

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属	役職
	新藤 竹文 （しんどう たけふみ）		大成建設株式会社	名誉研究員
②研究 テーマ	名称	走行中の電気自動車に連続的に無線給電を行う道路の実用化システムの開発		
	政策 テーマ	[主テーマ] 道路政策の質の向上に資する 技術研究開発 [副テーマ]	公募 タイプ	タイプIV特定課題対応型 ハード分野
③研究経費（単位：万円） ※R3は受託額、R4以降は計画額を記入。端数切捨。	令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計
	4,095	5,000	5,000	14,095
④研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。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		
大黒 雅之		大成建設株式会社・部長		
遠藤 哲夫		大成建設株式会社・次長		
佐藤 大樹		大成建設株式会社・課長		
高橋 要		大成建設株式会社・課長		
加藤 崇		大成建設株式会社・課長		
崎原 孫周		大成建設株式会社・主任		
石島 透		大成建設株式会社		
城本 政一		大成ロテック株式会社・室長		
唐木 健次		大成建設株式会社・課長代理		

渡部 敬史	大成ロテック株式会社・係長
大平 孝	豊橋技術科学大学・教授
塚本 悟司	豊橋技術科学大学・特任教授
阿部 晋士	豊橋技術科学大学・助手
水谷 豊	豊橋技術科学大学・特任助手
笹谷 卓也	株式会社デンソー

⑤研究の目的・目標

本研究は、高効率で汎用性に優れた無線給電道路の高速自動車道路への実現を目指して、舗装材料・構造・施工・維持管理、および、送受電システム・路車連携による給電制御技術・放射電磁界抑制対策技術などを開発し、電界結合方式を基幹技術とする無線給電道路の材料・設計・施工に至る体系的な実用化システムの構築を目的とする。

令和3年度は、昨年度FS研究での成果を踏まえて、各種の使用材料と舗装構造に改良を加えた舗装断面について、大型施工機械を用いた実施工に近い条件にて長さ5m×幅3.5mの試験施工を行ない、本舗装構造の施工手順とその施工性を検証する。

さらに、模擬車体による無線給電実験および路車連携による給電制御実験、漏えい電磁界評価を実施し、中・小型車両（輪荷重17kN相当）への本無線給電システムの適用性を検証するとともに、舗装部の载荷試験により大型車両（輪荷重49kN相当）の走行に対する舗装耐力を検証する。

⑥これまでの研究経過

1. 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討

1.1 無線給電道路システムの設計

電界結合方式（送電周波数：6.78MHz）を基本周波数とする無線給電において、本年度の送電目標となる電力5.0kW、受電電力3.9kWを実現する舗装材料（表層、基層、下層路盤、上層路盤）の電気特性の検討を行い、本年度施工実験を行うための無線給電道路システムを設計した。

1.1.1 効率の基本概念とその定義

図1-1に本研究における効率の定義を示す。本研究では、高周波電源から出力された電力が無線給電道路に入力され、出力されるまでの効率を「道路効率」と定義する。また、無線給電道路の入力側に設置した整合回路から、無線給電道路内を伝搬する電力が受電電極を介して、車両内に装着する整合回路から出力されるまでの効率を「伝送効率」と定義する。

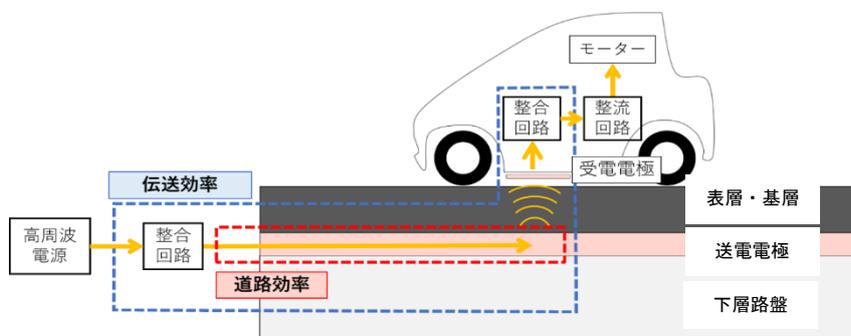


図1-1 本研究における「効率」の定義

1.1.2 無線給電道路構成部材の電気特性

FS 研究において理論設計法に基づく舗装断面の試設計を行なった結果、採用した密粒度アスファルト混合物や雨水浸透材上面部の鉛直応力について、中・小型車両（輪荷重 17kN 相当）、交通量区分 S1（舗装計画交通量 300 未満台/日・方向、疲労破壊輪数 66 万回/10 年）相当と試算された。

今年度の研究では、大型車両（輪荷重 49kN 相当）が走行する高速道路への適用を想定した場合、疲労破壊輪数：3,500 万回/10 年、塑性変形輪数 3,000 回/mm が目標となることから、より高い舗装耐力となるように、舗装断面の再検討が必要であると判断した。

そこで、無線給電道路の強度向上のために下層路盤の改良を試みた。具体的には、下層路盤のセラミック骨材を特殊アスファルト安定処理路盤（セラミック骨材をアスファルトで硬化させた層）に変更することによる舗装強度、耐久性の向上を目指した。図 1-2 および表 1-1 に改良した無線給電道路の層構造および各層の電気定数を示す。

本道路システムの道路効率および伝送効率をシミュレーションした結果、道路効率 η_{cmax} は 97.6 % となり、非常の高効率であることを確認した。また、伝送効率は 79.2% となり、本研究で目標とした 10kW 入力、7kW 受電、伝送効率 70% 以上なる可能性が期待できる結果となった。

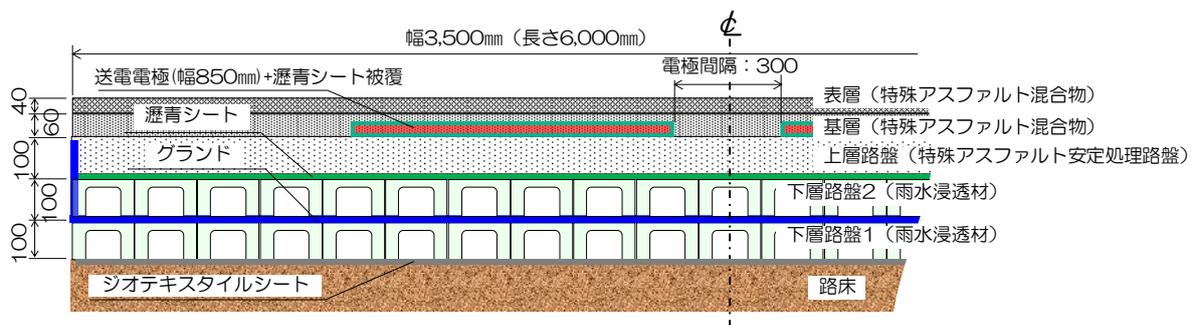


図 1-2 本年度設計した無線給電道路（2 章-2.1 節、試験施工 I 参照）の層構造案

表 1-1 無線給電道路の層構造案の電気特性

舗装区分	種別	電気特性		厚さ
表層	特殊アスファルト混合物	$\epsilon_r=4.97$	$\tan\delta=0.010$	50mm
基層	特殊アスファルト混合物	$\epsilon_r=4.97$	$\tan\delta=0.010$	50mm
送電電極	SUS 板（幅 850mm）	$\sigma=1.39\times 10^6$	$\mu_r=1$	0.5mm
送電電極保護	瀝青シート	1.99	0.011	
上層路盤	特殊アスファルト安定処理	$\epsilon_r=4.0459$	$\tan\delta=0.012$	100mm
グラウンド	アルミニウム板	$\sigma=3.56\times 10^7$	$\mu_r=1$	0.6mm
下層路盤	雨水浸透材 PP+GP20%	$\epsilon_r=1.21$	$\tan\delta=0.0002$	100mm×2 層

1.2 信号波による効率実験

受電装置の設計および天候による伝送効率評価を目的として、信号波による伝送効率を評価した。無線給電道路に 1500mm×550mm の受電電極（車体の底部に取付けるアルミニウム製の金属板）を

設置した場合の伝送効率を測定した（写真 1-1）。実験の結果、伝送効率 η_{\max} は 85.1%であった。

また、試作した無線給電道路において、天候状態（晴天時と雨天時）が伝送効率に与える影響を測定により確認した。表 1-2 に降雨時（降雨量：4.0mm/hr）と晴天時の伝送効率を比較した表を示す。晴天時（雨天前）の結果と比べ降雨により伝送効率が 4.7pt 減少することが分かった。ただし、雨が上がった後は伝送効率が降雨前の値に回復することを確認した。この結果から、我々の提案する無線給電道路は電界結合方式の弱点として挙げられていた降雨による影響が軽微であり、また降雨後も時間経過により伝送効率が回復することを確認した。



写真 1-1 受電電極検討実験の様子

表 1-2 測定結果一覧

	伝送効率 η_{\max}
晴天時(雨天前)	85.1
雨天時(4mm/hr)	80.4
晴天時(雨天後)	84.0

1.3 電気回路の試作

1.3.1 高周波電源

高周波電源には、動作原理上スイッチング損失が極めて小さな E 級インバータ方式を用いた。また大出力に対応するため半導体スイッチは SiC-MOSFET を高放熱パッケージングに内蔵したものをを用いた。

試作した高周波電源の効率を図 1-3 に示す。直流-高周波変換効率は 93.3%となり高い効率が得られている。今後、10kW 出力の高周波電源は、この 5kW 出力の電源を直列あるいは並列接続することで実現する予定である。

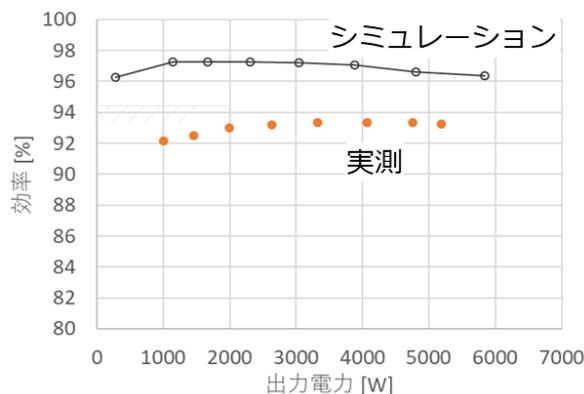


図 1-3 試作した高周波電源の効率

1.3.2 整合回路

整合回路は送電電極の入力と受電電極の出力にそれぞれ接続されるコンポーネントであり、1.2節で示した信号波測定で得た結果をもとに整合回路を試作した。

送電側整合回路は、写真1-2のようにコンデンサを基板上に実装し、アルミケースの中に格納した。受電側整合回路は、車体に搭載するため、薄型化が要求される。そこで、トロイダルコアと平角線で構成した基板インダクタと銅パイプの周辺にトロイダルコアを挿入した棒状コイルを用いた。これら2種類のインダクタを写真1-3のように配置した薄型整合回路を試作した。受電装置は、受電電極（1.5m×0.5m、2枚）、受電側整合回路（1.0m×1.2m×厚さ0.05m）、車体側グランド板（1.5m×1.7m、1枚）を一体化した1.5m×1.7m×0.05mのパネル形状で設計した。薄型・軽量であり車体底部に取付けも容易であると考えている。次年度の研究では、本受電装置をEV用バッテリーに接続して車両底部に設置するための治具を試作し、走行中無線給電実験を行う予定である。



写真1-2 送電側整合回路の実機

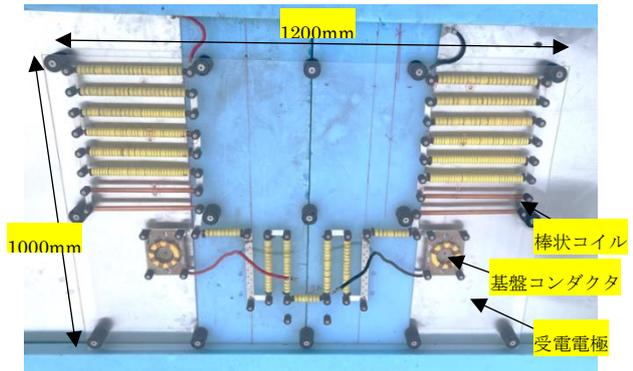


写真1-3 受電側整合回路

1.4 5kW 無線給電実験

試作した高周波電源および整合回路を用いて、図1-4に示すような実験系で5 kW入力電力の電力伝送実験を実施した。測定風景を写真1-4に示す。パワーメータを送電側整合回路の入力および受電側バランの出力に接続し、電力を測定した。伝送効率 η を算出した。

測定した結果を図1-5に示す。5kW入力に対し、3.9 kWの受電を達成した。また、出力電力40 W ~ 3.9 kWの間で伝送効率が75 %程度、最大で78.3 %を計測し、目標とする70%以上の伝送効率を満足する結果となった。

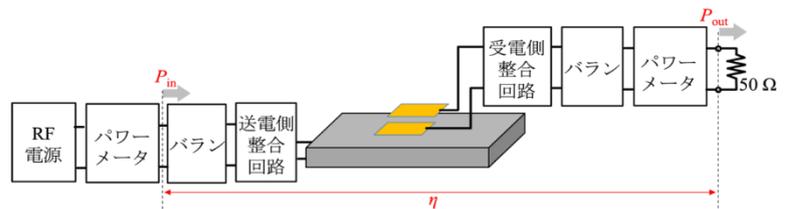


図1-4 5kW入力電力伝送実験系

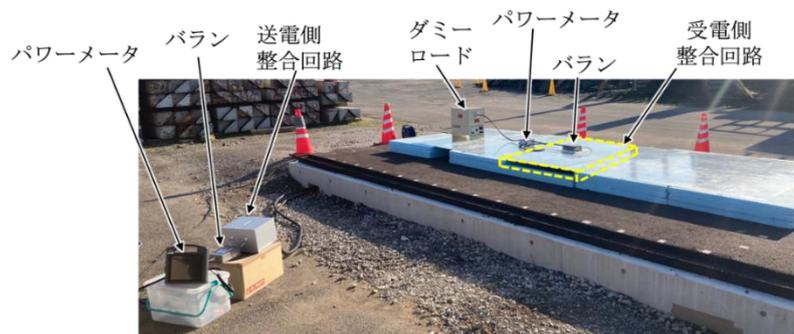


写真1-4 道路側の送受電システム

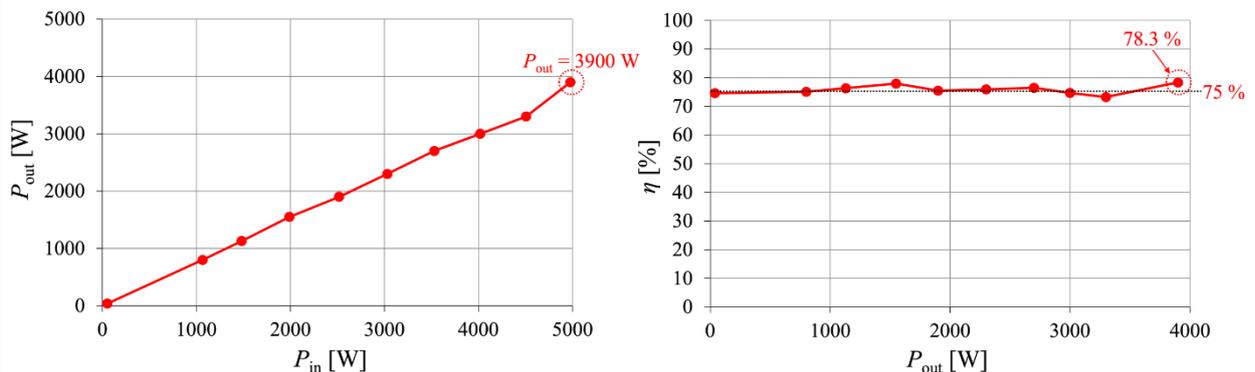


図1-5 5kW出力による伝送実験の結果

2. 舗装材料・構造の検討および施工技術の検討

2.1 検討概要

本章では、昨年度FS研究での成果を踏まえて、舗装構造や降雨条件等の基本条件を整理し、

図2.1に示すFS研究での断面について、舗装材料や雨水浸透材等の使用材料と舗装構造に改良を加えることで、大型車両（輪荷重49kN相当）の交通量区分N7を満足する無線給電道路の舗装断面を選定した。より具体的には、排水機能を有する下層路盤として適用する雨水浸透材の材質と形状を改良するとともに舗装材料と構成を見直し、先の1章に示した図1-2（p.3）の舗装断面について、大型施工機械を用いた実施工に近い条件にて試験施工Iを行なった。

次に、試験施工Iでの舗装耐力の検証結果に基づき、さらに改良を加えた舗装断面について、試験施工IIを実施し、大型車両（輪荷重49kN相当）交通量区分N7を満足する図2-2に示す舗装断面を選定した。

なお各試験施工の舗装構成と使用材料は表2-1に示すとおりである。

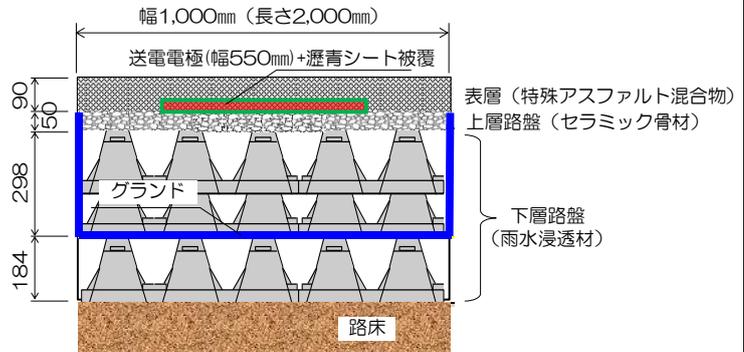


図 2-1 FS 研究における舗装断面

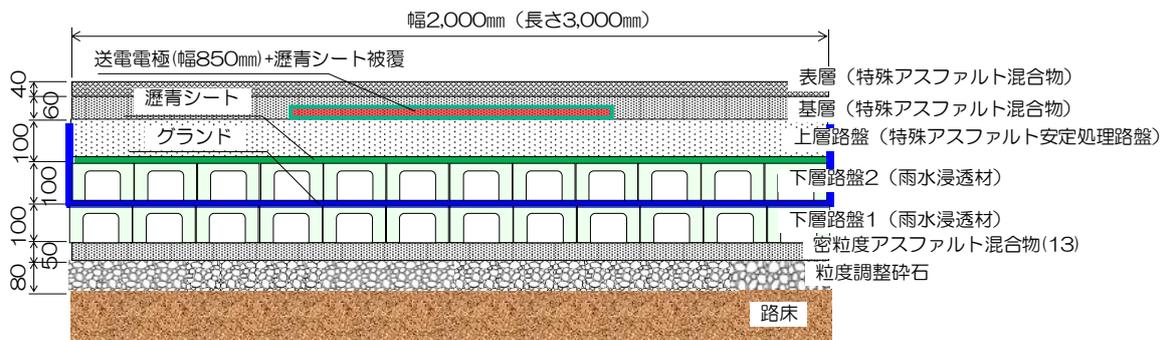


図2-2 試験施工II断面

表2-1 各施工試験の舗装構成と使用材料一覧

区分	種別	FS 研究 (R2 年度)			本研究 (R3 年度)			
		使用材料	材質形状	規格基準	施工試験I	施工試験II	規格基準	
					使用材料	材質形状	材質形状	
表層 基層	特殊 アスファルト 混合物	密粒度 アスファルト 混合物(13)	セラミック骨材 ポリマー改質アスファルトII型 (TR ファルト S)	舗装施工 便覧 H18 版表 6.3.2	表層用 混合物 タイプ A	セラミック骨材 ポリマー改質アスファルトII型 (グランファルト HD)	セラミック骨材 ポリマー改質アスファルトII型 (TR ファルト S)	NEXCO 設計要領 第一集 3-5-4
送電 電極	ステンレ ス板	SUS-304	厚さ 0.5mm 幅 550mm	-	SUS-304	厚さ 0.5mm 幅 850mm	厚さ 0.5mm 幅 850mm	-
上層 路盤	粒状 路盤	粒度調整 碎石	セラミック 骨材	JIS A 5001	-	-	-	-
	特殊 アスファルト 安定処理 路盤材	-	-	-	加熱アス ファルト安定処 理タイプ II	セラミック骨材 舗装用石油 アスファルト 60/80	セラミック骨材 舗装用石油 アスファルト 60/80	NEXCO 設計要領 第一集 2-3-2
グラント	グラント材	アルミ板	パンチングメタル t=1 mm	-	アルミ板	パンチングメタル t=1 mm	パンチングメタル t=1 mm	-
下層 路盤	透水シート	プラスチック	φ2mm 有孔シート t=3mm、開口率 70%	-	-	-	-	-
	雨水 浸透材	再生 プラスチック	高さ 185mm □× 1,000mm	-	強化 プラスチック	高さ 100mm □× 500mm	高さ 100mm □× 500mm	-
施工 基盤 (路床 置換)	-	-	-	-	-	-	密粒度アスファルト 混合物(13)	舗装施工 便覧 H18 版表 6.3.2
							粒度調整碎石 M30	JIS A 5001

ここでは、それぞれの検討結果を報告するとともに、本舗装技術の維持管理方法についての検討結果、今後の検討課題とその対応策について報告する。

2.2 無線給電道路システムにおける舗装材料と構造の検討

2.2.1 舗装材料の基本物性

(1) [表層・基層・上層路盤] 特殊アスファルト混合物と特殊アスファルト安定処理路盤の検討

表層・基層および上層路盤に使用したアスファルト混合物は、セラミック骨材、石粉を組み合わせたものであり、表層と基層の特殊アスファルト混合物および上層路盤の特殊アスファルト安定処理路盤はNEXCO設計要領（第一集）の品質規格を満足する材料とした。ここで、各々の混合物に使用したセラミック骨材は、昨年度FS研究において、一般的な天然骨材を使用したものに比べて吸水性が小さく、伝送効率等の電気的特性にも優れていることを確認していることから、本研究においても同じセラミック骨材を使用することとした。

(2) [下層路盤] 雨水浸透材の改良

排水機能を有する下層路盤として使用する雨水浸透材について、FS研究で課題とした強度や剛性を改良するため、より高強度で高靱性な強化プラスチック素材を使用することとした。

改良した雨水浸透材の形状・寸法は写真2-1に示すとおりであり、1層当り86L/m²の貯・排水量を賄う空隙構造となっている。また、雨水浸透材の弾性係数は圧縮載荷試験により37MPaであることを確認した。



写真2-1 雨水浸透材の形状・寸法

(3) 各舗装材料の層間における付着特性の改良

a) 特殊アスファルト混合物と送電電極との付着特性

基層の特殊アスファルト混合物とステンレス鋼板である送電電極との一体性を高めるため、送電電極と基層の特殊アスファルト混合物の界面に瀝青シートを挟む構造とした。この改良を施すことにより、送電電極と基層の特殊アスファルト混合物の付着性能は道路橋床版防水便覧の引張付着応力規格値0.6N/mm²以上を確保できることを確認した。

b) 特殊アスファルト混合物と雨水浸透材との付着特性

強化プラスチック製で表面が平滑な雨水浸透材とアスファルト安定処理路盤との一体性を高めるため、前述a)と同様に両者の界面に瀝青シートを挟みこむ構造に改良した。この改良により、道路橋床版防水便覧の引張付着応力規格値0.6N/mm²以上を満足する付着性能を有することを確認した。

2.2.2 舗装断面の検討

舗装断面について理論設計法に基づいて、試設計および構造特性を照査した。

(1) 交通条件

高速道路における大型車両の走行を想定して、輪荷重 49kN で交通量区分 N7 (3,500 万回/10 年) を

満足する舗装構造となる舗装断面を選定し、構造特性を照査した。

(2) 理論計算による舗装構造の照査

理論的設計方法により、舗装断面の仮定、多層弾性理論による舗装面ひずみの算出、算出ひずみより疲労破壊回数の決定、疲労破壊と設計期間の交通量との関係を照査した。なお、アスファルト混合物の疲労破壊に対する破壊基準式は、AIの式を用いた。

ここで、理論設計に用いた各層の材料係数は、表層【弾性係数 5,000MPa、ポアソン比 0.35、厚さ 40mm】、基層【弾性係数 5,000MPa、ポアソン比 0.35、厚さ 60mm】、上層路盤【弾性係数 3,000MPa、ポアソン比 0.35、厚さ 100mm】、下層路盤【弾性係数 35MPa、ポアソン比 0.1、厚さ 200mm】、路床【弾性係数 120MPa、ポアソン比 0.4、厚さ ∞ 】とした。

上記の設計用値で解析した結果、提案した舗装構造における基層（特殊アスファルト混合物層）の下面に生じる引張ひずみは 61μ と算定され、交通量区分 N7（3,500 万回/10 年）を満足するための目標値 91μ に比べて小さい照査結果が得られた。

2.3 試験施工による施工性と舗装耐力の検証

前節2.1にて記述したとおり、今年度の研究で選定した舗装断面について、大型施工機械を用いた実施工に近い条件で試験施工を実施し、その施工性および舗装耐力を検証した。

2.3.1 試験施工の概要

(1) 試験施工 I

昨年度FS研究での課題を踏まえて、雨水浸透材の材質と形状を改良した上で、舗装材料と舗装断面の構成を見直し、先の1章に示す図1-2（p.3）の舗装断面について、幅3.5m×長さ5mの試験施工を実施し、その施工性と舗装耐力を検証した。

なお、試験施工に使用した舗装材料は、前節2.1に示す表2-1（p.6）のとおりである。

(2) 試験施工 II

試験施工 I における舗装耐力の検証結果を踏まえて、雨水浸透材の脚部の路床への貫入を抑制する対策を講じることとした。具体的には、路床上面に粒状路盤層とアスファルト混合物層からなる施工基盤を設けて、雨水浸透材の脚部の路床耐力の向上を図った。

これらの改良を施した前節2.1の図2-2（p.6）に示す舗装断面について、改めて、幅2.0m×長さ3.0mの試験施工を実施した。なお、舗装材料は、前節2.1に示す表2-1（p.6）のとおりである。

2.3.2 試験施工の結果

(1) 施工性について

試験施工Iおよび試験施工IIのいずれも、表層・基層および上層路盤に使用した各種特殊アスファルト混合物の締固め度は NEXCO 舗装施工管理要領の規格値 96%以上を確保した。

また、目視観察の範囲であるが、無線給電道路であっても、実施工レベルの比較的大型の施工機械を使用する在来の施工法の範疇で円滑に施工できることを確認した。

(2) 舗装耐力について

試験施工I、さらに舗装断面に改良を加えた試験施工IIにおける、試験施工部で実測した FWD 試験より得られた各層での弾性係数の結果とその弾性係数から算出した基層下面の引張ひずみを比較し、表 2-2 に示す。なお、参考として昨年度 FS 研究での図 2-1 に示す断面（p.6）の結果も併記する。

さらに、この基層下面の引張ひずみと大型車両（輪荷重 49kN）の疲労破壊輪数の設計（解析）値と

の関係を図 2-3 に示す。

表 2-2 および図 2-3 より、改良を加えた試験施工IIの舗装断面であれば大型車両（標準荷重 49kN）の走行に対して、交通量区分 N7（疲労破壊輪数 3500 万回/10 年）を満足することが明らかとなった。

表 2-2 下面の引張りひずみ計算結果

試験施工 種別	着目点	弾性係数 E(MPa)		下面引張りひずみ(μ)		
		実測値	設計値	実測値 E より算出	疲労破壊輪数 基準値 中小型車両(輪荷重 17kN) 【S2】	判定
FS 研究 (R2 年度)	表層・基層	6,157	5,000	231	230	交通量区分 S1 満足
	上層路盤	14	150			
	下層路盤	6	12			
	路床	131	30			
本研究 (R3 年度)	着目点	実測値	設計値	実測値 E より算出	疲労破壊輪数 基準値 大型車両(輪荷重 49kN) 【N6】	判定
					【N7】	
施工試験I	表層・基層	3,564	5,000	105	149	交通量区分 N6 満足
	上層路盤	2,040	3,000			
	下層路盤	16	35			
	路床	68	120			
施工試験II (改良型)	表層・基層	7,264	5,000	76	149	交通量区分 N7 満足
	上層路盤	4,411	3,000			
	下層路盤	44	35			
	路床	152	120			

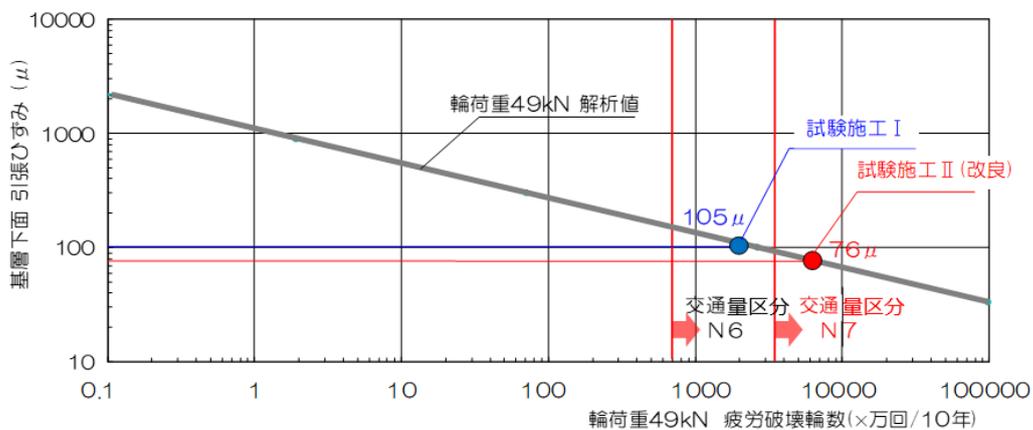


図 2-3 基層の下面引張りひずみと疲労破壊輪数

2.4 維持管理手法の検討

昨年度FS研究により、一般的な舗装舗装とほぼ同様の維持管理でよいことを確認した。

今年度は、無線給電道路の給電効率を長期にわたり確保するための維持管理方法について検討した結果を以下に示す。

(1) 送電電極埋設位置の検出について

補修を行う場合、埋設された送電電極に留意して施工しなければならない。そのためには、正確かつ詳細な施工設置図を記録することが重要であるのは勿論のこと、送電電極の位置を把握する非破壊検査方法を確立しておく必要がある。

(2) ポットホールやパッチング等の補修について

経年劣化により生じた路面ひび割れを起点として、ポットホール等の発生につながる可能性もある。このような場合を想定して、セラミック骨材を主材料とする補修材とその補修方法についての検討も必要と考えられる

昨年度の報告より、通常の舗装と同じ維持管理手法ができることが確認されている。今年度は、無線給電舗装が長期に給電効率が確保されるための維持修繕方法について検討した結果を以下に示す。

2.5 今後の検討課題と対策

以上の施工試験を通して抽出された今後の課題とその対応策について、以下に示す。

(1) 施工性について

a) 金属板（送電電極およびグランド版）の設置

送電電極およびグランド版は、金属製品のため、夏期のように直射日射が強い場合は高温となることが分かった。設置する際に手袋などの安全具が必要である。

b) 雨水浸透材の設置について

今回の施工では、雨水浸透材の側面から周囲の碎石等が雨水浸透材に入り込まないような間仕切り材が必要であった。今後は、外周部より碎石等が入り込まないような雨水浸透材の形状の改良が課題の一つと言える。

c) 送電電極の設置

試験施工Iでは、送電電極の上に特殊アスファルト舗装を施工する際、アスファルトフィニッシャの走行にともない送電電極の位置がズレないように、送電電極の設置個所は手作業にて施工を行った。施工性を改善するために、送電電極がズレないように固定方法について検討が必要である。

(2) アスファルト材料の品質管理について

特殊アスファルト混合物の品質について、試験施工の一部の品質が室内試験よりも低下する場合は認められた。実施工においてセラミック骨材を大量に使用する際の品質のばらつきの影響の他、骨材の加熱方法、ウエットミキシングの時間等実機プラントによる製造条件の違いによる影響を確認する必要がある。

(3) 無線給電道路のコストダウンについて

無線給電道路においては、送電電極やグランド材の敷設、雨水浸透材の設置などの無線給電特有の工種が増えることによるコストアップはあるが、特殊な施工機械を必要とせず、在来の施工機械と施工法の範疇で対応できることから、施工面でのコストへの影響は少ないものと考えられる。

コストアップの主要因としては、セラミック骨材や雨水浸透材などの汎用品でない使用材料が大きいと考えられることから、材料コストの見直し、在来品と混合使用によるセラミック骨材の減量化など、無線給電効率に影響を及ぼさない範囲で材料や配合面での改善によるコストダウンを図り、コストも含めた無線給電道路の全体最適化を進める予定である。

(4) 舗装体内に侵入した水分の排出について

電界結合方式における送受電効率を向上させるために、舗装体内に侵入した水分が雨水浸透材を介して速やかにグラウンド下面へ移動するような構造としている。本研究では、雨水浸透材の脚部が路床に貫入するのを抑制する目的で、密粒度アスファルト混合物を敷設した。今後は、この密粒度アスファルト混合物の滞留水が、排水ドレーンを介して支障なく排水できる構造について検討する予定である。

(5) 道路断面と排水施設について

昨年度のFS研究では、ここに提案している雨水浸透材を介した排水機能の妥当性と有効性を確認した。これらの成果を踏まえて、より実環境に近い条件になるように、降雨量や排水条件等の基本的な考え方を整理し、下記a)～d)の条件にて検討した。

ここで、表層・基層の特殊アスファルト混合物については、上面1cmまで淡水し、24時間後の表層内への透水量を測定した結果、24時間後の透水量は殆どゼロであり、舗装面からの透水の影響は極めて僅かである。しかしながら、表層から上層路盤までクラックが貫通した場合、そのクラックから透水するめ、クラックによる透水量の検討を行った。その計算結果を以下に示す。計算結果より、クラックが発生しても、適切な排水を行うことで、1段目の雨水浸透材が満水になることはないと考えられる。

a)降雨強度：130mm/hr

道路土工-道路排水工指針および道路土工要領 H21 版 1-5-7 沖縄県降雨強度参照

b)浸透水量：下記の式①～④より計算

①クラックが一番多い条件：ひび割れ率 20% (2014 年制定 舗装標準示方書 表IV-参 1.2.2 参照)

②ひび割れ率 20%の開口面積：0.0004 m²/m² (クラック面積＝幅 0.001m×長さ 1m÷2.5m²)

③降水量：130mm/hr＝130 mm/m²/hr

④開口部へ降った降雨が全て浸透したときの浸透水量：130 mm/m²/hr×0.0004 m²/m²＝0.052 mm/m²/hr

c)1 段当たりの雨水浸透材の貯水能力：86 mm/m² (空隙率 86%)

d)1 段目の雨水浸透材が満水になるときの降雨時間：86 mm/m²÷0.052 mm/m²/hr＝1、653hr＝68 日

また、排水計画について、検討した結果を以下に示す。

道路幅員14m (4m/車線×3車線+路肩2m)、縦断勾配3%、横断勾配1.5%の道路に降雨強度130mm/hrが降りると仮定すると、路単位長さ当たりの流出量0.455mm/sec/mとなる。したがって、JIS A 5372 附属書 E (規定) 路面排水溝類相当の比較的小さなプレキャストU型側溝 (PU-1-600) を使用することで、雨水浸透材からの排水ドレーンよりも低水位となる排水路で対応できると考えられる。

現時点で適切と考える舗装断面と排水施設のイメージは図2-4に示すとおりであり、このような排水施設の妥当性を検証することが今後の課題と言える。

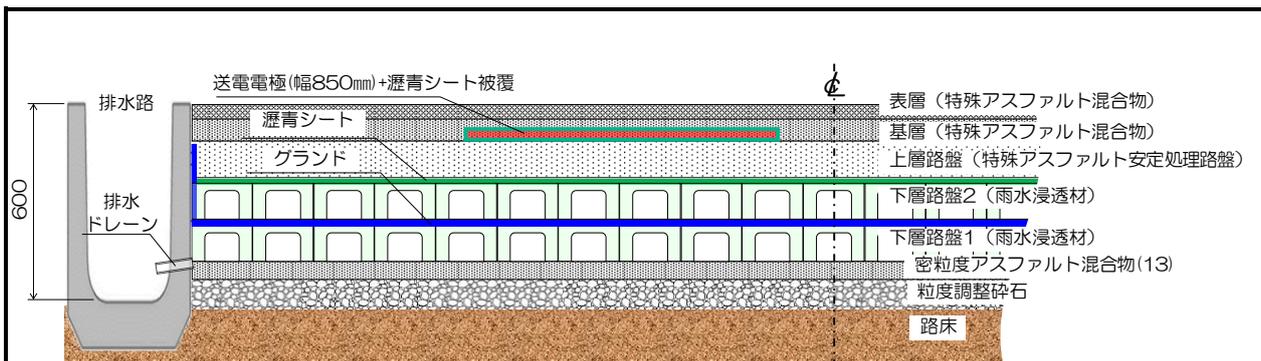


図2-4 排水設備を擁する舗装断面のイメージ

3. 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

道路から得られる情報によって無線給電設備の制御を行うための「路車連携による給電制御」に関する基礎実験を行い、適用可能性を検討した。路車連携による給電制御の基本概念を図 3-1 に示す。無線給電道路に磁石を設置し、磁場センサを取付けた車両を走行させる。車両では磁場センサの測定値をモニタリングし通信機能を有する車両側 PC (PC-1) を搭載する。一方、路側側の電源システムは直流電源および高周波電源で構成される。本制御システムでは、このうち直流電源に電源制御用 PC (PC-2) を接続する。PC-2 は PC-1 の信号を受け直流電源の ON/OFF 制御を行う。

本年度は、上記の概念を実現するための制御プログラムを試作した。図 3-2 に実験系統図を示す。

実験では、手押しカートに磁場センサを取付け、磁石を 1 個または 3 個(15cm 間隔)設置した道路上を通過させた。磁場センサが通過する位置は、写真 3-1 および写真 3-2 に示す赤線(15cm 間隔)A～E の 5 ラインとした。また、磁場センサの高さは、道路表層から 19cm・24cm・29cm の 3 条件とした。

その結果、本実験では、磁場強度のトリガーを 1.2G に設定することで横断方向に 150mm 車体(受電電極)がずれた場合までを DC 電源を ON とし、それ以上ずれた場合には OFF することができるという結果を得た。

次年度は、無線給電道路に磁石を埋設し実際の道路での実現可能性を検討する予定である。

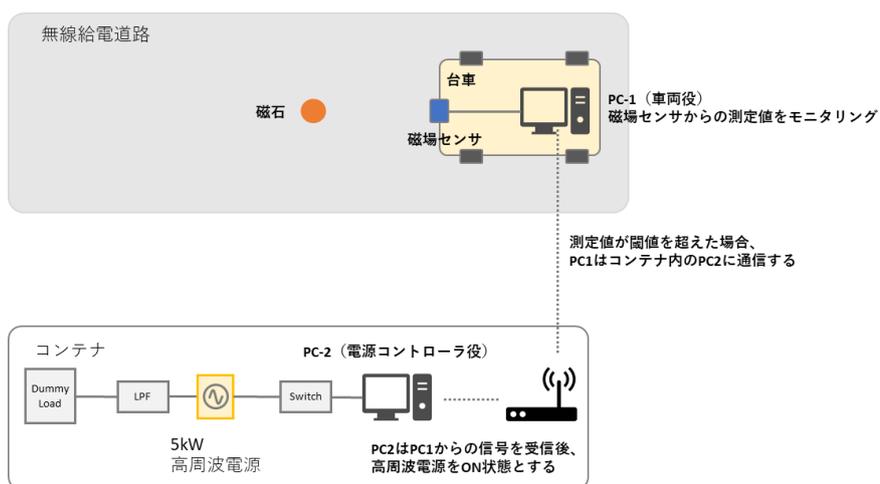


図 3-1 位置検知および給電制御の概念

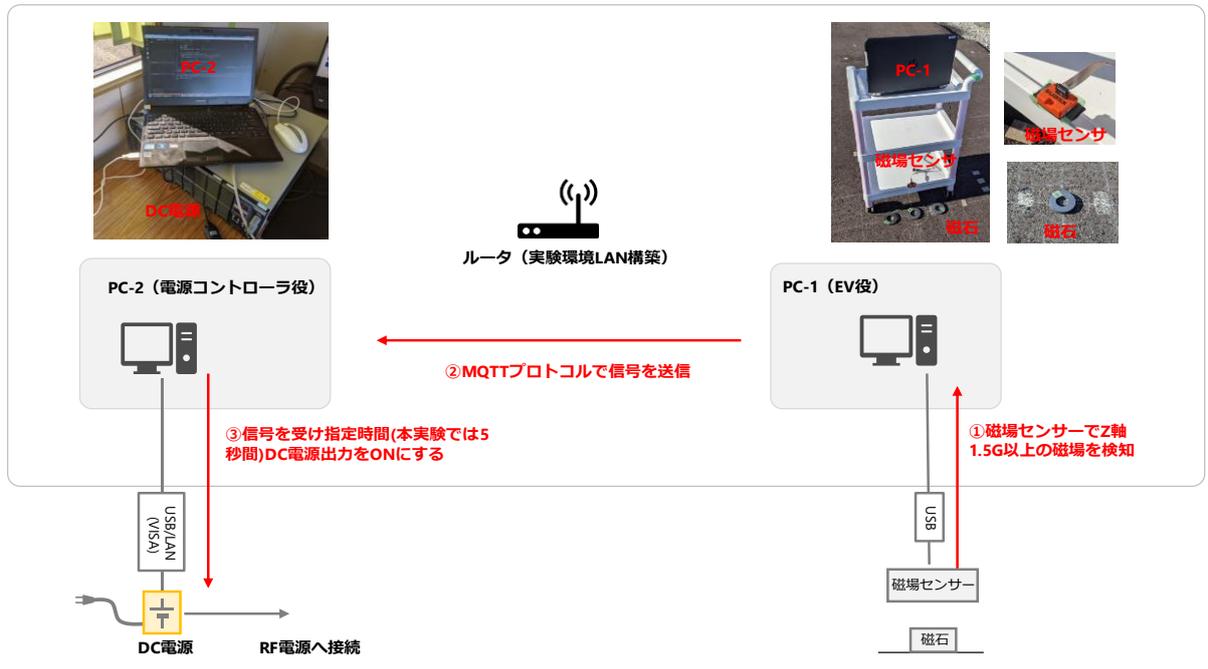


図 3-2 路車連携制御システムの実験系統図

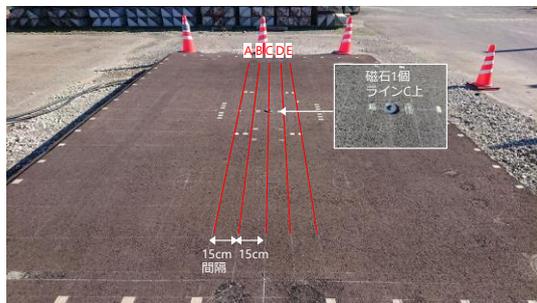


写真 3-1 磁石 1 個での実験

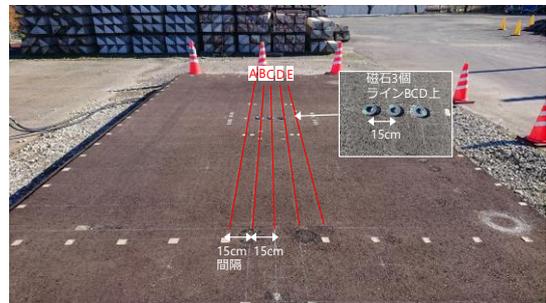


写真 3-2 磁石 3 個での実験

4. 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

4.1 評価指針・規制値

4.1.1 電波防護指針

電磁界が人体に与える影響については、「電波利用における人体の防護指針」（平成 2 年 6 月）及び「電波利用における人体防護の在り方」（平成 9 年 4 月）並びに情報通信審議会答申「局所吸収指針の在り方」（平成 23 年 5 月）が策定されている。これらに基づき、本研究では電界強度指針値：121V/m、磁界強度指針値：0.3A/mを評価値とした。

4.1.2 放射妨害波に関する規制値

6.78MHz における放射妨害波の規制値は、情報通信審議会情報通信技術分科会、電波利用環境委員会報告（平成 26 年 11 月 5 日案）およびその後の省令改正の論議において、10m において磁界強度：64dB μ A/m が規制値の案として示された。そこで、本研究では、道路中心から 10m における磁界強度 64dB μ A/m、電界強度 116 dB μ V/m（磁界強度からの換算値）とした。

4.2 漏えい電磁界測定結果

4.2.1 電波防護指針の評価（近傍電磁界）

無線給電時に EV 内の人体への影響検討のため近傍電磁界を測定した。写真 4-1 に近傍界測定の様子を示す。模擬車体上に測定用アンテナを設置し磁界強度を測定した。

無線給電道路表面から 1.3m における測定結果を表 4-1 に示す。無線給電道路表面から 1.3m における漏えい電磁界は、電波防護指針の規制値を満足した。



写真 4-1 近傍界における放射電磁界測定

4.2.2 放射電磁界（基本波）の測定

結果

放射電磁界（基本波）の測定位置は、道路中心から 10m の位置における道路横断方向（測定点 1）および道路進行方向（測定点 2）とした。

1kW 入力時の 6.78MHz における

磁界強度は、測定点 1 が 49.96dB μ A/m、測定点 2 が 53.06dB μ A/m であった。この結果を 5kW 入力時に換算した場合、測定点 1 が 63.94dB μ A/m、測定点 2 が 67.04B μ A/m

であり、規制値 64dB μ A/m を 3dB 超過することが確認された。なお、本実験では「高周波利用設備、無線設備規則第 65 条第 1 号 5 号」を申請しており、対象となる敷地境界（道路中心から 22m）では、規制値を満足することから、総務省関東総合通信局による認可を受けることができた。今後、道路進行方向において放射電磁界が発生した要因を分析し、次年度の研究では更なる改善検討を進めていく予定である。

4.2.3 放射電磁界（高調波）の測定結果

表 4-1 無線給電道路近傍の漏えい電磁界測定結果

測定場所 (表層から 1.3m)	合成値		指針値	
	磁界強度	電界強度	磁界強度	電界強度
	A/m	V/m	A/m	V/m
模擬車体中央	0.02	7.57	0.32	121
道路上（送電電極中央）	0.01	3.71	0.32	121

放射電磁界（高調波：2次高調波 13.56MHz～44次高調波 298.32MHz）の測定位置は、道路中心から 30m の位置で行った。ISM（Industry Science and Medical）バンド（無線周波数エネルギーを電気通信以外の工業・科学・医療の目的に使用するために、国際電気通信連合(ITU)によって国際的に確保されている周波数帯）に該当する 13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz 以外で規制値をオーバーしたのは 290.40MHz（測定値：32.04dB μ A/m、規制値：40.00 dB μ A/m）のみであった。

今後、290.40MHz 放射電磁界の発生要因などを分析し、次年度の研究では更なる改善検討を進めていく予定である。

5. 無線給電方式の方式との比較

5.1 磁界結合ワイヤレス給電

現在、国内では東京大学や東京理科大学が、海外ではIPT社、Electreon社、韓国科学技術院等が走行中磁界結合ワイヤレス給電に取り組んでおり、20 kW～200 kW程度までの実証実験がなされている。多くの機関は図5-1のように車体より短い長さの複数の送電コイルを地中埋設もしくは地面に設置し、区間ごとにスイッチング制御により切り替え、走行している車体の下にある送電コイルだけを通电するシステムを採用している。

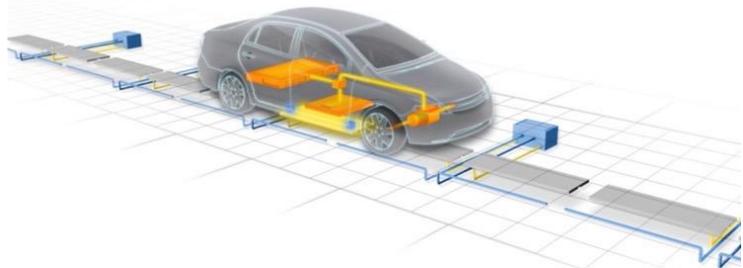


図 5-1 磁界結合方式走行中ワイヤレス給電のイメージ

引用：IPT technology, "Dynamic wireless charging of electric vehicles in motion," IPT technology, <https://ipt-technology.com/e-mobility-wireless-dynamic-charging/>, 参照 Nov. 24, 2021.

5.2 電界結合ワイヤレス電力伝送

EV停車中電界結合ワイヤレス充電技術は、古河電工が開発を行っている。2019年には図5-2のように伝送周波数13.56 MHzで95 mmエアギャップで4.7 kWワイヤレス充電技術を発表した。海外では米国のコーネル大学およびサンディエゴ大学等がEVへの電界ワイヤレス給電の基礎研究を実施している。コーネル大学は150 cm²サイズの送受電電極（計4枚）を使用し、12cmエアギャップにおいて884 W送電、効率91.3%を達成している。また、サンディエゴ大学は610 mm×610 mmの送受電電極（計4枚）を使用し、15 cmエアギャップにおいて2.4 kW送電、効率90.7%を達成している。

また、国内では走行中ロボット等への電界結合ワイヤレス給電方式の標準化の動きが見られる。周波数は500 kHz帯または6.78 MHz帯、送電電力は4 kWまでという仕様である。



図 5-2 小型 EV への電界結合

引用：古河電工ニュースリリース, https://www.furukawa.co.jp/release/2020/kenkai_200127.html.

5.3 磁界結合方式と電界結合方式の比較結果

磁界結合方式は電力および効率向上のために、車体にフェライトを搭載する。フェライト重量で車体が重くなり、コストアップにつながる。漏えい磁界の振る舞いは車体が送電コイル上に存在する場合としない場合で原理的に大きく異なる。図5-3にその様子を示す。車体が送電コイル上に存在する場合は、車体によって道路に対して上方向の漏えい磁界が抑制される。しかしながら、車体が送電コイル上に存在しない場合は送電コイルから発生した磁界が上方向に発生し、漏えいすることが米国PATHプロジェクトによってこの傾向が実験的に確認されている。上記漏えい磁界を抑制するために、送電コイルを短い区間にわけ、スイッチング制御で車体が送電コイル上を通るときのみ送電するシステムが提案されてきた。これにより、車体が存在しない道路上の漏えい磁界の抑制を改善したが離散的に送電を行うため受電時間率が低くなる。そのため、走行中に必要な電力を給電するには、電源から瞬間的に大きな電力を出力する必要がある。したがって、車体が送電コイル上に存在する場合の漏えい磁界は停車中充電のときより増加する。さらに、瞬間的に大きな電力を受電するためには大きなバッテリーが必要となる。また道路上に金属物異物があった場合、発熱の危険性がある。10 kW出力の磁界結合ワイヤレス給電装置の送受電コイル間にステンレス製の金属タワシを1分間おくと200°Cまで、8分間で375°Cまで温度上昇したという報告もある。そのため、磁界結合方式では複雑な異物検出システムが必要となる。

電界結合方式の場合、車体より長い送電電極板を道路に埋設し給電を行う。車体が存在する場合としない場合の漏えい電界は図5-4

のようになる。車体が存在する場合は送受電電極間で電界が発生し、この電界は電力伝送に寄与する。車体が存在しない場合は、左右の送電電極間で電界の主成分が発生し、道路上方向への漏えいは少ない。本方式は、送電電極と受電電極が対抗していれば電力伝送が可能となるため、送電電極上に車体が存在している限り連続的に給電できる。連続給電により電源からの送電電力は磁界結合方式より小さくでき、さらにバッテリーの小型化にもつながる。また、電界は金属物を発熱させないので、異物検出システムも簡易にできる。以上の点から電界結合方式の方が原理的に有利である。

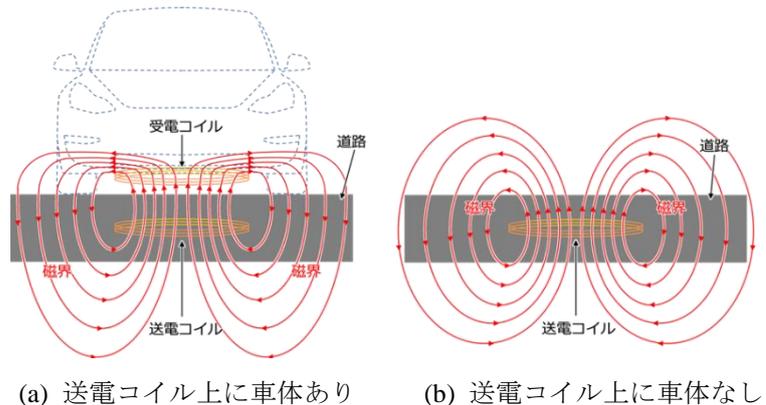


図5-3 磁界結合方式における漏えい磁界の振る舞い

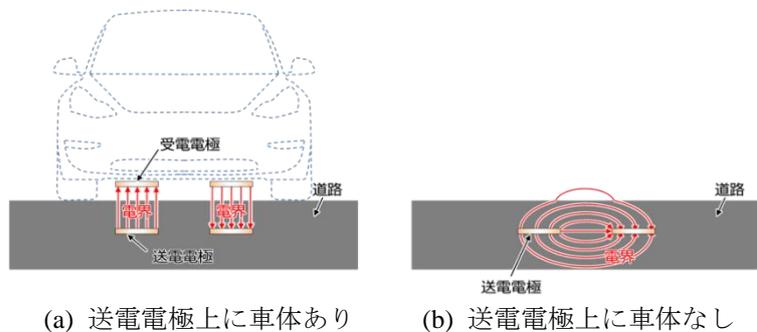


図5-4 電界結合方式における漏えい電界の振る舞い

⑦特記事項

【本研究で得られた知見】

1. 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討

・舗装強度・耐久性のために改良した無線給電道路、6.78MHz、5kW出力の高周波電源、1.5m×1.7m×0.05mの薄型・軽量な受電装置を試作し無線給電実験を行った。その結果、高周波電源5kW出力において3.7kW受電を確認し、目標値70%以上を達成した。

・雨天時（4mm/hr）の伝送効率を測定し、晴天時に比べて4.7pt低下するが、降雨後には比較的速やかに伝送効率が回復することを確認した。

2. 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

・舗装設計における交通条件と降雨・排水条件等の基本条件を再検討し、より適切な舗装断面を決定した。

・選定した道路断面について理論設計法に基づく試設計を行ない、構造特性を照査した。

・大型施工機械を使用した実施工に近い条件にて幅3.5m×長さ5mの無線給電道路の試験施工Ⅰを行ない、円滑な施工性を確認した。

・試験施工Ⅰにおける舗装断面の舗装耐力を非破壊試験にて確認し、その結果を踏まえて、より高い舗装耐力を確保できる舗装断面に改良した。

・改良した舗装断面について幅2.0m×長さ3mの試験施工Ⅱを実施し、大型車両（輪荷重49kN相当）の走行に対して交通量区分N7を満足する耐力を有することを明らかとした。

3. 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

・道路から得られる情報によって無線給電設備の制御を行うための制御プログラムを試作し、電源システムのON/OFF制御を検証した。

4. 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

・人体に与える影響を検討し、車両内（模擬車体上）は基準値以下となり、幅員3.5mの無線給電道路端から0.2m以上（受電装置から1.1m）、高さ0.7m以上の離隔によって電波防護指針を満たす可能性を示した。

・無線給電道路から遠方に放射する電磁界をシミュレーションと設置場所測定によって、敷地境界（無線給電道路から22m）における磁界強度が64dBμA/m以下（6.78MHz）であることを検証し、高周波利用設備としての許可を取得した。

【進捗の達成度（自己評価）】

A：目標とする成果が得られた。

【今後の見通し】

本年度の検討において、目標とする中・小型車両への本無線給電システム（10kW送電、7kW受電）の高い適用性を確認するとともに、大型車両（輪荷重49kN相当）の走行に耐えうる舗装耐力を実現できる可能性を明らかとした。

今後は車両メーカーとの技術連携も視野に入れ、さらなる研究開発の充実と強化を図ることにより、走行中車両への無線給電技術の体系的な実用化システムの構築を達成できると考えている。