

携帯無線機の小型化を支える電磁界解析技術

Electromagnetic Analysis Method for Antennas of Miniature Handheld Phones

関根 秀一
SEKINE Syuichi

辻村 彰宏
TSUJIMURA Akihiro

前田 忠彦
MAEDA Tadahiko

近年の携帯無線機の小型化は、アンテナを含めた機構設計技術へ多くの課題を与えている。携帯無線機のアンテナは、無線機本体ならびに周囲の環境などから影響を受け、特性が変動してしまうことが従来から知られている。無線機の小型化により、無線機の内部構造は複雑化し、アンテナは使用者や机などの隣接物へより近接することから、前記の特性変動は増大し無視できないレベルとなっている。また従来、開発の最終試作段階でカット&トライによって行ってきた、特性の最適化はより困難な状態となっており、初期設計段階から特性を予測し、対策することが必要不可欠となっている。

当社では、これを実現する一つの手段として、機構設計段階に時間領域における手法を用いた電磁界解析を取り入れている。

The recent trend of miniaturization in the field of handheld phones has forced many technical issues to be considered in the structural design, including the antenna. It is known that the main body and the environment of a phone influence the antenna characteristics. This influence becomes more pronounced with miniaturization, because it results in greater complexity of the inside structure of the phone and shrinks the distance between the antenna and its surroundings. It is difficult to obtain a solution by trial and error at the final stage of development. Therefore, performance prediction and the development of countermeasures against such influence are necessary at the earlier stage of design.

To realize the design approach, Toshiba applies a time-domain analysis method at the structural design stage. This paper describes an example of applying this method and a countermeasure technique.

1 まえがき

現在、携帯無線機の分野では、端末の小型化が急ピッチで進んでいる。端末の容積、厚み、重さともに数年前の約1/2になっている。この小型化は、無線機を構成する回路部分だけでなく、アンテナを含めた機構設計に対してもより多くの課題を与えている。まず小型化によって無線機内部の構成が複雑化し、アンテナの特性が大きく変動するようになってきている。さらに小型化は、使用時において隣接する物(机や通話者の耳など)とアンテナとの間の距離をより短くし、特性の変動を増大させる結果となっている。

以前のように無線機の小型化が進んでいなかった時期では、これらの影響に対する対策は、最終試作品でカット&トライによって行うことが可能であった。しかし、小型化が進むにつれ、このような現行の方法には限界が生じており、機構設計段階において無線機本体ならびに周囲の環境からの影響を予見し、対策を講じる必要性が高まってきた。

当社は、このような現状を予想して数年前から、アンテナを含めた無線機の機構設計へ適用可能な電磁界シミュレーションツールの開発⁽¹⁾を行ってきた。ここでは、このシミュレーションツールの適用例とアンテナ特性変動への対策例について述べる。

2 時間領域における解析手法

電磁界解析手法には、いくつかの方法がある。表1にこ

表1. 代表的な電磁界解析手法の比較

Comparison of typical electromagnetic analysis methods

項目	モーメント法	有限要素法	FDTD法	
解析手法	基本式	マクスウェルの方程式に変分原理を適用	オイラー方程式の汎関数に変分原理を適用	マクスウェルの方程式の差分形式
	モデル化の方法	線でモデル化	対象を含む空間を四面体メッシュで分割	対象を含む空間を三次元格子メッシュで分割
	境界条件の入力法	対象の表面電界を0とし、完全導体を表現	対象に対応するメッシュ上に媒質定数	対象に対応する格子点に媒質定数
得意分野	・線状アンテナ全般 ・線形素子を含む問題	・三次元構造をもつアンテナ ・任意媒質	・三次元構造をもつアンテナ ・線形素子だけでなく非線形素子を含む問題にも対応可 ・任意媒質	
不得意分野	・任意媒質 ・複雑な形状のアンテナ	・複雑な形状のアンテナ (スプリアス解発生の可能性有)	・単純な構造のアンテナ(非効率的) ・波長並みの大きさでないもの ・モデル化に高精度が要求されるもの	
直接求まる出力	ポイント周波数応答 ・モデル上の電流分布 ・入力インピーダンス ・放射パターン	ポイント周波数応答 ・対象を含む空間の電磁界分布 ・入力インピーダンス ・放射パターン	時間軸応答 ・モデルを含む空間の電磁界分布の時間変動 ・入力インピーダンスと放射パターンの周波数特性	
計算量	比較的少ない ・パソコンでも可	膨大 ・大型計算機が望ましい	膨大 ・大型計算機が望ましい	

れらを大別し特長を示す。携帯無線機のアンテナの解析に用いるには、どの解析手法にも一長一短があり、適材適所で用いる必要がある。当社は、これらの手法のなかで、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法⁽²⁾を代表とする時間領域における解析手法を用いた計算機ソフトウェアの開発と、その実用化に注力してきた。この手法は、計算機に対して高い能力を要求するといった短所があるものの、汎(はん)用性にすぐれ、他の手法では必要となる高度なノウハウを必要とせず、複雑な形状や任意の材質をもつ対象物にも応用が容易であるという利点をもっている。

先に述べたように、小型化された携帯無線機用アンテナの解析評価には、端末の複雑な形状と使用される環境条件を含めることが必要条件として挙げられる。研究開始当時、まだ一般的ではなかったものの、これらの条件を満たす解析手法として最短距離にあるのがこのFDTD法であると考え、この手法を適用したソフトウェアの開発を始めた。

ここでFDTD法を簡単に説明する。まず図1に示すように、解析するアンテナをその周囲の空間を含めて三次元格子で離散化する。続いておのおのの格子点に対応する電磁界を、マクスウエルの方程式に従ったルールを用いて時間軸上で逐次的に求めていくという方法である。

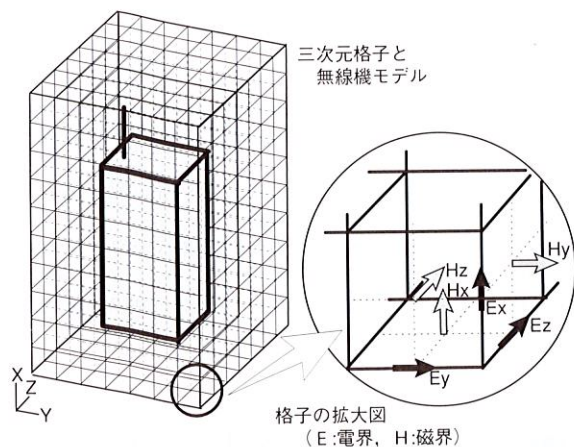


図1. FDTD法における三次元格子 対象物は、三次元の電磁界格子に離散化され、逐次計算される。

3D lattice for FD-TD method

3 無線機を構成する部品のアンテナへの影響

ここでは、FDTD法を用いた解析ソフトウェアの適用例として、携帯無線機におけるバッテリーを原因とするアンテナ放射特性の変動について述べる。

携帯無線機では、無線機本体もアンテナの一部として動作している。つまり無線機本体からも放射が行われており、無線機本体の形状はアンテナ特性を変動させることになる。

この本体の影響を考慮してアンテナ解析を行った例は以前から報告されている。ただしこれらの場合、無線機本体は直方体の金属の箱として取り扱っている。当時、主流であったモーメント法では詳細なモデル化が困難であったうえ、無線機の基板は、シールドボックスつまり金属の箱で覆われており、簡易なモデル化でも有効であったためである。またバッテリーの影響についても、アンテナから比較的離れた位置に配置されていたことから、測定評価ならびに計算においてほとんど無視されていた。

しかし、現在のように小型化し、内部構造が複雑化した無線機では、直方体のような簡易モデルでは対応が不可能となっている。なぜなら小型化と軽量化を図るため、シールドは削減される傾向にあり、露出した基板とバッテリーの組み合わせによって、基板上の電流が大きく変動する場合は予想されるからである。

当社では、詳細なモデル化が可能なFDTD法を解析手法に適用することにより、より実機に近い解析結果を得ることに成功している。図2に示すのはその一例で、当社の携帯電話の設計段階において行った、バッテリーの影響を考慮した放射パターンの計算と実験の結果⁽³⁾である。

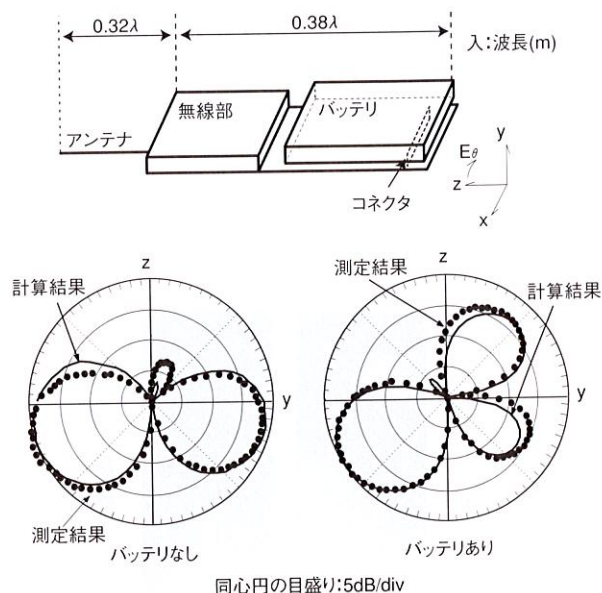


図2. バッテリーの有無による放射パターンの変化 従来知られていなかった、アンテナに対するバッテリーからの影響を明らかにした。

Radiation patterns with and without battery

計算結果と測定結果との比較からわかるとおり、FDTD法を用いた解析ツールが高い精度をもっていることがわかる。また図から明らかとなっており、バッテリーの部分を検討するかどうかによって放射パターンが大きく変動することがわかる。このように無線機本体を構成する個々の部品の効果が無視

できないレベルとなっていることを計算により示したのは、当社が初めてである。

このような放射特性の変動は、アンテナならびにバッテリーのパラメータによって特異的に発生しているもので、望ましいものとはいえない。この結果は実機の実装設計に反映させており、このような放射特性の変動を抑制するように、アンテナならびにバッテリーの形状パラメータの決定と実装位置の調整を行っている。

4 無線機本体の不要電流を低減する対策

次に述べるのは、無線機本体の不要な高周波電流（以下、不要電流と呼ぶ）を低減する対策の解析例である。

無線機本体上の不要電流は放射に大きく寄与し、それ自体がアンテナ放射特性を変動させるが、それだけではなく使用環境によるアンテナ放射特性の変動も助長する。なぜなら無線機本体は使用する環境（使用者の手や耳、机など）に直接接触するため、本体上の不要電流が大きく変動し、結果としてアンテナ特性の変動を増大させてしまうからである。

当社は、本体上の不要電流の影響を抑制するため、この電流を削減する方法を考案し、その効果をFDTD法を用いたソフトウェアで検証した⁽¹⁾。削減方法としては、無線機の基板上のグラウンド面に切込みを入れるという、簡単なが前例のない方法であり、この切込みのパラメータを選

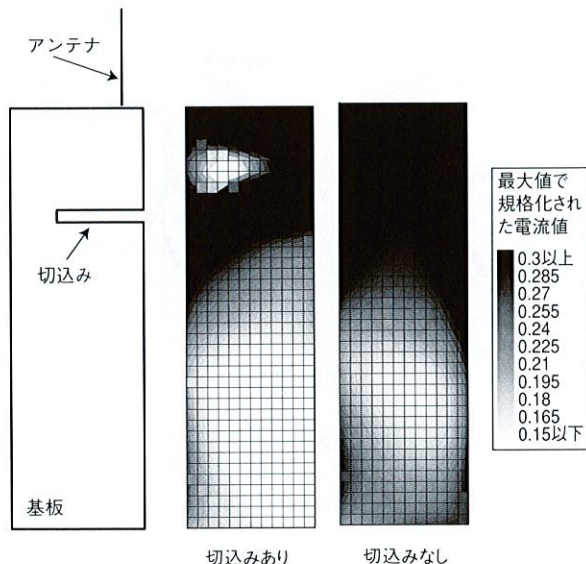


図3. 基板への切込みによる不要電流の抑圧 アンテナからみて、切込み以下の部分の電流が50%程度にまで減少している。

Suppression of undesirable current by notch cut in printed circuit board

ぶことにより、不要電流をせき止める働きをさせることに成功した。

図3は、PHS 端末をモチーフとした計算結果を示したものである。図は基板上の不要電流分布を示したもので、切込みのない場合に比べて、切込み以下の部分の不要電流が減っていることがわかる。これにより切込みが、効果的に働き、基板上の不要電流をせき止めていることがよくわかる。この方法により、放射パターンも改善されることや、通話状態におけるアンテナ特性も改善されることも同様に解析によって明らかにしている⁽⁴⁾。なおこの方法は、実際のPHS 端末にも応用されている。

5 あとがき

携帯無線機の小型化に伴い重要性が高まりつつある、機構設計段階における電磁界解析ソフトウェアの適用について、当社の対応を説明した。当社では、独自に開発したFDTD法による電磁界解析ソフトウェアを実機設計へ応用するとともに、無線機本体からのアンテナへの影響を低減する対策を検討、評価している。なお、今回説明したFDTD法は、EMC/EMI（電磁環境/電磁干渉）対策などにも応用可能な手法であり、ソフトウェアのさらなる改良を行い汎用性を高めていく予定である。

文献

- (1) Sekine, S.; Maeda M. The radiation characteristic of a $\lambda/4$ -monopole antenna mounted on a conducting body with a notch. '92 IEEE AP-S Dig. 1992, p.1000-1004.
- (2) Kunz, K. S.; Luebbers, R. J. Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics. CRC PRESS (1993).
- (3) 辻村彰宏, 他. 携帯無線機用アンテナにおけるバッテリーバックの影響. 97年信学会ソサエティ大会 B-1-56.
- (4) 関根秀一, 他. 切込みを有する筐体上のアンテナの損失性媒質近傍における特性. 97年信学会総合大会 B-1-71.



関根 秀一 SEKINE Syuichi

研究開発センター 情報通信システム研究所研究主務。携帯無線機用アンテナの開発・設計に従事。電子情報通信学会会員。

Information & Communication Systems Research Labs.



辻村 彰宏 TSUJIMURA Akihiro

研究開発センター 情報通信システム研究所。携帯無線機用電磁界解析ツールの開発に従事。電子情報通信学会会員。

Information & Communication Systems Research Labs.



前田 忠彦 MAEDA Tadahiko, D.Eng.

研究開発センター 情報通信システム研究所主任研究員, 工博。デジタル移動通信端末の研究開発に従事。電子情報通信学会会員。

Information & Communication Systems Research Labs.