

MomentumGX 活用方法-1 平面 Bluetooth アンテナ設計例

電磁界解析と回路解析結果を利用した 整合回路設計、協調解析の紹介



はじめに

一般的にアンテナを「イチ」から設計 するのには、電磁界の知識、アンテナ 工学の知識、電送線路の知識、さらに 豊富な実装経験が必要になってきます。 しかし、コストに敏感なコンシューマ 向け製品ラインナップに平面アンテナ を組み込む場合、一度設計したアンテ ナ形状を大きく変更することは少ない かもしれません。それよりも、製品改 訂で基板の層数の変更、部品配置変更 などによりアンテナ回りのレイアウト が変更されてしまい、「指向性が変わっ た」、「目的の周波数でゲインがとれな い」といった問題の方が多いのではな いでしょうか。

このアプリケーションノートでは、 2.4GHz 近辺で共振を持つ平面逆F型形 状のアンテナ (Printed Inverted F Antenna、以下 PIFA と呼ぶ)を、与え られた層構成に実装したときにどのよ うな特性になるのか、またどのように 設計変更すると利用するアプリケーシ ョンに適合する特性になるのかを検証 /検討する方法をご紹介します。対象の アプリケーションを Bluetooth にして おりますが、最後のマッチングの味付 けで、同様の帯域を利用するアンテナ にも応用できると思います。

「電磁界解析」と聞くと苦い学生時代 の経験を思い出す方もいらっしゃるか と思いますが、アプリケーションノー トシリーズ「MomentumGX入門¹」にも記 したように、複雑なのは解析手法であ り、ツールの操作は簡単で「PC 上の仮

¹「MomentumGX 入門」には、ご自身で MomentumGX を簡単に操作できる操作フ ローが掲載されています。また、解析 方法、各モードなどについて概要が説 明されています。 想ネットアナ」を扱うような感覚でと らえていただければ、MomentumGX をよ り身近に感じていただけるとおもいま す。

方針

まず、アンテナのレイアウト形状が既 に手元にあるとします。その形状を MomentumGX によりアンテナ放射モデル として解き、放射特性、反射特性を確 認し、マッチングをとるところまでを 実際の具体的な操作方法を交えてご紹 介いたします。

本アプリケーションノートでは、基本 的な Genesys の操作については紙面の 都合上、触れていません。

レイアウトの入力方法

レイアウト入力方法には以下の方法が あります。

 外部 CAD データ(DXF/ガーバーな ど)をインポートする
 [例:CAD データが既存製品の設計 資産としてできあがっている、サ ードパーティから供給されている 場合など]

2.

- Genesys で入力する
- (ア)回路図→レイアウト変換機 能を利用

[例:分布定数部品、集中定数部 品、アクティブ部品などを利用し た回路を、「回路レベル」で設計、 解析し、その後 MomentumGX の電磁 界解析で分布定数のレイアウト実 装時の影響を調べたい場合など] (イ)レイアウトから直接入力 [例:平面アンテナ、分布定数フィ ルタなど、レイアウト形状で特性 が決まってしまうようなアプリケ ーションで、MomentumGX の電磁界 解析の結果を回路図レベルに持っ て行き集中定数部品で微調整(マ ッチングなど)を行いたい場合な ど]

1の方法を利用した場合、2008.07 現在 DXF とガーバーは表1の条件に対応し ています。2の場合は、2-(ア)に おいて、回路図エディタで分布定数部 品(TLIN など)、集中定数部品を利用し て回路を入力し、変換先のレイアウト 特性を定義します。分布定数部品はイ

	111111111111111111111111111111111111111				
	DXF/DWG	Gerber			
入力フォーマット	AutoCAD 2007まで下位互換	RX273X/D/MDA			
	(.dxf/.dwgファイル)	(.gbr/.drlファイルなど)			
出力フォーマット	 Autocad 10 	RX273X/D/MDA			
	 Autocad 2000 				
	 Autocad 2004 				
	Autocad 2007				
MomGXポート位置出力	Yes <i>(ポート番</i>	号込み)			
MomGX側面壁出力	Yes				
ホール形状	・ カットライン	・ カットライン			
	・ ポリゴン	・ ポリゴン			
		・ ホール			
		(ドリルホール情報)			
Genesys読み込み前の	Yes				
プレビューア/簡易エディタ					

表1 DXF とガーバー対応表



Agilent Technologies

ンピーダンスと電気長で定義されてお り、レイアウトの比誘電率と厚みによ り最終的な物理的形状が自動的²に決定 されます。集中定数部品は、ランドの フットプリントを指定することで、レ イアウトの接続ができるようになりま す。2-(イ)においては、レイアウ トエディタで直接実寸をレイアウトに 入力します。

上記、どの方法を利用しても、本アプ リケーションノートのサブタイトルに ある回路図、レイアウトの電磁界解析 結果の「協調解析」を行うことができ ます。

今回は、1の方法で DXF を利用してレ イアウトを Genesys ヘインポートし、 MomentumGX で解析を行います。

レイアウトの設定とインポー ト

レイアウトの設定には以下の手順が必 要になります。

- レイアウトプロパティ内で各層の 定義

 - (ア)層構成(マ) 超体体は
 - (イ) 部材特性
 - (ウ)上下・側面壁境界条件
- (エ)各層の解析設定2. レイアウトのインポート
 - (ア) レイアウトの確認
 - (イ) 各層の割り当て
 - (ウ) 解像度の確認
 - (ワ)
 脾豚
 皮の
 確
 応

まず、GenesysのWorkspace内のレイア ウトエディタを開き、単位などエディ タの基本設定を行い、層構成と部材の 特性などを入力します。(図1、図2) ここで定義された層構成に対して、イ ンポートされるDXFのデータを割り当 てます。

図3のようにDXFファイルをインポートし、必要に応じてレイアウトの確認を行います。このレイアウトプレビューアでは、簡易的なレイアウト修正機能がついています。不要な部分の除去、不連続部の塗りつぶしなどができます。次に、図4のようにインポートレイアウトをMomentumのレイアウトプロパティで定義した層構成へ割り当てを行い

² 回路合成ツールの Advanced TLINE オ プションが必要です。



図1 レイアウトプロパティ設定例

Name	#	Color	Layer Type	Hide	On Bottom (Mirrored)	Plot	Etch Factor	Use
Top Cover			Cover					
Air Above			Air					N
TOP METAL	1	- 1	Metal				0	N
SUBSTRATE	2		Substrate					P
Air Below			Air					
Bottom Cover		\Box	Cover					
層構成	戈の設	淀 🗌						

2層、表面金属層

す。

た。

います。

Name	Use Layer Mesh Density	Mesh Density	Use Layer TL Mesh	TL Mesh	Edge Mesh	Edge Mesh Width	Via Model	Strip Model
Top Cover								
Air Above								
TOP METAL		30		1	Default	0		Default
SUBSTRATE							Default	
Air Below						x		
Bottom Cover								





図2 層構成設定例 ます。必要に応じて解像度を変更しま *C*



…………………(式-1) さらに、1/4 波長は式2より

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{4} \approx 3cr$$

程度です。

誘電体による波長圧縮の影響を考える とき、マイクロストリップ形状の実装 のため、実効比誘電率で考える必要が あるため誘電率は低めに働いていると 考えられます。

これで、レイアウトの準備が整いまし

Genesys 上でレイアウトの

読み込んだレイアウトは、図5のよう

な形状と誘電体の組み合わせになって

このアンテナは、およそ 2.4GHz 程度で

共振点を持つように設計しています。

確認とポートの設定

2.4GHz の波長は式1より



図3 DXF インポート方法

今回、Bluetooth 用に 100MHz 程度 (2402-2480MHz の周波数ホッピングの ため)の帯域を確保するため、Qを下げ、 少々ダルなるように給電点を設けてい ます。

PIFA の場合、共振アンテナ部は裏面の 金属層を抜き、グランドプレーンを共 振アンテナ部よりも手前側に設けます。 グランドプレーンの縦横比によって、 指向性やインピーダンスも変化します。 これらのパラメータより、今回利用す るアンテナの形状を決定しました。

給電ポートに対する基準ですが、グラ ンドプレーンに置き、給電ポートと関 連づけする必要があります。基準点の 物理的位置によってもリターンカレン トの経路が変化するため、インピーダ ンスの見え方が少々変化すると予想で きますが、今回は、給電ポートの対岸 にあたる部分に基準点を置きました。 (図5参照)





図5 レイアウト詳細とポート設定

the second second second second			
veral Simulation Options Mesh Far Field Options		General Simulation Options Mesh Far Field Options	
Name: Momentum	C Automatic Recalculation	Simulation Mode	<u> </u>
Design (Layout): Sch1	Automatically save workspace after calculate	C BF (faster, no radiation effects)	
Dataget: Momentum1_Data	Select all and connect layout before simulating	Microwaye (recalculates substrate for every frequence)	
Description	Center in the box before simulation	7.	テナけの関放射を解析する
	Include Footprint Components	C Substrate 以更	があるので"Microwave"
Simulation Frequencies	Calculate Now	C Mesh and substrate	ドを選択
Ferdiency Ranze	Li Eastery Defaulte	Alt substrate, mesh, and S-Parameters	1.5751/20
Start 2 GHz			
	Save as Fagorite_	3D Metal Expansion	
Stgp: 3 GH2	Erequency Units: GHz	(<u>N</u> one (thin metal)	
Type Of Sweep 2.45GHz付	近が十分 Default Port Impedance: 50.0 Ohms	C Llo	
C Linear Number of Points 見られる範囲	囲に設定	C Down	今回は金属厚みを
		- Via Model	考慮した3次元解析
C Log: Points/Decade:	I Use EM simulation frequencies	C Lumped	を行わない。
C Linear: Step Size (GHz):	-	C 1D (wire)	
	Start frequency, 2 GHz	(2D (planar, no horizontal currents (default))	
(* Adaptive (APS/ Max Points: 25	Stop frequency: 3 GHz	C 3D (spatial, include horizontal currents)	
C List of Frequengies (GHa)			
掃引方法はほぼ	すべての Number of points 11	Use Box	
アフリケーション	CAFSE	Include TL calculation	
設定		Use horizontal side currents (thick conductors)	
		Reuse results of last simulation	
	0K MARKEN 2000 ALL 1	OK	*********** (A) (本田(A) AII

図6 MomentumGX 解析プロパティ設定 ゼネラルタブ・解析オプション



図7 MomentumGX 解析プロパティ設定 メッシュ設定

解析の設定

ネットアナと同様、反射特性を出すの が電磁界解析の仕事ですので、掃引範 囲や掃引方法を指定することが最低限 必要になります。 基本的にデフォルト設定で 0K ですが、

基本的にデノオルト設定で OK どうか、 アプリケーションによってさらに以下 の点を設定する必要があります。

- [必須]掃引範囲 掃引方法は有理的フィッテイング をする AFS を基本的に選択。
- [必須]解析モード 通常は、空間放射を考慮しない "RF"モードにする。計算量が少 ないため、解析時間が短い。 アンテナなど空間放射する場合 は"Microwave"モードを選択。今 回はこれに設定。

3. メッシュ

(ア)メッシュ周波数 アンテナなど、あらかじめわ かっている共振周波数があ る場合、それを指定。今回は 2.45GHz。 メッシュ密度 20-30 程度 (デ フォルト)から

D/6 -

様子

をみ る。ここで意図した結果が得 られない場合、密度を上げる。 一番解析時間に影響するた め、トレードオフに注意する。

- (イ) TransmissionLine メッシュ
 伝送路のような平行線部分
 を自動的に探し出して、指定
 したCell分メッシュを構築。
 今回は OFF。
- (ウ) エッジメッシュ 構造物の端に周波数に応じ て自動的にメッシュを構築 し、伝送線路など端に電流が 集中する構造物では、現実に 即した結果を算出できる。通 常 On でよいがメッシュが増 える分、解析時間も延びる。 今回のプレーンがあるよう な場合は、少々迷うが解析時 間が比較的短いため、ON。
- (エ)メッシュ削減
 細かいメッシュをひとまと
 めの多角形に自動変換する。





図8 反射特性 解析結果

基本的に常に ON。

これらの設定は、各層ごと³にも設定で きます。また、金属幅に対して厚みの 割合が大きい場合、金属の厚みを考慮 した解析を行うことで、解析精度をよ り現実に近いものに近づけることもで きます。

MomentumGX のプロパティタブの設定を 図 6-7 へ示しました。

解析結果の確認

反射特性

解析時間は、筆者の環境(CPU:Intel Core2 T7200@2GHz, Memory:1GByte) で 約30秒程度でした。

反射特性をスミスチャートと S11 とし て図8へ示しました。帯域の定義はVSWR が2以下とし、その帯域と共振の中心 周波数よりQを算出しました。(コード はワークスペースを参照ください。) スミスチャートから、50Ωよりやや低 めの反射特性がでていることがわかり ます。

遠方界とアンテナパラメータ

Microwave モードの解析結果から遠方 界を算出させるためには、MomentumGX プロパティの Far Field Option タブで Calculate Far Field のチェックボック スを On にし、再計算を行います。この とき、電磁界解析は行われず、遠方界 結果とアンテナパラメータが新たにデ ータセットに追加されます。 アプリケーションがアンテナの場合、 おすすめの設定を図9に示しました。

データセットから、必要な情報を取り

出します。たとえば、コニカルカット で 45 度の遠方界が見たい場合は、図 10 の様に設定します。

MomentumGX が計算する絶対利得、指向 性利得、効率の定義は以下の通りです。 利得(dBi) 1.

すべての方向に一様に放射する仮 想アンテナ(等方性アンテナ



図9 遠方界データ算出の設定



[Isotropic Antenna]) に対する比。

2. 指向性利得

アンテナから放射されるパワーを 全方向に積分した値の平均を基準 に、ある方向の一番大きいパワー の比。上記ゲインよりも良い値が 得られる。

3. 効率

上記の指向性利得に対する絶対利 得の比。

遠方界コニカル、プリンキパルカット、 効率などの表示例を図11に示しました。 ここで、効率が悪く見えているのは、 マッチングがとられていないためです。



図11 遠方界とアンテナパラメータの表示例



図12 回路図への Momentum GX 解析結果 (S-para) の追加方法







図14 PI 型回路で Genesys 回路図をマッチング対象にする例

マッチング

先ほどの図 8 のスミスチャートより、 帯域を広めにとるために 50Ωより少々 低めのインピーダンスになっているこ とがわかります。

これから、Genesys の回路合成ツール 「MATCH」を利用して、ブロードマッチ ングをし、回路を生成していきます。 このツールを利用することで、非常に 簡単にマッチング回路を生成すること が可能です。

まず、図 12 のように新しく回路図をつ くり、生成したデータセットを WorkspaceTreeからドラッグ&ドロッ プをします。次に「MATCH」を起動し(図 13)マッチングをとりたい帯域を指定 します。そして、図 14 のように、アプ リケーションに合った IC などのポート インピーダンス、マッチングトポロジ を選択し、先ほど新規につくった回路 図を整合の対象にします。SMT 部品のQ は構造上それほど高くならないため、2 桁ほどの Q の値を入れておくと、反射 特性が実際に近づきます。

「Calculate」ボタンを押すと、即座に 回路と線形解析結果が表示されます。 図14にも書きましたが、現在1ポート デバイスのマッチングを考えているた め、ポート2側は無視します。

図 15 がマッチング結果です。C,L(抵抗ロス分も含む)のみで理想的に計算 を行うと、このようになります。実際 は、SMTの部品を利用すると、C,Lであ っても寄生の容量、誘導性の成分が出 てきてしまい、Cは直列、Lは並列共振 回路のように振る舞います。 そこで、部品ベンダが提供している設 計ツールなどを利用し、どのサイズ、 シリーズの部品を利用すると2.4GHz付 近で寄生容量、誘導成分がどの程度出 てくるのか、SRF は必要帯域よりも十分

調べた結果を基に、Genesys に等価回路 を入力し、実際の部品を利用した場合 のマッチング結果を再確認します。こ れらを考慮して解析しなおした結果が 図 16 です。図 15 に比べて一番反射の 少ない位置が高い周波数へずれている

高いかなどを確認します。





図16 寄生成分を加味したマッチング特性

2350 2370 2390 2410 2430 2450 2470 2490 2510 2530 2550 Frequency (MHz)

.411

反射特性

8.2

74

6.6

5.8

5 👌

4.2[≟]

3.4

2.6

1.8

1.071

0

-4

-12

-16

9.20

5-24

-28

-32

-36

-40

ことがわかります。必要帯域内の VSWR 特性をみると 1.5 を下回っているので このままでも良いと思いますが、部品 の見直しをして、もう少し VSWR を小さ くすることもできることが予想されま す。

試作段階では、SMT 部品ランドは微調整 を考慮して PI 型のものを用意しておく とよいと思います。キャパシタンス・ インダクタンスの置き方から 8 通りの 攻め方を準備できます。また、理論上 Genesys のような回路シミュレータで さらに複雑なマッチング回路を考える 事もできますが、インサーションロス が増すため、できるだけシンプルなト ポロジが好ましいと思います。

「MATCH」には、ほかにも伝送線路を利 用したマッチングトポロジなども用意 されています。特にQマッチ整合回路⁴ (1/4 インピーダンス変成器・ $1/4\lambda$ matching section) はパッチアンテナ の給電線路部などへ部品を利用しない でトレースのみで実装する、コストを 抑えたマッチングに有効です。

⁴ Qマッチ整合回路のパッチアンテナ

への具体的な適用例は、弊社編纂の

[「]Genesys 体験セミナテキスト[実践

編]」に掲載しております。併せてご覧 ください。



まとめ

具体的なアプリケーション、Bluetooth に焦点をあてた PIFA の設計方法を Genesys の機能を利用しながらご紹介 いたしました。

デバッグにあたり、MomentumGX と MATCH で算出した結果が、ネットアナなどの 実測値とぴったり合うことは希かもし れません。

比誘電率も公称値だけで、実際の値が はっきりしないことも多いですし、パ ターンの公差、SMT 部品の寄生誘導・容 量性によるインピーダンス誤差と SMT 部品マウント下の誘電体による電気力 線のフリンジ効果などなど・・・評価 基板上の誤差を少し考えただけでも、 これだけの影響が容易に想像できます。 これに測定系の誤差も考えると、 Genesys による解析値と実測値を合わ せることはかなり難しい問題です。 しかし、冒頭に述べましたように、既 に設計した平面アンテナ構造を、異な る層構成に実装しようとした場合、「そ もそもこのアンテナは共振点が出てく れるかどうか」という基本的な問題に 対して Momentum GX による技術的裏付け を得ることによって、安心して試作ボ ードの設計、デバッグに時間を費やす ことができます。また、「共振点は低く なるのか、高くなるのか」、「マッチン グは伝送線路だけでコストを下げられ るか、それとも SMT 部品が必要なのか」、 「マッチングは容量よりにすべきか、 誘導よりか」など、設計・デバッグ時 の有益なヒントを与えてくれると思い ます。

本アプリケーションノートが、ユーザ 様の設計に少しでも貢献できれば幸い です。

参考文献

- [1] Genesys $\sim \mathcal{N} \mathcal{T}$,2008.07 version, Agilent Technologies
- [2] Sebastien Mathieu ,Bluetooth Antenna Design, National Semiconductor AN-1811, 2008, National Semiconductor
- [3] 小暮裕明 著,電磁界シミュレー タで学ぶワイヤレスの世 界,2001,CQ 出版社

- [4] 広畑敦 著,高周波技術センスア ップ 101,2003, CQ 出版社
- [5] 2.4GHz 帯モバイル機器内蔵用フ ィルムアンテナ,日立電線工学技 術研究誌 No.21(2002-1),日立電線 株式会社

ワークスペース一覧

本アプリケーションノートで利用して いる Genesys ワークスペースファイル は弊社の Web よりダウンロードできま す。以下の一覧は、ワークスペースフ ァイル名と解析内容との対応を示しま す。

- 電磁界解析結果(遠方界込み) bluetooth_antenna1.wsx
- マッチング結果
 bluetooth_antenna2.wsx
- 寄生成分を含んだマッチング結果 bluetooth_antenna3.wsx
- 4. 電磁界解析結果 (S パラのみ) bluetooth_antenna4.wsx

すべてのワークスペースは、 Genesys2008.07 を利用して作成されて います。

改訂履歴

初版 2008年9月

アジレント・テクノロジー株式会社

本社〒192-8510 東京都八王子市高倉町 9-1 計測お客様窓口 受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く) TEL ■ 0120-421-345 (042-656-7832) FAX■ 0120-421-678 (042-656-7840) Email contact_japan@agilent.com 電子計測ホームページ www.agilent.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。 ご発注の際にご確認ください。

> ©Agilent Technologies. Inc. 2011 Published in Japan, September 21,2011 5990-9157JAJP 0000-08A

