

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】

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] 新たな行政システムの創造		分科会/ 公募タイプ	タイプIV特定課題対応型	
		[副テーマ]			ハード分野	
③研究経費 (単位:万円)	令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計		
※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	4,008	4,685	4,955	13,648		
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)				
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・次長				
崎原 孫周		大成建設株式会社・課長代理				
石島 透		大成建設株式会社・主任				
加納 孝志		大成ロテック株式会社・部長				
久野 晃弘		大成ロテック株式会社・部長代理				
城本 政一		大成ロテック株式会社・部長代理 (令和5年度まで参加)				
澤口 実		大成ロテック株式会社・課長代理				

唐木 健次	大成ロテック株式会社・課長代理
渡部 敬史	大成ロテック株式会社・係長
澁谷 昌広	大成ロテック株式会社・主任
大平 孝	豊橋技術科学大学・特任教授
塚本 悟司	豊橋技術科学大学・特任教授（令和4年度まで参加） 現職：東北大学・特任教授
阿部 晋士	豊橋技術科学大学・特任助手
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（令和3年度まで参加） 現職：株式会社ミライズテクノロジーズ
山田 隆弘	株式会社デンソー（令和4年度より参加）

⑤ 研究の目的

本委託研究は、電界結合方式を基幹とする、高効率で汎用性に優れた、大型車両が通行する高速道路への適用が可能な無線給電道路システムを実現することを目的として、既往の検討からの給電効率の向上や送電を自動制御する路車連携システムの検討を含むシステム全体の概念設計や、高速道路等で求められる耐久性を満足する舗装構造の設計を行った。その後、無線給電道路の試験道路を施工し、走行する車両に対する10kW級無線給電実験や舗装の構造調査等を行い、設計の妥当性を検証した。さらに、社会実装に向けて、無線給電システムから放射する電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様を整理するとともに、本研究で得られた知見をとりまとめ、舗装の設計・施工・維持管理手法に関するガイドライン(案)を作成した。

⑥ これまでの研究経過、目標の達成状況

本委託研究で開発した無線給電道路システムは、電界結合方式を基幹としており、道路を高速で走行する電気自動車（EV）に非接触で連続して電力を供給することを特徴としている。

図-1に無線給電道路の将来イメージを示す。本委託研究では、高効率かつ汎用性に優れた無線給電道路システムを実現するため、図-2に示す研究体制において、図-3に示す4課題に取り



図-1 無線給電道路の将来イメージ

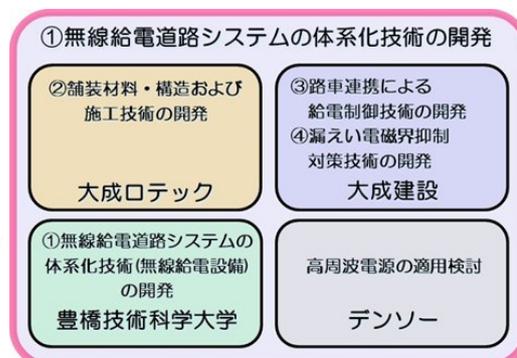


図-2 研究体制と役割

組んだ。さらに、舗装材料・構造設計手法・施工手法・維持管理手法に関するガイドライン（案）の作成、および無線給電システムから放射する電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様の整理を行った。

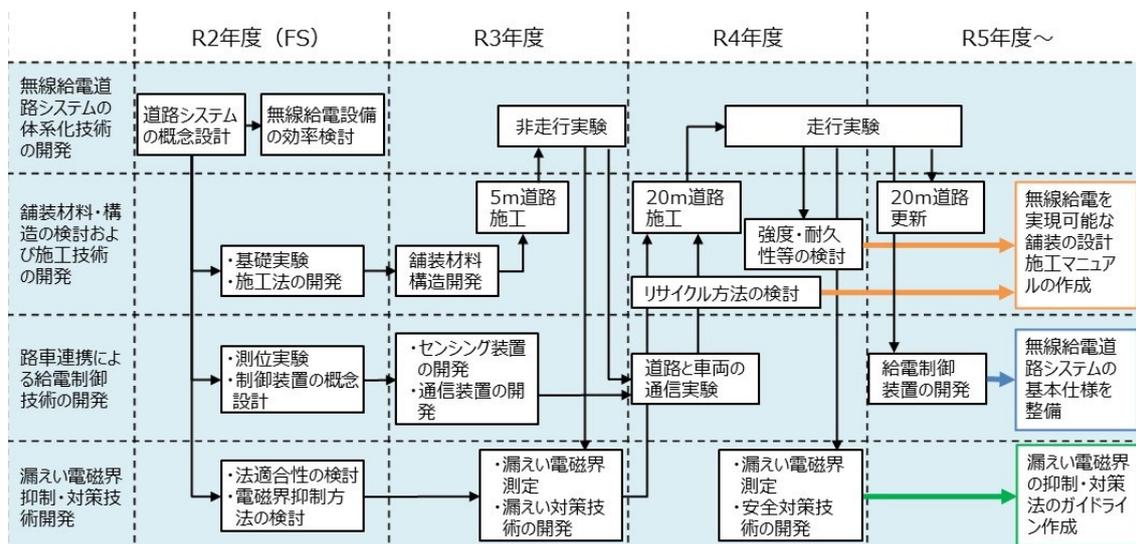


図-3 研究の全体像

(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

a) 無線給電道路システムの伝送効率検討

電界結合方式による無線給電道路システムの先行研究として、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE において、10m の直線路を屋外に施工し、時速 10km 以下で走行する小型車両（車重 500 kg 程度）に対して送電電力 3kW による無線給電走行を実施し、本システムの適用性を実証するとともに、その基本技術を確認した。ただし、舗装内に水が滞留した場合の伝送効率の低下に対する対策、および、より大型車両の走行に耐え得る舗装構造への改良が、今後の検討課題として残された。

本研究では、無線給電道路の防水および排水に対する対策として、図-4に示す舗装断面に改良することで伝送効率70%を実現し、走行中の車両に送電電力10kWによる連続給電可能な無線給電道路の開発に向けての検討を行った。舗装断面は、上層から表層：特殊アスファルト混合物（厚さ100mm）、送電電極：SUS304（送電電極）、上層路盤：特殊アスファルト安定処理層、下層路盤：雨水浸透材、グラウンド（パンチングメタル）、施工基盤の順で積層している。特殊アスファルト混合物および特殊アスファルト安定処理層はセラミック骨材を連続粒度とすることで防水している。また、埋設した送電電極および上層路盤底部は瀝青シートによって水の回り込みを防止している。さらに、下層路盤に雨水浸透材を採用することで舗装体内に水が滞留しにくい構造とした。下層路盤に利用する雨水浸透材は、強化プラスチック製の材料である（図-5）。脚部を有するブロックを組み合わせた形状であるため、舗装内の水の滞留を防止でき、電気的な損失量が低下する。従って伝送効率の向上が期待できる。一方、脚部に応力が集中するため、基礎地盤をポーラスアスファルト混合物とすることで塑性変形や施工基盤面の沈下の防止とグラウンド下層の排水機能を期待した。

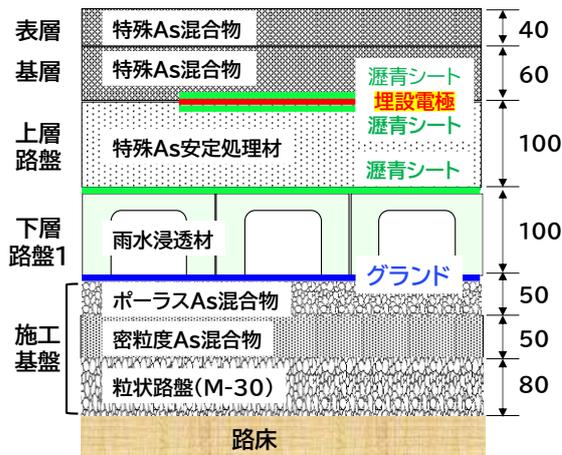


図-4 無線給電道路の舗装断面

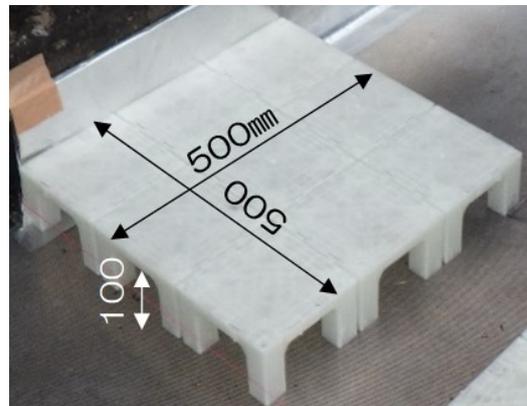


図-5 雨水浸透材

無線給電道路の伝送効率の向上には、送受電電極間および送電電極グランド間の比誘電率 ϵ_r 、誘電正接 $\tan \delta$ が低い材料を選定することが重要な要素になる。試験施工を行った無線給電道路の各舗装構成の電気定数を表-1に示す。

無線給電道路上に受電システムを設置した場合の伝送効率のシミュレーション結果を図-6に示す。「低結合区間」は送電電極と受電電極の対抗面積が最大ではない区間、「高結合区間」は送電電極と受電電極の対抗面積が最大となる区間を意味している。伝送効率は無線給電道路上の受電電極の位置によって変動し、最大72.8%、平均50.1%となった。このような位置による伝送効率の変動は、「定在波」の影響であり、送電電極がある程度の長さになると送電電極上に定在波節が発生し、定在波節では送電電極から電界が放射されないため図-6の11m地点のように伝送効率は0%になる。

表-1 無線給電道路構成材料の電気特性

舗装構成	材質	電気定数
上層・基層	特殊アスファルト混合物 (セラミック骨材)	$\epsilon_r = 3.63$ $\tan \delta = 0.083$
送電電極	SUS304 (t: 1mm)	$\sigma = 1.39 \times 10^6$ $\mu_r = 1$
	瀝青シート	$\epsilon_r = 1.99$ $\tan \delta = 0.011$
上層路盤	特殊アスファルト安定処理材 (セラミック骨材)	$\epsilon_r = 3.7$ $\tan \delta = 0.053$
下層路盤	雨水浸透材	$\epsilon_r = 1.39$ $\tan \delta = 0.028$
グランド	アルミパンチングメタル (t: 1mm)	$\sigma = 3.56 \times 10^7$ $\mu_r = 1$

定在波対策として、送電電極に進相コンデンサを挿入し、伝送路で生じた位相遅れを進相させることで定在波節を抑制する手法を考案した。図-7に無線給電道路に実装した定在波対策のイメージを示す。試験施工した無線給電道路では、2m間隔で進相コンデンサを送電電極に設置した。進相コンデンサは、テフロンシートPTFE (厚さ1mm, $\epsilon_r: 1.97$, $\tan \delta: 0.002$) とSUS304で構成した。シミュレーション結果を図-8に示す。高結合区間の伝送効率は最大70.3%、最小54.2%、平均62.9%となった。本

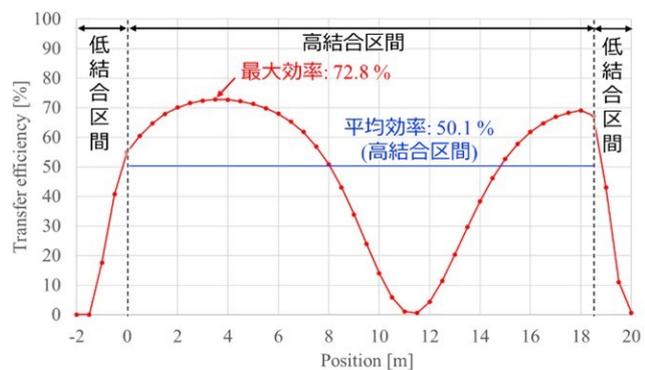


図-6 無線給電道路の伝送効率シミュレーション結果

シミュレーションにより定在波の影響による伝送効率の低下が解消され、平均効率は12.8ポイント向上することが予想された。

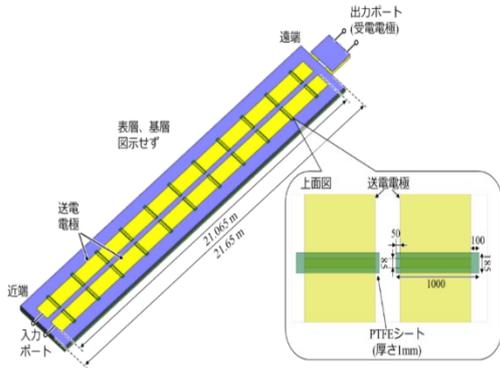


図-7 定在波対策を施した送電電極イメージ

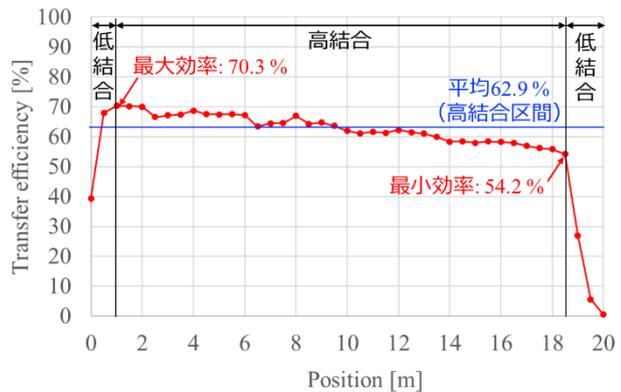


図-8 定在波対策による伝送効率シミュレーション結果

b) 送受電システムの試作

無線給電道路システムは図-9に示す要素で構成した。送電システムは、高周波電源、送電側整合回路、バラン、EMCフィルタで構成され、舗装に埋設した送電電極に接続する。受電システムは、受電電極、受電側整合回路、バランで構成した。

高周波電源は直流電源から供給された直流電力を6.78MHzの高周波電力に変換する装置である。図-10に試作機の外観を示す。本委託研究では、1年目～2年目は5kW出力、3年目に10kW出力の装置を利用した。EMCフィルタは高周波電源から出力される高調波ノイズを抑制する装置であり、13.56MHz～150MHzで30dB以上の阻止減衰量の仕様とした。

整合回路およびバランは高周波電源から出力された高周波電力の電力反射を最小限に抑え効率的に車両に供給するために必要な装置である。本実験系では高周波電源出力端、無線給電道路入力端、受電電力出力端の3ヶ所に設置した。

トレーラに搭載する受電装置は受電電極(アルミニウム製, 1,500mm×幅550mm×t 1mm 2枚), グランド板(アルミニウム製, 1,500mm×幅1,700mm×t 1mm), 整合回路, バランで構成し受電電極とグランド板は絶縁ガイシで固定する。試作機の外観を図-11に示す。薄型・軽量であり車体底部に取付けも容易である。

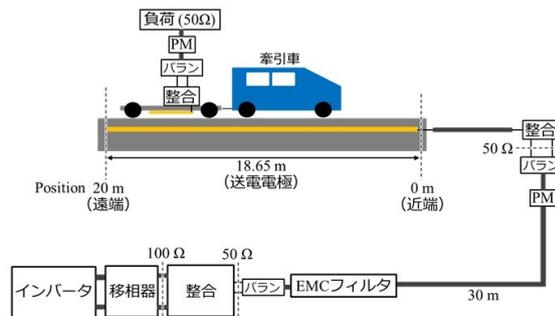


図-9 無線給電道路のシステム構成



図-10 高周波電源試作機

c) 非走行条件における無線給電実験

非走行条件での実験は、長さ5m道路における給電実験（高周波出力：5kW、牽引車なし）、長さ20m道路における給電実験（高周波出力：5kW、牽引車あり）、定在波対策を施した長さ20m道路における給電実験（高周波出力：5kWおよび10kW、牽引車あり）を実施した。

令和3年度は、長さ5mの小型模擬試験体に最大出力5kWの高周波電源を接続し受電電極（アルミニウム製、1,500mm×幅550mm×t 1mm 2枚）を設置した条件で無線給電実験を行った。

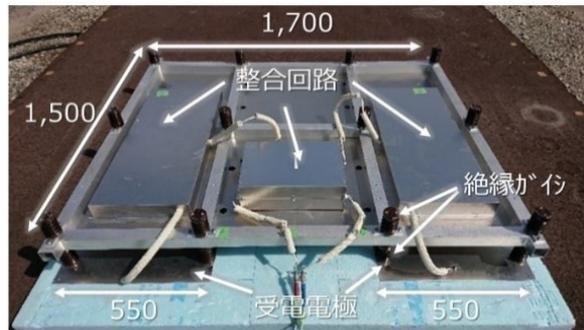


図-11 トレーラに搭載した受電装置

無線給電実験の実験系を図-12に示す。送電側整合回路の入力側に高周波電源を、受電側整合回路の出力側に50Ωダミーロードを接続し、5kWの無線給電実験を実施した。送電側整合回路の入力電力 P_{in} が5kWにおける、受電側整合回路の出力電力： P_{out} は3.9kWであり、伝送効率は、78%であった。

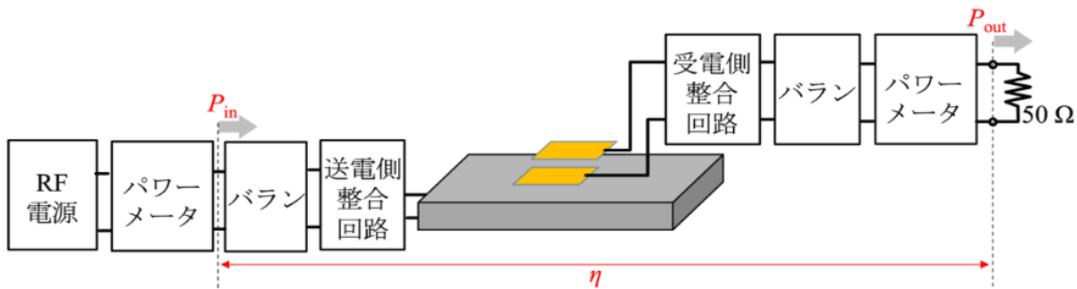


図-12 5m道路における無線給電実験系統図

令和4年度は、長さ20mの無線給電道路に最大出力5kWの高周波電源を接続し、停車条件における無線給電実験を行った。図-13に非走行実験のイメージ、図-14に伝送効率の測定結果を、図-15に近端から1mの位置にトレーラを停車した条件での入力電力 P_{in} と出力電力： P_{out} の関係を示す。実験の結果、最大効率は72.8%（近端から2mの位置）、平均効率は54.0%であった。また、図-15から入力電力 P_{in} と出力電力 P_{out} は比例関係にあることが確認された。

令和5年度は、定在波対策を施した長さ20mの無線給電道路に最大出力10kWの高周波電源を接続し、停車条件における無線給電実験を行った。図-16に伝送効率の測定結果を示す。また、近端から1mの位置にトレーラを停車した条件での入力電力： P_{in} と出力電力： P_{out} の関係を図-17に示す。実験の結果、最大効率は62.7%（近端から4mの位置）、平均効率は58.1%であり、高

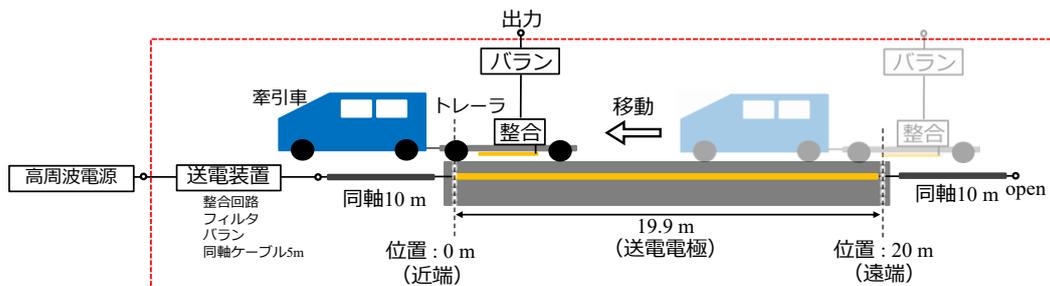


図-13 非走行条件における無線給電実験イメージ

結合区間内において常に安定した伝送効率が得られることが示された。また、入力電力と出力電力は比例関係にあることが確認され、最大入力電力 P_{in} 9.8kW入力時の出力電力 P_{out} は5.9kW、伝送効率は60.2%であった。

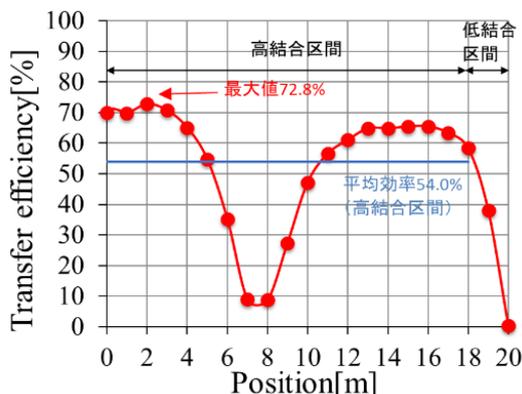


図-14 長さ 20m 試験走行路での伝送効率 (令和 4 年度実験結果)

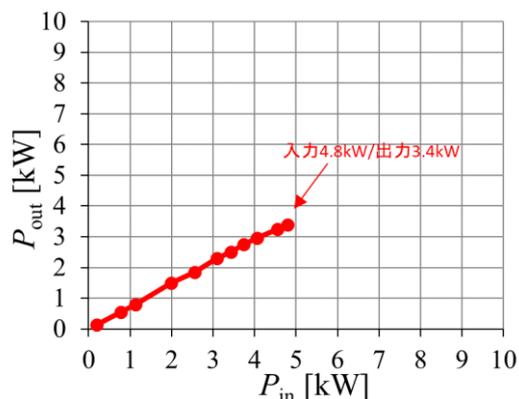


図-15 近端側 1m における入出力電力 (令和 4 年度実験結果)

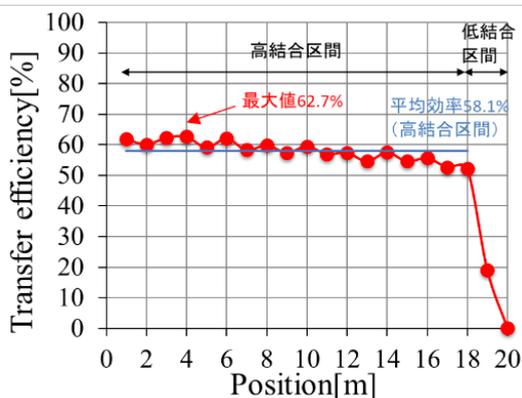


図-16 定在波対策後の試験走行路での伝送効率 (令和 5 年度実験結果)

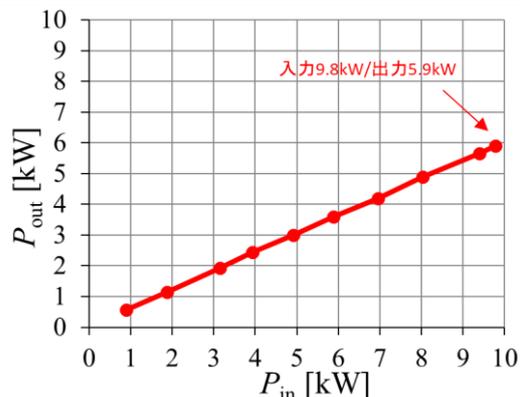


図-17 近端側 1m における入出力電力 (令和 5 年度実験結果)

また、トレーラが横ずれした場合の伝送効率の変化を検討した。図-18に実験イメージを示す。道路中心と車両中心が一致する場所を横ずれ位置 $Y=0$ mmと定義し、右側の横断方向に車両を50mm間隔で移動させた場合のSパラメータから伝送効率を算出した。実験結果を図-19に示す。受電電極がすべて送電電極上にあり対向面積が変化しない区間は

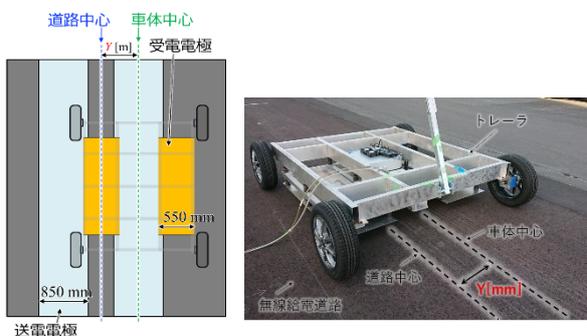


図-18 車両横ずれ実験のイメージ

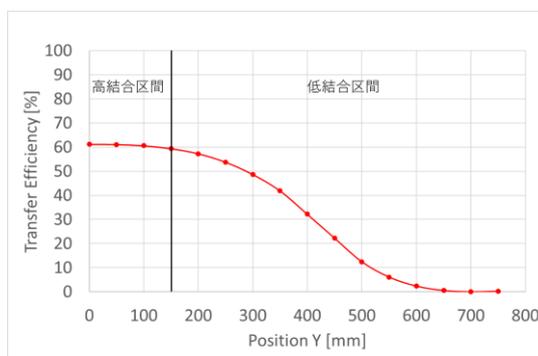


図-19 車両横ずれ実験の結果

伝送効率が変化せず、その後、低結合区間では徐々に伝送効率は低下するが、横ずれ300mmにおいて伝送効率50%が得られる横ずれに強い特長を有することが確認された。

d) 走行中車両への無線給電実験

走行中無線給電では、道路上を安定して連続的に電力が給電できることが重要である。そこで、受電装置を搭載したトレーラによって、無線給電道路上を走行する条件で無線給電実験を行った。ここで、トレーラを牽引する車両（ガソリン車）の走行速度は、時速20kmとし、高周波電源の出力は、5kWとした。実験状況を図-20 および図-21 に示す。道路進入前は送電電力および受電電力は0Wであった。道路進入後（走行中）は車両の位置によって多少送電電力量は変動するが、道路近端においては送電約5kW、受電約3kWとなり、無線給電道路上では連続して電力を受電し続けることを確認した。

以上の実験結果より、定在波対策を行った無線給電道路上を時速20kmで走行する車両に非接触で連続して電力を供給可能であることが実証された。



図-20 走行中給電（道路進入前）



図-21 走行中給電（道路進入後）

(2) 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

無線給電道路は、優れた電気的特性の材料を用い、給電性能の向上を図る目的で舗装体内に浸透した雨水を速やかに排水できる舗装構造としている。舗装材料の材質や雨水浸透材の材質・形状に改良を加えることで、高速道路における大型車両の走行を想定して、輪荷重5トンで交通量区分N7（3,500万回/10年）を満足する舗装構造となる舗装断面を検討した。

a) 舗装材料・構造の検討

令和2年度（FS研究）における検討を経て、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5トン相当）の交通量区分N7を目標とした舗装断面を検討した。

無線給電道路の表層、基層および上層路盤には一般的な天然骨材を使用したものに比べて、伝送効率等の電気的特性に優れているセラミック骨材を用いた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を採用した。特殊アスファルト混合物の動的安定度の向上を図るために、特殊アスファルト混合物のバインダはポリマー改質アスファルトⅡ型に変更した。

また、雨水浸透材は大型車両の载荷に対する耐久性を改善するために高強度で高靱性な強化プラスチックに素材改良し、室内における圧縮試験で弾性係数は67MPaであることを確認した。

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。また、強化プラスチック製で表面が平滑な雨水浸透材と特殊アスファルト安定処理路盤との一体性を高めるため、同様に瀝青シートを施工することで付着性能を改善した。

下層路盤に用いている雨水浸透材は脚部を有するブロックを組み合わせた構造をしている。雨水浸透材の脚部における応力集中の有無を確認するとともに、雨水浸透材を用いた下層路盤は全体的に均質な層であり、支持力も一様であることを確認した。また、雨水浸透材の突合せ箇所上面にせん断作用によりリフレクションクラックなどの損傷が生じることが懸念されるため、雨水浸透材の上部全面をプラスチック平板で被覆することで一体性を向上させる構造とした。

R3年度の舗装断面は雨水浸透材を2段とし、下部（1段目）で舗装体内に侵入した雨水等を一時的に貯留し、給電効率に影響を与えるグラウンドの上面まで侵入した水が到達しない構造としていた。舗装体強度の向上およびコストダウンの観点から、雨水浸透材積層数を削減し、施工基盤上層混合物に排水性アスファルト混合物を適用してすることで舗装体内に侵入した水を排水する構造に改良した。排水能力を検証した結果、グラウンド上部に滞水することなく排水されていることを確認した。

舗装材料・構造を検討した結果、無線給電道路の標準舗装断面を図-22、舗装構成と材料仕様を表-2に示す。

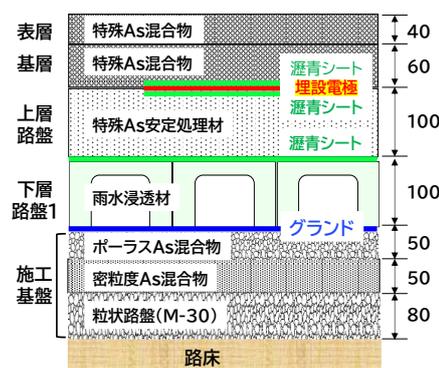


図-22 令和4年度試作の舗装断面

表-2 無線給電道路の標準舗装構成と材料仕様

舗装構成		種別	仕様（規格・基準）
区分	層厚 (mm)		
表層	40	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトII型)
基層	60	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトII型)
送電電極	1	ステンレス板	SUS304 (瀝青シート被覆)
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理	アスファルト安定処理路盤 (StAs60/80)
下層路盤	2	プラスチック板	硬質プラスチック
	100	雨水浸透材	硬質プラスチック (500×500×100mm)
グラウンド	1	パンチングメタル	アルミニウム (孔径2mm)
施工基盤	50	アスファルト混合物	排水性アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトH型)
	50	アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ストレートアスファルト)
	100	粒状路盤	M-30

b) 無線給電道路システムの試験施工

令和3年度は、通常の道路工事に利用する施工機械によって長さ5m×幅3.5mの小型模擬試験体を施工し、施工性を検証した。無線給電道路は実施工レベルの大型施工機械を使用する在来の施工法で円滑に施工できることを確認した。

令和4年度および令和5年度は舗装構造の検討結果を踏まえて、延長20m、幅員3.5mの試験施工を行ない、施工手順の確認と実用化に向けた課題の整理を行った。施工フローを図-23、施工風景を表-3に示す。

無線給電道路の施工においては、特有の工種である雨水浸透材（下層路盤）の設置、送電電極やグラウンドの敷設、同軸ケーブル等の送電線の配線などの作業はいずれも人力施工としたが、その他の作業は、一般的なアスファルト舗装の施工方法で円滑に施工できることが確認できた。

各作業を通して、実施工規模の施工機械や10ton ダンプを用いた。目視観察で雨水浸透材の破損や沈下等に起因する損傷は認められず、良好な耐荷性を有していることが確認できた。

施工の合理化を図るためには、雨水浸透材の設置および固定作業、送電電極やグラウンドの設置や施工基盤との固定作業など、人力に頼っている作業を軽減させることが必要であることが試験施工によって確認された。今後、実装に向けて、雨水浸透材やグラウンドを施工基盤に固定する作業などを省力化できるように、雨水浸透材などの使用材料の形状を改良するとともに、自動化施工ができるように施工方法を改善することが必要である。

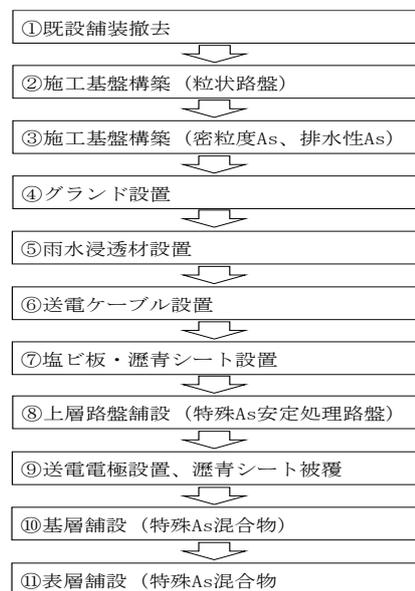


図-23 試験施工作業手順（フロー）

表-3 長さ 20m 無線給電道路の試験施工

			
施工基盤構築	グラウンド設置	雨水浸透材設置	瀝青シート設置
			
上層路盤工	送電電極設置	基層工	表層工

c) 無線給電道路の疲労耐久性の検証

令和3年度に構築した無線給電道路においてFWDによるたわみ量測定を実施し、逆解析により各層の弾性係数を求めた。求めた弾性係数を用いて多層弾性理論に基づく解析ソフト（GAMES）により基層の下面引張ひずみと上層路盤の下面引張ひずみを求めた結果、交通量区分N7に対する舗装耐力は満足するには路床面上に施工基盤を設ける必要があることが明らかになった。

令和4年度は舗装構造の検証結果を受けて改良した舗装断面で試験施工を行い、構築した無線給電道路においてFWDによるたわみ量測定を実施した。多層弾性理論による構造評価の結果を表-4に示す。各着目点の引張ひずみおよび圧縮ひずみは交通量区分N7（疲労破壊輪数：3,500万回/10年）の許容ひずみを満足する結果となった。

令和4年度に構築した無線給電道路において、荷積みした総重量約20トンの実大型車を計46,500回（5トン換算輪数33,494輪）繰り返し走行させて、試験前・試験中・試験終了時に舗装強度と耐久性を評価した。強度・耐久性の評価方法および試験時期を表-5に記す。

電磁波レーダによる送電電極の位置や形状の変化を確認した結果、載荷走行試験の前後で送電電極の位置ずれや変形が生じていないことが確認できた。MRPによるプロファイル測定の結果、載荷走行試験の前後で舗装表面の横断形状に変化はなく、特殊アスファルト混合物の塑性変形や特殊な構造を持つ雨水浸透材脚部の座屈等の構造的破壊は生じないことが検証された。クラック調査の結果、載荷走行試験終了後の舗装表面に損傷は確認できなかった。FWD試験による舗装体の支持力変化を確認した結果、舗装体全体の支持力を示すD₀たわみ量は載荷走行試験前後でほぼ同程度の値となり、5トン換算輪数33,494輪の繰り返し走行の範囲ではあるが、無線給電道路の構造的な支持力の低下は生じていないことが検証された。

3年間の材料や舗装構造に関する検討で改良した無線給電道路の舗装断面は、多層弾性理論で交通量区分N7の疲労破壊輪数（3,500万回/10年）に対して十分な耐久性があると評価された。また、大型自動車による載荷走行に対しても構造破壊は認められず、所定の耐久性を有していることが確認された。

表-4 多層弾性理論による構造評価結果

着目点	FWD 試験結果より求めた引張ひずみ, 圧縮ひずみ	舗装設計期間 10 年における許容ひずみ
基層下面	58 μ	≤101 μ
上層路盤下面	211 μ	≤229 μ
施工基盤 As 下面	59 μ	≤194 μ
路床上面	24 μ	≤274 μ

表-5 評価方法および評価項目

評価・試験名	評価項目
電磁波レーダ測定	送電電極の変形
MRPによるプロファイル測定	舗装表面の形状の変化
クラック調査	舗装表面のクラック有無
FWD試験	舗装体の支持力

表-6 無線給電道路の疲労耐久性の検証状況

			
載荷走行試験	電磁波レーダ測定	MRPによるプロファイル測定	FWD試験

d) 舗装の構造設計手法の開発

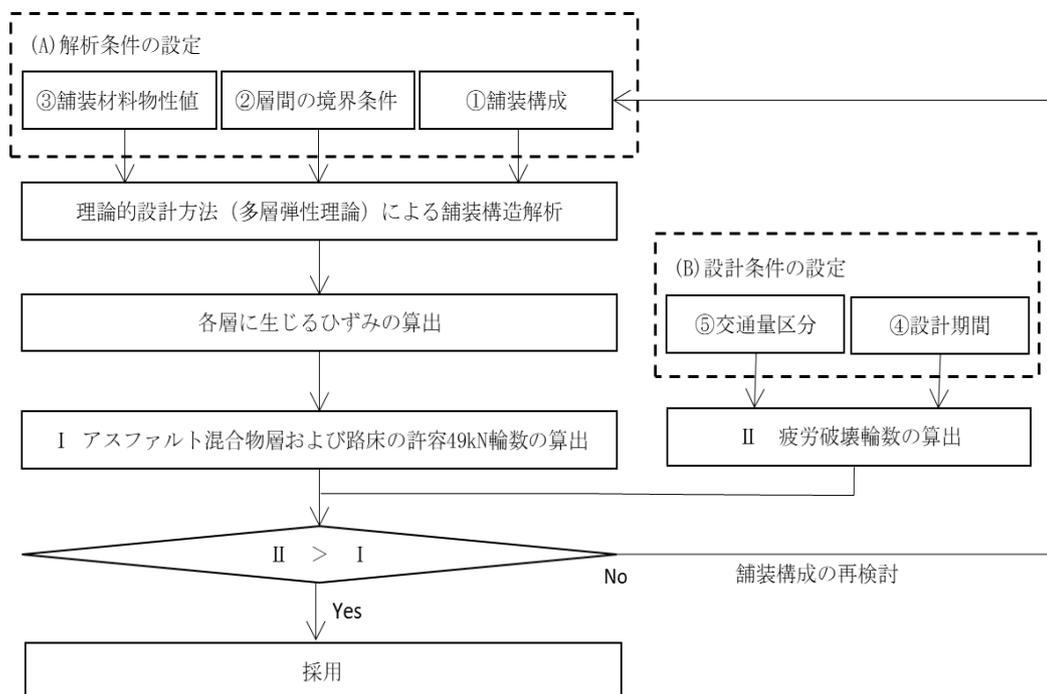


図-24 多層弾性理論による構造評価フロー

無線給電道路には一般的な舗装に用いられない強化プラスチック製の雨水浸透材が下層路盤に採用されているため、 T_A 法による構造設計法を採用することが困難である。無線給電道路を構成する舗装材料の弾性係数、ポアソン比等の材料特性値、舗装各層の厚さおよび供用条件を設定して多層弾性理論で構造評価を行う。多層弾性理論による構造評価のフローを図-24に示す。多層弾性理論に基づく構造評価で着目する点は「基層下面」、 「上層路盤（特殊アスファルト安定処理層）下面」 および「施工基盤の下層（密粒度アスファルト混合物層）下面」の引張ひずみ、および、「路床上面」の圧縮ひずみとする。

無線給電道路では、排水機能を持たせた下層路盤として雨水浸透材を設置するが、雨水浸透材は内部に空間を有する特殊構造をしている。多層弾性理論では、特殊な空間構造をもつ雨水浸透材についても均一な層と仮定して、材料の特性値（弾性係数、ポアソン比等）を設定して構造評価を行なっている。雨水浸透材のような内部空間も構造モデルの一部として扱う有限要素法（以下、3次元FEMとする）により改めて舗装構造を照査し、多層弾性理論に基づく構造評価の妥当性を検証した。

無線給電道路を構成する各層の弾性係数や層間の付着状況（ばね定数）を未知パラメータとし、ランダムに発生させた未知パラメータの組合せ毎に解析たわみを求める。解析たわみとFWDで測定した実測たわみが全体的に良い相関を有した時の各層の弾性係数を表-7に示す。下層路盤（雨水浸透材）を均一な層として仮定し多層弾性理論による構造モデルで算出した弾性係数と比較すると、下層路盤（雨水浸透材）の弾性係数に大きな差が生じた。多層弾性理論による構造モデルの方が室内試験で求めた下層路盤の弾性係数（67MPa）と近い値となった。下層路盤（雨水浸透材）を均一な層として仮定する多層弾性理論に基づく構造評価は妥当であるといえる。3次元FEMと多層弾性理論による構造モデルを用いて実施した逆解析結果では、瀝青シート

で接着している送電電極と塩ビ板の付着状況はともに付着していないと判定され、室内試験結果と異なる解析結果となった。変形追従性が優れる瀝青シートが塑性変形することでFWD試験のたわみ量に影響を与えた可能性がある。多層弾性理論に基づく設計方法の精度を高めるためには、瀝青シートの材料特性を考慮した境界条件の設定が必要である。

e) 維持管理手法の検討

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を行った。無線給電道路システムの損傷ケースおよび点検、補修方法を以下に示す。

① 舗装の損傷（ひびわれ、わだち掘れ、ポットホール）

損傷が軽微な場合はシール材注入工法、ポットホール充填工法等による補修を行う。損傷が進行している場合は切削オーバーレイによる修繕を検討する。

② 送電電極の損傷（送電電極の変形）

伝送効率調査において異常が確認された場合、電磁波レーダによる舗装体内調査等で損傷箇所や損傷原因を特定し、送電電極上部のアスファルト混合物を切削、送電電極と送電ケーブルを分離後、送電電極を撤去・再設置を行う。

③ 送電ケーブルの損傷（断線、漏電）

電力監視において断線、漏電が確認できた場合、送電電極を撤去後、送電ケーブルや送電電極接合部を交換または修理を行い、送電電極を再設置する。

f) 特殊アスファルト混合物のリサイクル性の検討

無線給電道路の表層・基層（特殊アスファルト混合物）および上層路盤（特殊アスファルト安定処理路盤）にはセラミック骨材を使用している。撤去した特殊アスファルト混合物を再利用することができるか検討を行った。

切削した特殊アスファルト混合物を促進劣化させて再生骨材を製造した。再生骨材の配合率25%と50%で再生特殊アスファルト混合物を製造し、混合物の性状確認を行った。その結果、マーシャル安定度は12kN以上（規格値=5トン以上）、動的安定度は6,000回/mm以上（目標値=3,000回/mm以上）となり、目標とした再生アスファルト混合物の規格を満足した。セラミック骨材を用いた特殊アスファルト混合物においても、一般的なアスファルト混合物と同様に再生骨材としてリサイクルできることが確認できた。

g) コストダウンに関する検討

無線給電道路の表層・基層（特殊アスファルト混合物）と上層路盤（特殊アスファルト安定処理路盤）に使用しているセラミック骨材は高価であり、一部を一般的な碎石で置換したり、製造の効率化、施工効率の改善を実現することでコストダウンが期待できる。

セラミック骨材と一般的な碎石の配合割合を変化させて、マーシャル安定度と電気特性（比

表-7 各層の弾性係数（逆解析結果）

舗装構成		各層の弾性係数 (MPa)	
		3次元FEMによる構造モデル	多層弾性理論による構造モデル
表層・基層		7,092	5,959
上層路盤		3,199	3,120
下層路盤		6,823	38
施工 基盤	排水性 As	5,112	4,661*
	密粒度 As	6,706	
	粒状路盤	718	—
路床		28	50

※逆解析プログラムの舗装構成層数が最大5層のため統一した

誘電率と誘電正接)への影響を確認した。セラミック骨材と一般骨材の配合割合に関わらず、マーシャル安定度に大きな変化はなかった。電気特性(比誘電率および誘電正接)は特殊アスファルト混合物中に占める一般骨材の割合が増えるに従い大きくなり、道路効率のシミュレーションの結果、セラミック骨材の一般骨材による置換は電気特性が低下するため難しいことが確認できた。

セラミック骨材は緻密で非常に硬いセラミック塊を破碎および分級を繰り返して製造している。セラミック骨材の製造方法やアスファルト混合物の一元化を図ることがコスト削減の有効な方策となる。セラミック骨材は粒度区分により細分化されて商品化されている。粒度の範囲を変更してセラミック骨材の種類を減らすことで、破碎および分級の工程が省力化されコストの削減が可能となる。また、上層路盤に採用している特殊アスファルト安定処理を表層および基層と同様の特殊アスファルト混合物に変更することで、混合物製造時に発生するロスが減少することでセラミック骨材を有効利用することが可能となる。

無線給電道路の施工では人力施工が主体となる雨水浸透材の敷設や送電電極の敷設に多くの時間を費やしている。雨水浸透材の固定方法の改善や形状を改良することで施工効率を更に改善することは可能である。また、送電電極の設置方法をマニュアル化することで、施工時間や施工人員の削減が可能となると考えられる。

(3) 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

a) 給電制御システムの概要

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-25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トレーラを走行させる。

位置検知システムとして、トレーラの地上高100mmの高さに磁場センサ(Xsens社製)を設置し、測定データ(磁場強度)を通信機能を有する車両用PCでモニタリングする。一方、トレーラが通過する道路上には、直

径80mmの磁石を150mm間隔で道路表層から40mmの深さに埋設した。図-26に位置検知システムの実験状況を示す。

車両用PCから送信した検知データは、実験環境において構築した無線LANのルータからMQTT(Message Queue Telemetry Transport)プロトコルで電源コントローラに向けて信号を送信する。電源コントローラは、高周波電源に接続される直流電源に対してON/OFF



図-25 位置検知および給電制御の概念



図-26 位置検知システムの実験状況

信号を発信する制御用PCである。

送電および受電システムの動作フローを図-27に示す。トレーラ底面に取り付けた磁場センサは、送電ON用の磁石上を通過時に+1.5G以上の直流磁場を感知すると、送電ONの要求信号を車両用PCから電源コントローラに発信する。電源コントローラはその信号を受け無線給電を開始する。そのままトレーラが無線給電道路上を走行して、送電OFF用の磁石上を通過時に-1.5G以下の磁場を感知すると、送電OFFの要求信号を車両用PCから電源コントローラに発信する。電源コントローラはその信号を受け無線給電を終了する。

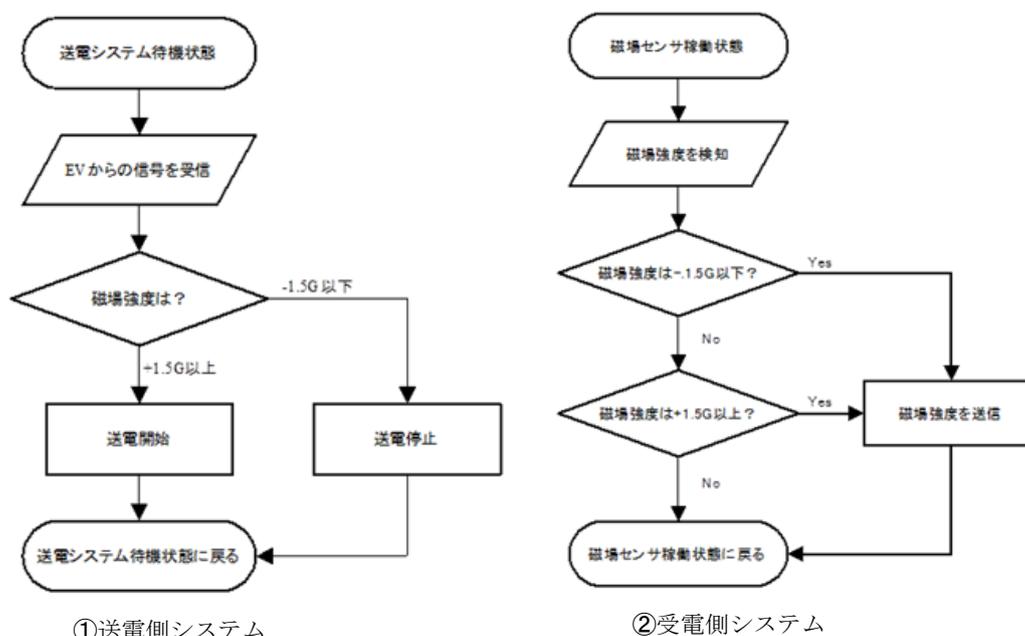


図-27 給電制御システムの動作フロー

b) 磁石（磁気マーカ）の施工方法

無線給電道路に埋設する磁石の埋設方法を以下に示す。

- ① φ100 のエンジンコアカッターで所定の深さ（D=40mm）まで削孔
- ② 削孔底端に残った As 混合物を練り匙とトーチバーナーを使って除去し、底端（基層天端）を平滑に仕上げる
- ③ コアカット時に発生した水分を、ウエス・トーチバーナー等を使い入念に乾燥させる
- ④ センサ用磁石の表裏をよく確認し設置
- ⑤ コア穴側面にタックコートを散布
- ⑥ 予め室内で混合しておいた特殊アスファルト混合物で、手突きタンパーを用いて 2 層に分け締固めなら埋め戻す
- ⑦ 天端まで埋め戻った所で、ジョイント部は、熱した練り匙の裏面で入念にこすり止水を図る

c) 給電制御実験

高周波電源の送電電力を5kW、トレーラの移動速度を時速20kmとした条件において、給電制御システムの動作を検証した。実験の結果、トレーラが送電ON用磁石の前の位置では送電および受電電力は0Wとなり、送電ON用磁石を通過すると電力が入力され、送電OFF用磁石を通過すると再度送電および受電電力が0Wとなることを確認した。この結果より本給電制御システムによる

送電ONおよび送電OFFの給電制御が可能であることおよび、無線給電道路通過中にトレーラ側で無線給電による受電を確認し本システムの実用性が示された。

(4) 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

施工した無線給電道路における無線給電実験時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への影響および他の無線システムへの干渉など電波法への適合可能性を評価した。さらに、無線給電を安全に利用するための漏えい電磁界に関する基本仕様を整理した。

a) 近傍電磁界に関する検討

無線給電時に、車両内、車両近傍（車両外）、無線給電道路上（車両外）における人体への影響を評価するため、平成27年(2015年)1月21日一部答申における報告書に記載されている「WPTシステムの電波防護指針への適合性確認を行うための評価方法」に則り、近傍電磁界に関する評価を行った。評価基準を以下に示す。

- ・ 電界（刺激作用に関する指針）：一般環境：83V/m，管理環境：170V/m
- ・ 磁界（熱作用6分平均に関する指針）：一般環境：322mA/m，管理環境：722mA/m

無線給電実験時の電磁界強度を測定した結果、電磁界強度が最も大きいのは受電電極端であり、高周波電源出力を10kWとした場合の電界強度は366V/m、磁界強度は680mA/mとなり、電界強度が基準値を超過した。道路端では電界強度は108V/m、磁界強度は250mA/mとなり、管理環境の基準値を満足した。

給電中の道路上の電界強度は、314V/m、道路端では58V/mとなり、基準値を超過した。道路上の磁界強度は最大で280mA/mであり一般環境の基準値を満足した。

以上の実験の結果、課題となるのは、受電電極近傍の電界強度であることが確認された。そこで、トレーラ上部にシールド板（アルミ製t1mm）による漏えい電磁界対策を行った。

測定状況を図-28に示す。測定の結果、シールド対策後の電界強度は6V/m、磁界強度は620mA/mとなり、人体影響に対する評価基準を満足した。なお、10kW送電中の無線給電道路の漏えい電磁界が基準値を超過する可能性が高いのは、道路上に限定され、事故など不測の事態で送電中の道路上に人が立ち入った場合など緊急で給電停止を行うシステムを設置することで安全に利用できるものと考えている。

b) 放射妨害波に関する検討

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。

放射妨害波の測定は、高周波電源出力：1.5kWで非走行条件において実施した。図-29に放射妨害波の測定状況を示す。測定周波数は150kHz～30MHzとし、スペクトラムアナライザのMAXホールドモードで2回掃引した結果を読み取った。ループアンテナの位置は道路中心から10m、高さは地上から1.3mとし、アンテナの向きはアンテナのループ面が道路と並行となるX方向と、道



図-28 近傍界測定(シールド有り)

路と直交になるY方向の2方向を設定した。

図-30に放射妨害波測定において測定した各条件のうち、最も高い値となった「トレーラ停車位置：無線給電道路近端，X方向」における10kW換算値の周波数特性を示す。放射妨害波は，送電周波数の6.78MHz（基本波）および20.34MHz（3倍高調波）において基準値を超過した。6.78MHzは無線電力伝送に利用する周波数（基本波）であり，放射妨害波は，送受電電極間および無線給電道路自身から放射しているものと考えられる。送電周波数における放射妨害波を低減することは困難であるが，6.78MHzにおける鉄筋コンクリートの透過損失は30dB以上期待できることから，道路側壁を利用することで評価基準以下になることが期待できる。また，20.34MHzの放射妨害波は，EMCフィルタの減衰特性が十分でなかったことが要因として考えられる。実装時にはEMCフィルタの性能を40dB減衰程度に向上させることで基準を十分満足できると考えている。

走行中無線給電実験において，周波数を6.78MHz（基本波）に設定し，受信アンテナの位置を道路中心から10mの位置に固定した条件において，放射妨害波の時間特性を測定した結果を図-31に示す。図-30と図-31の漏えい電磁界の強度が概ね一致することから，走行中と停車中の漏えい電磁界に差はないことが確認された。なお，図-31は，車両を3回走行させ測定した結果であり，最大値は概ね一致しており本測定の再現性が確認された。

c) 漏えい電磁界に関わる基本仕様

無線給電道路システムの漏えい電磁界に関わる既往のガイドラインや国内外の標準化情報を調査し，人体への安全性を評価するための基準および評価方法を整理した。また，他の放送・通信システムへの電波干渉（放射妨害波）を評価するための基準および評価方法を整理した。



図-29 放射妨害波の測定風景

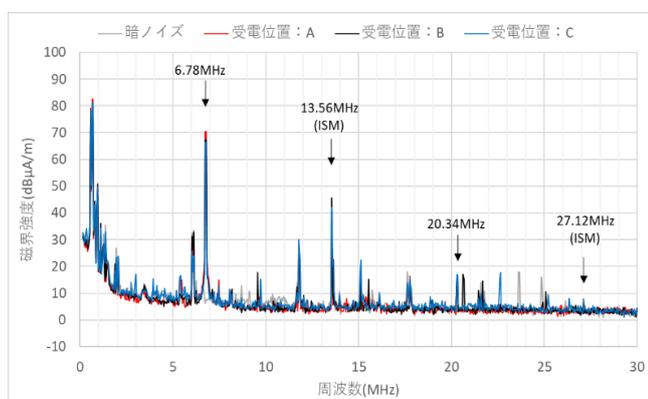


図-30 放射妨害波の測定結果（最大値）

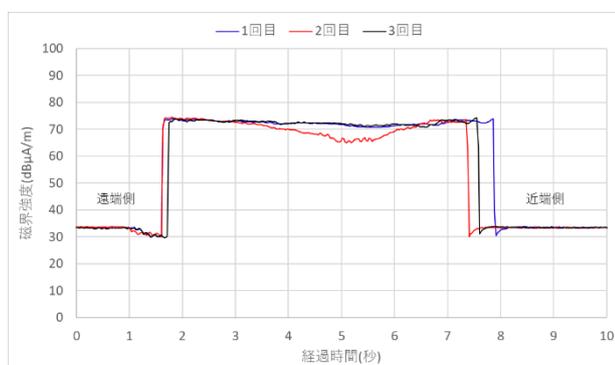


図-31 走行中の放射妨害波測定結果

(5) 無線給電道路システム（電界結合方式）のガイドライン作成

舗装材料・構造設計手法・施工手法・維持管理手法に関するガイドライン（案）を作成した。
以下にガイドライン（案）に記載した主な内容を示す。

- ・ 舗装を構成する各層の仕様及び規格，試験施工における各種舗装材料の配合を整理した。また，無線給電システムを構成する各機器の仕様及び試験施工に用いた機器の情報（メーカー，型番など）を整理した。
- ・ 理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造設計のフローを示し，各フェーズにおいて検討する具体的な内容および評価基準を提示した。
- ・ 無線給電道路に接続する整合回路の設計方法を記載した。
- ・ 無線給電道路の施工フローを示し，各フェーズにおける施工上の留意点を示した。
- ・ 維持管理方法として，舗装の調査方法，評価方法，維持・修繕方法を示した。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(1) 研究計画について

【指摘】

- ・ 磁界共鳴方式が電極距離の関係で有利となりつつあるとの文献もあるため，電界結合方式のメリットを生かした技術成果となることが期待される（令和2年度）。
- ・ 車両サイドの技術導入可能性および無線給電技術の条件を明確にしていきたい（令和2年度）。
- ・ 高速道路，大型車両への対応について研究計画を十分検討していきたい（令和2年度）。
- ・ 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（令和4年度）。

【対応】

電界結合方式と磁界共鳴（結合）方式の文献調査を行い，両方式の比較検討を行った（令和3年度）。その結果，電界結合方式は，高速で走行するEVに対して連続して給電できることがメリットであると考えた。そこで，本研究では，高周波電源1台がカバーする無線給電道路の送電電極長を20mに設定し，走行車両への連続無線給電実験および路車連携による自動制御実験によって，高速走行中無線給電の可能性を検証する計画とした（令和4年度～令和5年度）。また，送電電極長を伸長したことで生じた「定在波の影響による伝送効率の低下」を解決するための検討を行った（令和5年度）。

自動車メーカーおよびティア1（Tier1）へのヒヤリングを行い，走行中のEVへの無線給電の電力要件は，10kW級（IEC61980 WPT3クラス11.1kW以下）に設定した。また，車両に搭載する受電装置は，商用車への搭載をイメージしたトレーラを試作し，自動車メーカーとの意見交換において，受電装置の，商用車への実装が可能であることを確認した（令和4年度）。

また，本委託研究では，高速道路における大型車両の走行を想定し，輪荷重5トンにおいて交通量区分N7（3,500万回/10年）を満足する舗装構造となる舗装断面を検討した。この条件を満足するには，送電電極の埋設深さを表層から100mmとする必要があった。また，受電電極は表層から90mm以上の最低地上高を必要とするため，送受電電極間の距離が190mm以上になる条件で送受電装置を設計した。さらに，伝送効率を向上させるには，舗装の表層及び基層の電気特性（比誘電率および誘電正接）を空気に近づける必要がある。本研究では，舗装の表層及び基層をセラミック骨材による密粒度アスファルトとすることで，舗装耐力及び伝送効率の

両立を目指した。

(2) 伝送効率

【指摘】

令和5年度の計画で10kW送電・7kW受電の実験計画が示されている。目標とする伝送効率の達成に十分注力いただきたい（令和4年度）。

【対応】

令和5年度の実験検討の結果、10kW送電は達成した。しかし、10kW送電時の受電電力は5.9kWとなり、目標とした7kW受電には至らなかった（図-17参照）。

その原因として、定在波対策後の無線給電道路の伝送効率が最大62.7%、平均58.1%にとどまったことが考えられる（図-16参照）。定在波対策では、送電電極に進相コンデンサを挿入することで定在波影響による伝送効率の低下は抑制でき、平均効率が定在波対策なしの条件に比べて4ポイント向上したが、最大効率は10ポイント程度低下した。

試験施工した進相コンデンサはテフロンシートとSUSテープで構成した。進相コンデンサは送電電極に2m間隔で挿入しており、単体では僅かな損失であっても延長20mの無線給電道路では10ヶ所に進相コンデンサを挿入するため道路全体としては大きな損失となり伝送効率に与える影響が大きくなったものと考えられる。今後、目標とする7kW受電を達成するためには、現状よりも低い比誘電率の進相コンデンサを開発するなど舗装構造を改良することが必要であり、実用化に向けて今後の課題として取り組む予定である。

(3) 舗装構造・耐久性、構造設計手法

【指摘】

- ・ 合理的な舗装構造の立案と各種性能（耐荷性、耐久性、走行性など）の確認を行い、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。（令和3年度）
- ・ 異物の組合せで構成される舗装の耐久性に関する実証実験および低コスト化手法の検討が望まれる。（令和4年度）
- ・ 接着剤を用いる部分を含め、雨水浸透材が弾性層として10年機能することの検討が望まれる。（令和4年度）
- ・ 舗装構造設計の面で、多層弾性理論が適用できる条件などの再確認が必要である。（令和3年度）

【対応】

本委託研究では、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業SCOPE（研究期間2013～2015年度）およびFS研究（令和2年度）を経て、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5トン相当）の交通量区分N7を満足するための舗装断面を立案し、延長5mの無線給電道路の試験施工を行った。しかし、雨水浸透材を2層にしたことで、施工性や各種性能（耐荷性、耐久性）に課題が確認された。

そこでグラウンド下層の雨水浸透材をポーラスアスファルト混合物に変更することで排水性を維持し、施工性や各種性能（耐荷性、耐久性）の向上を実現した雨水浸透材が1層となる無線給電道路を立案し、延長20mの無線給電道路の試験施工を行った（令和4年度、令和5年度）。

また、実用に近い条件で無線給電道路の各種性能を確認するため、以下の検証を行った。

- ・ FWD試験によるたわみ量測定の結果を用いた多層弾性理論による引張ひずみ、圧縮ひずみ

の評価

- ・ 総重量20トンの大型車の繰り返し走行による舗装強度，耐久性，走行性に関する評価（送電電極の変形，舗装表面の形状変化，舗装表面のクラック有無，舗装体の支持力(FWD試験)）

さらに，一般の舗装断面では設置されない雨水浸透材が下層路盤に採用されたことで，TA法による構造設計法を採用することは困難であると考えた．そこで，無線給電道路を構成する舗装材料の弾性係数，ポアソン比等の材料特性値，舗装各層の厚さおよび供用条件を設定して多層弾性理論で構造評価を行った（令和4年度～令和5年度）．

また，無線給電道路では，排水機能を持たせた下層路盤として雨水浸透材を設置するが，雨水浸透材は内部に空間を有する特殊構造をしている．多層弾性理論では，特殊な空間構造をもつ雨水浸透材についても均一な層と仮定して，材料の特性値（弾性係数，ポアソン比等）を設定して構造評価を行った．多層弾性理論に基づく構造評価の妥当性を検証するため，雨水浸透材のような内部空間も構造モデルの一部として扱う有限要素法により改めて舗装構造を照査し，多層弾性理論に基づく構造評価の妥当性を検証した．

(4)維持管理・更新・経済性

【指摘】

- ・ 想定される耐用年数に基づく更新も踏まえ，LCC を考慮したコストが社会実装可能なレベルとなるよう，必要な研究項目を取り入れた研究計画としていただきたい（令和2年度）．
- ・ 社会実装を見据えて経済性や維持管理性の評価を行っていただきたい（令和3年度）．
- ・ 通常舗装と比較してどの程度のコスト増が見込まれるかの試算も踏まえ，基本仕様の検討が望まれる（令和4年度）．

【対応】

- ・ 無線給電道路の維持管理は機能を維持しつつ，送電電極の上部を定期的に打ち換えることを想定し，令和3年度に施工した小型模擬試験体において，実際の切削機による切削を行ない，維持管理手法の検討を行った．実験の結果，無線給電道路においても，在来の切削オーバーレイ工法による維持管理が可能であると判断できるデータを得た．
- ・ 切削した特殊アスファルト混合物を促進劣化させて再生骨材を製造し，再生骨材の配合率25%と50%で再生特殊アスファルト混合物を製造したサンプルの性状確認を行うことで再利用の可能性を検討した．実験の結果，目標とした再生用アスファルト混合物の規格を満足し，セラミック骨材を用いた特殊アスファルト混合物においても，一般的なアスファルト混合物と同様にリサイクルできることが確認できた．
- ・ 令和4年度，令和5年度に試作した無線給電道路の施工費を分析した．コストダウンに向けては表層・基層・上層路盤に利用しているセラミック骨材の製造方法やアスファルト混合物の一元化を図ることによって調達に掛かる費用を削減することが有効であると考えている．また，人力施工が主体となる雨水浸透材の敷設や送電電極の敷設に多くの時間を費やしているため，雨水浸透材の形状変更や施工ガイドラインの整備によって施工時間や施工人員の削減が可能となると考えられる．無線給電道路の実用化に向けて，コストダウンは必須条件であり，今後の重要課題として取り組んでいく必要があると考えている．

⑧研究成果

本委託研究は、高効率で汎用性に優れた無線給電を行う道路を実現するために、電界結合方式を基幹とする無線給電道路システム、舗装材料・構造および施工技術、路車連携による給電制御技術、漏えい電磁界抑制・対策技術にわたる体系的な実用化システムを構築することを目的とした。

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 時速 20km で走行する車両に対して、最大 62.7%、平均 58.1%の伝送効率で連続して無線給電できることを確認し、課題を整理した。また、道路横断方向の位置ずれについて評価し、送電電極（幅 850mm）の範囲内であれば、受電電極（幅 550mm）が位置ずれしても伝送効率の低下が生じないことを確認した。
- ・ 大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を開発し、長さ 20m の無線給電道路を施工した。
- ・ 無線給電道路の各施工段階において標準的な作業手順を整理し、基本仕様としてガイドライン(案)に反映した。
- ・ 施工した無線給電道路の強度・耐久性を検証し5トン換算輪数33,494輪/1方向における、舗装体支持力や路面性状の低下がないことを確認した。さらに、無線給電道路の構造設計法として、多層弾性理論に基づく設計方法について3次元FEMとの比較検討を実施し、実用化に向けての課題を整理した。
- ・ 道路に埋設した磁石を車両側センサで検知し送電システムを自動でON/OFFする制御プログラムを開発し、時速20kmの走行中給電実験において機能を検証した。
- ・ 漏えい電磁界対策を検討し、トレーラ上の電界強度および磁界強度は人体安全性の指針値以下（管理環境）となることを確認した。また、放射妨害波を測定し電波法への適合可能性を確認した。さらに、基本仕様を整理してガイドライン(案)に反映した。

⑨研究成果の発表状況

■ 国際会議

- 1) Sonshu Sakihara, Tetsuo Endo, Takefumi Shindo, Masakazu Jomoto, Minoru Mizutani and Takashi Ohira, "A Demonstration of Wireless Power Transfer Roadway System based on Electric Field Coupling", The 6th International Electric Vehicle Technology Conference, no.20231059, Yokohama, May 2023.

■ 口頭発表

- 1) 水谷 豊, 横野翔勇, 大平 孝, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, “電界方式無線給電道路の実用化システムその1: 電界方式の無線給電道路への適用”, 第34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021.
- 2) 遠藤哲夫, 崎原孫周, 新藤竹文, 水谷 豊, 大平 孝, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, “電界方式無線給電道路の実用化システムその2: 電界結合方式による無線給電道路システム”, 第34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021.
- 3) 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 水谷 豊, 大平 孝, “電界方式無線給電道路の実用化システムその3: 電界結合方式による無線給電道路の舗装材料と構造”, 第34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021

- 4) 澤口 実, 澁谷昌広, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 大平 孝, 水谷 豊, “電界方式無線給電道路の実用化システムその4: 舗装構造に関する検討”, 第35回日本道路会議, no. 3178, Tokyo, Nov. 2023.
- 5) 崎原孫周, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 澤口 実, 澁谷昌広, 大平 孝, 水谷 豊, “電界方式無線給電道路の実用化システムその5: 走行中車両への無線給電実験”, 第35回日本道路会議, no. 3179, Tokyo, Nov. 2023.
- 6) 横野翔勇, 水谷 豊・大平 孝, 崎原孫周・遠藤哲夫・新藤竹文, 唐木健次・渡部 敬史・城本政一, 電界結合方式走行中ワイヤレス給電のための排水型高効率電化道路シミュレーション, 電子情報通信学会無線電力伝送研究会, 2022.1
- 7) 澤口 実, 久野 晃弘, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 大平 孝, 水谷 豊, “電界結合方式による無線給電舗装の耐久性に関する検討”, 令和6年度全国大会第79回年次学術講演会(土木学会), 2023.3投稿.

■ 特許出願

- 1) 特願2021-018704「貫通電極部材, 収容ボックス, 車両用ワイヤレス給電システム」, 大成建設, 大成ロテック, 豊橋技術科学大学
- 2) 特願2022-147487「ワイヤレス給電用受電装置の整合回路」, 大成建設, 豊橋技術科学大学
- 3) 特願2023-057022「送電装置及び電極接続部材」, 大成建設, 大成ロテック, 豊橋技術科学大学, パワーウェーブ

⑩研究成果の社会への情報発信

■ ニュースリリース

- 1) 大成建設, 高速道路に実装可能な無線給電道路「T-iPower Road」の実証を開始－電気自動車の長距離・連続走行を実現する実用化システムの確立に向けて－ (https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220921_8962.html), 2022.9

【ニュースリリースに伴う新聞・雑誌掲載】

- ・ 産経新聞「走行中EVに給電-近づく夢の道路-」, 2022.9.21
- ・ 建設工業新聞「走行中EVに無線給電」, 2022.9.22
- ・ 日刊工業新聞「走行中EVに無線給電」, 2022.9.22

■ シンポジウム

- 1) 遠藤哲夫, 崎原孫周, 新藤竹文, 水谷 豊, 大平 孝, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, “電界方式無線給電道路の実用化システム”, 2021年度自動車技術開フォーラム「EVワイヤレス給電の社会実装に向けて」, 2021.7.9

■ 雑誌

- 1) 澤口 実, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 大平 孝, 水谷 豊, “舗装から走行中の電気自動車に連続的に無線給電できる技術の開発”, 道路建設, 令和6年1月号
- 2) 大平 孝, 新藤竹文, 城本政一, “走行中の電気自動車へ連続的にワイヤレス給電する電化道路”, 月刊誌『道路』特集「カーボンニュートラルに向け進化する自動車と道路の係わり」, 2021年12月号
- 3) 高速道路に実装可能な無線給電道路「T-iPower Road」の実証を開始－電気自動車の長距離・連続走行を実現する実用化システムの確立に向けて－, 日経コンストラクシ

⑪研究の今後の課題・展望等

本委託研究は、高効率で汎用性に優れた無線給電を行う道路を実現するために、電界結合方式を基幹とする無線給電道路システム、舗装材料・構造および施工技術、路車連携による給電制御技術、漏えい電磁界抑制・対策技術にわたる体系的な実用化システムを構築することを目的とし、出力10kWにおいて時速20kmで走行するトレーラへの連続して無線給電を行うことが可能であることを実証した。今後、実用化に向けて以下の課題に取り組むことを考えている。

- 1) 本研究を通して、送電電極などの改良を重ねた結果、延長 20m の試験施工の範囲ではあるが、全道路に亘って平均伝送効率 60%程度を安定的に送電できることが実証された。ただし、将来的な実装を加速するためには、より経済的で便益の高い技術となるように、さらなる伝送効率の向上が必要だと考える。今後、効率向上を目指して、舗装材料や舗装構造を改良した無線給電道路を開発する予定である。
- 2) 本研究ではトレーラに受電装置を搭載し伝送効率を評価したが、実用化に向けてはEVへの給電技術を開発する必要がある。現在、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム」第3期課題（SIP3）「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」に係る研究開発テーマ「エネルギーとモビリティのセクターカップリング」の研究プロジェクトに参画し、EV充電装置のワイヤレス化および商用車（EVバス）の改造による無線給電実験を進めEVの普及促進に向けた研究開発を推進している。図-32に受電装置の搭載イメージを参考として示す。



図-32 商用車（EVバス）への受電装置搭載イメージ*

*内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム」第3期課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」に係る研究開発テーマ「エネルギーとモビリティのセクターカップリング」成果

- 3) 本研究を通して、延長 20m の試験路において、本舗装構造の強度を検証し、FWD 測定や解析的検討により疲労破壊輪数などの長期耐久性の検証を完了した。しかし、大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を実装するためには、より実用条件に即した道路での強度・耐久性を検証することが課題である。今後、本研究成果を活用した実大型車が高速走行可能な実証フィールドを整備し、より実道に近い条件で強度・耐久性などの各種性能を評価する予定である（参考：図-33）。



【施設の基本仕様】

- ・ 36tのウエイトを積載する自動運転荷重車 5台
- ・ 24時間連続走行

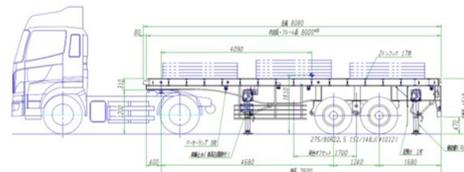


図-33 大成建設グループ 大成ロテック次世代舗装実験走路

- 4) 本研究では多層弾性理論による構造評価を設計方法の基本としたが、有限要素法による評価結果との比較において、各層の弾性係数に差異が確認された。今後、各層の境界条件の設定について再検討し、多層弾性理論に基づく設計方法の精度を高めることで、TA法に相当する構造設計法を確立する予定である。
- 5) 本研究では、切削した特殊アスファルト混合物が一般的なアスファルト混合物と同様に再生骨材としてリサイクルできることが確認した。今後、リサイクル材による無線給電道路を施工し、舗装の強度・耐久性・走行性および伝送効率への影響を評価する必要があると考えている。
- 6) 本研究では、高速道路の土工部において適用可能な無線給電道路の開発を行った。今後、都市型高速道路の橋梁部およびトンネル部に適用するためには、舗装断面の薄型化、コンクリート舗装の実現などの課題を解決する必要があると考えている。
- 7) 本研究では、道路に埋設した磁石を車両側センサーで検知しWiFiによる無線通信によって無線給電設備を自動ON/OFF制御することで時速20kmの走行中給電を実施した。しかし、本手法では道路から得られる情報は磁束密度のみであり、送電電極上に複数の車両がいるケースや割込み、WiFiの通信遅延など実用化に向けては多くの課題がある。今後、DSRCや5Gなど低遅延な通信方式と緻密に無線給電制御を行うために必要な車両側から取得する情報を整理し、高速道路へ適用可能な無線給電制御システムを開発する必要がある。さらに、路車連携による無線給電制御システムを実用化するには複数の事業者がコンソーシアムを形成し標準化を進める必要があると考えている。
- 8) 電界結合方式の送電に利用する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示された数値が基準値となっており、高出力の無線給電に対する課題となる。今後、実験データを蓄積し、総務省およびブロードバンドワイヤレスフォーラムと連携することによって、標準化を進める必要があると考えている。
- 9) 本研究では無線給電システムの今後の社会実装に向けた舗装材料・構造設計手法・施工手法・維持管理手法に関するガイドライン（案）を作成した。今後、試験施工の機会を増やしていくことでガイドライン（案）を更新し、汎用化を進めることが課題である。

⑫研究成果の道路行政への反映

現在、内閣府 SIP3「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の研究プロジェクトに参画し、EV 充電装置のワイヤレス化による EV の普及促進に向けた研究開発を推進している。また、本研究成果の実装への反映の一環として、大成建設グループの重点施設である次世代道路テストコースへの実装と高速走行実証、さらには国土交通省の新技术導入促進計画への積極的な提案を図る予定である。これら実装に向けた取組みを強化することで、将来の低炭素化社会の実現に貢献する道路の実現に寄与できると考えている。

⑬自己評価

目標とする成果が得られた。ただし、本研究で高速道路への適用を目指した無線給電道路を試験施工し、10kW級走行中無線給電の実験を行ったことで実用化に向けた具体的な課題が明らかになった。