

4.アンテナエレメント物理長の短縮

4-1 エレメント長 短縮方法(1)

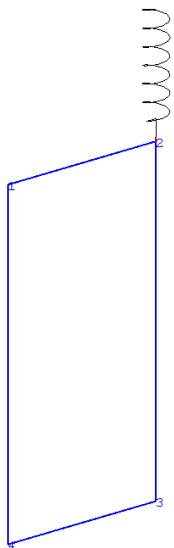
携帯電話用アンテナはアンテナエレメント+グラウンド板の変形ダイポールアンテナとして考えて差し支えありません。実際のエレメント物理長の短縮方法は各種提案されていますが現在はインバーテッドF構造が主流です。

携帯電話業界では通常PIFAと呼称されていますがPIFAはアンテナ下部にグラウンド板をもつ変形パッチアンテナの一種であり本来はインバーテッドFアンテナと呼称される事が妥当であると考えます。

アンテナをその製造方法で呼称する事も多いので注意が必要です。

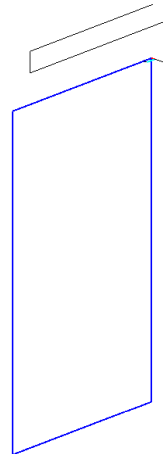
各種 短縮方法

下記の方法もしくはその組み合わせ、また誘電体・磁性体を装荷して短縮化を図ることも多用されています。どの方式でも短縮化に伴い放射抵抗が減少し、狭帯域化と低効率化が生じますので注意が必要です。



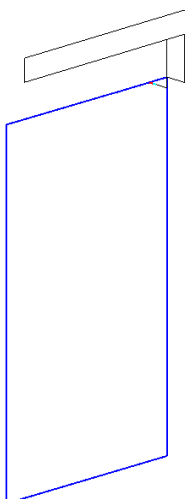
Helical

AntennaをHelical状に巻き物理長を短縮



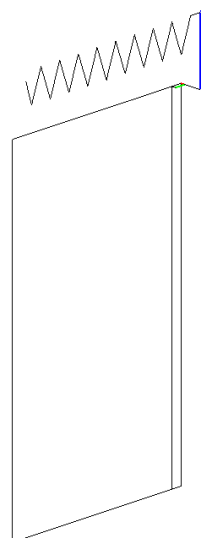
Inverted L

Antennaを途中で水平方向に折り曲げ高さを短縮



Inverted F

Inverted Lと同様の構造で、給電部にImpedance変換部を設置



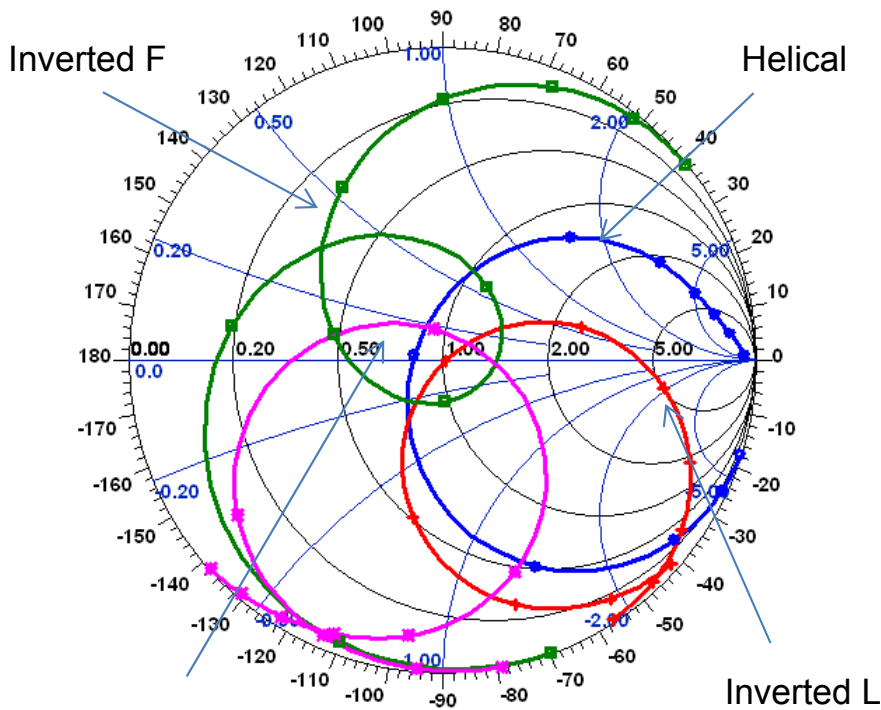
Zigzag

ElementをZigzag構造にして短縮

前頁の4種類の短縮方法をEEM-MOMを使用し簡単にシミュレートした結果を示します。

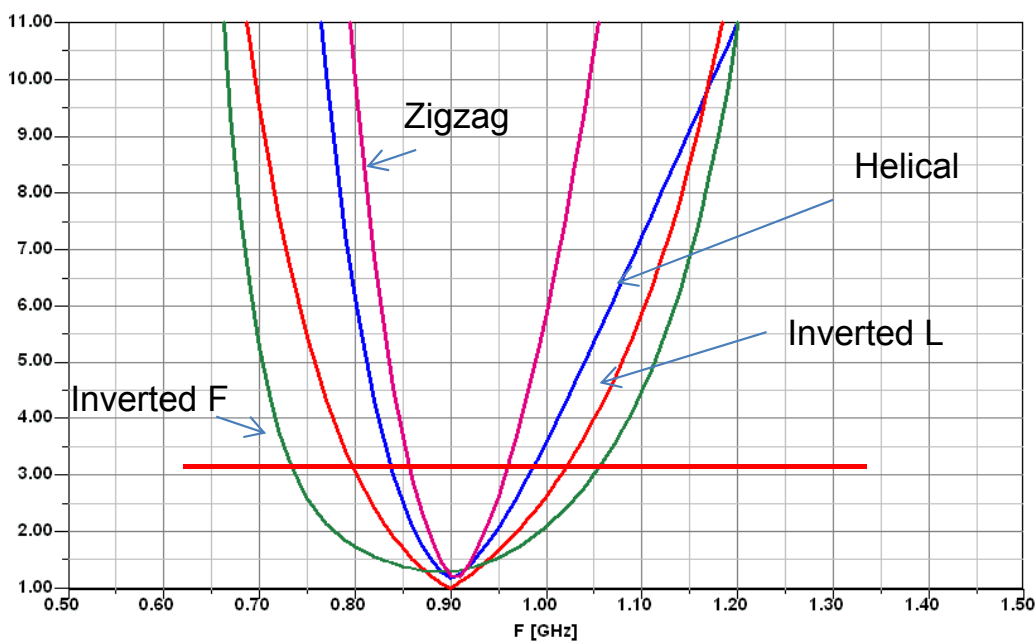
- どのアンテナもインピーダンス $Z_0=50(\Omega)$ で正規化
- グラウンド板寸法: $45 \times 80\text{mm}$
- エレメント寸法: $12 \times 45 \times 6\text{mm}$

Impedance $Z_0=50 \Omega$



- 現在はInverted-F Typeが主流
- Antenna体積に余裕がある場合 Inverted-L Typeも使用される

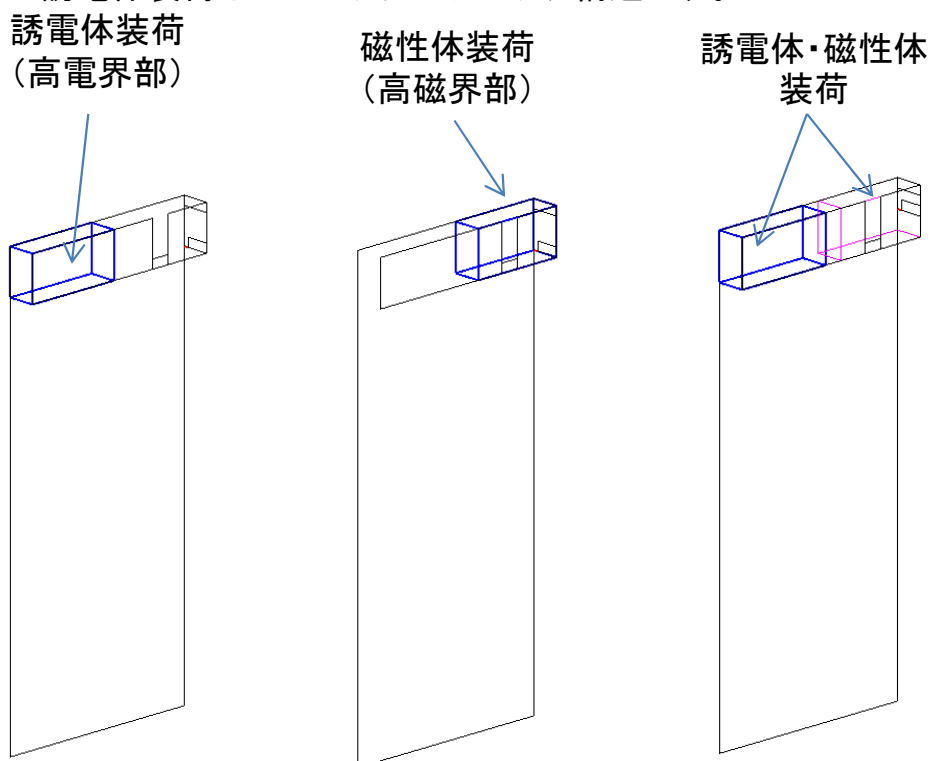
VSWR $Z_0=50\Omega$



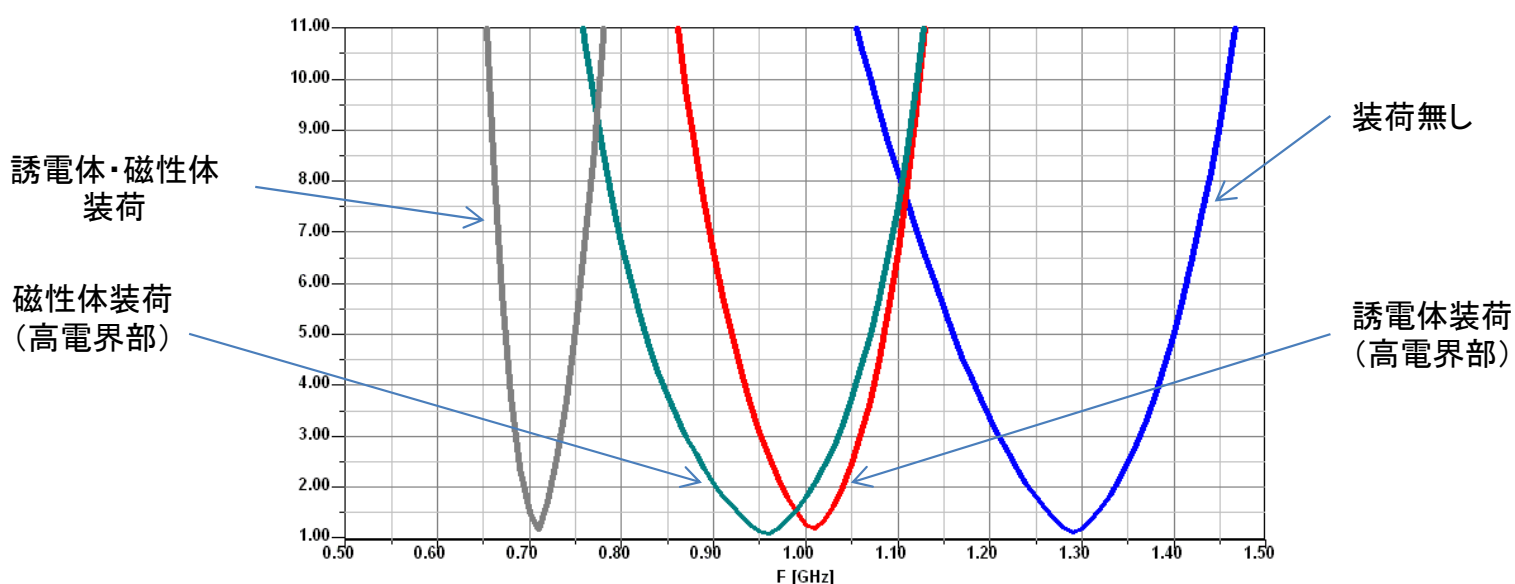
4-2 Element長 短縮方法(2)

現在主流のインバーテッドFアンテナに誘電体と磁性体を装荷し短縮したシミュレーション例です。誘電体はアンテナ高電界部分に、磁性体は導体電流が集中する給電点付近に装荷します。

現行のアンテナは製造上、アンテナキャリアと呼ばれるプラスチック上に導体が形成されていますので誘電体装荷インバーテッドFアンテナ構造です。



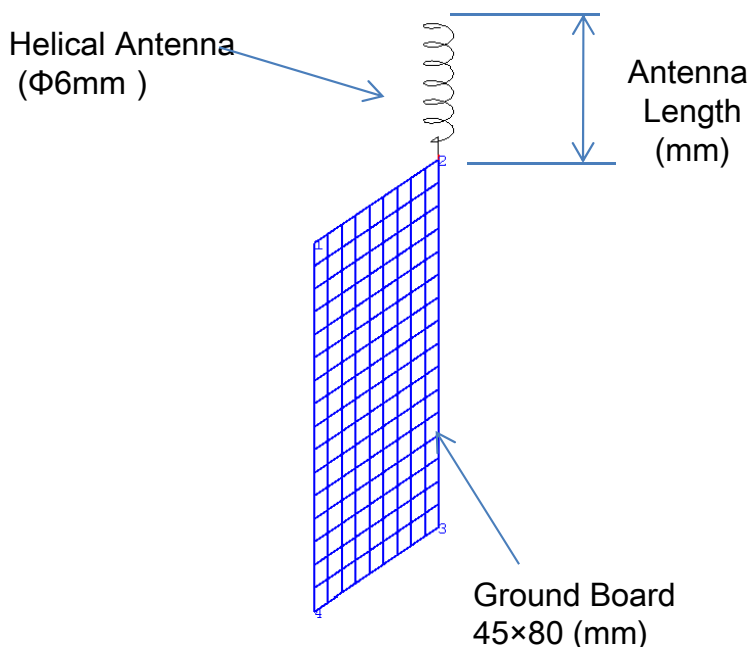
誘電体・磁性体装荷による共振周波数低下 (Size短縮)



磁性体装荷の場合誘電体装荷に比較して帯域幅の減少が少ない事に注目。

4-3 エlement長を短縮した時の留意点 <放射抵抗低下>

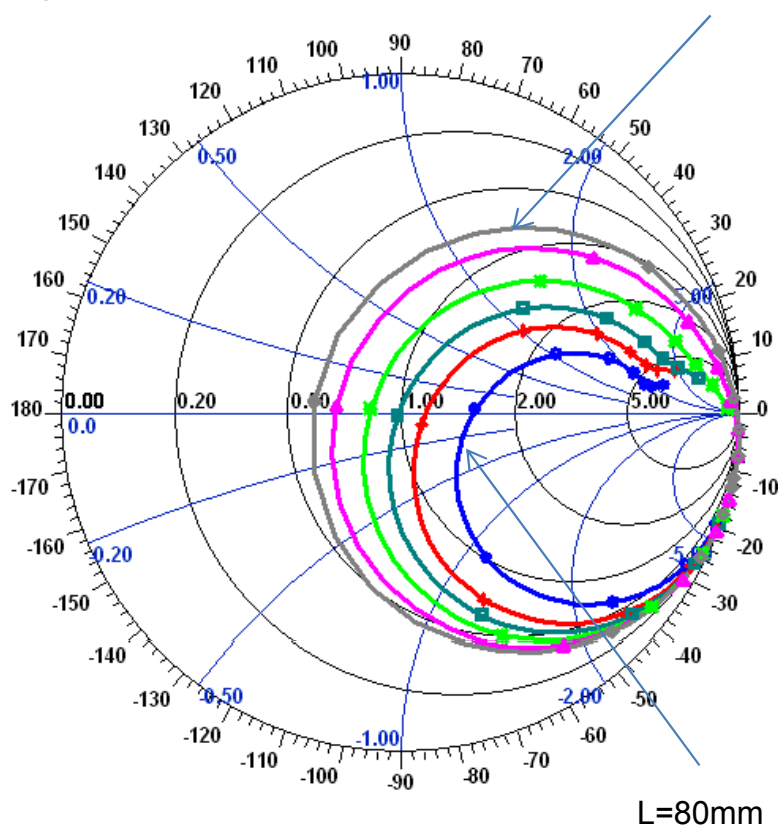
物理長を短縮したアンテナは放射抵抗が低下します。下記の例は45×80mmのグラウンド板上に搭載したヘリカルアンテナの物理長を変化させた時の共振点での放射抵抗のシミュレーション例です。



| Antenna Length (mm) | Impedance(Ω) @900MHz |
|-----------------------|----------------------|
| 15 | 29+j0 |
| 20 | 34+j0 |
| 30 | 41+j0 |
| 40 | 49+j0 |
| 50 | 56+j0 |
| 80 | 77+j0 |

Impedance $Z_0=50 \Omega$

L=15mm



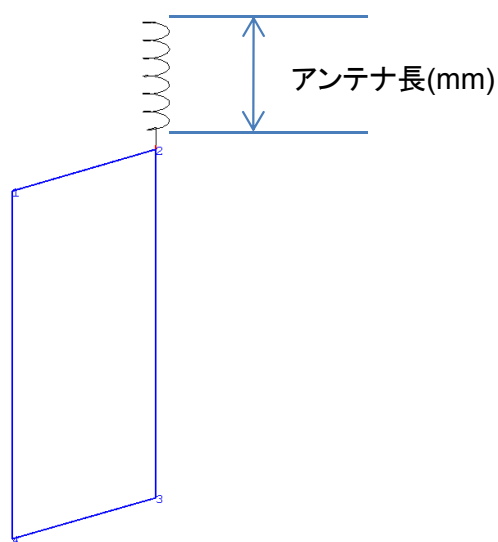
■アンテナQの増加に伴う帯域幅の減少

■アンテナ損失の相対的增加による効率の低下

- Antenna物理長の短縮により放射抵抗が減少する
- 放射抵抗の減少により下記の留意点が生じる

4-4 エlement長を短縮した時の留意点 <帯域幅の減少(1)>

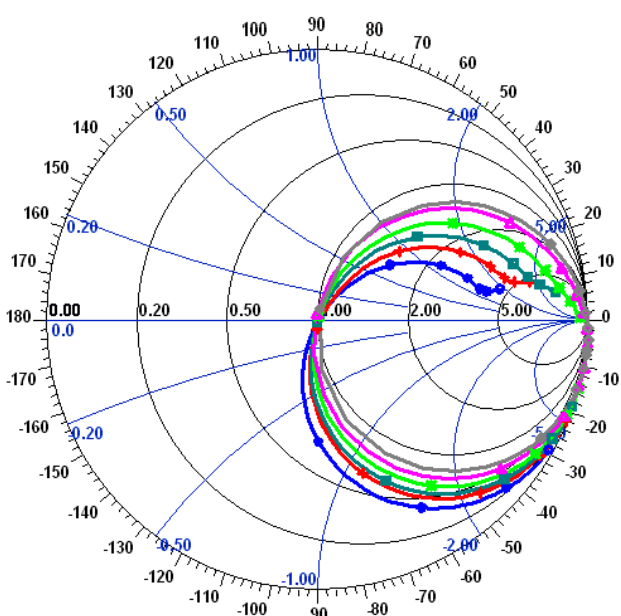
Element長短縮により放射抵抗が減少したアンテナはQ値が上昇し比帯域幅が狭くなります。下記は45×80mmのグラウンド板上に搭載したヘリカルアンテナの物理長を変化させた時の比帯域幅の変化をシミュレーションした例です。(fr=900MHz)



比帯域: $\Delta f / f_r$

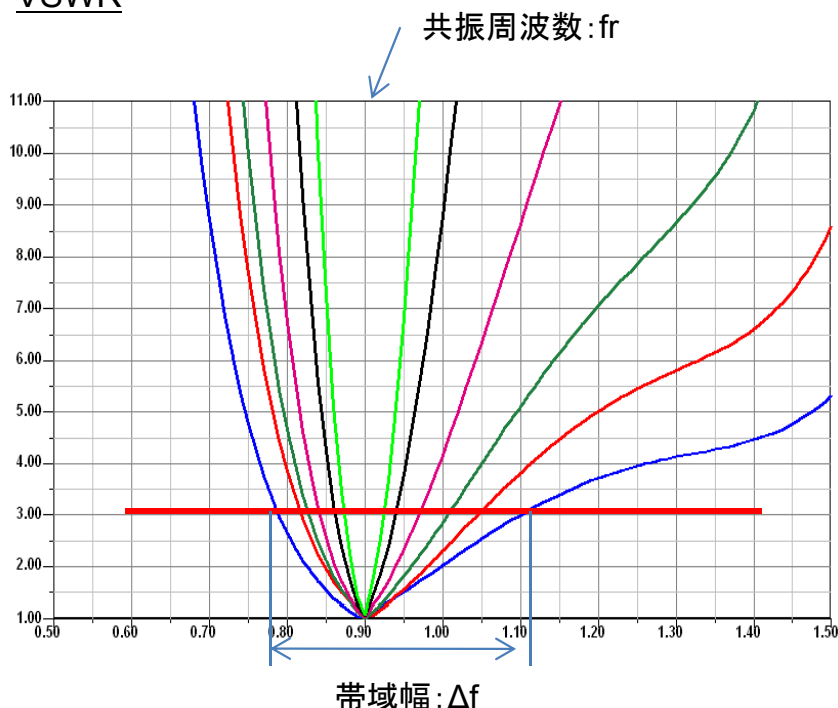
| Antenna Length (mm) | Relative Length (λ) | Band Width (MHz) | Relative Band Width (%) |
|---------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|
| 80 | 1/4 | 320 | 35.5 |
| 50 | 1/6.6 | 230 | 25.5 |
| 40 | 1/8 | 180 | 20.0 |
| 30 | 1/10.6 | 130 | 14.4 |
| 20 | 1/15.8 | 80 | 8.8 |
| 15 | 1/21.3 | 50 | 5.5 |

Impedance $Z_0=50 \Omega$



—各Element長に対する放射抵抗を50Ωに正規化して計算

VSWR

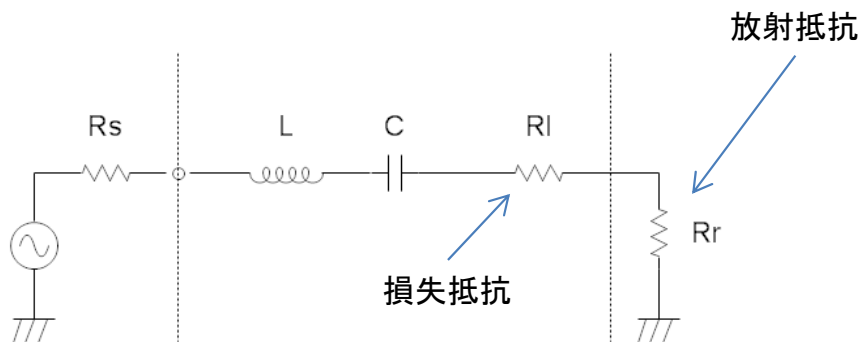


帯域幅: Δf

4-5 エLEMENT長を短縮した時の留意点 <帯域幅の減少(2)>

等価回路で記述した時のアンテナQと帯域幅の関係を下記に示します。通常帯域幅はアンテナの反射損失が0.5(-3dB)の周波数の差(半値幅)で表します。

Antenna等価回路

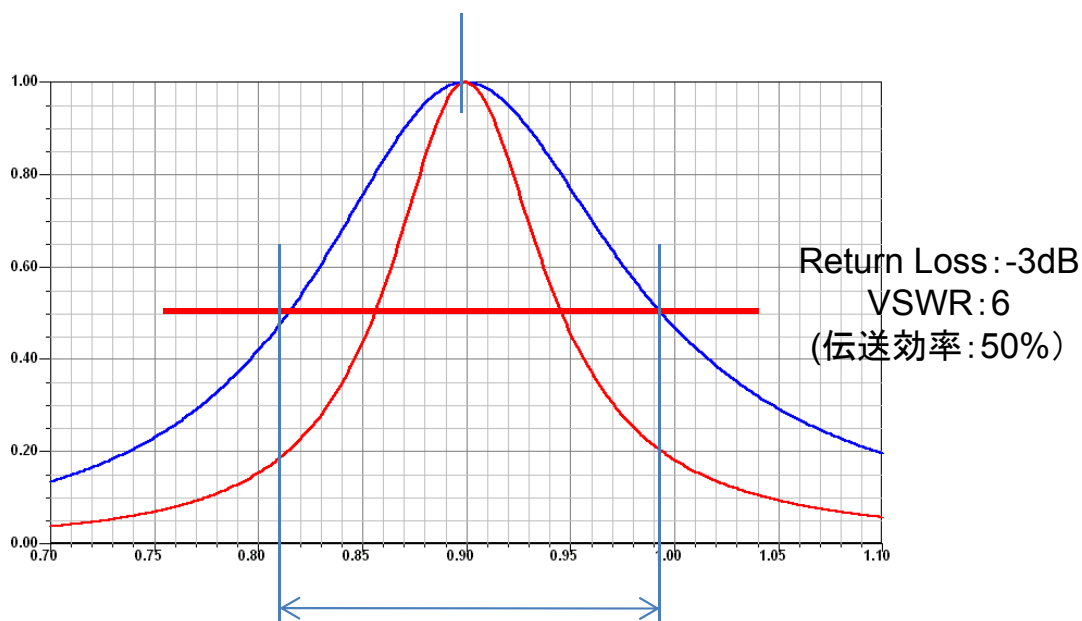


$$Q = \omega L / (R_s + R_l + R_r) = 1 / \omega C (R_s + R_l + R_r)$$

$$\Delta f = f_r / Q$$

Rs : Source Resistance
 R l : Loss Resistance
 Rr : Radiation resistance
 L : Inductance
 C : Capacitance

共振周波数 : f_r (900MHz)



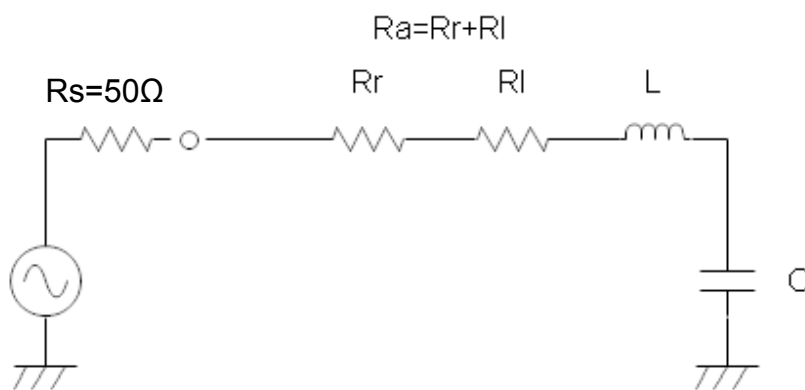
帯域幅 : Δf
 (半値幅)

Return Loss : -3dB
 VSWR : 6
 (伝送効率 : 50%)

4-6 エlementを短縮した時の留意点 <帯域幅の減少(3)>

前述の様にアンテナ共振周波数ではアンテナインピーダンスのリアクタンス成分は零となり整合条件は $R_s=R_a$ であるが、共振周波数を外れると共振周波数から高周波側で容量性 ($-1/j\omega C$)、低周波側で誘導性 ($j\omega L$)となり不整合が生じる。

従って共振周波数 f_c を中心に Δf を使用帯域幅とすると全帯域内で十分な放射効率を確保しなければならない。



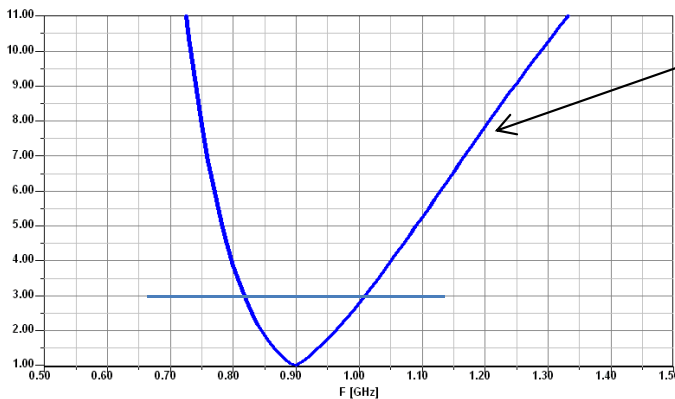
- ・アンテナQファクターは $Q=\omega L/R_a$ であり R_a が低いほど Q が高くなる(比帯域が狭くなる)
- ・ $Q=f_c/\Delta f$
- ・実際の携帯アンテナは携帯本体内蔵アンテナが主流ありアンテナ長を理想値の $1/2\lambda$ とすることは難しい。
- ・放射抵抗はアンテナ長の2乗に比例し $R_r=80\pi^2(L/\lambda)^2$ と計算できる。
- ・内蔵アンテナではグラウンド板を含む筐体の長さがアンテナ長となり、 $L=1/4\lambda$ とすると $1/2\lambda$ のダイポールアンテナと比較すれば放射抵抗は約 $1/4$ の 18Ω 程度となる。

4-7 エlementを短縮した時の留意点 <帯域幅の減少(4)>

通常携帯アンテナの帯域幅は VSWR=3 以下の帯域で規定される。Rr=R0、RI=0の整合条件では共振周波数で放射効率は $\eta=100\%$ (0dB)、VSWR=3 の周波数では $\eta=75\%$ (-1.2dB)となる。実際にはRI>0であるので効率は更に低下するが、一般的に全帯域内で $\eta=50\%$ (-3dB)が判断基準となる。

標準ダイポールアンテナ特性

VSWR特性

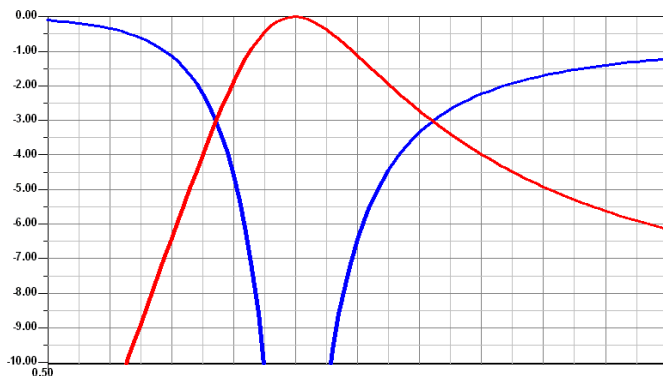


$$VSWR = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$$

$$|\Gamma| = (VSWR - 1) / (VSWR + 1)$$

・反射係数 Γ はネットワークアナライザ等で測定出来るsパラメータのs11と同等

反射電力・伝送電力特性



← 反射電力(リターンロス)

$$Pr = 10 \log (|\Gamma|^2)$$

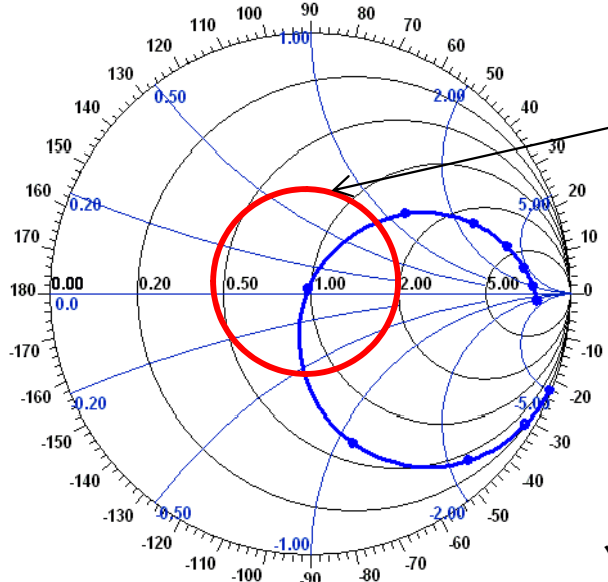
VSWR=3で -6dB

← 伝送電力: $Pr = 10 \log (1 - |\Gamma|^2)$

VSWR=3で -1.2dB

インピーダンス特性

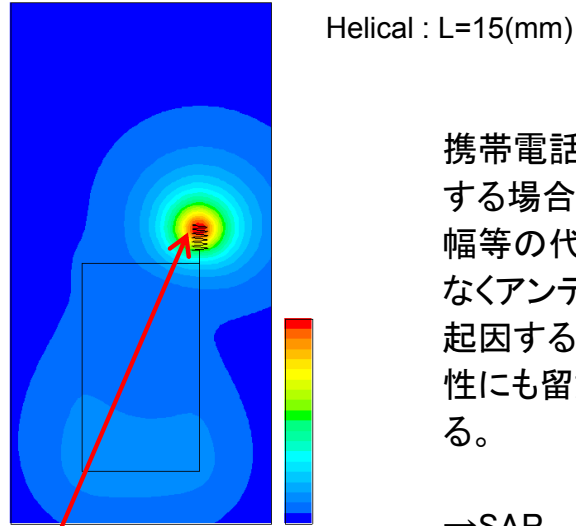
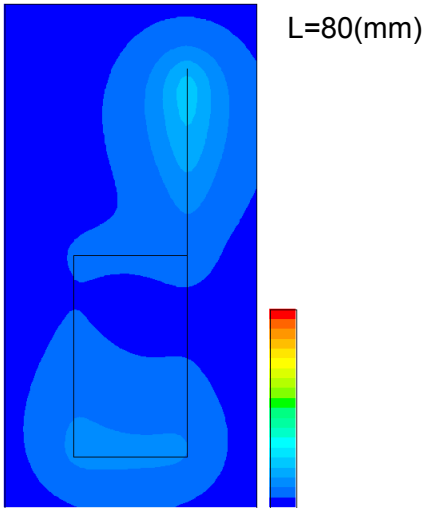
定VSWR円: VSWR=3



ソースインピーダンス: $Z_0 = 75 + j0$

4-8 エlement長を短縮した時の留意点 <近傍電界の集中>

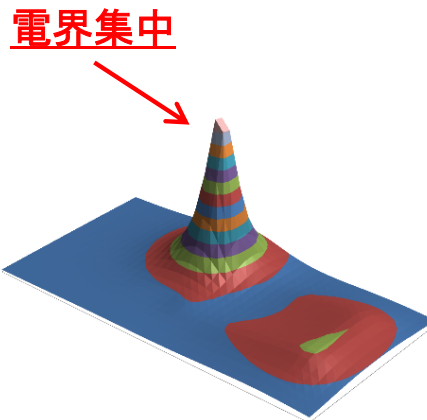
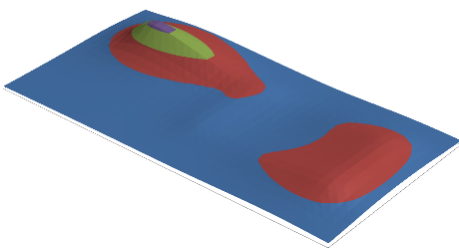
Element物理長を短縮すると本来Elementに分散していた電界も圧縮されて近傍電界の集中が起こります。下記は45×80mmのグラウンド板に搭載したL=80mmのElementとL=15mmのElement近傍電界のシミュレーション結果です。L=15mm ElementはL=80に比較してはるかに電界強度が高く、その値はElement長比に反比例し約5倍となります。



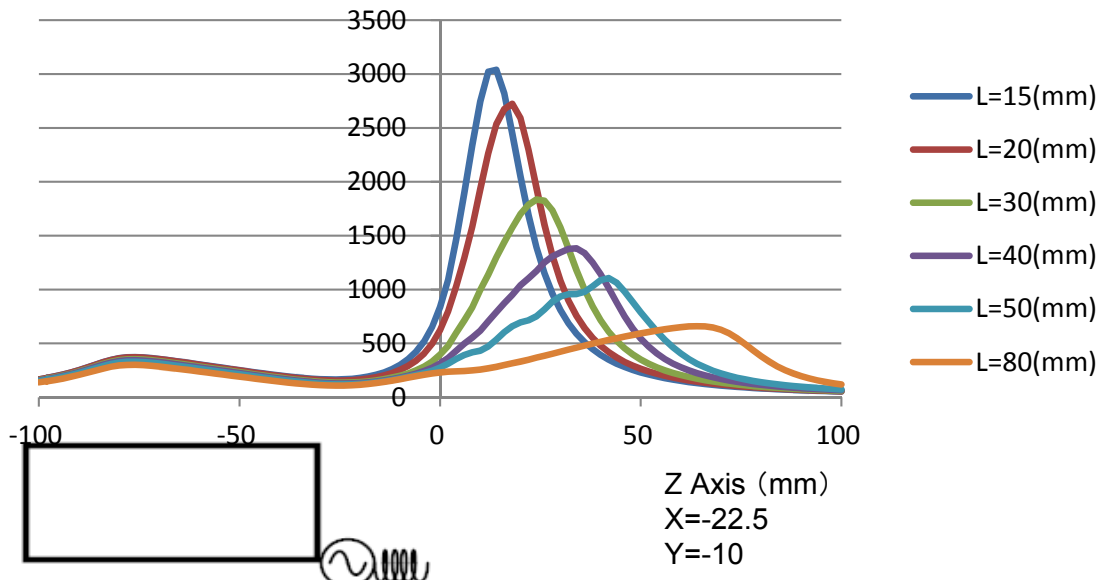
携帯電話アンテナを設計する場合放射効率と帯域幅等の代表特性だけでなくアンテナ電界集中に起因する对人体障害特性にも留意する必要があります。

→SAR
→HAC 等

等高線図



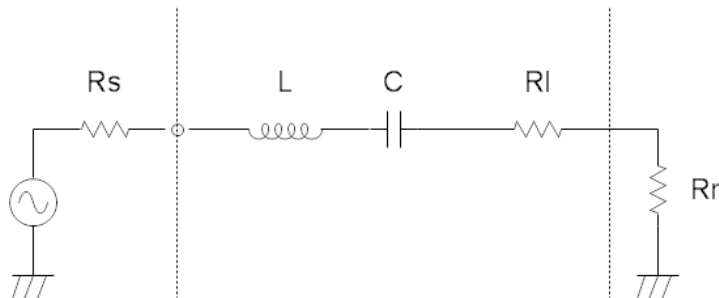
電界強度(V/m)



4-9 エLEMENT長を短縮した時の留意点 <放射効率の減少>

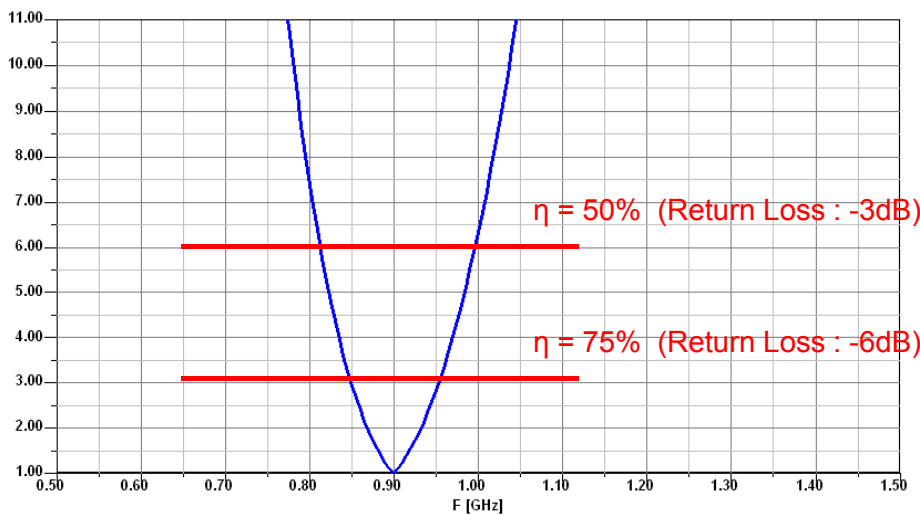
アンテナ等価回路で表現した放射効率を下記に示します。アンテナインピーダンスは電源抵抗に整合が取れていると仮定すると、ネットワークアナライザ等のインピーダンス測定器では放射抵抗とアンテナ内部の損失抵抗は分離できませんので特に注意が必要です。

Antenna等価回路



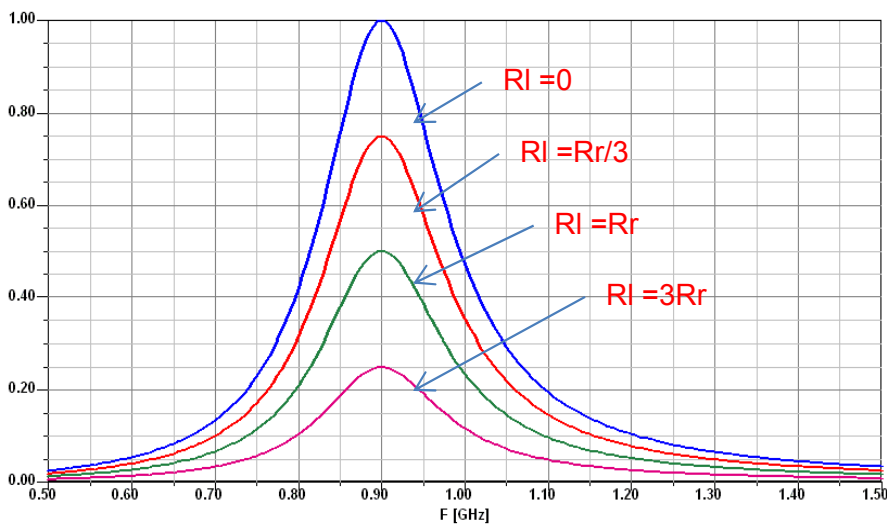
Rs : Source Resistance @ $R_s = R_r + R_I$
 RI : Loss Resistance
 Rr : Radiation resistance $\eta = R_r / (R_r + R_I)$
 L : Inductance
 C : Capacitance

VSWR

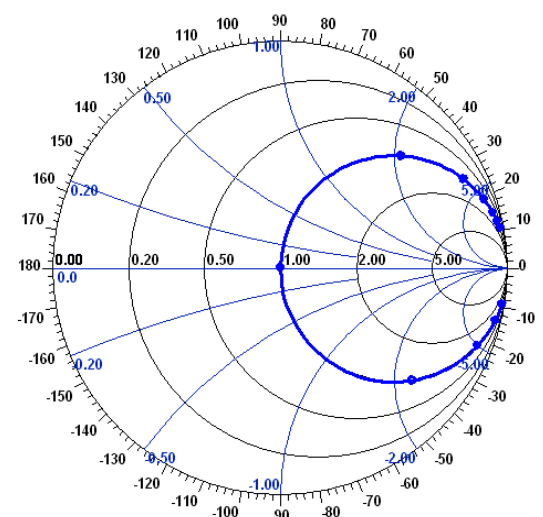


ネットワークアナライザ等のインピーダンス測定器では放射効率の評価は出来ない。

効率⇔損失抵抗

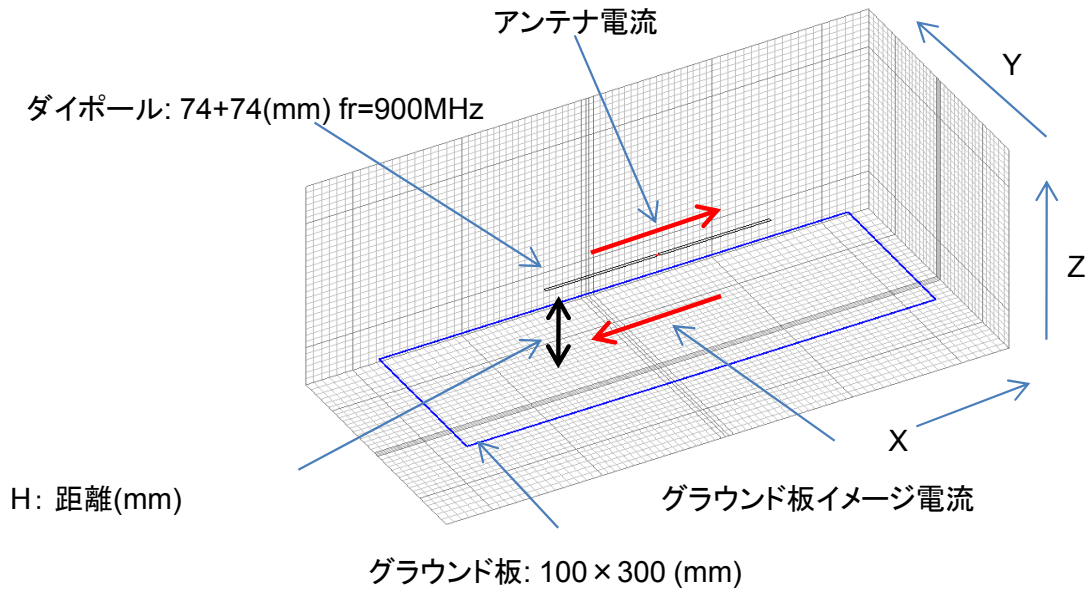


Impedance $Z_0 = 50\Omega$

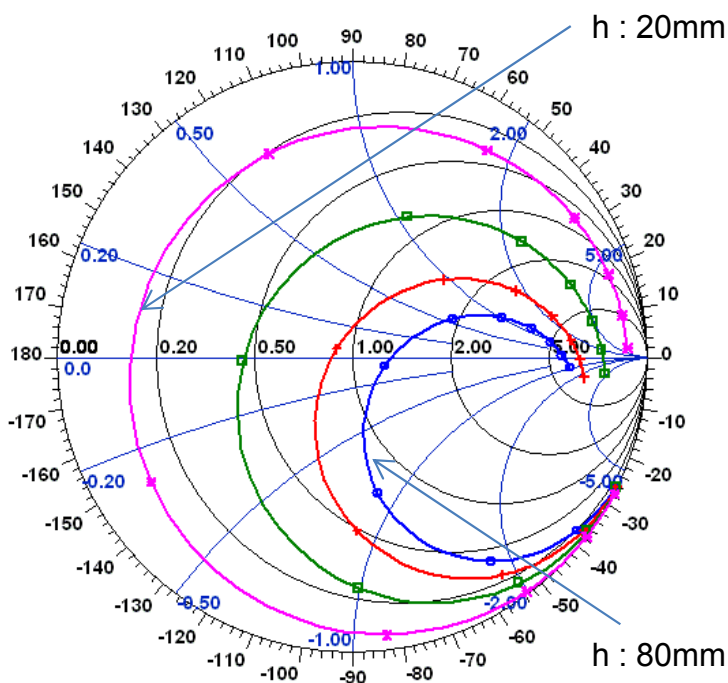


4-10 周囲金属の影響

ダイポールアンテナ近傍にある十分に大きい金属板の影響をシミュレートした例を下記に示します。グラウンド板上にはアンテナと逆方向のイメージ電流が誘起しアンテナ放射抵抗を低下させます。

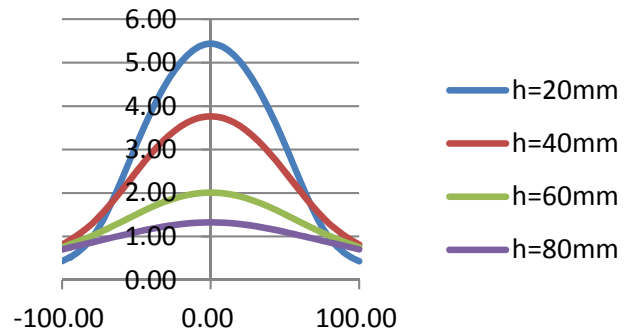


Impedance $Z_0=75 \Omega$



イメージ電流(mA)

X Axis (mm)
Y=0
Z=0



放射抵抗 (fr=900MHz)

| 距離 h(mm) | Impedance (Ω) @ 900MHz |
|----------|---------------------------------|
| 20 | 10+j0 |
| 40 | 35+j0 |
| 60 | 65+j0 |
| 80 | 95+j0 |

4-11 アンテナ体積に対する考察 (1)

携帯電話用小型アンテナの体積と帯域幅は概ね比例すると考えて良いでしょう。

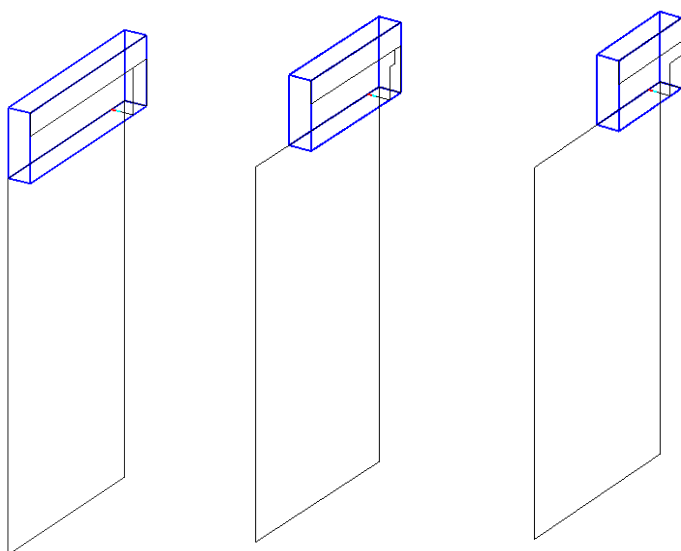
下記にアンテナ体積を変化させた時のインバーテッドFアンテナの比帯域幅の変化をシミュレーションした結果を示します。

従って旧来のアンテナ方式を使用した携帯電話用小型アンテナでは、必要帯域幅を確保しようと思えば小型化に関して限界体積があると考えて良いでしょう。

3.3cc
44 × 15 × 5mm

2.4cc
32 × 15 × 5mm

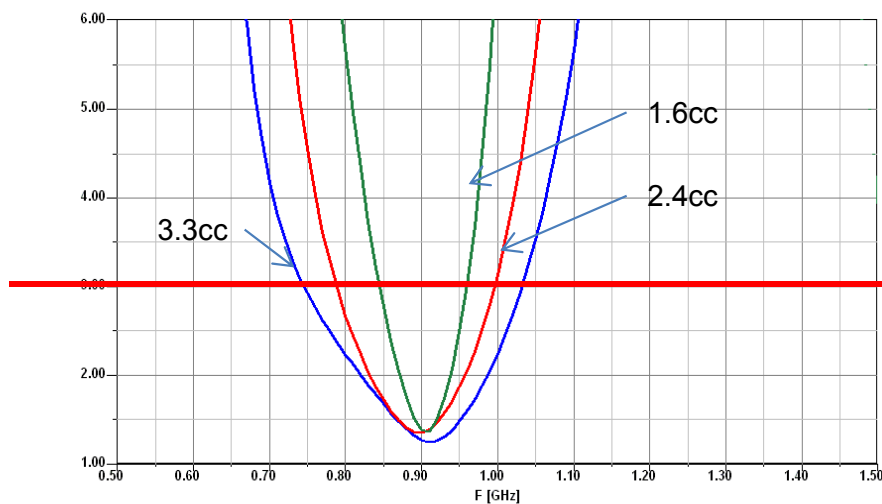
1.6cc
22 × 15 × 5mm



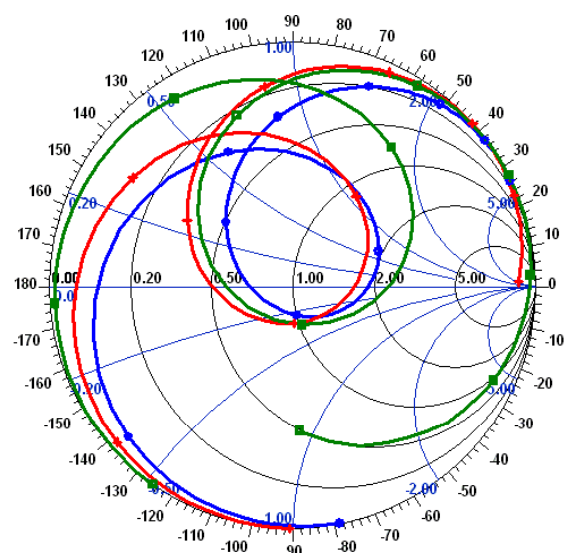
Ground 板:
44 × 80mm

| Antenna Volume (cc) | Band Width (MHz) | Relative Band-Width (%) |
|---------------------|------------------|-------------------------|
| 3.3 | 280 | 31 |
| 2.4 | 220 | 24 |
| 1.65 | 110 | 12 |

VSWR



Impedance



4-12 アンテナ体積に対する考察 <アンテナ下部グラウンド板影響 (1)>

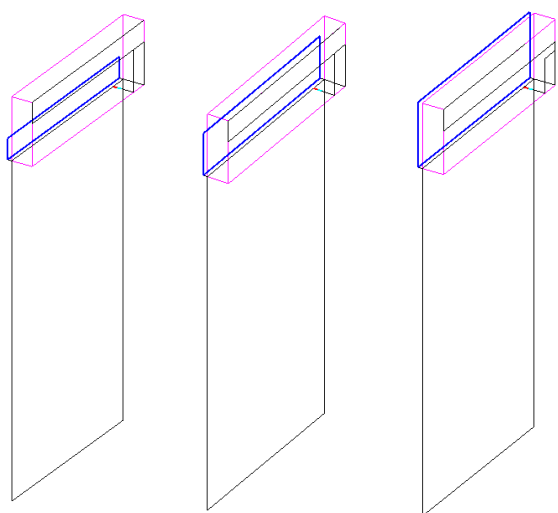
4-12項で記述した通りアンテナ近傍の十分に大きい金属板は金属板上に流れるイメージ電流の影響でアンテナ放射抵抗を減少させ、結果的に帯域幅が減少させる事により、アンテナ体積を減少させる悪影響を与えます。

インバーテッドFアンテナの下部にグラウンド板をオーバーラップさせ変化させた場合のシミュレーション例を下記に示します。

Overlap
5mm

Overlap
10mm

Overlap
15mm

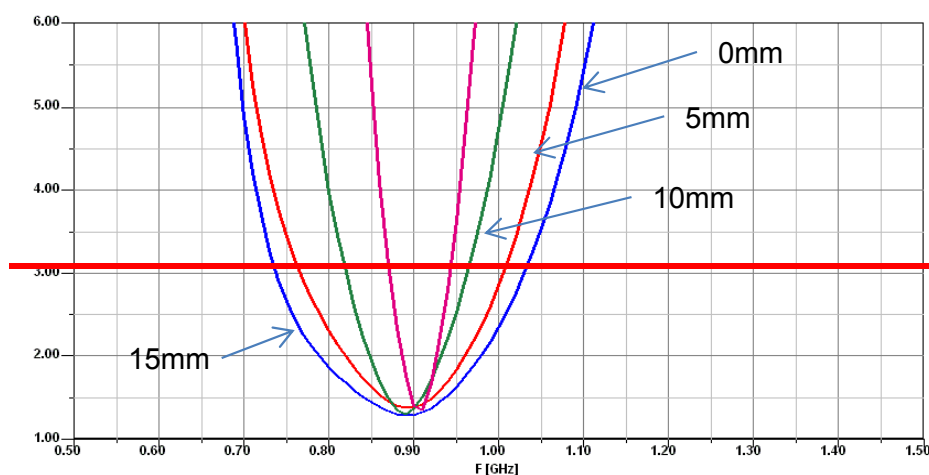


Ground 板:
44 × 80mm

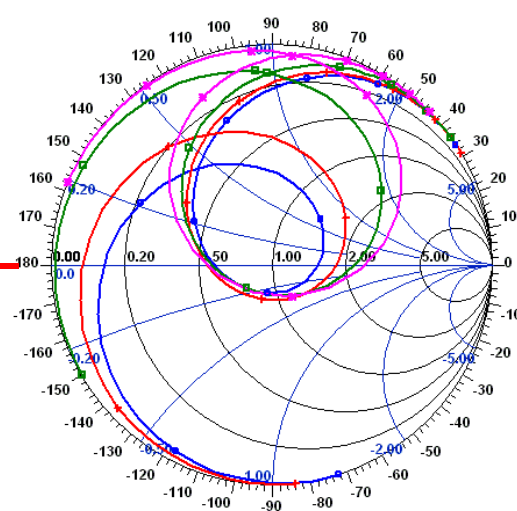
グラウンド板オーバーラップ対帯域幅変化

| Ground Overlap (mm) | Band Width (MHz) | Relative Band-Width (%) |
|---------------------|------------------|-------------------------|
| 0 | 290 | 32.2 |
| 5 | 240 | 26.6 |
| 10 | 140 | 15.5 |
| 15 | 75 | 8.3 |

VSWR



Impedance



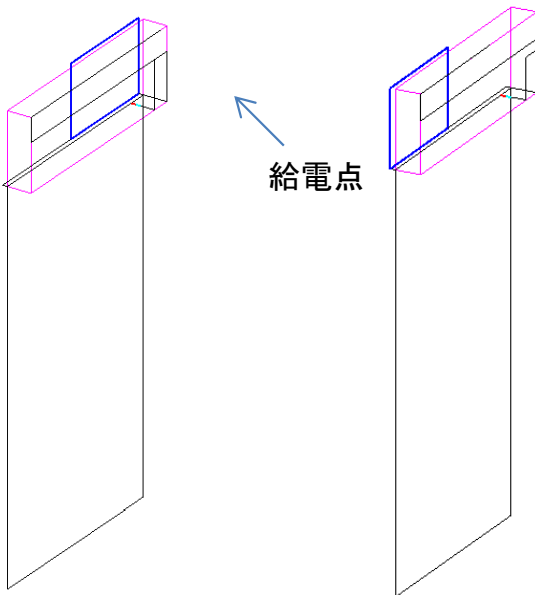
4-13 アンテナ体積に対する考察 <アンテナ下部グラウンド板影響 (2)>

下記のシミュレーション例はインバーテッドFアンテナの高電界分布部分と低電界部分にグラウンド板をオーバーラップさせ帯域幅の減少を評価した例です。

高電界部分の下部グラウンドオーバーラップは結果的に静電容量を負荷した事と同等の効果を与え放射抵抗を減少させ帯域幅の減少が与え放射抵抗を

携帯電話本体設計に依存しグラウンド板のオーバーラップが避けられない場合は、アンテナエレメント設計を考慮し構造上電界集中部分を近づけない等の配慮が必要となります。

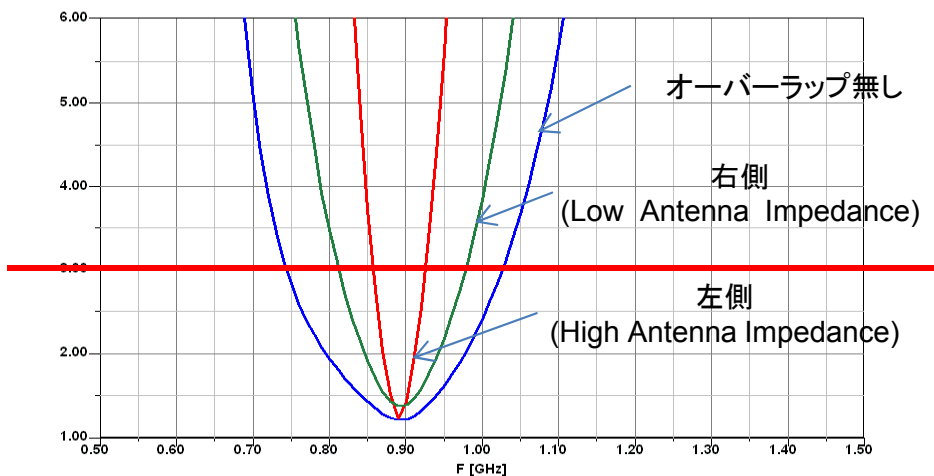
右側(低インピーダンス)オーバーラップ 左側(高インピーダンス)オーバーラップ



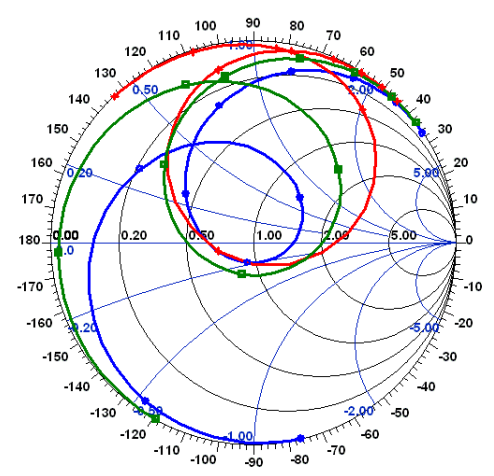
オーバーラップ部位と帯域幅

| オーバーラップ | Band Width (MHz) | Relative Band-Width (%) |
|---------|------------------|-------------------------|
| 無し | 280 | 31.1 |
| 右側 | 170 | 18.8 |
| 左側 | 70 | 7.7 |

VSWR



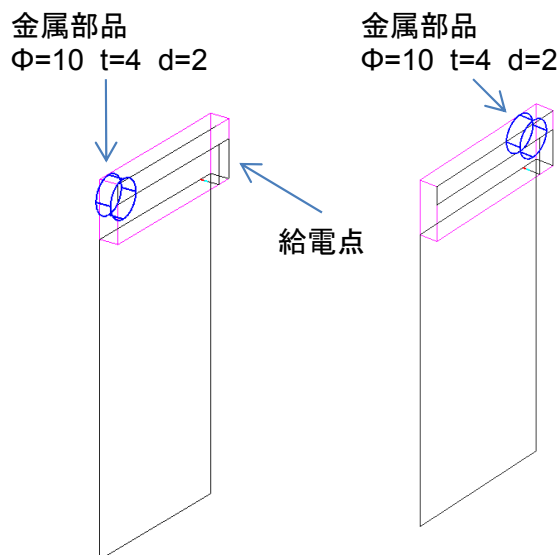
Impedance



4-14 アンテナ体積に対する考察 <周囲金属影響 (1)>

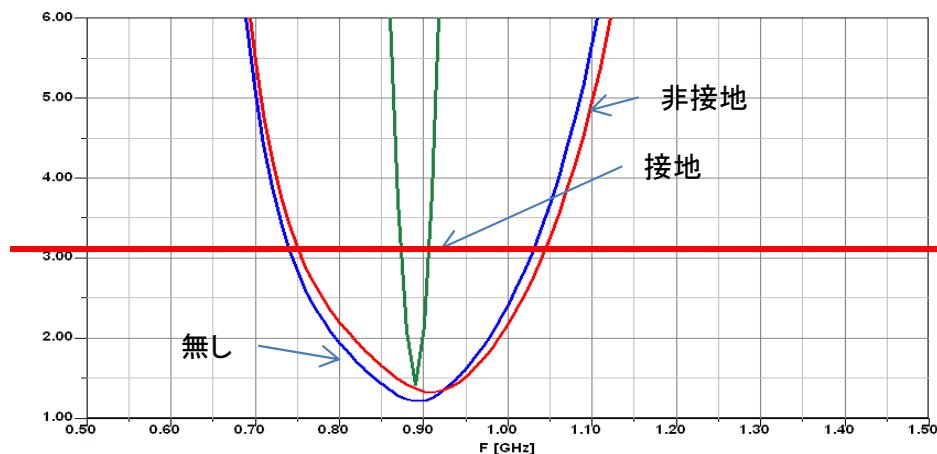
携帯電話アンテナを設計する場合、近傍にスピーカーや振動モーターが配置される場合が多く場合によっては機械構造上一体化される場合のしばしばあります。

下記のシミュレーション例は相当する大きさの円柱金属を近接させた場合の結果です。



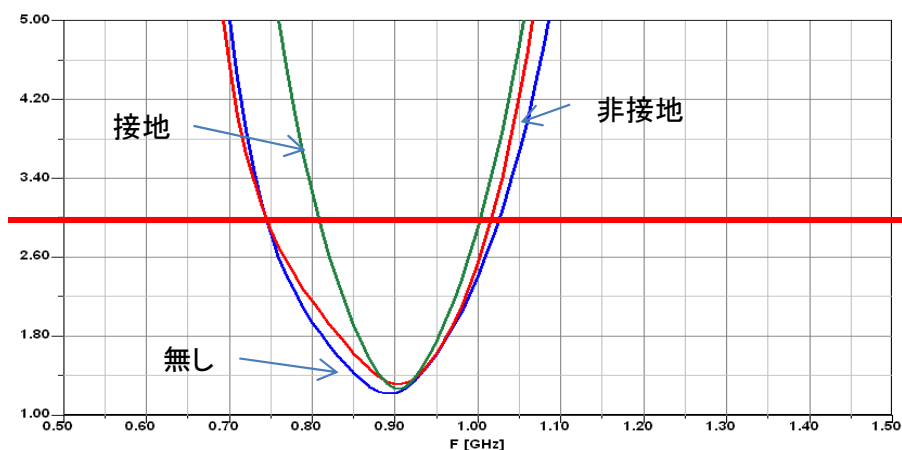
| 接地金属部品 | Band Width (MHz) | Relative Band-Width (%) |
|--------|------------------|-------------------------|
| 左側 | 280 | 31.1 |
| 右側 | 170 | 18.8 |

VSWR (左側：高インピーダンス側)



アンテナの高インピーダンス側に接地した金属部品を配置すると影響が非常に大きい。非接地の場合殆ど影響は無い。スピーカー・モーターの駆動線にはインダクタを挿入する等の高周波非接地対策が必要。

VSWR (右側：低インピーダンス側)



アンテナの低インピーダンス側に接地した金属部品を配置しても影響は小さい。携帯電話の機構設計と連携し影響の小さい配置を考慮すべきである。

4-15 アンテナ体積に対する考察 <周囲金属影響 (2)>

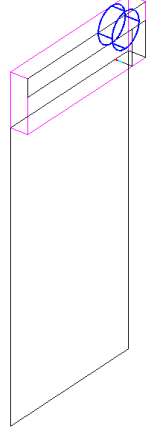
アンテナ近傍に配置されたスピーカーや振動モーターとアンテナ導体間隔を変化させた時のアンテナ特性影響をシミュレーションした例です。

前項同様に、アンテナ低インピーダンス側に近接した場合、アンテナ導体と金属部品の距離が近接しても殆ど影響はありません。

金属部品(左側)
 $\Phi=10$ $t=4$
 $d=2,3,4,5\text{mm}$

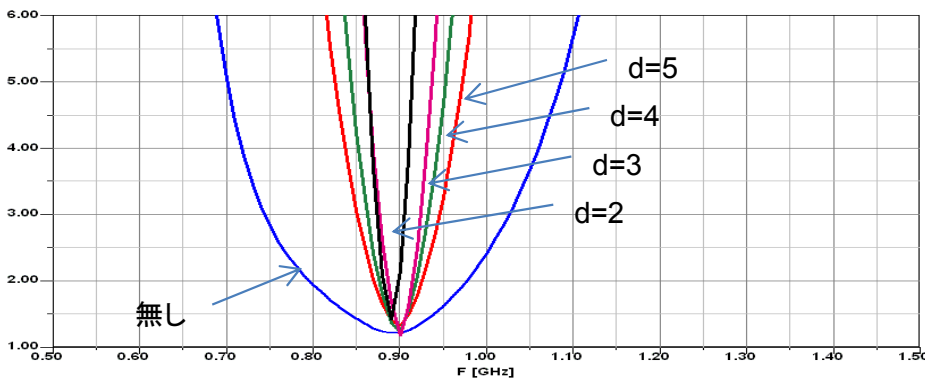


金属部品(右側)
 $\Phi=10$ $t=4$
 $d=2,3,4,5\text{mm}$



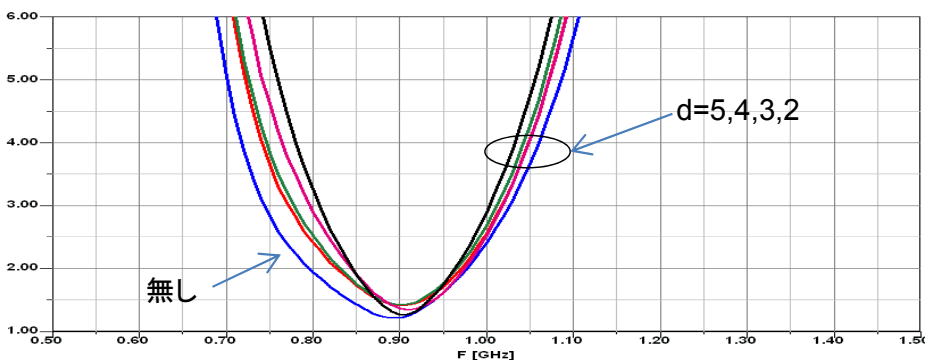
—左記状態で金属部品とアンテナ導体の距離dを変化

VSWR (左側 : 高インピーダンス側)



アンテナの高インピーダンス側に接地した金属部品を配置するとアンテナ導体との距離に関係なく影響が大きい。

VSWR (右側 : 低インピーダンス側)

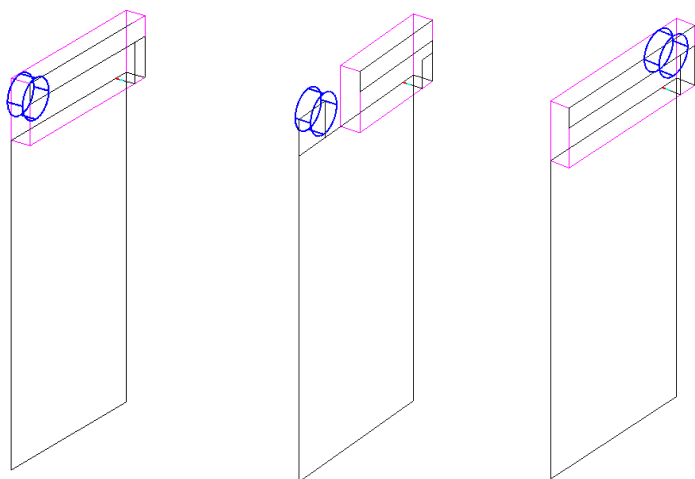


アンテナの低インピーダンス側に接地した金属部品を配置するとアンテナ導体との距離に関係なく影響が小さい。

4-16 アンテナ体積に対する考察 <周囲金属影響 (3)>

スピーカ・振動モータ等の金属部品の影響を回避する方法をシミュレーションした結果を示します。結果は方法3のアンテナの低インピーダンス部分に配置する方法が一番良好です。

方法2は金属部品の影響は避けられるものの、元々のアンテナ体積が1/2程度と小さくなってしまい帯域幅も約1/2に減少してしまいます。



帯域幅 = 方法1 < 方法2 < 方法3

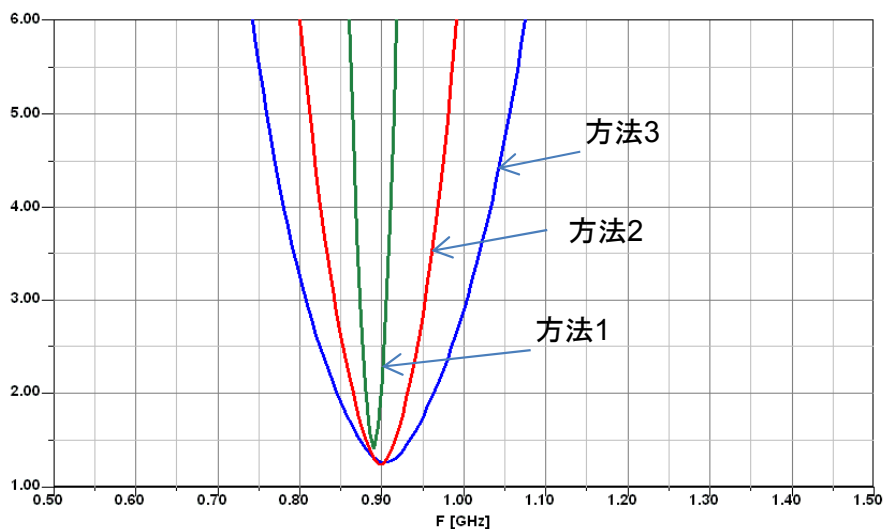
| 金属部品 | Band Width (MHz) | Relative Band-Width (%) |
|------|------------------|-------------------------|
| 方法1 | 40 | 4.4 |
| 方法2 | 110 | 12.2 |
| 方法3 | 190 | 21.1 |

・方法1
アンテナの高インピーダンス部に金属部品近接

・方法2
アンテナの高インピーダンス部を避けてアンテナ体積を縮小

・方法3
アンテナの低インピーダンス部に金属部品近接

VSWR



Impedance

