

TSUBAME 共同利用 平成 30 年度 産業利用 成果報告書

車載レーダにおけるターゲット散乱及び伝搬構造の FDTD 法による詳細解析 Detailed analysis of target scattering and propagation structure in on-board radar by FDTD method

山本 康典
Yasunori Yamamoto

マツダ株式会社
Mazda Motor Corporation
<http://www.mazda.co.jp>

車載レーダは、自動運転システムや安全運転支援システムの走行環境認識機能を実現する上で重要なデバイスであり、夜間や悪天候下でも有効である。交通事故ゼロを実現するためには、駐車車両の裏など物陰から飛び出す歩行者を早期に検出することが必要となるが、カメラなどの光学センサでは対応困難である。一方、電波の回折効果を活用できれば、見通し外領域検知レーダを活用可能となる。今回、TSUBAME3.0 を活用した FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) 数値解析により、準ミリ波帯 (24GHz) アンテナ放射波が遮蔽板の裏へ回折し、ターゲットへ入射した電波が散乱した後、遮蔽板で再度回折してアンテナまで戻ってくる現象を確認できた。

The on-vehicle radar is an important device for an automatic driving system or a safety assistance system. In order to achieve zero traffic accidents, it is necessary to detect pedestrians jumping out from behind, such as the back of a parked vehicle at an early stage, but it is difficult to handle with optical sensors such as cameras. On the other hand, if the diffraction effect of radio waves can be used, radar can also be used for out-of-sight area detection. The realization of out-of-sight area detection is expected. By FDTD method simulation using TSUBAME 3.0, we confirmed that the quasi-millimeter wave band (24GHz) radio waves were diffracted to the back of the shielding plate, and after the radio wave incident on the target is scattered, were diffracted again at the shielding plate and comes back to the antenna.

Keywords: Millimeter wave band radar, Electromagnetic simulation, GPU multi-node, FDTD

1 背景と目的

自動運転システムや緊急ブレーキなどの安全運転支援システム (ADAS: Advanced Driver Assistance System) において車載レーダは走行環境認識のための重要なセンシングデバイスである。しかし、実環境では、自動車や歩行者など様々な大きさと形状を有するターゲットから複雑な反射、散乱が発生することに加え、道路、ガードレール、建物などでもマルチパス干渉が起こるために車載レーダ伝搬特性は十分に解明できていない。特に、駐車車両の陰から飛び出す歩行者を早期に検出することが重要な課題であり、遮蔽環境下のターゲットに対する散乱波の伝搬特性解明が必要である。

このためには、遮蔽物の裏への伝搬やターゲット散乱現象の解析に加え、微弱な反射信号をノイズと切り分けて検出し解析する必要があるが、実験では統制した再現性の高い信号計測が難しく、伝搬現象を可視化

することも困難である。一方、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法 [1] シミュレーションは、電磁波の振る舞いを高精度に再現でき、時系列の伝搬現象解析に有力な手段である。ただし、解析空間を波長の 10 分の 1 以下のセルに分割して時間ステップ毎に全空間を繰り返し計算するため膨大な計算資源を必要とする。

今回、TSUBAME 3.0 の GPU クラスタにハイブリッド MPI 並列計算を組み合わせることで、準ミリ波帯 (周波数: 24GHz、波長: 12.5mm) の電波伝搬現象を現実的な時間で再現可能とし、遮蔽板裏のターゲットに対する散乱波の伝搬特性を解明することを目的とする。

2 概要

駐車車両の陰に存在する歩行者ターゲットを模擬した解析モデルを図 1 に示す。今回は、駐車車両は金属板とし、歩行者ターゲットは金属円柱とした。金属壁は

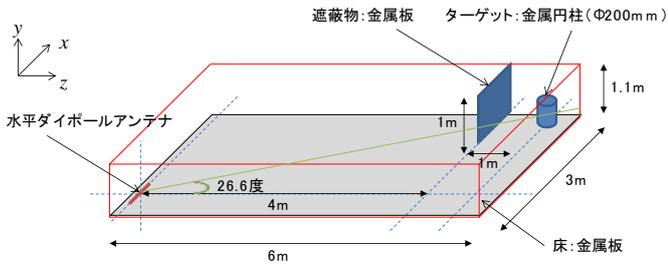


図 1. 遮蔽条件下のターゲット散乱解析モデル

表 1. 計算条件

周波数	24.0 [GHz]
解析空間	3D 空間
セルサイズ	0.001249135241667 [m] (=1/10 λ)
計算スキーム	FDTD(2,4)
クーラン数 CFL	1.3632124270e-01
時間ステップ	5.68e-13 [秒]
放射源	ダイポールアンテナ+正弦波
放射電力	7.75 [dBm]
計算ステップ数	20000 [回]
吸収境界	PML 24 層、 $R_0=1.0E-32$ 、 $M=4$
変数の型	float (GPU)

ターゲットを光学的に完全遮蔽するように設定した。計算条件は表 1 であり、準ミリ波帯 24GHz の連続正弦波をダイポールアンテナから放射し、FDTD(2,4) 法 [2-3] により計算した。

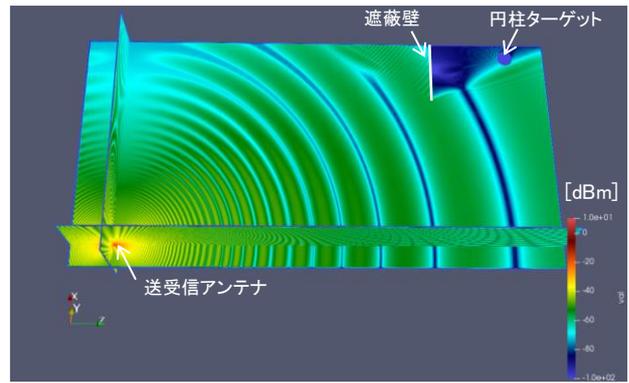
結果、遮蔽板を回折してターゲットまで到達した電波が、ターゲットで散乱した後、再度遮蔽板を回折してアンテナまで戻って来る伝搬現象を再現できた。

今回の計算には 25 ノード、100 GPU を使用し、メモリ量は 1.5TB、計算時間は 21.6 時間であった。

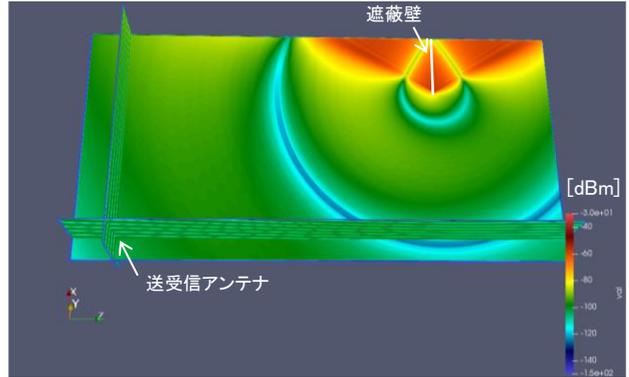
3 結果および考察

単一周波数の 24GHz 正弦連続波を遮蔽条件下の円柱ターゲットに照射した際の全電磁界における定常状態の電力空間分布を図 2 (a) に、その計算結果からアンテナ放射波を差し引き、遮蔽壁からの散乱波を抽出した電力空間分布を図 2 (b) に、図 2 (a) の計算結果からアンテナ放射波と遮蔽壁からの散乱波を差し引き、ターゲットからの散乱界を抽出した電力空間分布を図 2 (c) に示す。

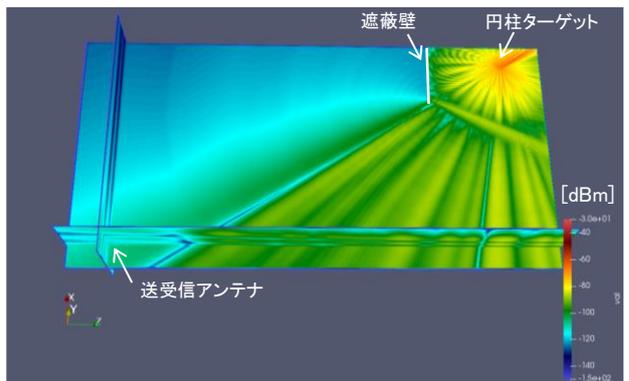
この結果より、24GHz の電波は幾何学的には完全遮蔽された条件下でも遮蔽板の裏側まで回折しターゲットに照射されることを確認できた。また、ターゲットで散乱した電波は大半が遮蔽板で遮られるが、一部はエッジを回折して、アンテナ位置まで戻っていることも確



(a) 全電磁界の電力空間分布



(b) 遮蔽板の散乱界の電力空間分布



(c) 遮蔽ターゲットの散乱界の電力空間分布

図 2. 24GHz 連続波照射時の定常状態の計算結果

認できた。アンテナ位置における遮蔽板からの反射受信電力値は-101dBm、遮蔽板裏ターゲットからの反射受信電力値は-107dBmと6dB低い結果となった。

円柱ターゲットから全方位に散乱した電波が、遮蔽板エッジで回折してアンテナまで戻ってくるプロセスに加え、遮蔽板裏で再反射された電波が再度円柱ターゲットへ入射し散乱するプロセスを何度も繰り返すことも確認できた。

この多重反射波が遮蔽板とターゲット間の距離に対応した時間差で受信アンテナへ戻る特性を明らかにすることで、見通し外のターゲット検知や物体識別に活用可能と考える。

4 まとめ、今後の課題

遮蔽条件下の円柱ターゲットに準ミリ波帯 24GHz 連続正弦波を照射する条件にて、FDTD 法によるレーダ電波伝搬を再現解析した結果、遮蔽板を回折してターゲットに入射し散乱した電波が、再度遮蔽板を回折してアンテナまで戻ってくる現象を確認できた。さらに、遮蔽板からの反射波と円柱ターゲットからの反射波の受信電力値を比較したところ、6dB の差であり、遮蔽ターゲットに対しても受信電力レベルは極端に低下しないことが分かった。今回の計算には 25 ノード、100 GPU を使用し、メモリ量は 1.5TB、計算時間は 21.6 時間であった。

今後、より現実を模擬した走行環境及びターゲットを設定し、車載レーダ伝搬現象の解明に取り組む。

参考文献

- [1] 宇野 亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, p.22(2009)
- [2] 園田 潤, 大規模電波伝搬解析に適した波動方程式に基づく FDTD(2,M)法の数値分散と並列計算特性, 信学技報, AP2009-12, p.7-12(2009)
- [3] 園田 潤, 高次 FDTD 法とクラスタを用いた並列計算による大規模電波伝搬解析に関する研究, 東北大学博士学位論文, p.78-83(2005)