

TSUBAME 共同利用 平成 27 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.

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

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。また、WPT システムが住宅内または商業施設内に複数配置されるケースや、近隣住宅まで影響が及ぶケースが想定され、そのような場合の漏えい電磁界特性を把握する必要がある。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。そこで本利用課題では、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて、戸建て住宅または商業施設全体を含む大規模な空間における漏えい電磁界を解析し、測定結果との比較による妥当性の検証や、複数の WPT が同時動作する場合の漏えい電磁界特性を検討する。

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. In addition, the study of its performance in simultaneous operating condition of multiple WPT systems is critical issue since they often are severally located in living, dining or bed rooms in residential house and are in operation at the same time. However, the measurement in the whole house or commercial facilities involves immense amount of time and effort, and the simulation requires the enormous analysis size. In this paper, we simulate the leaked electromagnetic field in the house and the commercial facilities by using supercomputer TSUBAME 2.5, and evaluate the validity of the simulation.

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 システムの近傍にラジオ受信機や携帯端末、無線 LAN ルータなどの無線機器が存在し、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。WPT システムのユースケースを考慮すると、WPT システムが住宅内や商業施設内に複数配置されるケースや、近隣住宅まで影響が及ぶケースが想定され、そのような場合の漏えい電磁界特性を把握する必要がある。

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るため、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。戸建て住宅または商業施設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、並列演算によって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]。

そこで本利用課題では、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, 815MHz, 3.5GHz, 5.3GHz の漏えい電磁界の戸建て住宅内及び商業施設内外における特性を、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5[4]を用いて解析する。戸建て住宅、商業施設及び漏えい電磁界波源をモデリングして漏えい電磁界を解析し、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、複数の WPT が同時動作する場合として 3 個の波源を同時励振した場合の漏えい電磁界特性や、商業施設を用いた大規模解析での解析空間サイズと計算時間の関係を検討する。なお、87MHz, 815MHz 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, 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測定と解析

本章では、ラジオ受信機及び携帯端末への干渉を想定し、WPT システムの高調波である 87MHz 及び

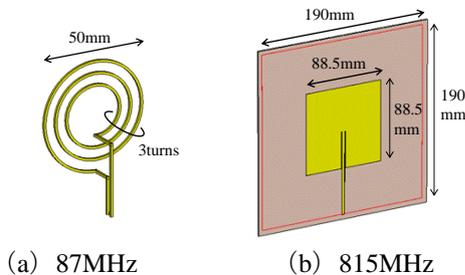


図 2.1 解析モデル (波源)

表 2.1 測定及び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, 815MHz	
送信電力	10dBm	
波源	87MHz	直径 50mm スパイラルコイル
	815MHz	88.5×88.5mm パッチアンテナ
解析モデル	実験住宅モデル	
波源の配置位置	住宅 A の部屋 A, C, D	
観測区間の位置	住宅 A の部屋 B, 住宅 B の部屋 F	

815MHz 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。

2.1 波源モデル

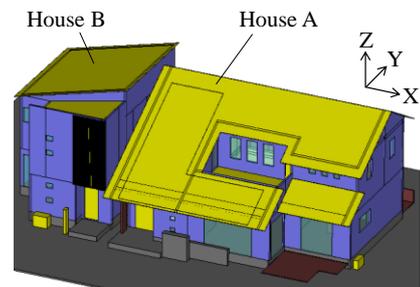
図 2.1 に本章で用いる波源モデルを示す。各周波数で高い電界強度を放射するために周波数ごとに波源モデルを設計しており、87MHz では直径 50mm 巻き数 3 のスパイラルコイル、815MHz では 88.5×88.5mm 素子のパッチアンテナを波源として用いる。

2.2 実験住宅における漏えい電磁界の測定と解析

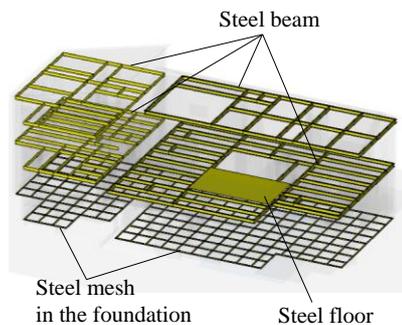
本節では、戸建て住宅としてパナソニック保有の実験住宅をモデリングし、住宅内での漏えい電界を解析する。住宅内の一部の場所での測定結果と比較することで解析モデルの妥当性を確認した上で、複数の WPT が同時動作する場合の漏えい電界特性を解析する。

2.2.1 測定及びシミュレーション条件

表 2.1 に測定及びシミュレーション条件を示す。解析手法は有限積分法電磁界解析を用い、実験住宅全体を含む電磁界シミュレーションを可能にするた



(a) 全景



(b) 内部金属構造

図 2.2 解析モデル (実験住宅)

め、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を利用する。特に数 100MHz を超える周波数帯域では 10m を超えるサイズの解析空間は数 10 億メッシュの大規模なメッシュ数となるため、並列処理による解析の高速化が必要不可欠である。

図 2.2 に実験住宅モデルを示す。パナソニック保有の実験住宅をモデリングしたものであり、延べ床面積 176m² の住宅 A と延べ床面積 102m² の住宅 B が隣接した構成となっている。それぞれの壁面の位置や寸法は実構造に準拠しており、材質も実構造と同等に設定した。また、図 2.2 (b) に示す基礎内部の鉄筋や階層間の金属梁などの金属構造が漏えい電磁界特性に大きな影響を与えることがわかっているため[3]、これらの構造もモデリングしている。実験住宅全体を含む解析空間のサイズは 32×21×8m である。

図 2.3 に波源及び漏えい電界の観測区間の位置を示す。各部屋の WPT システムが同時動作するユースケースを想定し、波源を住宅 A の部屋 A、部屋 C 及び部屋 D に 1 個ずつ配置した。配置高さはそれぞれ床から 1m である。ここで、87MHz では波源となるスパイラルコイルの開口面が地面に対し平行になるよう配置し、815MHz ではパッチアンテナの最大放射方向が図 2.3 の矢印に示す向きになるよう配置

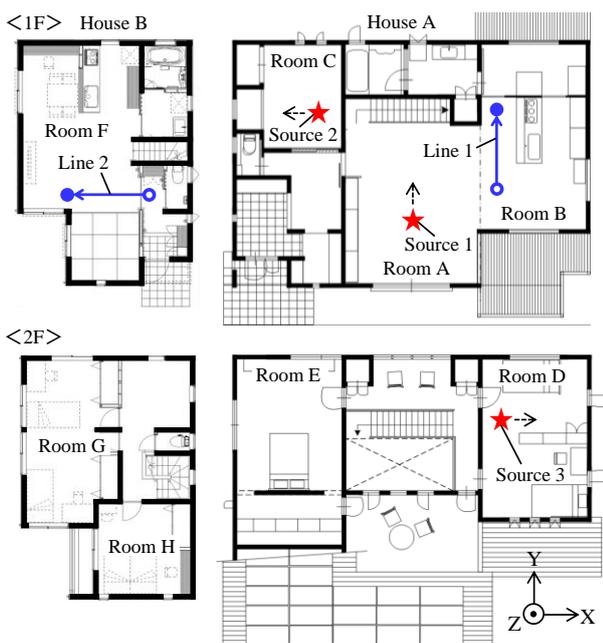


図 2.3 波源の配置位置及び観測区間の位置

している。送信電力は各波源それぞれ 10dBm とした。また、漏えい電界の観測区間は住宅 A の部屋 B の区間 1 と、隣家にあたる住宅 B の部屋 F の区間 2 を選定し、観測区間の高さもそれぞれ床から 1m とした。

2.2.2 評価結果

図 2.4 に 3 波源同時動作時の 87MHz 漏えい電界強度に対する各波源間の位相差の影響を示す。測定では各波源の位相を制御することが難しいため、漏えい電界強度の最大値と平均値を測定した。シミュレーションでは波源 1 及び波源 2 の位相を 0° で固定し波源 3 の位相を 30° 刻みで変化させ、計 12 通りを解析した。観測区間は部屋 B の区間 1 である。図 2.4 より、3 波源が同時動作する場合は各波源の位相に応じて漏えい電界強度が変動することがわかる。1 波源 (波源 1 のみ) の場合と比較すると、最大 6dB ほど漏えい電界強度が増加している。区間 1 では波源 1 からの距離と波源 3 からの距離が同程度であり、主にこれら 2 つの波源が干渉していると予想されることから、6dB 程度の電界強度の増加が起こると考えられる。測定結果とシミュレーション結果の傾向はほぼ同様となっている。

図 2.5 及び図 2.6 に 3 波源同時動作時の 87MHz 及び 815MHz の漏えい電界強度の測定結果とシミュレーション結果の比較を示す。測定では漏えい電界強度の平均値、シミュレーションでは各波源間の位相差が 0° の場合の瞬時値を示している。図 2.5 より 87MHz における区間 1 (区間 2) での測定とシミュレーションの電界強度の区間平均差分は約 2.4dB (3.8dB)、図 2.6 より 815MHz における区間平均差分は約 0.6dB (2.1dB) であり、傾向がほぼ一致する

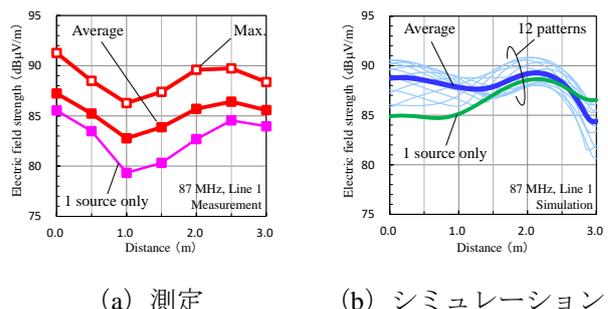


図 2.4 3 波源動作時の各波源間の位相差の影響

ことが確認できる。また、区間 2 における漏えい電界強度の区間平均値は区間 1 よりも 10dB 程度以上低くなっているが、これは外壁による透過損失及び距離減衰によるものである。

以上の結果より、本利用課題の条件では解析モデルは妥当であると考えられる。また、3 波源が同時に動作する場合には漏えい電界強度が最大 6dB 程度変動することや、隣家での漏えい電界強度は住宅壁面による透過減衰と伝搬損失によって数 10dB 程度減衰することが確認できた。

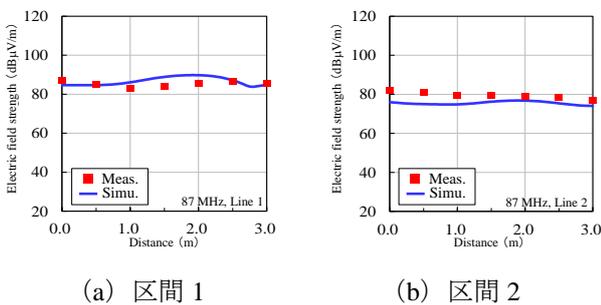


図 2.5 3 波源動作時の 87MHz 漏えい電界特性

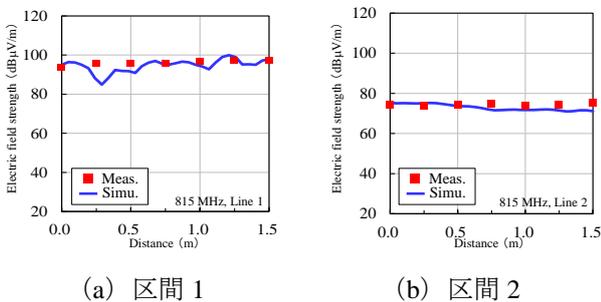


図 2.6 3 波源動作時の 815MHz 漏えい電界特性

表 2.2 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, 815MHz	
送信電力	10dBm	
波源	87MHz	直径 50mm スパイラルコイル
	815MHz	88.5×88.5mm パッチアンテナ
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	
観測区間の位置	商業施設含む $L \times L$ (m) エリア	

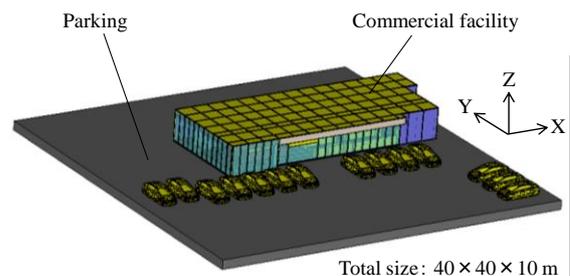
2.3 商業施設における漏えい電磁界の解析

本節では、商業施設をモデリングして商業施設内及びその周辺の漏えい電界を解析する。商業施設を含む解析空間のサイズを変化させた場合のメッシュ数、TSUBAME 並列ノード数、計算時間を比較し、解析空間サイズと計算時間の関係について検討する。

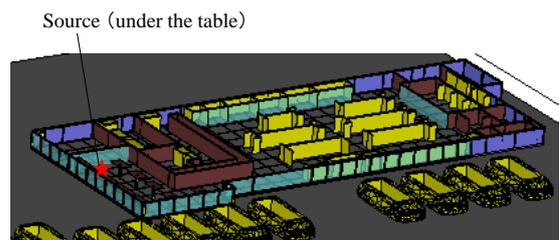
2.3.1 シミュレーション条件

表 2.2 にシミュレーション条件を示す。解析手法は有限積分法電磁界解析を用い、商業施設全体を含む電磁界シミュレーションを可能にするためスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を利用する。解析周波数は 87MHz 及び 815MHz である。

図 2.7 に商業施設モデルを示す。実店舗を想定してモデリングしたものであり、主に +X 軸側の商品陳列スペースと -X 軸側のイートインスペースを含む商業施設と、その周辺の駐車場から構成されている。それぞれの壁面などの材質は図 2.2 の実験住宅モデルを参考に設定した。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 $40 \times 40 \times 10$ m である。波源は図 2.7 (b) に示すように商業施設内イートインスペースのテーブル裏に配置し、送信電力は 10dBm としている。



(a) 全景



(b) 店舗内の断面図

図 2.7 解析モデル (商業施設)

図 2.8 に評価する解析空間サイズの条件を示す。 ΔX と ΔY を変えることで L の値を $L=40\sim 300\text{m}$ の範囲で変更し、駐車場の大きさを変えることによって解析空間サイズが計算時間に与える影響を検証する。

2.3.2 評価結果

表 2.3 に 87MHz の解析における解析空間サイズに対するメッシュ数、TSUBAME 並列ノード数、計算時間を示す。並列ノード数は 1 ノードあたり 1 億メッシュを目安に $L=40\sim 300\text{m}$ で同値の 8 ノードとしている。表 2.3 より、解析空間サイズに比例してメッシュ数が増大し、それに伴い計算時間が増加することが確認できる。87MHz では、 $L=300\text{m}$ の条件でも 4 時間以内での解析が可能である。

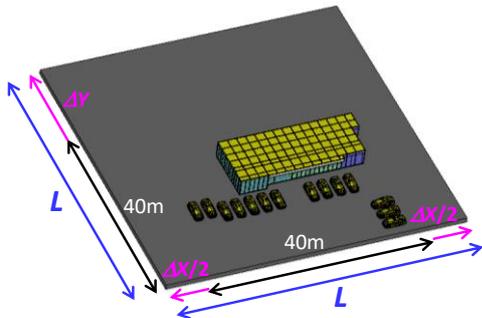


図 2.8 解析空間サイズ

表 2.3 87MHz 解析での解析空間サイズと計算時間

解析空間サイズ	メッシュ数	並列ノード数	計算時間
40×40m	0.3 億	8	0.3h
100×100m	1.2 億	8	0.7h
160×160m	2.5 億	8	1.2h
220×220m	4.4 億	8	1.9h
300×300m	7.8 億	8	3.5h

表 2.4 815MHz 解析での解析空間サイズと計算時間

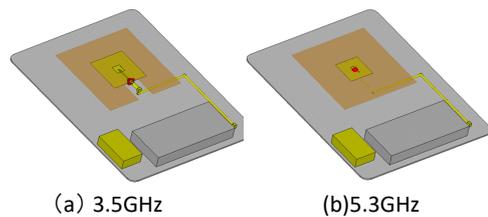
解析空間サイズ	メッシュ数	並列ノード数	計算時間
40×40m	19.3 億	80	11.2h
45×45m	23.3 億	80	16.5h
50×50m	30.2 億	80	—
60×60m	39.9 億	80	—

表 2.4 に 815MHz の解析における解析空間サイズに対するメッシュ数、TSUBAME 並列ノード数、計算時間を示す。815MHz では 87MHz と比較して波長が短いためメッシュが細かくなり、メッシュ数が大幅に増加する。このため、並列ノード数は計算機システム仕様上の限界に近い 80 ノードに設定した。表 2.4 より、 $L=40\text{m}$ の場合でも並列ノード数 80 の条件で 10 時間以上の計算時間が必要であることがわかる。 $L=50\text{m}$ 以上の解析空間サイズでは計算時間が 20 時間以上となることが予想され、実用レベルでないと考えられる。

以上の結果より、本利用課題の条件では、解析空間サイズ及び解析周波数に応じてメッシュ数が増大し、それに伴って計算時間が増加する傾向を確認した。数 10 億メッシュを超える大規模モデルの電磁界解析ではソルバー解析にかかる時間よりもメッシュ生成にかかる時間が支配的となっており、計算時間の短縮が大きな課題である。

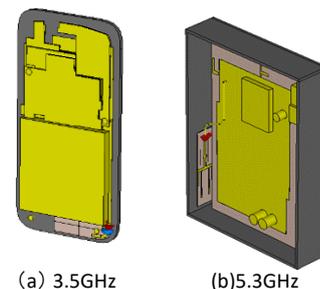
3. 幾何光学的電波伝搬解析による漏えい電磁界の測定と解析

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。



(a) 3.5GHz (b) 5.3GHz

図 3.1 解析モデル (波源)



(a) 3.5GHz (b) 5.3GHz

図 3.2 解析モデル (受信機器)

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、5.3GHz では 12.6×12.6mm 素子のパッチアンテナを波源として用いる。図 3.2 に受信機器モデルを示す。3.5GHz ではスマートフォン、5.3GHz では無線 LAN ルータを受信機器に用いる。

3.2 実験住宅における漏えい電磁界の測定と解析

本節では、2.2 節と同様の実験住宅モデルを用いて、住宅内での漏えい電界を解析する。住宅内の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した上で、複数の WPT が同時動作する場合の漏えい電界特性を解析する。

3.2.1 測定及びシミュレーション条件

表 3.1 に測定及びシミュレーション条件を示す。解析手法は Ray Launching 法電波伝搬解析を用い、スーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を利用する。図 3.3 に解析モデルを示す。図 3.3 に示すように、2.2.1 節で説明した実験住宅モデルに加えて、住宅の周囲 150m 四方に存在する建物をモデリングする。なお、これら周囲の建物については外壁のみモデリングしている。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）については、2.2.1 節と同様である。送信電力は各波源それぞれ 10dBm とした。

表 3.1 測定及び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	
送信電力	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	3.5GHz	スマートフォン
	5.3GHz	無線 LAN ルータ
解析モデル	実験住宅モデル	
波源の配置位置	住宅 A の部屋 A, C, D	
受信機器の位置	住宅 A の部屋 B, 住宅 B の部屋 F	

3.2.2 評価結果

本節では、3 波源を同時動作させた場合の漏えい電磁界特性について説明する。

図 3.4 に 3 波源同時動作時の 3.5GHz 漏えい電界強度に対する各波源間の位相差の影響を示す。測定では各波源の位相を制御することが困難のため、漏えい電界強度の平均値を測定した。シミュレーションでは波源 1 及び波源 2 の位相を 0°で固定して波源 3 の位相を 30°刻みで変化させ、計 12 通りを解析した。観測区間は部屋 B の区間 1 である。図 3.4 より、3 波源が同時動作する場合は各波源の位相に応じて漏えい電界強度が最大 5dB 程度変動することがわかる。また、1 波源（波源 1 のみ）の場合と比較すると、シミュレーションでは 3.1dB、測定では 2.4dB 漏えい電界強度が増加しており、シミュレーションと測定で同様な傾向が得られている。

図 3.5 及び図 3.6 に 3 波源同時動作時の漏えい電界強度の測定結果とシミュレーション結果の比較を示す。測定では漏えい電界強度の平均値、シミュレーションでは各波源間の位相差が 0°の場合の移動区間中央値を示している。図 3.5 に示すように 3.5GHz における区間 1（区間 2）での測定とシミュレーショ

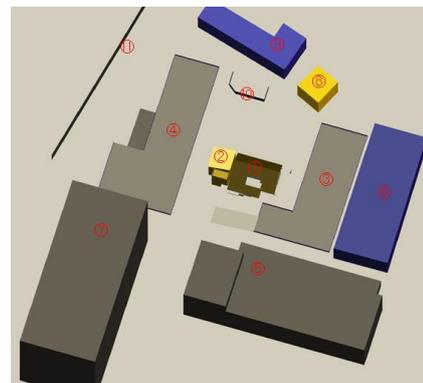
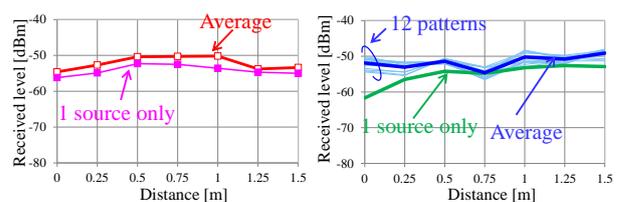


図 3.3 解析モデル（実験住宅周辺の建物）



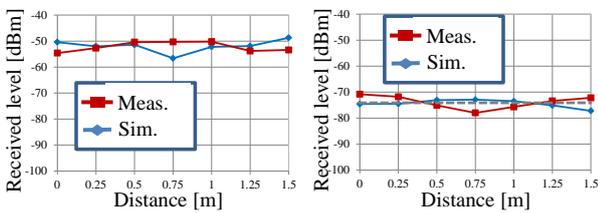
(a) 測定

(b) シミュレーション

図 3.4 3 波源動作時の各波源間の位相差の影響

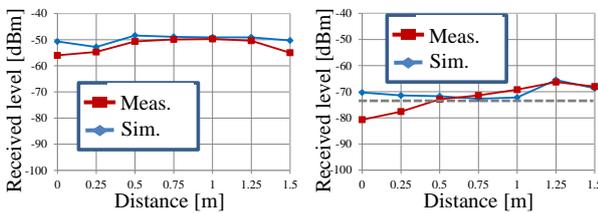
ンの電界強度の区間平均差分は約 0.1dB (0.1dB), 図 3.6 に示すように 5.3GHz における区間平均差分は約 2.9dB (1.9dB) であり, 傾向が一致していることがわかる. また, 3.5GHz, 5.3GHz 共に, 区間 2 における漏えい電界強度の区間平均値は区間 1 よりも 20dB 程度低くなっているが, これは外壁による損失と距離減衰によるものである.

以上の結果より, 本利用課題の条件では, 3 波源を同時動作させた場合, 漏えい電界強度が最大 5dB 程度変動することと, WPT を設置した住宅の隣家では漏えい電磁界の影響が少ないことがわかった.



(a) 区間 1 (b) 区間 2

図 3.5 3 波源動作時の 3.5GHz 漏えい電界特性



(a) 区間 1 (b) 区間 2

図 3.6 3 波源動作時の 5.3GHz 漏えい電界特性

表 3.2 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	
受信機器配置位置	商業施設含む 40m×40m エリア	

3.3 商業施設における漏えい電磁界の解析

本節では, 2.3 節と同様の商業施設を用いて商業施設内及びその周辺の漏えい電界を解析する. また, 商業施設を含む解析空間サイズが計算時間に与える影響を検討する.

3.3.1 シミュレーション条件

表 3.2 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である. 送信電力は 10dBm とした.

図 3.7 に商業施設モデルと波源位置を示す. 商業施設を中心として, 周辺の建物をモデリングする. 波源は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 3.8 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, このことから受信機器設置位置数は 160000 点となる. 配置高さは地面から 1m とした.

図 3.9 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, 図 3.7 で示したモデルの全エリア (600m×600m), 及び商業施設を中心として 40m×40m, 120m×120m, 200m×200m, 280m×280m の範囲を抽出した 5 種類とする. 図 3.9 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する. また, 商業

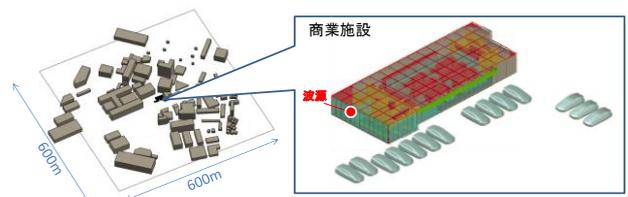


図 3.7 商業施設モデルと波源位置

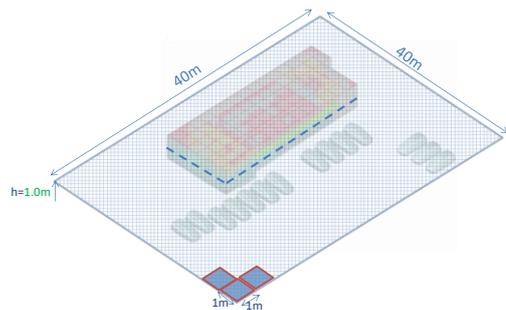


図 3.8 受信機器設定位置

施設の周辺建物の影響を評価するため、どの解析空間サイズの評価においても受信機器は商業施設を含む 40m×40m の領域にのみ設定する。

3.3.2 評価結果

表 3.5 及び表 3.6 に 3.5GHz 及び 5.3GHz における各解析空間サイズの計算時間を示す。TSUBAME 並列ノード数は 50 とした。表 3.5 及び表 3.6 により、各周波数帯において解析空間サイズの違いによる計算時間、使用メモリの変化が小さいことがわかる。これは、本条件では受信機器設置位置数が 160000 点と多くなり、レイと建物との交点検索に要する計算時間よりも受信点における到達レイの検索など他の処理に要する計算時間が多いためである。

一方、周波数の違いによる計算時間、使用メモリの変化については、周波数が高くなるほど各項目の

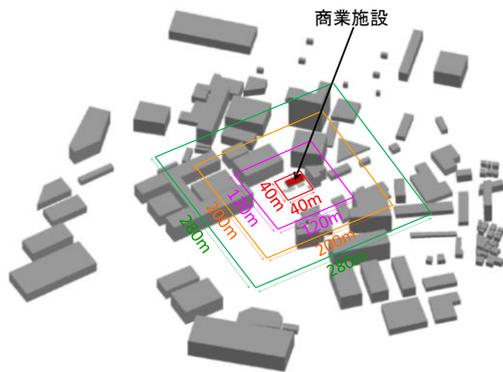


図 3.9 解析空間サイズ

表 3.5 3.5GHz 解析での解析空間サイズと計算時間

解析空間サイズ	使用メモリ	計算時間
40×40m	17.7GB	3.3h
120×120m	18.3GB	3.3h
200×200m	18.1GB	3.3h
280×280m	18.0GB	3.6h

表 3.6 5.3GHz 解析での解析区間サイズと計算時間

解析空間サイズ	使用メモリ	計算時間
40×40m	5.8GB	1.8h
120×120m	7.7GB	1.9h
200×200m	6.2GB	1.8h
280×280m	7.1GB	1.8h

値が小さくなっている。これは、幾何光学伝搬解析シミュレータの動作パラメータの一つである最大パスロス閾値を全ての周波数で同一としていることが要因である。シミュレータではレイのレベルが最大パスロス閾値以下になった場合計算を打ち切るが、周波数が高いほど距離に対する減衰度が大きく、比較的短い伝搬距離で計算が打ち切られるため上記のような傾向となる。

以上の結果より、本利用課題の条件では、受信機器設置位置数が 160000 点程度の場合、考慮する建物の範囲が増加した場合でも計算時間はほとんど変化がないことがわかった。

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、住宅内で複数の WPT が同時動作する場合の漏えい電磁界、及び商業施設における漏えい電磁界を解析した。測定結果と傾向が一致する解析モデルを用い、複数の WPT の位相差が漏えい電磁界特性に影響を与えることや、隣家への漏えい電磁界の影響が小さいことを把握した。

TSUBAME 2.5 を用いることにより、隣家を含む戸建て住宅や商用施設などといった大規模なモデルの解析を 12 時間程度以内で解析でき、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。

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](http://www.gsic.titech.ac.jp/tsubame)).
- [5] CST MICROWAVE STUDIO (<http://www.cst.com/>)