

TSUBAME 共同利用 平成 28 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、戸建て住宅環境では基礎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、商業施設の各建材が漏えい電磁界特性に与える影響をスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 を用いて解析する。

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 metal structures, the steel mesh in the foundation and steel beam between floors, especially affect the electromagnetic field in the house simulation.

In this paper, we analyze the influence of each building material of the commercial facilities on the leaked electromagnetic field characteristics 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。また、戸建て住宅や商業施設などの建造物は様々な建材で構成されており、各建材が漏えい電磁界特性へ与える影響を解析する必要がある。

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].

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。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及びその周辺の漏えい電磁界を解析し、商業施設モデルにおける各構造物の電気定数を変更することで各建材が漏えい電磁界特性に与える影響を検証する。なお、87MHz 及び 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 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、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 815MHz の漏えい電界特性を電磁界解析（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。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、87MHz では直径 50mm 巻き数 3T 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。

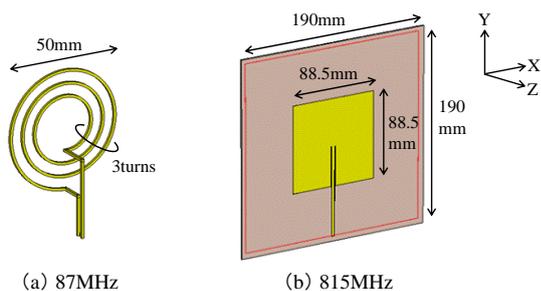


図 2.1 解析モデル（波源）

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商業施設モデル内外の漏えい電界を解析し、商業施設の各構造物が漏えい電磁界へ与える影響を解析する。

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、解析周波数はラジオ受信機、携帯端末への干渉を想定した 87MHz、815MHz としている。波源は 2.1 節で説明したモデルを用い、送信電力は 30dBm とした。

図 2.2 に商業施設モデル及び波源の配置位置を示す。商業施設及びその周辺の駐車場を含む解析空間

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, 815MHz	
出力	30dBm	
波源	87MHz	直径 50mm 巻き数 3T 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	
解析対象エリア	商業施設含む 40×40m エリア	

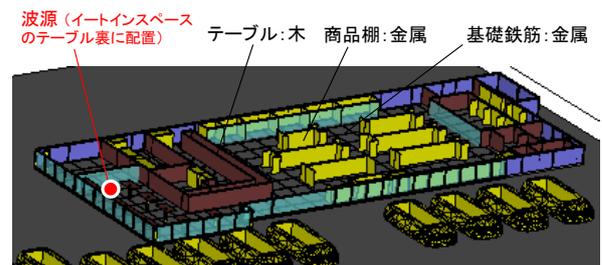
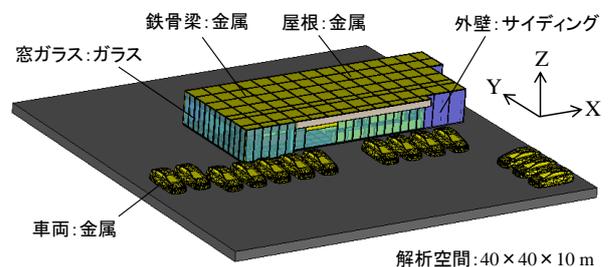


図 2.2 商業施設モデルと波源の配置位置

サイズは 40×40×10m である。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。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またはパッチアンテナ面が水平となる。

図 2.3 に漏えい電磁界特性への影響度を評価する構造物を示す。漏えい電磁界に大きな影響を与えることが予想される比較的大型の構造物を抽出した。基礎鉄筋、鉄骨梁、窓ガラス、車両、周辺建造物は各構造物の有無に対する漏えい電磁界特性を比較し、商品棚、外壁、屋根はそれぞれ所定の電気定数から木の電気定数へ変更する前後で漏えい電磁界特性を比較する。

2.2.2 評価結果

図 2.4 に 87MHz 及び 815MHz 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) の分布を記載している。波源として用いたアンテナは水平面無指向性であるため、漏えい電界は波源を中心に放射状に分布し、各構造物の影響による強度の変動が見られる。

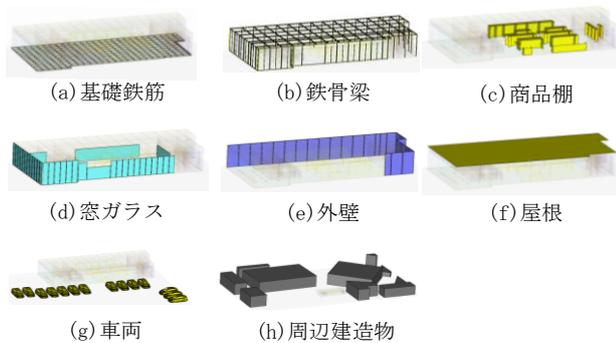


図 2.3 影響度を評価する構造物

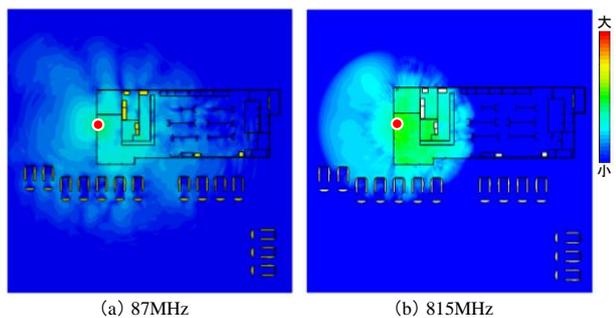
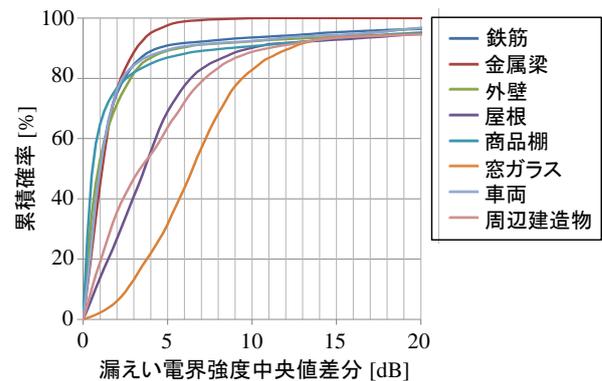


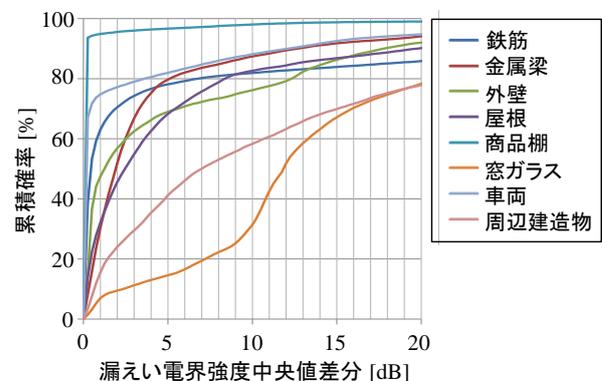
図 2.4 商業施設内及び周辺の漏えい電界分布

815MHz よりも 87MHz の漏えい電界のほうが波源近傍の電界強度が低くなっているが、これは波源のアンテナが波長に対して十分小さい微小コイルであるためである。

図 2.5 に各構造物の電気定数変更前後の漏えい電界強度中央値差分の累積確率分布を示す。図 2.4 に示した解析断面全体に 0.1m 間隔で格子状に評価座標を配置し、各評価座標を中心とする評価エリア (87MHz : 3×3m, 815MHz : 1.5×1.5m) での電界強度中央値をそれぞれ算出、構造物の電気定数変更前後で同一評価座標の中央値同士の差分を計算して累積確率分布のグラフとした。また、表 2.2 に各累積確率における漏えい電界強度中央値の差分を示す。これらの結果より、87MHz 及び 815MHz 両方で窓ガラスの影響が特に大きいことが確認できる。この要因としては、商業施設側面の大半が窓ガラスで構成されており面積が大きいためと考えられる。87MHz、



(a) 87MHz



(b) 815MHz

図 2.5 各構造物の電気定数変更前後の中央値差分の累積確率分布

815MHz 共に次点で周辺建造物，屋根の影響が大きく，815MHz では外壁の影響も比較的大きいものとなっている。

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

表 2.2 各構造物の電気定数変更前後の漏えい電界強度中央値の差分

(a) 87MHz

構造物	累積確率		
	90%	50%	10%
基礎鉄筋	5dB	1dB	0dB
鉄骨梁	3dB	1dB	0dB
外壁	6dB	1dB	0dB
屋根	10dB	4dB	1dB
商品棚	9dB	1dB	0dB
窓ガラス	13dB	7dB	3dB
車両	6dB	1dB	0dB
周辺建造物	11dB	3dB	1dB

(b) 815MHz

構造物	累積確率		
	90%	50%	10%
基礎鉄筋	29dB	1dB	0dB
鉄骨梁	13dB	2dB	0dB
外壁	18dB	1dB	0dB
屋根	20dB	3dB	0dB
商品棚	0dB	0dB	0dB
窓ガラス	30dB	12dB	3dB
車両	12dB	0dB	0dB
周辺建造物	31dB	7dB	1dB

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。また無線機器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，無線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，商業施設を用いて商業施設内の各構造物が漏えい電磁界へ与える影響を解析する。

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 3.3 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

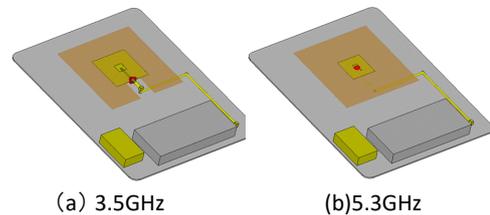


図 3.1 解析モデル (波源)

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	
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 40×40m エリア	

置しており、受信機器設置位置数は 160,000 点となる。配置高さは地面から 1m とした。

漏えい電磁界へ与える影響を評価する構造物は図 3.4 の通りであり、2 章と同様とした。基礎鉄筋、鉄骨梁、窓ガラス、車両、周辺建造物は構造物の追加前後で漏えい電磁界を比較し、商品棚、外壁、屋根はそれぞれの所定の電気定数から木の電気定数へ変更する前後で漏えい電磁界を比較する。

3.2.2 評価結果

図 3.5 に各構造物の電気定数変更前後の中央値差分の累積確率分布を示し、表 3.2 に各累積確率におけるパスロス中央値の差分を示す。これらの結果から、窓ガラス、鉄骨梁、商品棚、外壁が伝搬特性へ大きく影響することがわかる。窓ガラスの影響が大

きい要因としては、2 章で説明した 87MHz 及び 815MHz での結果と同様、商業施設の側面の大半が窓ガラスで構成されており影響が与えられる範囲が大きいためと考えられる。また、3.5GHz や 5.3GHz など比較的高い周波数帯では電波の直進性が強くなるため、金属梁、商品棚などの電波を遮蔽する金属製の構造物の影響が高くなることがわかった。

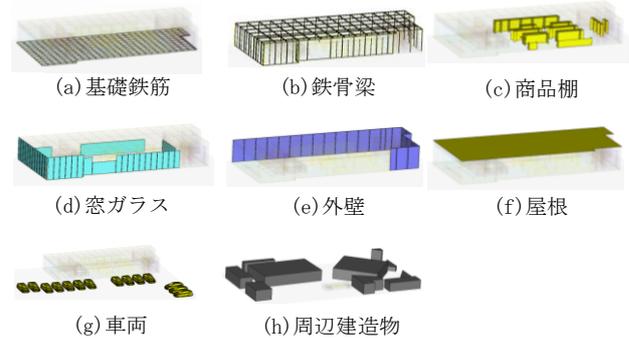


図 3.4 影響度を検証する構造物

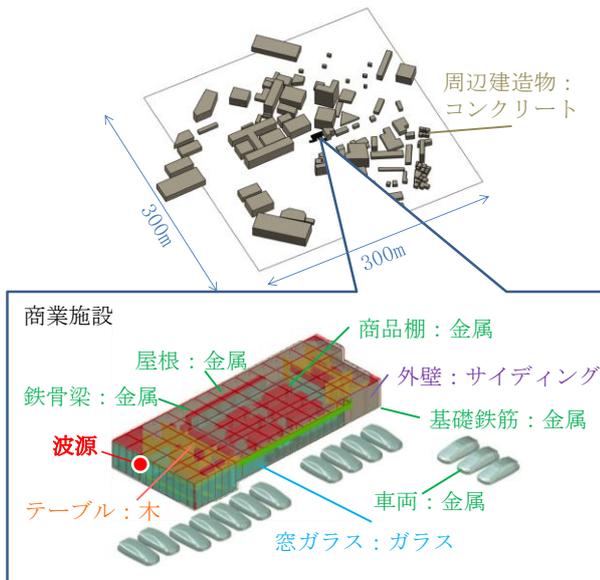


図 3.2 商業施設モデルと波源位置

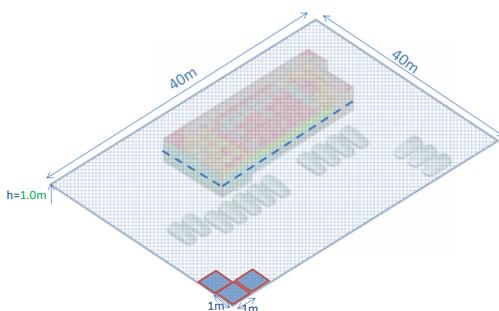
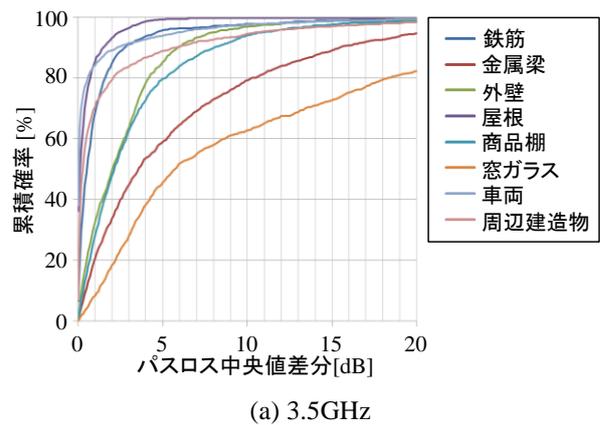
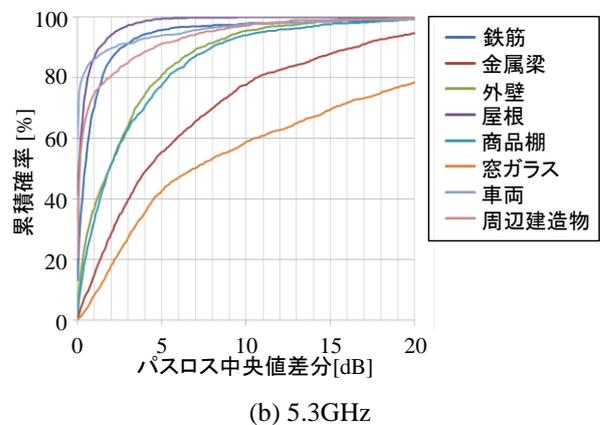


図 3.3 受信機器設定位置



(a) 3.5GHz



(b) 5.3GHz

図 3.5 各構造物の電気定数変更前後の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。商業施設モデルにおける各構造物の電気定数を変更し比較することで構造物が漏えい電磁界特性に与える影響を検証し、窓ガラスや外壁などのサイズの大きい建材が特に影響することを把握した。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 各構造物の電気定数変更前後のパスロス中央値の差分

(a) 3.5GHz

構造物	累積確率		
	90%	50%	10%
基礎鉄筋	2.8dB	0.6dB	0.1dB
鉄骨梁	15.5dB	3.6dB	0.5dB
外壁	5.9dB	3.6dB	0.5dB
屋根	1.5dB	0.2dB	0.0dB
商品棚	8.1dB	2.2dB	0.4dB
窓ガラス	26.5dB	5.7dB	1.3dB
車両	2.3dB	0.1dB	0.0dB
周辺建造物	5.7dB	0.3dB	0.1dB

(b) 5.3GHz

構造物	累積確率		
	90%	50%	10%
基礎鉄筋	2.6dB	0.5dB	0.0dB
鉄骨梁	16.5dB	4.2dB	0.7dB
外壁	7.3dB	4.2dB	0.7dB
屋根	1.4dB	0.1dB	0.0dB
商品棚	8.0dB	1.9dB	0.2dB
窓ガラス	28.2dB	6.9dB	1.3dB
車両	2.3dB	0.0dB	0.0dB
周辺建造物	4.6dB	0.2dB	0.0dB

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/>)