

ディスプレイ貼り付け透明マルチバンド MIMO アンテナ

研究代表者 桑原義彦 静岡大学大学院工学研究科 教授

1 はじめに

高速移動通信技術の進展により、MIMO 技術の適用を前提とした携帯機器のアンテナの革新的技術が求められている。一方、携帯機器の小型軽量化が進み、機器の剛性を高めるため、ボディを金属で作りたいという要求が高まり、アンテナを筐体内に収容することが困難になろうとしている。

本研究は、これらの課題を解決するため、ディスプレイと共存させるマルチバンドの開口共用アンテナを検討した。ディスプレイ表面に貼り付けるアンテナの場合、視認性を損なわないよう、アンテナ素子は導電性透明シートで実現する必要がある。そして、タッチパネル機能と共存させるため、ディスプレイ中央付近にはアンテナ開口がないことが望ましい。一方で、タッチパネルに用いる ITO 層を利用してアンテナ開口を実現することも考えられる。われわれは自動車のリアデフォグをマルチバンドのアレイアンテナとして利用したアダプティブアンテナを提案した[1]。このようなアンテナが導電性透明シートを使ってスマートホンのディスプレイ上で実現できれば、工業デザインを損なわないダイバーシチ、アダプティブ、MIMO アンテナが実装できる。タッチ操作や持ち方によってアンテナの指向性は変化するが、MIMO やアダプティブアンテナで用いられる適応信号処理によって、その影響はある程度軽減されると期待できる。

ディスプレイや窓への貼り付けを想定した導電性透明シートを用いたアンテナ素子の研究開発は、内外で研究が行われている[2][3]。現在入手可能な導電性透明シートには Indium tin Oxide(ITO)、Fluorine-doped Tin Oxide(FTO)、Silver Coated Polyester Film (AgHT)がある。これらの材料の抵抗率は数 Ω/\square 以上(導電率に換算すると $1\times 10^6\text{S/m}$ 以下)あり、銅に比較するとかなり高いため、アンテナの放射効率が低下する。このため電子移動性の高い材料の開発が望まれている[4]。

MIMO アンテナは帯域内での利得や整合のほか、ポート間の空間相関が重要な性能指標となる。これらの複数のパラメータを勘案してアンテナ開口の形状やプラットホームへの実装位置を最適化する必要がある。われわれは多目的遺伝的アルゴリズムを用い、複数の性能指標を勘案しながらアンテナ形状を最適化する研究にとり組んでいる[5]~[8]。近年、複雑な構造を持つアンテナやプラットホームを考慮した状態でアンテナ形状を最適化するため、市販の電磁解析シミュレータと MATLAB 上で動作する多目的遺伝的アルゴリズムを VB Script でリンクして自動設計を行うプログラムを開発している[7]。本研究においても[7]で開発したプログラムを利用して設計を実施している。

本研究では次世代(4G)携帯電話で使用が予定されている 2.3~2.4GHz, 3.4~3.6GHz の周波数帯域をカバーする開口共用 2 素子アレイアンテナをスマートホンのディスプレイ上に実現した。ディスプレイの視認性を確保し、薄膜形成でアンテナ開口を実現するため、アンテナ素子に厚さ $1\mu\text{m}$ の ITO(導電率 5×10^5)を用いた。帯域内で各ポートの VSWR は 2 以下、各ポートの放射パターン間の空間相関係数 0.2 以下を目標とした。当初はプラチナバンドと呼ばれる 800MHz 帯も検討したが、よい結果が得られなかったので上の 2 つの周波数に目標を絞った。

2 アンテナの基本構成

2-1 先行研究

(1) ISDB-T_{mm} および ISDB-T_{sb} 受信用リアデフォグアダプティブアンテナ開口

われわれは FM 放送(76-90MHz)や ISDB-T_{mm}(90-108MHz)および ISDB-T_{sb}(207.5-222MHz)の高品質な移動受信を目的とし、自動車のリアデフォグを利用するマルチバンド・開口共用アレイアンテナを提案し、解析とスケールモデルによる実験を行い、その有効性を確認している。

図 1 に示すようにデフォグに 4 つの垂線を渡し、上下に出力ポート(Port1-4)を設けると、独立した 4 素子をもつアレイアンテナのように動作する。ダイバーシチ効果を得るにはアンテナ間の空間相関を低くする

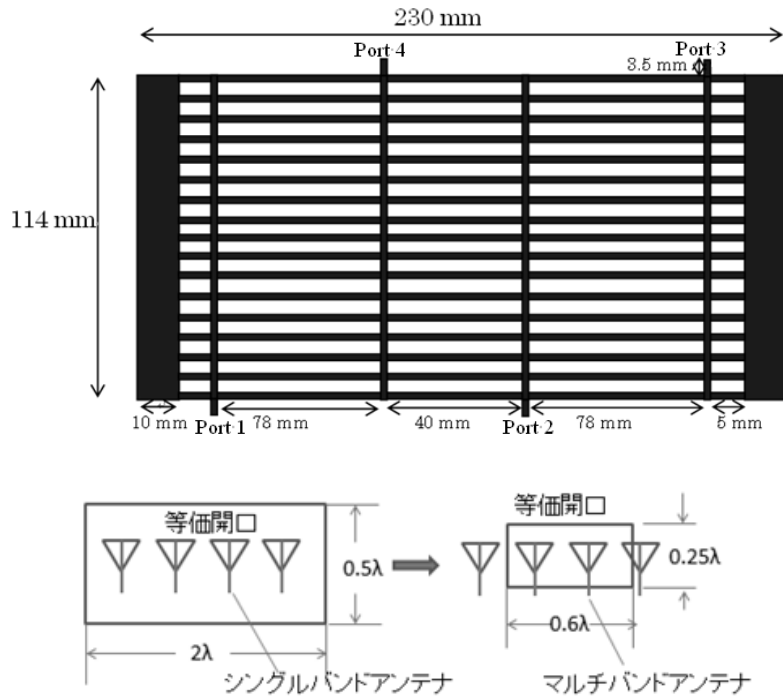


図1 デフォグを用いたマルチバンド開口共用アレーアンテナ

必要がある。ダイポールアンテナを半波長以上離せば空間相関は十分に下がることはよく知られているが、4素子アレーアンテナをダイポールアンテナで構成する場合、開口面積は $2 \times 0.5\lambda$ となる。提案した開口共用技術を使用した4ダイバーシチアンテナの開口は $0.6 \times 0.25\lambda$ で、かなり小型化される。提案アンテナはマルチバンド特性も有する。たとえば図1の $230 \times 114 \text{ mm}$ の開口 (ISDB-T_{mm}、T_{sb} 評価を前提とした 1/5 スケールモデル) で、450-540MHz と 1037.5-1110MHz の4ダイバーシチアンテナとしての動作を実験により確認している。さらに、熱線の抵抗の影響はアンテナ特性を大きく阻害しないことも確認している。本研究ではこの先行研究をスマートホン用の MIMO アンテナに発展させることを目的としている。

(2) スマートホンディスプレイ貼り付け MIMO アンテナ

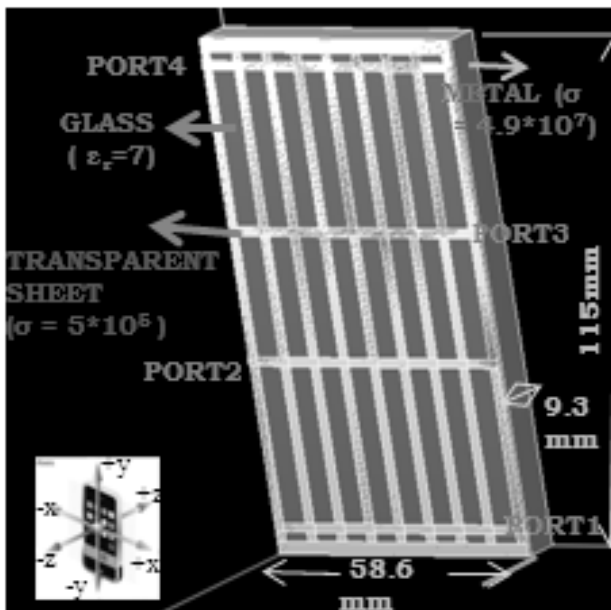


図2 透明 MIMO アンテナ (等間隔グリッド)

スマートホンディスプレイにワイヤグリッドアンテナを貼り付けて使用する場合、視認性を確保するためワイヤグリッドを透明導電性材料で実現する必要がある。文献9ではワイヤグリッドの材料に ITO を適用し、図1のアンテナ開口をスマートホンのディスプレイに実装してダイバーシチアンテナの特性を評価し、最適なグリッド数、グリッド幅、ポート位置を検討した。

図2は最適化したアンテナの外観である。ワイヤグリッドを9本、その幅を2mmとした時最良の特性が得られた。各ポートの VSWR は 2.3~2.5GHz, 3.4~3.6GHz, 5.1~5.2GHz の3バンドにわたって2以下、空間相関係数は 2.3~2.5GHz で0.43以下, 3.4~3.6GHz, 5.1~5.2GHz の2バンドで0.1以下、ピーク利得は 2.5GHz で-2dBi, 3.5GHz で0dBi, 5.1GHz で3dBiであった。0.7~0.9GHzについても検討を行ったが、ワイヤグリッド数と幅を変えるだけでは満足な性能が得られず、次章に示す多目的遺伝的アルゴリズムを用いてアンテナ開口構造を最適化することとした。

3. 多目的遺伝的アルゴリズムによるワイヤグリッド開口の最適化

3-1 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (GA) は最適解を導き出すための発見的な手法であり、生物の進化過程で起こる環境適応を模擬している。最適化の対象となる変数を「染色体(Chromosome)」として定義し、1つの「個体(Individual)」を形成する。個体は生物の多様性からそれぞれ異なる性質を示す。個体の集合を「集団(Population)」と呼ぶ。GA では個体を構成する染色体に対して選択(Selection)、交叉(Crossover)、突然変異(Mutation)を行い、各染色体の性能を評価する。これを繰り返し実行することで、解を得る。これら一連の手順を図3に示す。再急降下法に代表される一般的な最適化アルゴリズムは極小値からの脱出手段を備えていないが、GA は交叉及び突然変異を行う事で局所界からの脱出を図る事ができるため、グローバルの最適解に到達する可能性が高いアルゴリズムである。



図3 遺伝的アルゴリズム

3-2 パレート最適解

複数の目的関数の最適化の概念でよく知られているのがパレート解である。パレート最適解は個体間の優越関係に基づいて個体の順位付けを行う方法である。図4にパレートのランキング法を示す。どの個体にも支配されないパレート個体をランク1と決定した後、これらを取り除き、残りの個体からパレート最適解を与える個体に次のランクを与える。図中の数字は個体のランクを表している。始めにパレート最適解にランク1が与えられる。この例では個体A, B, C, Dが該当する。次にこれらを取り除き、残りの個体からパレート最適解にランク2が与えられる。この例では個体E, Gが該当する。これを順次繰り返していく。

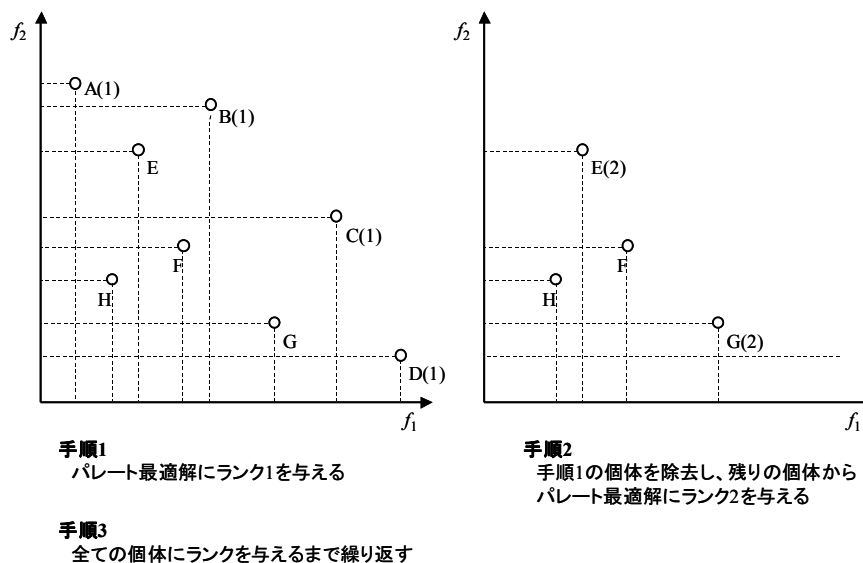


図4 パレートのランキング

このようにランク付けした個体のランキングの逆数を個体の適応度としてGAのアルゴリズムに適用する。

パレート最適解の簡単な例を示す。極座標における半径 r (範囲 $0 \sim 1$) と偏角 θ (範囲 $0 \sim 90^\circ$) を変数、 $x=r\cos\theta$ 、 $y=r\sin\theta$ として得られる x 座標と y 座標の値を目的関数として、GA で x と y を最大化する問題を考える。図 5 に計算の 1 世代目の目的関数の値を示す。目的関数の定義から、右に行くほど、また上に行くほどランキングは上昇することになる。図中の \circ は各個体の性能を表す。 $r=1$ の円周上が最良値であり破線で示している。この状態では $r < 1$ の第一象限内に個体が広く分布している。図において自個体の右上に個体が無い場合はランキング 1、その他の個体は劣ったランキングとなり淘汰されやすくなる。(b) は 2 世代目の結果で、個体が右又は上に大きく進んでいることが分かる。計算を進め、20 世代目の結果を(c)に示す。この世代ではほとんどの個体が $r=1$ 上に到達している。

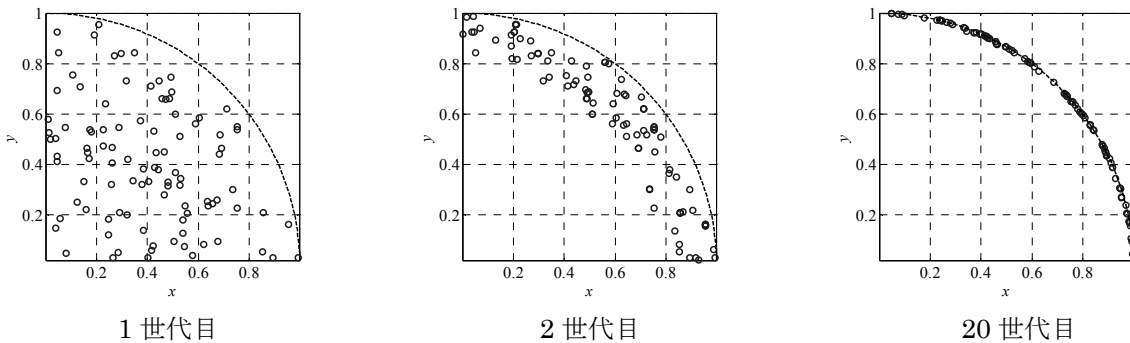


図 5 多目的最適化の簡単な例

3-3 MIMO アンテナ設計への多目的遺伝的アルゴリズムの適用

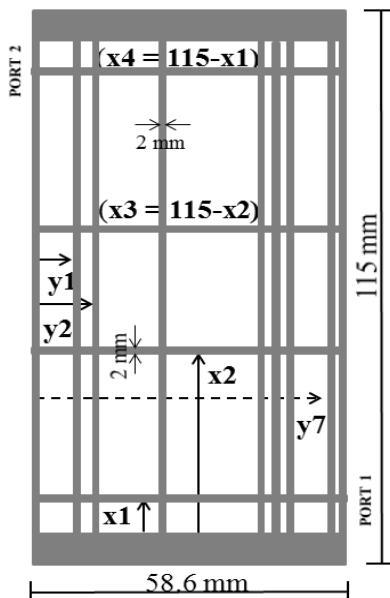


図 6 ワイヤグリッドの最適化

図 2 に基づくアンテナ構造の最適化を考える。事前検討によって、ワイヤの幅を 2mm、縦方向のワイヤの本数を 9 とした場合が最も良好な値が得られている。ここでは内側の縦方向の 7 本のワイヤの位置 (y_1, y_2, \dots, y_7) と、横方向の 4 本のワイヤの位置 (x_1, x_2, \dots, x_4) を GA によって最適化する。簡単のため $x_3 = 115 \text{mm} - x_2$ 、 $x_4 = 115 - x_1$ 、MIMO ブランチは 2、使用周波数は 0.85GHz と 2.2GHz とする。目的関数は各ポートの VSWR、利得、2 ポート間の空間相関である。空間相関は各ポートで得られる 3 次元複素指向性 $E_1(\theta, \phi)$ と $E_2(\theta, \phi)$ を計算し、両者の相関係数 ρ で評価する。

$$\rho = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{E_1(\theta, \phi) E_2^*(\theta, \phi)}{\sqrt{|E_1(\theta, \phi)|^2 |E_2(\theta, \phi)|^2}} d\phi d\theta \quad (1)$$

目的は 2 つのポート、2 つの周波数を考慮した場合の VSWR の最大値を最小化、利得の最小値の最大化、2 周波数の相関係数の最大値の最小化を実現する (y_1, y_2, \dots, y_7) と (x_1, x_2, \dots, x_4) を見出すことである。

3-4 電磁界解析シミュレータの利用

アンテナのさまざまな性能指標 (利得, VSWR, サイドロープレベル) を求めるため、アンテナの電磁界解析が必要となる。われわれはこれまで八木アンテナについてはモーメント法、レンズアンテナについては幾何光学手法でオリジナルの電磁界解析プログラムを開発していた。しかし、スマートホンや車両搭載アンテナなどの解析を考慮すると、それぞれのアンテナやプラットフォームについてオリジナルの電磁界解析プログラムを開発することは大変な労力を要し非効率である。そこで基本構造の設定や電磁界解析は市販の電磁

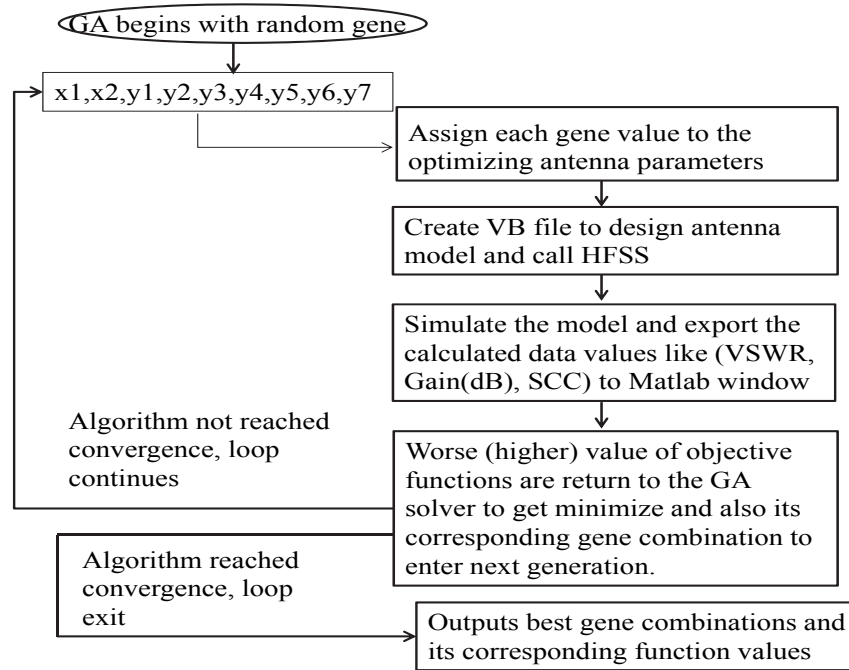


図7 アンテナ形状自動設計プログラム

界解析シミュレータを利用し、MATLAB上で動作する遺伝的アルゴリズムとリンクしてアンテナ構造を最適化するアンテナ自動設計プログラムを開発した。図7に開発したプログラムのフローチャートを示す。MATLAB上でランダムな $x_1 \sim x_2$, $y_1 \sim y_7$ の値を持つ染色体群を生成し、そのパラメータをVBプログラムに呼び出す。HFSSを呼び出して1つの染色体を選び、 $x_1 \sim x_4$, $y_1 \sim y_7$ の値をエクスポートし、HFSSでシミュレーションを実行する。HFSSのシミュレーション結果は、VBプログラムを経由してMATLABに送られる。以上の操作をすべての染色体について実行し、各染色体の目的関数値のリストを作成する。選択・交叉・突然変異の一連のGA操作を行い、新しい世代の染色体群を作成する。定められた世代数だけ一連の操作を繰り返し、得られた染色体が与える目的関数値のリストを作成し、最良の性能の組み合わせを持つ染色体を見出す。

3-5 MATLAB 関数の利用

MATLABのGlobal Optimization Toolboxには、図5のパレートフロントを与える組み込み関数 `gamultiobj` があらかじめ用意されている。

$$[X, Fval] = \text{gamultiobj}(\text{FITNESSFCN}, \text{NVAR}, \text{A}, \text{b}, \text{Aeq}, \text{beq}, \text{LB}, \text{UB}, \text{options}) \quad (2)$$

`FITNESSFCN` : 関数 `m` ファイルで定義した適応度関数。

`NVAR` : 変数の数、図6の例では9となる。

`A`, `b` : $Ax \leq b$ の形の拘束を与える場合の係数行列 `A` と関数値 `b`。図6の例では拘束がないので空白 `[], []` とする。

`Aeq`, `Beq` : $Aeqx = beq$ の形の拘束を与える場合の係数行列 `Aeq` と関数値 `beq`。図6の例では拘束がないので空白 `[], []` とする。

`LB`, `UB` : 変数の上限と下限。図6の例では変数が9あるので、変数ごとに上限と下限を設定する。

`Options` : GAで設定するパラメータオプションで、最大世代数、個体数、交叉率、突然変異率などが設定できる。

`X` : 染色体が持つパラメータ、図6の例では $x_1 \sim x_2$, $y_1 \sim y_7$ の値

`Fval` : 染色体が与える目的関数値。図6の例は最悪のVSWR, 利得, 空間相関の値となる。

本研究では多目的遺伝的アルゴリズムの実行に関数 `gamultiobj` を用いた。

3-6 アンテナ開口の最適化

これまで説明した方法を使って図6のワイヤグリッド開口を最適化した。図8にアンテナを実装するボディの構造、表1にシミュレーション条件を示す。

表 1 シミュレーション条件

Analyzing frequency	0.850GHz 2.2 GHz
Number of objective function	3
Number of optimizing variable	9
Population size	30
Number of generation	20
Number of ports	2
Cross over fraction	0.8
Elite count	2

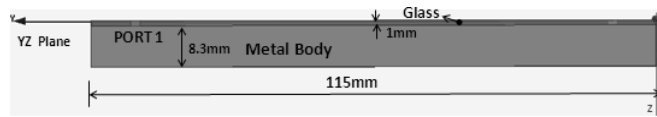


図 8 スマートホンのボディ

アンテナ開口（ワイヤグリッド）は厚さ 0.167mm の ITO ($\sigma=5 \times 10^5 \text{S/m}$) で実現する。1本のグリッドの幅は 2mm である。アンテナ開口は厚さ 1mm のガラス ($\epsilon_r=7, \tan\delta=0.0036$) 板に実装される。ガラス板は 58.6×115×8.3mm の金属ケースに置かれる。ガラス板と金属ケースの底板には空気層があると仮定する。

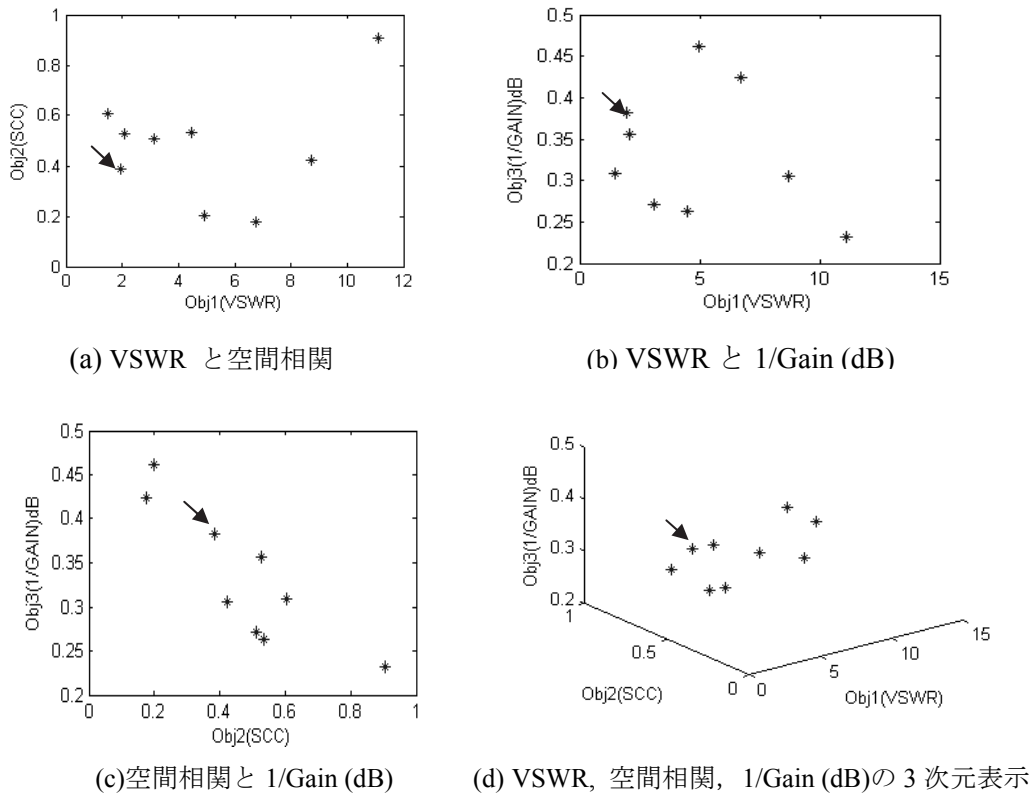


図 9 シミュレーション結果

図 9 にパレート界の分布を示す。矢印が最良のトレードオフを与える個体で、各パラメータの値は次のとおりである。

$$[X] = [8.10, 16.10, 32.10, 51.10, 34.10, 48.10, 4.10, 45.10, 51.10]$$

これを図示したのが図 10 である。中央に太いグリッドが見られるがこれは 3本の幅 2mm のグリッドが重なった結果である。この時のポート 1, 2 の VSWR の周波数特性を図 11 に示す。0.83~0.97, 1.75~2.5GHz の帯域で VSWR<2 が得られる。表 2 は図 2 の開口と図 10 の開口が与えるアンテナの性能指標を比較した結果である。空間相関も改善が認められるが、特に VSWR とピーク利得が大きく改善されている。

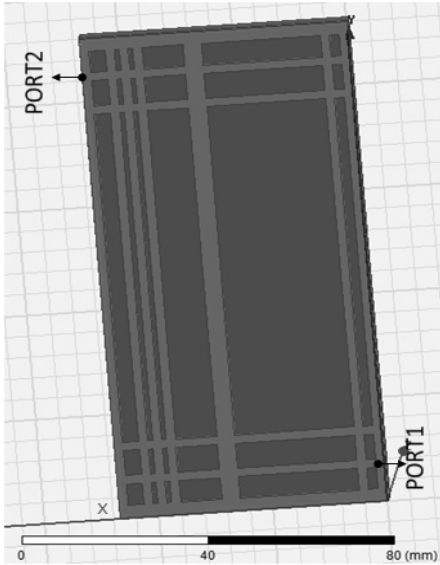


図 10 最適化されたワイヤグリッド開口

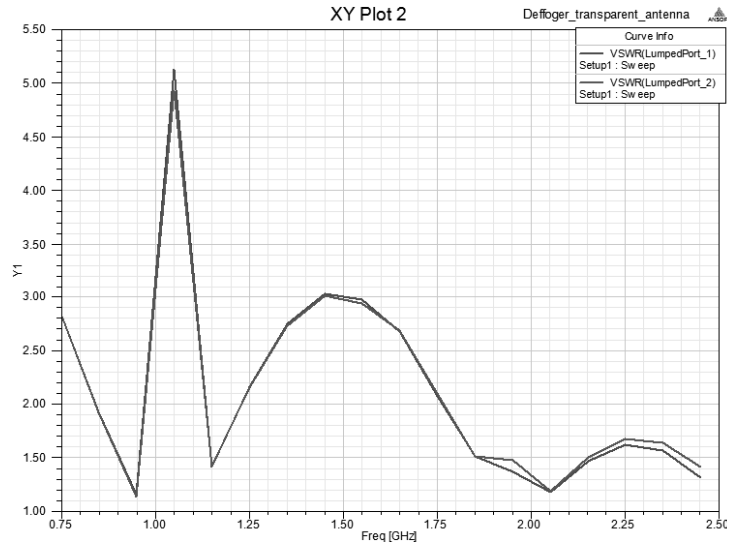
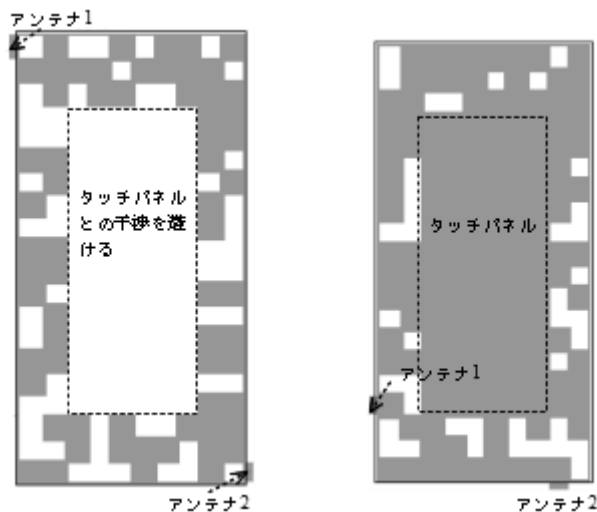


図 11 VSWR

表 2 最適化前後の性能指標

Aperture	Optimized Pattern				Non-OptimizedPattern			
Frequency(GHz)	0.85		2.2		0.85		2.2	
Port	1	2	1	2	1	4	1	4
VSWR	1.9	1.9	1.4	1.4	2.7	2.7	2.4	2.4
SCC	0.38		0.3		0.43		0.32	
Peak Gain(dBi)	2.7	2.6	5.5	5.4	-11	-12	-2	-1

4. パッチ開口



タイプ A

タイプ B

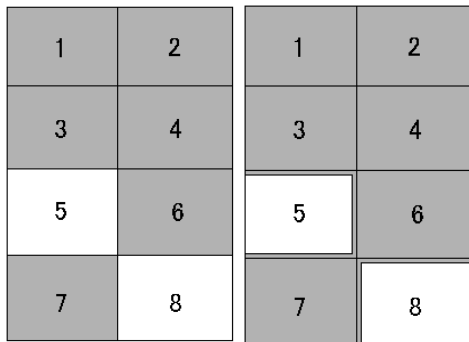
図 12 パッチ開口

図 10 のワイヤグリッドアンテナはパネル中央にグリッドがあるため、タッチパネル機能のあるスマートホンの画面と共存させることは難しいかもしれない。タッチパネルはさまざまな形式が実現されているが、電極として ITO が利用されている。タッチパネルと共存させるため、図 12 に示すパッチ開口で構成されたアンテナについて検討を行った。

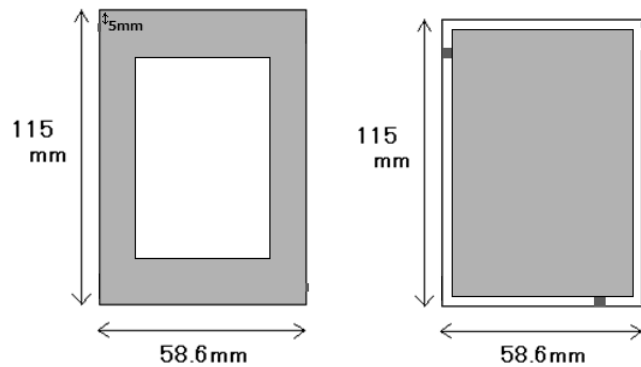
タイプ A はディスプレイ表面にアンテナ開口を貼り付けることを想定し、タッチパネルを使用する頻度が高い中央部にアンテナ開口を実装しないパターンである。タイプ B はアンテナ中央部をタッチパネルと共存させ、周囲部のパターンの変更により MIMO アンテナの実現を試みる。

なお、試作のため本章ではガラスの代わりに厚さ 1.6mm のガラスエポキシ基板上に ITO を実装した。また、薄膜の生成によりアンテナ開口を実現するため ITO の厚さを 1 μ m とした。

4-1 最適パターンの実現方法



パッチ間が点で接続 パッチ間を面で接続
図 13 パッチ並びの最適化

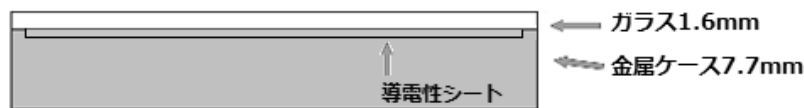


タイプ A タイプ B

図 14 ITO の使用エリア



タイプ A



タイプ B

図 15 断面図

ここでは図 13 に示すようにアンテナ開口を小さな長方形に分割し、小さな長方形に ITO シートを割り当てるか割り当てないかと給電点の位置を、多目的 GA で決定する。この場合開口をメッシュに区切っただけではパッチ間が点で接続される場合、HFSS で電磁界解析ができない。そこでパッチ間を面で接続するためメッシュの内側をくりぬくことにする。

図 14 に ITO の使用可能エリアを示す。水色の部分が ITO シートでありこれを区切ってパッチ群を形成する。赤色の点は給電点を示す。本検討では縦方向に 20、横方向に 10 のパッチエリアを設定した。タイプ A では給電点位置を上下のエッジから 5mm の位置で固定した。給電点は ITO シート側が+、金属ケース側を-として設定する。タイプ B では ITO シートがディスプレイの内側にあるので、ITO と金属ケースを結ぶ最短パスに給電点を設定した。図 15 は ITO の実装位置を示す断面図である。

4-2 最適パターンの設計

表 3 に GA の設定パラメータを示す。タイプ A、B と同じ条件である。当初 0.85GHz 帯の検討も行ったが、シートの厚さを $1\mu\text{m}$ にすると利得が -10dBi 以下と大幅に低下し、空間相関も 0.4 以上に上昇した。そこで、周波数帯を 2.2 と 3.4GHz 帯に絞って検討を行った。パッチの大きさはタイプ A が $4.65 \times 4.66\text{mm}$ 、タイプ B が $4.47 \times 4.31\text{mm}$ 、パッチ間を接続するグリッドの幅は 1mm である。

表 3 設計条件

最適化手法	多目的遺伝的アルゴリズム
世代数	10 世代
染色体数	20
突然変異率	1%
交差率	100%
交差法	一点交差法
電磁界解析	HFSS
周波数	2.2GHz,3.4GHz

4-3 設計結果

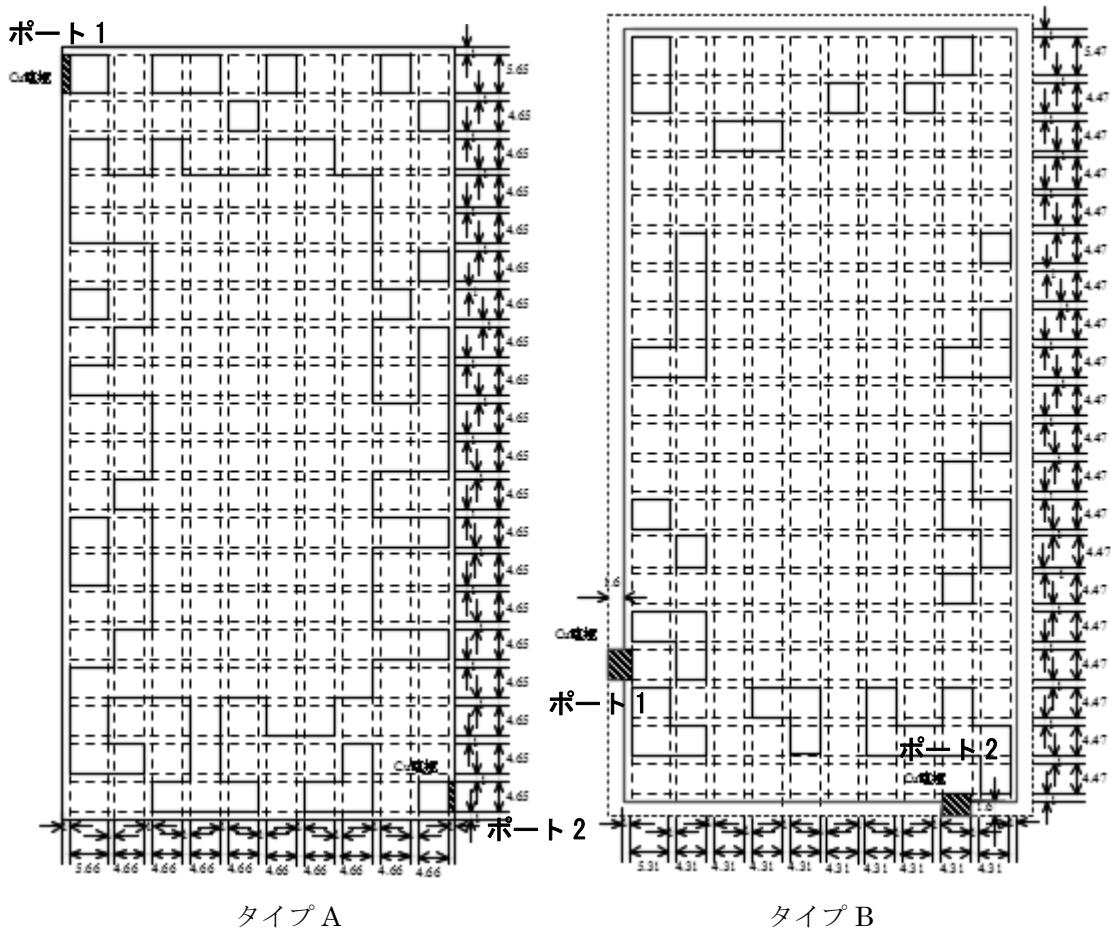


図 16 設計結果

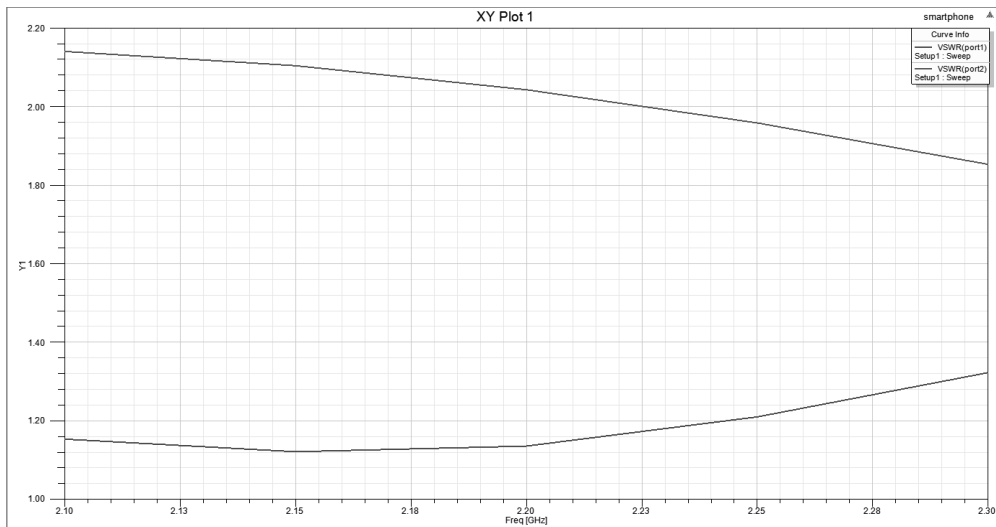
図 16 に両タイプの開口形状，表 4 に得られた性能をまとめて示す。全般的にタイプ A のほうが高性能である。帯域内の VSWR を図 17 に示す。

4-4 ワイヤグリッドアンテナとの比較

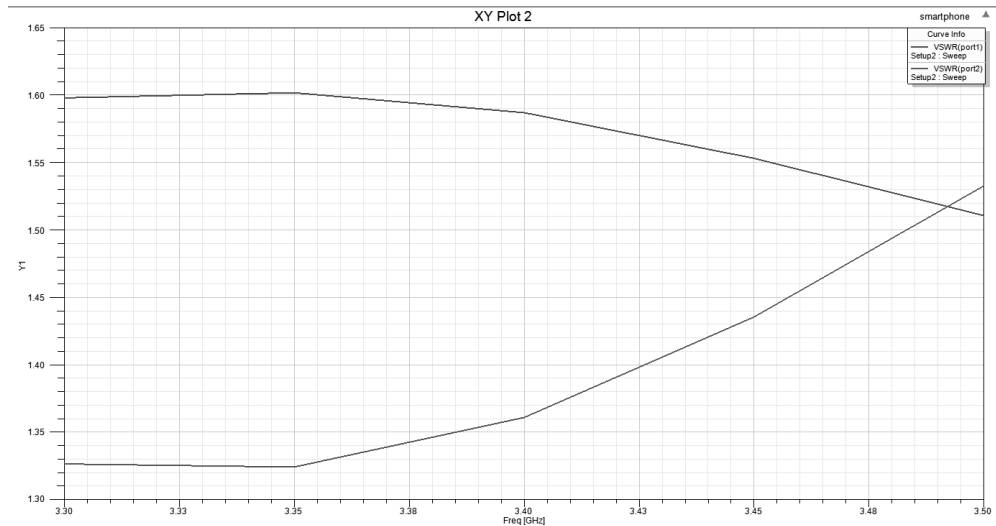
ITO の厚さを $1\mu\text{m}$ としてアンテナ開口を最適化した時のアンテナ開口の形状を図 17，得られた性能を表 5 に示す。表 4 の結果と比較するとパッチアンテナよりかなり性能が劣る。

表 4 性能パラメータ

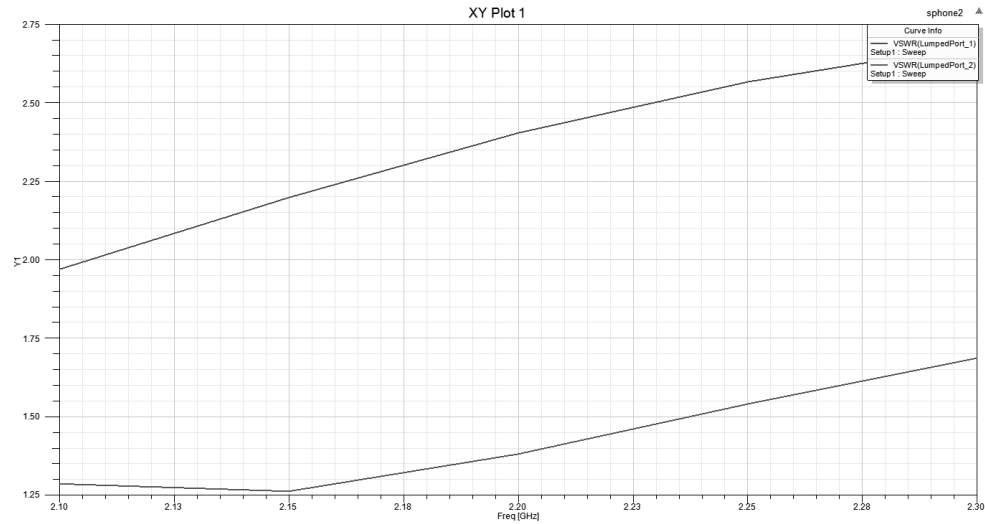
周波数		タイプ A		タイプ B	
		2.2GHz	3.4GHz	2.2GHz	3.4GHz
VSWR	ポート 1	2.0400	2.1940	2.4035	1.6674
	ポート 2	1.2131	1.6439	1.3817	2.2612
GAIN (dB)	ポート 1	-0.8616	0.6424	-2.3525	1.5538
	ポート 2	-0.8382	0.6628	-2.2083	-1.9299
相関係数		0.0647	0.1175	0.1372	0.2366



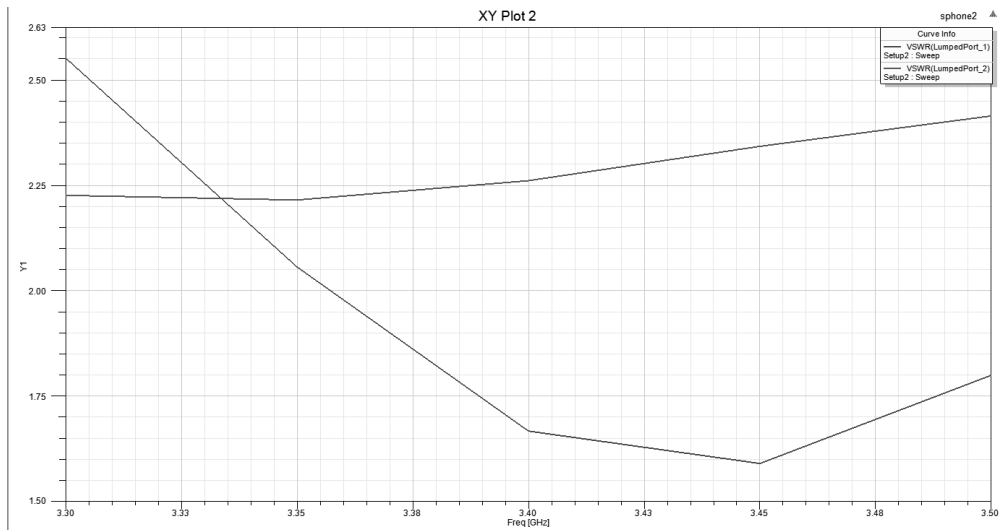
2.2GHz z 帯



3.4GHz z 帯
タイプ A



2.2GHz 帯



3.4GHz 帯

図 17 帯域内 VSWR

表 5 ワイヤグリッド開口の性能

周波数		2.2GHz	3.4GHz
VSWR	ポート 1	1.6036	1.2213
	ポート 2	1.6536	1.1888
GAIN (dB)	ポート 1	-3.5056	-3.0407
	ポート 2	-3.5315	-2.72
相関係数		0.4258	0.1206

5. 試作評価

5-1 試作

4章の検討結果からパッチ開口のタイプ A のアンテナの試作評価を行った。図 19 に試作したアンテナ

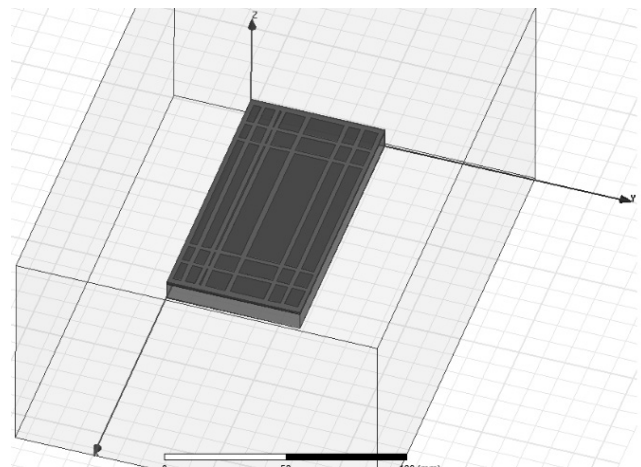


図 18 厚さ 1 μ m の ITO を使用した時のアンテナ開口

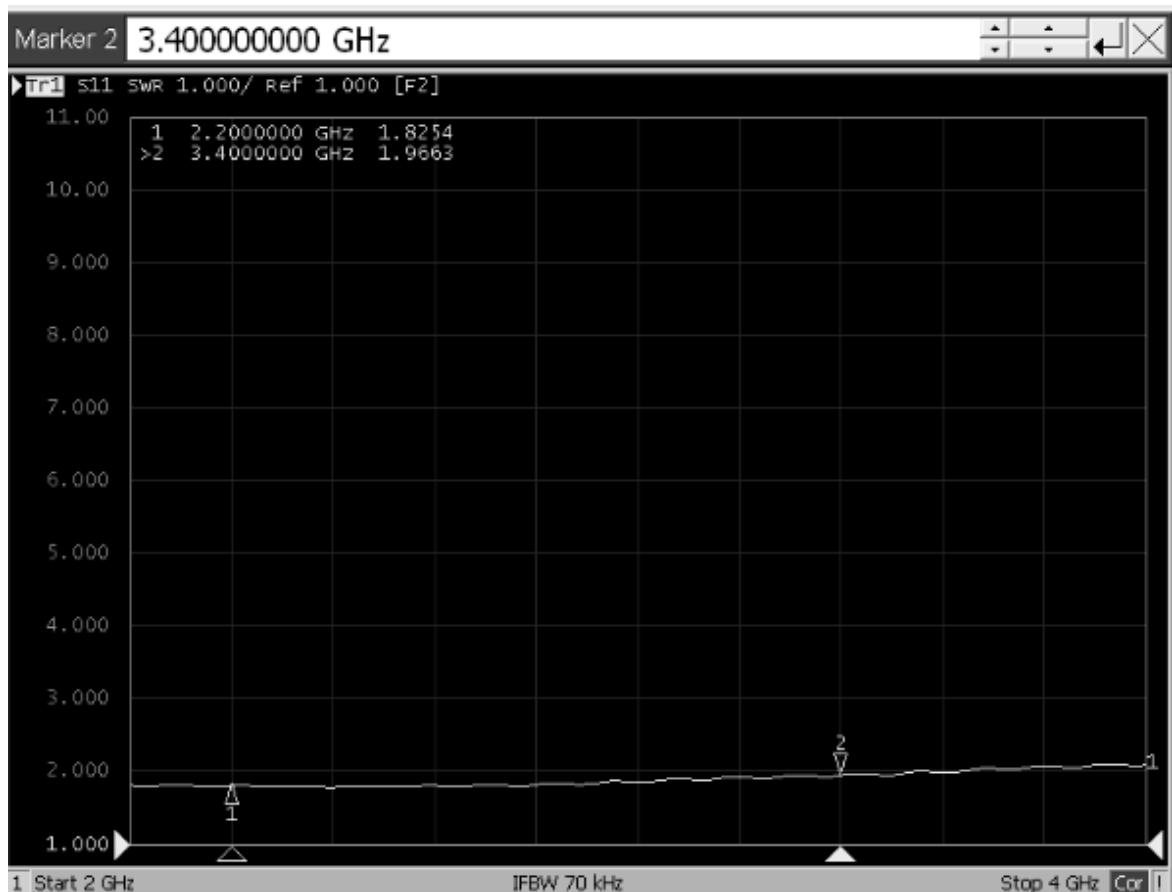
ナの外観を示す。試作アンテナはガラスエポキシ基板上に実装され、ガラスエポキシ基盤は真鍮の削りだしで作成したケースに実装されている。OSM 型のパネルアダプタをケースにねじ止めするとともに、芯線を ITO に半田付けして出力を取り出している。



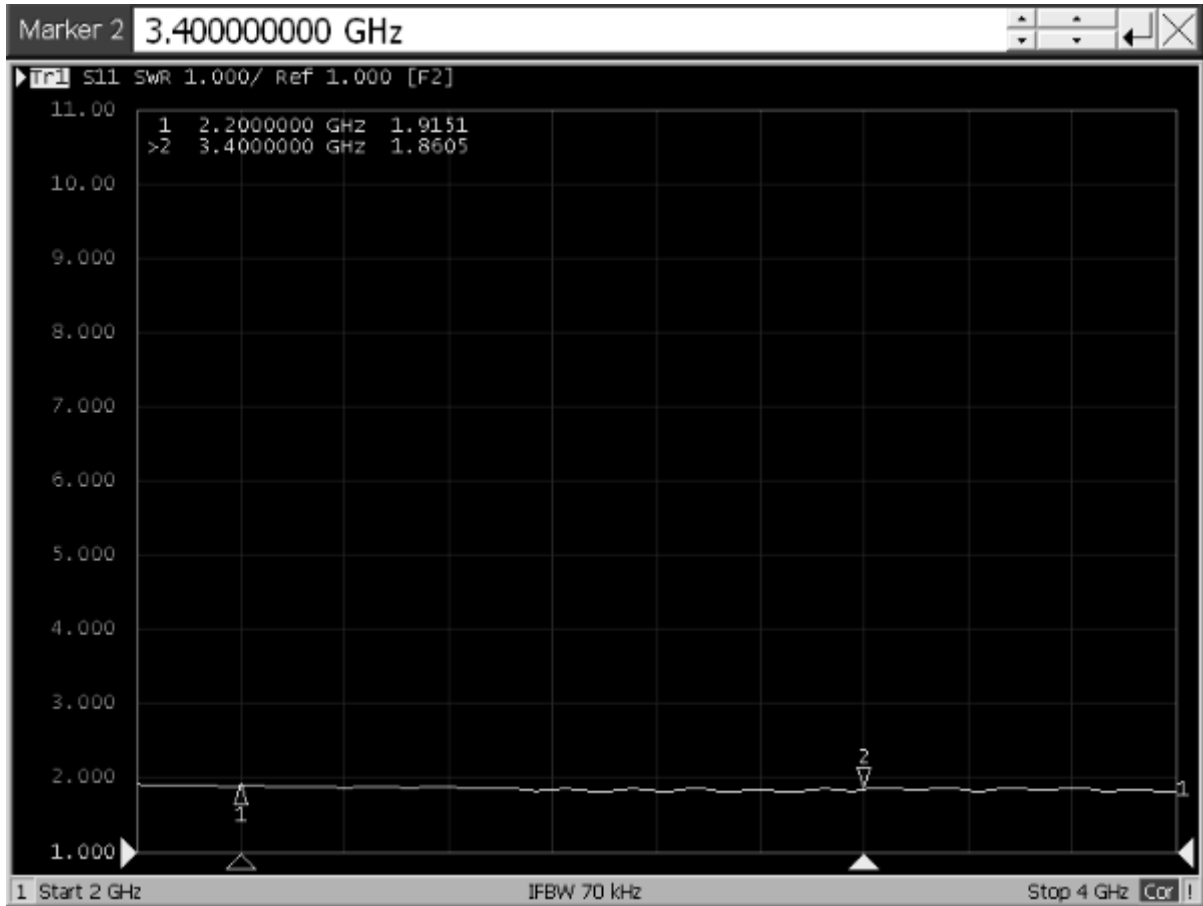
図 19 試作アンテナ

5-2 VSWR 評価

試作アンテナの VSWR 測定結果を図 20 に示す。ポート 1, 2 とも帯域内で VSWR は 2 以下である。ポート間かアイソレーションも確認したが、帯域内で -50dB 以上得られている。



ポート 1



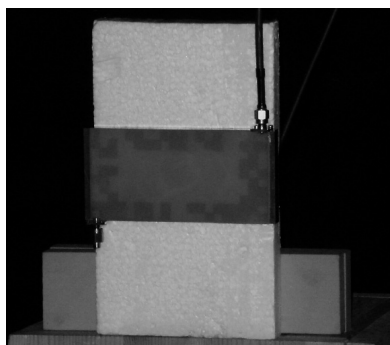
ポート 2

図 20 VSWR 測定結果

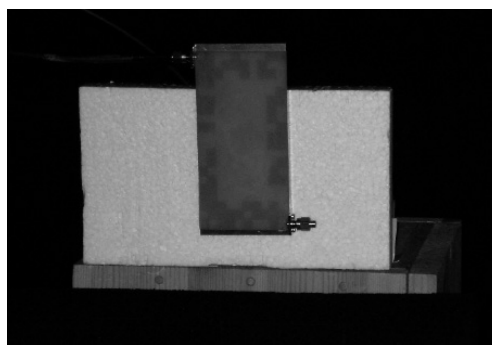
5-3 指向性評価

送信アンテナに標準利得ホーンを用い、水平面と垂直面指向性を測定した。指向性測定に使用したターンテーブルは水平面でのみ回転するので、図 21 に示すように水平面と垂直面指向性を測定する際、アンテナの取り付け姿勢を変えて測定を行った。アンテナは電波反射の影響が無視できる発泡スチロールに取り付けた。

図 22 に各偏波における振幅指向性の測定結果を示す。図中 0°がアンテナ開口のボアサイト方向である。実線はポート 1、・がついた実線はポート 2 の指向性である。参考にポート間の空間相関を計算した結果を表 6 に示す。ここでは垂直パターンと水平パターンを使って相関値を計算をしている。

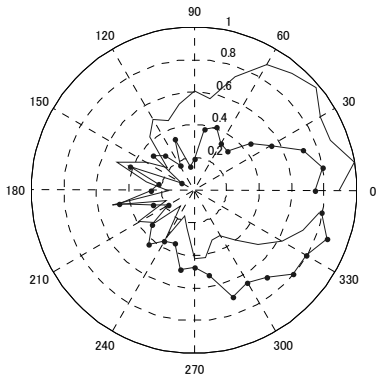


垂直面指向性測定姿勢

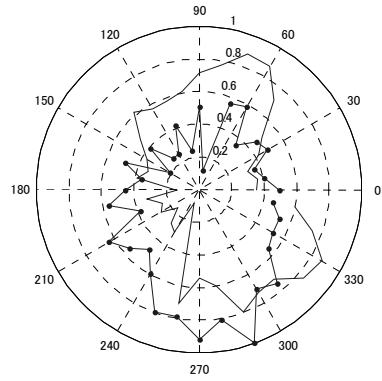


水平面指向性測定姿勢

図 21 アンテナ指向性測定

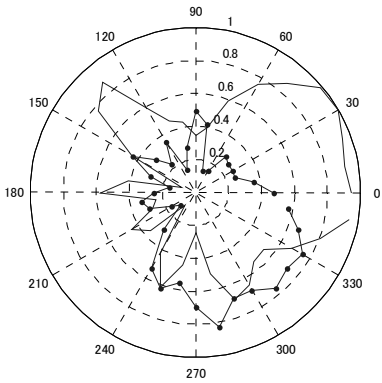


2.2GHz

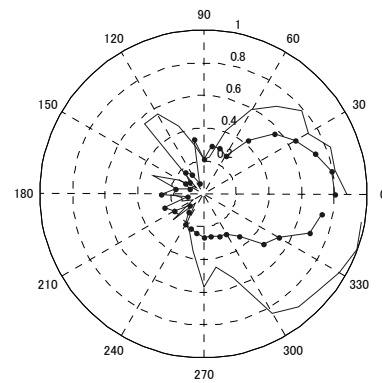


3.4GHz

垂直偏波での水平面指向性

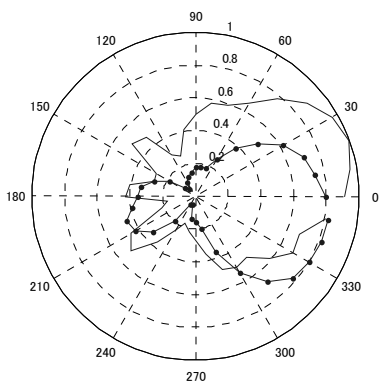


2.2GHz

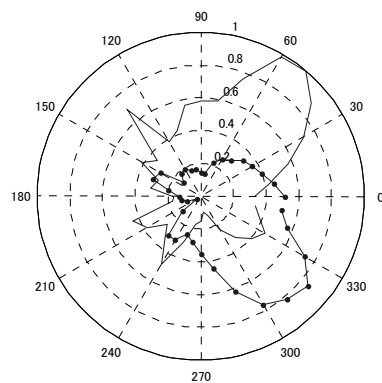


3.4GHz

垂直偏波での垂直面指向性

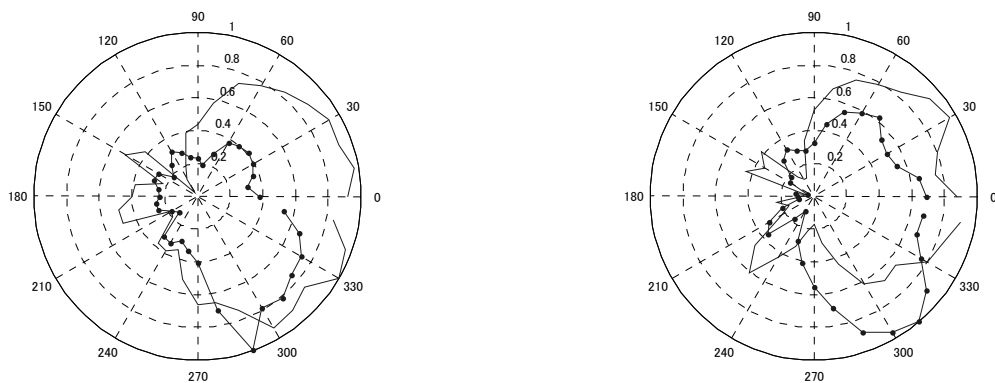


2.2GHz



3.4GHz

水平偏波での水平面指向性



2.2GHz

3.4GHz

水平偏波での垂直面指向性

図22 指向性測定結果

表6 ポート間空間相関

垂直偏波		水平偏波	
2.2GHz	3.4GHz	2.2GHz	3.4GHz
0.2684	0.1420	0.3836	0.1166

空間相関は3次元指向性をもとに計算しなければならないので、表6は参考値である。利得については研究期間内に標準利得アンテナを1台しか準備できなかったため、測定は未実施である。

6. まとめ

スマートホンのディスプレイと共存させる透明導電性シートのマルチバンド開口共用アンテナについて検討した。帯域内での利得や整合のほか、ポート間の空間相関の複数の性能指標をトレードオフしてアンテナ開口の形状を最適化するため、多目的遺伝的アルゴリズムを用いた。さらに、プラットフォームの電磁気学的影響を考慮するため、遺伝的アルゴリズムを MATLAB で実行し電磁界解析を市販の電磁解析シミュレータ HFSS で行う自動設計を行うプログラムを開発した。

本研究では次世代(4G)携帯電話で使用が予定されている 2.3~2.4GHz, 3.4~3.6GHz の周波数帯域をカバーする開口共用 2 素子アレーアンテナをスマートホンのディスプレイ上に実現した。ディスプレイの視認性を確保することと薄膜技術で ITO 層を形成させるため、アンテナ開口に厚さ 1 μ m の ITO(導電率 5×10^5 S/m)を用いた。タッチパネル機能と共存させるため、ディスプレイ中央付近にはアンテナ開口がない場合、タッチパネルに用いる ITO 層を利用してアンテナ開口を実現する場合について検討し、前者の方がよい結果が得られることがわかった。

計算機シミュレーションにより複数の周波数について各ポートの VSWR は 2.4 以下、各ポートの放射パターン間の空間相関係数 0.24 以下、総合利得 -2.4dBi 以上が得られた。試作を実施し、VSWR と空間相関が帯域内で低いことを確認した。実効利得と 3 次元指向性に基づく空間相関の測定・確認が今後の課題である。

【参考文献】

1. N. Abdullah and Y. Kuwahara, "VHF Adaptive antenna Using the Rear Defogger," IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol.60 No.3, pp.1228-36, 2012.
2. N. Guan, H. Furuya, K. Himeno, K. Goto, and K. Ito, Basic "Study on Antenna Made of a Transparent Conductive Film," IEICE Trans. COMMUN., Vol.E90-B, No.9, pp.2219-2224, 2007.

3. H. J. Somg, T. Y. Hsu, D. F. Sievenpiper, and H. P. Hsu, "A method for improving efficiency of transparent Film Antennas," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.7, pp.753-756, 2008.
4. J. R. Saberlin and C. Furse, "Challenges with Optically Transparent Patch Antenna," IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol.54, No.3, pp.10-16, 2012.
5. Y. Kuwahara, "Multi-objective Optimization Design of Yagi-Uda Antenna," IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol.53 No.6, pp.1984-1992, 2005.
6. T. Maruyama, K. Yamamori, and Y. Kuwahara, "Design of Multibeam Dielectric Lens Antennas by Multi-objective Optimization," IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol.57 No.1, pp.57-63, 2009.
7. P. Sindhuja and Y. Kuwahara, "GA Optimization of Transparent MIMO Antenna for Smartphone," IEICE Electronics Express, Vol.10, No.11, pp.1-8, 2013.
8. シンドウージャ パチャイカニ, 桑原義彦, "車載用 GPS/LTE 共用アンテナのボディを考慮した設計," 信学技報, Vol.113 No. 428, pp. 31-38, 2014.
9. シンドウージャ パチャイカニ, 桑原義彦, "開口共用透明マルチバンド MIMO アンテナ, 信学技報, AP2012-108, pp. 87-92, 2012.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
GA Optimization of Transparent MIMO Antenna for Smartphone	IEICE Electronics Express	2013年4月