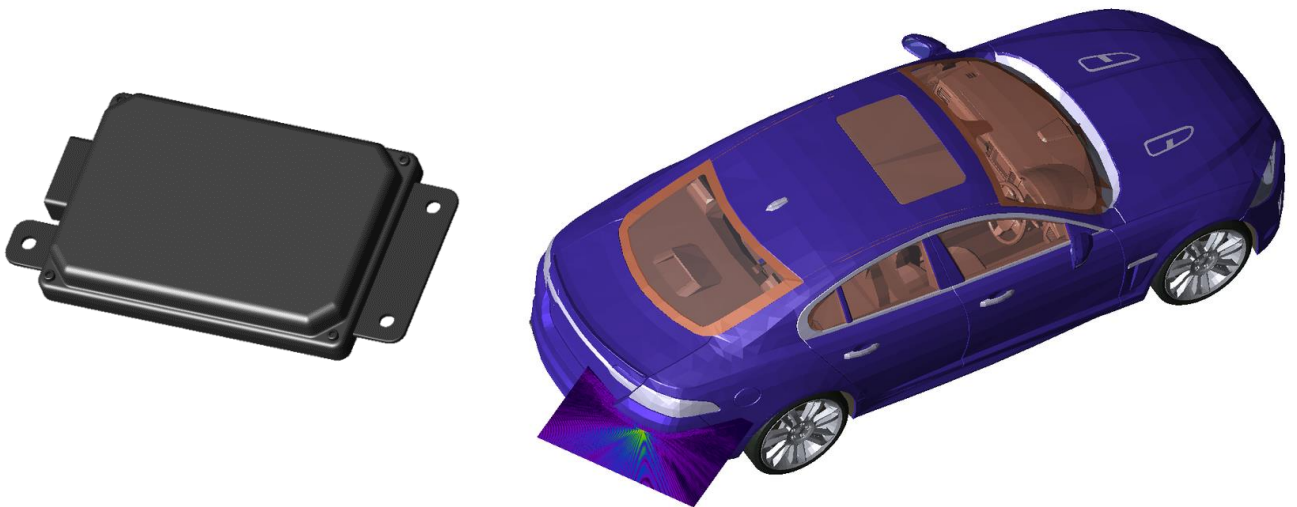


自動車バンパーに設置された ミリ波レーダーのFDTD法による電磁界解析

概要

近年の自動車安全では、死角検知や衝突防止補助に関して正確かつ信頼度の高い結果が求められており、より高水準のレーダシステムが必要とされている。したがって、取付金具やフェイス、塗色、バンパーの組み立てが、24GHz及び77GHz帯の車載レーダシステムに対する遠方界の放射パターンに対してどのような影響を与えるのか、技術者は理解する必要性に迫られている。車車間通信を含め、車載用アンテナ解析には低周波数（そして長波長）帯が長い間使われてきた。そして、電磁界解析は今や理想的な24GHz及び77GHz帯のセンサー自体の枠組みを超え、アンテナパッケージと装置を取り囲む車体の特徴を含んだ質と精度の高い解析を扱うことが可能となっている。

本稿では、24GHz帯のセンサーに着目し、センサーそのものと車体に取り付けられている場合の解析結果の相違を議論している。このような複雑なデザインのシステムでアンテナを解析するには、時間領域差分法（FDTD法）が用いられる。FDTD法での解析にあたっては、めざましい加速度演算を併せ持つグラフィックス処理装置（GPU）を使用可能なXFDTDを用いた。



セダンの後部バンパーに取り付けられた24GHzセンサー
本稿ではXFDTDを用いた解析結果を報告する

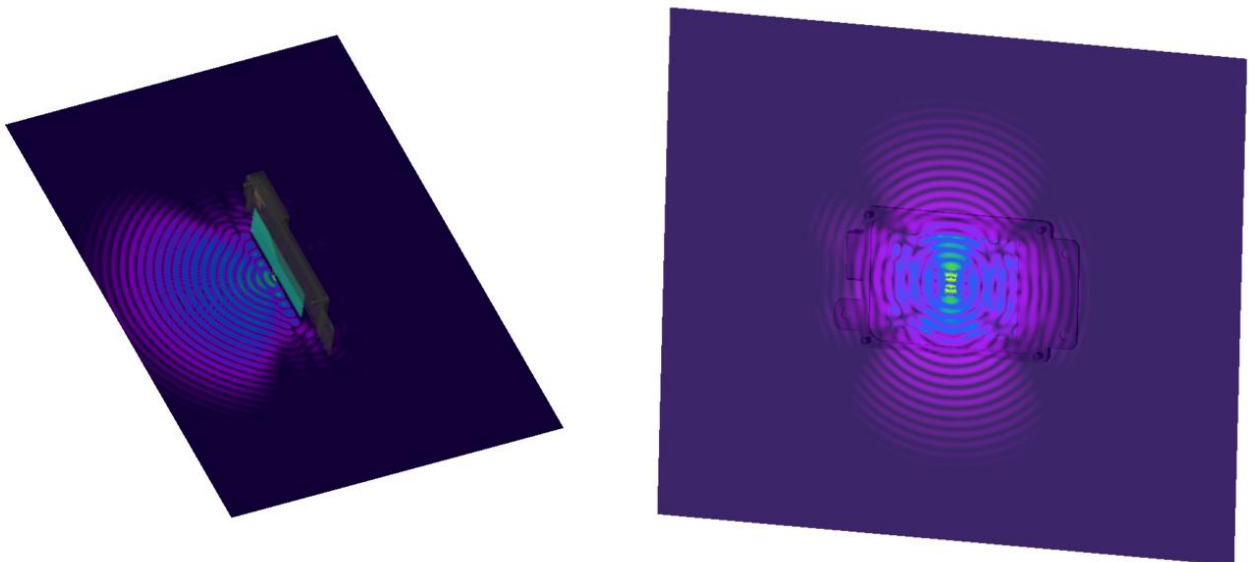
高周波数領域でのアンテナデザイン

24GHz及び77GHz帯といった短い波長領域での設計では、5.9GHzという車車間通信のような低周波数帯領域の応用の際には存在しなかった問題が生じる。例えば、センサーレベルにおいては、プリント基板（PCB）レイヤー構造が電氣的に大きくなり、予測しなかった干渉を生み出す問題が挙げられる。同様に、センサーを車に取り付ける場合には、フェイシアの厚みにより放射波が歪み、望ましくない反射が生じうる問題が挙げられる。これらの問題は、センサーのデザインに変更を与える場合もあれば、自動車製品化時のガイドラインで詳しく説明される場合もある。いずれにせよ、センサーの性能に影響する全角度を考慮すると同時に、設計の段階で問題を検出することを可能とする、質・精度の高い解析が可能なツールを技術者は必要としているのである。

レーダーは本質的に時間領域で扱うものである

レーダーは時間領域を進行するものである。例えば、電波は最初に送信機から発信され、次に物体に当たり反射され、最後に受信機に戻る。レーダー設計の多くは数学的な信号処理構想と共にシステムレベルの段階で行われる。その一方で、波形整形問題は特定のレーダーの回路基板上で生じる可能性があり、全てのレーダーシステムの性能に悪影響を及ぼす危険性がある。このような予期しない電流や電圧に関する問題を含むケースでは、周波数特性を見るだけでは、一貫したレーダーシステムの設計や改善には十分な情報を供給できないことが予想される。

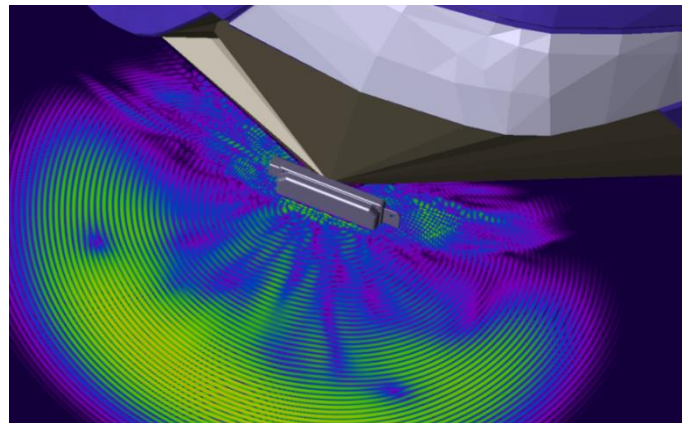
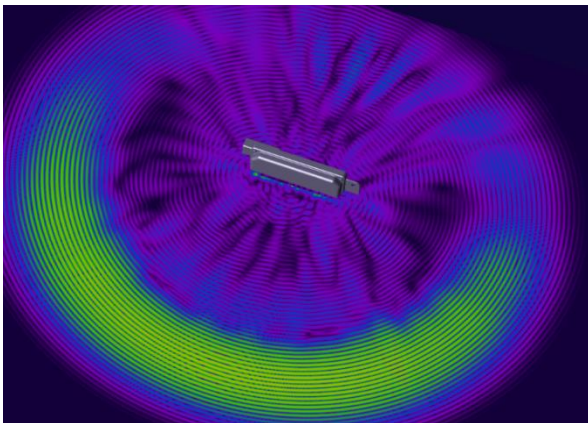
FDTD法による電磁界解析には、時間関数によって電波の動きを表現する能力がある。特定の電流や電圧で回路内に問題が発生する原因を突き止めることは、レーダー装置内の性能問題の原因追及につながる。



センサーと電界の相互作用を時間領域で可視化

問題は基板上の信号のトレース間での結合不良により生じたのかもしれないし、アンテナや回路の他の高いQ値を持つ領域から生じたのかもしれない。これらの時間依存現象は周波数領域からのアプローチだけでは、明瞭に現れない。これらのタイプの問題発見には、時間領域での解析が必要である。

その上、一度自動車にセンサーが設置されると、受信アンテナ位置での干渉によりターゲットを特定するのが困難となる。このような干渉は、バンパー部品内での共振設定や備え付けられているブラケットからの反射により生じている可能性がある。FDTD法による電磁界解析とGPUコンピューティングの発展により、今では自動車のバンパーやバックエンドといった巨大構造物を含む自動車レーダー装置の解析が行えるようになった。自動車バンパーに備え付けられている24GHzや77GHz帯のレーダーの高精度の電磁界解析が出来れば、アプリケーションエンジニアやその顧客が、アンテナの性能や設計サイクルの上で車の構造や材料によってどのように変化するのかを知る手助けとなり、障害をくまなく調査することができる。



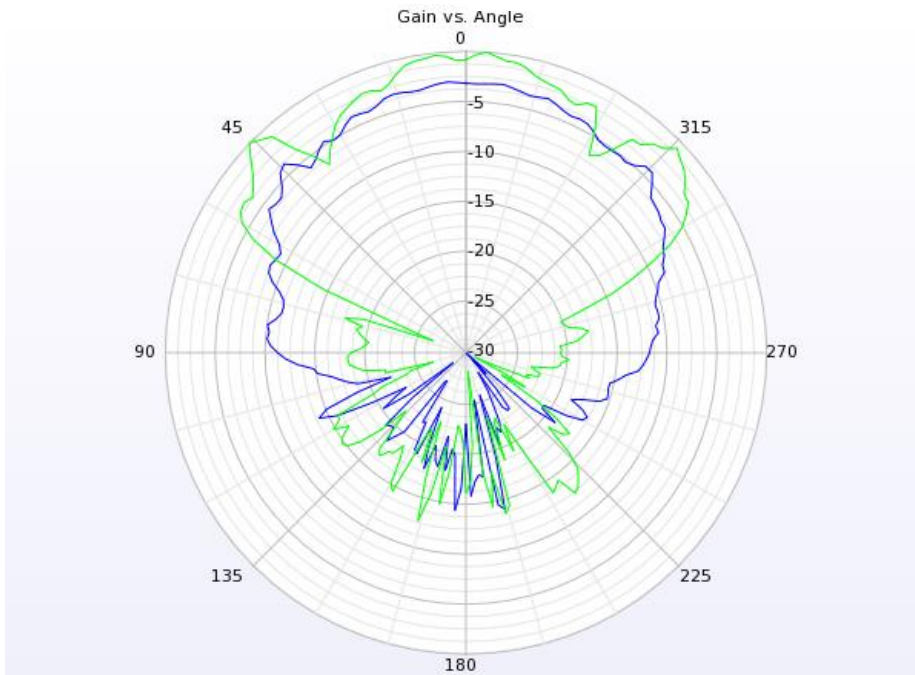
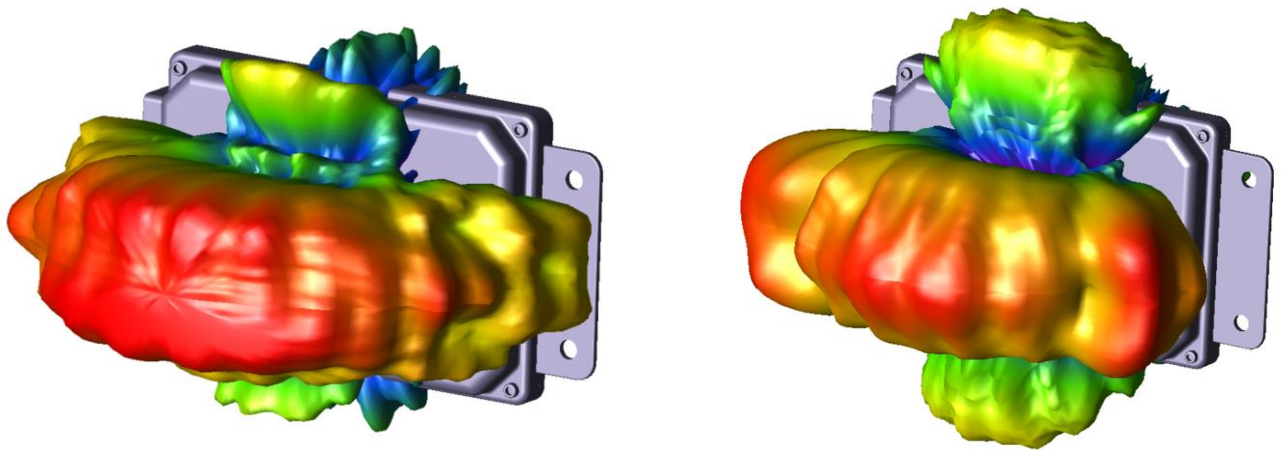
励振して1.8ナノ秒後の電界分布
左はセンサーのみで、右はバンパーに設置した場合

上図はセンサーから放出している電界分布を比較したものである。左図のアンテナ単体での場合とは異なり、右図の場合ではフェイシアが波を閉じ込めている様子がわかる。この結果は、本来透過されるべき場が歪んでおり、閉じ込められた波が受信側へ反射して戻り干渉を起こすため、望ましくない状態であるといえる。

アンテナ上でのパラメータ調査

自動車レーダー設計では、理想的な周波数領域のアンテナ特性を扱うだけでは足りず、それ以上の解析及びシミュレーションをする必要がある。アンテナ付近のパッケージの細部や1m程度アンテナから離れた車体の特徴はともに、アンテナから離れた場のパターンやレーダーシステムの性能に影響する。アンテナ構築を開始す

るとすぐに、組み立て時の多層（レジストレーション）の配置がアンテナの性能に影響するという問題に直面する。回路基板の誘電体、パッケージに回路基板を保持している取り付けネジ、およびアンテナ上の任意のパッケージカバーやレドームに対するエッジ効果は、アンテナ放射パターンを変形させたり、システムレベルの設計では現れない時間領域の反射をアンテナに引き起こしたりする可能性がある。また、車載用レーダー装置パッケージやバンパー、及び自動車近くの部品などの位置が変わると、アンテナ及びレーダーシステムの性能に影響する。車やバンパー材料、形状、寸法、およびデバイスパッケージングを考慮することで、レーダーシステム設計において検討しなくてはならないパラメータは増加する。



パラメトリックな解析は設計パフォーマンスの改善に寄与する

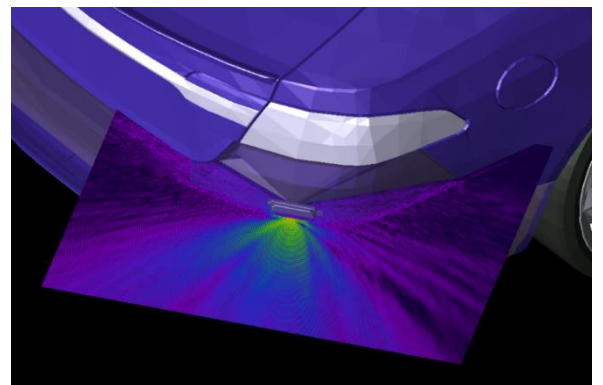
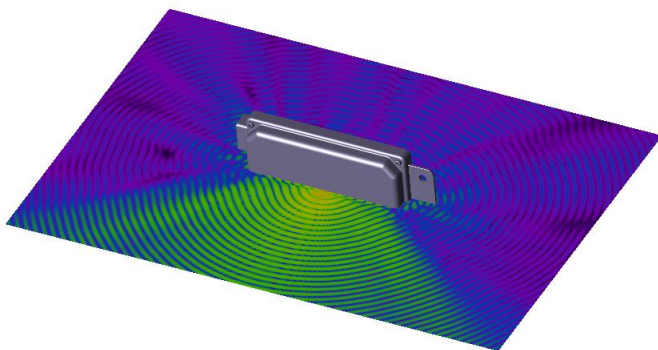
バンパー材、塗料コーティング、及び厚さと言った複数の次元変化を調べるアプローチの1つとして、電磁界解析を用いてパラメータを一気に調査する方法が挙げられる。シミュレーションで求められる特徴量のほとんどは、パラメータを使用し求められる。そのため、パラメータをある値の範囲内で変化させることで、一挙に調査することが可能となる。

レーダー装置の取り付け位置などの幾何学的形状は、parameter sweep機能によって、バンパーやその湾曲部周りに沿って水平に変えることができる。一度に複数のパラメータを変化させるparameter sweepは、設計サイクルの初期段階における設計空間を探索し、システム性能に関して貴重な理解と直感を得るのに役立つ。設計サイクルの後半で検証のために使用されるものだが、感応分析と最適化もまた、複数の解析反復の過程でパラメータ値を変更することで調査できる。

シミュレーション領域と波長

近年までの電磁界解析は、主にアンテナ単体の構造や特性に着眼点を置いていた。この解析には、独立したアンテナと集積回路上のアンプにつながったオンチップの（＝半導体チップ上にある）アンテナも対象として含まれている。最近では、64ビットでの計算性能の向上や個々の解析を可能にするRAMの増大によって、アンテナと乗り物を一緒に解析できるまで電磁界解析の適用範囲が広がってきた。

制限が全くない3次元電磁界解析を行い、アンテナ構造と乗り物に対して同時に高精度な解析を行うことは、メッシュ内の要素数や問題がどの程度のRAMを消費するかと言った、解析に際するサイズの問題への挑戦でもある。なぜならば、非常に多くのRAMのメモリ（GB）を必要とする解析は、実行にかかる時間のコストが高い上、そもそもハードウェアの性能の限界を超えてしまうため非実用的だからである。



GPUは解析時間の短縮に寄与する

電磁界解析の精度は波長当たりのメッシュ数に大いに依存するため、1つのアンテナの解析時間は、一般に信号の周波数でスケールされる。半波長ダイポールアンテナの解析では、波長に基づいたアンテナの大きさがメッシュセルサイズがスケールされるため、低周波数でも高周波数でもほぼ同等の解析時間が必要となる。一方で、任意の3次元電磁界解析における車載アンテナの解析は、アンテナと車の両方の構造を含む。アンテナを収容するため、信号周波数を高くするとより短い波長、すなわちより小さいセルサイズが必要となる。より小さなメッシュでの計算は、車の細部パーツを解析するのにより多くのメッシュ数を使用する必要があることを意味している。

バンパーの様な大きな部位では1.25mmの大きなメッシュが、センサーアンテナの給電構造の様な細かい部位では0.04mmの小さなメッシュが用いられるといったように、1つの解析内でもメッシュサイズは変わりうる。しかし実質的もしくは正確なメッシュサイズの範囲制限は常にある。高周波レーダー装置とバンパー部分のアンテナの3次元電磁界解析を実行できることは、FDTD法の利点である。FDTD法では問題のサイズに対してメッシュサイズが線形比例する特徴[1]、CUDA-enabled GPUシステムによる効率化が可能な利点を有している。

FDTD法は解析空間の大きさに線形に比例する

任意の3次元電磁界解析の世界では、周波数領域と時間領域がある。どちらのタイプも散乱パラメータを含めた定常状態の周波数領域データを解析できるが、解析の問題サイズに応じた解析時間に差が出る。周波数領域での電磁界解析の場合、 n を問題サイズとしたとき、 2 の n 乗分だけ解析時間がかかる。大きな問題サイズに対するFDTD解析の長所の1つは、解析の実行時間が解析問題サイズの増大に対して線形にしか進まない点にある。したがって、問題サイズが大きくなればなるほど、時間領域の方が周波数領域での解析よりも有利となる。

時間領域シミュレータは規格内のポート毎にシミュレーションが実行される。一般に、周波数領域シミュレータはこれを行う必要がない。たくさんのポートを持つ解析を行う際は、有限要素法（FEM）のような周波数領域の手法を用いるのが良いだろう。規格内で多くのシグナルポートを用いないアンテナの応用例では、問題サイズが大きい場合には時間領域解析を行う方が高速となる。

FDTD法はGPUと相性が良い

大きな電磁界構造を解析するのによく用いられるアプローチとしてCUDA-enabled GPUsを用いる方法が挙げられる。CUDA（Compute Unified Device Architecture）はNVIDIAによって作られた並列計算プラットフォームであり、

GPUs (graphics processing units) によって実行される。元々、映像処理を加速するために作られたため、GPUは多くのハイパフォーマンスな計算 (HPC) 技術に用いられる。

GPUと従来のCPUでは、劇的に計算時間が異なる。GPUは数百のプロセッサに適用できる一方で、CPUは僅かしか適用できない。周波数領域の電磁界解析よりも、時間領域の電磁界解析の方が高並列化される。すなわち、FDTDはGPUによってもたらされる解析の加速を最大限に活用することができるのである。

まとめ

自動車のレーダーセンサーを設計することは、マウンティングブラケットやバンパーの複雑さを検討する前段階においても難しい課題である。技術者が最終的にはセンサー配置を考えるにあたって、FDTD法の電磁界解析は高精度の分析を行うために必要なツールとして利用することが出来る。[XFDTD's Xstream® GPU](#)を用いた加速技術の発展は、GPUによる電磁界解析時間の大幅な削減を実現し、XFDTDを使用した超高速FDTD数値計算を可能とした。その結果、レーダーシステムの信頼性および制御度は向上し、安全な自動車産業の振興を促進させることが可能となった。

[全ての事例はこちら](#)

[お問い合わせ等はこちら \(製品HP\)](#)

[1] Microwave Circuit Modeling Using Electromagnetic Field Simulation by Daniel G. Swanson, Jr. and Wolfgang J. R. Hoefler, Artech House c 2003 ISBN: 1-58053-308-6