

TSUBAME 共同利用 平成 29 年度 産業利用 成果報告書

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

Research and development of environment analysis technique of leaked electromagnetic field from wireless power transfer

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&D Lab. Co., Ltd

<https://panasonic.co.jp/cns/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 システムの設置が想定される戸建て住宅や商業施設などの環境では近傍に様々な無線機器が存在するため、それらに影響を及ぼす恐れのある周波数帯での漏えい電磁界特性の評価が必要である。しかしながら、戸建て住宅や商業施設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、シミュレーションでは解析空間サイズが大規模になる課題がある。筆者らはこれまでスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて戸建て住宅及び商業施設における漏えい電磁界を解析し、鉄筋や外壁などの建材が漏えい電磁界特性に大きな影響を与えることを示した。本利用課題では、より実際に近い WPT 使用環境を想定し、商業施設内に複数台の WPT システムが併設される場合や、商業施設周辺に多数の建造物が存在する場合の漏えい電磁界を解析する。

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, it is required to quantitatively evaluate the electromagnetic interference. In the housing or commercial facilities environment, the WPT system is located generally close to other various devices. If the frequencies of the fundamental and high-harmonic component of the WPT system are overlapped with operating frequency of these devices, the electromagnetic field leaked from the WPT system threatens to interfere with these devices. Thus, it is required to quantitatively evaluate the leaked electromagnetic field at various frequencies. The measurement in the whole house or commercial facilities involves immense amount of time and effort, and the simulation requires the enormous analysis size. Therefore, we have analyzed leaked electromagnetic fields in the housing or commercial facilities environment by using supercomputer TSUBAME 2.5. It was confirmed that architectural materials, the steel mesh structure and exterior wall, especially affect the electromagnetic field in the house simulation. In this paper, assuming an environment close to actual use case of the WPT system, we analyze the leaked electromagnetic field property under simultaneous operating condition of multiple WPT systems by using supercomputer TSUBAME 2.5.

Keywords: Electromagnetic simulation, Ray launching, 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。例えば住宅環境においては、WPT システムの近傍に様々な無線機器が存在し、それら被干

渉機器に影響を及ぼす恐れのある周波数帯 (kHz 帯から GHz 帯) の漏えい電磁界評価が重要となる。

しかしながら、住宅環境等の WPT 設置環境全体における漏えい電磁界の測定には多大な時間と労力がかかるため、シミュレーションを用いて解析することが望ましい。住宅環境全体を含むシミュレーションの解析空間は大規模なものになるため、並列演算による大規模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[3]。

平成 27 年度及び 28 年度の利用課題において、筆者らは、WPT システムや各種無線機器などが密集して設置される環境の 1 つとして戸建て住宅または商

業施設を含む空間に WPT 波源を配置し、漏えい電磁界の分布状況を解析することで、住宅を構成する鉄筋や外壁などの建材が漏えい電磁界特性に大きな影響を与えることを示した。本年度は、より実際に近い使用環境を想定し、商業施設内に複数台の WPT システムが併設され同時動作する場合や、商業施設周辺に多数の建造物が立地している場合の漏えい電磁界を解析する。

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 87MHz, 3.5GHz, 5.3GHz の漏えい電磁界をスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 [4]を用いて解析する。漏えい電磁界の波源と商業施設をモデリングして商業施設モデル内外の漏えい電磁界を解析し、商業施設内に複数台の WPT 波源がある場合や商業施設周辺に多数の建造物が存在する場合の漏えい電磁界特性を求める。また、商業施設を含む解析空間サイズの変更により解析で考慮する周辺建造物の範囲を変化させ、妥当な解析に必要な周辺建造物のモデル化範囲を検証する。なお、87MHz の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[5]を、3.5GHz 及び 5.3GHz の解析には筆者らが開発した Ray Launching 法を用いた電波伝搬シミュレータ[3]を使用して解析する。

2. 電磁界解析による漏えい電磁界の解析

本章では、漏えい電磁界によるラジオ受信機への干渉を想定し、WPT システムの高調波である 87MHz の漏えい電界特性を電磁界解析手法（有限積分法）により解析する。

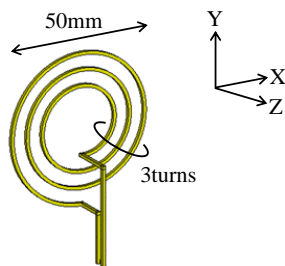


図 2.1 解析モデル（波源）

2.1 波源モデル

図 2.1 に本章で用いる波源モデルを示す。直径 50mm, 巻き数 3T のスパイラルコイルを 87MHz の波源として用いる。

2.2 商業施設における漏えい電磁界の解析

本節では、商業施設をモデリングして WPT 波源を複数個配置し、複数の波源が同時動作する場合の商業施設モデル内外の漏えい電界を解析する。

2.2.1 シミュレーション条件

表 2.1 にシミュレーション条件を示す。計算機システムは TSUBAME 2.5, 有限積分法の電磁界解析を用い、解析周波数は FM ラジオ帯の 87MHz とし、6.78MHz (家電モバイル機器の充電向け) の 13 次高調波を想定した。波源は 2.1 節で説明したモデルを

表 2.1 シミュレーション条件

計算機システム	TSUBAME 2.5	
解析手法	有限積分法電磁界解析	
解析周波数	87MHz	
出力	30dBm	
波源	87MHz	直径 50mm, 巻き数 3T コイル
解析モデル	商業施設モデル	
波源の配置位置	商業施設内イートインスペースのテーブル裏	
波源の配置数	2, 5, 10	
解析対象エリア	商業施設含む 40×40×10m エリア	

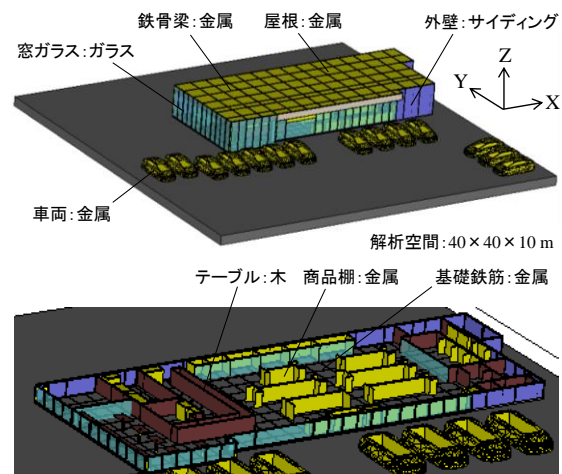


図 2.2 解析モデル（商業施設）

用い、送信電力は 30dBm とした。

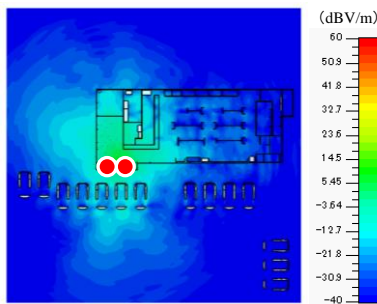
図 2.2 に商業施設モデルを示す。商業施設及びその周辺の駐車場を含む解析空間のサイズは 40×40×10m である。波源は前述の通り家電モバイル機器の充電向けを想定しているため、商業施設内イートインスペースのテーブル裏に配置する（床からの高さは 0.75m となる）。波源の向きは図 2.1 及び図 2.2 の座標軸の通りであり、地面に対してコイル開口面が水平となる。波源の数は 2, 5, 10 の 3 通りとした。

2.2.2 評価結果

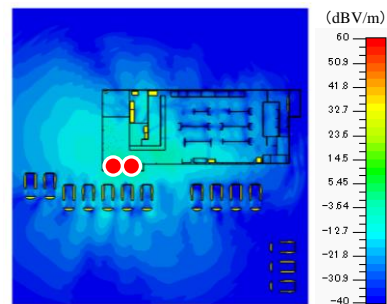
図 2.3 及び図 2.4 に 87MHz における商業施設内とその周辺での漏えい電界分布を示す。地面から 1m の高さにおける水平面 (XY 面) の分布を記載しており、波源の配置位置を赤丸で示している。2 波源

の場合は駐車場近傍のイートインスペース配置、5 波源の場合は駐車場から最遠の配置、10 波源の場合は最悪条件としてイートインスペース全域に配置した。また、複数の波源が同時動作する場合、波源間の位相差によって漏えい電界強度は変動するため、各波源間の位相差無しの場合と位相差有り(等間隔, 2 波源: 180°刻み/5 波源: 72°刻み/10 波源: 36°刻み)の 2 通りを解析した。

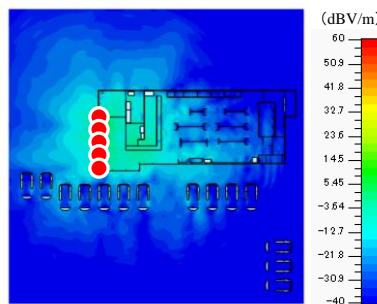
図 2.3, 図 2.4 より、波源の数が増えると漏えい電界強度が増加する傾向や、波源間の位相差によって漏えい電界分布が変化することが確認できる。また、波源として用いたコイルは水平面無指向性のため、漏えい電界は基本的には波源を中心に放射状に分布するが、各構造物の影響による電界強度の変動が見られる。



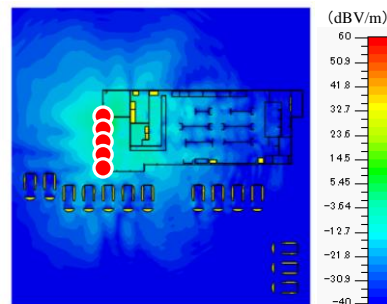
(a) 2 波源



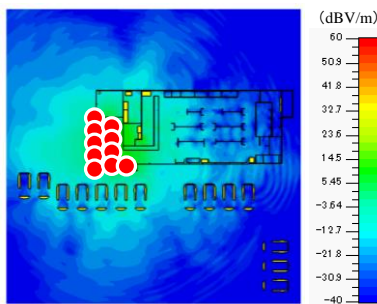
(a) 2 波源



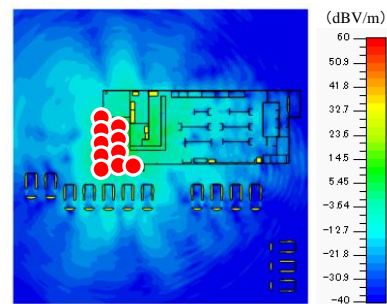
(b) 5 波源



(b) 5 波源



(c) 10 波源



(c) 10 波源

図 2.3 漏えい電界分布 (波源間の位相差無し)

図 2.4 漏えい電界分布 (波源間の位相差有り)

3. 幾何光学的電波伝搬解析による漏えい電磁界の解析

本章では、携帯端末及び無線 LAN ルータへの干渉を想定し、WPT システムの高調波である 3.5GHz 及び 5.3GHz の漏えい電界特性を幾何光学伝搬解析手法 (Ray Launching 法) により解析する。

3.1 波源及び受信機器モデル

図 3.1 に本章で用いる波源モデルを示す。各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、3.5GHz では 20.3×20.3mm 素子のパッチアンテナを波源として用いる。また、無線機器そのものの特性を含まない基本的な漏えい電磁界を解析するため、受信機器をダイポールアンテナで模擬する。

3.2 商業施設における漏えい電磁界の解析

本節では、解析空間サイズをパラメータとして、商業施設モデルに WPT 波源と受信機器を配置し、受信機器を移動させたときのパスロス解析する。

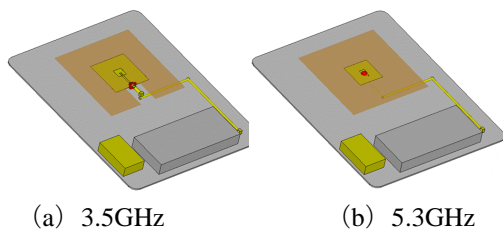


図 3.1 解析モデル (波源)

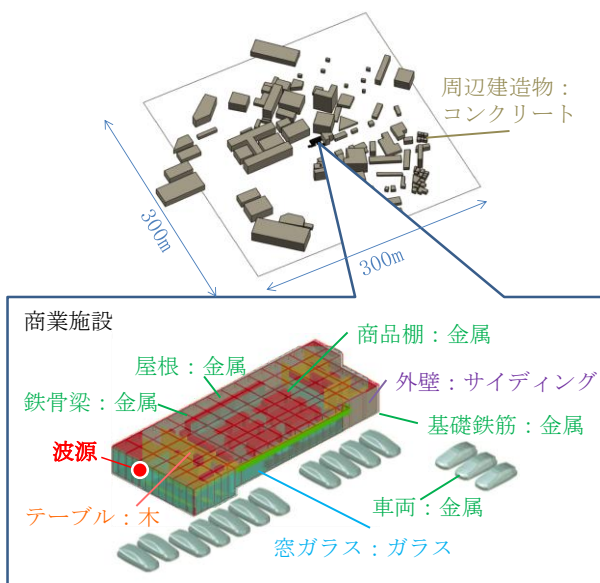


図 3.2 商業施設モデルと波源の配置位置

3.2.1 シミュレーション条件

表 3.1 にシミュレーション条件を示す。波源は 3.1 節で示したパッチアンテナを用い、受信機器はダイポールアンテナとした。なお、送信電力は 10dBm とした。

図 3.2 に商業施設モデルと波源の配置位置を示す。商業施設を中心として、周辺の建造物をモデリングしている。波源は前章同様に、商業施設内のイートインスペースのテーブル裏に配置する。受信機器は図 3.3 に示すように商業施設を含む 40×40m の空間に 0.1m 間隔で格子状に配置しており、受信機器設置位置数は 160,000 点となる。配置高さは 1m とした。図 3.4 に評価する解析空間サイズの条件を示す。解析空間サイズとしては、商業施設を中心として 40×40m, 120×120m, 200×200m, 280×280m の範囲を抽出した 4 種類とする。図 3.5 に示すように、解析空間の境界上にある建造物については解析空間内の壁面のみ残すように設定した。

表 3.1 シミュレーション条件

計算機システム	TSUBAME 2.5	
解析手法	Ray Launching 法電波伝搬解析	
解析周波数	3.5GHz, 5.3GHz	
出力	10dBm	
波源	3.5GHz	20.3×20.3mm パッチアンテナ
	5.3GHz	12.6×12.6mm パッチアンテナ
受信機器	ダイポールアンテナ	
解析モデル	商業施設及び周辺建物モデル	
波源の配置位置	商業施設内イートインスペースのテーブル裏	
解析対象エリア	商業施設含む 40×40×10m エリア	

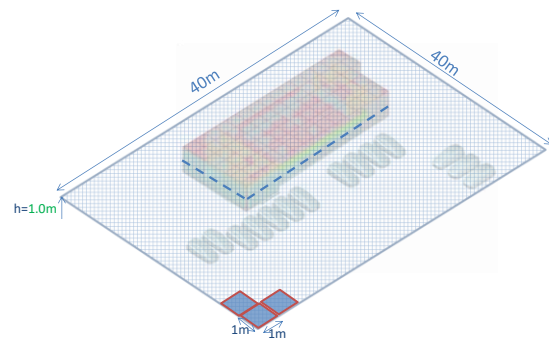


図 3.3 受信機器設置位置

ここで、各受信点ではマルチパスフェージングによるパスロスの瞬時変動が含まれるため、図 3.3 の青色の四角で示すように、1m 四方の領域ごとに 100 受信点のパスロスの中央値を算出する。各解析空間サイズにおいて、図 3.4 に示す全エリア (600×600m) の結果を基準として 1m 四方の領域ごとにパスロス中央値の差分を算出し、その中央値差分の累積確率分布を求める。本解析では、累積確率 10%、50%、90%それぞれにおけるパスロス中央値差分により、解析空間サイズの影響を評価する。

3.2.2 評価結果

図 3.6 に解析空間サイズを変更した場合のパスロス中央値差分の累積確率分布を示す。また、表 3.2 に累積確率 10%、50%、90%におけるパスロス中央

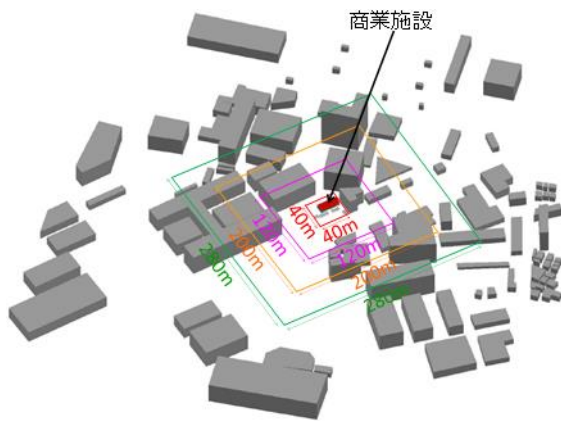


図 3.4 解析空間サイズ (全エリア 600×600m)

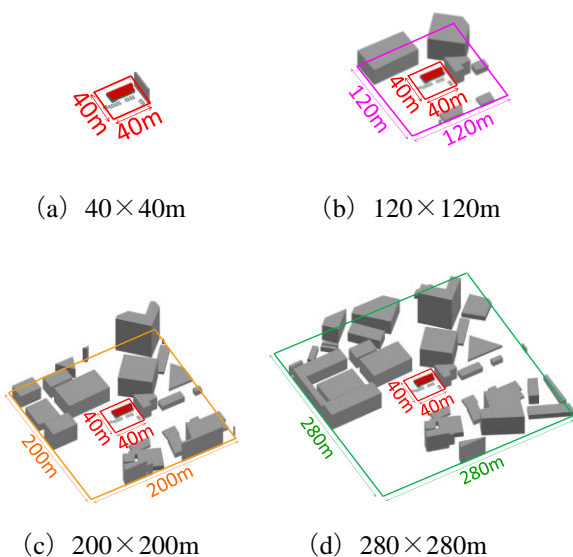
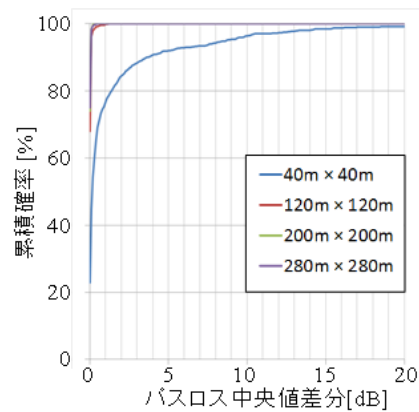


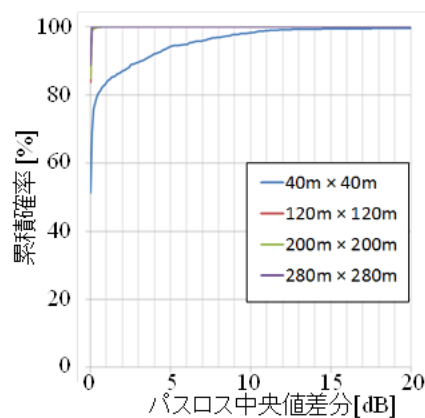
図 3.5 各解析空間サイズの建物モデル

値の差分を示す。これらの結果から、解析空間サイズが 120×120m 以上でパスロス中央値の解析結果が収束することがわかる。

図 3.7 に 3.5GHz の各解析空間サイズにおけるパスロス分布を示す。図 3.7 (a) 40×40m の波源の左側の領域において、他条件と比較してパスロス分布の傾向が異なっているが、これ以外では全条件でほぼ同等の分布となっている。この要因を推測するため、差分が発生している箇所のレイ軌跡を解析する。図 3.8 に 40×40m、120×120m の解析空間サイズにおけるレイ軌跡をそれぞれ示す。40×40m の条件では商業施設の外壁からの透過波のみが到達しているのに対し、120×120m の条件では周辺建造物からの反射波が多数到来することが確認できる。この結果から、波源近傍の建造物からの反射波がパスロス分布の傾向が異なる主要因であるとわかった。また、5.3GHz においても 3.5GHz と同様の分布となる。



(a) 3.5GHz



(b) 5.3GHz

図 3.6 各解析空間サイズでのパスロス中央値差分の累積確率分布

4 まとめ

本利用課題ではスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて商業施設における漏えい電磁界特性を解析した。より実際に近い WPT 使用環境を想定し、複数の波源が同時動作する場合を解析、波源間の位相差により漏えい電界強度が変動することを確認した。また、解析空間サイズをパラメータとして解析で考慮する商業施設周辺の建造物の影響を検証した。TSUBAME 2.5 を用いることで、商業施設及びその周辺建造物を含む大規模なモデルを解析でき、有限積分法電磁界解析及び Ray launching 法電波伝搬解析における TSUBAME 2.5 の有用性を確認した。

なお、本研究は総務省平成 27 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。

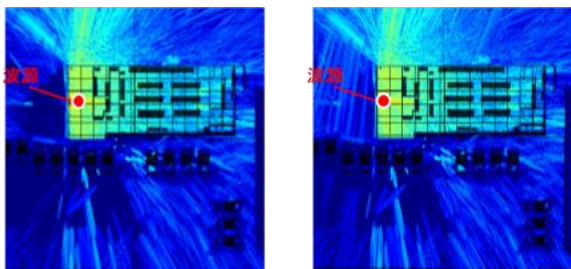
表 3.2 各累積確率におけるパスロス中央値差分

(a) 3.5GHz

解析空間サイズ	累積確率		
	90%	50%	10%
40×40m	4.9dB	0.1dB	0.0dB
120×120m	0.1dB	0.0dB	0.0dB
200×200m	0.1dB	0.0dB	0.0dB
280×280m	0.1dB	0.0dB	0.0dB

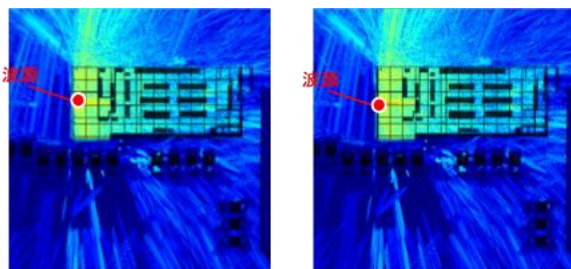
(b) 5.3GHz

解析空間サイズ	累積確率		
	90%	50%	10%
40×40m	4.9dB	0.1dB	0.0dB
120×120m	0.1dB	0.0dB	0.0dB
200×200m	0.1dB	0.0dB	0.0dB
280×280m	0.1dB	0.0dB	0.0dB



(a) 40×40m

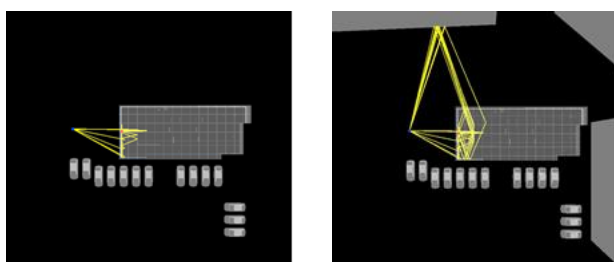
(b) 120×120m



(c) 200×200m

(d) 280×280m

図 3.7 3.5GHz におけるパスロス分布



(a) 40×40m

(b) 120×120m

図 3.8 3.5GHz におけるレイ軌跡

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] K. Takagi, T. Yui, M. Anada, T. Izumi, H. Uno, H. Watanabe and Y. Saito, "Analysis of Electromagnetic Field Leaked from Wireless Power Transfer System in Case-study House," WPTC 2015, P2.5, May 2015.
- [4] 東京工業大学 学術国際情報センター, TSUBAME (<http://www.gsic.titech.ac.jp/tsubame>).
- [5] CST MICROWAVE STUDIO (<http://www.cst.com/>)