

資RJC-15J04

# アプリケーションノート(第3版)

チップアンテナ  
—アンテナ特性に影響する要因について—

**三菱マテリアル株式会社**  
**電子材料事業カンパニー**  
**電子デバイス事業部**

## アプリケーションノート(第3版)

### はじめに

チップアンテナは、実装される基板形状等に特性が依存するために、所望のアンテナ特性を実現するためには適切なPCBパターン設計や回路部品配置等が不可欠である。

そこで、本書の目的として、AM11DP-ST01のアンテナ特性の各種条件におけるアンテナ特性を示し、その結果からアンテナ特性を最適にするPCB設計等に対する提案を行う。

### もくじ

ページ

1. アンテナ基本特性(AM11DP-ST01).....	3
2. アンテナ特性のアンテナチップ—GND間距離依存性.....	4
3. アンテナ特性のGNDサイズ依存性.....	5
4. 人体の影響 .....	6
5. チップインダクタの種類に対するアンテナ特性の違い .....	7
6. 給電ライン位置による相違 .....	8
7. 金属板近傍での特性 .....	9
8. 反射特性のチップインダクタ依存性 .....	10
9. 調整用チップインダクタの選定方法 .....	11
10. 通信距離の見積もり方法 .....	12
11. PCB設計上の注意.....	14

## 1. アンテナ基本特性(AM11DP-ST01 :430MHz)

まずクレジットカードサイズの地板を標準サンプルとして、その基本特性を評価した。実験に用いたサンプルはFig.1-1に示すように、1mm厚のFR4基板にAM11DP-ST01を実装して、チップインダクタ(巻き線タイプ)のみを用いて調整したものである。基板サイズはクレジットカードサイズの86×54mmである。また、アンテナを実装する部分のGNDの抜きのエリアはチップとGND間の距離が縦横方法に共に10mmとなるようにした。Fig.1-2とFig.1-3には、それぞれVSWR特性と電波暗室で測定した放射パターン特性を示す。VSWR特性から評価した帯域幅はVSWRが2.5のところでは約16MHzである。また、放射パターン特性評価結果より、XY面の垂直偏波にて無指向性であり、平均利得は-11.72dBdである。また、アンテナ利得の周波数特性を評価すると、その変動幅は $430 \pm 5$ MHz及び  $430 \pm 10$ MHzの帯域において、それぞれ0.7~0.8dB及び約2.8dBとなり、実用的な範囲においてフラットな特性である。

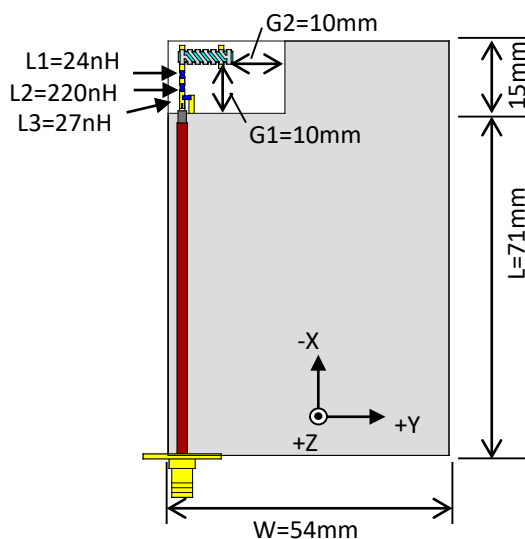


Fig.1-1. 基本サンプル基板の形状

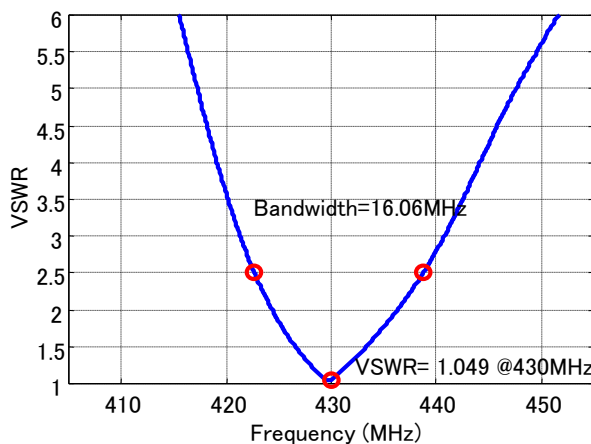


Fig.1-2. 基本サンプル基板のVSWR特性

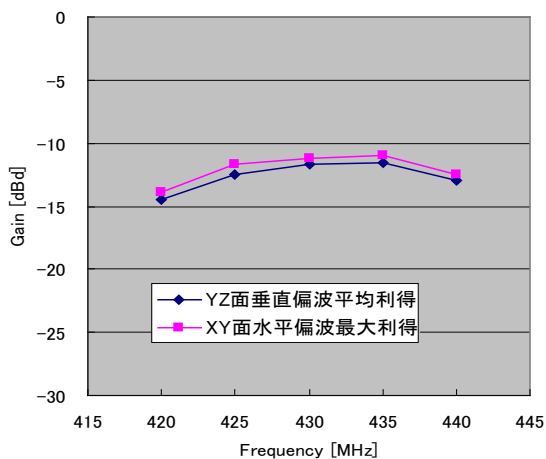
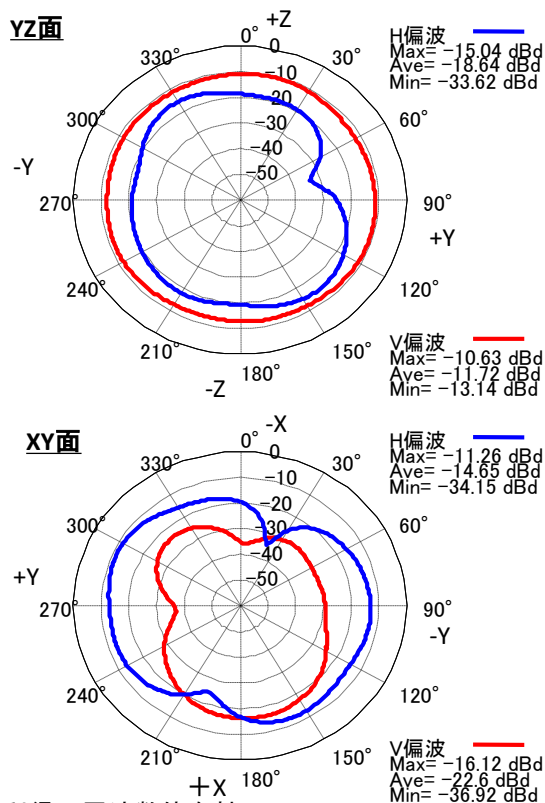


Fig.1-3. 基本サンプル基板の放射パターンと利得の周波数依存性



## 2. アンテナ特性のアンテナチップーGND間距離依存性

この実験では、チップアンテナとGND部分の距離が特性に及ぼす影響を調べた。実験に用いた基板の外形サイズは86×54mmである。基本サンプルと同様にFig.1-1.のX方向のチップアンテナとGNDの距離をG1、Y方向のチップアンテナとGNDの距離をG2とした。

・Fig.2-1及びFig.2-2に示すように、帯域幅と平均利得はG1の拡大と共に改善される傾向にあり、G1=2.5mmから15mmに拡大されることにより、それぞれ2.49MHz、2.53dBだけ改善された。

・Fig.2-3及びFig.2-4に示すように帯域幅と平均利得はG2の拡大と共に改善される傾向にある。G2=2.5mmから15mmに拡大されることによりそれぞれの改善量は2.59MHzと2.62dBだけである。

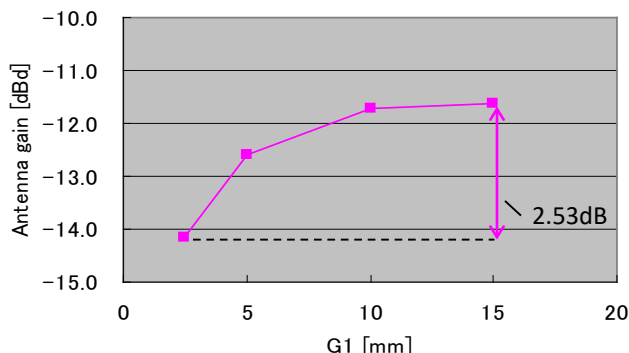
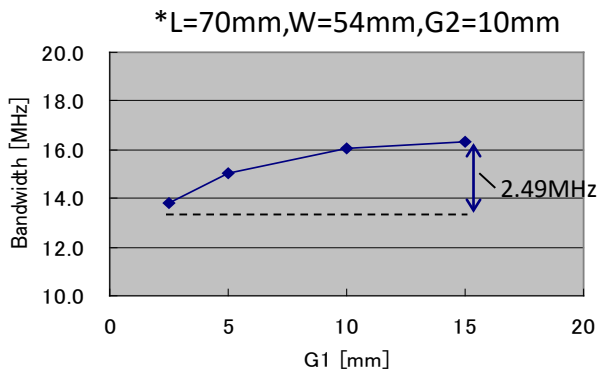
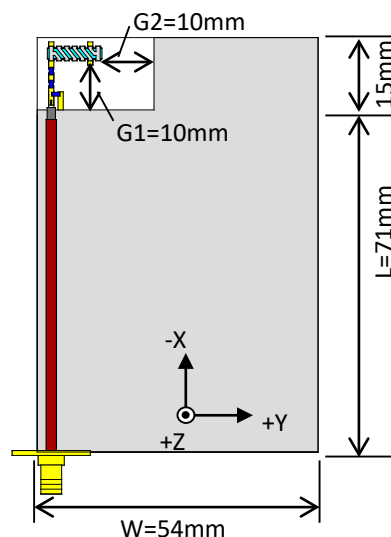


Fig.2-1. チップーGND間ギャップG1と帯域幅の相関関係

Fig.2-2. チップーGND間ギャップG1と平均利得 (YZ面V偏波)の相関関係

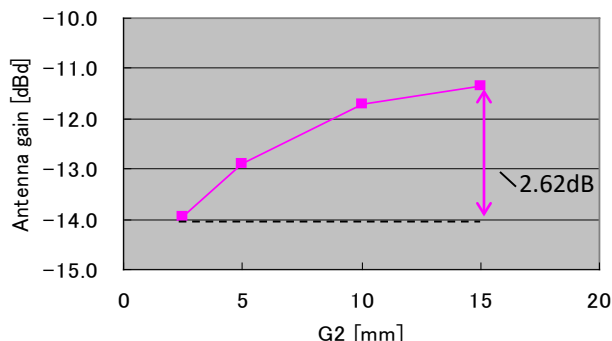
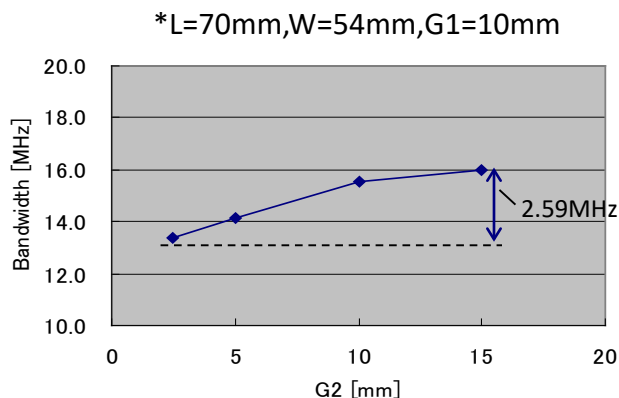


Fig.2-3. チップーGND間ギャップG2と帯域幅の相関関係

Fig.2-4. チップーGND間ギャップG2と平均利得 (YZ面V偏波)の相関関係

### 3. アンテナ特性のGNDサイズ依存性

この実験ではGNDサイズによるアンテナ特性の影響に関して調べた。基板のY方向の幅Wを34mm、54mm、74mmとし、またZ方向の幅を30mm、50mm、70mm、90mm、110mmとして合計15種類の基板サイズに関してチップインダクタによる調整を実施し、VSWR特性を測定した後に、電波暗室内にてYZ面V偏波に放射パターンを測定した。

・Fig.3-2の帯域幅とFig.3-3のYZ面V偏波平均利得に関しては、Lが大きくなる共に大きく改善される。帯域幅に関しては9~17MHz、利得に関しては約6dB改善される。

・同じL長であれば、帯域幅、YZ面V偏波の利得に関してより小さいWが特性が良好である。このことから、回路基板の実装面積が同じという条件のもとでは、より細長い形状の基板がアンテナ特性の観点からは有利である。

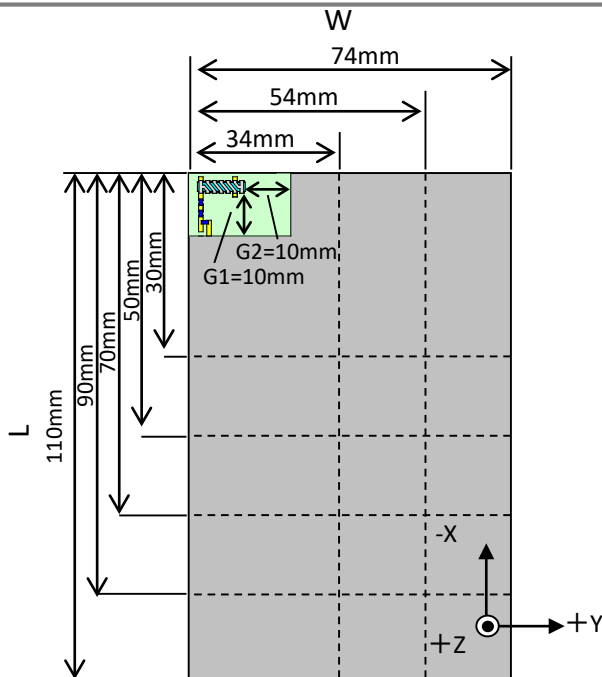


Fig.3-1. アンテナ特性のGNDサイズ依存性  
実験に用いた基板形状

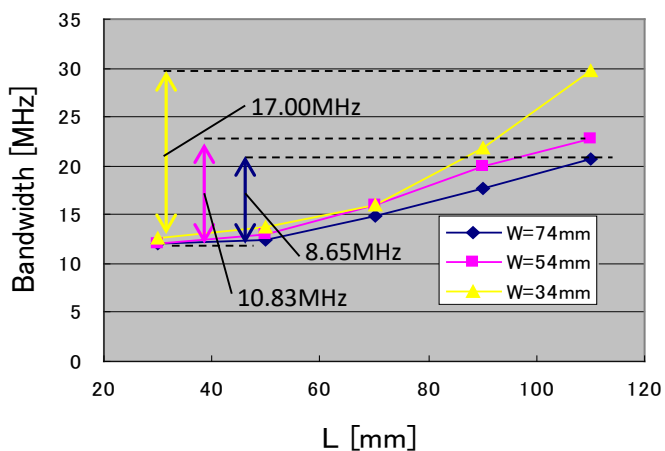


Fig.3-2. 帯域幅のGNDサイズ依存性

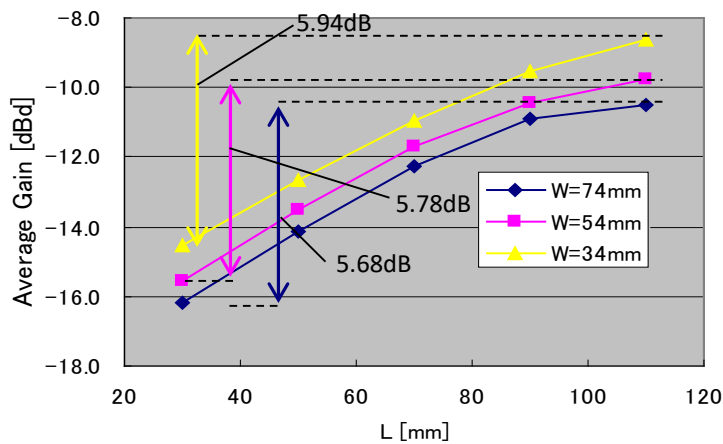


Fig.3-3. YZ面V偏波平均利得の帯域幅のGNDサイズ依存性

## 4. 人体の影響

この実験では、アンテナが装着される無線端末が手に持って使用されたり、胸などの人体に装着されることを想定して、このときのアンテナ特性の劣化を評価した。実験に使用した基板サンプルはセクション1の基本サンプル基板である。

・基板を手に持ったときのVSWR特性と放射パターン特性をそれぞれFig.4-1およびFig.4-2に示す。サンプル基板を持つときにはGND部分を持ち、アンテナチップには手がかからないようにした。Fig.4-1のVSWR特性が示すように、その極小となる周波数の変化は殆どなく、430MHzにおいてVSWR値で1.41が得られている。また、Fig.4-2の放射パターン特性を見ても、アンテナ特性の劣化は殆どないということが言える。

・人体胸部にアンテナ基板を装着したときのVSWR特性および放射パターンを調べた。実際の無線端末では回路基板がケーシングされることを考慮して、サンプル基板の裏面に10mm厚の発泡スチロールの平板を貼り付けた。Fig.4-3に示されたVSWR特性では極小値が約5MHzほど低周波側にシフトし、430MHzではVSWR値が1.77である。また、Fig.4-4の放射パターン特性からは、人体の影響によりアンテナが装着された330°方向に指向性を持つ特性となっていることがわかる。

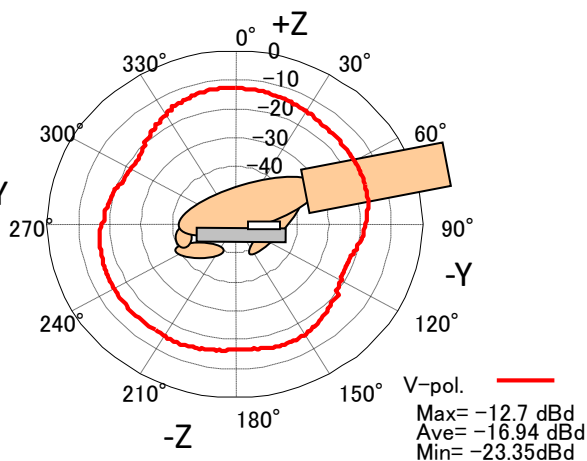
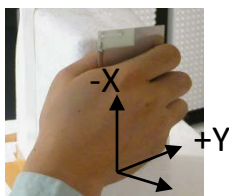
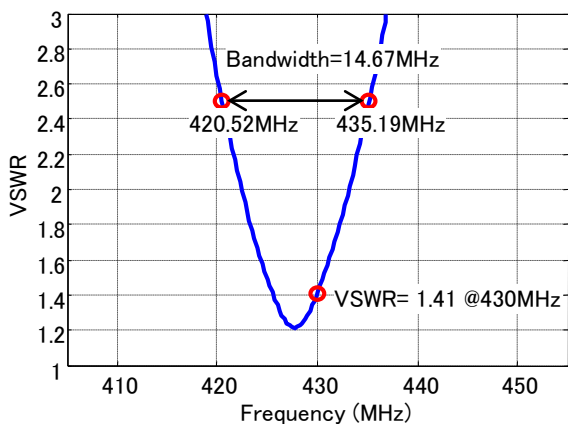


Fig.4-1. 基本サンプル基板を手に持った状態でのVSWR特性

Fig.4-2. 基本サンプル基板を手に持った状態での放射パターン

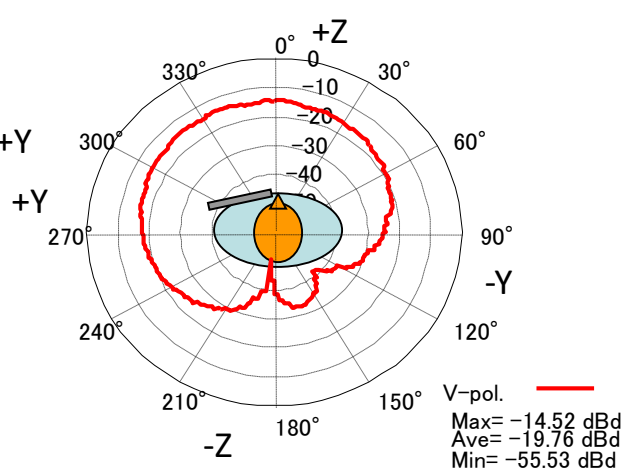
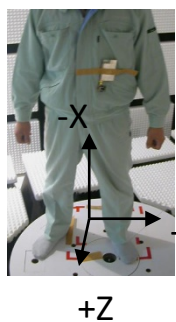
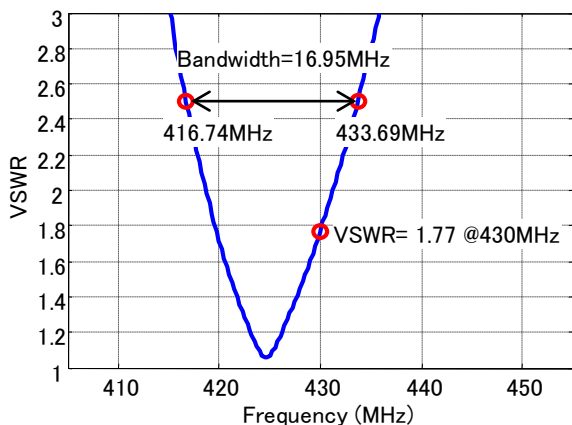


Fig.4-3. 基本サンプル基板を人体に取り付けた状態でのVSWR特性

Fig.4-4. 基本サンプル基板を人体に取り付けた状態での放射パターン

## 5. チップインダクタの種類に対するアンテナ特性の違い

この実験では、調整に用いるチップインダクタの種類によるアンテナ特性の違いを調べる。チップインダクタとしてはTable5-1に示す4種類を用いた。チップサイズは4品種とも1608サイズである。東光製のLL1608は積層タイプであるが、その他の3品種は巻き線タイプである。基板形状は、セクション1の基本サンプル基板と同一である。その結果、Fig.5-1に示すように巻き線タイプの3品種で調整した場合は、特性はほぼ相違がない。これに対して積層タイプのインダクタを用いた場合は、利得が約2.4dB劣化する。Table5-2に、本実験で用いたチップインダクタのQ値(カタログ値)を示すが、積層品である東光製のLL1608はQ値が巻き線タイプよりもQ値が低いために、アンテナの共振のQ値も低下し、低利得化すると考えられる。

Table 5-1.アンテナ 特性のチップインダクタ依存性

チップインダクタ		L1	L2	L1+L2	L3	VSWR at 430MHz	BW [MHz]	Gain [dBd]
種類	メーカー	[nH]	[nH]	[nH]	[nH]			
LQW18	村田製作所	24	220	244	27	1.05	16.06	-11.72
LLQ1608	東光	1.8	220	221.8	26	1.18	17.64	-11.99
C1608	サガミエレクト	0	220	220	36	1.18	16.85	-11.88
LL1608	東光	33	150	183	47	1.25	15.21	-14.31

Table 5-2.各チップインダクタのQ値(カタログ値)

Manufacture	Type	L[nH]	Q	Test freq. [MHz]	Note
Murata	LQW18	220	40	250	Wound type
Toko	LLQ1608	220	25	100	Wound type
Sagami elec	C1608	220	25	100	Wound type
Toko	LL1608	150	20	100	Multilayer type

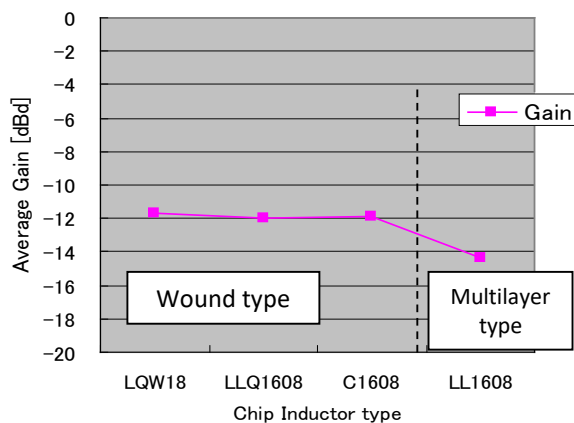


Fig.5-1.アンテナ 特性のチップインダクタ依存性

## 6. 給電ライン位置による相違

この実験ではFig.6-1に示すように、チップアンテナの開放端を基板の外側および内側に配置した場合で特性に違いがあるかを確認した。結果をTable6-1に示す。両者に、著しい特性の差は見られない。

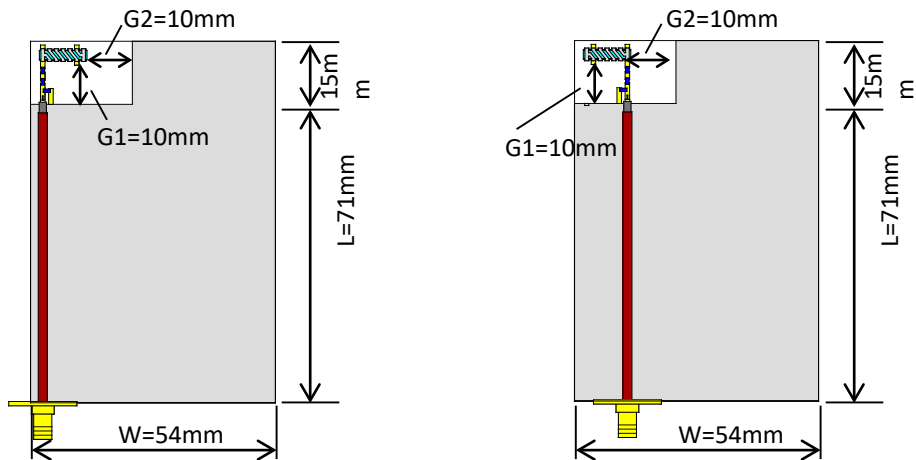


Fig.6-1.給電位置の異なるサンプル基板

Table 6-1.給電位置の異なるサンプル基板による特性比較

Sample	VSWR at 430MHz	BW	Gain
		[MHz]	[dBd]
基準サンプル	1.05	16.06	-11.72
給電位置内側	1.06	15.73	-12.17



## 7. 金属板近傍での特性

この実験では、アンテナ基板近傍に金属板が配置されたときのアンテナ特性の劣化を見積もった。サンプル基板はセクション1の基本サンプル基板を用いた。また金属板は、500×300mmサイズの銅板を電波暗室内のターンテーブル上にFig.7-1に示すように設置し、その中心にアンテナ基板サンプルを貼り付けた。銅板とアンテナ基板サンプル間には、発泡スチロールにて10mm,20mm,30mm,50mm,100mmの間隙を設けて、それぞれにおいてVSWR特性とYZ面V偏波の放射パターンを測定した。

・Fig.7-2に、各金属板—サンプル基板間の距離に対するVSWR特性を示す。また、金属板—サンプル基板間距離に対する430MHzでのVSWR値と最大利得をプロットした図がFig.7-3である。このサンプル基板は金属板に10mmだけ離れて設置されたときに、最大利得が-30.07dBdとなりFig.1-3の特性と比較して約18dBも劣化している。更に共振周波数は約13MHzほど、低周波側にシフトしている。そして、金属板から離して配置することにより、利得は急激に回復し、50mmで約3dBの劣化のレベルとなり、100mmで同等レベルとなる。

・Fig.7-2において、サンプル基板を金属板上10mmに配置すると、共振周波数が10MHz以上低周波側にシフトするため430MHzにおけるVSWR値は約5.5に劣化する。そこで、金属板から10mmはなれた状態で、430MHzでVSWR特性が最小となるように再調整すると、Fig.7-4のような特性が得られる。しかし、この状態でアンテナ利得を評価したところ、Fig.7-3の赤でプロットするように、1.3dB程度の改善に留まる。

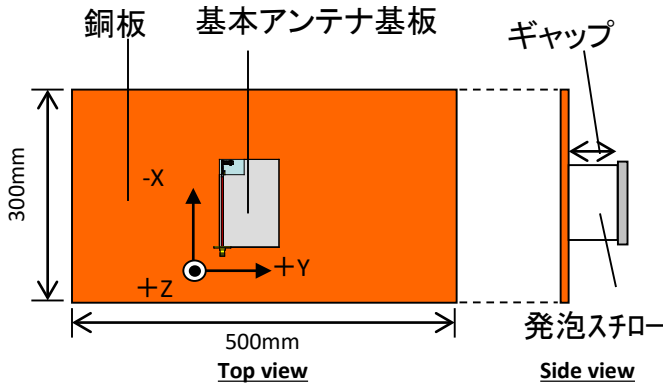


Fig.7-1. 銅板とアンテナ基板のサイズ

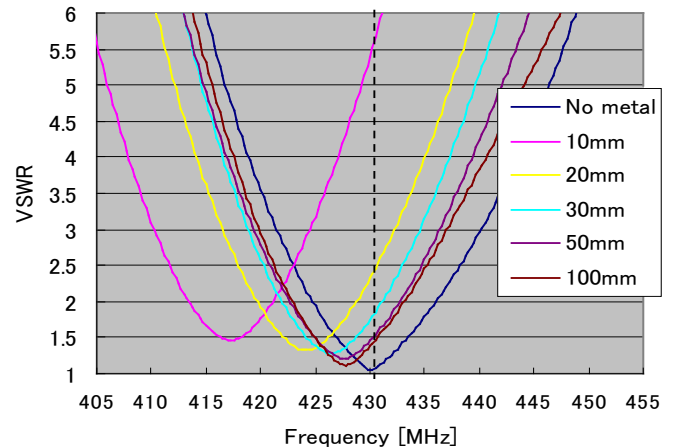


Fig.7-2. 金属板—サンプル基板間の距離とVSWR特性の関係

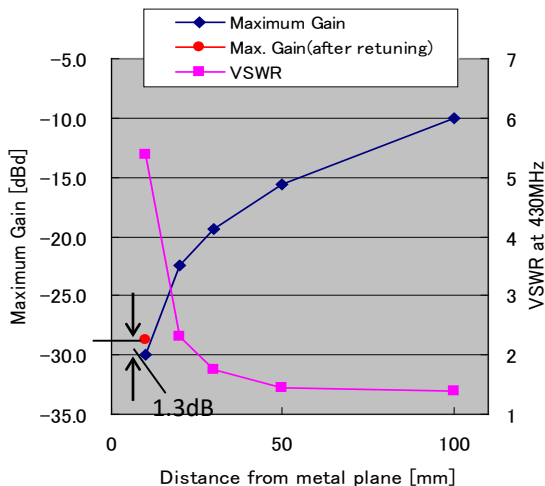


Fig.7-3. 金属板とサンプル基板の距離に対する最大利得と430MHzにおけるVSWR

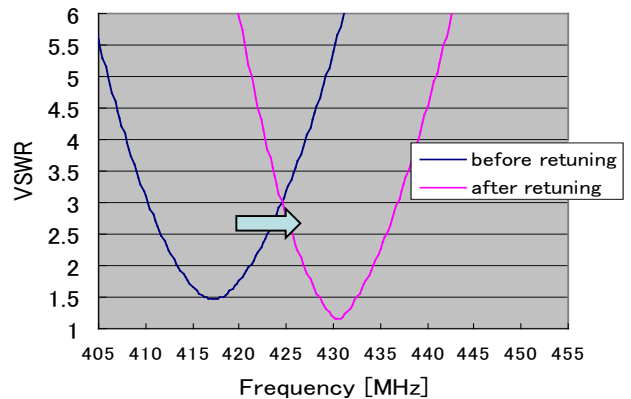


Fig.7-4. 金属板から10mm離れて基板サンプルを設置したときに最適調整したときのVSWR特性

## 8. 反射特性のチップインダクタ依存性

AM11DP-ST01は、調整用のチップインダクタの適切な選択により広い周波数範囲での適用が可能である。通常、3個のチップインダクタを調整用に用いているが、給電点とチップアンテナ間に縦続に実装された2個のL1,L2は周波数調整用である。また、グラウンドに対して並列に実装されたL3はインピーダンス調整用である。

・セクション1.のサンプル基板を用いて、L1とL2を固定し、L3のみを変化させたときのVSWR特性がFig.8-1である。VSWRの極小となる周波数は430MHzから殆ど変化しないが、27nHからL値を前後させるとFig.8-2に示すように、VSWR値が大きくなっていくことが分かる。

・L1とL3を固定しL2を変化させると、Fig.8-3に示すようにVSWRの極小値は劣化することなく、周波数のみが変わることが分かる。横軸にL1+L2を、縦軸に共振周波数を取ったときのプロットがFig.8-4である。これにより、このサンプル基板ではL1+L2の値を約1nH増やすごとに、共振周波数が0.76MHzだけ低周波側にシフトしていくこととなる。

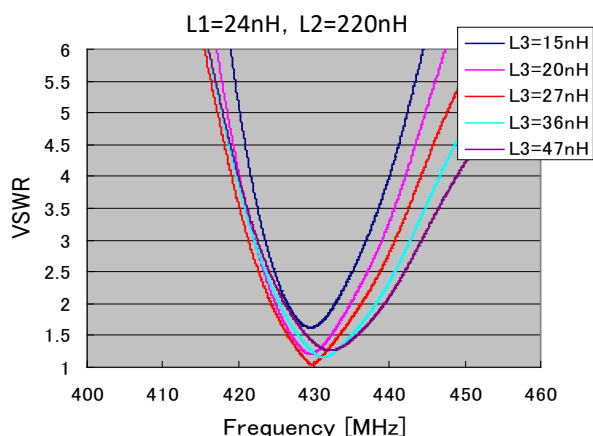
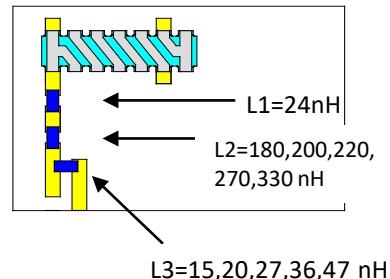


Fig.8-1. インダクタL3を変えたときのVSWR特性の変化

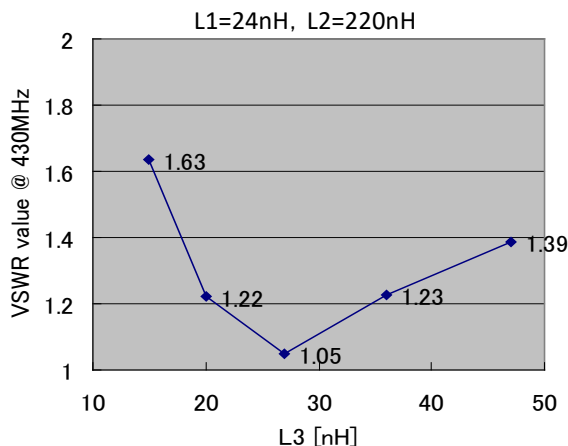


Fig.8-2. インダクタL3を変えたときの430MHzにおけるVSWR値の変化

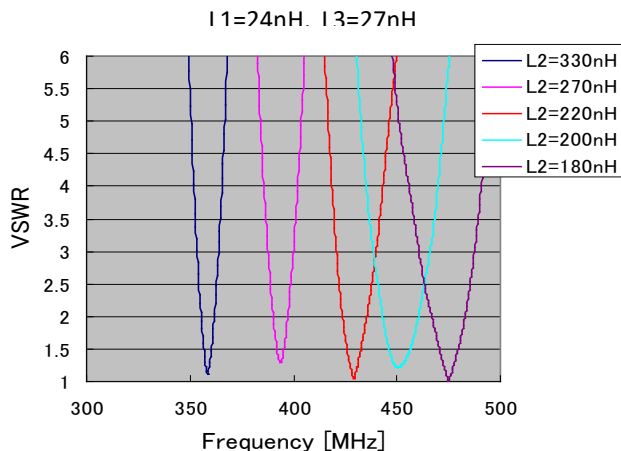


Fig.8-3. インダクタL2を変えたときのVSWR特性 (共振周波数) の変化

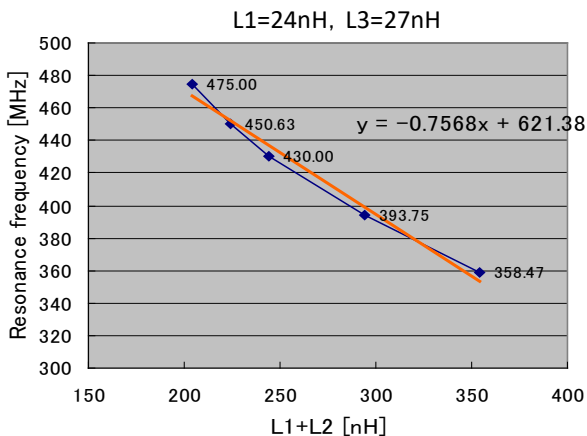


Fig.8-4. インダクタL2を変えたときの共振周波数の変化

## 9. 調整用チップインダクタの選定方法

### 1) チップインダクターL1,L2 ,L3の初期値の実装

チップインダクターの初期値を実装し、アンテナの共振周波数とインピーダンス特性(VSWRの最小値)を確認する。

・セクション1の基準サンプルを同じ、L1=24nH,L2=220nH,L3=27nHを実装する。基板サイズ等の条件が異なると所望の430MHz付近に必ずしも共振が発生しないこともあり得るが、このときの初期特性を確認する。

### 2) チップインダクター L1 , L2を用いた周波数調整

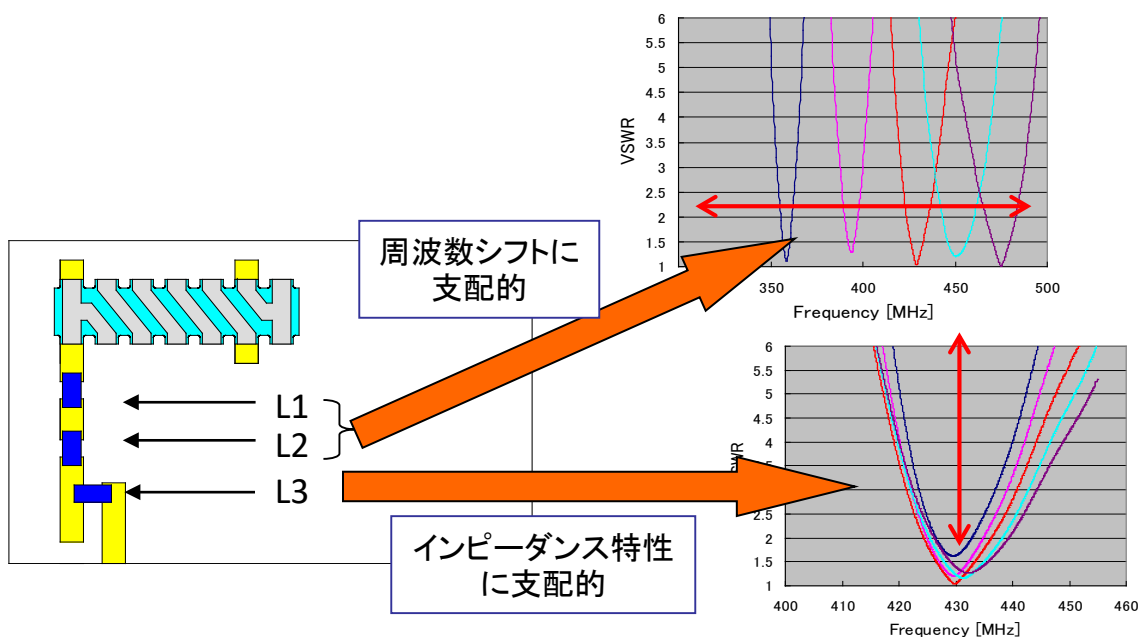
ここではチップインダクターL1及びL2を最適化する。L3は周波数のシフトには殆ど影響しないので初期値に固定する。

・初期値のチップインダクターが実装された状態でVSWR特性を観測し、共振周波数が目的とする周波数より高ければL1もしくはL2を大きい値にする。逆に目的とする周波数よりも共振周波数が低ければ、L1もしくはL2を小さい値にする。Fig.8-4はL1+L2の値に対する共振周波数の依存性なので、この結果を参考に最適なL1及びL2の組み合わせを決定する。

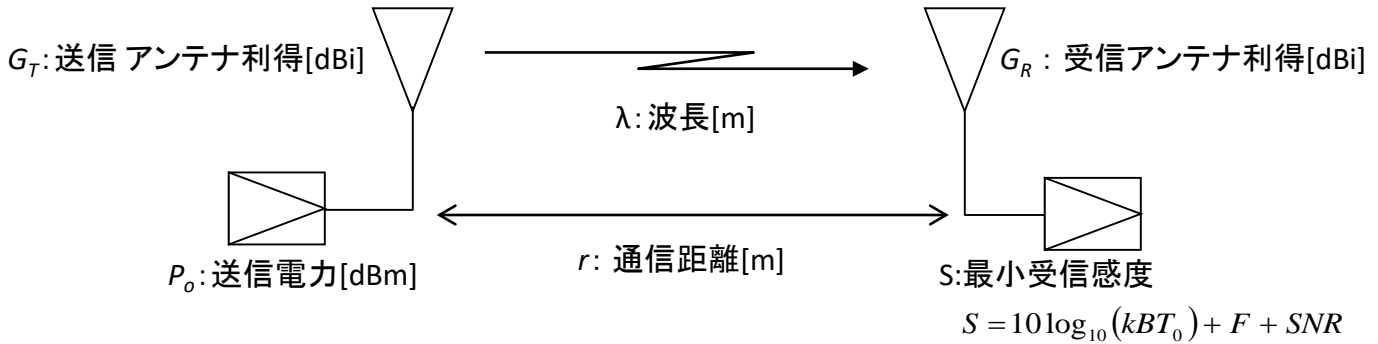
### 3) L3によるインピーダンス調整

ここでチップインダクターの最適化が完了する。L1およびL2の最適化により、VSWR特性は目的とする周波数で極小となる。しかし、VSWRの最小値が十分に小さな値(1.2以下程度)でない場合には、L3を載せ換えることでインピーダンス特性を最適化する。

・L3のVSWR特性に対する影響は、Fig.8-2を参照のこと。殆どの場合において、最適なL3の選定によりVSWRの最小値が1.2以下にすることが可能である。



## 10. 通信距離の見積もり方法



①  $L_{pass}$ : 伝搬損失[dB]       $L_{pass} = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2$

- ②  $L_{fade}$ : フェージングマージン[dB]  
 見通し通信 ≒ 10 (ライスフェージング)  
 見通し外通信 ≒ 20 (レーリーフェージング)

- $k$ : ボルツマン定数  
 $T_0$ : 温度[K]  
 $B$ : IF帯域幅[Hz]  
 $F$ : 受信機のノイズファクター[dB]  
 $SNR$ : ベースバンド信号のSN比[dB]

## 通信距離の見積もりの計算式

回線設計の基本式(自由空間)

$$S = P_o + G_T + G_R - L_{pass} - L_{fade}$$

これより許容される伝搬損失は以下の式になる。

$$\begin{aligned}
 L_{pass} &= P_o + G_T + G_R - L_{fade} - S \\
 &= 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \\
 &= 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f r}{c} \right) \\
 &= 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot 10^6}{c} \right) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(r) \\
 &= -27.6 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(r) \quad , f[\text{MHz}]
 \end{aligned}$$

よって

$$L_{pass} \geq -27.6 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(r)$$

を満たす最大の $r$ が伝搬距離となる。

実際の伝搬では自由空間よりも通信距離は低下し、次式で見積もる。

$$L_{pass} \geq -27.6 + 20 \log_{10}(f) + N \cdot 10 \log_{10}(r)$$

$N$ : パスゲインイクスポネント (path gain exponent)

2=自由空間, 2.5=高さ1.5mでのUHF伝搬, 3=広いオフィス

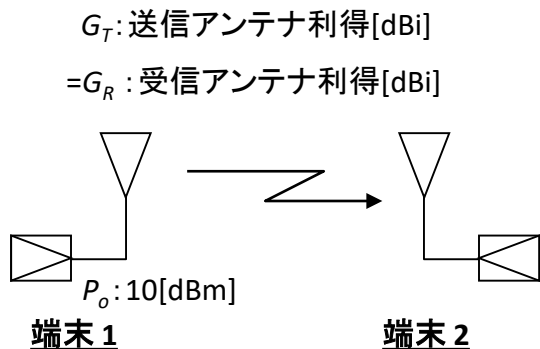
よって、通信距離は

$$r = 10^{\frac{L_{pass} + 27.6 - 20 \log_{10}(f)}{10 \cdot N}}$$

となる。

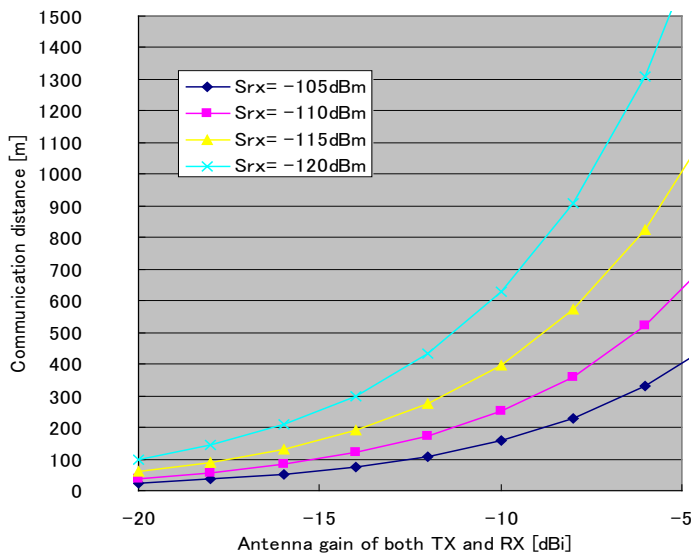
## (通信距離の計算例)

### 1) 同じアンテナ利得をもつ2つの端末間の通信距離

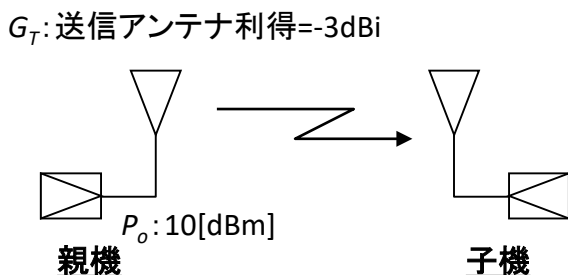


#### 計算条件

- ・フェージングマージン: 15dB
- ・パスゲイン指数: 2.5
- ・キャリア周波数: 430MHz

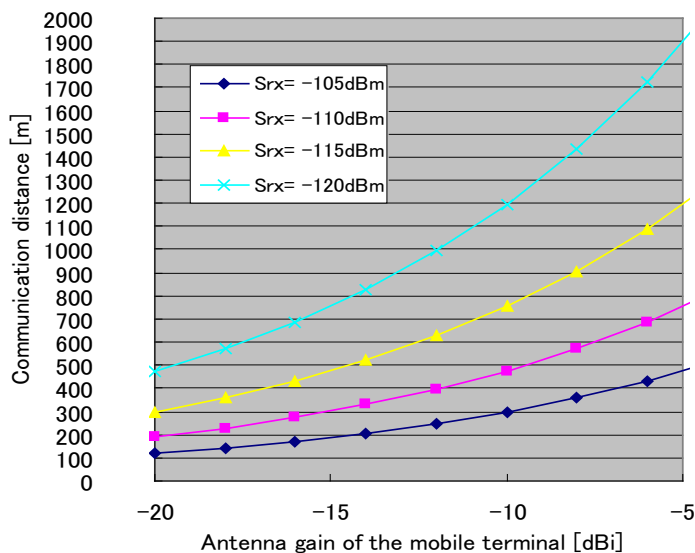


### 2) 親機と子機間の通信距離

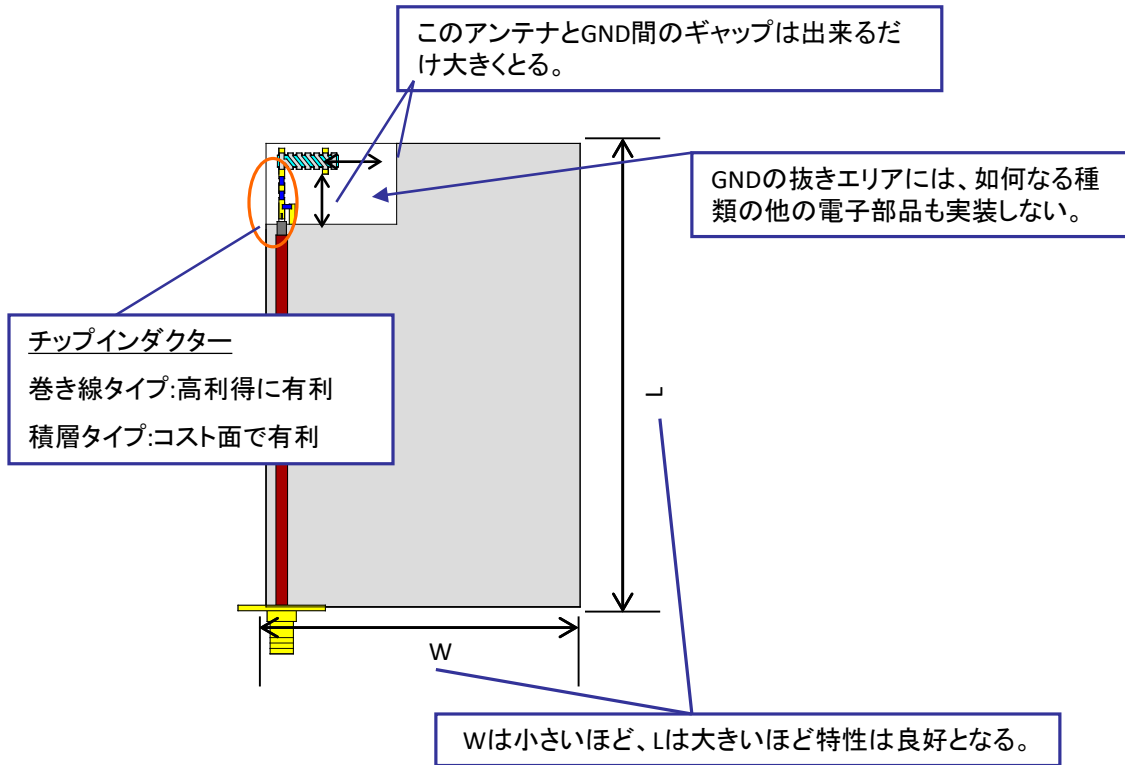


#### 計算条件

- ・フェージングマージン: 15dB
- ・パスゲイン指数: 2.5
- ・キャリア周波数: 430MHz



## 11. PCB設計上の注意



### その他の注意事項

- ・アンテナの共振周波数は人体の影響により低周波数側にシフトするので、リモコン用途など人体に接触して使用される場合には、人体に接触したときに最良の特性となるように調整する。
- ・金属壁に取り付けるような場合は利得が著しく劣化するので、できるだけ金属から離して設置するようにする。
- ・実際の無線端末は回路基板がプラスチック製の筐体ケースに収納されるが、アンテナの共振周波数はこのケースの影響により低周波数側にシフトするので、ケースに収納した状態で調整する。
- ・無線機のPCBが2段もしくは3段構造になったときに、アンテナが実装された直上(直下)の基板のGNDは抜くようにする。