

S-NAP Wireless Suite

解析サンプル&機能概要

2018年 11月発行

Release 8

株式会社エム・イー・エル

〒452-0808

名古屋市西区宝地町207

TEL 052-504-6068

FAX 052-504-6067

URL: <http://www.melinc.co.jp>

目次

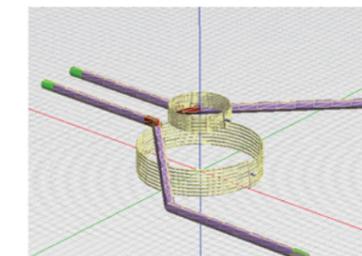
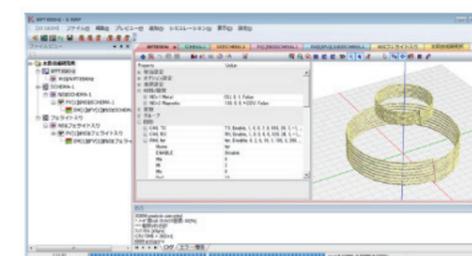
S-NAP Wireless Suite 解析サンプル&機能概要	1
電磁界シミュレーション例	3
電力伝送	3
自動車用磁界共鳴方式 ワイヤレス電力伝送サンプル(85KHz)	3
電磁誘導(共振)方式の電力伝送解析 - 回路動作を含む伝送解析 -	4
電磁誘導(共振)方式の電力伝送解析 - フェライトケースのオフセット -	5
電界結合方式の電力伝送解析	6
IDカードシミュレーション	6
マイクロ波を用いた電力伝送解析 マイクロストリップパッチレクティナアンテナ	7
フォールディッドダイポールレクティナアンテナ	8
ダイポールレクティナアンテナ	8
アンテナ解析	9
各種アンテナ解析例	9
組み込みアンテナ&筐体の影響	11
伝送特性	14
EMC解析	16
静電ノイズ経路の解析例(筐体+プリント板+ケーブル)	16
ICパッケージの特性解析	17
3次元形状部品解析	18
大電流電極	18
タイトバリコン	18
平面回路解析(多層基板電磁界ソルバ)	19
マイクロストリップフィルタ各種	19
デバイダ解析	23
増幅器	25

電磁界シミュレーション例

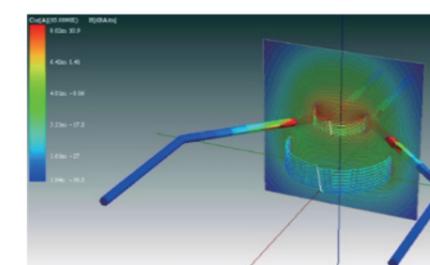
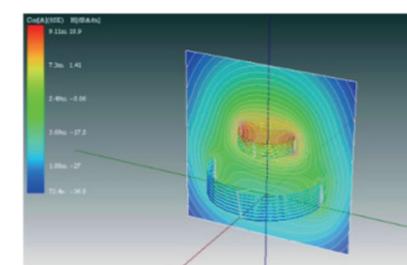
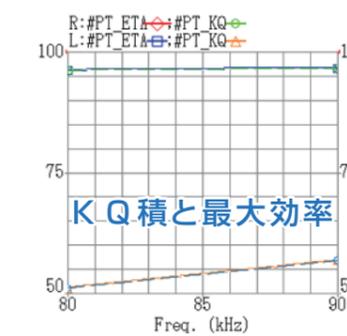
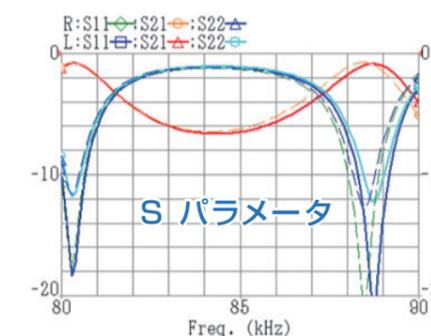
電力伝送

自動車用磁界共鳴方式 ワイヤレス電力伝送サンプル (85KHz)

磁界共鳴方式による自動車用ワイヤレス電力伝送の解析サンプルです。周波数は85KHzで、コンデンサにより共振を取っています。送受を同一周波数で共振させると、過結合になり双峰特性になっていることが確認できます。また、排気管がある場合の影響も解析を行っています。グラフは、Sパラメータ特性とKQ積および伝送効率 η です。96%以上の効率が得られていることがわかります。



排気管付きモデル



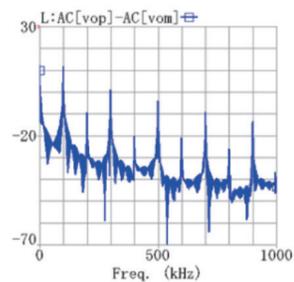
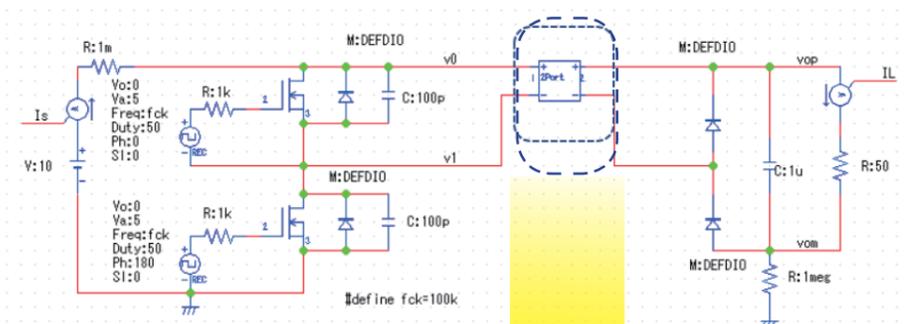
磁界分布

目次

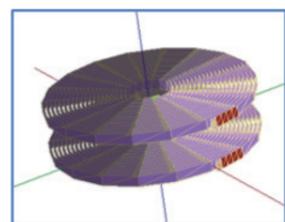
電磁界ソルバのその他の機能	27
導波管励振モード	27
入射波励振モード	28
ハーモニック・バランス解析法の実装	28
コンポリューション・トランジェント解析法の実装	28
Microwave Work Shops 規範問題	29
平面回路	29
オープンスタブ回路のDC~70GHzまでの特性比較 (2012)	29
キャパシタ回路のDC~70GHzまでの特性比較 (2012)	30
ステップインピーダンス LPF (2015)	30
アンテナ	31
マイクロストリップパッチアンテナの高次モードまでの特性 (2014)	31
導波管解析	31
空洞共振器解析 (2017)	31
回路シミュレータの主な特徴	32
解析機能の主な特徴	32
Sパラメータ解析機能	32
ハーモニック・バランス解析機能	33
コンポリューション・トランジェント解析機能	35
最適化機能	35
BPFの最適化設計例	36
カーブフィット最適化例	36
自動設計の主な特徴	38
設計可能回路と設計例	38
エッジカップルマイクロストリップ BPFの設計例	39
ラットレースリングの設計例	39
連立チエビシェフアクティブ BPFの設計例	40
PLLフィルタの設計例	40

電磁誘導（共振）方式の電力伝送解析 - 回路動作を含む伝送解析 -

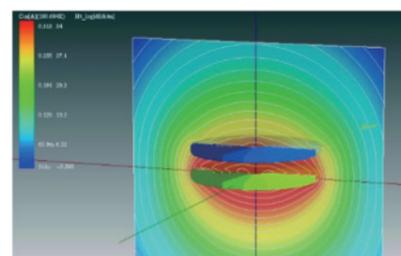
誘導コイルとコンデンサによる共振を有する電磁誘導方式で、MOSFETを用いてスイッチングを行い、全体回路を解析することが可能です。以下は直径5cmのコイルを1cm離れた場合のシミュレーションです。トランジェント解析を含めて1分以内で解析が終了しています。出力電圧はピークで約8Vが得られています。共振させることで大きな伝送電力は得られますが、コイルがむき出しのため、近傍の磁界放射は大きくなっています。



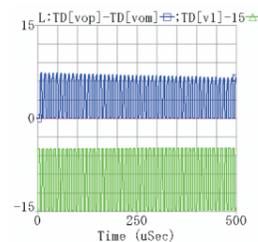
スペクトル



直径：50mm
 巻き数：20回
 共振容量：***
 コイル間距離：10mm



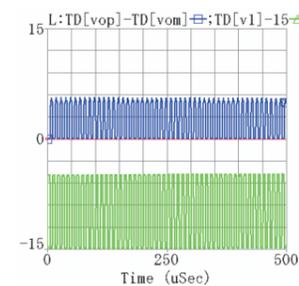
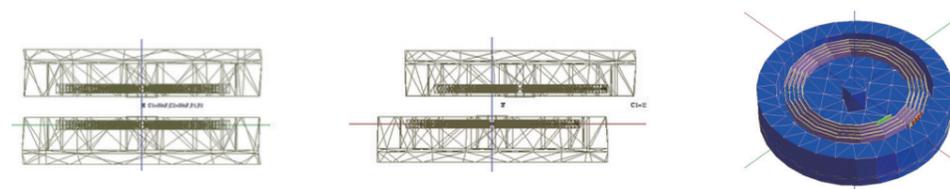
100kHzにおける磁界分布
 近傍への放射が大きい



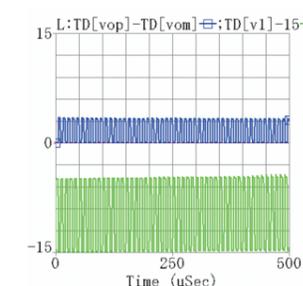
出力波形（上）
 スイッチング波形（下）

電磁誘導（共振）方式の電力伝送解析 - フェライトケースのオフセット -

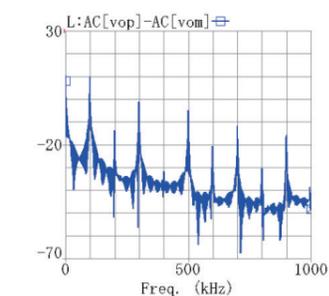
右図のように心棒を持つフェライトの円形ボックス（ $\mu r=100$ ）にコイルを入れた場合の解析例を示します。横方向に5mmオフセットした場合を比較しています。オフセット時は出力電圧が60%程度になることがわかります。また、フェライトを被せることで近傍磁界が17dBほど小さくなりますが、オフセットした場合は漏れ磁界が大きくなるのがわかります。



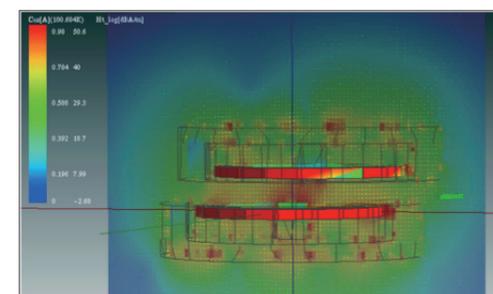
オフセットなし
 出力（上）、スイッチング（下）



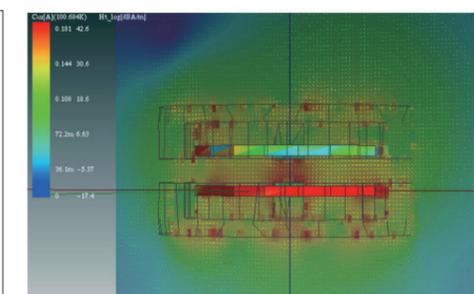
5mm オフセット
 出力（上）、スイッチング（下）



オフセットなし
 スペクトル(出力)



オフセットなし

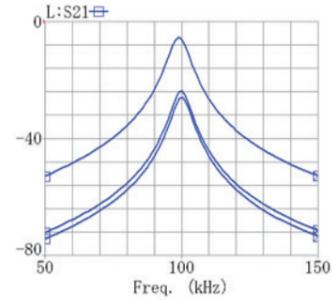
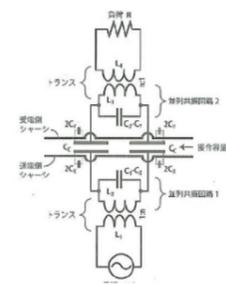
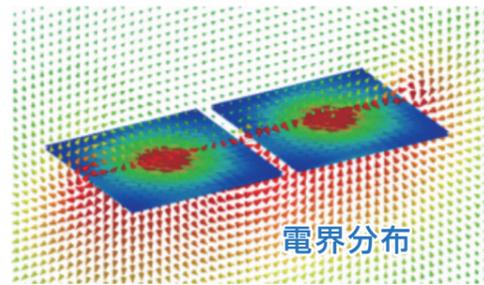


オフセットあり
 (漏れ磁界が大きくなる)

100kHzにおける磁界分布
 中央部のフェライトに磁界が集中していることがわかる

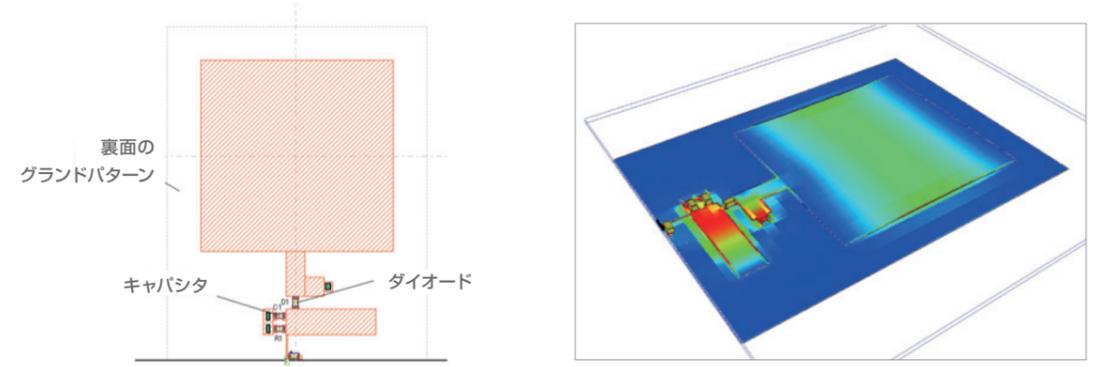
電界結合方式の電力伝送解析

電界結合方式は、対向する接合容量で電力伝送を行う方式です。直列型と並列型がありますが、以下に並列型の解析例を示します。接合容量を含めた共振系の最適値を求める必要がありますが、S-NAP Wireless Suiteの最適化機能を用いれば、容易にトランスのインダクタンスや結合容量を得ることができます。グラフは対向電極の距離が変化した場合の伝送特性の差を示しています。ビューワは、100kHzにおける電界分布のベクトル表示です。



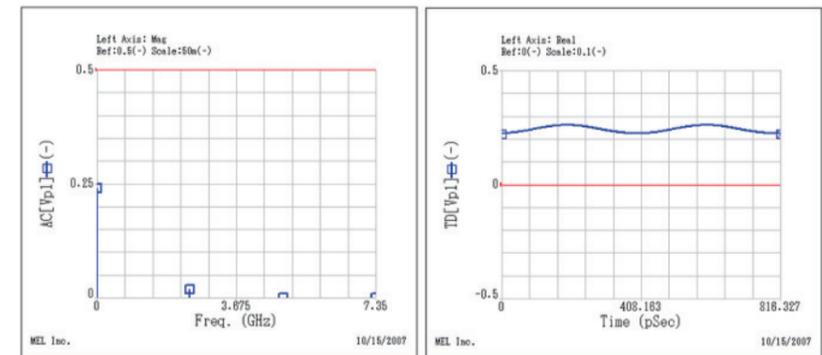
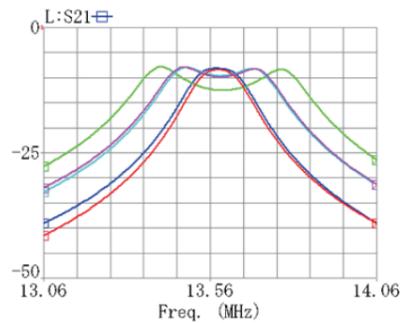
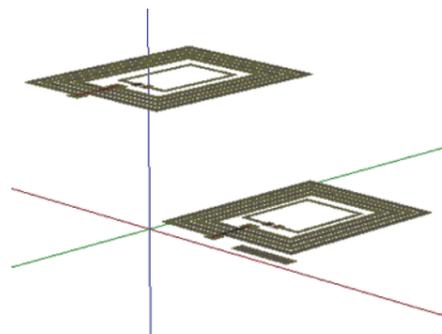
マイクロ波を用いた電力伝送解析 マイクロストリップパッチレクティファアンテナ

電界結合方式は、対向する接合容量で電力伝送を行う方式です。直列型と並列型がありますが、以下に並列型の解析例を示します。接合容量を含めた共振系の最適値を求める必要がありますが、S-NAP Wireless Suiteの最適化機能を用いれば、容易にトランスのインダクタンスや結合容量を得ることができます。グラフは対向電極の距離が変化した場合の伝送特性の差を示しています。ビューワは、100kHzにおける電界分布のベクトル表示です。

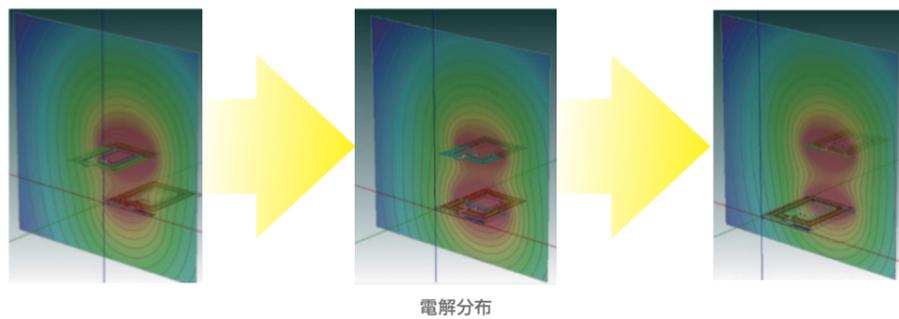


IDカードシミュレーション

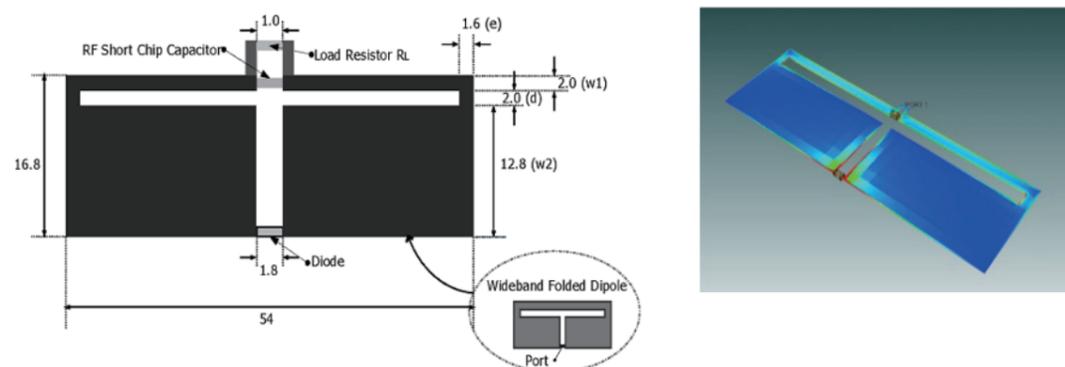
13.56MHz IDカードの親機と子機のアンテナ特性と磁界分布です。IDカードが親機の真上に来ると強結合になり、双峰特性になることがわかります。



ポート端子でのスペクトルと波形
 入射電界強度 : 14V/m
 負担抵抗 (ポート抵抗) : 500KΩ
 240mVのDC出力が出ている (開放電圧)



フォールディッドダイポールレクティナアンテナ

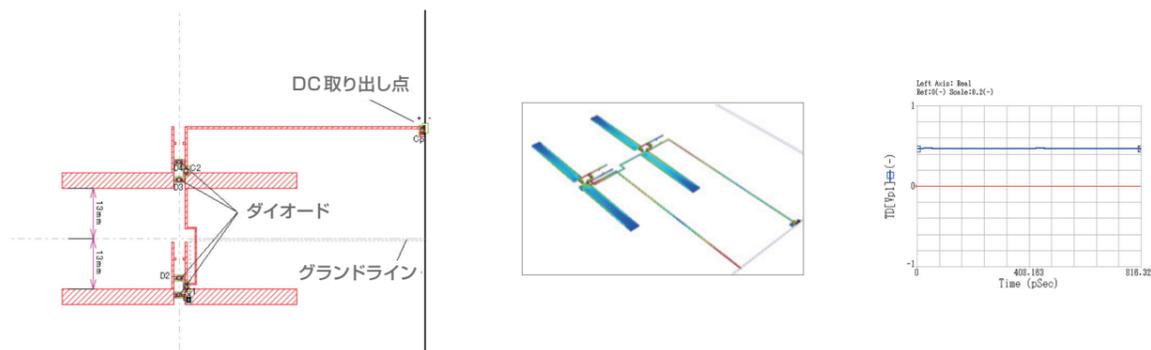


Output Voltage and Conversion Efficiency with Various Load Resistors

Load Resistor (ohm)	Output Voltage (volt)	Simulated (S-NAP/Field)
100	0.21	0.272
500	0.45	0.519
1000	0.6	0.603

ダイポールレクティナアンテナ

ダイポールアンテナを2個使用したレクティナアンテナです。1アンテナあたりダイオードを2個用いて倍電圧検波回路を構成しています。解析条件としては、14V/m@2.45GHzの電界強度の電磁波が正面方向から到来している場合の特性を解析しています。ポート抵抗は500KΩとして開放電圧を見ています。約460mVのDC成分が得られ、この値はモノポールアンテナ時のほぼ2倍の値になっています。

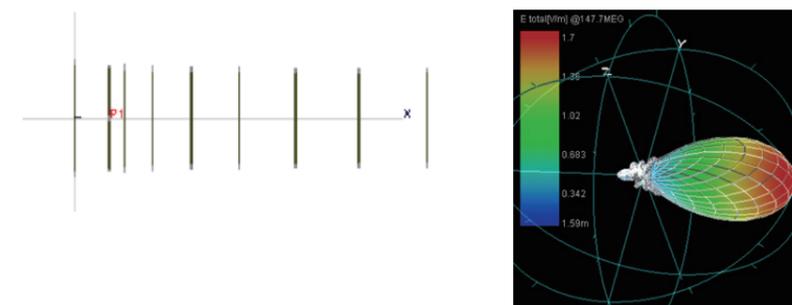


アンテナ解析

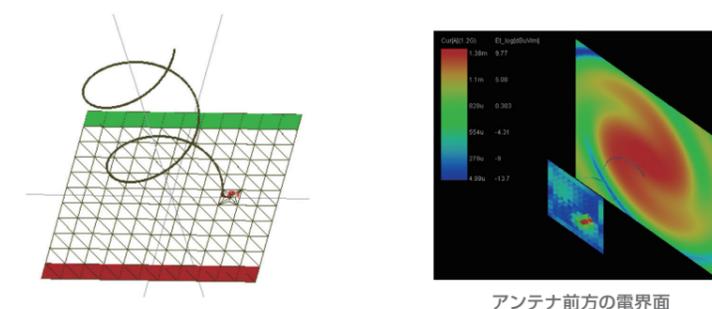
ダイポールや八木アンテナなどの一般的なアンテナ解析や近傍の金属、誘電体を含んだ解析にも用いることができます。リターンロス、2D/3D指向性、放射効率、電界、磁界表示、ポインティングベクトル、インピーダンスマップなど多彩に特性を表示可能です。

各種アンテナ解析例

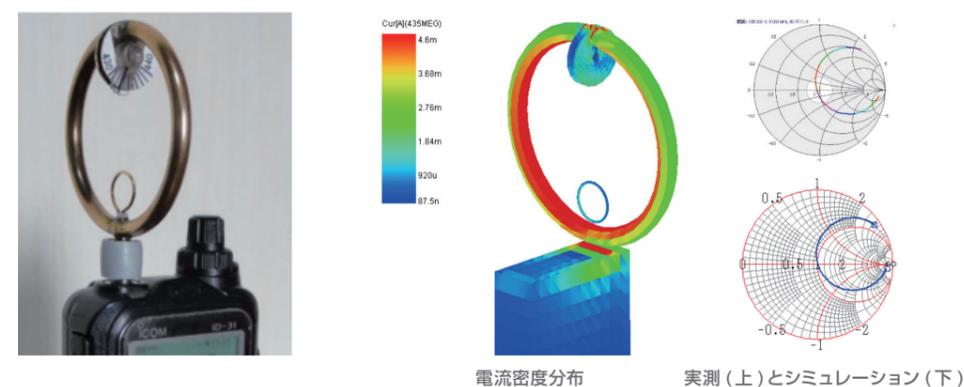
・9エレメント八木アンテナ



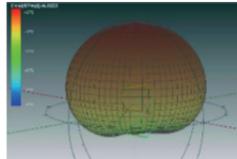
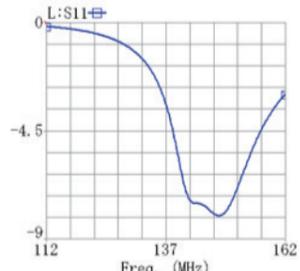
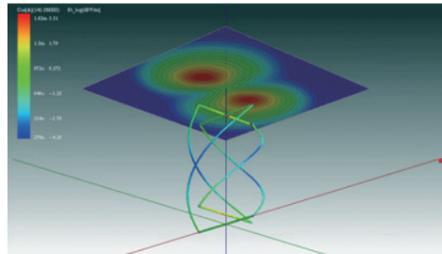
・ヘリカルアンテナ(円偏波)



・マグネチックループアンテナ



• 円偏波アンテナ

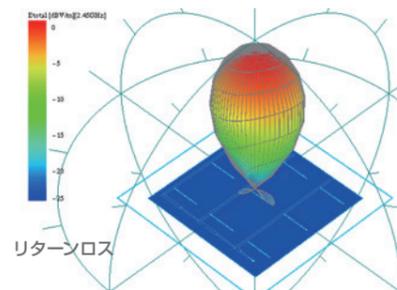
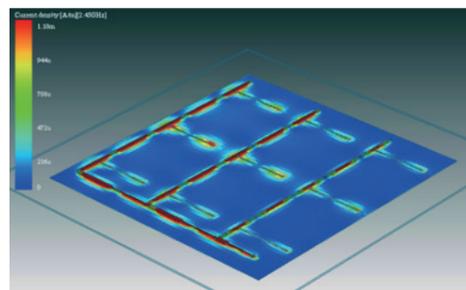


Gd=5.44475[dBi]
 Ga=4.52631[dBi]
 Efficiency=80.93[%]

リターンロス

指向性と放射効率

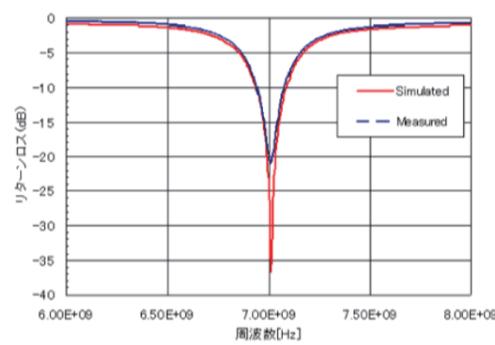
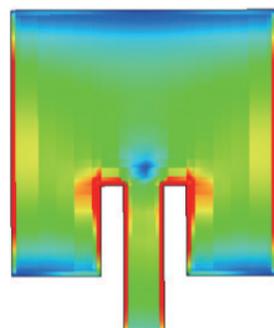
• 2.45GHz 9エレメントスロットアレイ



リターンロス

指向性と放射効率

• 7.01GHz マイクロストリップパッチアンテナ



実測比較

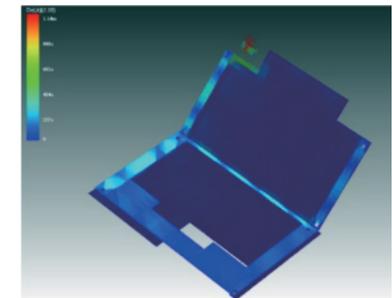
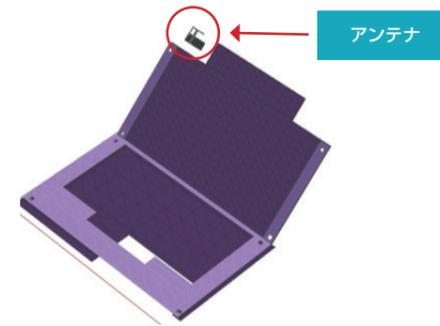
<参考文献>
 佐藤源貞、川上春夫、田口光雄著、「現代アンテナ工学」、総合電子出版社 pp85-88

組み込みアンテナ&筐体の影響

最近の電子機器では、アンテナは、筐体内に組み込まれる事が多くなっています。
 このような場合、筐体との干渉を考慮しながら、放射効率や指向性を検討する必要があります。

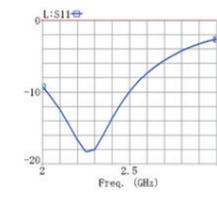
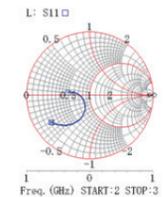
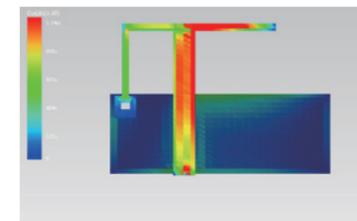
• ノートPC組み込みアンテナ

以下は、ノートPCにプリント逆Fアンテナを取り付けた例です。
 筐体全体に電流が流れていることがわかります。



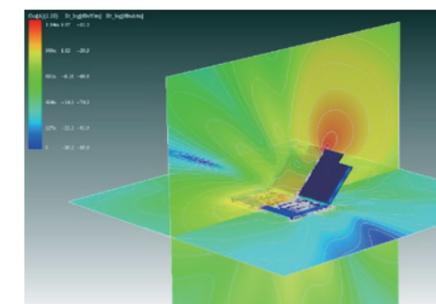
筐体に流れる電流分布

図はアンテナ単体の特性で、2.4GHz付近で共振していることが確認できます。

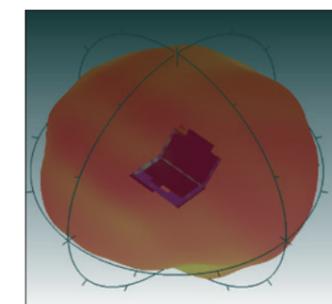


アンテナ単体の電流分布とSパラメータ特性

ノートPCの下の方は電界分布で、ノートPCから放射状に伝搬していく様子がわかります。
 水平面が電界分布で垂直面は磁界分布です。



ノートPC周辺の電磁界分布



指向性特性

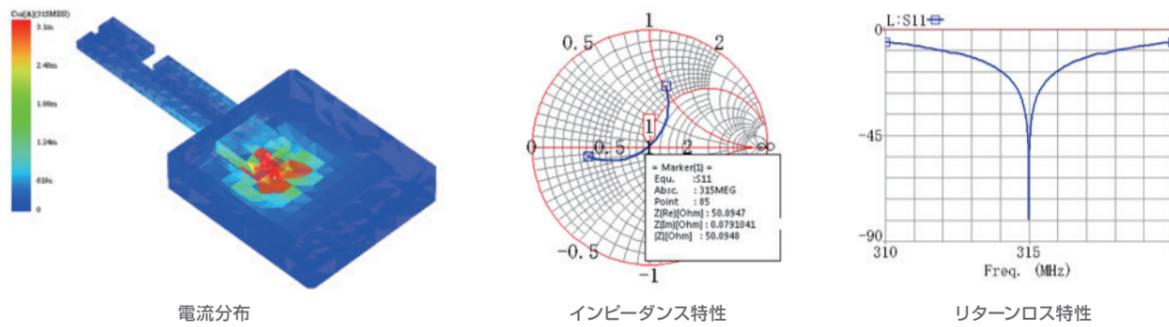
• **ワイヤレスキーのアンテナ解析**

約40mmの金属鍵部を持つキーを315MHzのワイヤレス化する場合のアンテナ解析例を示します。キーの鍵部とグラウンド板だけでは315MHzに共振しませんので、鍵部ボトムにローディングコイルを含めています。また、樹脂ケースを付けることにより共振点がシフトしますので、ケースも考慮して全体を解析します。

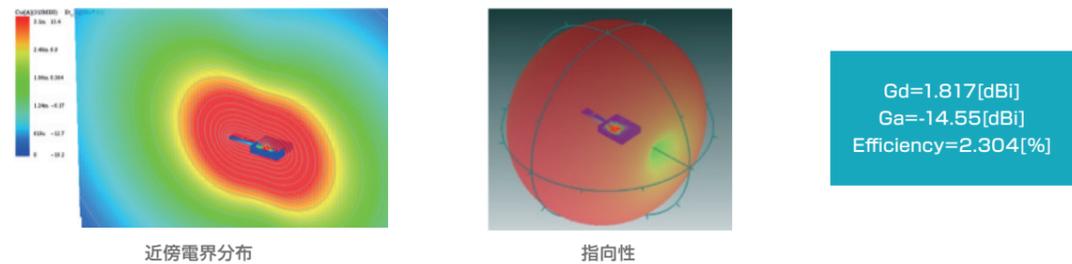


装着されたローディングコイル

以下が、315MHzにおける電流分布とSパラメータ特性です。整合回路を入れてありますので、315MHzで共振が取れていることが確認できます。



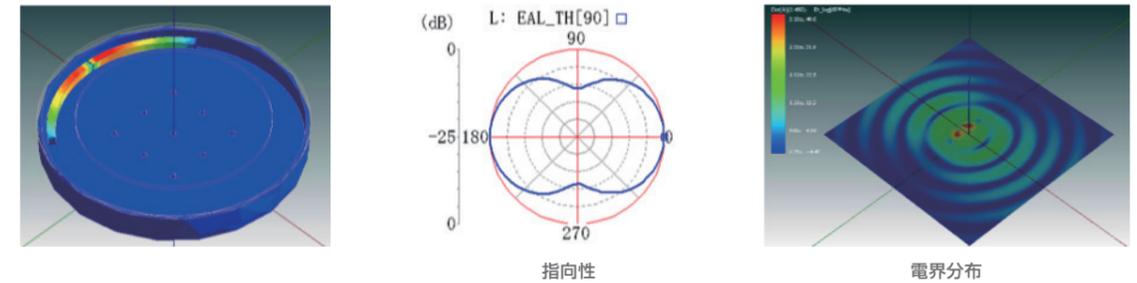
以下が、315MHzにおける近傍電界分布と指向性特性です。キーの軸方向にNULLが生じていることがわかります。キーの長さは約 $\lambda/24$ なので、放射効率は2.3%程度になることがわかります。



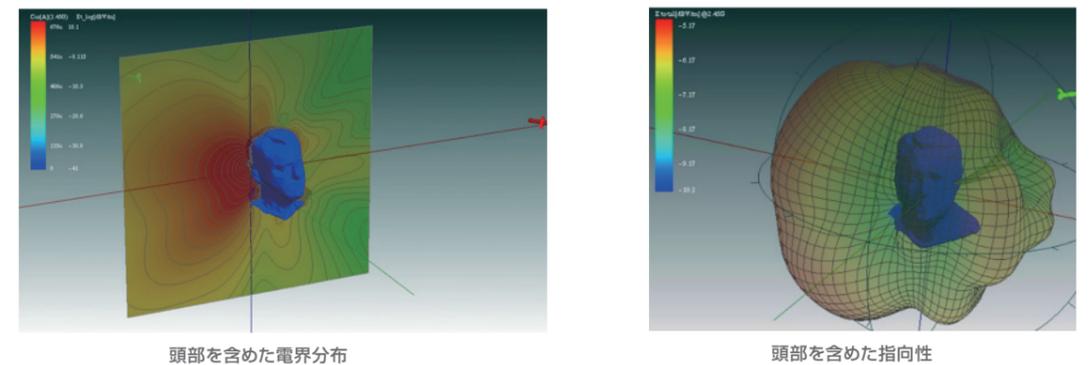
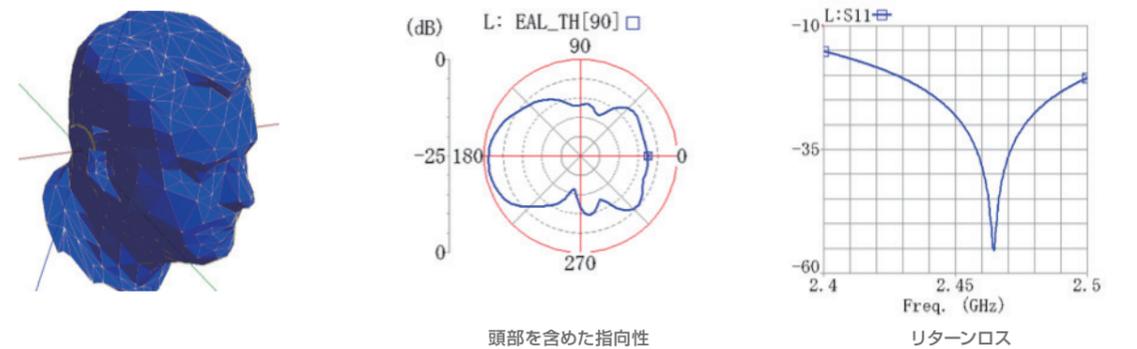
• **ブルートゥースの人体の影響**

図は、2.45GHzのワイヤレスヘッドホンの人体頭部の影響を解析した例です。アンテナは円弧状になったダイポールで、単体の放射効率は99%を示しています。これを頭部の側面に置いた場合、放射効率は49.5%に低下し、放射パターンも非対称になっています。リターンロスはあまり変わらないことから、人体によるエネルギー損と考えることができます。頭部は0.3%、36.5℃の塩水でモデル化しています。

• **アンテナとボトムケースのみの特性**



• **人体の影響を含めた特性**

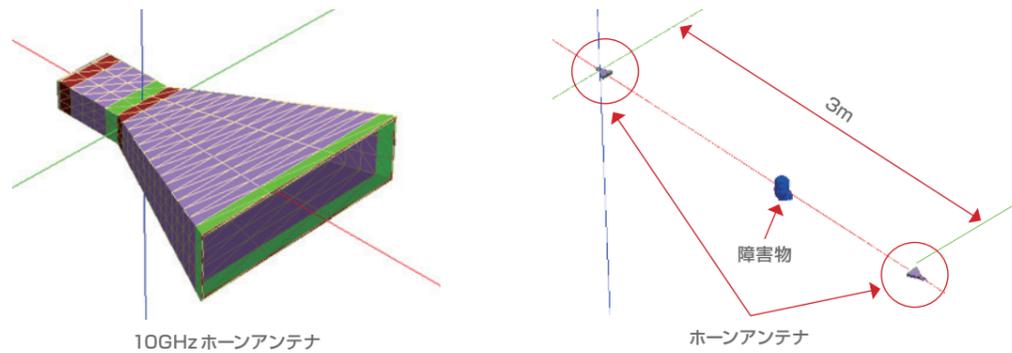


伝送特性

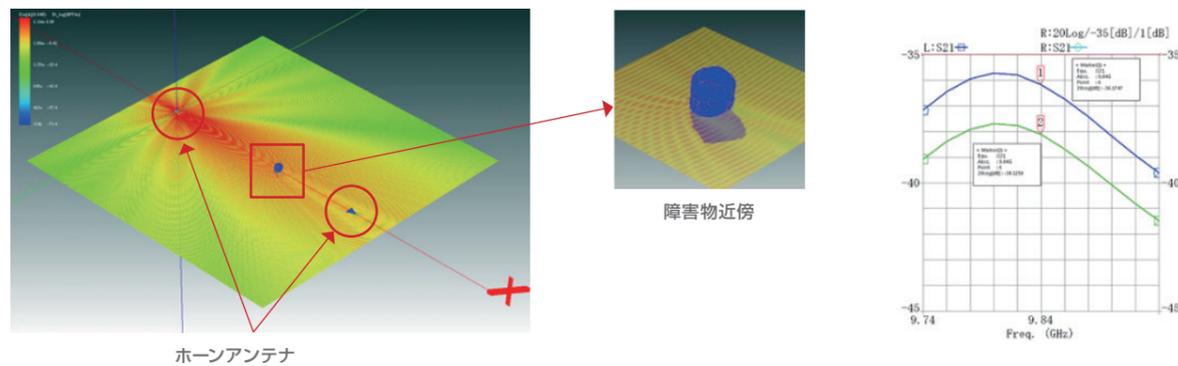
2つのアンテナが空間の離れた位置に置かれたような解析を行う場合、有限要素法やFD-TD法では空間の離散化が必要なためにアンテナ間距離が離れるほど解析規模が大きくなりますが、モーメント法ではアンテナ表面にしか変数を設定しないために、アンテナ間距離に依存することなく容易に解析が可能です。これはモーメント法の大きな特徴の一つです。

・ホーンアンテナ間の伝達特性 (10GHz)

以下は、10GHzのホーンアンテナ間に置かれた障害物の影響を調べる解析例です。3m離れた位置にアンテナを対向させて設置し、アンテナ間に人体の頭部を模した障害物を配置しています。障害物がある場合とそうでない場合を比較しています。

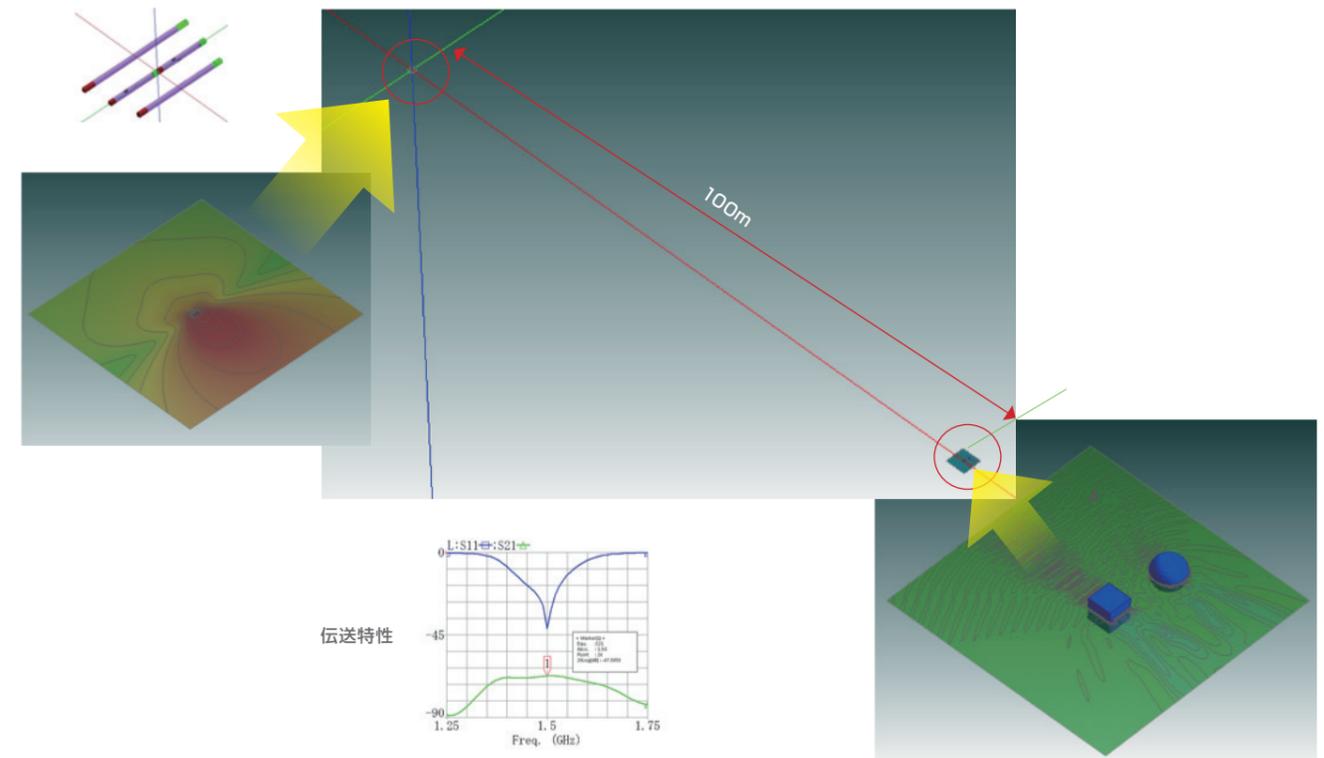


下図(左)は、アンテナ周辺4m四方の障害物がある場合の電界分布です。障害物の後ろ側は影ができています。下図(右)は伝達特性(S21)の差で、障害物がある場合2dB程度下がることが確認できます。



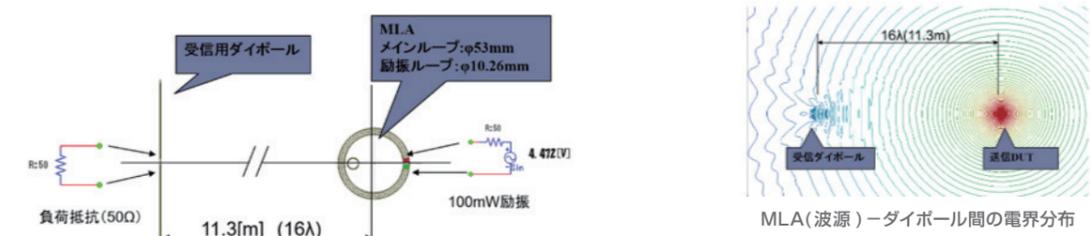
・長距離伝達特性 (1)

図は、1.5GHzの3エレメント八木アンテナの前方100mの位置に置かれた受信アンテナの伝送特性を解析したものです。受信アンテナの周囲にある障害物の影響がわかります。送信アンテナ近傍の電界は、八木のビームパターンがみられ、受信アンテナ近傍では周囲の金属による干渉波が観測できます。



・長距離伝達特性 (2)

図は送信元のアンテナがダイポール、MLA、1λループの3種類の場合の、16λ離れた位置に置かれたダイポールの受信レベルを測定およびシミュレーションしたものです。実測とシミュレーションの誤差は、最大でも3%程度であることがわかります。



DUTに励振した場合の、
 ダイポールの負荷抵抗の電力をシミュレーション
 ・励振電力：100mW
 ・DUT: MLA、λ/2DP、1λ LOOP

DUT	受信レベル[dBm]		
	シミュレーション	実測	誤差[%]
λ/2ダイポール	-25.04	-25.0	0.16
MLA	-26.33	-25.5	3.15
1λループ	-23.28	-24.0	3.00

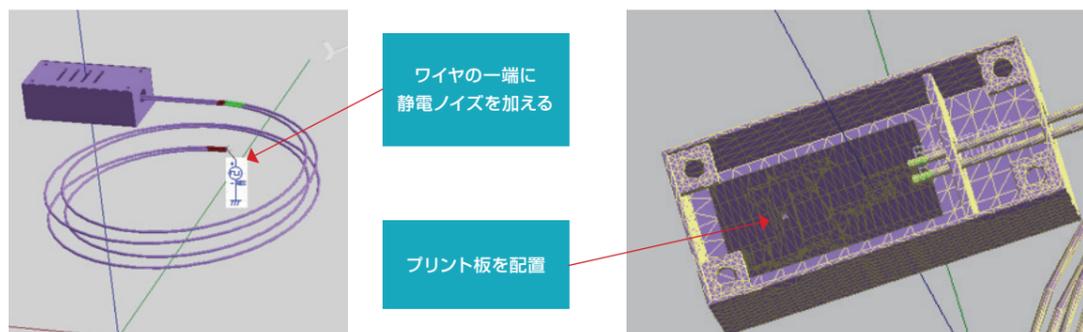
受信強度の比較

EMC 解析

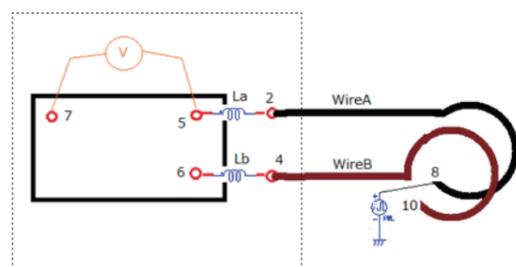
ダイポールや八木アンテナなどの一般的なアンテナ解析や近傍の金属、誘電体を含んだ解析にも用いることができます。リターンロス、2D/3D 指向性、放射効率、電界、磁界表示、ポインティングベクトル、インピーダンスマップなど多彩に特性を表示可能です。

静電ノイズ経路の解析例（筐体+プリント板+ケーブル）

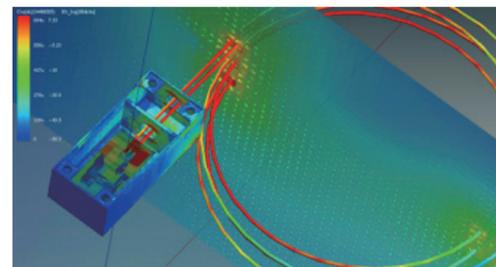
図のようにプリント板が内蔵されたケースから約30cmのケーブルが丸められて出ている場合に、ケーブルの先端とグラウンドの間に静電ノイズを印加した場合の内部のプリント基板上のノイズレベルなどを解析しています。



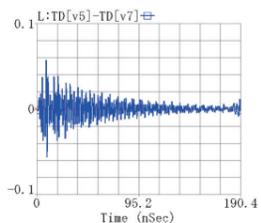
この回路は左図のとおり、ワイヤと基板の接続はインダクタ La と Lb を介して行っています。静電ノイズは8番とFG間に印加され、それが基板内でどれだけのノイズ電圧として現れるかをみています。グラフは、La、Lbの値がともに1nHの場合とLbを10nHにした場合の基板内の電圧波形とスペクトルを示しています。Lbが大きい場合にノイズ電圧が大きくなっていることから、静電ノイズは、WireBからFGに逃げていると考えられます。



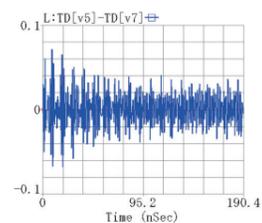
解析モデルの等価回路イメージ



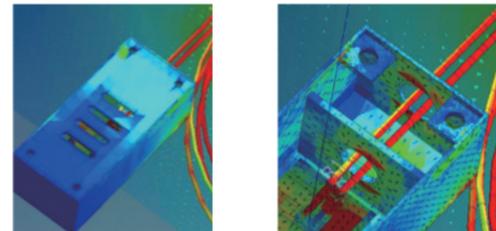
近傍磁界分布



La=Lb=1nHの時



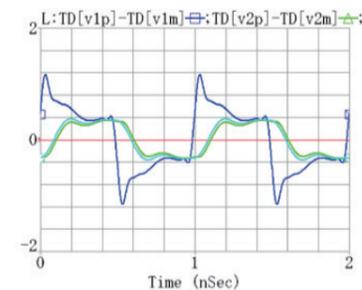
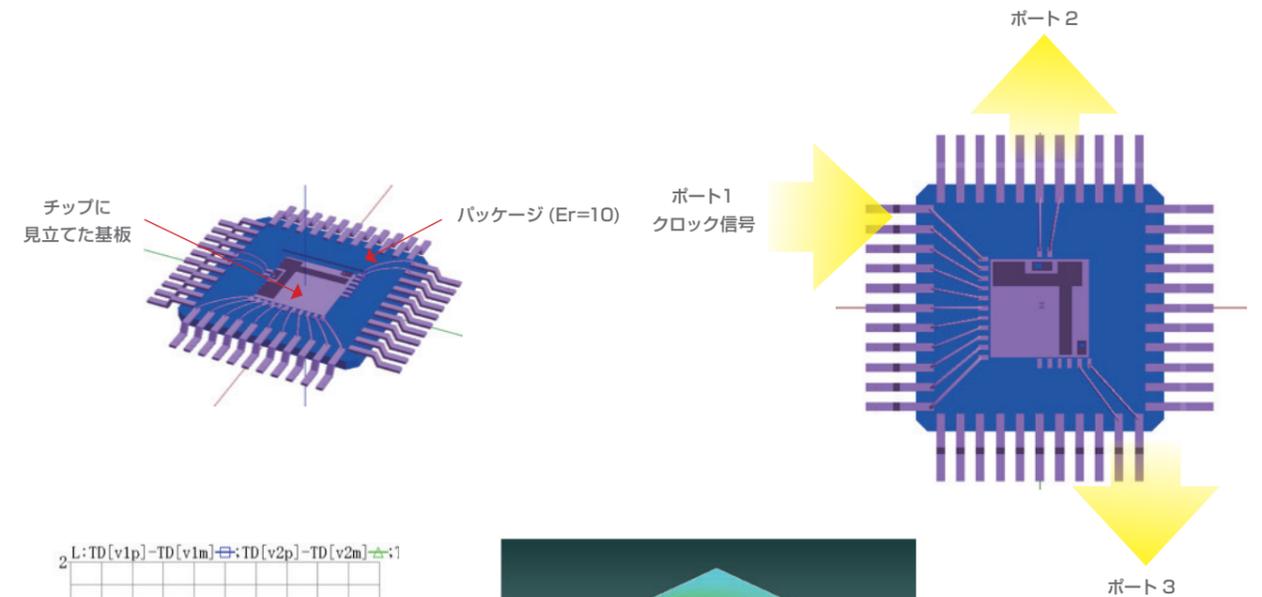
La=1nH
Lb=10nHの時



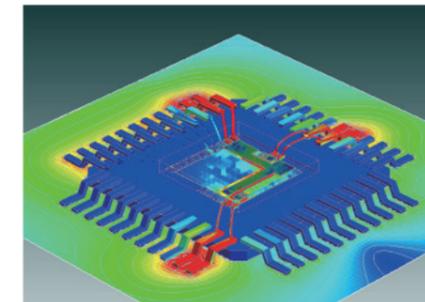
筐体の電流分布

静電ノイズ経路の解析例（筐体+プリント板+ケーブル）

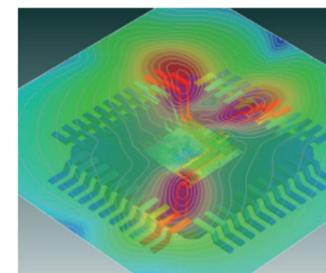
図のようにプリント板が内蔵されたケースから約30cmのケーブルが丸められて出ている場合に、ケーブルの先端とグラウンドの間に静電ノイズを印加した場合の内部のプリント基板上のノイズレベルなどを解析しています。



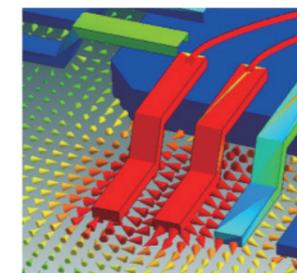
ポート1と2の伝送波形



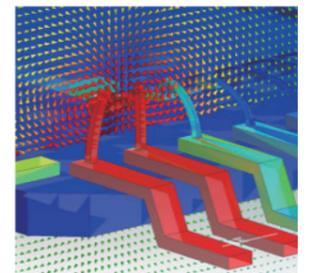
パッケージ下部の電界分布



パッケージ上部の電界分布



端子近傍の電界分布



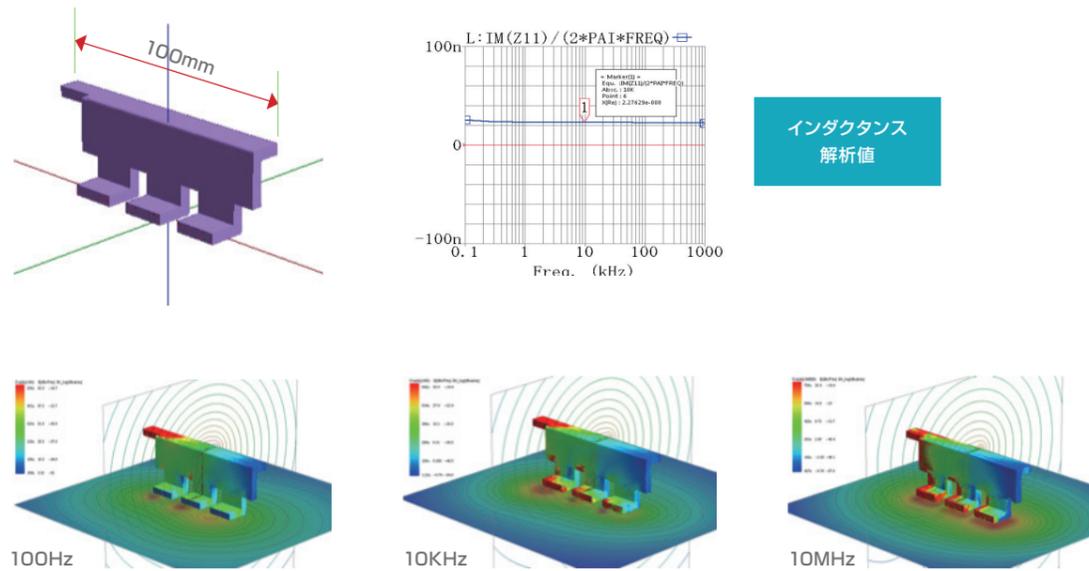
端子近傍の磁界分布

3次元形状部品解析

S-NAP/Wirelessの電磁界ソルバは、解析的な手法を多く採用することで、非常に低い周波数の電磁界解析を可能にしています。以下の例では100Hzでの電磁界解析を行っています。

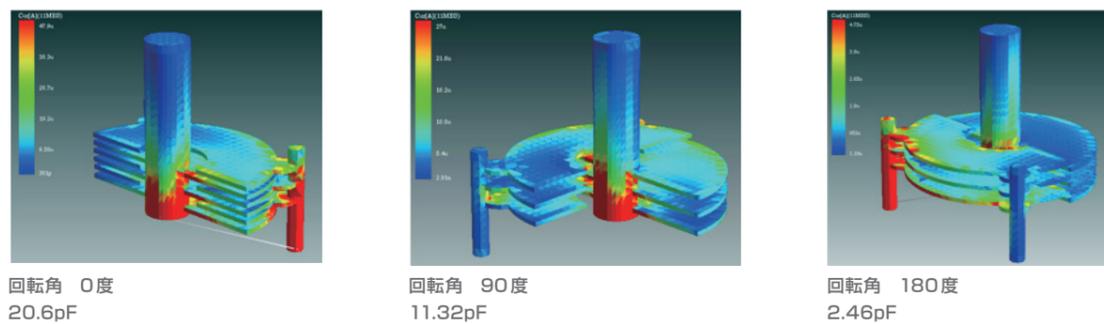
大電流電極

横幅が約100mmの大電流供給端子の周波数別解析の例を示します。端子表面の分布は電流分布を示しており、水平面は電界、垂直面の等高線は磁界を示しています。最も低い周波数は100Hzでの解析で、周波数が高くなるにしたがってエッジに電流が偏ることが解ります。このような低い周波数でも問題なく電磁界分布を得ることができます。



タイトバリコン

公称値20pFタイトバリコンの解析例です。回転角が0,90,180度での電流分布と電界分布(0度)を示します。最大容量での解析値がほぼ製品の容量値に一致していることがわかります。



平面回路解析 (多層基板電磁界ソルバ)

マイクロストリップフィルタ各種

2.45GHz コムライン BPF

このフィルタはλ/2の平行線路の両端4箇所すべてを短絡したシンプルな構造です。結合線路の偶モードと奇モードの位相速度の違いを利用したものです。設計手順は、最初にユーティリティを用いてλ/2の線路長を求めおよその回路を設計します。その後、通過特性などを最適化します。

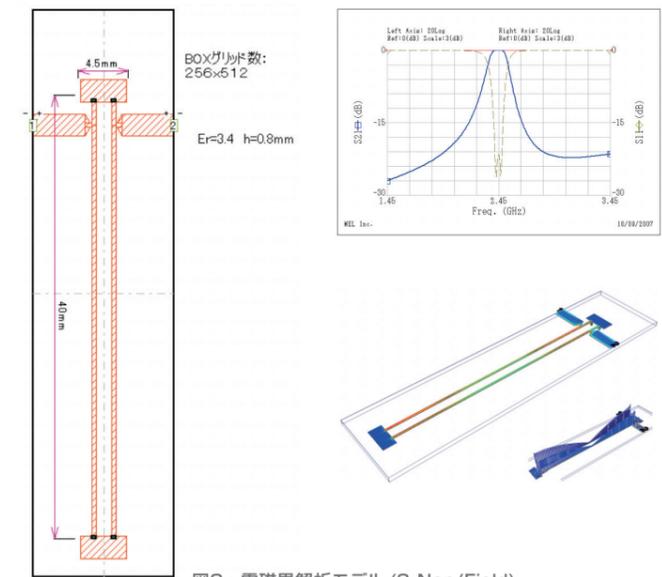
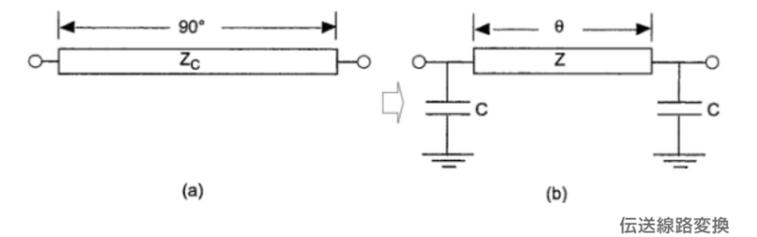
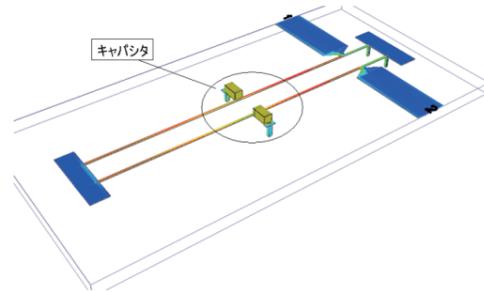
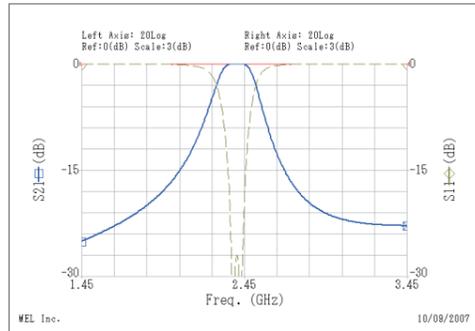
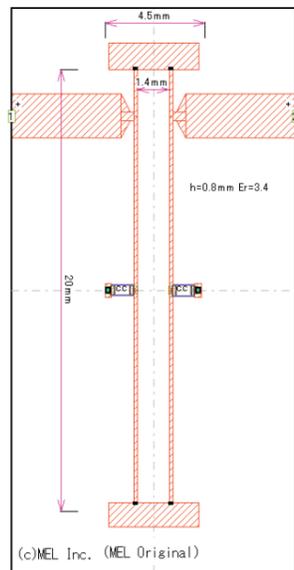


図2 電磁界解析モデル (S-Nap/Field)

2.45GHz コムライン BPF(Reduced)

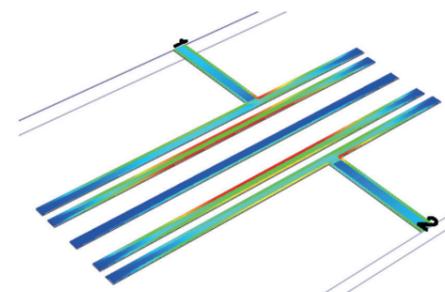
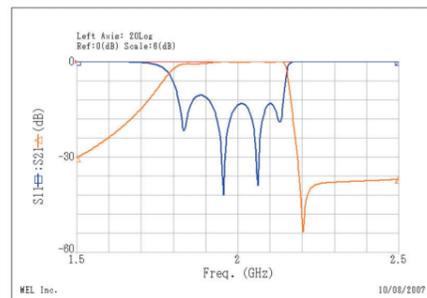
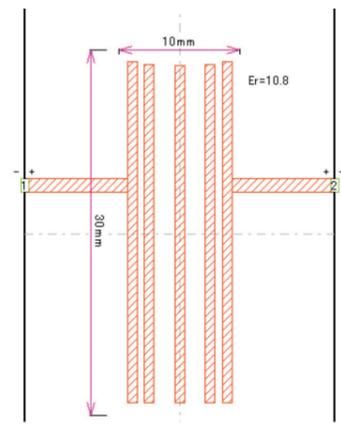
このフィルタは、前の2.45GHzコムラインフィルタの線路長を短縮したものです。キャパシタを装荷することにより、結合線路の線路長をλ/2からλ/4に短縮しており、低誘電率(εr=3.4)の基板であるにもかかわらず20mm×4mm程度で2.45GHzのBPFが構成できています。短縮前のフィルタと比較しても特性に大きな変化は生じていないことがわかります。





• Pseudo comb line BPF

5次のチェビシェフタイプで、中心周波数=2GHz、比帯域幅(FBW)=0.15で設計されています。共振器はすべて半波長タイプを用い、入出力は50Ωに整合しています。

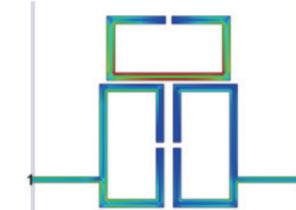
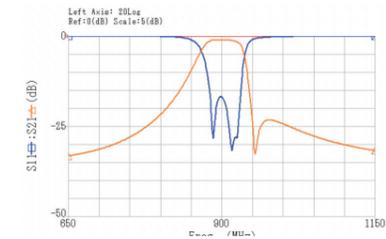
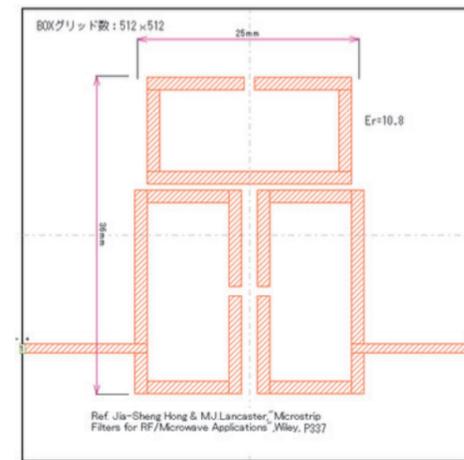


BOXグリッド数: 256x512
 Ref. Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P152

<参考文献>
 Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P152

• Cascaded trisection BPF

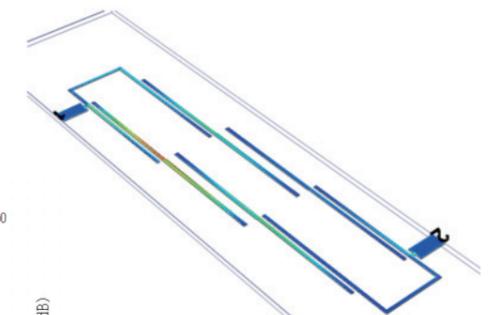
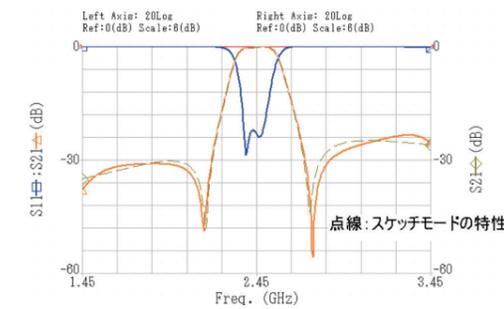
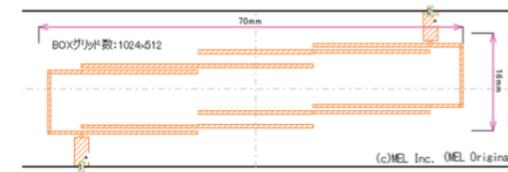
中心周波数905MHz、帯域幅40MHzの特性を持つ3次のCT (Cascaded Trisection) フィルタです。900MHz帯という低い周波数にもかかわらず36mm×25mmサイズで設計されています。



BOXグリッド数: 512x512
 Ref. Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P37
 <参考文献>
 Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P152

• Twin edge coupled BPF

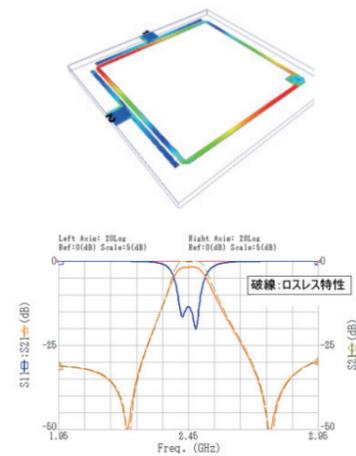
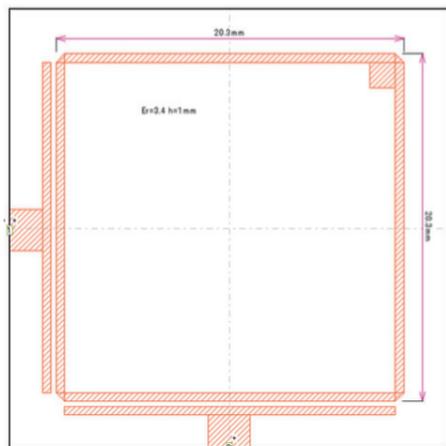
一般的なエッジカップルフィルタを平行に配置し、位相差を設け給電することで通過域の両側近傍に減衰極を持たせたものです。



点線: スケッチモードの特性

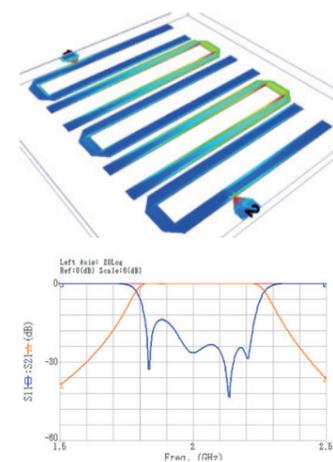
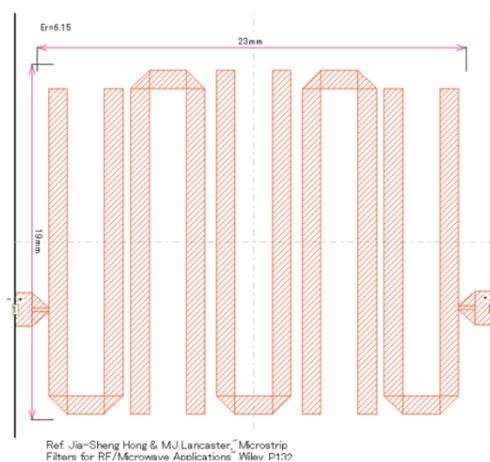
• **Dual-mode ring BPF**

中心周波数2.45GHz、帯域幅120MHzのデュアルモードリングフィルタです。Er=3.4の基板上に約22mm□のリングで構成されたコンパクトなBPFです。特性グラフの破線はロスレスの基板および導体を用いた場合の特性で、実線はtan δ =0.005、導体に18 μmの銅箔を用いた場合の特性です。約 -1.8dBの通過損失が発生しています。



• **ヘアピンライン BPF**

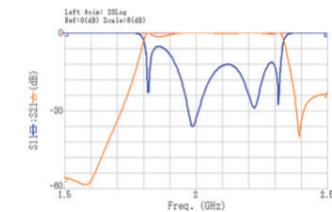
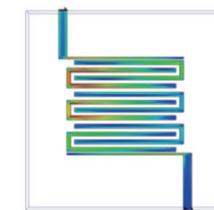
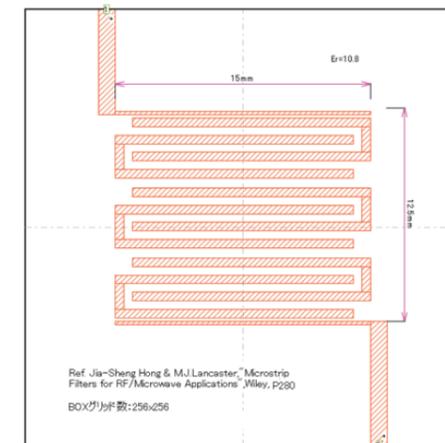
ヘアピンライン BPFはコンパクトな構造になります。2GHzのBPFで19mm×23mmの大きさです。このフィルタは5次のチェビシェフ特性で、FBW=0.2です。



<参考文献>
 Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P132

• **Pseudo inter digital BPF**

中心周波数 =2GHz、帯域幅 =500MHzのワイドバンドのバンドパスフィルタです。3つのペアのPseudointerdigital resonatorsから構成されています。

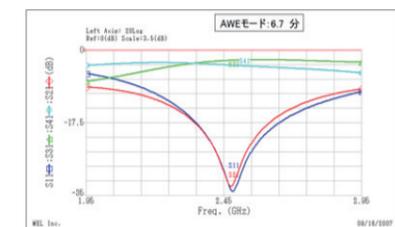
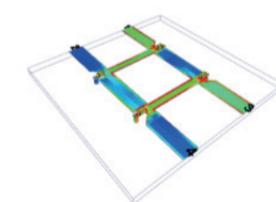
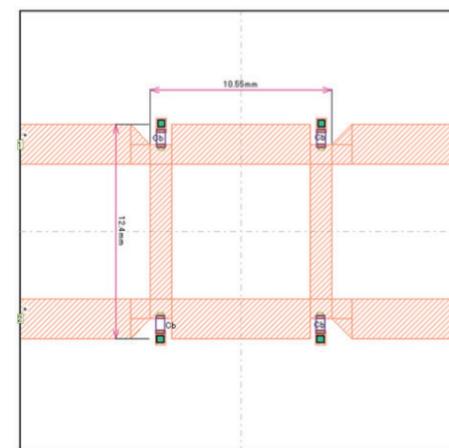


<参考文献>
 Jia-Sheng Hong & M.J.Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications", Wiley, P280

デバイダ解析

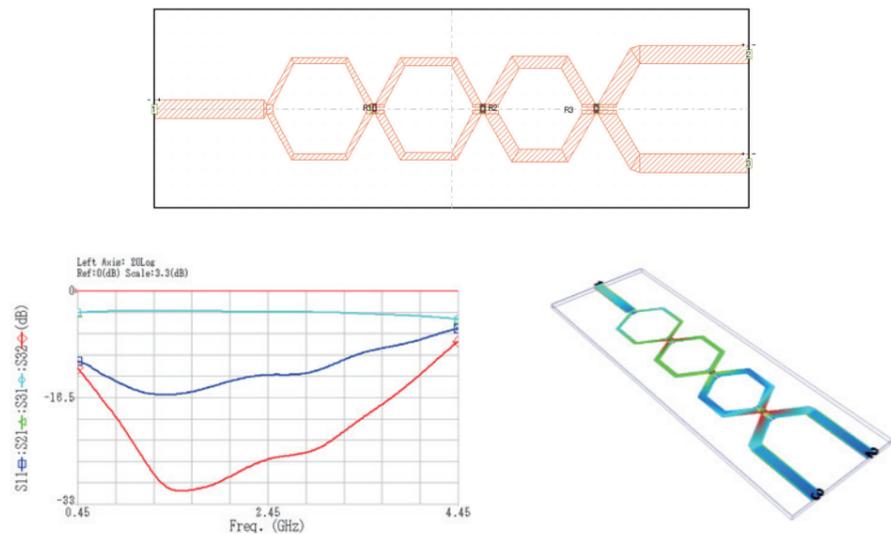
• **狭帯域パワースプリッタ (Reduced)**

一般的なハイブリッドリングは一辺長 g/4 の線路長が必要ですが、このハイブリッドリングは接合部にキャパシタを取り付けることで任意の線路長でのリングを作成できます。わずか一辺12mm程度で2.45GHzのハイブリッドリングが設計できます。



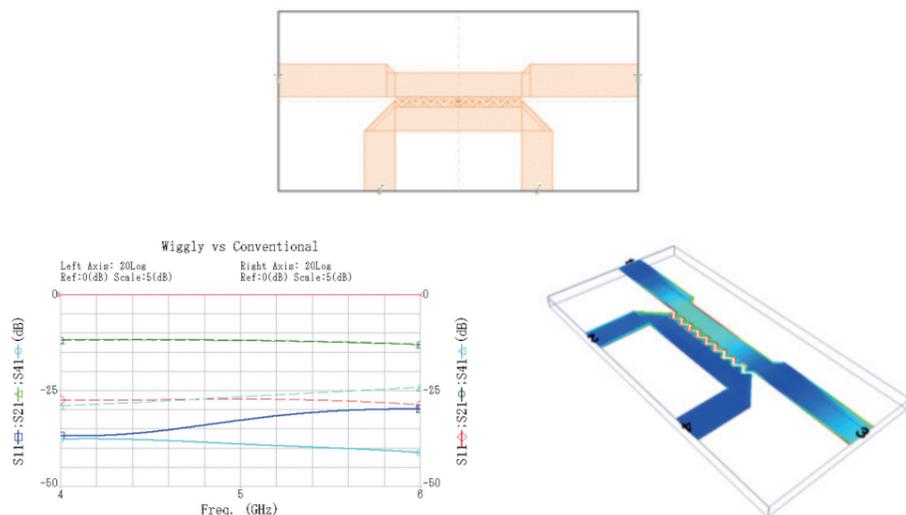
• 広帯域パワーディバイダ

このパワーディバイダはウィルキンソン PD を多段結合したもので、広帯域特性を得ることができます。中心周波数 = 2.45GHz, FBW = 0.4 にて設計されています。設計は S-NAP/Design によるものです。



• Wiggly カブラ

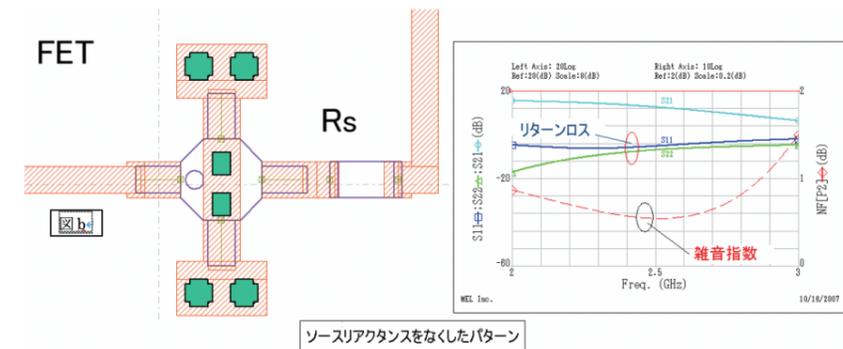
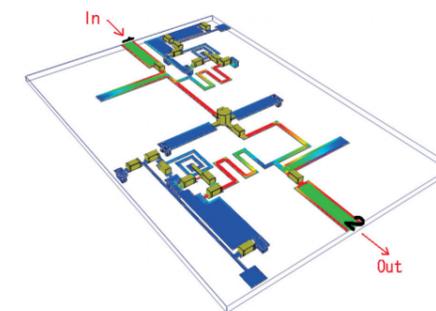
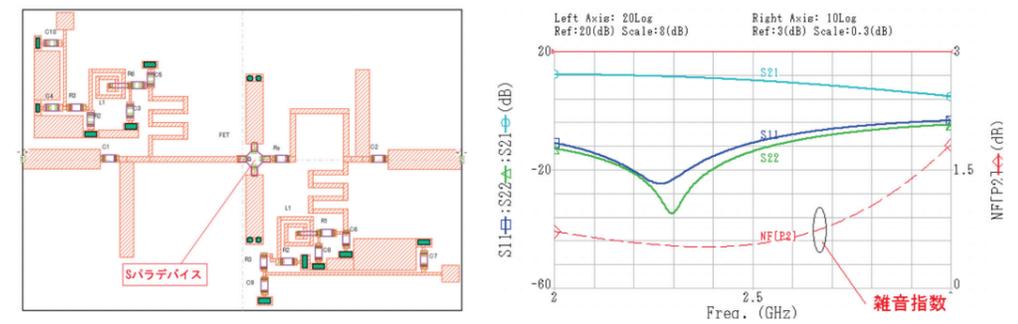
Wiggly カブラは奇モードの位相速度をスローダウンします。グラフは通常のカブラと Wiggly カブラの特性比較です。(実線: Wiggly) リターンロス、アイソレーション共に改善されていることがわかります。Wiggly カブラの解析は正確な波型部分の電流解析を必要としますが、任意形状の四角形を用いることで、波型部分のエッジ電流を再現できます。



増幅器

• 【低雑音増幅器 (LNA)】

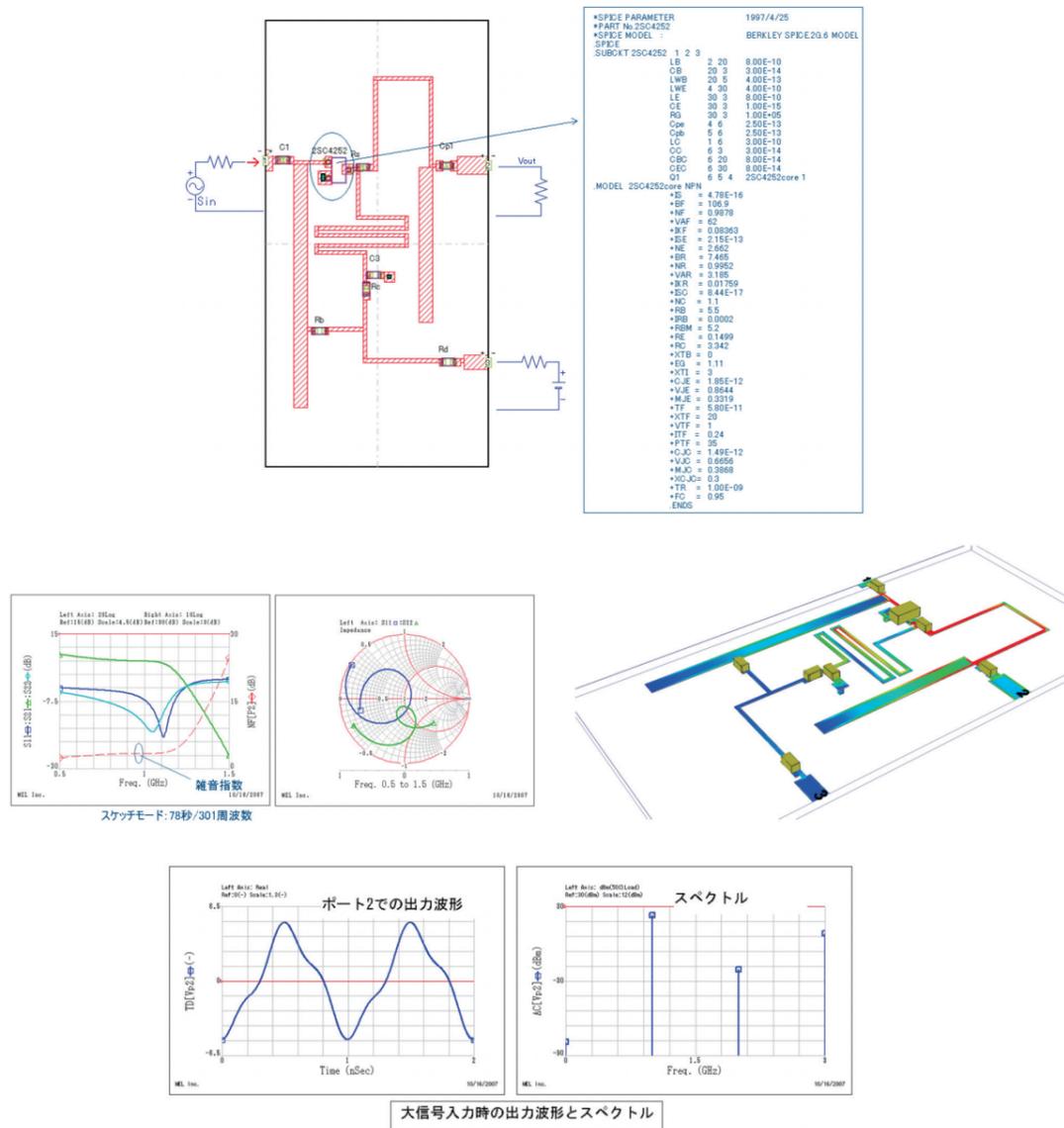
2.3GHz の LNA の解析例です。FET は S パラメータモデルを用いています。デバイスデータが NF データを持っている場合は、雑音指数も同時に解析することが可能になります。この回路の設計は S-NAP/Design によるものです。ソースリアクタンス (MS ライン) を装荷することで、NF 整合と電力整合の両方をバランスさせています。図 b は FET まわりのパターンを変更したものです。ソースリアクタンスを小さくすると、雑音指数にはさほど大きな変化はありませんが、リターンロスがかなり悪化して行くことがわかります。



ソースリアクタンスをなくしたパターン

・【非線形解析】

図は小信号増幅器のSパラメータ特性と大信号入力時の歪特性を解析したものです。デバイスモデルはSPICEのサブキットで記述されたモデルで、寄生成分を含んだものになっています。真性領域はガンメルプランですので非線形性の解析を行うことができます。またこのモデルを用いた場合は雑音指数も同時に計算することが可能になります。この解析はS-NAP/Field+ハーモニックバランスオプションで可能になります。

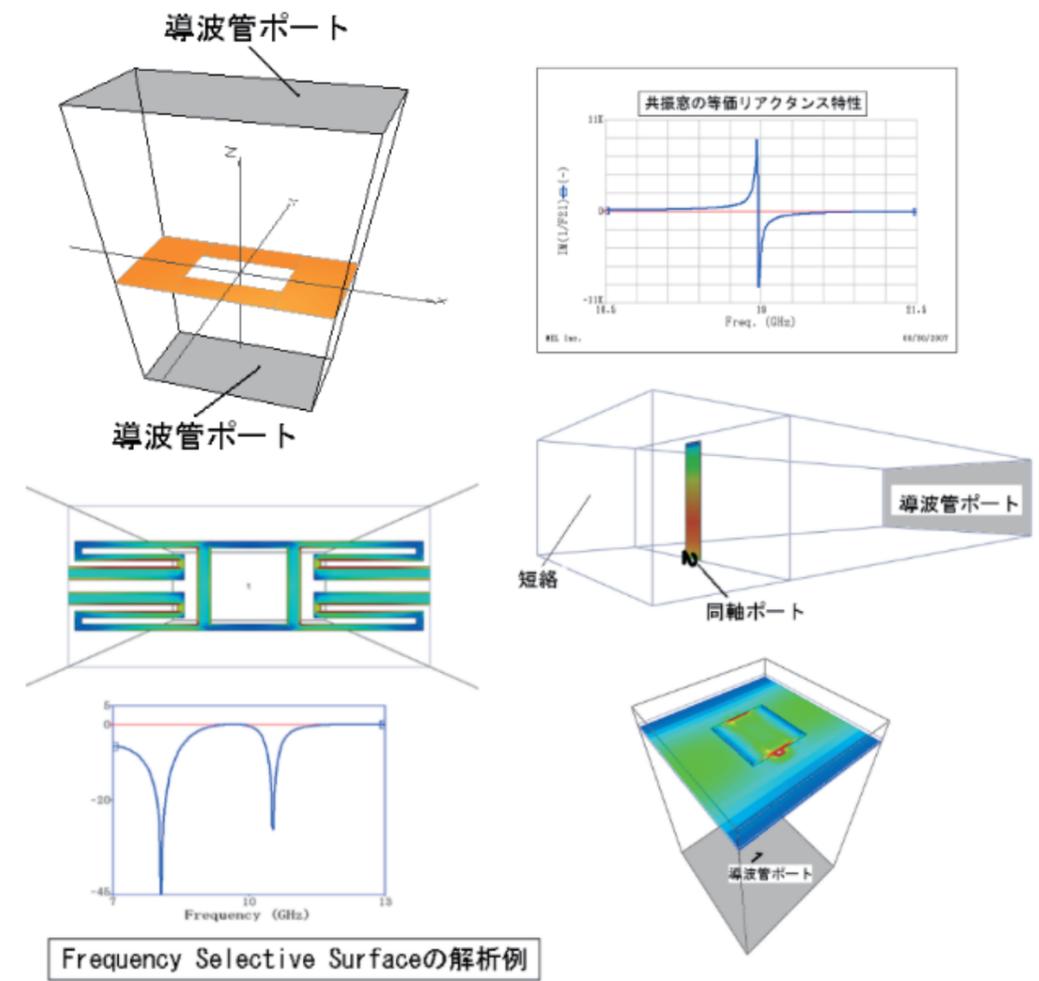


電磁界ソルバのその他の機能

導波管励振モード

多層基板電磁界ソルバで用いられるシールド領域のグリーン関数は導波管と同じであるため、図のようにBOXの上下を導波管ポートとすることで導波管問題が解析可能で、E面H面にかかわらず任意形状の窓導体を解析可能です。ただし無厚導体ですので、厚みのあるアイリスのような場合は導体を重ねて厚みを持たせる必要があります。

導波管ポートを窓導体までオフセットし、Fパラメータを求めることで窓導体の等価リアクタンス特性を得ることができます。また導波管ポートから励振されたドミナントモード(TE10)は、窓導体にぶつかりモード変換が生じ、高次モードやTMモードに変換されます。これらのモードに対応する多線状線路にポートを設けておけばモード変換マトリックスを求めることができます。その他の用途として、この機能は同軸-導波管変換の解析や導波管励振アンテナなどの解析にも応用が可能です。



入射波励振モード

入射波励振モードは、アンテナにある電界強度の波が到来した場合に、どれぐらいの電圧がポートに誘起されるかを解析するモードです。部品実装機能やハーモニック・バランス機能などと合わせて解析をすることで、受信アクティブアンテナの特性やレクティナアンテナの特性などを解析することができます。入射波励振モードの原理は導波管ポートと同じです。図のようにBOX境界を自由空間に接続し、この片側の開口部に入射波が到来していると考えます。したがって正確に言えばアンテナ面ではなくて開口面での電界強度規定になります。開口部にあつた入射波はTE10モード、TE01モード、TM11モードに変換されBOX内を伝播すると考えられますので、これらの波が伝播している状態でアンテナポート部の電圧を求めると入射波に対する誘起電圧が得られます。

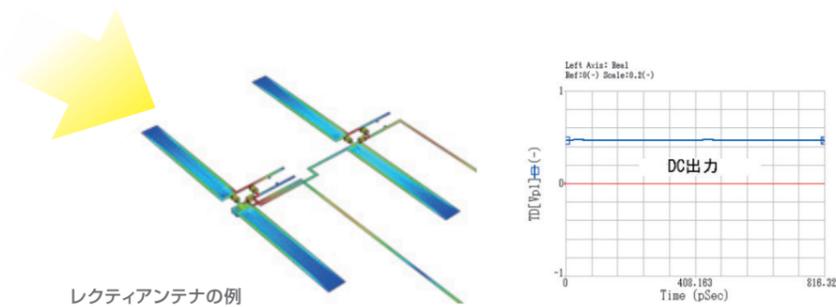
ハーモニック・バランス解析法の実装

ハーモニック・バランス法は、回路解析において非線形解析を行う場合に用いられる手法の一つで、周波数領域での非線形解析を行うものです。特徴としては、

- 周波数差の大きな2信号がある場合でも容易に解析が可能である。
- 定常応答解が得られるため、高周波非線形回路解析に向いている。

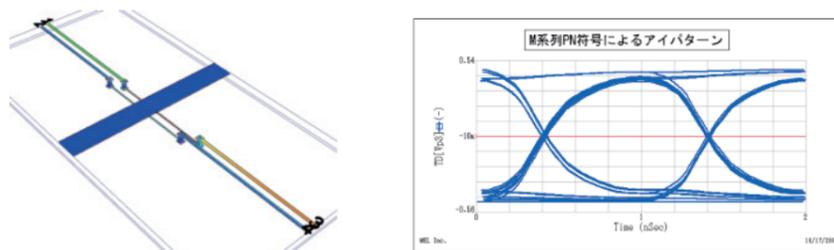
などが上げられます。この手法を実装し、アクティブデバイスが混在している回路の非線形特性を解析することができます。また入射波解析と併せて用いられ受信用のアクティブアンテナやレクティナアンテナなどの解析も行えます。

通常このような機能がない場合でもポートからの励振だけであれば、素子端子にポートを取り付け、NポートのSパラデータを電磁界で求めてから回路シミュレータでハーモニック・バランスを実行することで、面倒ですが解を得ることは可能です。しかし入射波による励振の場合には非常に難しくなりますので、S-NAP/Fieldの入射波励振+ハーモニック・バランスの組み合わせはアクティブアンテナにとって強力なツールになると考えられます。



コンボリューション・トランジェント解析法の実装

コンボリューション・トランジェント法は、回路中にSパラメータデバイスや伝送線路のように素子特性に周波数分散性がある場合、そのような素子を含めて時間領域から過渡応答特性を求める手法です。周波数分散性素子のインパルス応答を求め、畳み込み積分を行いながら応答特性を解析していきます。S-NAP/Fieldはこの手法を実装し、電磁界解析と併せて過渡応答を求めることができます。S-NAP/Fieldはトランジェント解析が選択されると、最初にスイープ時間からコンボリューションに必要なスペクトルを計算します。次にそれらのスペクトルでモーメント法を実行します。電磁界解析終了後それらのデータをもとに指定された信号における過渡応答特性を畳み込み積分法を用いて計算します。非線形素子の実装されている場合も可能です。この機能はEMC問題に適用できます。

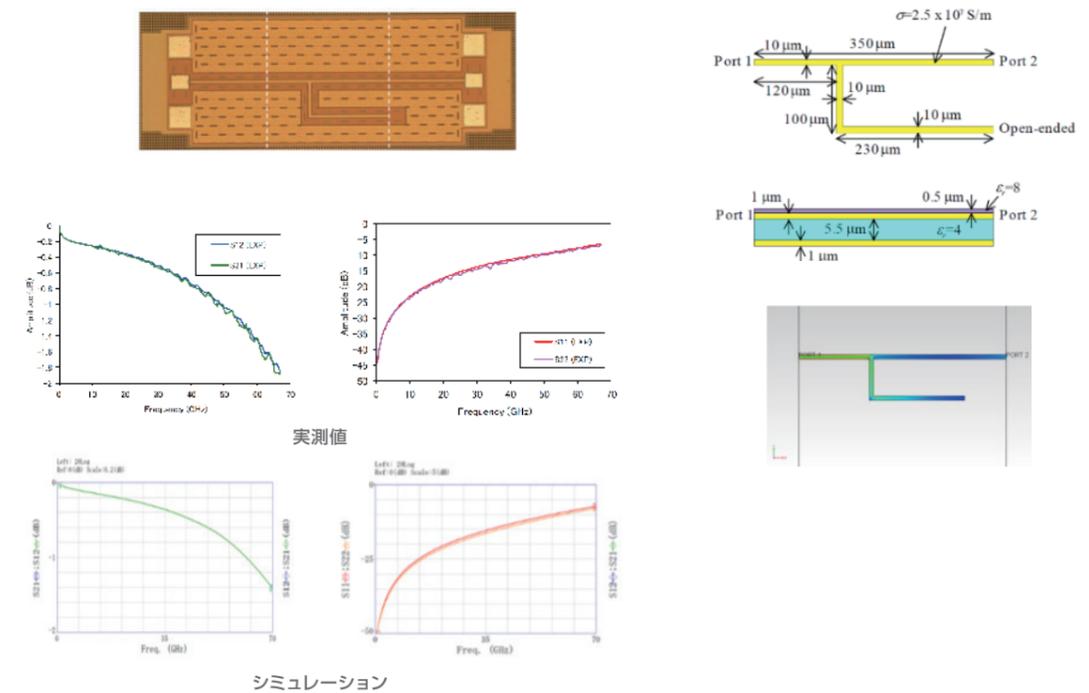


Microwave Work Shops 規範問題

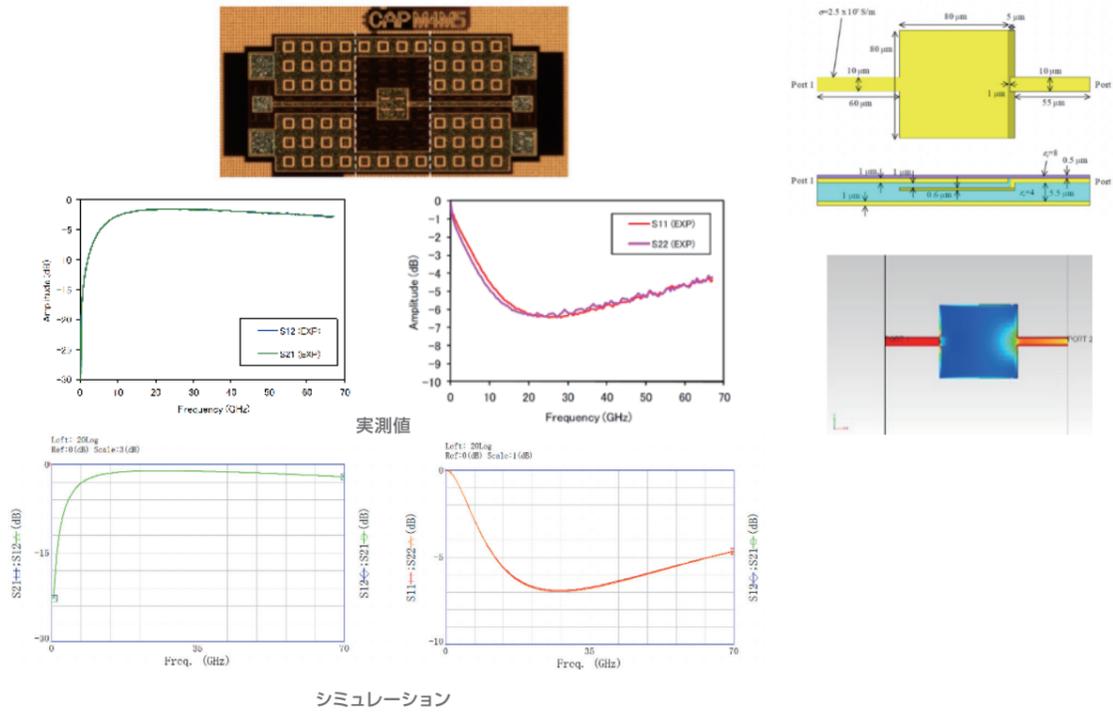
以下のサンプルは、マイクロエーブ展ワークショップで用いられた規範問題です。許可を得て掲載しています。

平面回路

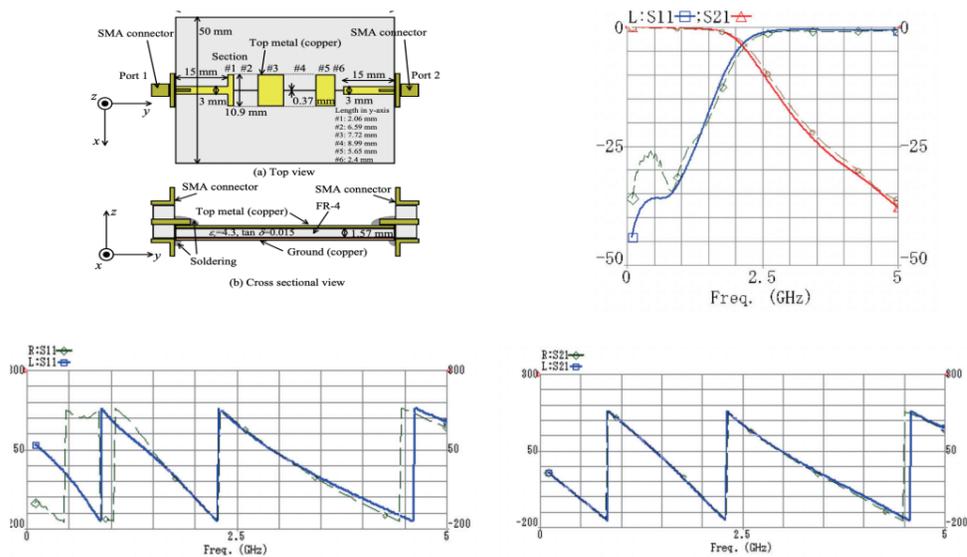
オープスタブ回路のDC～70GHzまでの特性比較(2012)



キャパシタ回路の DC ~ 70GHz までの特性比較 (2012)



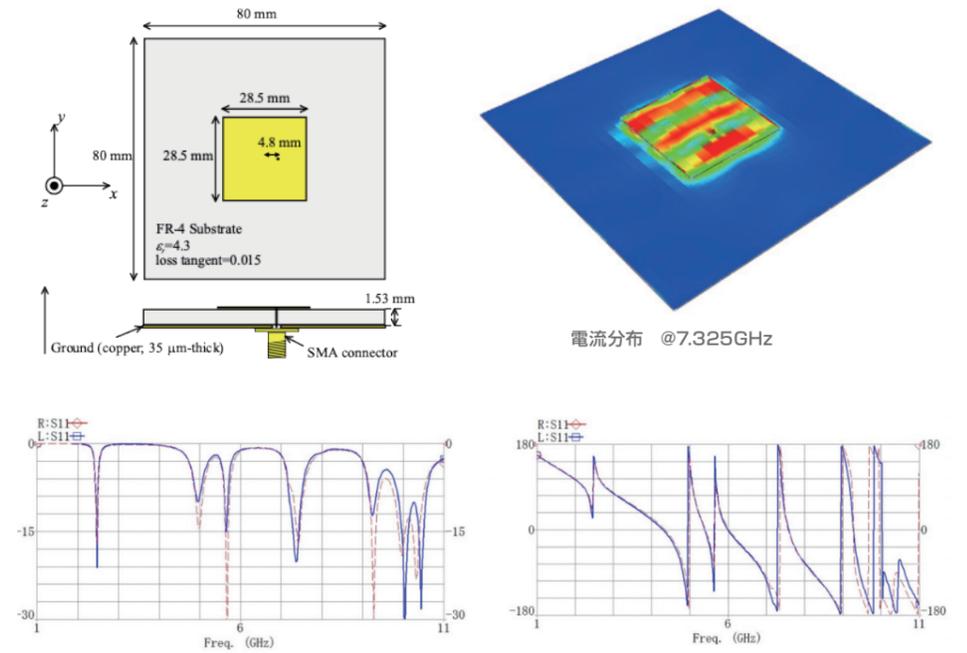
ステップインピーダンス LPF (2015)



破線: 実測 実線: シミュレーション

アンテナ

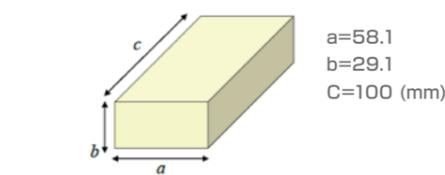
マイクロストリップパッチアンテナの高次モードまでの特性 (2014)



破線: 実測 実線: シミュレーション

導波管解析

空洞共振器解析 (2017)



共振周波数の厳密解
 (a=58.1 mm, b=29.1 mm, c=100 mm)

σ (S/m)	Re[f ₀] (x10 ⁹)	Im[f ₀] (x10 ⁹)	Q (Eq.(15))	Q (Eq.(16))
0	2.98384	0	Infinity	Infinity
0.0001	2.98384	0.000898774	1659.95	1659.95
0.001	2.98383	0.00898774	165.994	165.995
0.01	2.98249	0.0898774	16.592	16.5995
0.1	2.84526	0.898774	1.58286	1.65995

3.955GHz
 m=1, n=0, p=2

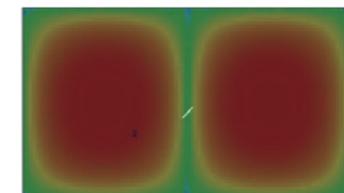
理論値との比較

P=1		n	
m	0	0	1
0	5.37 (5.36)	5.37 (5.36)	6.84 (6.84)
1	2.98 (2.98)	5.95 (5.95)	7.31 (7.31)

P=2		n	
m	0	0	1
0	5.96 (5.96)	5.96 (5.96)	7.31 (7.31)
1	3.96 (3.96)	6.49 (6.49)	7.31 (7.31)

Quality factor			
σ (S/m)	f ₀ (GHz)	Δf (GHz)	Q
0	2.984	-	Infinity
0.0001	2.9836	0.0018	1656.556 (1659.95)
0.001	2.9811	0.018	165.617 (165.994)
0.01	2.9710	0.185	16.059 (16.5995)
0.1	-	-	-

上段: シミュレーション 下段カッコ内: 理論値



回路シミュレータの主な特徴

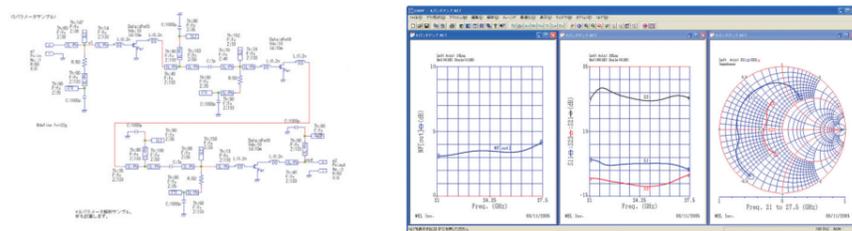
解析機能の主な特徴

Sパラメータ解析機能

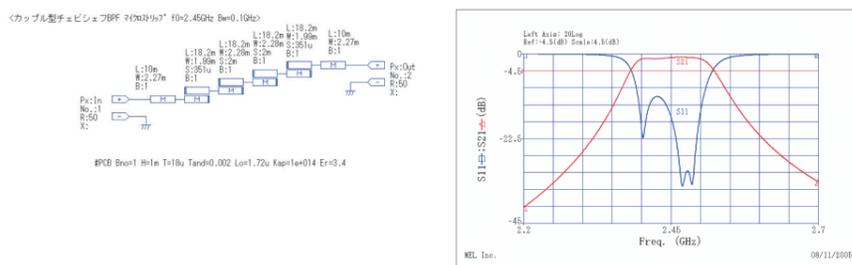
Sパラメータシミュレーションメニューには、「小信号 Sパラメータ解析」と「大信号 Sパラメータ解析」の2つがあります。前者は周波数領域の線形解析機能で、パッシブ回路や小信号増幅回路の解析に用いられます。後者はハーモニック・バランス法を用いて大信号入力時のSパラメータを解析するもので、非線形を考慮した解析を行うことができます。

・小信号 Sパラメータ解析

この解析は、周波数領域の線形解析機能で、フィルタなどのパッシブ回路や小信号増幅器などの解析に用いることができます。半導体データはSパラメータデータとSPICEパラメータを用いることが可能です。



小信号 AMPのシミュレーション例

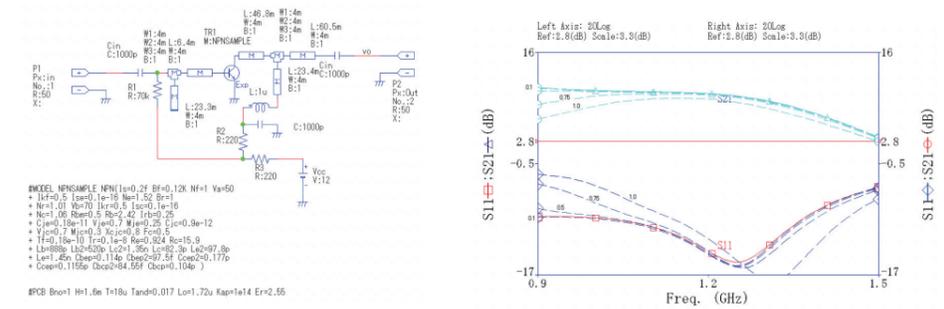


結合マイクロストリップ線路を用いたフィルタのシミュレーション例

・大信号 Sパラメータ解析

この解析は、ハーモニック・バランス法を用いて大信号入力時のSパラメータを解析する機能で、非線形を考慮したSパラメータを解析することができます。

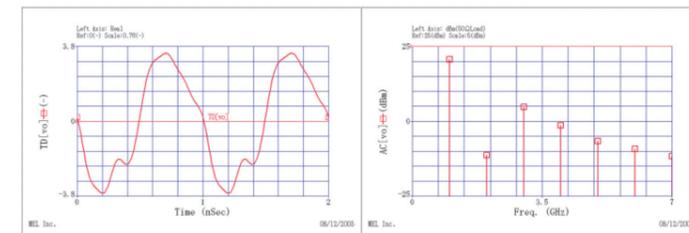
次の例は、入力電圧を0.1[V]~1.0[V]に設定して、Sパラメータ特性のシミュレーションを行った例です。0.1[V]時はほぼ小信号Sパラメータ解析の結果と等しくなっていますが、入力電圧が大きくなるに従い利得 (S21) は減少し、S11も大きくずれていくことがわかります。



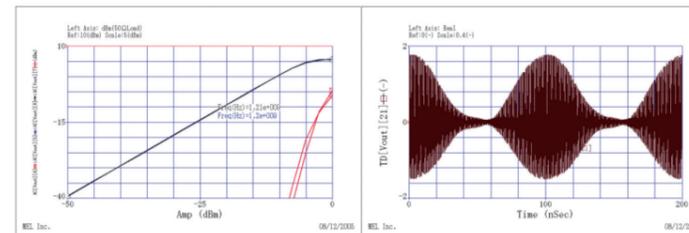
入力電圧を0.1[V] ~ 1.0[V]まで可変した時のSパラメータの遷移 (シンボル付実線は小信号 Sパラメータ解析結果)

ハーモニック・バランス解析機能

ハーモニック・バランス解析機能には、一般的な波形ひずみや2信号特性をシミュレーションする機能のほかに、自励発振回路のシミュレーションも行うことができます。この機能は「HBオシレータ解析」として別メニューで用意されています。



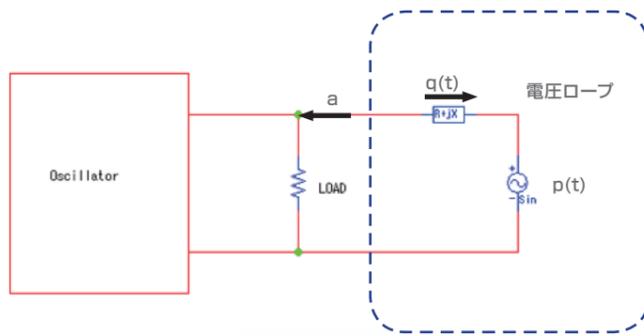
歪波形とスペクトル



2信号特性と波形

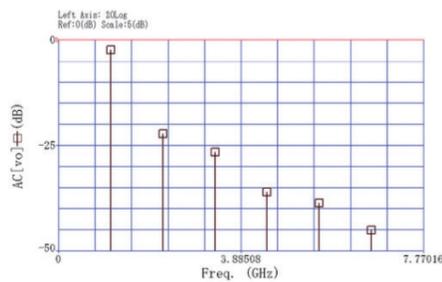
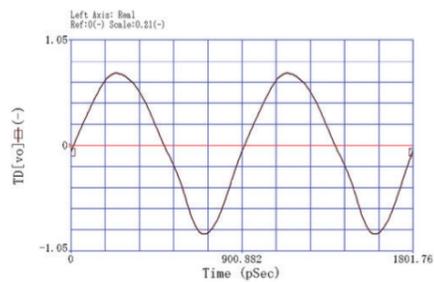
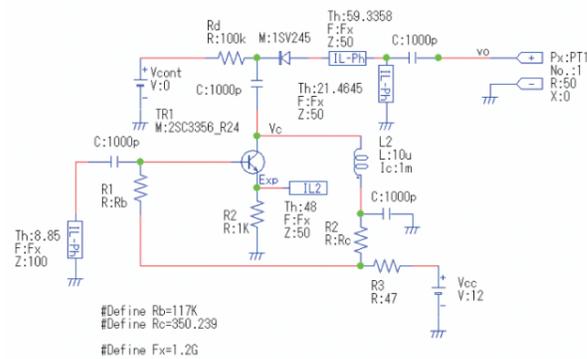
・自動発振回路解析 (HB オシレータ解析)

ハーモニック・バランス法は元回路中に信号源があることを想定した解析手法で、最初に回路に含まれる信号源を探し、その基本波および高調波成分について解析を行います。このため信号源を持たない自動発振回路のような問題はスペクトルを想定できずハーモニック・バランス法では解析が困難になります。そこでHB オシレータ解析では、図のように発振器の負荷に並列に電圧プローブと称する電源を取り付けます。電圧プローブは正弦波電源と基本波成分だけを通過させる特殊な抵抗からなっており、正弦波電源はハーモニック・バランスの基本周波数成分です。この状態でハーモニック・バランス法を実行すると、発振が安定したポイントで検出抵抗に流れる電流 $q(t)$ がゼロになります。この $q(t)=0$ となるとき $p(t)$ の周波数、電圧および位相が発振器の基本周波数です。高調波を含めた信号は負荷 (LOAD) に集まりますので、負荷 (LOAD) の両端では発振波形が得られることとなります。



$$H_p(P, \phi_p, \omega_p) = \frac{Qe^{j\phi_q}}{Pe^{j\phi_p}} = 0$$

$p(t) \neq 0, q(t) = 0$ が発振条件



自動発振器解析例

・コンボリューション・トランジェント解析機能

一般的なトランジェント解析は、(1)式を解く、LUMPED エLEMENT 問題にのみ対応しているものが多く、伝送線路やSパラメータデバイスを含む場合、等価回路変換などの手法が用いられます。しかしながら、信号源が広帯域のスペクトルを含む場合や等価回路が複雑になる場合などでは、等価回路素子に周波数特性を持たせるなどの必要性が生じ、汎用性や精度面で限界があります。周波数分散性をもつエレメントを扱う場合、いわゆるDistributed問題を扱う場合、正確には(2)式を解く必要があります。

$$f(v, t) = i(v(t)) + \dot{q}(v(t)) + u(t) = 0 \quad (1)$$

$$f(v, t) = i(v(t)) + \dot{q}(v(t)) + \int y(t-\tau)v(t)dt + u(t) = 0 \quad (2)$$

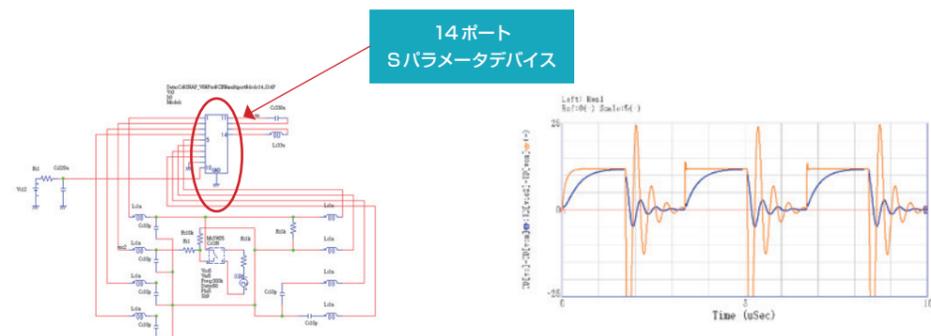
(2)式を解く必要がある素子には以下のようなものがあります。

- ・ロスや分散特性を持つ伝送線路
- ・結合線路
- ・Sパラメータデバイス
- ・複雑な数学モデル

コンボリューション解析機能は、このような周波数ドメインでしか素子特性が表せないような素子が存在する場合でも、過渡特性をシミュレーションすることができる機能です。

・コンボリューションを用いた過渡解析例

以下の例は電磁界解析で得られたプリント基板のSパラメータを14ポートのブラックボックスに割り当て、スイッチング動作を行っているものです。観測波形は負荷端における電圧波形で誘導性による振動が確認できます。



■最適化機能

最適化機能とは、希望特性になるように複数の素子値を自動調整する機能です。小信号 Sパラメータ解析、ハーモニック・バランス解析、トランジェント解析、DC解析、AC解析、線形応答波形解析の各解析モードで最適化を用いることができます。また最適化には、バンドとゴールを指定する最適化と、ターゲットをSパラメータにするカーブフィット最適化の2種類があります。

・BPFの最適化設計例

BPFの最適化設計例

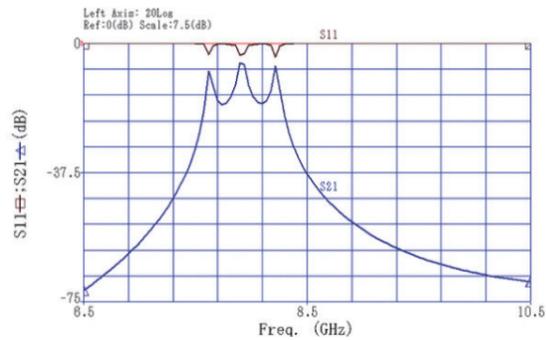
図はエッジカプル方マイクロストリップ BPFの最適化による設計例です。
 6個のパラメータを可変し、希望特性になるように最適化を実行しています。

<<< 8.5GHz EDGE COUPLED BPF >>>
 Sパラメータ解析と最適化のサンプルです。

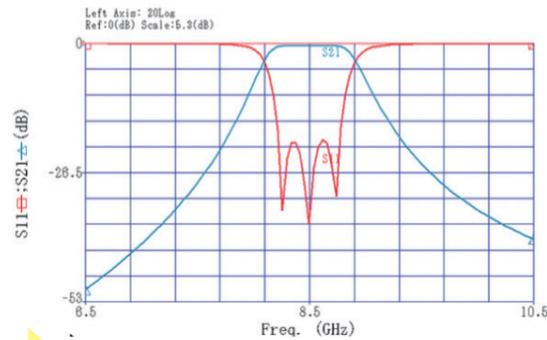


#PCB Bno=1 H=0.76m T=35u Tand=0.0017 Lo=1.72u Er=2.5

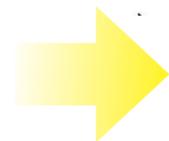
#Define Lx1=6m
 #Define Lx2=6m
 #Define W1=3m
 #Define W2=3m
 #Define S1=1m
 #Define S2=1m



最適化の特性

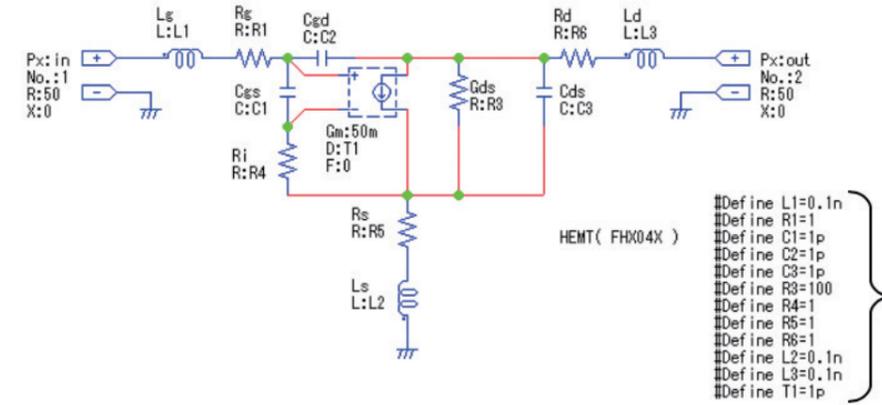


最適化後の特性

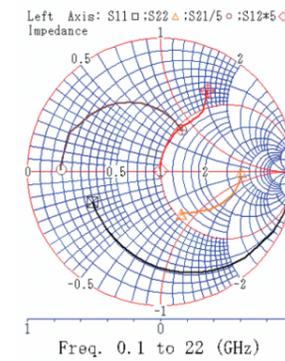


カーブフィット最適化例

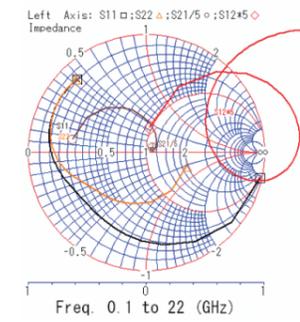
カーブフィット最適化とは、外部ライブラリファイルをゴールとする方法で、最適化したい素子とライブラリファイル名を指定します。この機能は、デバイスや回路の実測値から等価回路を算出したい場合などに便利です。以下の例はHEMTの実測データから等価回路定数を抽出しているものです。最適化後の特性がゴールに指定した特性にほぼ等しくなっていることがわかります。



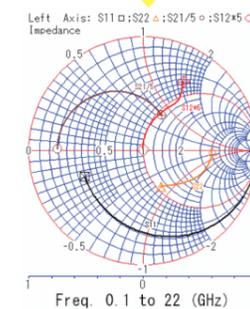
可変する変数



ゴールに設定した特性



最適化前



最適化後

自動設計の主な特徴

自動設計機能は、伝送線路回路設計を主としたマイクロ波回路用の設計用ソフトウェアで、回路シミュレータの一部として動作します。設計アルゴリズムは設計メニューにより異なりますが、基本的にはIdealエレメント定数を計算し、伝送線路などに変換します。線路変換や微調整などいたるところで最適化アルゴリズムを用いています。設計はダイアログボックスに必要事項を記入し、「設計」ボタンを押すと回路図が生成されます。シミュレーションメニューをクリックすることで、シミュレーションを行うことができます。他の回路との合成や、チューニング、最適化を用いての微調整も容易に行うことができます。

設計可能回路と設計例

・フィルタ設計

ローパス、ハイパス、バンドパス、バンドストップフィルタの設計を行うことができ、各フィルタはチェビシェフ、バターワース、楕円、ベッセルの特性形式で設計することができます。また、インダクタ、キャパシタの構成以外に電気長線路やマイクロストリップ等の伝送線路での設計も容易に行うことができ、ステップやTeeジャンクションの不連続性なども考慮され寸法調整されます。

・トランジスタ整合設計

「マッチ、 π マッチ、シングルライン、2ラインのそれぞれの整合回路でトランジスタ回路の入出力整合を同時に設計することができ、雑音整合を行うこともできます。 π マッチを除く整合回路形式ではマイクロストリップや電気長線路等の伝送線路で設計可能で、半導体のパラメータは [参照] ボタンを押すだけでライブラリから選択することができ、また、直接 Sパラメータの数値を入力することもできます。

・単一整合設計

これはR+jXのインピーダンス負荷に対してインピーダンス変換を行うもので、トランジスタ回路の入出力整合と同様に「マッチ、 π マッチ、シングルライン、2ラインのそれぞれの整合回路で設計ができます。また広帯域整合回路設計も可能です。

・オシレータ設計

コルピッツ、ハートレイ、クラップ、直列帰還の形式で発振回路の基本定数を設計可能で、発振条件、周波数条件を解析式や最適化アルゴリズムを用いて計算します。半導体のパラメータは [参照] ボタンを押すだけでライブラリから選択することができ、また、直接 Sパラメータの数値を入力することもできます。バイアス回路設計をシミュレータのDC最適化を用いて行えば、発振回路の実回路を設計するまで全く計算の必要はなく実回路が設計できます。

・ディレクショナルカップラ

ラットレース、ブランチライン、カップルドカブラなどのディレクショナルカップラが設計でき、3dB単一ではなく、任意の結合度で設計することができます。

・その他のマイクロ波回路

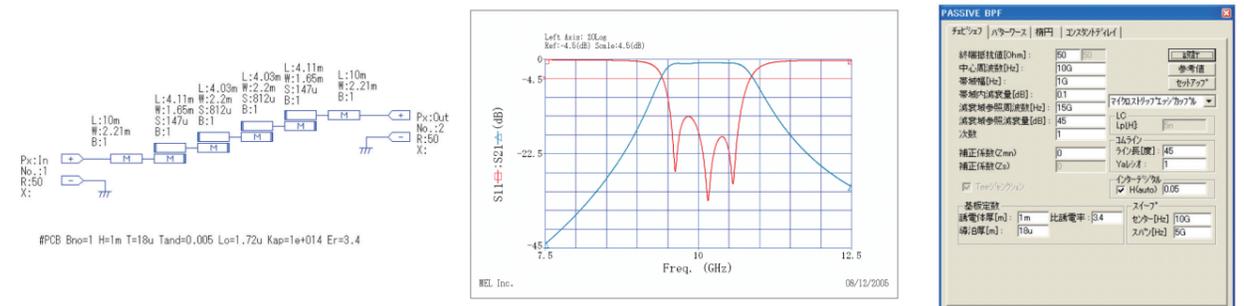
広帯域パワーディバイダ、広帯域インピーダンストランス、T型 π 型アッテネータが設計できます。また、パワーディバイダは不等分配や3分配も設計可能です。

・アクティブフィルタ設計

ローパス、ハイパス、バンドパス、バンドストップフィルタ、オールパスフィルタの設計を行うことが可能です。12次のフィルタまで設計できます。またPLLフィルタの設計も可能です。

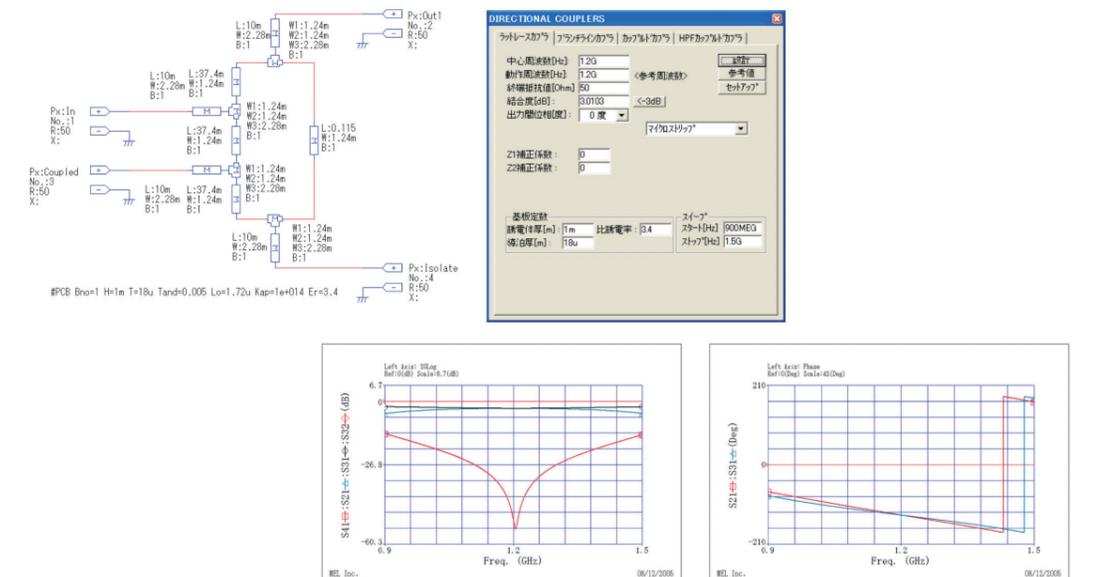
エッジカップルマイクロストリップ BPF の設計例

センター周波数を10GHz、帯域幅を1GHzでチェビシェフ特性のエッジカップルマイクロストリップフィルタの設計例です。オープンエンドの補正も自動的になされながら設計が行われます。



ラットレースリングの設計例

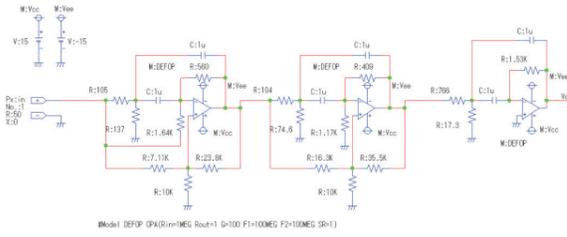
3dBラットレースリングをマイクロストリップで設計した例です。基板定数を入力するだけで、自動的にライン寸法を計算します。



MEMO

連立チェビシェフアクティブ BPF の設計例

オペアンプを用いた連立チェビシェフのバンドパスフィルタの設計例です。複雑な連立チェビシェフの計算も一瞬で行います。



ACTIVE BPF

チェビシェフ | パターソース | ヘリセル | 積円

中心周波数 [Hz]: 1k

帯域内リップル [dB]: 0.5

通過帯域幅 [Hz]: 0.3K

阻止帯域幅 [Hz]: 0.6k

阻止帯域減衰量 [dB]: 30

次数 (自動): 1

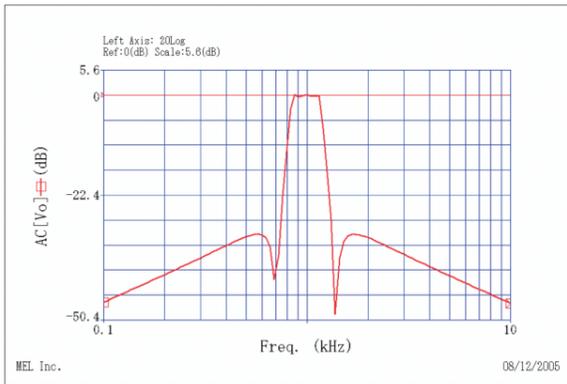
固定エレメント

R0 [Ohm]: 10k 推奨

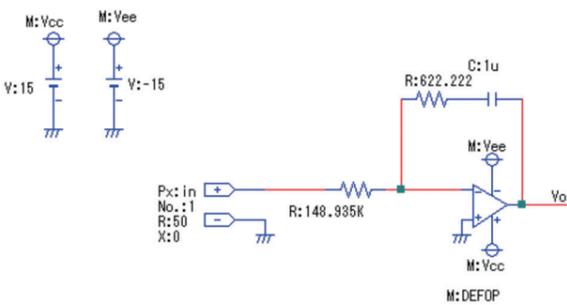
C [F]: 1u

オペアンプGB種: 50MEG RR1 [Ohm]: 10k

スウィープ
 スタート [Hz]: 100
 ストップ [Hz]: 10k



PLL フィルタの設計例



PLL設計

CR | アナログ

入力パラメータ形式: $\omega - \omega_n$

ω (ラジ/秒): 2250

kp [V/rad]: 0.7

Kvco [Hz/V]: 5MEG

回路形式: タイプ1

Frequency Type

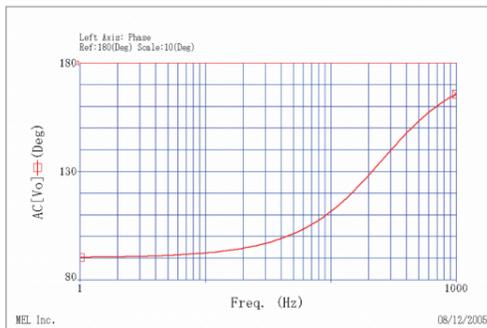
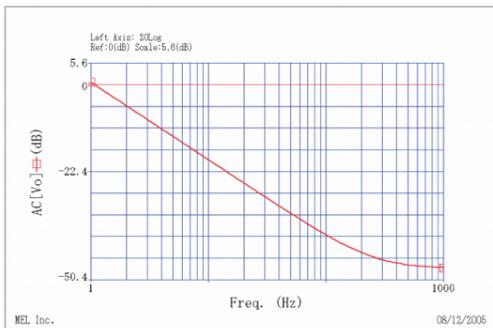
Frequency multiplier Ratio: 0.1

Frequency divider

Neither

C1 [F]: 1u F0 [Hz]: 1k

スウィープ
 スタート [Hz]: 1
 ストップ [Hz]: 1k



※アクティブフィルタおよびPLLフィルタメニューはオプションです。

MEMO
