

**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（2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		荣誉研究员	
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 領域	[主領域] 道路政策の質の向上に資する 技術研究開発	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)		令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計		
		4,008	4,685	5,000	13,693		
④研究者氏名							
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・主任			
加納 孝志				大成ロテック株式会社・部長			
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・特任教授
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・特任助手
水谷 豊	豊橋技術科学大学・特任助手
山田 隆弘	株式会社デンソー・担当次長

⑤研究の目的・目標

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、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・対策技術を開発することを目的とする。

令和4年度は、大型車が通行する高速道路へ適用可能な合理的な舗装構造について検討し、実用に近い工法によって長さ20m相当の無線給電道路システムを施工する。また、車両（トレーラ）に装備する受電装置を試作し、走行中車両への無線給電実験および路車連携による給電制御実験において、適用可能性の検討を行う。さらに、走行中給電時の漏えい電磁界に対する安全対策技術の実現に向けた課題を整理する。

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伝送効率検討

汎用電磁界シミュレータにより、長さ20m相当の無線給電道路システムから車体に搭載した受電装置への伝送効率についてシミュレーションを実施し、結果を整理した。本研究では、高周波電力が無線給電道路に入力（近端）され、道路から出力される（遠端）までの効率を「道路効率」と定義する。また、無線給電道路側の整合回路に入力される高周波電力と、送受電電極および車両側の整合回路から出力される高周波電力の比を「伝送効率」と定義する。図1-1に効率の定義を示す。

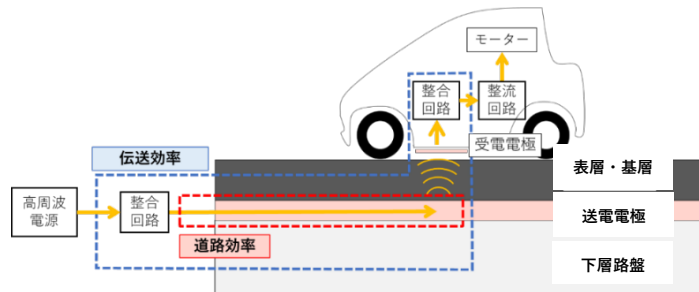


図1-1 本研究における「効率」の定義

令和3年度に試作した延長5m無線給電道路の舗装断面および令和4年度に試作した延長20m無線給電道路の舗装断面を図1-2に示す。令和4年度の無線給電道路は、送電電極の材料、雨水浸透材上面の塩ビ板、グラウンド下層材料（パンチングア

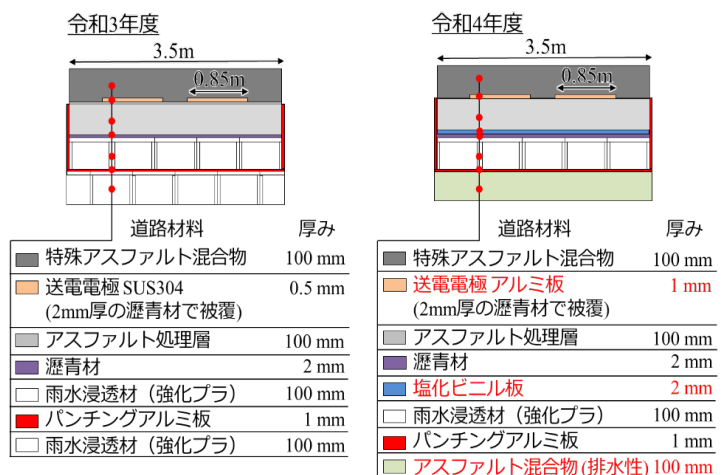


図1-2 無線給電道路の舗装断面

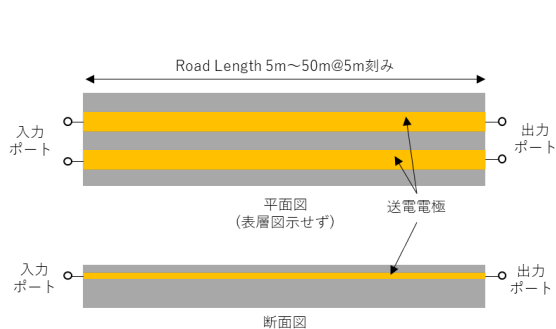
ルミ板) にあり、令和3年度はグラウンド下層材料が雨水浸透材であるのに対し、令和4年度はアスファルト混合物(排水性)に変更した。雨水浸透材を1層、グラウンド下層をアスファルト混合物(排水性)とすることによって道路強度の向上とグラウンド下層の排水性能を期待した。表1-1に無線給電道路を構成する部材の電気定数を示す。

図1-3に道路の延長を5m~50mとした場合の道路効率のシミュレーション結果を示す。令和4年度の舗装断面モデルの延長20mにおける道路効率は97.4%となり、令和3年度の舗装断面モデルと概ね同程度であった。

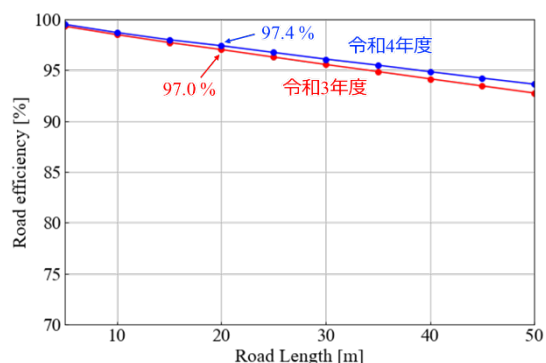
受電電極が無線給電道路上を移動した場合の伝送効率のシミュレーション結果を図1-4に示す。「低結合区間」は送電電極と受電電極が十分に重なっていない区間、「高結合区間」は送電電極と受電電極が重なっている区間を意味している。伝送効率は無線給電道路上の受電電極の位置によって変動し、最大92.6%、平均68.4%となった。このような位置による伝送効率の変動は、「定在波」の影響であり、無線給電周波数6.78MHzの波長と送電電極の長さ、表層・基層の誘電率が関係する波動現象である。波長に比べて送電電極が長いと送電電極上に定在波節が発生し、定在波節では送電電極から電界が放射されないため、受電電極に伝送する電力も無くなり、結果的に伝送効率は0%になる。

表1-1 舗装断面各層の電気定数

舗装構成	令和3年度版		令和4年度版	
	材質	電気定数	材質	電気定数
表層・基層	特殊アスファルト混合物	$\epsilon_r = 4.97, \tan\delta = 0.01$	特殊アスファルト混合物	$\epsilon_r = 4.97, \tan\delta = 0.01$
送電電極	送電電極 SUS304	$\sigma = 1.39 \times 10^6, \mu_r = 1$	送電電極 A1050-H24	$\sigma = 3.54 \times 10^7, \mu_r = 1$
上層路盤	アスファルト安定処理層	$\epsilon_r = 4.05, \tan\delta = 0.012$	アスファルト安定処理層	$\epsilon_r = 4.05, \tan\delta = 0.012$
	瀝青材	$\epsilon_r = 1.99, \tan\delta = 0.011$	瀝青材	$\epsilon_r = 1.99, \tan\delta = 0.011$
下層路盤	雨水浸透材	$\epsilon_r = 1.21, \tan\delta = 0.00027$	塩化ビニル板	$\epsilon_r = 2.75, \tan\delta = 0.01268$
			雨水浸透材	$\epsilon_r = 1.21, \tan\delta = 0.00027$
グラウンド	アルミパンチングメタル	$\sigma = 3.56 \times 10^7, \mu_r = 1$	アルミパンチングメタル	$\sigma = 3.56 \times 10^7, \mu_r = 1$
路床	雨水浸透材	$\epsilon_r = 1.21, \tan\delta = 0.00027$	排水性アスファルト	$\epsilon_r = 4.88, \tan\delta = 0.11$

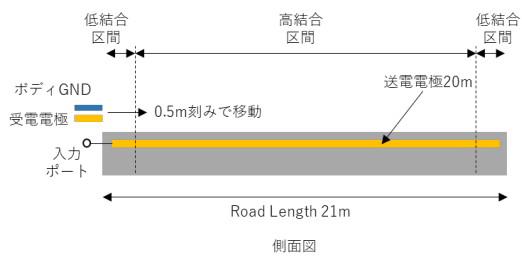


① シミュレーションモデル

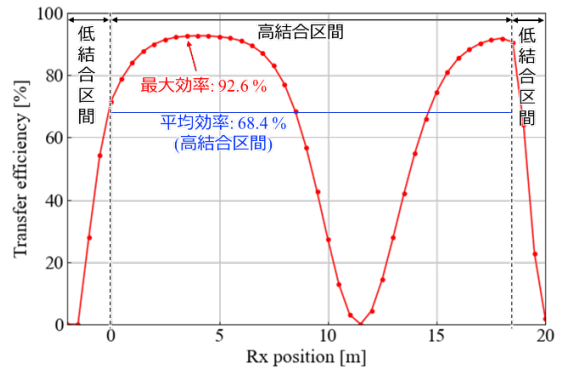


② シミュレーション結果

図1-3 道路効率シミュレーション結果



② シミュレーションモデル



② シミュレーション結果

図 1-4 伝送効率シミュレーション結果

1.2 無線給電装置の試作と停止中給電

高周波電源と道路に埋設した送電電極等で構築した無線給電道路システムから、受電可能かつ実際に車両に装備可能な受電装置を試作した。受電装置の外観を写真 1-1、送電装置を写真 1-2 に示す。

試験施工した延長 20m の無線給電道路の高結合区間における送電電極端部（近端側）から 0.5m の位置に受電装置を搭載したトレーラを停車し、50W から 4.8kW の高周波電力 P_{in} を入力した。停車中給電における測定状況を写真 1-3 に示す。入力電力 P_{in} に対する出力電力（受電電力） P_{out} の変化を図 1-5 に示す。入力電力 P_{in} と出力電力（受電電力） P_{out} はほぼ比例関係にあり、最大入力電力 P_{in} 4.8kW 入力時の出力電力 P_{out} は 3.4kW、伝送効率は 70.9%であった。

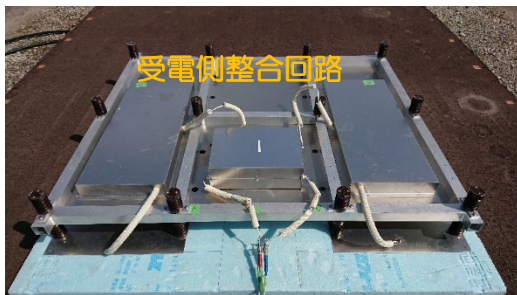


写真 1-1 試作した受電装置



写真 1-2 試作した送電装置



写真 1-3 停車中給電実験の様子

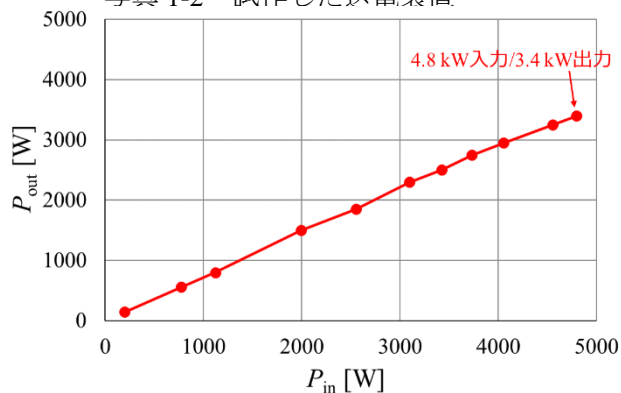


図 1-5 停車中給電時の入出力電力

1.3 走行中車両への無線給電実験

受電装置を搭載したトレーラをエンジン車で牽引し、長さ20mの無線給電道路上を移動させ無線給電実験を実施した。図1-6に走行中給電実験のイメージを示す。高周波電源から電力 P_{in} 1152Wを入力し、受電装置の出力ポートにおいて出力電力 P_{out} を測定した。測定結果を図1-7及び図1-8に示す。0mの位置で出力電力805Wとなり、2mでは最大伝送効率72.8%となり、高結合区間における平均効率は54.0%であった。ただし、図1-4のシミュレーション結果と同様に定在波の影響を受け、7m~8mの位置では伝送効率が10%程度にまで低下する傾向を示した。なお、走行中給電実験は1.1kW出力で行ったが、図1-5に示した停止中給電の結果から高周波電源出力と受電電極は比例関係にあり、図1-8の伝送効率は5kWの高周波電源出力でも同様の特性になる。

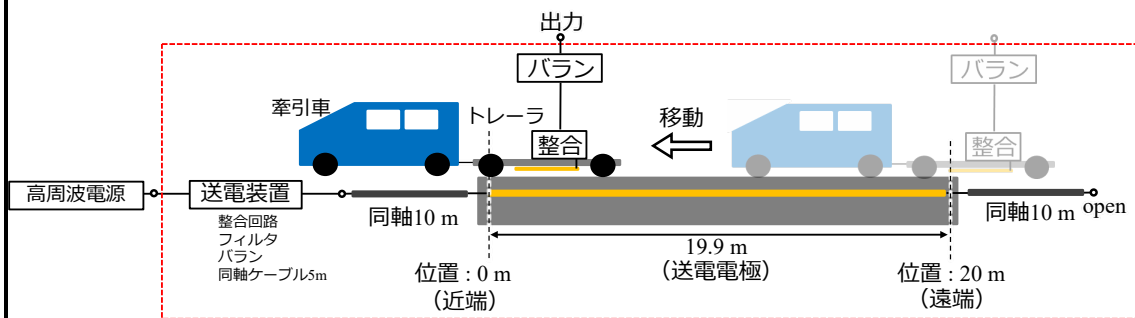


図1-6 走行中給電における伝送効率測定イメージ

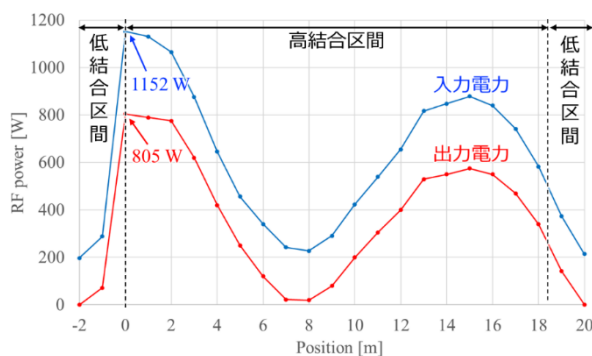


図1-7 走行中給電の結果 (入出力電力)

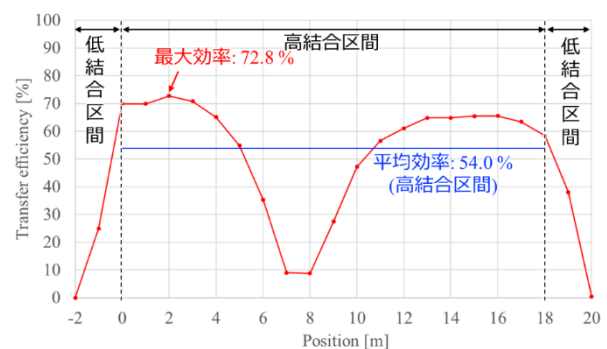


図1-8 走行中給電の結果 (伝送効率)

1.4 伝送効率に関する考察

1.4.1 材料の電気定数

本節では、シミュレーションと実験結果が乖離した原因を考察する。電気定数の測定に用いるインピーダンスアナライザは、アスファルト混合物のように厚い材料の評価する場合、測定誤差が大きくなる傾向がある。このことから、シミュレーションと実験結果が乖離は無線給電道路を構成する材料の電気定数の測定誤差が原因であると考えた。

そこで、20m 道路の伝送効率の測定結果を基にパラメトリック電磁界解析を実施し、材料の電気定数をフィッティングした。フィッティング後の各層の電気定数を表 1-2 に示す。図 1-9 に示すフィッティング後の伝送効率は、図 1-8 の実験結果と概ね一致した。したがって、実験時の無線給電道路の材料の電気定数のうち、表層・基層および上層路盤のアスファルト材料および雨水浸透材の $\tan \delta$ は

解析に用いた電気特性よりも高い数値であり、そのことが伝送効率の低下原因になったことが考えられる。雨水浸透材の $\tan \delta$ の増加は、無線給電道路の試験施工時の台風による大雨の影響で雨水浸透材内が浸水したことが原因であると考えている。実際、台風前の道路効率が 93%であったのに対し、台風後には 88.2%になっており明らかに伝送効率が低下していることを確認した。

表 1-2 フィッティング後の電気定数

舗装構成	材質	電気定数
表層・基層	特殊アスファルト混合物	$\epsilon_r = 3.63, \tan\delta = 0.083$
送電電極	送電電極A1050-H24	$\sigma = 3.54 \times 10^7, \mu_r = 1$
上層路盤	アスファルト安定処理層	$\epsilon_r = 3.7, \tan\delta = 0.053$
	瀝青材	$\epsilon_r = 1.99, \tan\delta = 0.011$
下層路盤	塩化ビニル板	$\epsilon_r = 2.75, \tan\delta = 0.01268$
	雨水浸透材	$\epsilon_r = 1.39, \tan\delta = 0.0283$
グラウンド	アルミパンチングメタル	$\sigma = 3.56 \times 10^7, \mu_r = 1$
路床	排水性アスファルト	$\epsilon_r = 3.865, \tan\delta = 0.011$

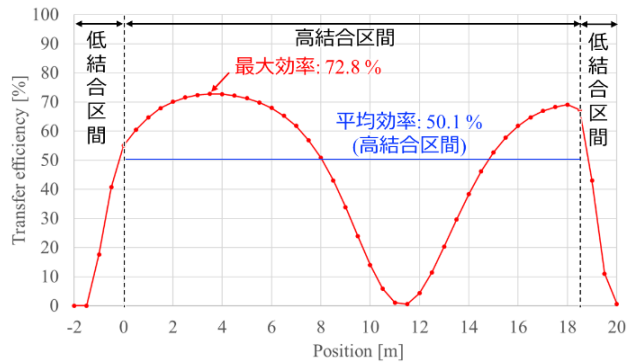


図 1-9 フィッティング後のシミュレーション結果

1.4.2 伝送効率改善方法の検討

前節までのシミュレーションおよび実験により定在波節の影響により伝送効率の落ち込みが生じる現象が確認された。定在波を抑制する技術として、送電電極に左手系回路を挿入し、伝送路で生じた位相遅れをコンデンサとコイルで進相させることで定在波節を抑制し、伝送効率の落ち込みを無くす手法が提案されている^[1]。本技術を無線給電道路に実装する場合、一定間隔で送電電極の接続部に樹脂材を挟み込むことで左手系回路内のコンデンサを構成できると考えた。図 1-10 に左手系回路を送電電極に挿入した場合のシミュレーションモデルを示す。左手系回路としては、PETE シート（誘電率：2.1、誘電正接：0.0002）を用いた。さらに、前節で考察した雨水浸透材内の浸水によって滞留した水の対策によって雨水浸透材の電気特性を表 1-1 に示す電気定数（ ϵ_r ：1.21、 $\tan \delta$ ：0.00027）とすることによってシミュレーションした結果を図 1-11 に示す。高結合区間の伝送効率は平均 67%となった。令和 5 年度の道路では、送電電極への左手

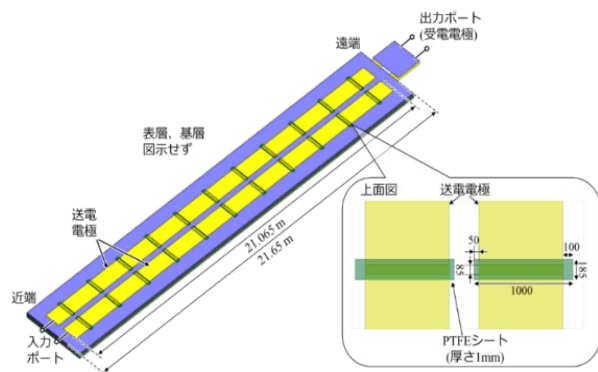


図 1-10 左手系回路を挿入した電極イメージ

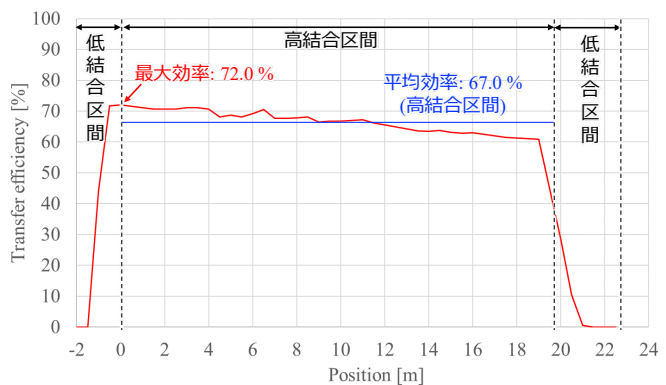


図 1-11 左手系回路を挿入後の伝送効率

系回路の挿入、雨水浸透材内に滞留する水対策、表層・基層、上層路盤のアスファルト材料の電気定数が増加した原因の検討と対策によって、延長 20m の区間において平均効率 70%以上の無線給電道路の実現を目指す。

[1] 鈴木良輝他、バッテリーレス電動カート連続給電走行のための右手左手複合系電化道路、通学論C、vol.J99-C-4、pp.133-141、Mar.2016.

2. 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

2.1 無線給電道路システムの舗装材料・構造の検討

2.1.1 適切な設計方法の検討

ここでは、排水性を有する下層路盤として用いる写真 2-1 に示す雨水浸透材（強化プラスチック製）が全体にわたって一体化するように改良するとともに、疲労破壊以外の形態の損傷が発生しないことを検証した。さらに、ここに提案する無線給電道路において、多層弾性理論に基づく設計方法の適用性とその妥当性を検討した。

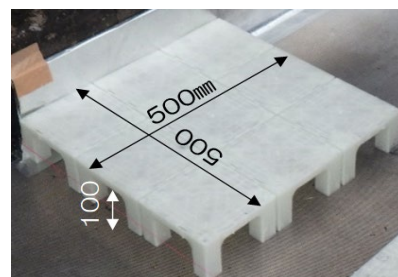


写真 2-1 雨水浸透材(1ユニット)

(1) 雨水浸透材層の均質性

昨年度に試験施工した幅 3.5m×長さ 5m の試験体について、舗装面全体にわたる 27 箇所で FWD 試験を行った。その結果、全ての測点ではほぼ一様のたわみ曲線となっており、雨水浸透材を用いた下層路盤は層全体にわたり均質な状態であることを確認した。

(2) 雨水浸透材の一体性

隣り合う雨水浸透材の一体性を図るために、雨水浸透材の天端面に厚さ 2 mm のプラスチック平板を接着（エポキシ系接着剤）し、雨水浸透材を全体にわたり連結させる改良を施した。

一体性の評価は、写真 2-2 に示すように、2 ユニットの雨水浸透材を連結した試験体を直接載荷し、荷重伝達率を確認した。その結果、雨水浸透材そのものを直接載荷する厳しい条件においても荷重伝達率は 65%以上あり、雨水浸透材どうしの段差などが起点となって、上層（特殊アスファルト安定処理層）にリフレクションクラック等が発生することはないと判断した。



写真 2-2 荷重伝達率の測定状況

(3) 雨水浸透材脚部の塑性変形

写真 2-3 に示すように、施工基盤（ポーラスアスファルト層）上に設置した雨水浸透材を直接載荷し、雨水浸透材の脚部に発生する塑性変形を確認した。載荷試験は 20℃の室内にて行ない、上載荷重相当（1.0kN/mm²）を 48 時間載荷した。



写真 2-3 塑性変形の試験状況

その結果、試験開始から 1 時間後の変形量 2.59mm であり、12 時間経過以後は 2.66~2.69mm の範囲でほぼ収束することが確認された。このことから、雨水浸透材脚部の塑性変形や施工基盤へ

の沈込みは極めて僅かであり、載荷初期に雨水浸透材脚部の弾性変形が生じた以降、塑性変形は僅かであり、耐用期間 10 年を想定した場合でも舗装に悪影響を及ぼすような変形はないと判断した。

2.1.2 無線給電道路システムに適用する舗装構造の検討

本年度の試験施工に適用する無線給電道路システムの舗装構造について、所要の排水能力を検証し、雨水浸透材の所要積層数を決定することとした。

検討の結果、昨年度に提案した舗装断面（雨水浸透材 2 段積層）に対して、図 2-1 に示すように、雨水浸透材を 1 段とし、その下層の施工基盤には排水性ポーラスアスファルト混合物を適用する舗装断面に改良した。

以下、検証結果を詳述する。

(1) 排水能力の確認

排水能力の検証は、図 2-1 に示す舗装断面について、下層路盤（雨水浸透材）とその上下の層を模擬した 500×500 mm のダミー試験体によった。試験体の 4 側面には目地やひび割れを想定した幅 2 mm の隙間を設け、排水勾配 2% で静置し、散水した（写真 2-4）。

なお、散水量は 1,480cc/分であり、直近 10 年間に国内で記録された最大降雨量 55 mm/10 分（降雨量 330mm/時程度、2021 年北海道木古内地区）を準用した。散水後、排水量がほぼ一定となった時点（試験開始から 1 時間経過後）で排水量を測定した結果、排水量も 1,480cc/分であり、雨水浸透材を一段に減らしても、流入した水は雨水浸透材に滞留することなく、排水性アスファルト混合物の施工基盤を介して、速やかに排水することが確認された。

(2) 舗装構造の確認

図 2-1 に示す舗装断面が、交通量区分 N7（疲労破壊輪数：3500 万回/10 年）を満足する構造であるか、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（密粒度アスファルト混合物層）下面の 3 箇所に着目点（図 2-1 参照）について、多層弾性理論に基づく解析プログラム（GAMES^[2]）を用いて解析的検討を行なった。

以下、解析方法の概要とその手順を示す。

- 1) 舗装計画交通量（ $N_7=3,000$ 台/日）、舗装設計期間（10 年）、舗装各層の厚さと材料定数（弾性係数）および荷重条件の設定（表 2-1）
- 2) 表 2-1 の入力値を用いて、各着目点（図 2-1 参照）のひずみを算出
- 3) 各着目点における、舗装設計期間 10 年とした場合の許容ひずみを算出
- 4) 各着目点におけるひずみと舗装設計期間 10 年における許容ひずみを比較

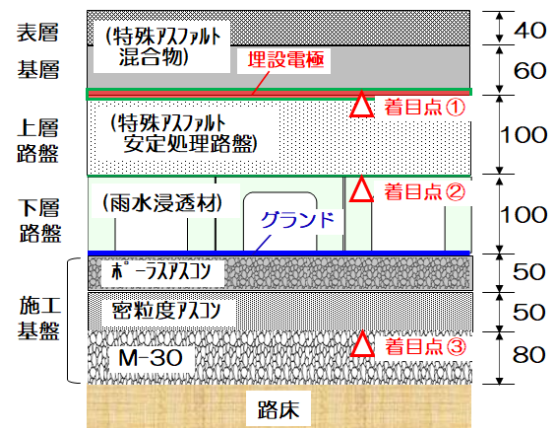


図 2-1 今年度の舗装断面



写真 2-4 排水能力確認試験

表 2-1 構造解析に用いた各層の厚さと弾性係数

舗装	各層の厚さ (cm)	構造解析に用いた 弾性係数(MPa)
表・基層 (特殊アスファルト混合物)	10	5,000 ^{※1}
上層路盤 (特殊アスファルト安定処理路盤)	10	5,000 ^{※1}
下層路盤 (雨水浸透材)	10	35 ^{※2}
施工基盤・表層 (ポーラスアスファルト混合物)	5	5,000 ^{※1}
施工基盤・基層 (密粒度アスファルト混合物)	5	5,000 ^{※1}
施工基盤・路盤 (M-30)	8	300 ^{※1}
路床	∞	50 ^{※3}

※1：土木学会舗装工学ライブラリ3「多層弾性理論による舗装構造解析入門-GAMES を利用して-」より設定

※2：昨年度の小規模試験施工箇所の FWD たわみ量から逆解析で算出した弾性係数 (35~39MPa) より設定

※3：試験施工箇所の路床の CBR=5 (実測値) より、路床の弾性係数=10×CBR=5×10=50MPa

上記により算出した解析結果を表 2-2 に示す。いずれの着目点においても、下面引張りひずみは、交通量区分 N7 (疲労破壊輪数：3500 万回/10 年) の許容値を満足し、図 2-1 の舗装断面は交通量区分 N7 として適用できる舗装構造であることを解析的に確認した。

表 2-2 下面引張りひずみ計算結果

着目点	着目点 (それぞれの層の下面)	解析結果	舗装設計期間 10 年での 許容されるひずみ (N7)
①	特殊アスファルト混合物	17 μ	$\leq 101\mu$
②	特殊アスファルト安定処理路盤	169 μ	$\leq 229\mu$
③	施工基盤の密粒度アスファルト混合物	32 μ	$\leq 194 \mu$

2.2 無線給電道路システムの試験施工

これまでの検証結果を踏まえて、在来と同規模の施工機械を使用して、実施工を想定した延長 20m、幅員 3.5m の無線給電道路の試験施工を行ない、実施工段階において円滑に施工するための作業手順を整理した。また、試験施工面の全体にわたり、FWD 試験、DF テスターによる動摩擦係数測定、IRI 試験を実施し、ここに提案した無線給電道路の耐荷性、耐久性、走行性について検証するとともに、実用化に向けた課題を抽出し、整理した。さらに、これらの実測データと前述の解析的検討結果とを比較し、設計方法 (多層弾性理論) の適用性とその妥当性について検討した。

以下、試験施工の概要と検証結果を詳述する。

2.2.1 試験施工した舗装断面

試験施工した延長 20m、幅員 3.5m の横断面、および、埋設した電極版や配線やドレーンパイプ等の配置位置を図 2-2 に示す。

試験施工に使用した材料を一覧表にまとめ表 2-3 に示す。

2.2.2 試験施工の作業手順

試験施工における作業手順を表 2-4 に示す。雨水浸透材の設置、グラウンド材や埋設電極の敷設などの無線給電道路システム特有の工種は増えるが、全体的には、施工機械を使用した在来工法の範疇で円滑に施工できることが確認された。

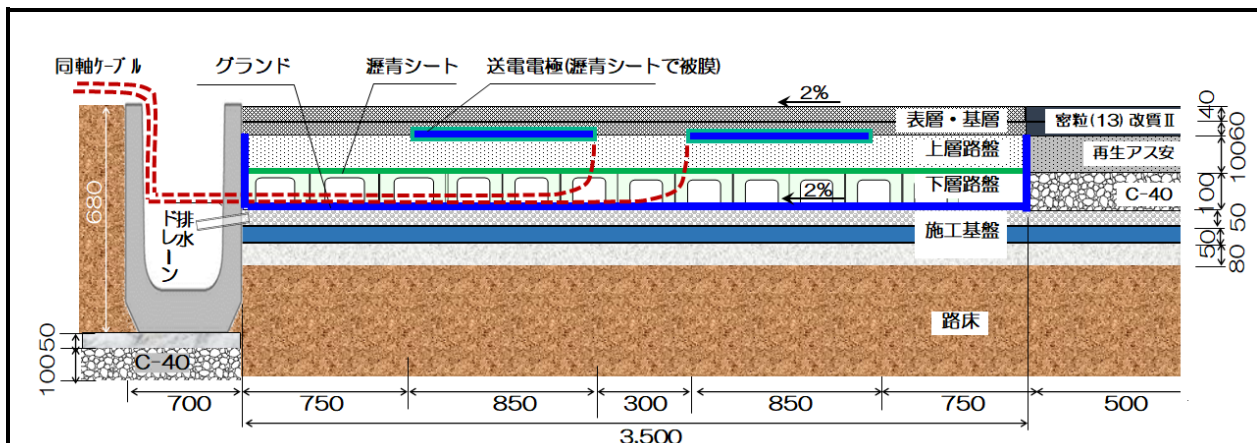


図 2-2 今年度の試験施工断面

表2-3 試験施工の舗装構成と使用材料

舗装構成		種別	仕様	規格・規準	特記
区分	層厚(mm)				
表層	40	特殊アスファルト混合物	セラミック骨材 ポリマー改質アスファルトII型	密粒度 アスファルト混合物	
基層	60	特殊アスファルト混合物	セラミック骨材 ポリマー改質アスファルトII型	密粒度 アスファルト混合物	
送電電極	—	ステンレス板	SUS304 厚さ 0.5mm幅 850mm	—	瀝青シート被覆
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理路盤材	セラミック骨材 舗装用石油アスファルト60/80	アスファルト安定処理 路盤用混合物	
下層路盤	—	瀝青シート	ガラス繊維入り 改質アスファルトシート	リフレクションクラック 抑制シート	シート厚さ2mm
	100	雨水浸透材	硬質プラスチック 500×500×100mm	—	天端面にプラスチック板(厚さ2mm)を接着
グラウンド	—	パンチングメタル	アルミニウム	—	
施工基盤	50	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	事前審査制度認定混合物	
	50	密粒度アスファルト混合物	舗装用石油アスファルト60/80	事前審査制度認定混合物	
	80	粒状路盤	M-30		

表 2-4 無線給電舗装の施工手順



2.2.3 耐荷性、耐久性、走行性などの性能確認

(1) 耐荷性の確認

各作業を通して、実施工規模の施工機械（アスファルトフィニッシャ、10ton ダンプ）が走行した場合でも、舗装面に沈下や変形などは認められなかった。このことから、雨水浸透材の一体化を図ったことにより、実施工においても良好な耐荷性が確保されているものと判断した。

(2) 耐久性

試験施工の全面にわたって FWD 試験を行ない、舗装構造の耐久性を評価した。

FWD 試験におけるたわみ量の実測データに基づき、逆解析により各層の弾性係数を算出し、その弾性係数を用いて前述の GAMES により各着目点（図 2-1 参照）の引張ひずみを算出した。

その結果は表 2-5 に示すとおりであり、実構造においても各着目点の引張ひずみは交通量区分 N7（疲労破壊輪数：3500 万回/10 年）の許容値を満足することが確認された。

表 2-5 FWD によるひずみ測定結果

着目点	着目点（それぞれの層の下面）	FWD 試験の実測データより求めた引張りひずみ	舗装設計期間 10 年での許容されるひずみ (N7)
①	特殊アスファルト混合物	58 μ	$\leq 101\mu$
②	特殊アスファルト安定処理路盤	211 μ	$\leq 229\mu$
③	施工基盤の密粒度舗装	59 μ	$\leq 194\mu$

(3) 走行性

試験施工した全面にわたって、DF テスターによる動摩擦係数の測定、3m プロフィールメータおよび IRI 測定器による σ 3m 平たん性および IRI 値を測定した。その結果、すべり抵抗は 0.55 (>管理基準値 0.35)、 σ 3m 平たん性は 1.94mm (<基準値 2.4mm) となり、一般の管理基準値を満足することを確認した。なお、IRI 値は 2.81mm/m と基準値 (2.4mm/m) を僅かに超える結果となった。これは、両端近傍に設置した配線などが損傷しないように、重機による転圧ではなく人力で転圧したことにより局所的にばらつきが生じたためと考えられる。したがって、施工機械により全面施工できるように配線の配置方法や保護方法を改良することで解決できると考えられる。

2.2.4 適切な設計方法に関する検討

(1) 理論的設計方法（多層弾性理論）の適用性および妥当性

ここでは、無線給電道路の構造設計に適用している多層弾性理論に基づく解析手法の適用性とその妥当性について検討した。その結果、以下の①～③の理由により、多層弾性理論による構造設計の適用は妥当であるとの見解を得た。

①雨水浸透材の連結方法を改良し、均質性と一体性を確保したこと（前節 2.1.1(1)(2)）

②リフレクションクラックや施工基盤の塑性変形による破損が生じないこと（前節 2.1.1(2)(3)）

③表-2.6 に示すとおり、解析に用いた一般的な弾性係数値と FWD の実測データに基づき算出した弾性係数とがほぼ同等となったこと

表 2-6 構造設計で設定した弾性係数と FWD 試験の実測データに基づく弾性係数

舗装	構造設計で設定した弾性係数(MPa)	FWD たわみ量から逆解析により求めた弾性係数(MPa)
表・基層 (特殊アスファルト混合物)	5,000	5,959
上層路盤 (特殊アスファルト安定処理路盤)	5,000	3,120
下層路盤 (雨水浸透材)	35	38
施工基盤・表層 (ポーラスアスファルト混合物)	5,000	4,661※
施工基盤・基層 (密粒度アスファルト混合物)	5,000	
施工基盤・路盤 (M-30)	300	—
路床	50	50

※逆解析可能な層数は5層のため、施工基盤（表層・基層）を1層、施工基盤（路盤）と路床を1層とした

(2) 設計方法における今後の検討課題

表層のたわみ曲線について、FWD 試験による実測値と解析値を比較し図 2-3 に示す。

同図には、埋設電極部の層間付着を 30%に減じた解析結果を併記するが、FWD 実測値のたわみ曲線とほぼ一致する結果となり、埋設電極両面を被覆している軟質の瀝青シートが塑性変形して埋設電極部の層間付着が小さくなっている可能性が示唆される。

昨年度の検討により、瀝青シートと各層との付着強度は道路橋床版等の規格値 ($0.6\text{N}/\text{mm}^2$) を満足することは確認しているが、瀝青シートの材質や付着力をさらに高めるような材料面での改良を行なうことで、実構造と構造設計との整合性をさらに図ることができるものと考えられる。

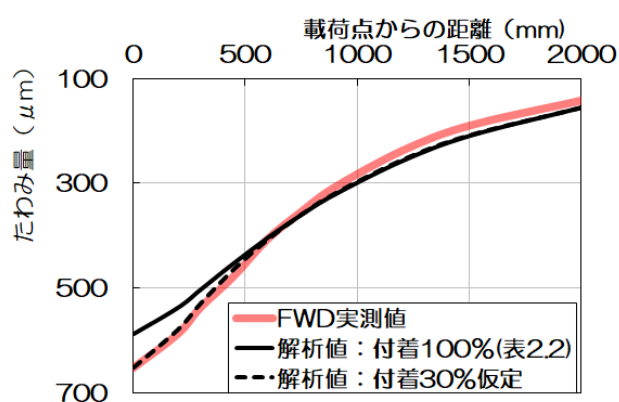


図 2-3 たわみ曲線

2.2.5 実用化に向けた課題

今年度の試験施工を通して抽出された材料・施工面での課題と改良点を以下に整理する。

- ・ 雨水浸透材は特注品であるため、雨水浸透材どうしの連結や、グラウンドとの接着などを全て手作業で行っており、多くの労力と時間を要している。雨水浸透材の形状の改良とともに、施工機械による自動化を検討し、施工効率の向上を図ることが課題である。
- ・ 埋設電極やグラウンド材の敷設も変形やずれが生じないように手作業としている。重機による施工ができるように、埋設電極と基層や上層路盤との固定方法、雨水浸透材やグラウンドと施工基盤との固定方法を改良することが課題である。

2.3 維持管理手法の検討

将来的な舗装の修繕や更新を想定し、昨年度に試験施工した幅3.5m×長さ5mの試験体について、実際の切削機による試験施工を行なった（写真2-5）。

実施工と同等の深さ8cm（埋設電極との離間2cm）まで切削したが、切削後の舗装面は写真2-6のとおりであり、埋設電極に悪影響を及ぼすような骨材の飛散や深掘れなどは認めら

れなかった。

また、電磁波レーダにより、切削前後の埋設電極部を検査した結果は図2-4に示すとおりであり、切削により埋設電極の損傷やズレなどの変状は認められず、在来の切削オーバーレイの範疇で維持修繕できることを確認した。



写真 2-5 5m 道路切削状

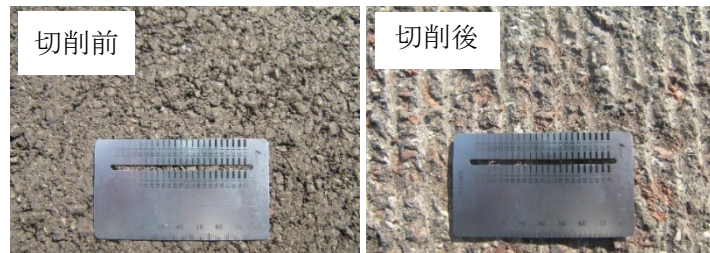
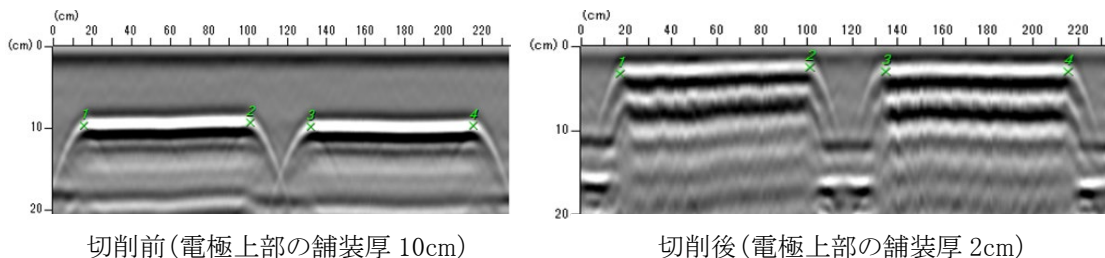


写真 2-6 切削前後の舗装表面の状況



切削前(電極上部の舗装厚 10cm)

切削後(電極上部の舗装厚 2cm)

図 2-4 切削前後の電極位置の電磁波レーダの波形測定結果

(2) 特殊アスファルト混合物のリサイクルの検討

前述 (1) により発生した廃材について、再生利用が可能であるか検討した。乾燥炉にて強制的に熱劣化させた廃材に再生用添加剤を添加する方法で再生材を製造し、その性状を確認した。

その結果、再生材の混合率 25%、50%の特殊アスファルト混合物において、マーシャル安定度は 12kN 以上 (規格値=4.9kN 以上)、動的安定度は 4、600 回/mm 以上 (目標値=3、000 回/mm 以上) となり、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材としてリサイクルできることが確認できた。

2.4 コストダウンに関する検討

高い伝送効率を確保するために、表層、基層、上層路盤にはセラミック骨材を使用している。セラミック骨材は市販品ではあるが、量産品ではないため、アスファルト混合物 1t 当りのコストが一般骨材の混合物の 13 倍程度と高価である。そこで、セラミック骨材の一部を一般骨材に置換して、セラミック骨材の減量化によるコストダウンの可能性について検討を行った。

その結果は図 2-5 に示すとおりであり、いずれの混

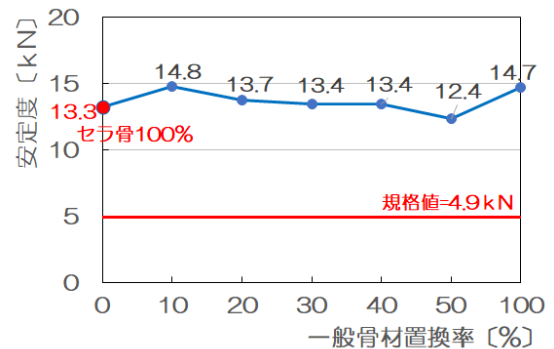


図 2-5 一般骨材置換率と安定度

合率においても、マーシャル安定度 13kN 程度と規格値 (4.9kN) を十分に満足し、混合骨材としても強度的な悪影響はないことを確認した。

なお、一般骨材置換率と電気特性の関係については、現在、実施中である。

3. 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

無線給電道路に設置した磁石を車両が検知し、高周波電源システムの出力 ON/OFF を制御するシステムの実用性について検証する。路車連携による給電制御実験の構成を図 3-1 に示す。磁場センサは地上高 100mm の位置でトレーラに取り付けており、トレーラを牽引車で牽引する。またトレーラに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、送電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。

路車連携実験では、トレーラが進入する道路側から 1.5m の位置に送電 ON 用のフェライト磁石 (N 極を上向き) を 150mm 間隔で 3 個設置した。これは、トレーラに搭載している受電電極 (1.5m 長) が全て送電電極上に対向する位置で電源出力を開始するためである。また、送電 OFF 用のフェライト磁石 (S 極を上向き) を 150mm 間隔で 3 個設置した。

トレーラ底面に取り付けた磁場センサが、送電 ON 用の磁石上を通過時に+1.5G 以上の磁場を感知すると、送電 ON の要求信号を PC-1 から PC-2 に発信する。PC-2 はその信号を受け電源システムを駆動する。その後トレーラが無線給電道路上を走行し、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 PC-1 から PC-2 に発信する。PC-2 はその信号を受け電源システムの動作を終了する。実験時における電源システムの出力量は 1kW とした。

時速 20km 以下の走行実験の結果、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トレーラが無線給電道路を通過中に無線給電による受電が行われていることを確認した。



図 3-1 給電制御システムの構成

4. 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

走行中無線給電時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への人体に与える影響（近傍界）および他の無線システムへの干渉（遠方界）など電波法への適合可能性を検討する。写真 4-1 に近傍界測定状況、写真 4-2 に遠方界測定状況を示す。



写真 4-1 近傍界測定



写真 4-2 遠方界測定

4.1 近傍電磁界に関する検討

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」に則り評価を行った。

- ・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：722mV/m

4.1.1 近傍電磁界測定結果

近傍界における電磁界測定の結果を図 4-1 および図 4-2 に示す。測定点は、受電電力が最も高い近端側 A に受電装置を設置した場合の道路中央（0mm 地点）から道路端部（路肩側 1800mm 地点）とした。この際、車体近傍（測定点 A）および車体がない道路上（測定点 B）で測定を行った。なお、測定時の高周波出力は 1kW としたが、図 4-2 は本研究の最終目標である高周波出力 10kW に換算した数値を示した。

車体近傍の電界強度は、受電電極端部（道路中央から 850mm）が最も高く 674V/m となった。なお、道路端部（道路中央から 1800mm）では 50V/m まで減衰し一般環境の指針値を満足した。送電中の道路上の電界強度は、道路中央が最も高く 455V/m であった。ただし、道路端部（道路中央から 1800mm）では 100V/m であり、管理環境の指針値：170V/m を満足した。

磁界強度は、車体近傍、道路上共に道路中央が最も高く車体近傍で 4.43A/m となった。なお、道路端部（道路中央から 1800mm）では車体近傍、道路上共に一般環境の指針値：0.32A/m を満足した。

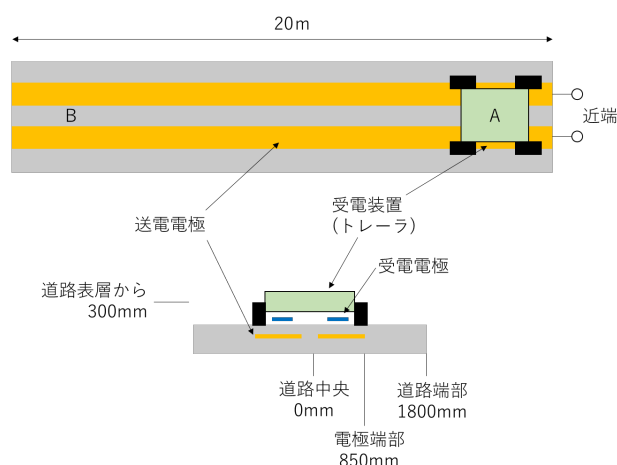


図 4-1 近傍電磁界測定位置

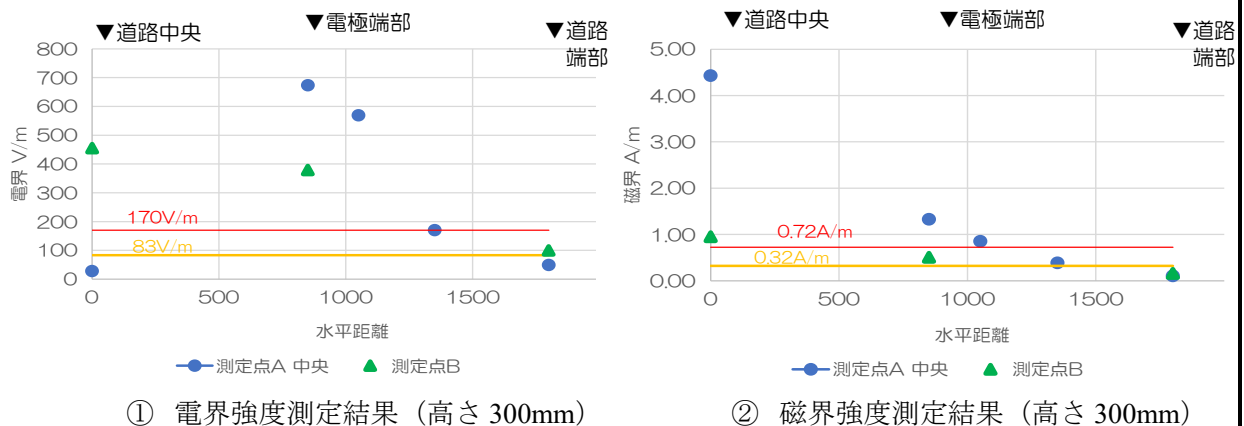


図 4-2 近傍電磁界測定結果

4.1.2 近傍電磁界シミュレーション結果

延長 20m の無線給電道路に高周波電力 10kW を入力した場合の近傍電磁界をシミュレーションした。図 4-1 に示した測定点 A、B に該当する断面および表層から高さ 30cm における平面における電界強度のシミュレーション結果を図 4-3、磁界強度のシミュレーション結果を図 4-4 に示す。測定点 A の電界強度は道路中央（受電装置中央）よりも電極端部において高く道路端部では 170V/m 程度にまで減衰する傾向を示した。また、測定点 B の電界強度は道路中央で最も高く道路端部では 170V/m 程度にまで減衰する傾向を示した。これらの特徴は測定結果とよく一致している。

測定点 A の磁界強度は電極端部が高く道路中央や道路端部では低い傾向を示した。一方、測定点 B の磁界強度は道路中央で最も高く道路端部に向かって徐々に減衰していく傾向を示した。測定結果と比較して測定点 A の道路中央での磁界強度が大きく異なる傾向になることが分かる。測定点 A で測定された磁界は、無線給電道路ではなく、シミュレーションモデルに含まれていない受電装置（配電ケーブル、整合回路など）である可能性が高いと考えている。

4.1.3 対策方法の検討

測定およびシミュレーションの結果、車両内の人体防護に関連する道路中央（受電装置中央）の磁場強度は、対策が必要なレベルであることが確認された。受電装置および配電ケーブルの漏えい電磁界対策には、電磁シールドが効果的である。そこで、令和 5 年度は受電装置をシールドチャンバー内に収納する。さらに配電ケーブルは金属配管内を配線する。これによって道路中央（受電装置中央）の漏えい電磁界は 1 / 10 以下に減衰させることを目標とする。

一方、道路端部の電界強度および磁界強度は管理環境の指針を満足するが、一般環境の指針を満足しない可能性がある。その範囲はシミュレーションの結果より、道路端部から 40cm 以内の範囲と予想された。高速道路など一般の歩行者が立ち入らない場所を「管理環境」と考えると電磁界対策は不要であるが、給電中の無線給電道路（車両内以外）には、電波防護指針の指針値を超える電磁界が確認されている。このため、道路上に人が立ち上がった場合を想定し、カメラなどのセンサと路

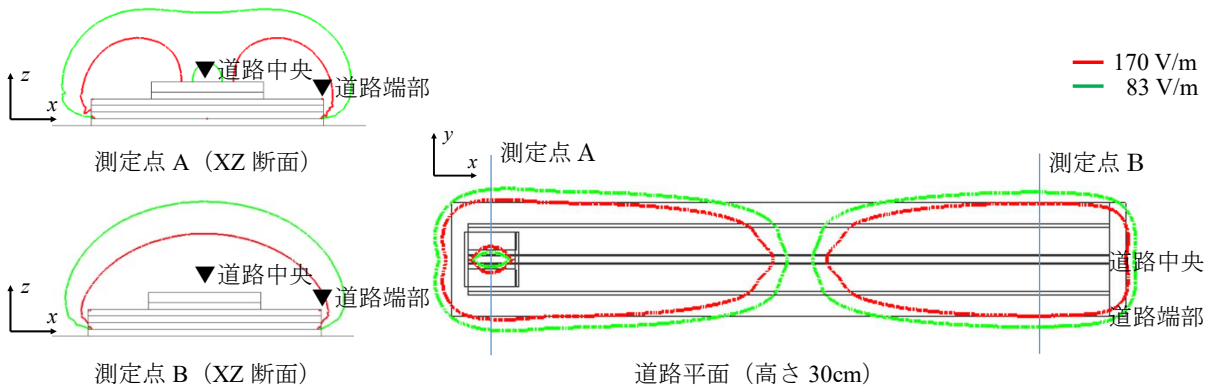


図 4-3 電界強度シミュレーションの結果

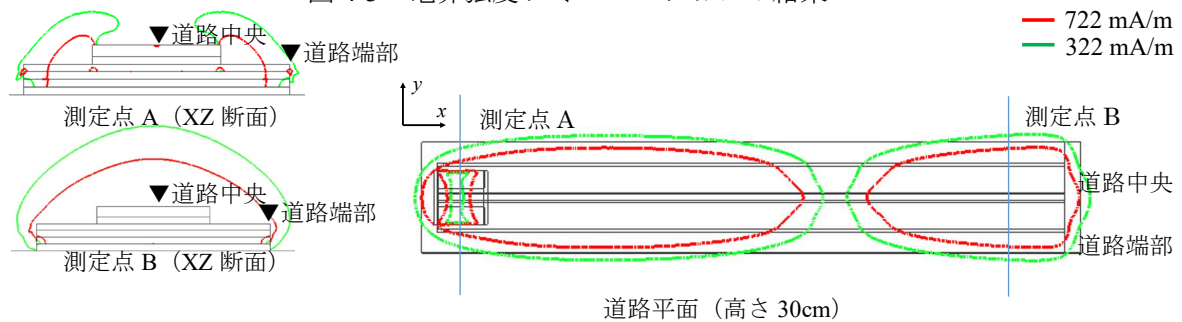


図 4-4 磁界強度シミュレーションの結果

車連携システムを連動し高周波電源を OFF する機能を検討するなどの電磁界対策の検討が必要になると考えている。

4.2 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。道路中心から 10m の位置での磁界強度の測定結果を図 4-4 に示す。なお、磁場強度測定時の高周波入力 は 1.07kW であったことから、図 4-5 の磁場強度は最終目標である高周波入力 10kW に換算した値である。その結果、基本波 6.78MHz における放射妨害波は規制値 64dB μ A/m を満足した。ただし、

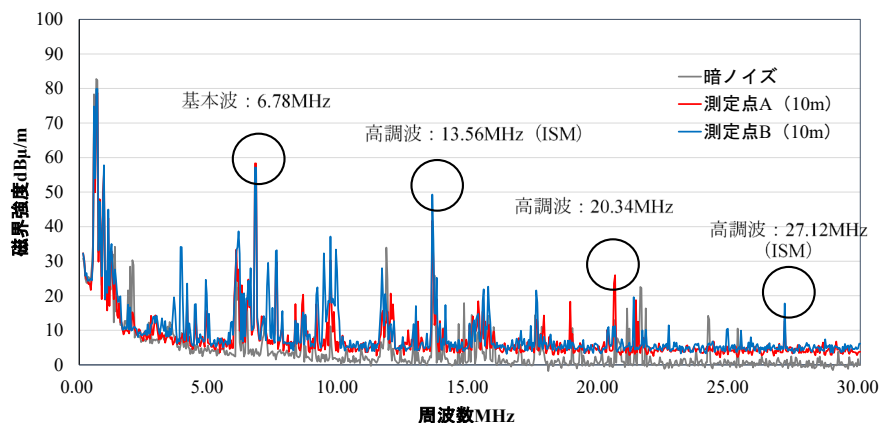


図 4-5 遠方界測定結果（高周波入力 10kW 換算値）

20.34MHz（第3高調波）において25 dB μ A/mの放射妨害波が測定された。今回の測定では高周波入力力が5kWであり敷地境界までの距離が20m以上であることから電波法設備規則第65条5項の条件は満足したが、高速道路へ適用した場合には敷地境界までの距離が短縮される可能性があることから、令和5年度は高調波抑制のためのEMCフィルタの改良を検討する。

⑦研究成果の発表状況

1. ニュースリリース

- ・ 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、令和4年9月21日、大成建設ホームページ (https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220921_8962.html)、同日産経新聞に掲載

⑧研究成果の活用方策

- ・ 本研究から得られた研究成果を実道（自治体、高速道路など）で実装するための調整を実施中（調整先との機密保持の観点から詳細は省略）

⑨特記事項

【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。

次年度は車両メーカーとの技術連携し、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。

【進捗の達成度（自己評価）】

A：目標とする成果が得られた。