□	直線□ +0.7□	直線□ +2.6□	直線□ +5.2□
Coil 7□	直線□ +0.7□	直線□ +2.7□	直線□ +4.7□

発熱に関しては表層、中間層、コイル部分の各部分で発熱が大きかった部分を取り上げていて、Coil 3とCoil 4のケースコイルはコイル部分で温度上昇値が20 °C以上と非常に高いことが分かった。その理由としては、ケースコイルのケース内には空気を多量に含んでいて、空気は断熱性が高いためにコイルから発生する熱が籠ってしまって温度が上昇しやすいことが推察される。ケースレスのリッツ線コイルであるCoil 1,2とエッジワイズコイルであるCoil 5,6,7を比較すると、エッジワイズコイルの方が温度上昇値は1.7 °C～5.2 °C低いため、従来のリッツ線コイルよりも放熱性に優れていることが分かる。

⑨研究成果の発表状況

- ・本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書（教科書、学会抄録、講演要旨は除く）、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。

●国内会議、学会

- ・ SPC2023

塙昂樹, 居村岳広, 堀洋一, 増戸洋幸, 阿部長門, “走行中ワイヤレス給電におけるコイルパラメータ変化によるケースレスコイル埋設の特性悪化低減手法の提案“, 電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会, Mar.2023.

- ・ SPC2023

山原孝裕, 塙昂樹, 居村岳広, 堀洋一, 増戸洋幸, 阿部長門, “走行中ワイヤレス給電における水とアスファルトのコイルへの影響の検証”, Mar.2023.

- ・ 電気学会

清水廉哉, 山原孝裕, 塙昂樹, 居村岳広, 堀洋一, “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, 無線電力伝送研究会 (WPT) 2023.

- ・ 第34回日本道路会議

塙昂樹, 居村岳広, 阿部長門, “走行中ワイヤレス給電のコイル埋設についてのフィジビリティスタディ”, 第34回日本道路会議, Nov. 2021.

- ・ 2023年11月1~2日 第35回日本道路会議

山原 孝裕、居村 岳広、増戸 洋幸：走行中ワイヤレス給電におけるコイル埋設と10万輪走行試験による電気的特性の評価、公益社団法人日本道路協会、第35回日本道路会議、No.3 180、2023.11.

- ・ 自動車技術会2022春季大会

居村岳広, 佐々木寛太, 山田悠人, 塙昂樹, 阿部長門, "経済成立性からみた高速道路における走行中ワイヤレス給電システムの検討", 自動車技術会2022年春季大会, May.2022.

- ・ 自動車技術会2022春季大会

塙昂樹, 居村岳広, 阿部長門, 堀洋一, "走行中ワイヤレス給電のコイル埋設におけるアスファルトによる影響の実験的検証-舗装材とコイルとの距離と転圧と熱-", 自動車技術会2022年春季大会, May. 2022.

- ・ SPC2024

カクイチタク, 居村岳広, 堀洋一, “走行中ワイヤレス給電における1層オープン型コイルの提案“, 電力技術/電力変換技術/半導体電力変換合同研究会, Mar. 2023

●国際会議、学会

- ・ IECON2021

Koki Hanawa Takehiro Imura, "Proposal of Ferrite-less and Capacitor-less 85 kHz Four-Layer Coil for Stationary Wireless Power Transfer", IECON 2021 – 47th Annual

Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Toronto, ON, Canada, 2021, pp. 1-5.

• WoW2021

Koki Hanawa, Takehiro Imura and Nagato Abe, "Basic Evaluation of Electrical Characteristics of Ferrite-less and Capacitor-less Coils by Road Embedment Experiment for Dynamic Wireless Power Transfer," 2021 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), San Diego, CA, USA, 2021, pp. 1-5.

• EVTec2021

Takehiro Imura, Koki Hanawa, Kanta Sasaki and Nagato Abe, "Coil Performance and Evaluation of Pavement Durability of Dynamic Wireless Power Transfer System using Ferrite-less and Capacitor-less Coil for Road Construction Methods," 5th International Electric Vehicle Technology Conference (EVTec2021), May. 2021.

• 2022年7月5~8日 WPW2022

Proposal of Coil Embedment Method by Pouring Resin Materials for Dynamic Wireless Power Transfer

• 2022年10月17~20日 IECON2022

Comparison of Circular Coil, Double-D Coil, and 85 kHz Self-Resonant Coil in Road Embedment for Dynamic Wireless Power Transfer

• 2023年5月22~24日 EVTeC2023

Report of Burial Technology Applicable to Traffic Zone N6 in Dynamic Wireless Power Transfer

• 2023年6月4~8日 WPTCE2023

Verification of Electrical Characteristics by Coils Embedded in Asphalt Pavement and 100,000 Wheel Traveling Test of a Heavy-Duty Vehicle in Dynamic Wireless Power Transfer

• 2023年6月4~8日 WPTCE2023

Proposal of Coil Embedding Method in Asphalt Road Surface for Dynamic Wireless Power Transfer

• 2024年5月8~11日 WPTCE2024

Naoya Sasa, Takahiro Yamahara, Seho Kim, Takehiro Imura, Grant Covic, Yoichi Hori, Hiroyuki Mashito and Hiroki Tanaka, "Thermal Modelling of IPT Coil Embedded in Resin for the Roadway," *2024 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE)*, Kyoto, Japan, 2024.

●会誌

・2023年3月31日 静電気学会誌 47巻2号

結合型ワイヤレス給電の原理と走行中ワイヤレス給電などへの応用

・2023年11月10日 計測と制御 62巻11号

電気自動車への走行中ワイヤレス給電の必要性と研究開発の紹介

●著書

・2022年9月号 月刊「車載テクノロジー」

・2023年度 CRC Press 「Theory and Technology of Wireless Power Transfer: Inductive, Radio, Optical, and Supersonic Power Transfer.」

⑩研究成果の社会への情報発信

- ・ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。

東亜道路工業(株)

統合報告書2022

https://www.toadoro.co.jp/docs/toa_integrated-report2022-v2.pdf

統合報告書2023

<https://www.toadoro.co.jp/news/docs/33b63529578489bdb83001bd2c9e3621ee2173b0.pdf>

公開イベント

- ・2021年12月4日 eモビリティシンポジウム

テーマ「東京理科大学の走行中ワイヤレス充電の研究について」 参加人数 600名

- ・2022年7月13日 一般財団法人 道路新産業開発機構 講演会・調査研究発表会

テーマ「走行中ワイヤレス給電の埋設と太陽光発電の融合」

- ・2023年4月17日 株式会社日本テクノセンター

テーマ「ワイヤレス電力伝送の基礎と最新技術およびEVへの走行中充電への応用」

- ・2023年10月28日 電気学会東京支部新潟支所

テーマ「電力のワイヤレス化に向けた研究紹介2023」

⑪研究の今後の課題・展望等

- ・研究の目的に沿って研究期間内に目指した目標の達成状況や、得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。

最終年度の性能目標である N6 交通量相当で道路設計 10 年、アスファルト舗装埋設時、電力 15kW 以上、効率 90%以上に対して、ショート型ケースコイル、ショート型ケーススレスコイル共に設計期間 10 年を十分に満足しており、換算値ではあるが電力 55.8 kW、伝送効率 97.6%を達成しているため機械的強度及び電気的特性の性能目標を満たしている。オープン型コイルについても大電力設計を行い、性能目標を達成することが期待できる 1 層オープン型コイルを設計することができた。

達成状況を踏まえて、アスファルト舗装内に埋設した状態で大型車の走行に対する長期耐久性が確保できるコイル等の設計及び埋設技術の確立に向けた課題を整理する。コイル埋設実験を通して得られた課題や今後想定される課題は以下となる。

- ①コイルケース素材と接着用樹脂、アスファルト混合物の物性が近いものの検討
- ②共振コンデンサの接続位置及び埋設位置
- ③コイルケースの薄型化の検討
- ④コイルケースの一体成型の検討
- ⑤リッツ線の被覆厚
- ⑥大電力給電時における発熱
- ⑦漏洩磁界
- ⑧コイルに及ぼす水の影響

①、②は長期的な課題となる。③～⑤は細かい課題ではあるが長期耐久性や現地実施においては無視出来ない課題である。⑥、⑦も長期的な課題であるが、大電力を伝送する際には問題になるので様々なアプローチを繰り返す必要がある。⑧についてはコイル埋設による電気的特性の悪化に関わるものであり、水がコイルに及ぼす影響を検証し、水との隔離やコイルケース内への水の侵入を抑制する必要がある。

①の素材の検討についてはアスファルト線膨張率に近い接着用樹脂、コイルケースを用いることで解決できると考える。土木研究所での走行試験の結果より、コイルと舗装の一体化が必要であると考えられるため、コイルケース及び施工に使用する樹脂の再検討が必要である。また、表層と中間層以下における埋設が検証しきれていない部分があるため今後も検討を続けていく。そして、樹脂を使うことによるメンテナンス性の悪化やリサイクル性の悪化は検討課題である。

②については、本研究では共振コンデンサは測定のときのみコイルに接続したが、

将来的にはコイルと一緒に共振コンデンサが格納された回路ボックスが道路に埋設されると考える。埋設位置として考えられるのは埋設コイルと同等の深さかさらに深い層である。また、道路脇の側溝に埋設されることも考えられる。側溝であれば大型車の荷重から逃れられ回路ボックスの耐久性の懸念は小さくなるが、数百ボルトもの高電圧を側溝まで引き伸ばすことにまるので安全上の懸念がある。コイル付近に埋設すると回路ボックスの耐久性やコンデンサが故障した時のメンテナンス性の課題が考えられる。コイルの他にも回路素子や共振コンデンサが格納される回路ボックスの埋設方法についても検討が必要である。

③については、FEM 解析の結果よりコイルケースを薄型化することで舗装強度を向上できることを確認できたため、コイルケースの薄型化の検討も必要である。

④については、現在使用しているコイルケースが 2 層型となっており昨年度はボルトの破断によってコイルケースが分離し、今年度は接着剤で固定したがコイルケース内に雨水が浸入していた。このことから、コイルケースを一体成型することでコイルケースの保鮮および雨水の侵入を抑制できると考えたため、今後検討していく。

⑤については昨年度の土木研究所走行載荷試験の結果より、ケースレスコイルの特性悪化が顕著であったためリツ線の被覆を分厚くしたが、要因の分離ができなかったため、ホイールトラッキング試験での被覆厚を変化させたときのリツ線の直流抵抗を測定することで最適な被覆厚みを検討できると考える。

⑥については、20 kW や 50 kW 以上の電力を給電した場合、コイルには大電流が流れるので道路に埋設された発熱したコイルの放熱方法を検討する必要がある。通常のアスファルト混合物では 40~50 °C程が軟化点であるため熱を逃がす対策を施した舗装材を検討する必要がある。長期耐久性に関わる項目である。本研究で提案している MMA 樹脂混合物は通常のアスファルト混合物よりも軟化点が高いため有効であると考えられるが、エッジワイズコイルはリツ線コイルと比較して発熱しにくいことが分かったので、交流を印加したときの発熱や夏季の温度特性を検証する必要がある。

⑦については、大電力給電時におけるコイルから発する人体に悪影響を及ぼす電磁波の課題である。対策としては漏洩磁界を抑制する機能を備えたキャンセルコイルを給電コイル付近に埋設することやアルミシールドによる抑制などが考えられる。

⑧については、土木研究所に埋設したコイルの掘り起こしや FS コイルの掘り起こしの結果より水がコイルの特性悪化の要因の一つであると考えられるため、水との離隔やコイルケース内の結露の対策が必要である。

⑫研究成果の道路行政への反映

- ・本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。

本成果により、舗装埋設した給電コイルの伝送効率95%以上、大型車の直接載荷でも20万回以上(車輪間では700万回以上)の条件でも破損せず電気的特性と機械的特性の両立を実現でき、10年程度の長期運用可能な構造を検討できた。

公道での実証実験を通じて、効率95%、電力55 kWの設計を活かし運用可能なシステムへの検討、公道設置での課題解決を進め、実用化に近づけていくことができる。

薄型のエッジワイズコイルの可能性も見いだせたため、舗装への設置時の改良コストの削減が可能な技術が見えてきた。現在の社会インフラである舗装の切断および設置コストの縮減が普及の鍵になると思われ、今後につなげていただきたい。

⑬自己評価

- ・研究の目的に沿って研究期間内に目指した目標の達成状況、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値について、自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

● 2021年度

大枠の進捗については、単年度契約の受託研究の制約内においては、手持ちの他予算を使用するなどしてリッツ線を確保するなど年度内での研究遂行を可能に出来る見通しを立てられ、その計画通り進めているということで、十分な進捗といえる。一方で、制約を交渉や要望を挙げることで打開することで、研究がいつそう加速する可能性があり次年度はそれを踏まえて改善を行っていく。

実施済の型枠実験に関しては、分かりやすいところではショート型が非常に高性能であり、それによって見えてきた課題もあり、次年度の計画に反映させることが出来た。

委員の先生方から頂いた性能目標の明確化や公道実証に向けての課題整理によって、非常に見通しの良い研究設計ができています。総合的には順調に研究を進められており、次年度からは更なる飛躍が出来ると確信している。

● 2022年度

大枠の進捗については、大電力化設計に関して計画を大幅に超えるスピードで進めているということで、十分な進捗といえる。2030年代にDWPTを実用化しようという他のプロジェクトより非常に早く進んでいる。

そのため、次のステップである公道実験に向けた課題をAdvanced goalとして目標に掲げることにした。その課題は以前委員から頂いたコメントを参考に、漏洩磁界と給電時のコイルの発熱に関する課題とさせて頂いた。

一方で、忘れてはならないのは、本プロジェクトの本命である、電気的特性と機械的特性の両立が重要であり、本年度末の最終報告書までにはその結果をまとめる。また、アカデミック的価値がある埋設時のコイル特性の悪化の原因究明が見いだせれば、さらなる躍進になるため、そちらにも取り組む。

以前にも記載したが、委員の先生方から頂いた性能目標の明確化や公道実証に向けての課題整理によって、非常に見通しの良い研究設計ができています。総合的には順調に研究を進められており、次年度からは更なる飛躍が出来ると確信している。

● 2023年度

大枠の進捗については、設計した50kW級のコイルにおいて埋設技術の改良やコイルケースの素材について検討することでアスファルト舗装との一体化を図り機械的強度及び電気的特性の目標を超える性能を得られたため十分な進捗といえる。また、新たに薄型エッジワイズコイルを提案し、電気的特性を維持しつつ更なる機械的強度の向上や低コ

スト化を期待でき、薄型である利点を活かしコイルの表面設置の可能性を見出すことができた。さらにAdvanced goalに設定した漏洩磁界と給電時のコイルの発熱についてもアスファルト舗装にコイルを埋設した状態で評価を行い、公道実験に向けて課題を整理することができた。

大電力実験について述べる。2023年度も大電力実験を試みたが、漏洩磁界が強く出てしまう現象が起きてしまったために、効率と電力は換算値評価までとした。その上で、大電力時の発熱に関しては直流において大電流の85 Aを流し、10 kW相当の電力伝送時の損失と等価な状態として評価した。この二つの結果を併せて、大電力実験の評価とした。

3年を通しての研究費の投資価値について述べる。走行中ワイヤレス給電の研究は埋設工事を伴うため、今回の規模の予算がないと実質的研究を行なう事は困難である。世界的に研究が行なわれている走行中ワイヤレス給電であるが、公道に同じタイプのコイルを大量に埋めて、デファクトスタンダードを作る動きが強くなっている。そんな中、電気的特性と機械的特性の両立を目指し、しっかりと研究成果を公開した本研究の価値は非常に高い。目標であった、N6交通量相当で道路設計10年、電力も換算値で50kW、効率も90%をしっかりと達成することに成功し、道路にコイルを埋設する可能性を示せたといえ、投資価値としては非常に高いといえる。