

平成 27 年度 TSUBAME 産業利用トライアルユース 成果報告書

## 車両搭載ワイヤレス電力伝送システムの車室内漏えい電磁界特性に関する基礎検討

A study on leaked electromagnetic field from wireless power transfer system for automotive applications

池田 和彦

Kazuhiko Ikeda

株式会社パナソニックシステムネットワークス開発研究所

Panasonic System Networks R&amp;D Lab. Co., Ltd.

<http://panasonic.co.jp/avc/psnrd/>

家電機器の充電などに用いられるワイヤレス電力伝送 (WPT : Wireless Power Transfer) システムが近年検討されている。WPT システムから漏えいする電磁界は他の様々な電子機器に影響を与える可能性があり、その干渉影響を定量的に評価する必要がある。WPT システムの設置環境としては、各種電子機器が密集して配置される住宅内や車室内が想定され、これらの環境における漏えい電磁界特性を把握することが、今後の WPT システムの普及を図る上で重要であると考えられる。しかしながら、住宅内や車室内の大規模な空間における漏えい電磁界を測定するには多大な時間と労力がかかり、また電磁界シミュレーションでは解析空間のメッシュ数が大規模になる課題がある。このため、スーパーコンピュータの利用が有効となる。平成 26 年度の利用課題では、戸建て住宅全体を含む空間の漏えい電磁界を解析した。本利用課題では、車室内に設置した WPT システムに関する基礎検討として、様々な WPT 動作周波数における車室内での漏えい電磁界を、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて解析する。漏えい電磁界が他の車両搭載無線通信システムや車外から持ち込まれた無線機器に及ぼす影響を検証する。

The wireless power transfer (WPT) system for electronics devices and so on has been actively developed in recent years. Since the electromagnetic field leaked from the WPT system interferes with the other devices, the quantitatively evaluation of the electromagnetic interference is required. It is assumed that the WPT system is located generally close to other various devices in the house or interior of the vehicle for its installation environments. Therefore, the evaluation of the leaked electromagnetic field in these environments is important to realize the spread of the WPT system. However, the measurement in the whole house or vehicle involves immense amount of time and effort, and the simulation requires the enormous analysis meshes because of the volume of the house or vehicle. In this paper, we simulate the leaked electromagnetic field in the vehicle at various WPT operating frequencies by electromagnetic simulation using supercomputer TSUBAME 2.5. The electromagnetic interference in other radio communication systems installed the vehicle is discussed.

*Keywords: Electromagnetic simulation, vehicle, Wireless power transfer, Leaked electromagnetic field*

## 1. まえがき

家庭用電子機器や電気自動車の充電に用いられるワイヤレス電力伝送 (WPT : Wireless Power Transfer) システムが近年検討されている [1],[2]。WPT システムから漏えいする電磁界は他の様々な電子機器の誤作動の要因になり得るため、その強度規制値の国際標準化に向けた議論が進められている。多種多様な WPT システムからの漏えい電磁界によって引き起こされる干渉問題が重要な課題であり、様々な設置環境や高次高調波を考慮した定量的な評価が必要不可欠である。WPT システムの設置環境としては、各種電子機器が密集して配置される住宅内や車室内が想定され、これらの環境における漏えい電磁界特性を把握することが、今後の WPT システムの普及

び WPT 機器の品質向上を図る上で重要であると考えられる。

しかしながら、住宅内や車両内の大規模な空間における漏えい電磁界を測定するには多大な時間と労力がかかるため、電磁界シミュレーションを用いて漏えい電磁界を解析することが望ましい。WPT システムの高次高調波を考慮した数 100MHz 帯から数 GHz 帯において住宅全体または車両全体を含む電磁界シミュレーションを実行する場合、大規模な空間メッシュでの計算が必要となり、スーパーコンピュータの利用が有効となる。

平成 26 年度の利用課題では、住宅環境における漏えい電磁界特性を把握するために、戸建て住宅及び漏えい電磁界の発生源をモデリングして解析した。

本利用課題では、車室内に設置した WPT システムに関する基礎検討として、様々な WPT 動作周波数における車室内での漏えい電磁界特性をスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5[3]を用いて電磁界解析する。WPT システムを電子機器への充電が想定される位置に設置し、他の車両搭載無線通信システムや車外から持ち込まれた無線機器に及ぼす影響を把握する。また、各周波数での TSUBAME 並列ノード数と計算時間の関係を把握し、電磁界シミュレーションにおける TSUBAME 2.5 活用の有効性を検証する。

## 2. 解析モデルとシミュレーション条件

表 1 にシミュレーション条件を示す。スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を使用し、電磁界解析には有限積分法電磁界シミュレータである CST 社の MICROWAVE STUDIO[4]を用いる。解析周波数は 87M, 557M, 2.1G, 5.8GHz に設定し、それぞれ FM ラジオ、地上デジタル TV, LTE (Long Term Evolution), DSRC (Dedicated Short Range Communications) の無線システムへの干渉を想定している。

表 1 シミュレーション条件

計算機システム	TSUBAME 2.5	
電磁界解析手法	有限積分法	
解析周波数	87M, 557M, 2.1G, 5.8GHz	
解析モデル	車両	
送信電力	1W	
WPT 波源 アンテナ	87MHz	微小ループアンテナ
	557MHz	微小ループアンテナ
	2.1GHz	パッチアンテナ
	5.8GHz	パッチアンテナ
WPT 波源の配置位置	座席間センターコンソール上	
被干渉 アンテナ	87MHz	モノポールアンテナ リアガラス上部配置
	557MHz	モノポールアンテナ フロントガラス上部配置
	2.1GHz	モノポールアンテナ 携帯端末内蔵
	5.8GHz	円偏波パッチアンテナ ルームミラー裏配置

図 1 に本利用課題で用いる車両モデルを示す。大きさは全長 4470×全幅 1750×全高 1490mm であり、ボディ及びホイールは金属、座席シート、ダッシュボード、窓ガラス、バンパーなどは誘電体でモデリングしている。

図 2 に WPT 波源のアンテナモデルを示す。それぞれの周波数で高い漏えい電磁界強度を放射するため周波数ごとに設計しており、87MHz と 557MHz では微小ループアンテナ、2.1GHz と 5.8GHz ではパッチアンテナを波源として用いる。また、図 3 に WPT 波源アンテナの放射指向性を示す。微小ループアンテナでは水平面 (XY 面)、パッチアンテナでは天頂方向 (+Z 方向) への利得が高い放射指向性となる。

図 4 に被干渉アンテナモデルを示す。各周波数でそれぞれの無線システム用のアンテナを想定した構成としており、87MHz (FM ラジオ) 及び 557MHz (地上デジタル TV) ではガラス上配置モノポールアンテナ、2.1GHz (LTE) では携帯端末内蔵モノポールアンテナ、5.8GHz (DSRC) では円偏波パッチ

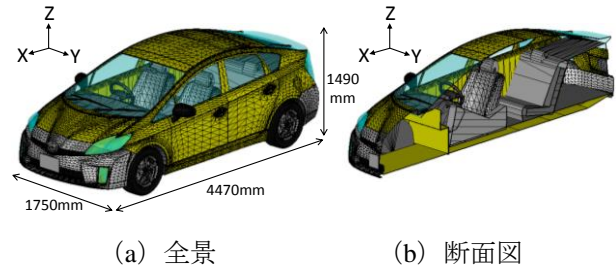


図 1 解析モデル (車両)

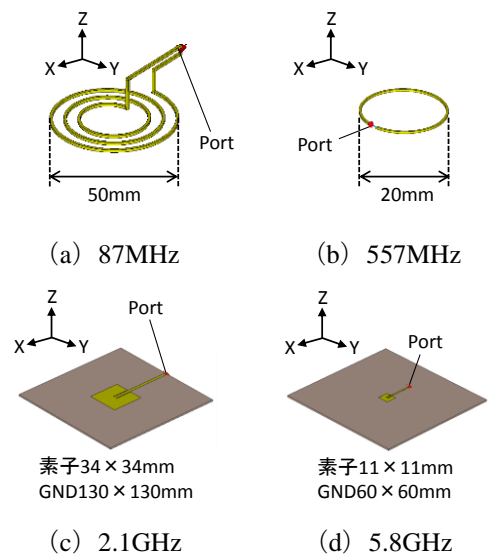
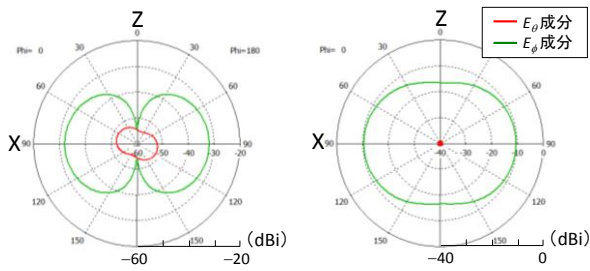


図 2 解析モデル (WPT 波源アンテナ)

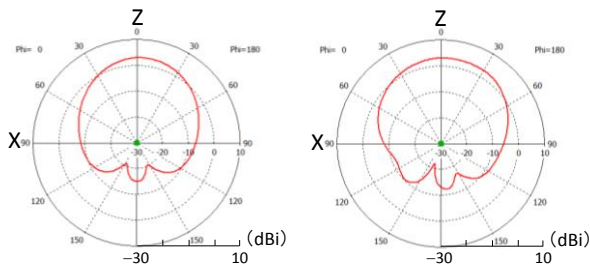
チアンテナを用いる。

図 5 及び図 6 に WPT 波源及び被干渉アンテナの配置位置を示す。WPT 波源は、電子機器への充電を想定した位置としてセンターコンソール上に配置する。また被干渉アンテナは、それぞれの周波数帯の無線システムで一般的な位置に配置しており、87MHz ではリアガラス上部配置、557MHz ではフロントガラス上部配置、2.1GHz では助手席の携帯端末内蔵、5.8GHz ではルームミラー裏配置としている。



(a) 87MHz

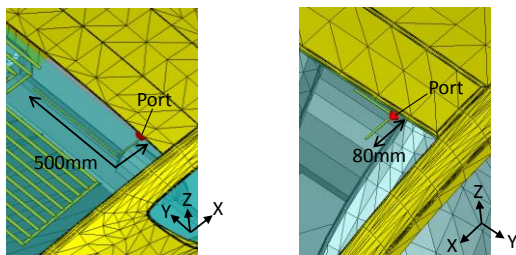
(b) 557MHz



(c) 2.1GHz

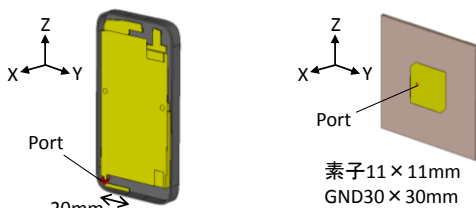
(d) 5.8GHz

図 3 WPT 波源アンテナの放射指向性



(a) 87MHz

(b) 557MHz



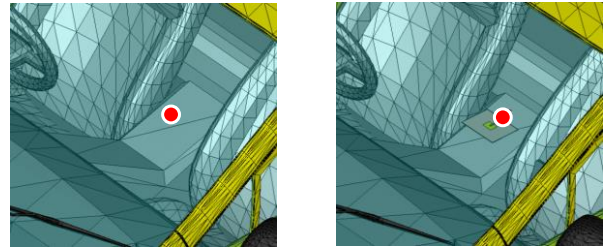
(c) 2.1GHz

(d) 5.8GHz

図 4 解析モデル (被干渉アンテナ)

### 3. シミュレーション結果

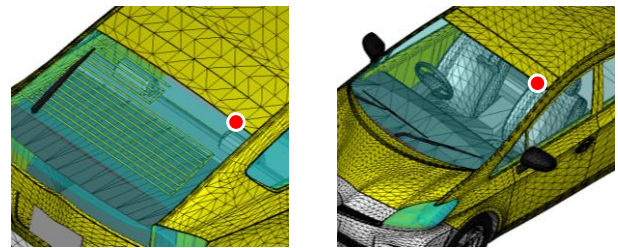
図 7 に 87MHz における車室内の漏えい電界分布を示す。WPT 波源はセンターコンソール上配置の微小ループアンテナ、送信電力は 1W とした。図 7 より、WPT 波源が車室内の中央付近にあることで車室内全体に漏えい電界が分布する傾向が確認できる。



(a) 微小ループ

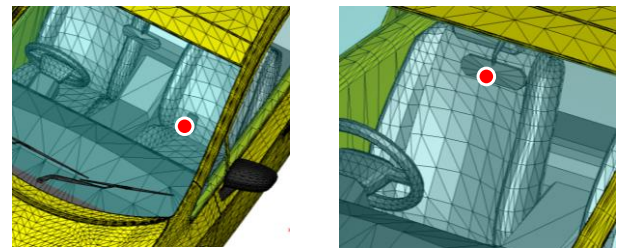
(b) パッチアンテナ

図 5 WPT 波源の配置位置



(a) 87MHz

(b) 557MHz



(c) 2.1GHz

(d) 5.8GHz

図 6 被干渉アンテナの配置位置

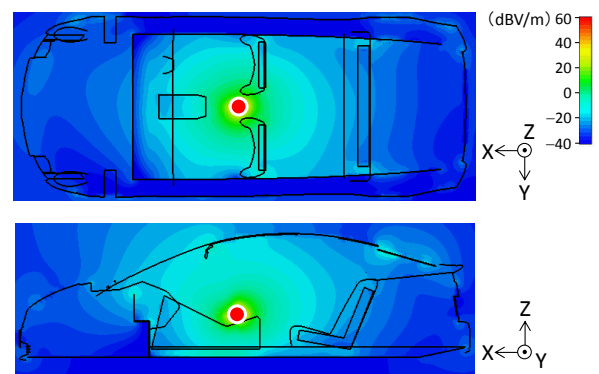


図 7 87MHz 漏えい電界分布

図 8 に 557MHz における車室内の漏えい電界分布を示す。WPT 波源の条件は 87MHz の場合と同様である。図 8 より、557MHz の漏えい電界分布は 87MHz よりも全体的にレベルが高くなるのがわかる。これは、WPT 波源として用いている微小ループアンテナのアンテナ効率が 87MHz のものよりも高いためである。

図 9 に 2.1GHz における車室内の漏えい電界分布を示す。WPT 波源はセンターコンソール上配置のパッチアンテナであり、送信電力は 1W である。図 9

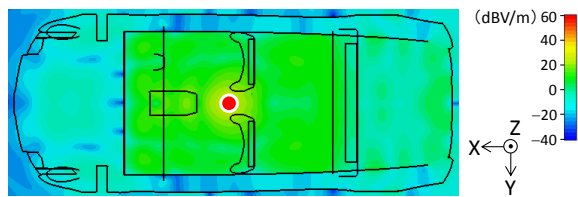


図 8 557MHz 漏えい電界分布

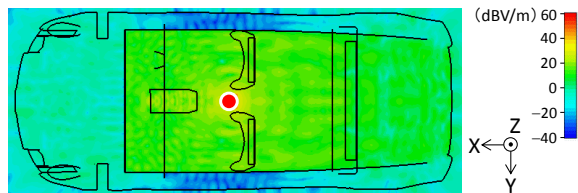
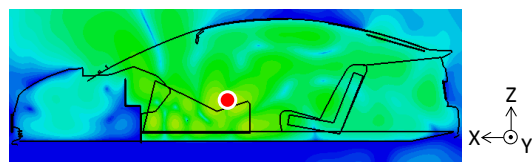


図 9 2.1GHz 漏えい電界分布

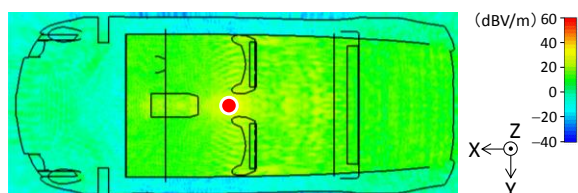
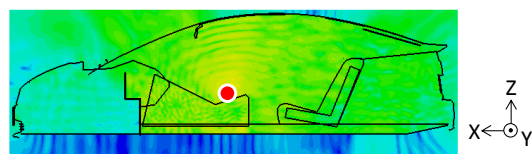
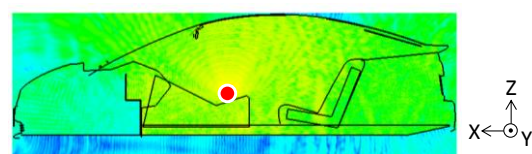


図 10 5.8GHz 漏えい電界分布



より、2.1GHz における漏えい電界分布は 87MHz 及び 557MHz の場合よりも全体的にレベルが高く、また WPT 波源に対して直上 (+Z 方向) の電界強度が特に高くなることが確認できる。これは、WPT 波源としてパッチアンテナを用いているためである。

図 10 に 5.8GHz における車室内の漏えい電界分布を示す。WPT 波源の条件は 557MHz の場合と同様である。図 10 より、5.8GHz の漏えい電界分布は 557MHz の場合と同傾向に近いことが確認でき、波長が約 52mm と短いことから電界分布に定在波が見られる。図 7～図 10 を比較すると、車室内は周辺を金属で遮蔽された空間であるため、反射及び回折によって車室内全体の電界強度が WPT 波源の放射指向性によらず高くなるのがわかる。

図 11～図 14 に各周波数帯における WPT 波源と被干渉アンテナ間の S21 特性を示す。図 11～図 14 に

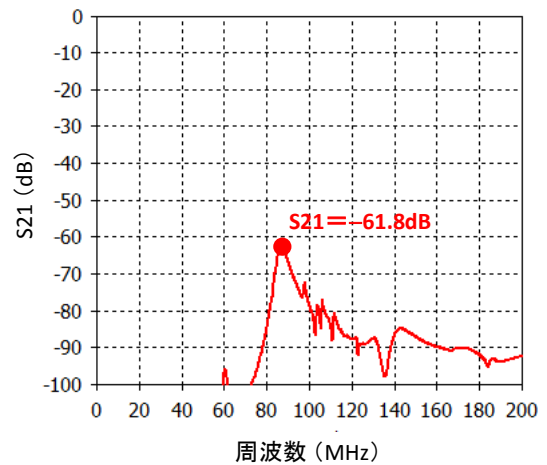


図 11 87MHz 帯における S21 特性

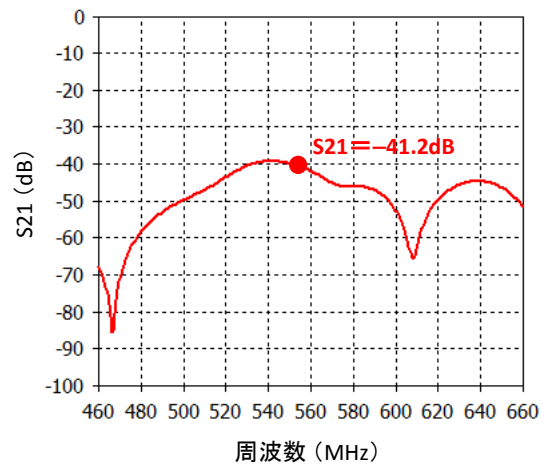


図 12 557MHz 帯における S21 特性

示すように、本利用課題での条件下では、各周波数帯の WPT 波源と被干渉アンテナ間のアイソレーションは 41~64dB 程度となる。このことから、WPT システムの送信電力や各無線システムの受信感度によっては、WPT システムからの漏えい電磁界が無線システムの動作に影響を及ぼす可能性が考えられる。

#### 4. TSUBAME 並列ノード数と計算時間の関係

表 2 に各周波数帯における電磁界解析の総メッシュ数、TSUBAME 並列ノード数及び計算時間の関係を示す。解析空間のサイズは図 1 で説明した車両全体を含む  $4.5 \times 1.8 \times 1.5\text{m}$  程度の大きさである。周波数が大きくなるにつれて波長が短くなるため、同一の解析空間サイズでは周波数に応じて解析モデルの総メッシュ数が指数関数的に増大する。このため、総メッシュ数に合わせて TSUBAME の並列ノード数

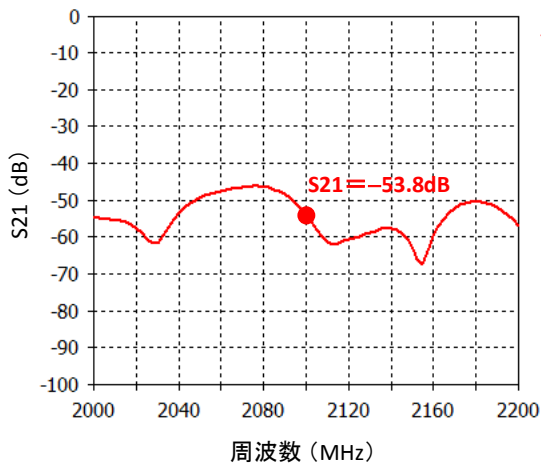


図 13 2.1GHz 帯における S21 特性

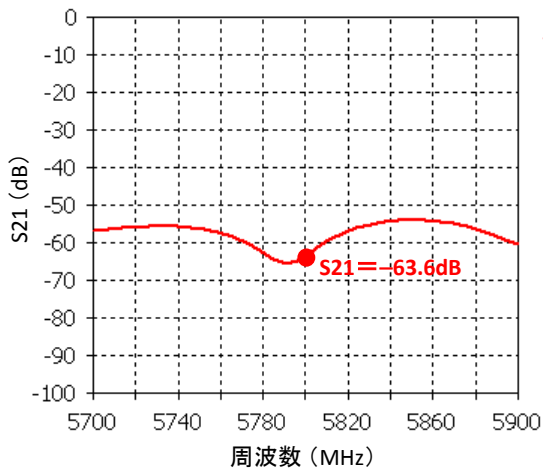


図 14 5.8GHz 帯における S21 特性

を適切に設定することで、各周波数帯での解析を 4 時間以内で実行した。5.3GHz では約 40 億メッシュの大規模解析となるが、48 ノードを用いた並列演算により計算時間を 3 時間半まで抑えた。

#### 5. まとめ

本利用課題では、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて、様々な WPT 動作周波数での車室内における漏えい電磁界を解析した。車室内の想定位置に WPT 波源及び被干渉アンテナを配置して漏えい電磁界を解析した。車室内は周辺を金属で遮蔽された空間であるため、WPT 波源の放射指向性によらず、反射及び回折により車室内全体の漏えい電磁界強度が高くなる傾向がある。また、本利用課題の条件では WPT 波源と各被干渉アンテナ間のアイソレーションは 41~64dB 程度となり、WPT 送信電力や各無線システムの受信感度によっては干渉影響が出る可能性が考えられる。TSUBAME 2.5 の 48 ノードを用いた並列演算により約 40 億メッシュのモデルを 3 時間半で解析でき、電磁界シミュレーションにおける TSUBAME 2.5 の有用性を確認した。

本検討は、スーパーコンピュータ活用による電磁界解析の基礎検討の位置付けであり、様々なアンテナ形式の差、乗客などの人体遮蔽の影響、さらには他の無線システムでの検討などが今後の課題となる。

表 2 各周波数帯における計算時間

周波数	メッシュ数	ノード数	計算時間
87MHz	0.1 億	1	0h58m
557MHz	0.4 億	1	2h14m
2.1GHz	2.7 億	8	1h57m
5.8GHz	38.9 億	48	3h30m

#### 参考文献

- [1] Q. Chen et al., "Antenna Characterization for Wireless Power Transmission System Using Near field Coupling," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.54, No.4, Aug.2012.
- [2] J. Kim et al., "Electromagnetic Interference and Radiation from Wireless Power Transfer Systems," 2014 IEEE International Symposium on Electro-magnetic Compatibility, Aug. 2014.
- [3] 東京工業大学 学術国際情報センター, TSUBAME (<http://www.gsic.titech.ac.jp/tsubame>).
- [4] CST MICROWAVE STUDIO (<http://www.cst.com/>)