

平成 26 年度 TSUBAME 産業利用トライアルユース 成果報告書

利用課題名 ワイヤレス電力伝送による漏えい電波の環境解析技術の研究開発

英文 Research and Development of Environment Analysis Technique of Leaked Electromagnetic Field from Wireless Power Transfer

利用課題責任者 池田 和彦

Kazuhiko Ikeda

所属 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&D Lab. Co., Ltd.

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

邦文抄録 (300 字程度)

家庭用電子機器など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。WPT システムから漏えいする電磁界は他の様々な無線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 システムの設置が想定される戸建て住宅などでは、近傍に無線通信機器が存在し、それらに影響を及ぼす恐れのある周波数帯の漏えい電磁界評価が必要である。しかしながら、戸建て住宅全体の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空間メッシュ数が大規模になる課題がある。そこで本報告では、WPT システムの高調波である 87 MHz, 815 MHz, 2.497 GHz の漏えい電界の戸建て住宅内特性を、スーパーコンピュータ TSUBAME2.5 を用いて電磁界解析し、測定結果と比較検証する。

英文抄録 (100 words 程度)

The wireless power transfer (WPT) system for electronics devices has been actively developed in recent years. Since the electromagnetic field leaked from the WPT system may cause the false operation of other devices, it is required to quantitatively evaluate the electromagnetic interference. In the housing environment, the WPT system is located generally close to the wireless communication devices. Therefore, the quantitative evaluation of the leaked electromagnetic field in various installation environments is indispensable. However, the measurement in the whole house involves immense amount of time and effort, and the electromagnetic simulation requires the enormous analysis meshes because of the volume of the house. In this paper, we evaluate the leaked electric field at 87 MHz, 815 MHz and 2.497 GHz in the house by electromagnetic simulation using supercomputer TSUBAME 2.5. The comparison between the simulation and measurement results is discussed.

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

1. まえがき

近年、電気自動車や家庭用電子機器など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無線機器の誤作動の要因になり得るため、漏えい電磁界の強度規制値が盛んに議論されている。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となっており、様々な設置環境における定量的な評価が WPT システムの実現には必要不可欠である。

例えば、戸建て住宅では、WPT システムの近傍に様々な無線通信機器が存在し、それらに影響を及ぼす恐れのある周波数帯の漏えい電磁界評価が必要である。しかしなが

ら、戸建て住宅内全体の漏えい電磁界強度を測定するには膨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分布を解析することが望ましい。したがって、WPT システムの設置が想定される戸建て住宅や商用施設における、広範囲の周波数領域の漏えい電磁界の解析技術が必要である。戸建て住宅全体を含む電磁界シミュレーションは大規模な空間メッシュでの解析となるため、並列処理によって大規模メッシュの解析が可能なスーパーコンピュータの利用が有効となる。

本利用課題では、ラジオ受信機、携帯端末、無線 LAN ルータへの干渉を想定し、WPT システムの高調波である 87 MHz, 815 MHz, 2.497 GHz の漏えい電界の戸建て住宅内特性をスーパーコンピュータ TSUBAME2.5[3]を用いて

電磁界解析する。戸建て住宅及び漏えい電界の波源をモデリングして住宅モデル内の漏えい電界分布を解析し、住宅内における一部の場所での測定結果と比較することで、解析モデルの妥当性を検証する。また、各周波数における使用ノード数と解析時間の関係を把握し、電磁界シミュレーションにおける TSUBAME2.5 活用の有効性を検討する。

2. 解析モデルと解析条件

表 1 に解析条件を示す。計算機システムはスーパーコンピュータ TSUBAME2.5、電磁界解析には有限積分法を用いた電磁界シミュレータである CST 社の MICROWAVE STUDIO[4]を使用する。解析周波数は、ラジオ受信機、携帯端末、無線 LAN ルータへの干渉を想定し 87 MHz、815 MHz、2.497 GHz としている。

表 1 解析条件

計算機システム	TSUBAME 2.5	
電磁界解析	MICROWAVE STUDIO	
解析周波数	87 MHz, 815 MHz, 2.497 GHz	
波源	87 MHz	直径 5cm 巻き数 3T コイル
	815 MHz	88.5×88.5 mm パッチアンテナ
	2.497 GHz	28.9×28.9 mm パッチアンテナ
受信機器	87 MHz	電界プローブ
	815 MHz	スマートフォン
	2.497 GHz	無線 LAN ルータ
住宅モデル	戸建て実験住宅モデル	
波源の配置位置	1 階リビングの TV ラック内	
受信機器の配置位置	1 階キッチン、2 階子供部屋	

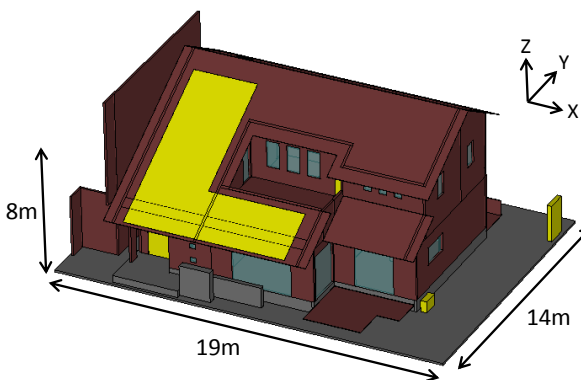


図 1 解析モデル (戸建て実験住宅)

図 1 に本検討で用いる住宅モデルを示す。住宅モデルとして、パナソニック保有の戸建て実験住宅をモデリングしている。住宅モデルの大きさは 19×14×8 m である。

図 2 に波源モデルを示す。それぞれの周波数で高い電界強度を放射するために周波数ごとに波源モデルを設計しており、87 MHz では直径 5 cm 巻き数 3T のスパイラルコイル、815 MHz では 88.5×88.5 mm 素子のパッチアンテナ、2.497 GHz では 28.9×28.9 mm 素子のパッチアンテナを波源として用いる。

図 3 に受信機器モデルを示す。87 MHz では電界プローブ、815 MHz ではスマートフォン (端末下部のモノポールアンテナ)、2.497 GHz では無線 LAN ルータ (端末側部のダイポールアンテナ) を受信機器として用いる。

図 4 に波源の配置位置及び観測区間の場所 (=受信機器の配置位置) を示す。波源は 1 階リビングの壁掛け TV への電力伝送を想定し、1 階リビング壁面の TV ラック内に配置している。波源の配置向きは、図 1 及び図 2 の座標軸

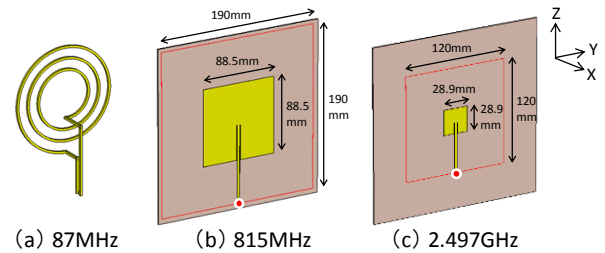


図 2 解析モデル (波源)

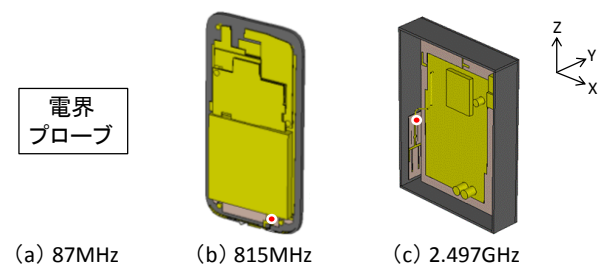


図 3 解析モデル (受信機器)

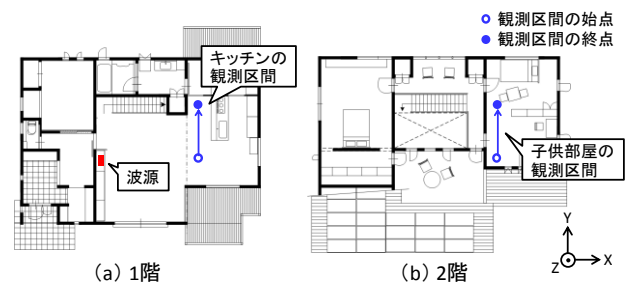


図 4 波源の配置位置と観測区間 (受信機器の位置)

の通りであり、壁面に対してコイルまたはパッチアンテナが水平 (=地面に対して垂直) となる。また、様々な無線機器の設置が想定される1階キッチン及び2階子供部屋に図3の受信機器を配置し、図4に示す観測区間内を移動させた場合の電界強度または受信電力を観測する。

3. 解析結果と測定結果の比較

本章では、住宅内の漏えい電界について解析結果と測定結果を比較検証し、解析モデルを構築する。解析周波数 87 MHz, 815 MHz, 2.497 GHz の順で検討し、全ての周波数において解析結果と測定結果の差が小さい解析モデルの構築が目標である。

3.1. 87 MHz の解析結果と測定結果の比較

87 MHz では、解析結果と測定結果の比較の指標として電界プローブで観測した電界強度を用いる。

図5に初期住宅モデルを示す。初期住宅モデルは、住宅モデルの各構造に設定する材質を4種類のみとした簡易モデルであり、屋根・外壁・内壁の材質を木に、地面・石垣の材質をコンクリートに、玄関のドア・浴室・太陽光パネル・屋外設備の材質を金属に、窓ガラスの材質をガラスに設定している。

図6に初期住宅モデルにおける電界強度の解析結果と測定結果の比較を示す。波源の送信電力は10 dBmとし、

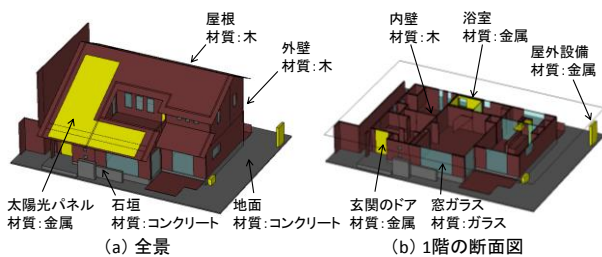


図5 初期住宅モデル

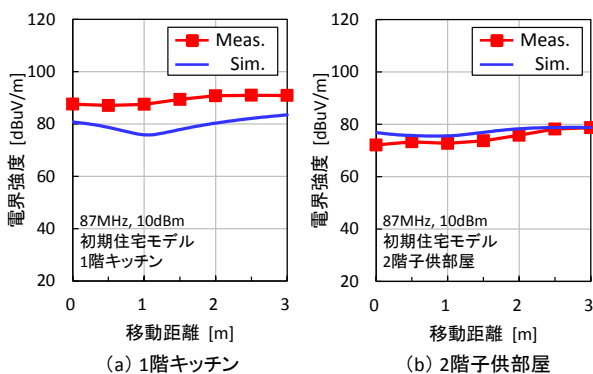


図6 初期住宅モデルでの電界強度 (87 MHz)

電界プローブを1階キッチン及び2階子供部屋の観測区間内を移動させた場合の電界強度の解析結果と測定結果を記載している。電界強度は3軸合成値とした。図6より、1階キッチンにおいて解析結果と測定結果の電界強度の差が大きいことがわかる。これは、初期住宅モデルに実験住宅との差異があるためと考えられ、住宅モデルの改良が必要である。

図7に住宅モデルの改良箇所を示す。初期住宅モデルと実験住宅との差分として、以下の8項目を抽出した。

- ① 基礎のコンクリート内部の鉄筋を追加
- ② 階層間の金属製の梁を追加
- ③ バルコニー床の材質を変更 (鋼板を模擬)
- ④ 階段手すりの金属製の支柱を追加
- ⑤ 窓ガラスの材質を変更 (UV カットガラスを模擬)
- ⑥ 屋根の材質を変更 (遮熱仕様鋼板を模擬)
- ⑦ 外壁の材質を変更 (サイディング材を模擬)
- ⑧ 内壁と天井の材質を変更 (石膏ボードを模擬)

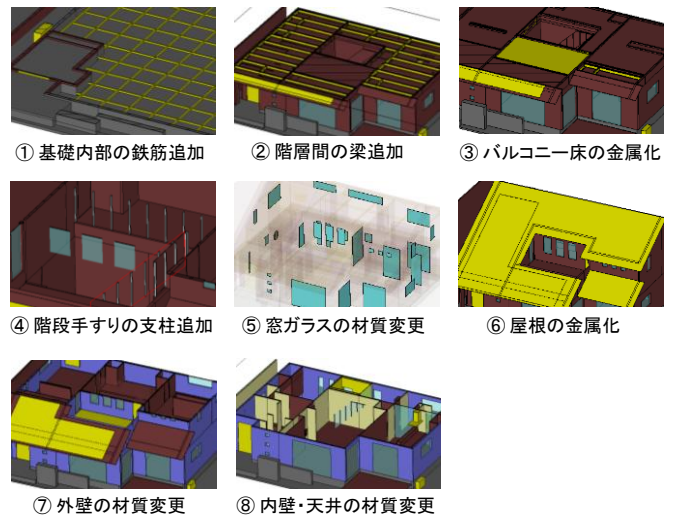


図7 住宅モデルの改良箇所

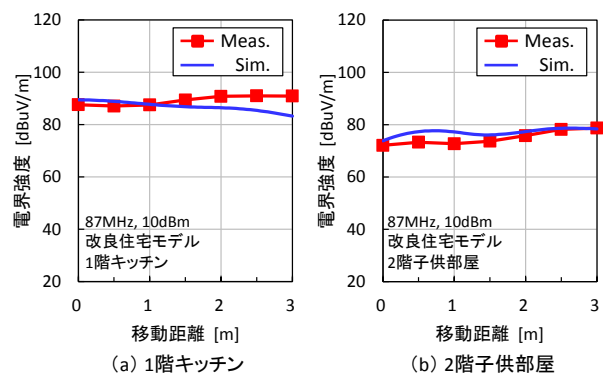


図8 改良住宅モデルでの電界強度 (87 MHz)

図 8 に①～⑧の項目を全て反映した改良住宅モデルにおける電界強度の解析結果と測定結果の比較を示す。初期住宅モデルでは差が大きかった 1 階キッチンで解析結果の電界強度が増大し、測定結果との差分が低減することが確認できる。改良住宅モデルを用いることで、観測区間における解析結果と測定結果の電界強度の区間平均値の差分を 1 階キッチンでは 2.2 dB、2 階子供部屋では 2.0 dB まで低減できている。また、①～⑧の項目をそれぞれ検証した結果、①基礎内部の鉄筋追加、③バルコニー床の金属化、⑦外壁の材質変更が 87 MHz の電界強度に与える影響が特に大きいことを確認している。

3.2. 815 MHz の解析結果と測定結果の比較

815 MHz では、解析結果と測定結果の比較のための指標として、受信機器（スマートフォン）で観測した受信電力から波源の送信電力を減算することで算出した伝搬損失を用いる。住宅モデルとしては、87 MHz で構築した改良住宅モデルを使用する。

図 9 に改良住宅モデルにおける伝搬損失の解析結果と測定結果の比較を示す。815 MHz では波長が観測区間よりも短く、区間にヌルが多数存在するため、伝搬損失の

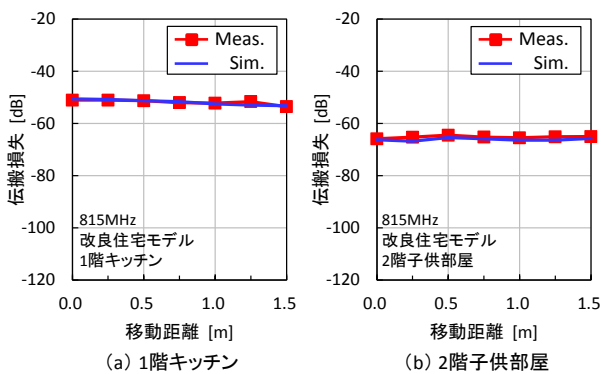


図 9 改良住宅モデルでの伝搬損失 (815 MHz)

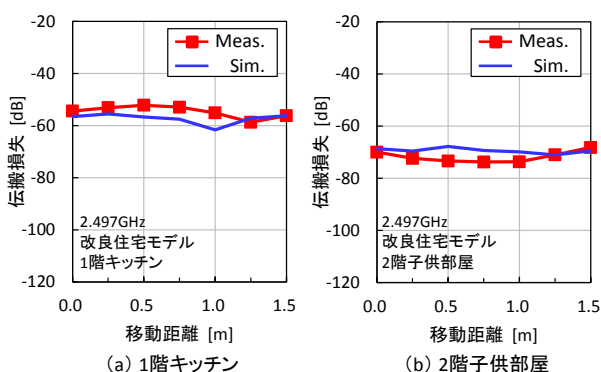


図 10 改良住宅モデルでの伝搬損失 (2.497 GHz)

移動区間中央値（区間長：4 波長）を算出してグラフに記載している。図 9 より、1 階キッチン、2 階子供部屋共に解析結果と測定結果の電界強度がよく一致することが確認できる。観測区間における区間中央値の差分は 1 階キッチンでは 0.1 dB、2 階子供部屋では 1.5 dB である。

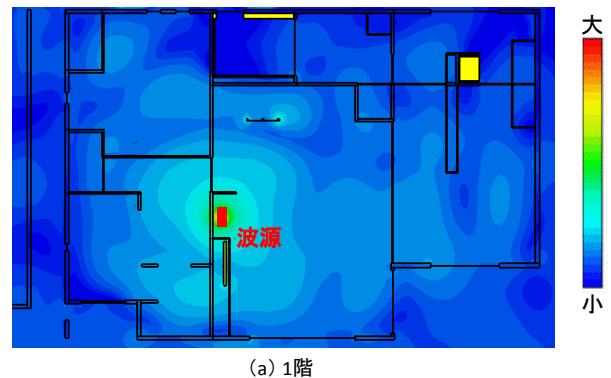
3.3. 2.497 GHz の解析結果と測定結果の比較

2.497 GHz では、815 MHz の場合と同様に、解析結果と測定結果の比較のための指標として伝搬損失を用いる。住宅モデルは 87 MHz 及び 815 MHz と同様の改良住宅モデルを使用する。

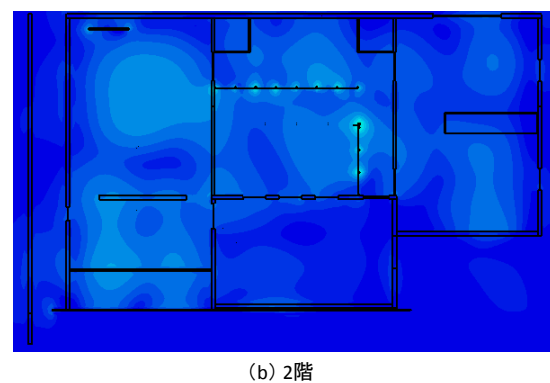
図 10 に改良住宅モデルにおける伝搬損失の解析結果と測定結果の比較を示す。815 MHz の場合と同様、伝搬損失の移動区間中央値（区間長：4 波長）をグラフに記載している。電界強度の区間中央値の差分は 1 階キッチンでは 2.3 dB、2 階子供部屋では 3.3 dB 程度である。2.497 GHz においても、87 MHz 及び 815 MHz と同様の改良住宅モデルを用いることで解析結果と測定結果がよく一致しており、本解析モデルは妥当であると考えられる。

4. 住宅内の漏えい電界分布の解析

本章では、3 章で構築した解析モデルを用いて、各解析周波数の住宅内における漏えい電界を解析する。



(a) 1階



(b) 2階

図 11 住宅内における電界分布 (87 MHz)

図 11, 図 12, 図 13 に 87 MHz, 815 MHz, 2.497 GHz の住宅内電界分布の解析結果をそれぞれ示す. 住宅モデルは改良住宅モデル, 波源は表 1 及び図 2 で説明した通りであり, 送信電力は各周波数で同様としている. 図 11~図 13 の比較により, 波源の違い (87 MHz: 微小コイル, 815 MHz 及び 2.497 GHz: パッチアンテナ) による電界分布の差や, 周波数が高いほど漏えい電界の直進性が強まる傾向などが確認できる.

5. 解析モデルのメッシュ数と解析時間

表 2 に各解析周波数におけるメッシュ数, ノード数, 解析時間の関係を示す. それぞれ改良住宅モデルでの値を記載している. 本検討で用いた電磁界シミュレーションでは, 周波数に応じて解析メッシュ数が指数関数的に増大し, 膨大な解析時間が必要となる. このため, 815 MHz では TSUBAME 2.5 による 16 ノード並列計算, 2.497 GHz では 56 ノード並列計算を用い, 解析時間を約 10 時間に抑えた.

6. まとめ

本利用課題では, スーパーコンピュータ TSUBAME2.5 を用いて, 漏えい電界の住宅内特性を電磁界シミュレーションにより解析した. 解析結果と測定結果を比較することで, 住宅の基礎内部の鉄筋や外壁の材質が漏えい電界に与える影響が大きいことを把握した. 測定結果と傾向が一致

する解析モデルを構築し, 住宅内における 87 MHz, 815 MHz 及び 2.497 GHz の漏えい電界分布を解析した. TSUBAME2.5 の 56 ノード並列計算により約 52 億メッシュのモデルを約 10 時間で解析でき, 電磁界シミュレーションにおける TSUBAME2.5 の有用性を確認した.

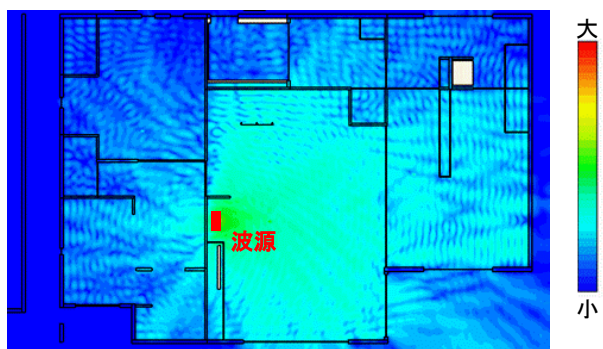
なお, 本研究は総務省平成 26 年度電波資源拡大のための研究開発「ワイヤレス電力伝送による漏えい電波の環境解析技術の研究開発」の一部である.

参考文献

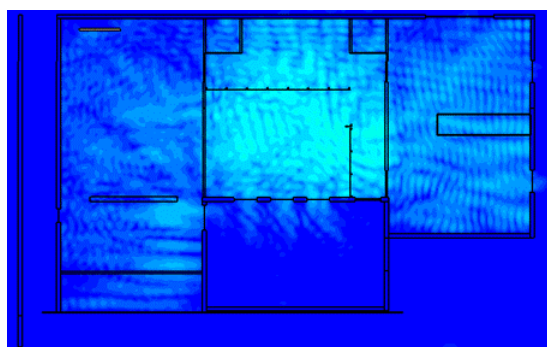
- [1] Q. Chen et al., "Antenna Characterization for Wireless Power Transmission System Using Near Field Coupling," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 54, No. 4, Aug. 2012.
- [2] J. Kim et al., "Electromagnetic Interference and Radiation from Wireless Power Transfer Systems," 2014 IEEE International Symposium on Electromagnetic 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/>)

表 2 メッシュ数・ノード数・解析時間の関係

解析周波数	メッシュ数	ノード数	解析時間
87 MHz	0.5 億	1	4 時間
815 MHz	11 億	16	10 時間
2.497 GHz	52 億	56	10 時間

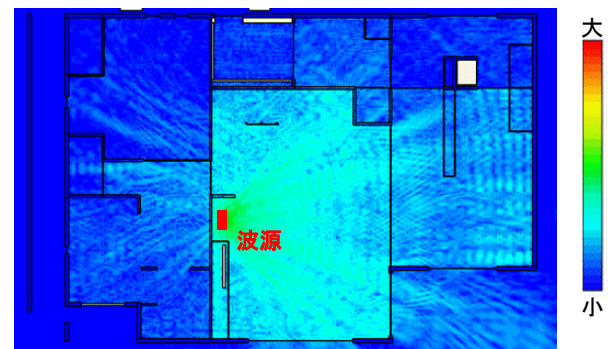


(a) 1階

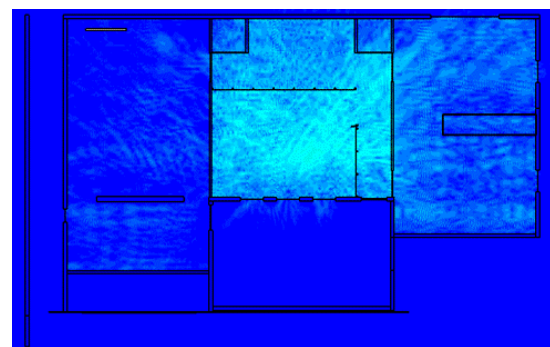


(b) 2階

図 12 住宅内における電界分布 (815 MHz)



(a) 1階



(b) 2階

図 13 住宅内における電界分布 (2.497 GHz)