

2024年 9月19日

IEEE AP-S Tokyo Chapter

IEEE AP-S Kansai Joint Chapter

特別講演会(高松商工会議所)

# 誘電体導波路アンテナにおける 扇形ビームの形成

元 広島工業大学 教授

現 広島工業大学 非常勤講師

小西 善彦

- ◆ 各種の移動無線通信システムにおいて、  
低コスト、かつ、高性能な“小型”基地局の実現が必須。
  - 無線LAN (Wi-Fi) アクセスポイント
  - 携帯電話システム用超小型基地局  
(含む ローカル5G)
- ◆ 多数の方式の“小型”基地局アンテナが開発され、用いられている。
- ◆ しかしながら、MIMO対応の影響もあり、  
複雑な構造のものや、  
高さの大きいものが見受けられる。
- ◆ 鉄道用などの狭いトンネルや地下街などの  
細長い場所で効率よく使用できる  
低姿勢・薄型の基地局アンテナ実現も重要。



無線LAN (Wi-Fi) 用  
アクセスポイントの例

狭いトンネルや地下街などの細長い場所で、天井や壁に設置して、効率よく使用できる低姿勢・薄型の基地局アンテナとして、  
“**双方向ビーム誘電体導波路アンテナ**”を提案。



◆ **薄型, 低姿勢**

◆ **単純な構造**

金属地板上に配置した  
「棒状の誘電体」を  
電波の放射体として使用

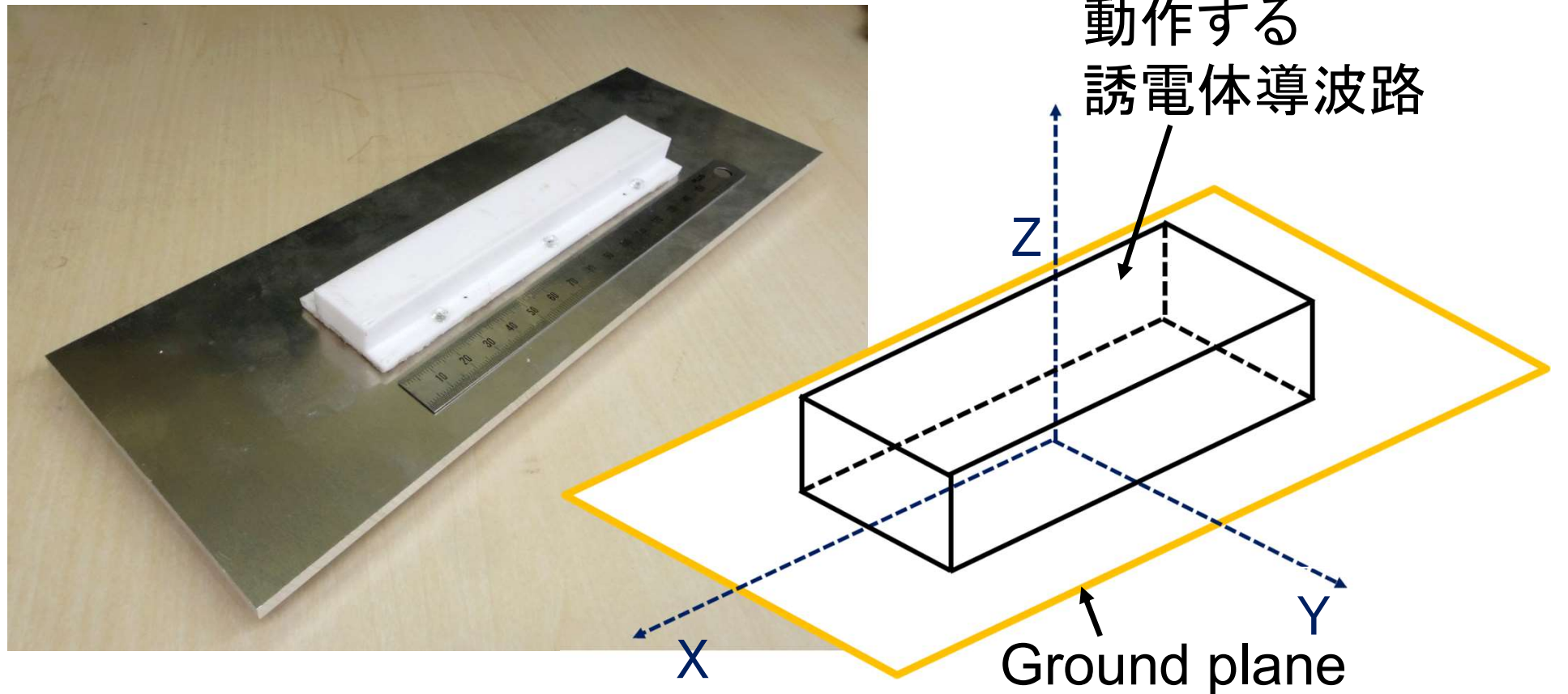


狭いトンネルや地下街などの細長い場所で、天井や壁に設置して、効率よく使用できる低姿勢・薄型の基地局アンテナとして、  
“**双方向ビーム誘電体導波路アンテナ**”を提案。



- ◆ **薄型, 低姿勢**
- ◆ **単純な構造**  
金属地板上に配置した「棒状の誘電体」を電波の放射体として使用
- ◆ **製作が容易**  
**3Dプリンタの高性能化, 低価格化により、大学などの教育機関でも手軽に製作可能**

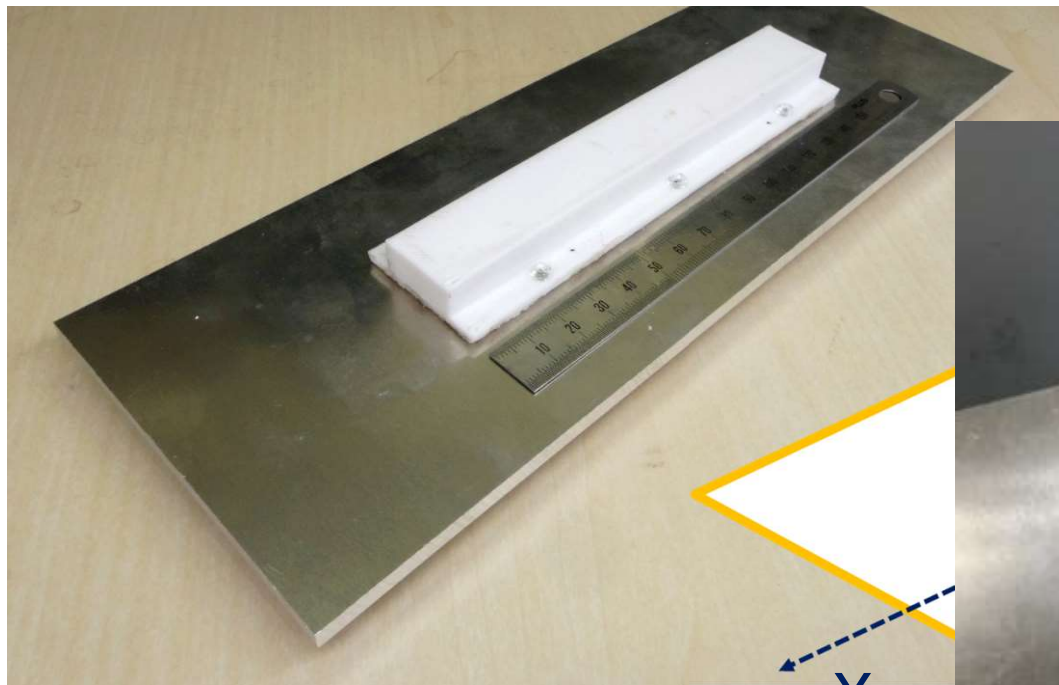
比誘電率  $\epsilon_r$  が 3 程度の一般的な棒状誘電体を、  
金属地板上のイメージガイドとして動作する  
方形断面の誘電体導波路として使用。



◇ 小西善彦, “[チュートリアル講演] 双方向ビーム誘電体導波路アンテナの放射特性と電界分布”, 信学技報 A・P2021-166, Feb. 2022.

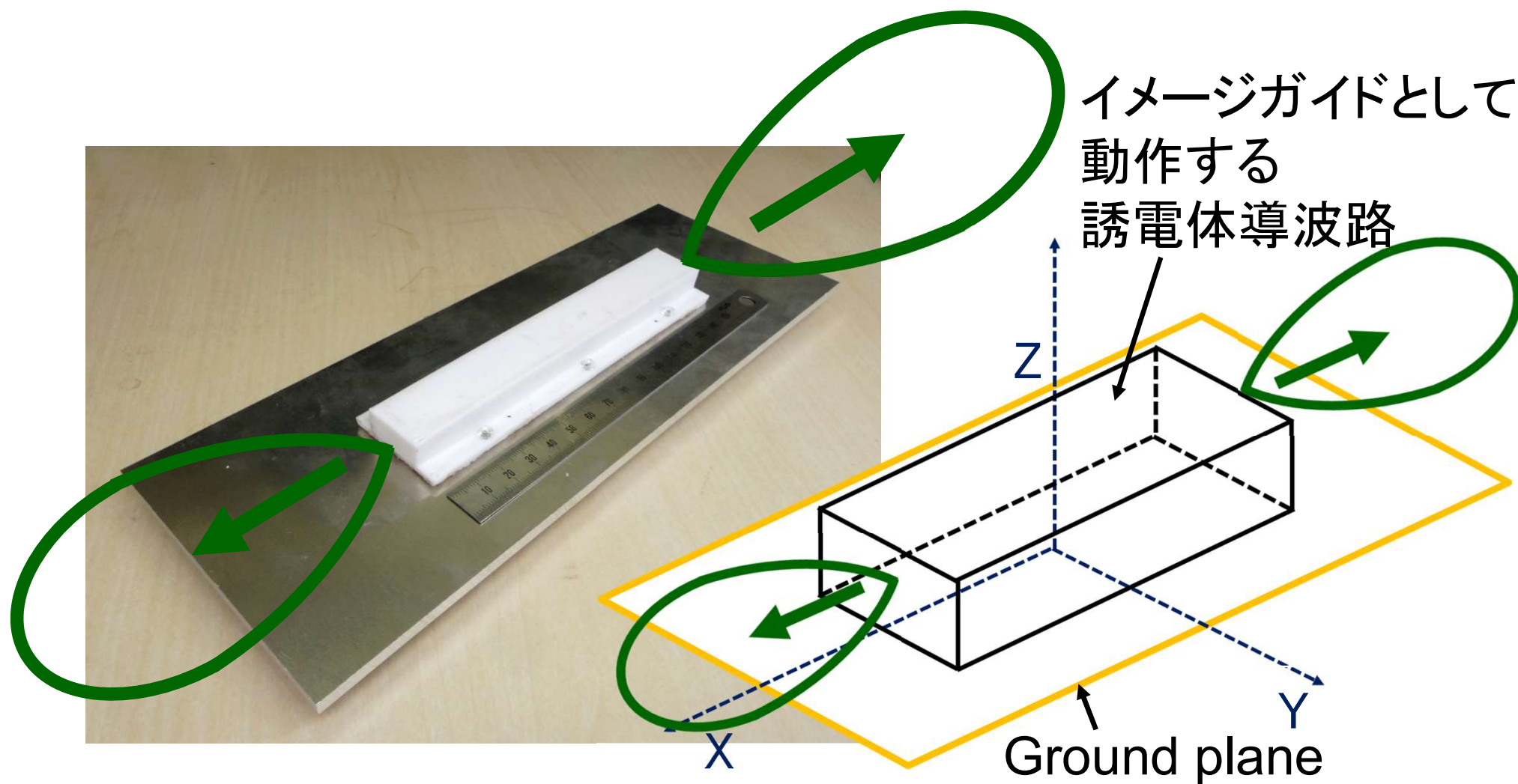
比誘電率  $\epsilon_r$  が 3 程度の一般的な棒状誘電体を、  
金属地板上のイメージガイドとして動作する  
方形断面の誘電体導波路として使用。  
半円・半楕円断面の導波路も使用可能。

イメージガイドとして  
動作する  
誘電体導波路



◇ 小西善彦, “[チュートリアル講演] 双方向ビーム誘電体導波路の電界分布”, 信学技報 A・P2021-166, Feb. 2022.

金属地板に沿った±X方向を指向する**双方向ビーム**を形成



## ◆ 高速伝送線路としての誘電体導波路

1970年代： ミリ波を用いる高速伝送システムの研究開発  
ミリ波の低損失伝送に適する“曲げられる”伝送線路として  
研究開発が進められた。 金属導波管は曲がらない。

⇒ 光ファイバ伝送の発達, 実用化により衰退。

## ◆ 誘電体ロッドアンテナ, 誘電体ロッドホーンアンテナ

円形誘電体導波路の基本伝送モードである $HE_{11}$ モードの  
低交差偏波特性, 低サイドローブ特性を利用。

⇒ 誘電体の対候性, 損失の問題などから普及せず。  
ただし、最近、見直しの機運あり。学会発表もあり。

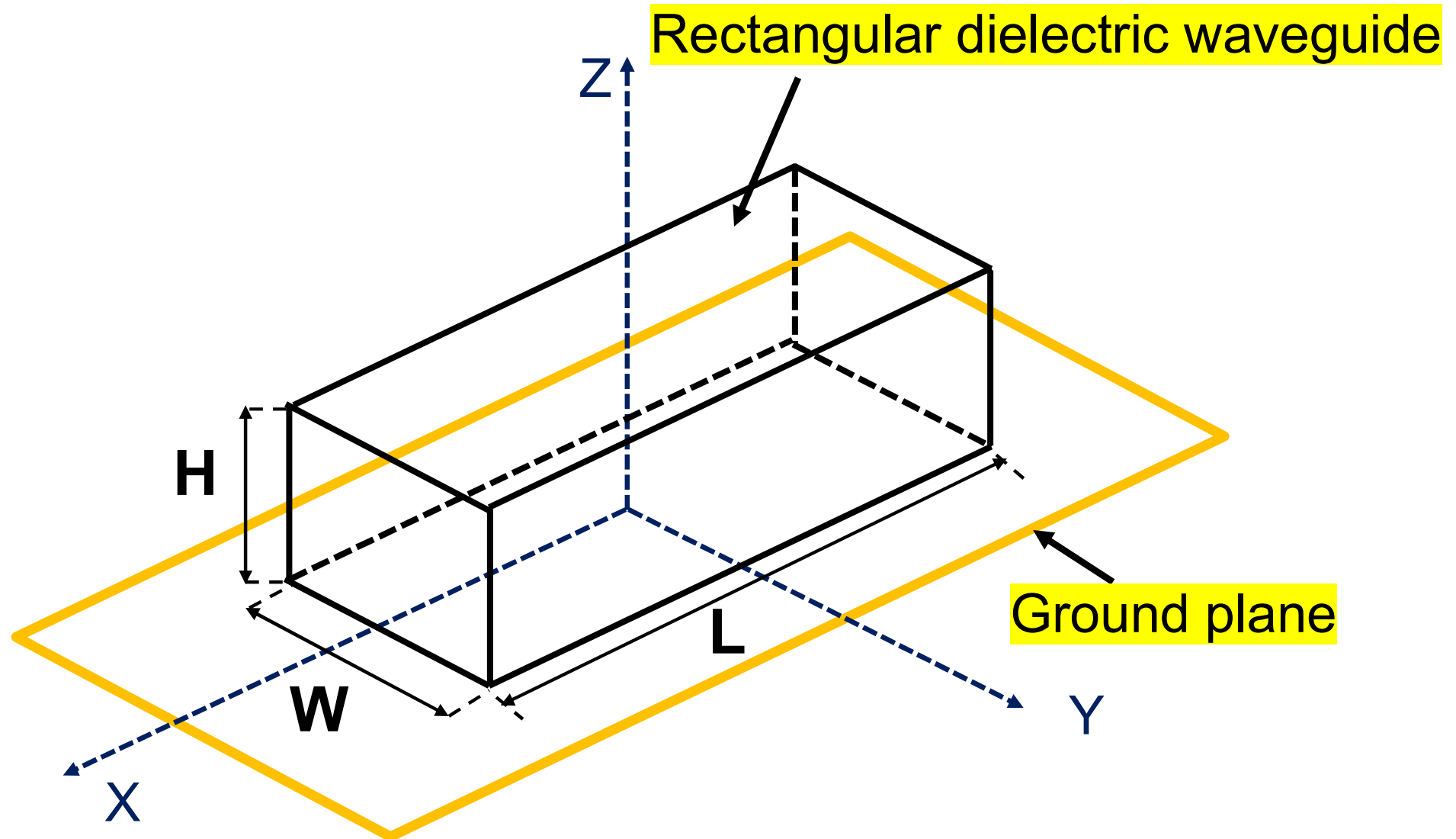
## ◆ 誘電体共振器アンテナ

高誘電率誘電体を共振器として動作させる超小型アンテナ。  
無線LAN端末などの小型無線機器に多用されている。

⇒ 利得が低い、周波数帯域が狭いなどの課題。

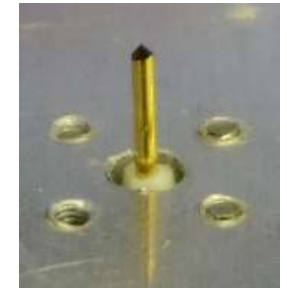
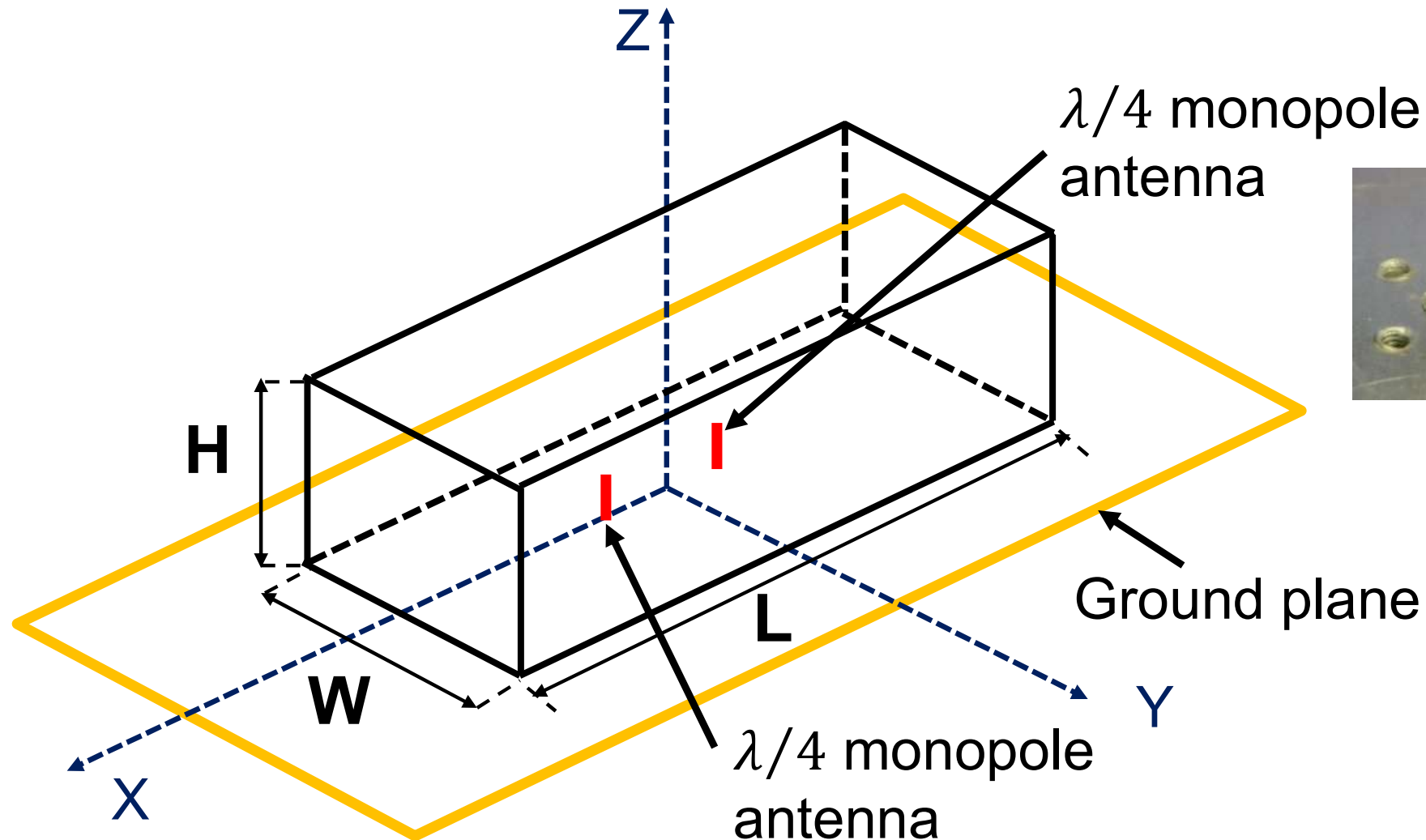


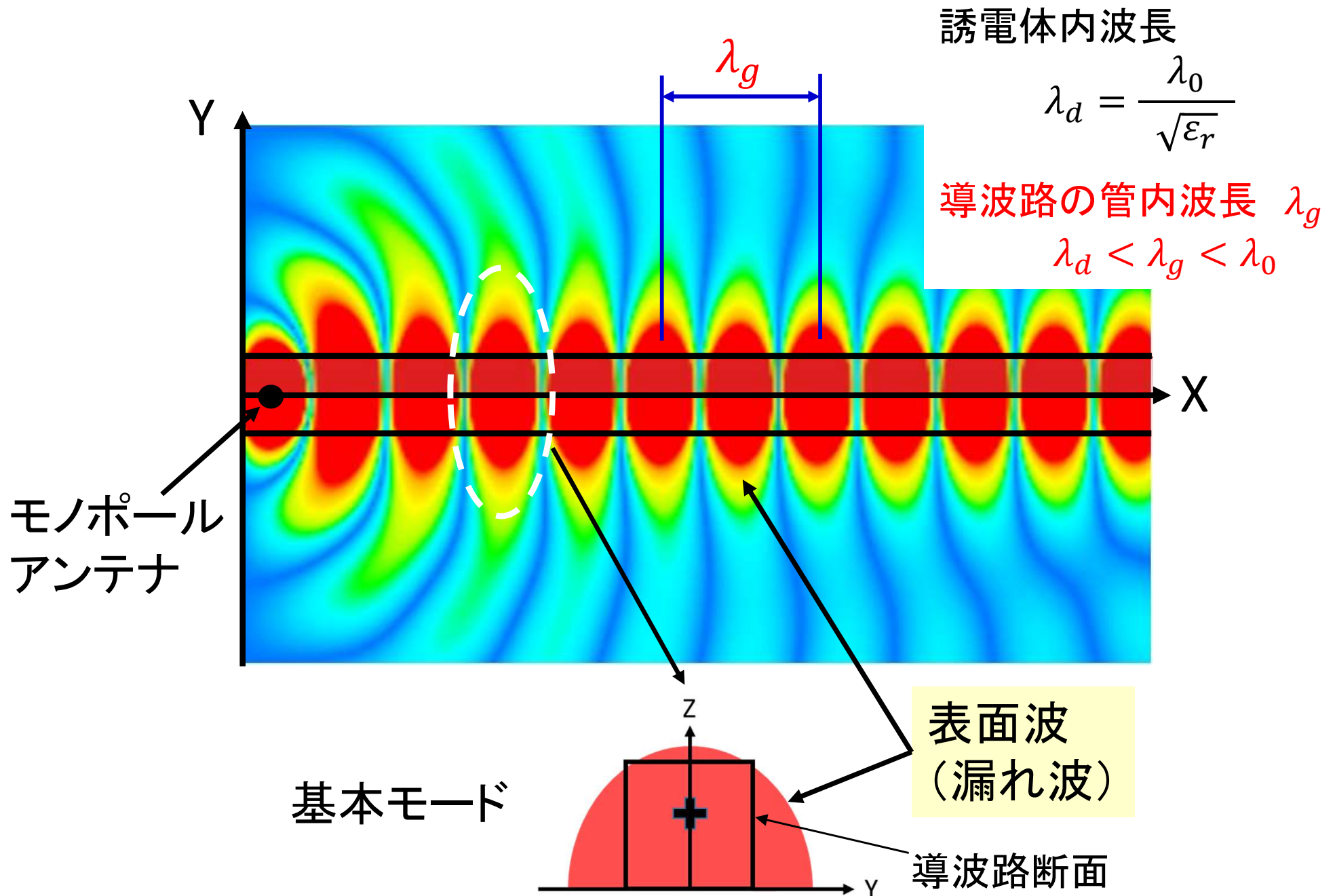
比誘電率  $\epsilon_r$  が 3 程度の一般的な棒状誘電体の誘電体導波路を金属地板上に配置し、電波の放射体として利用。



金属地板に対して偏波が垂直の垂直偏波信号を給電

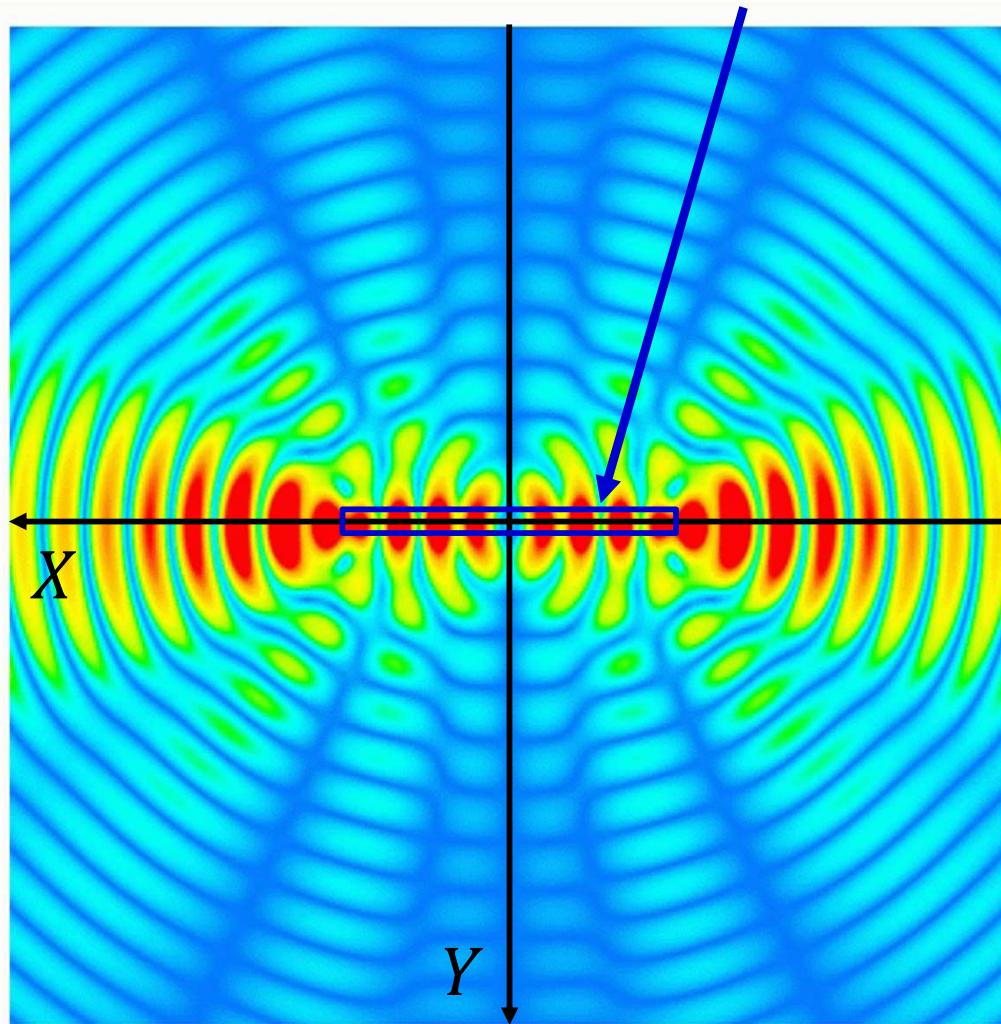
⇒ 導波路給電用アンテナとして、例えば、**1/4波長モノポール**  
**2個を逆相励振したエンドファイアアレー**を使用



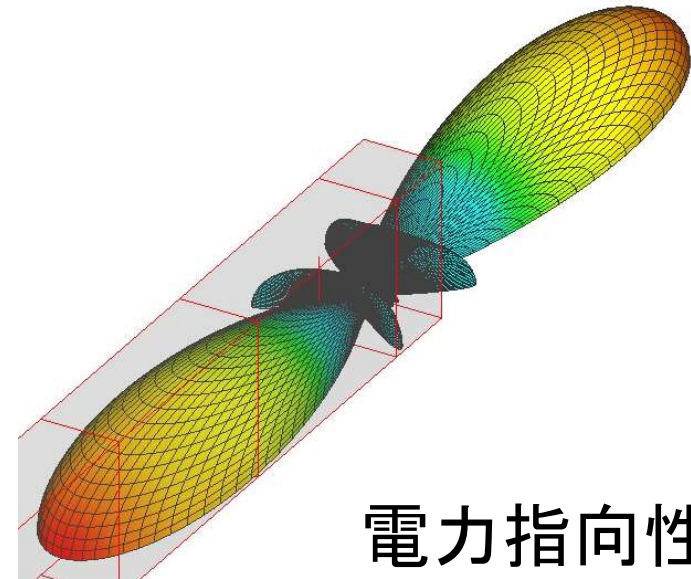
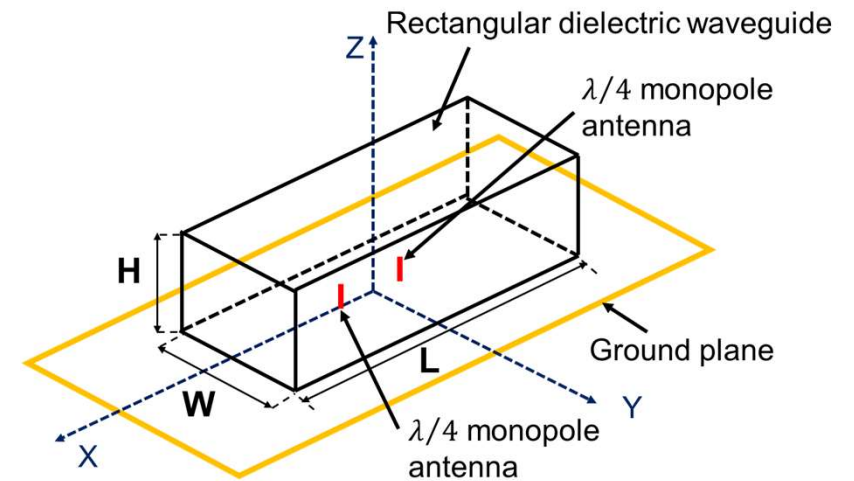


## 2個のモノポールのエンドファイアアレーで給電する場合

方形導波路



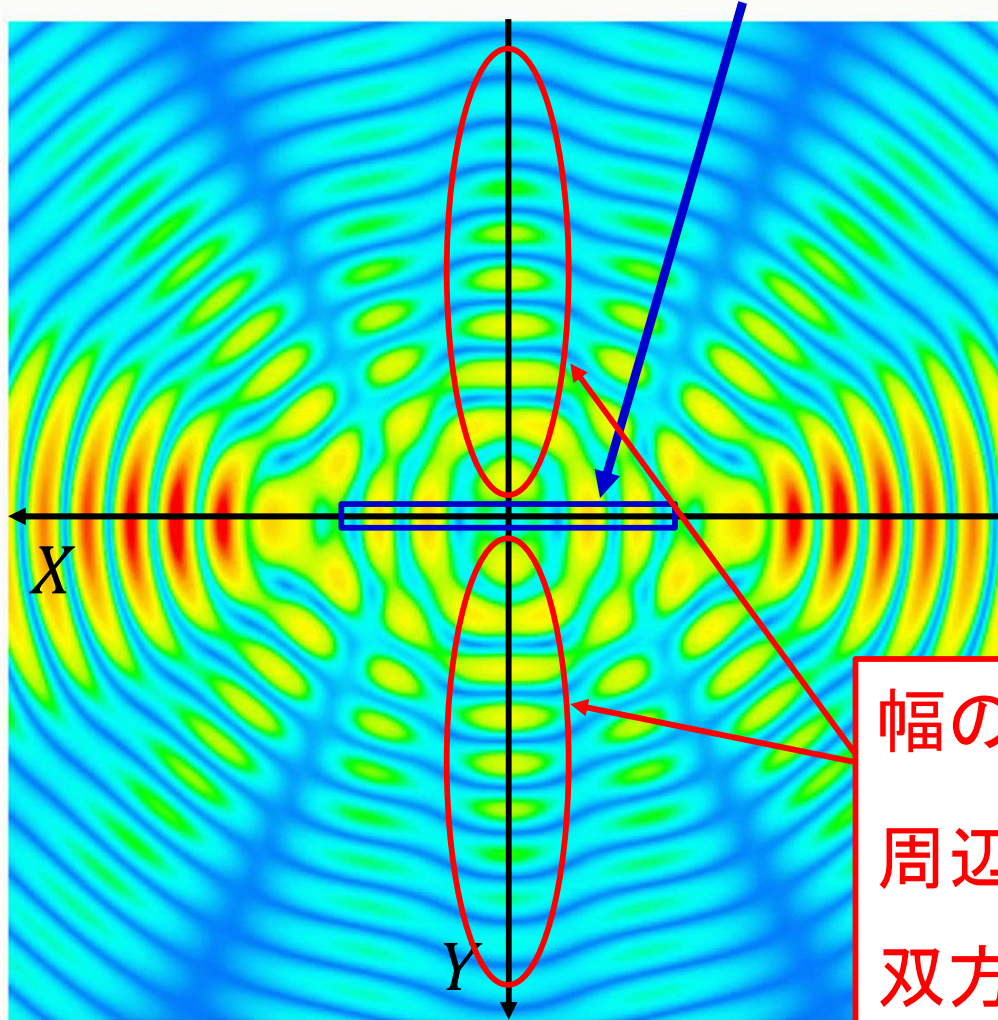
水平面 (XY面) 電界分布  
(幅  $W = 15 \text{ mm}$ , 長さ  $L = 200 \text{ mm}$ )



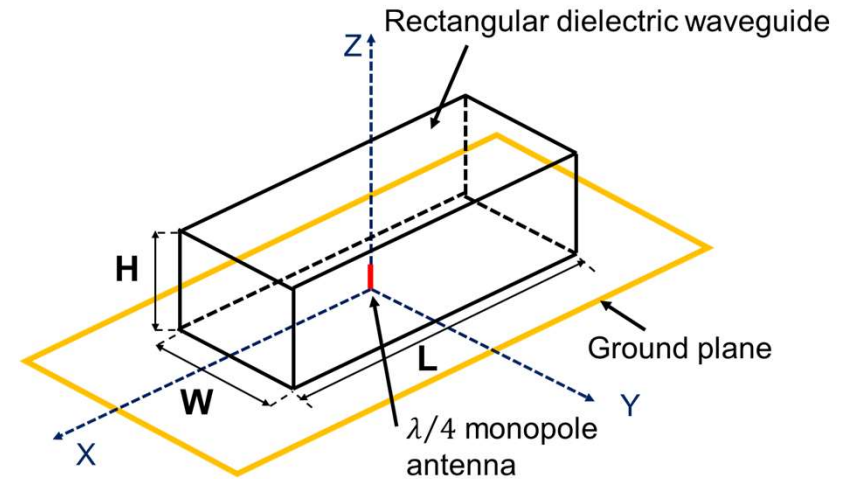
電力指向性

## 1個のモノポールで給電する場合

方形導波路



水平面(XY面)電界分布

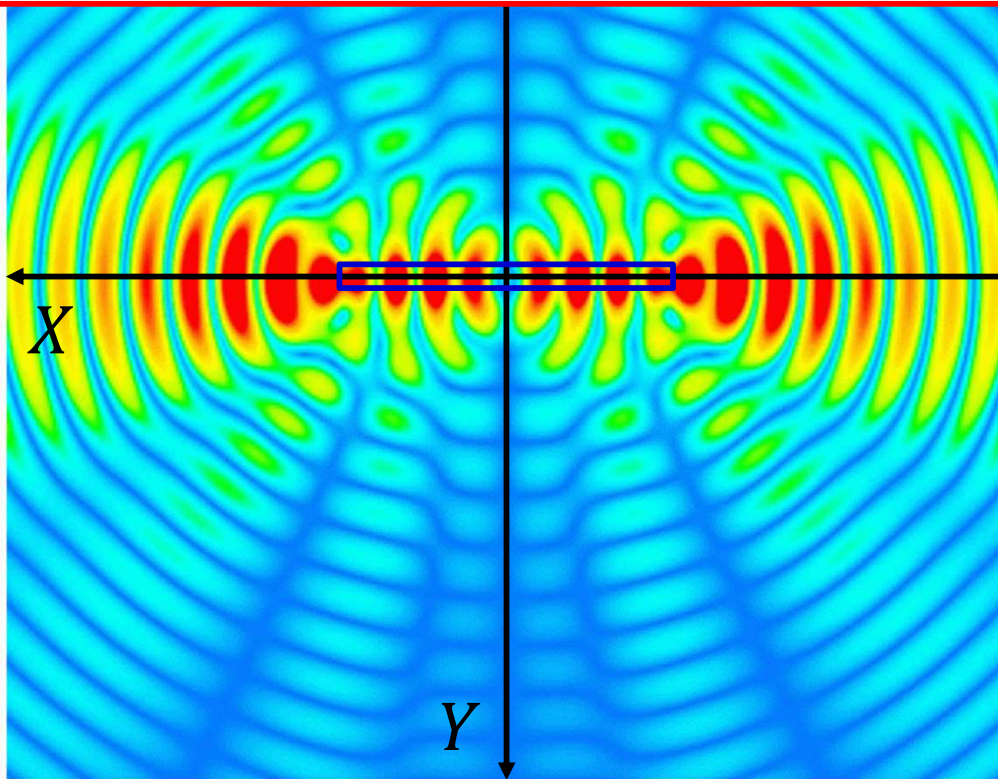


幅の狭い±Y方向に電界の漏れ  
周辺サイドローブもレベルが高い  
双方向ビームの利得も低下

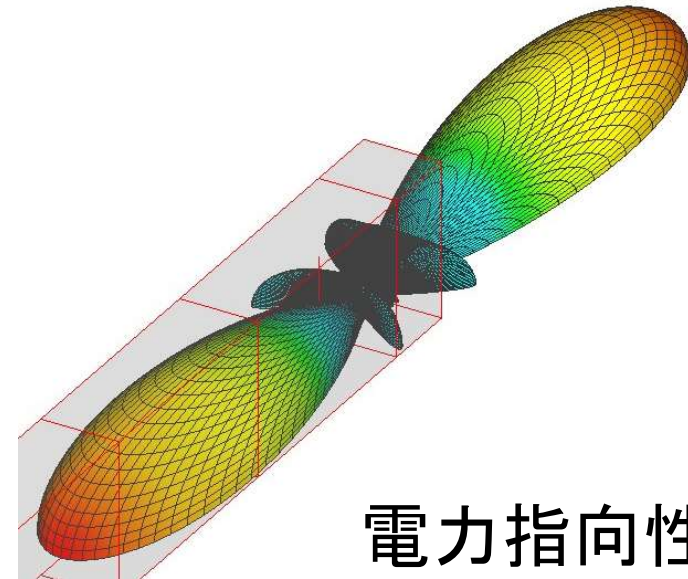
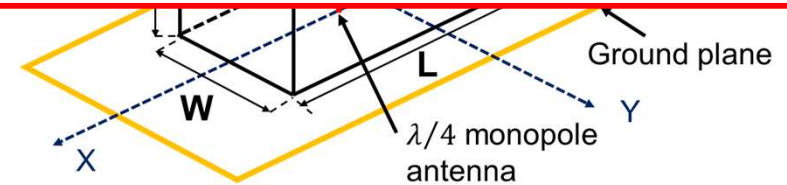
電力指向性

導波路幅および高さが波長オーダーの大きさの誘電体導波路では、横方向( $\pm Y$ 方向)、上方向( $Z$ 方向)への電波の漏れを抑圧できる給電方式を採用する必要あり。

⇒ 1/4波長モノポールのエンドファイアアレー



水平面(XY面)電界分布  
(幅  $W = 15 \text{ mm}$ , 長さ  $L = 200 \text{ mm}$ )



電力指向性

導波路幅および高さが波長オーダーの大きさの誘電体導波路では、横方向( $\pm Y$ 方向)、上方向( $Z$ 方向)への電波の漏れを抑圧できる給電方式を採用する必要あり。

⇒ **1/4波長モノポールのエンドファイアアレー**

その他にも、適用可能な給電方式として、以下を検討。

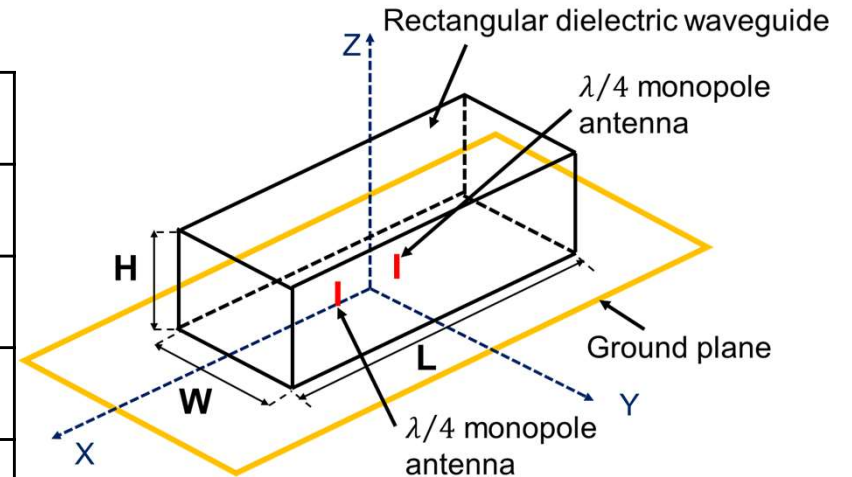
- ・ 1/4波長モノポールのブロードサイドアレー
- ・ 金属地板上に向かい合わせに配置した  
ショートパッチアンテナのエンドファイアアレー
- ・ YZ面上の金属板に形成した半波長スロットアンテナ

◇ 栗栖拓哉, 小西善彦 他, “モノポールアンテナ給電双方向ビーム誘電体アンテナ”, 平成28年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 10-02, Oct. 2016.

◇ 日下道康, 小西善彦, “ショートパッチアレー給電双方向ビーム誘電体アンテナの誘電体導波路内電界分布”, 信学技報 A・P2016-146, Jan. 2017 .

◇ 原 広志, 田中拓弥, 小西善彦 他, “スロット給電双方向ビーム誘電体導波路アンテナ”, 令和元年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, R19-10-01-01, Oct. 2019.

項目		範囲
周波数 $f$		<b>6.0 GHz</b>
自由空間波長 $\lambda_0$		50.0 mm
誘電体 導波路	比誘電率 $\epsilon_r$	2.75
	誘電正接 $\tan \delta$	0.01
	誘電体内波長 $\lambda_d$	<b>30.1 mm</b>
	長さ $L$	40 ~ 500 mm
	幅 $W$	<b>15.0 mm</b>
	高さ $H$	<b>15.0 mm</b>
モノポール	長さ $L_p$	7.5 mm
	直径 $D_p$	1.3 mm
	配列間隔 $\lambda_d/2$	15.0 mm
金属地板		無限大

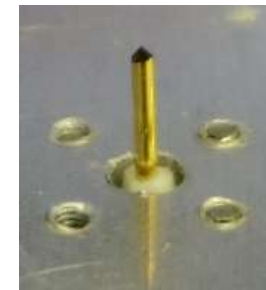


誘電体内波長

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

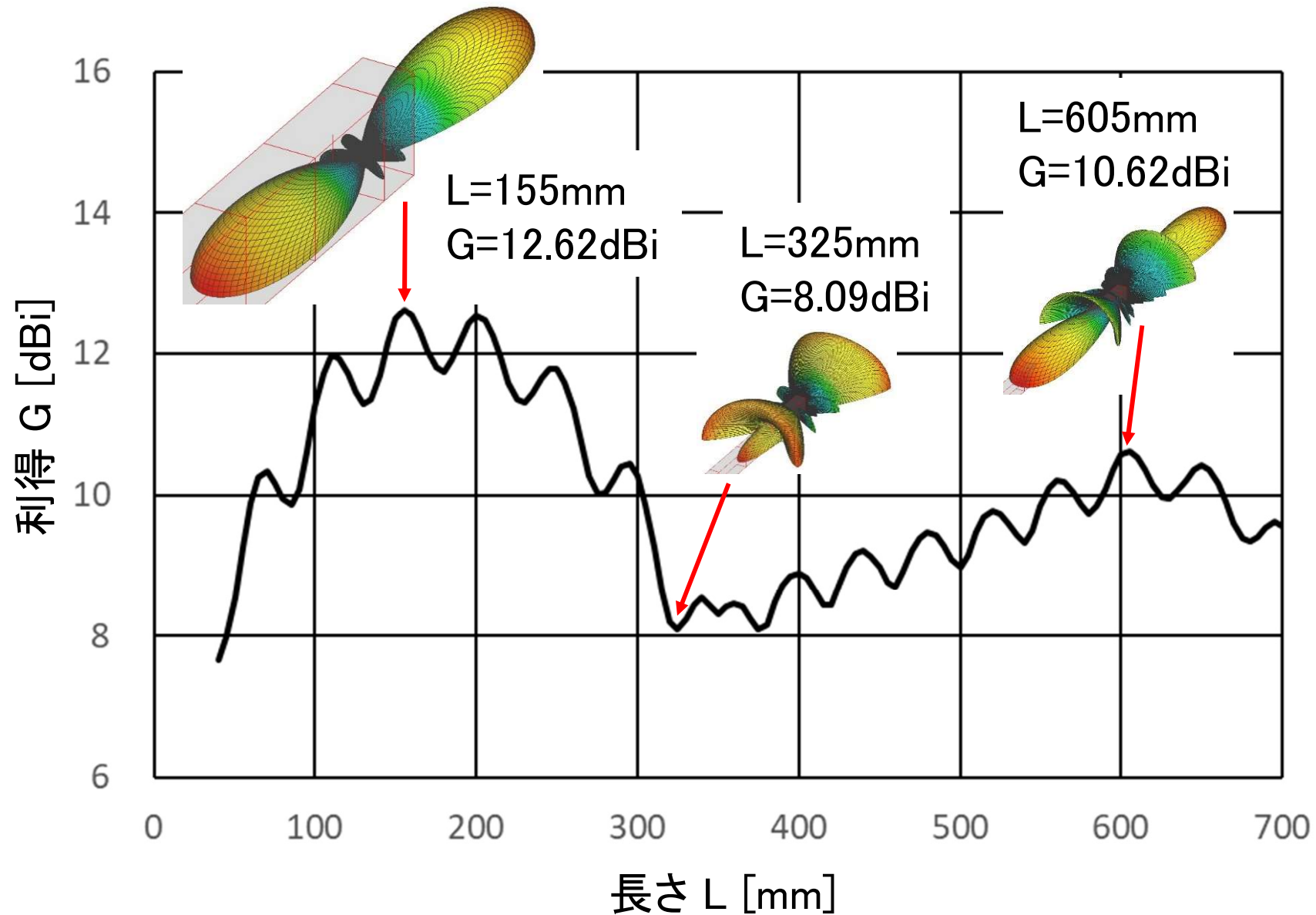
導波路の管内波長  $\lambda_g$

$$\lambda_d < \lambda_g < \lambda_0$$





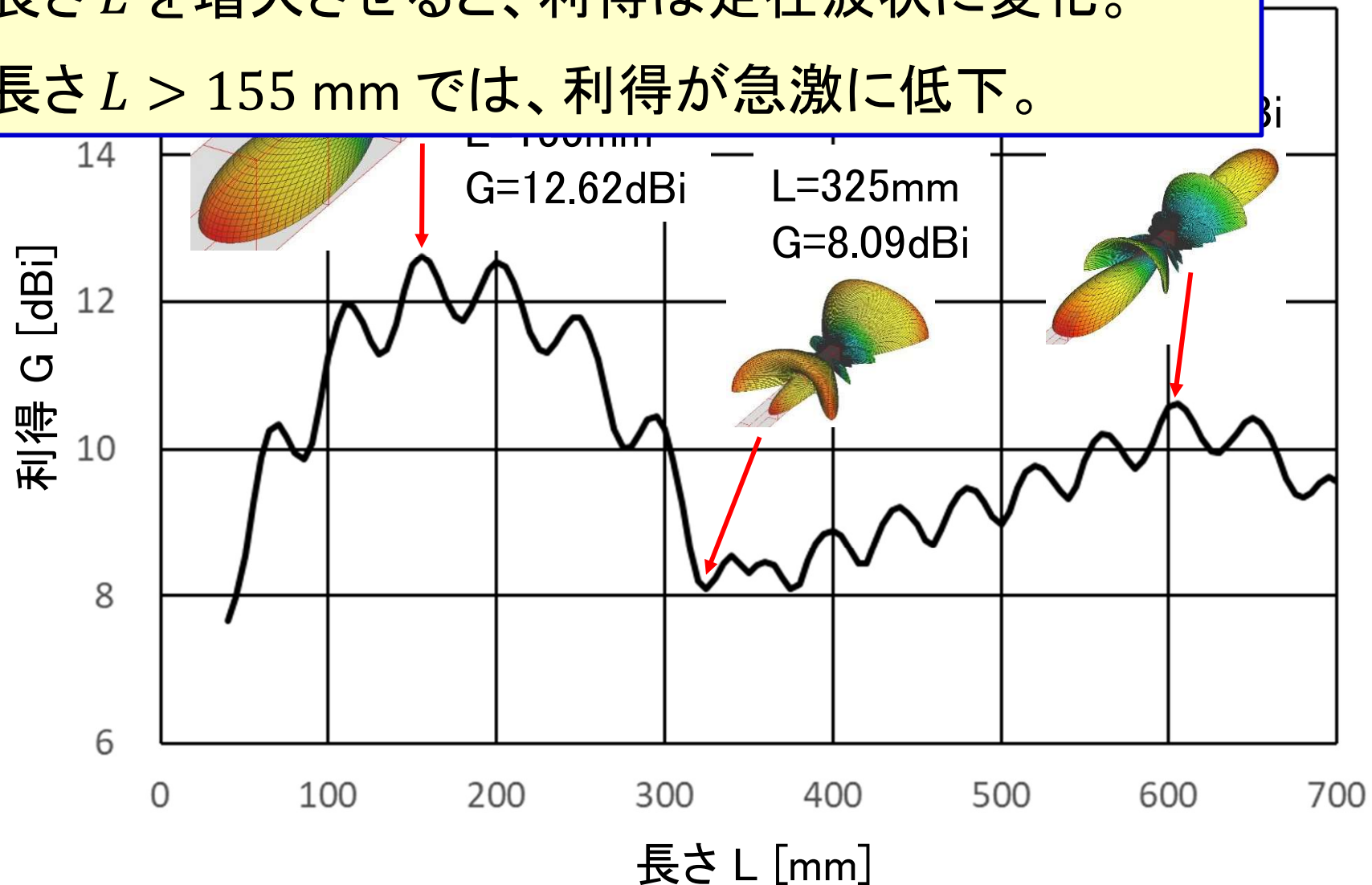
(方形導波路, 導波路幅  $W = 15.0$  mm)



幅  $W = 15 \text{ mm}$  は基本モードのみが伝搬する条件。

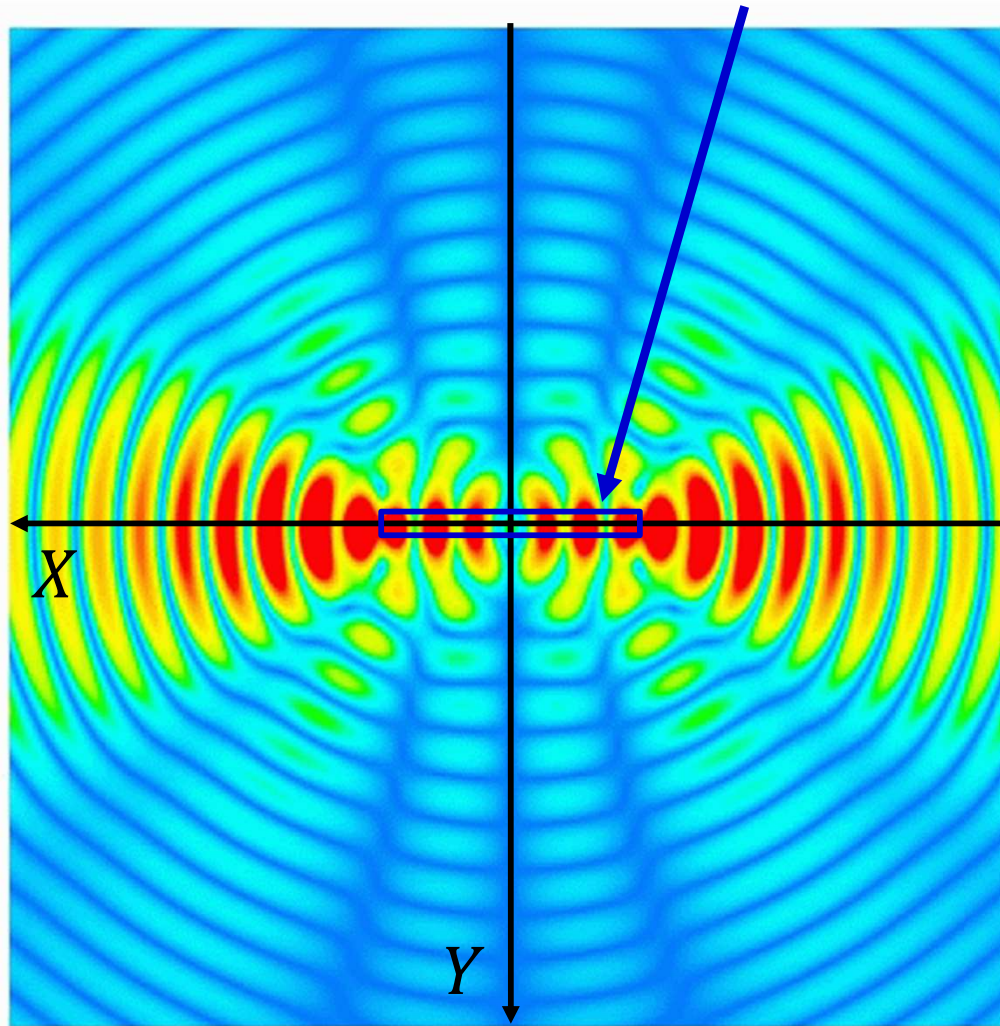
導波路端面の反射波により、  
長さ  $L$  を増大させると、利得は定在波状に変化。

長さ  $L > 155 \text{ mm}$  では、利得が急激に低下。

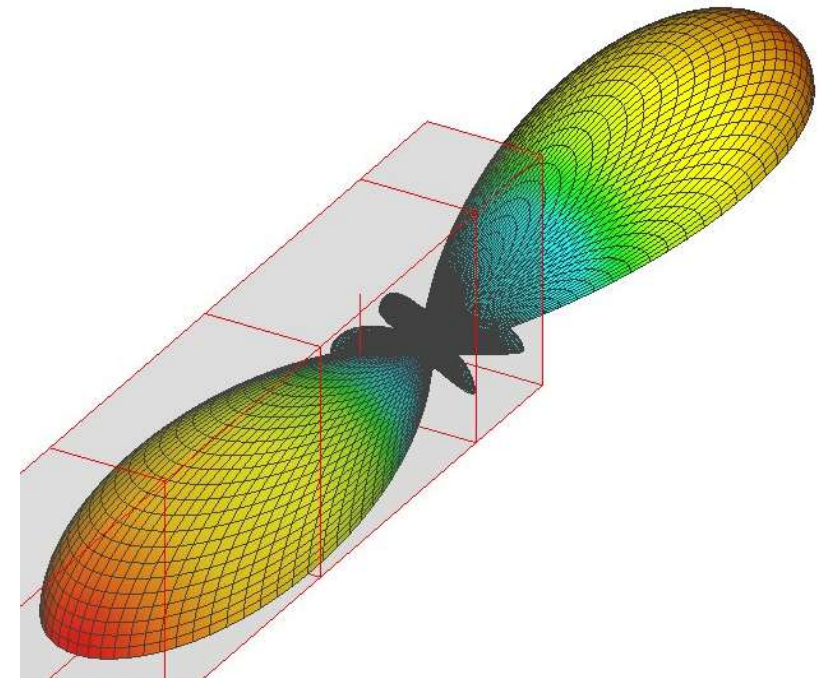


(幅  $W = 15 \text{ mm}$  , 長さ  $L = 155 \text{ mm}$  , 利得  $G = 12.62 \text{ dBi}$ )

方形導波路

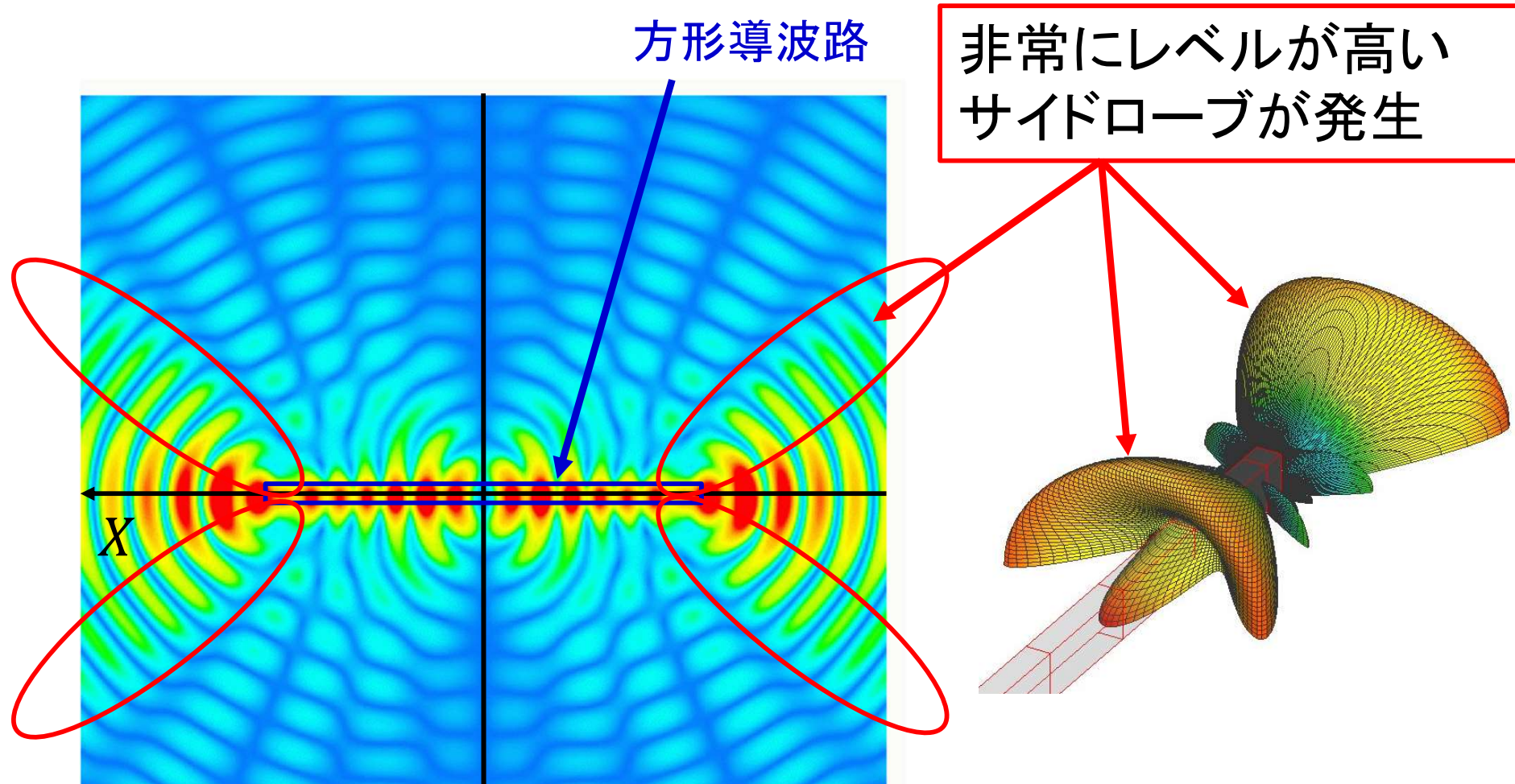


水平面(XY面)電界分布



電力指向性

(幅  $W = 15 \text{ mm}$  , 長さ  $L = 325 \text{ mm}$  , 利得  $G = 8.09 \text{ dBi}$ )

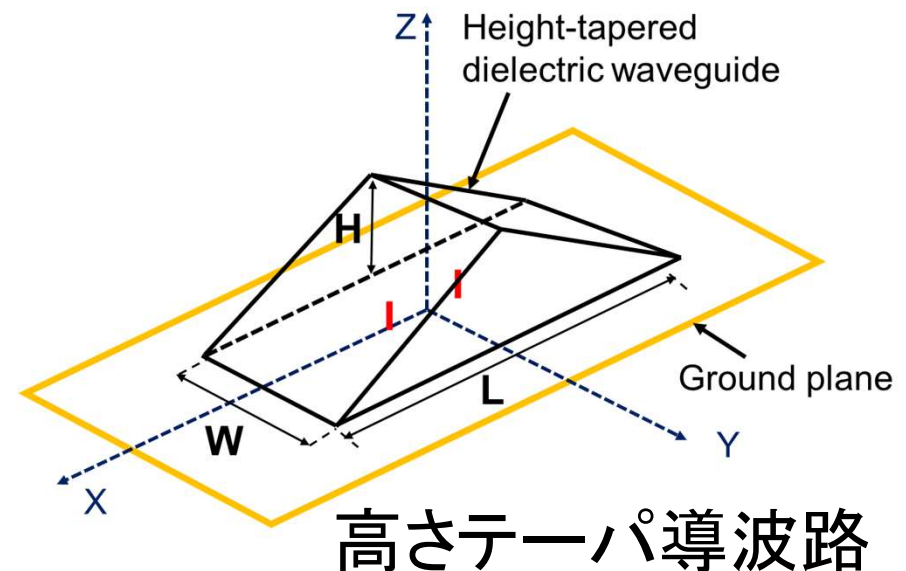
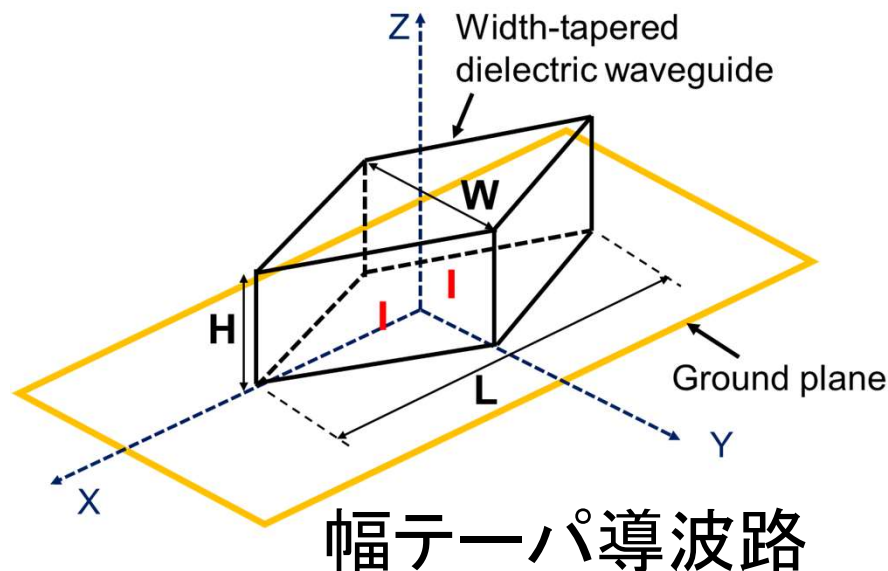


導波路の管内波長  $\lambda_g < \text{自由空間波長 } \lambda_0$  なので、  
ビームを形成する表面波の  $\pm X$  方向の電界和が  
単純な足し算にならない(位相がずれている)

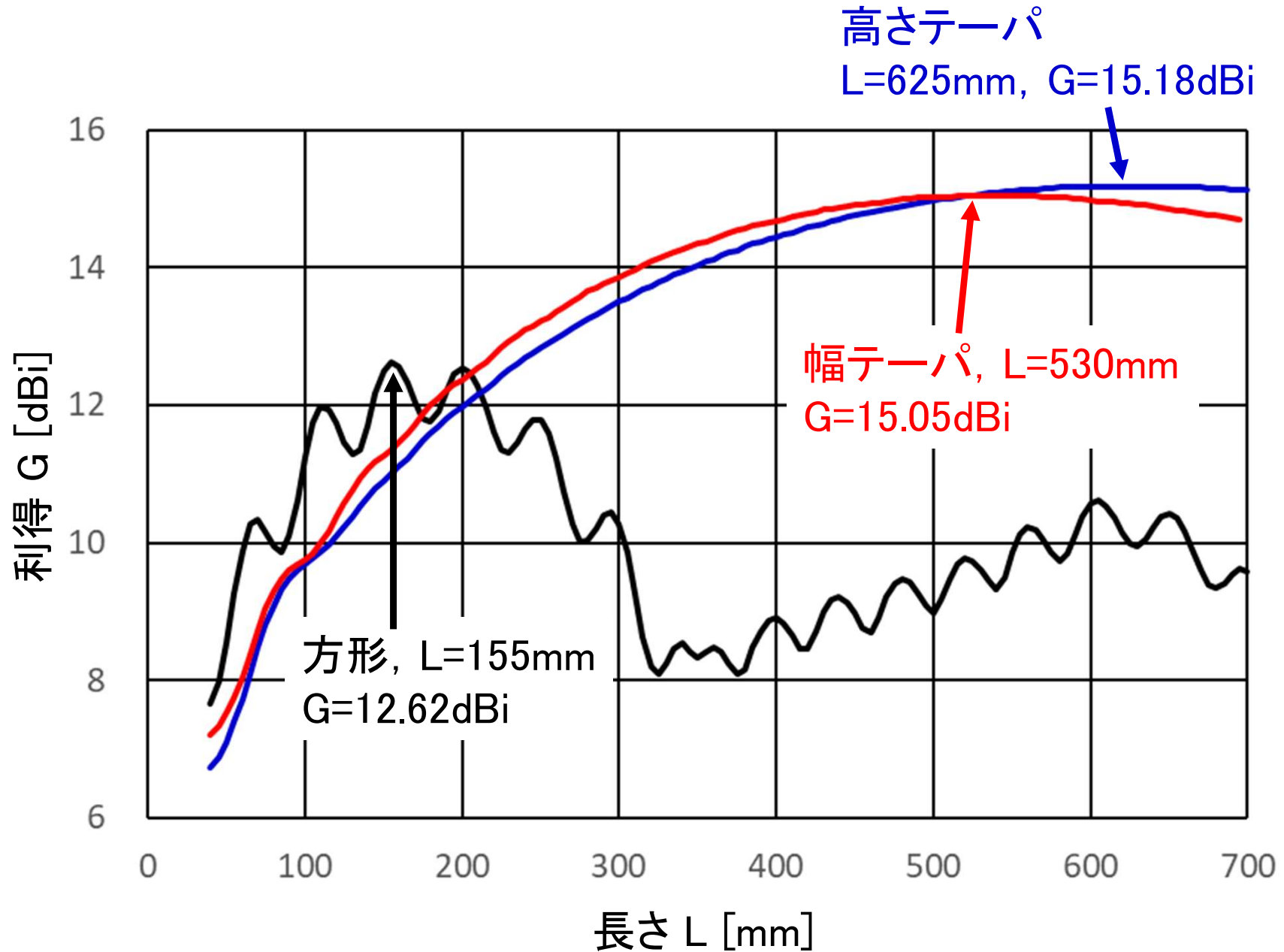
方形導波路を用いる双方向ビーム誘電体導波路アンテナでは、

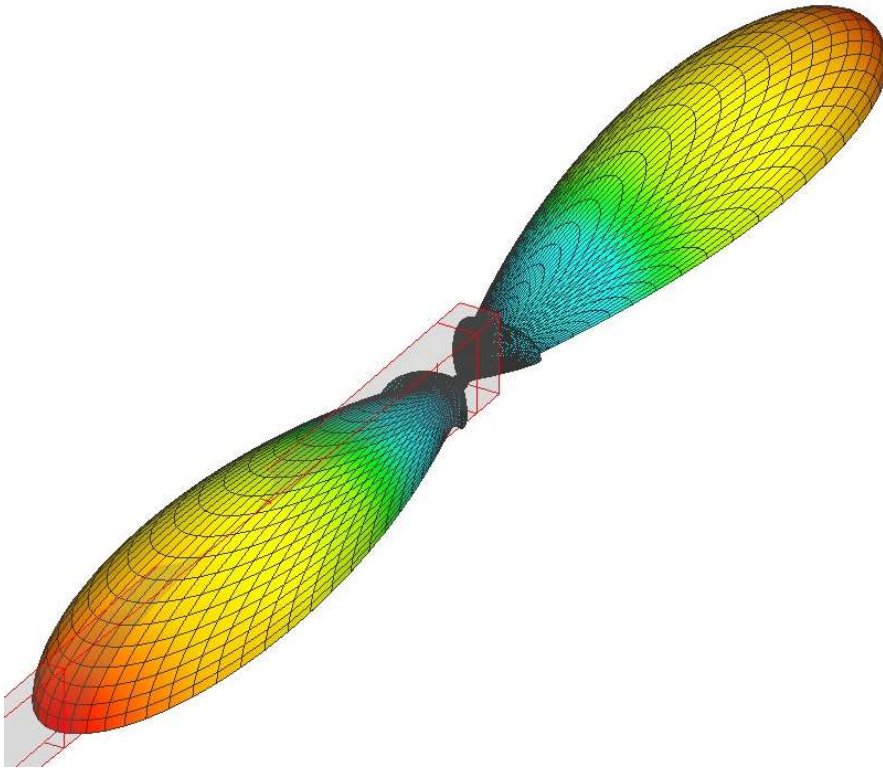
- 導波路端面での反射波の発生による定在波状の利得変化
- 表面波によるサイドローブレベル上昇、及び、利得低下の課題が発生。

⇒ 導波路の幅、高さ、あるいは、幅と高さの両方をテーパ状に減少させた**テーパ導波路**を用いることで、反射波を除去し、管内波長を自由空間波長に近づけていくことで課題を解決。

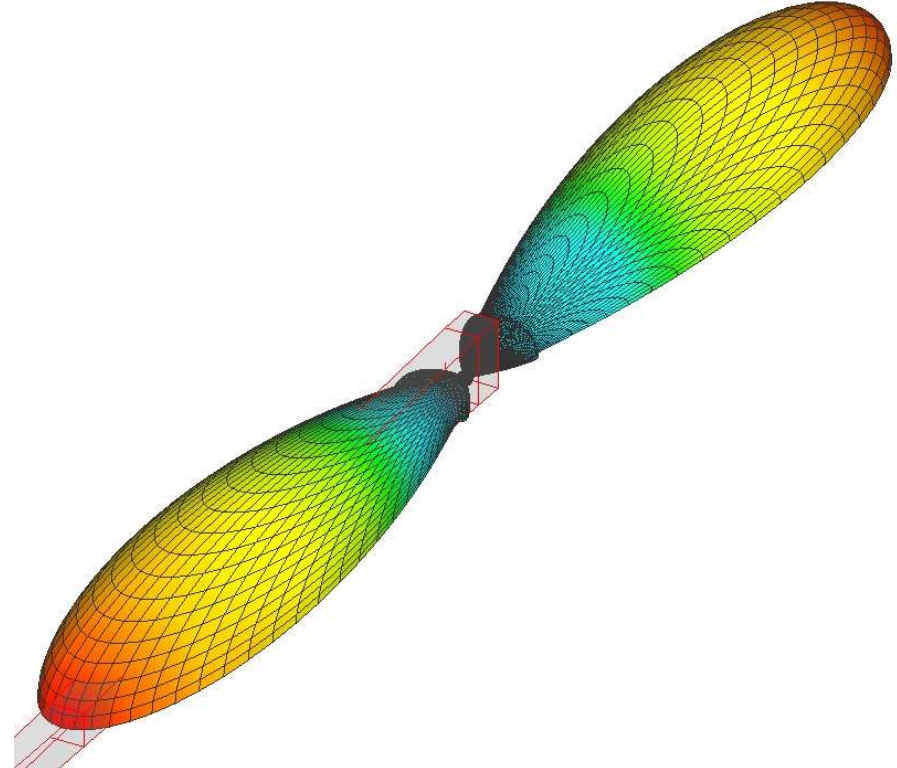


(方形導波路, 幅テーパ導波路, 高さテーパ導波路)





幅テーパ導波路  
(長さ  $L = 530$  mm ,  
利得  $G = 15.05$  dBi)

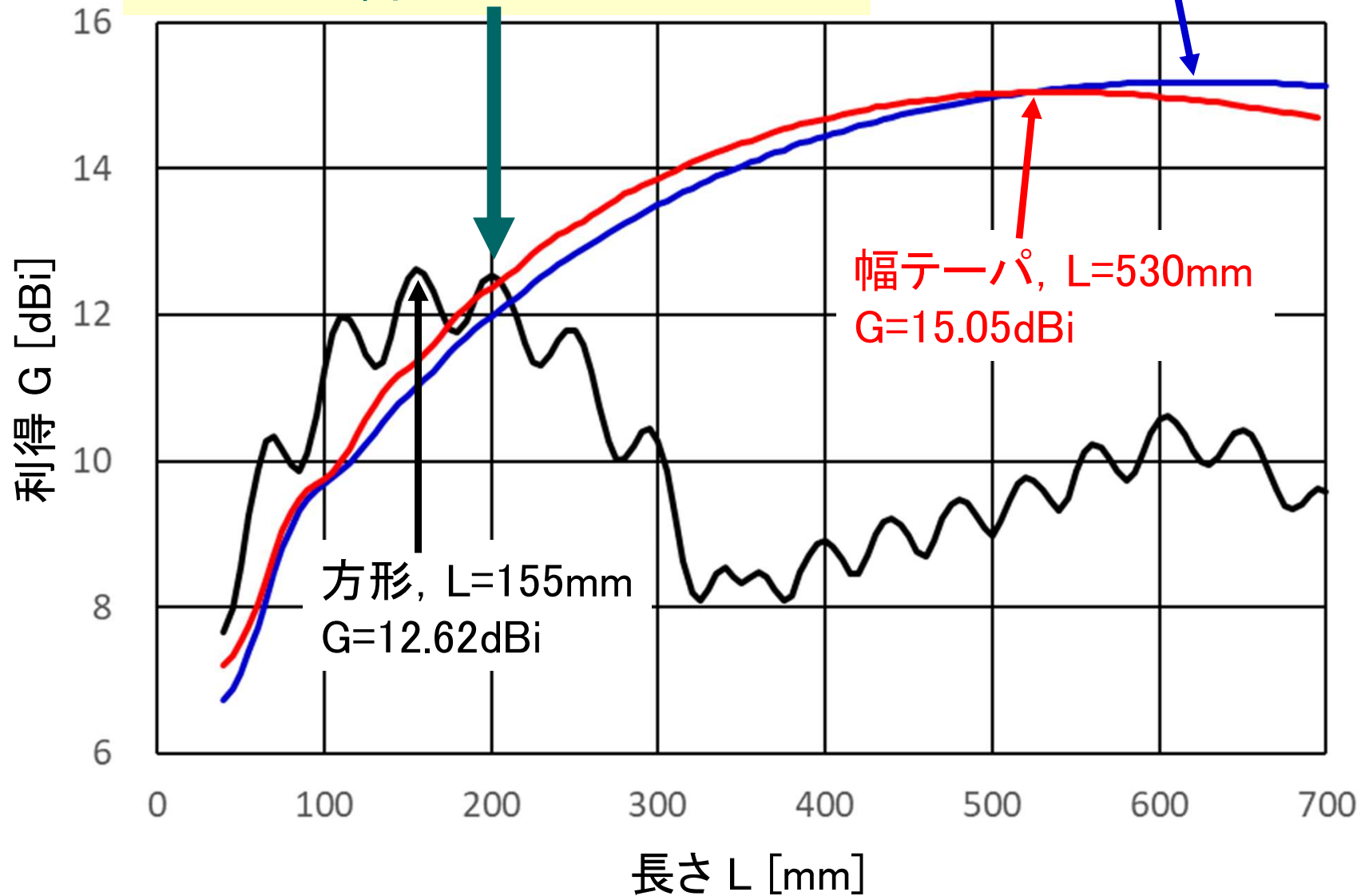


高さテーパ導波路  
(長さ  $L = 625$  mm ,  
利得  $G = 15.18$  dBi)

(方形導波路, 幅テーパ導波路, 高さテーパ導波路)

$L=200\text{mm}$	方形	$G=12.54\text{dBi}$
	幅テーパ	$G=12.37\text{dBi}$
	高さテーパ	$G=11.98\text{dBi}$

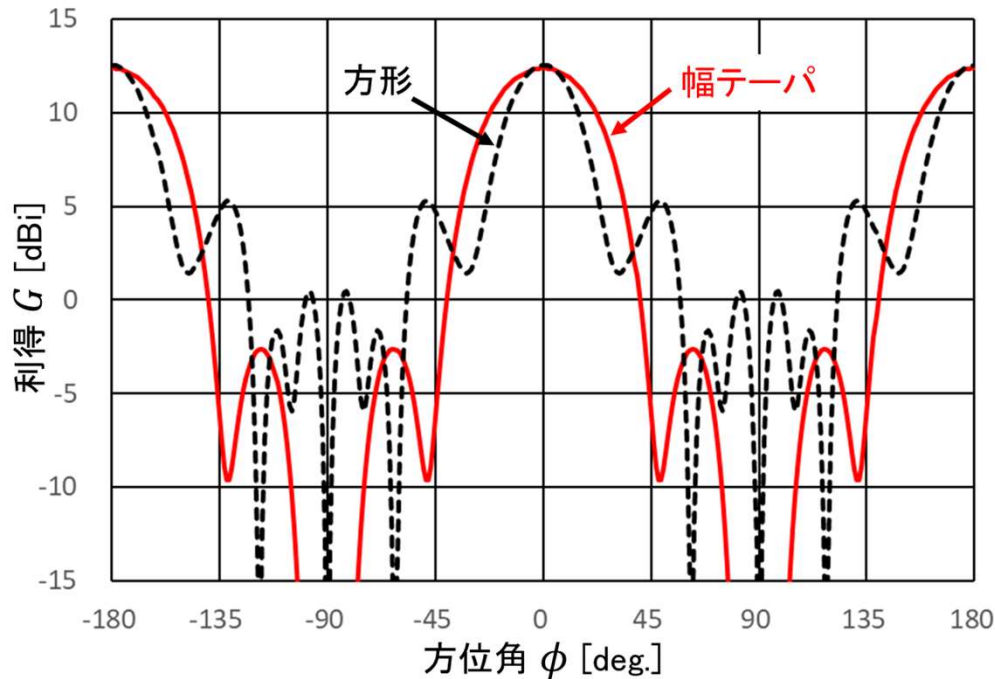
高さテーパ  
 $L=625\text{mm}, G=15.18\text{dBi}$



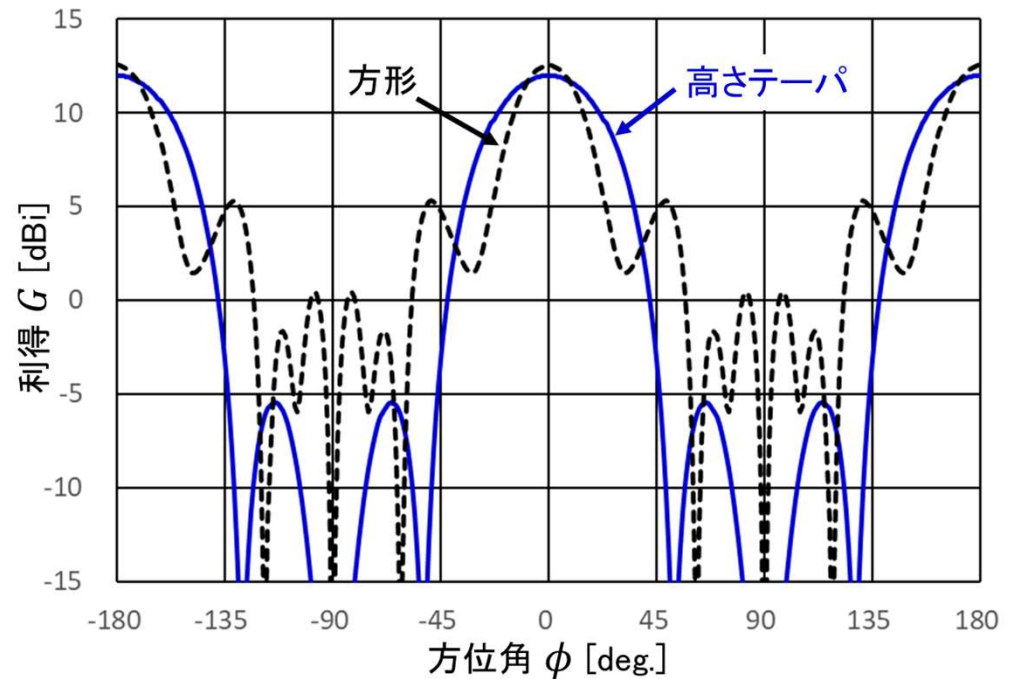


(幅  $W = 15 \text{ mm}$  , 長さ  $L = 200 \text{ mm}$ )

テーパ導波路を用いるアンテナは、  
ビーム幅が広く、サイドローブレベルが低い

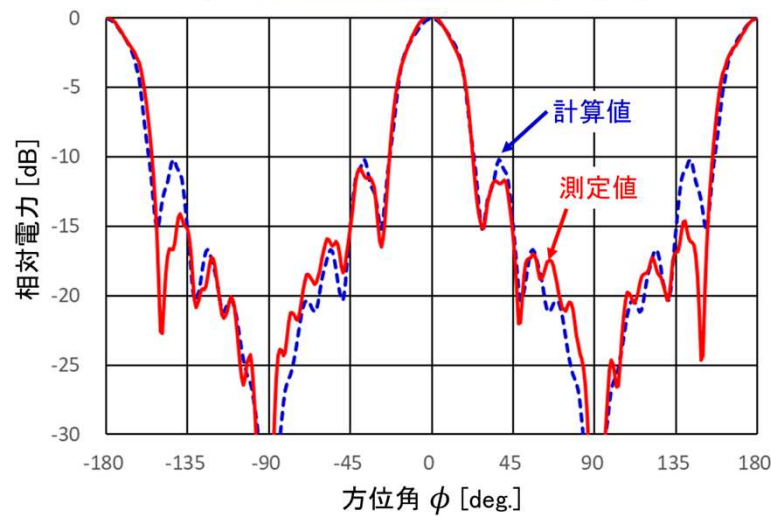
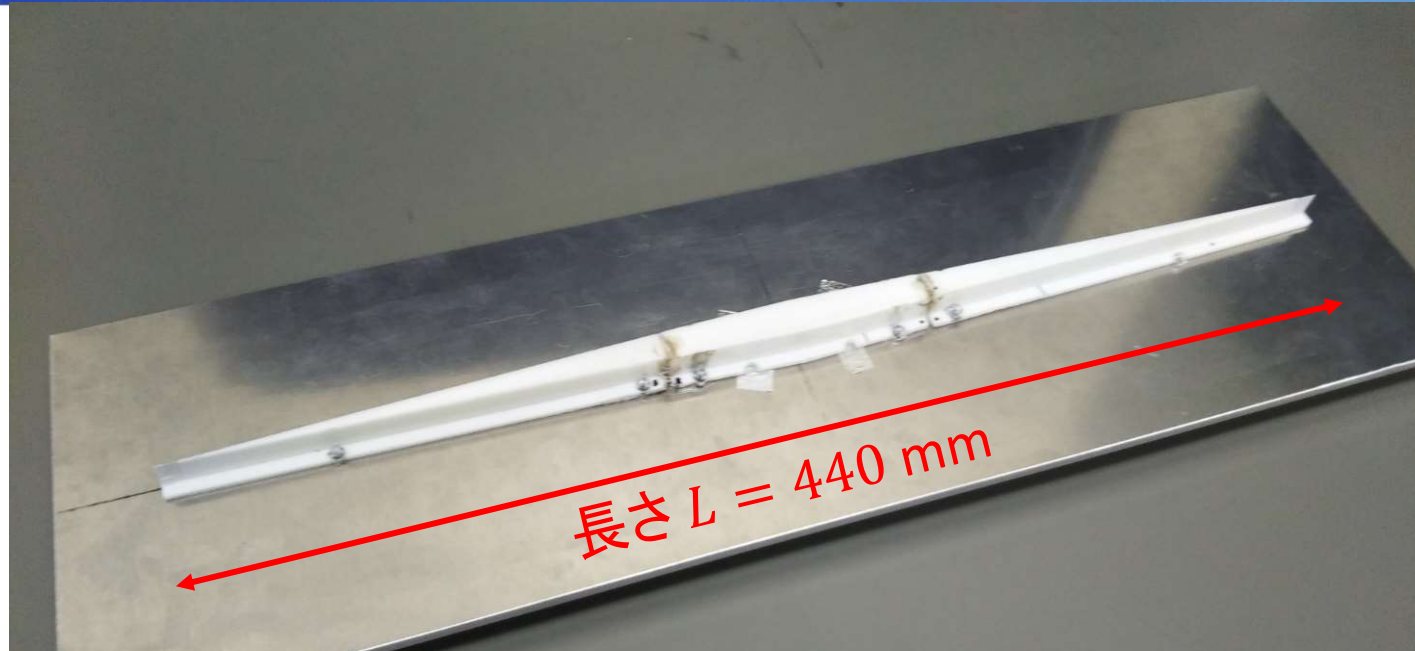


幅テーパ導波路  
(利得  $G = 12.37 \text{ dBi}$ )

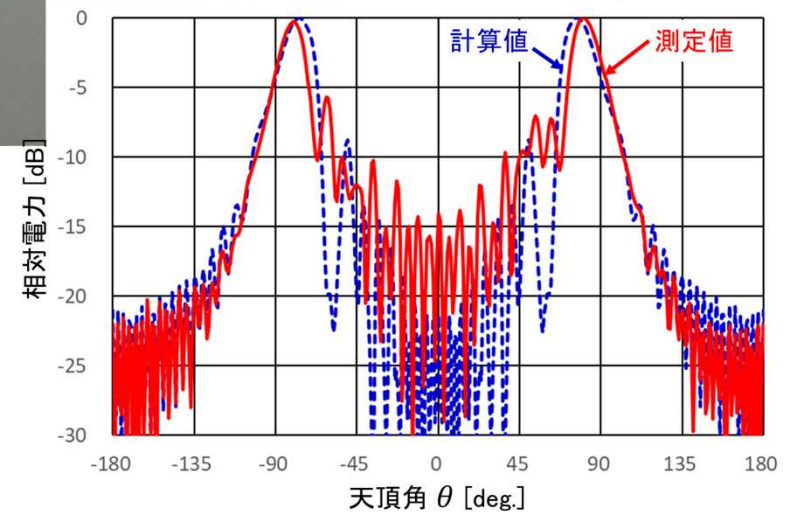


高さテーパ導波路  
(利得  $G = 11.98 \text{ dBi}$ )

方形導波路  
(利得  $G = 12.54 \text{ dBi}$ )



水平面



垂直面

◇ 行友勇人, 小西善彦 他, “幅テーパ型導波路を用いる双方向ビーム誘電体導波路アンテナ”,  
2022 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, R22-10-08, Oct. 2022.

ここまでは、トンネルや地下街などの細長い場所で使用できる  
低姿勢・薄型の基地局アンテナとして、

**ペンシルビームの“双方向ビーム誘電体導波路アンテナ”**を検討。

携帯電話などの移動無線通信では、

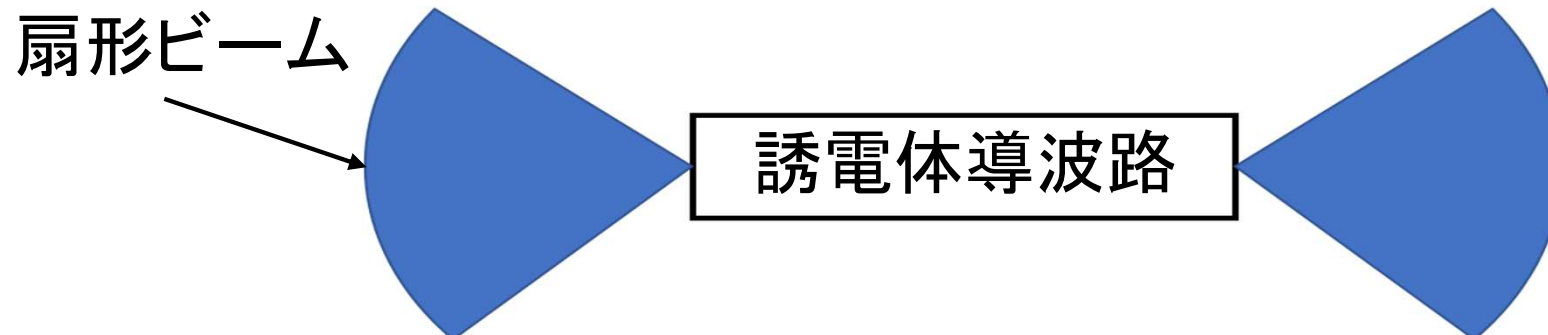
セクタ(三角形)形状のカバレッジエリアを使用。

基地局は、セクタの角度範囲に一定電力を放射する必要あり。

⇒ **水平面のビーム形状が扇形の扇形ビームアンテナ**を使用



**誘電体導波路アンテナでの扇形ビーム形成**



## 各種アンテナでの成形ビーム形成

### ◇ 反射鏡アンテナ

鏡面修整手法（反射鏡の鏡面形状の修整）の応用により、  
反射鏡開口面に所要の電界分布を形成し、  
扇形ビームだけでなくいろいろな形状の成形ビームを形成。

### ◇ コーナーリフレクタアンテナ

くの字形状の反射板の形状を変化させて、  
反射板の反射波で円弧状の波面分布を形成し、  
水平面に扇形ビームを形成。

### ◇ ホーンアンテナ

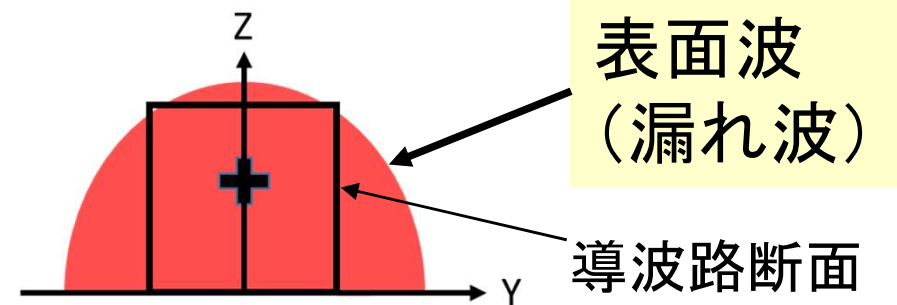
ホーンを形成する金属導波管の傾き角（フレア）や  
導波管のステップ、導波管壁のアイリスなどにより、  
扇形ビームだけでなくいろいろな形状の成形ビームを形成。

## 各種アンテナでの成形ビーム形成

- ◇ 反射鏡アンテナ
- ◇ コーナーリフレクタアンテナ
- ◇ ホーンアンテナ

金属境界の形状変化でビーム成形を行っており、境界条件が明確であり、成形ビームを考えやすい。

## ◇ 誘電体導波路アンテナ

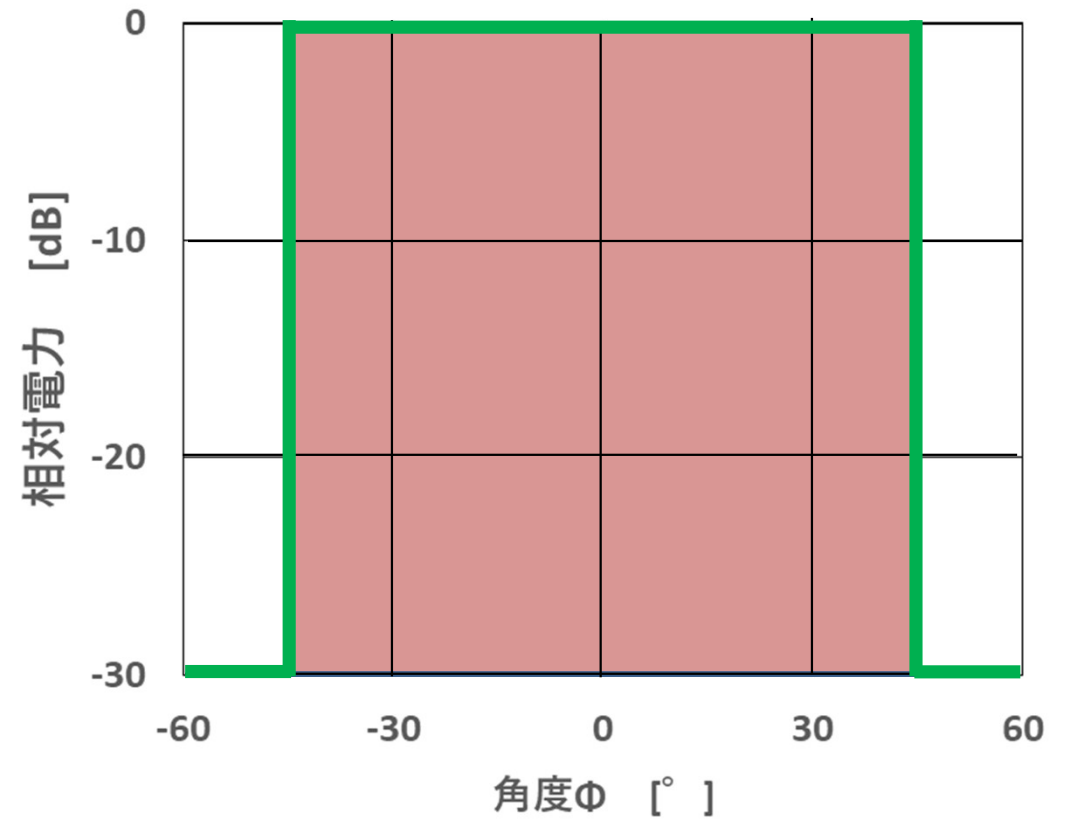
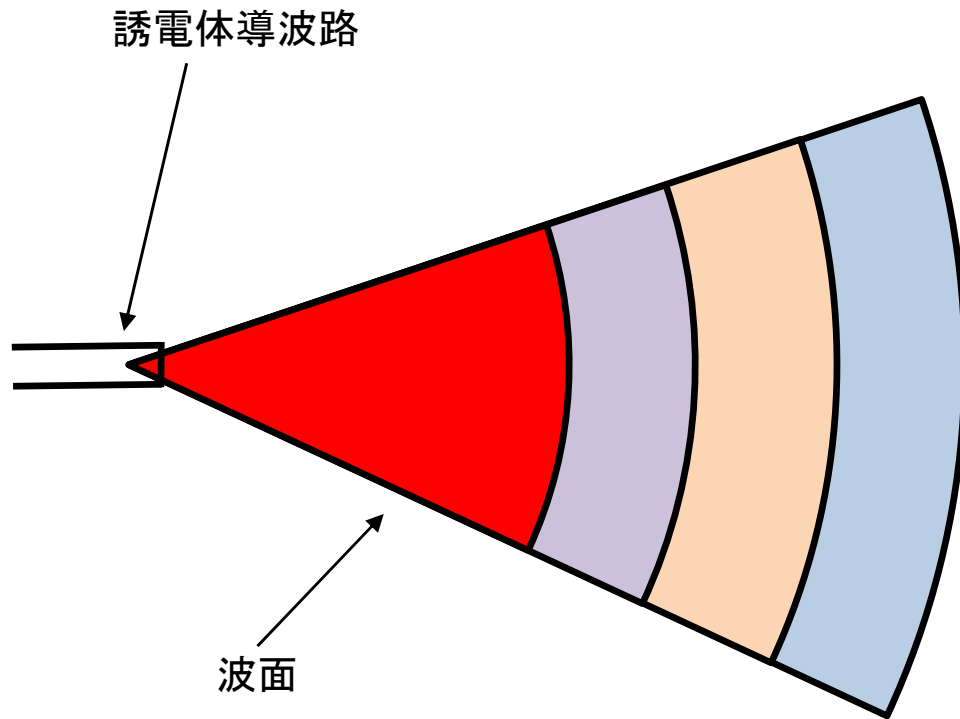


誘電体の寸法を変えると伝送モードの表面波の状態も変化する。表面波も考慮してビーム成形を考える必要あり。

垂直面(高さ方向)のビーム成形は面倒。

ここでは、水平面への扇形ビーム形成のみを考える。

## 波面が円弧状となる扇形形状の電界分布を作り出す



## 扇形ビームの形成方法

- ◇ 放射方向が異なる二本のペンシルビームを合成する方法
  - 2本の導波路から放射方向が異なるペンシルビームを放射し、空間で合成する方法
  - 基本モードと3次の高次モードの合成で「くの字状の電界分布」を導波路内に発生させ、導波路端面から2本の放射方向が異なるペンシルビームを放射させる方法
- ◇ 複数(基本, 3次, 5次)の高次モードの合成により、Sinc関数形状に近い電界分布を導波路端面に形成し、フーリエ変換により、扇形ビームを形成する方法

## 扇形ビームの形成方法

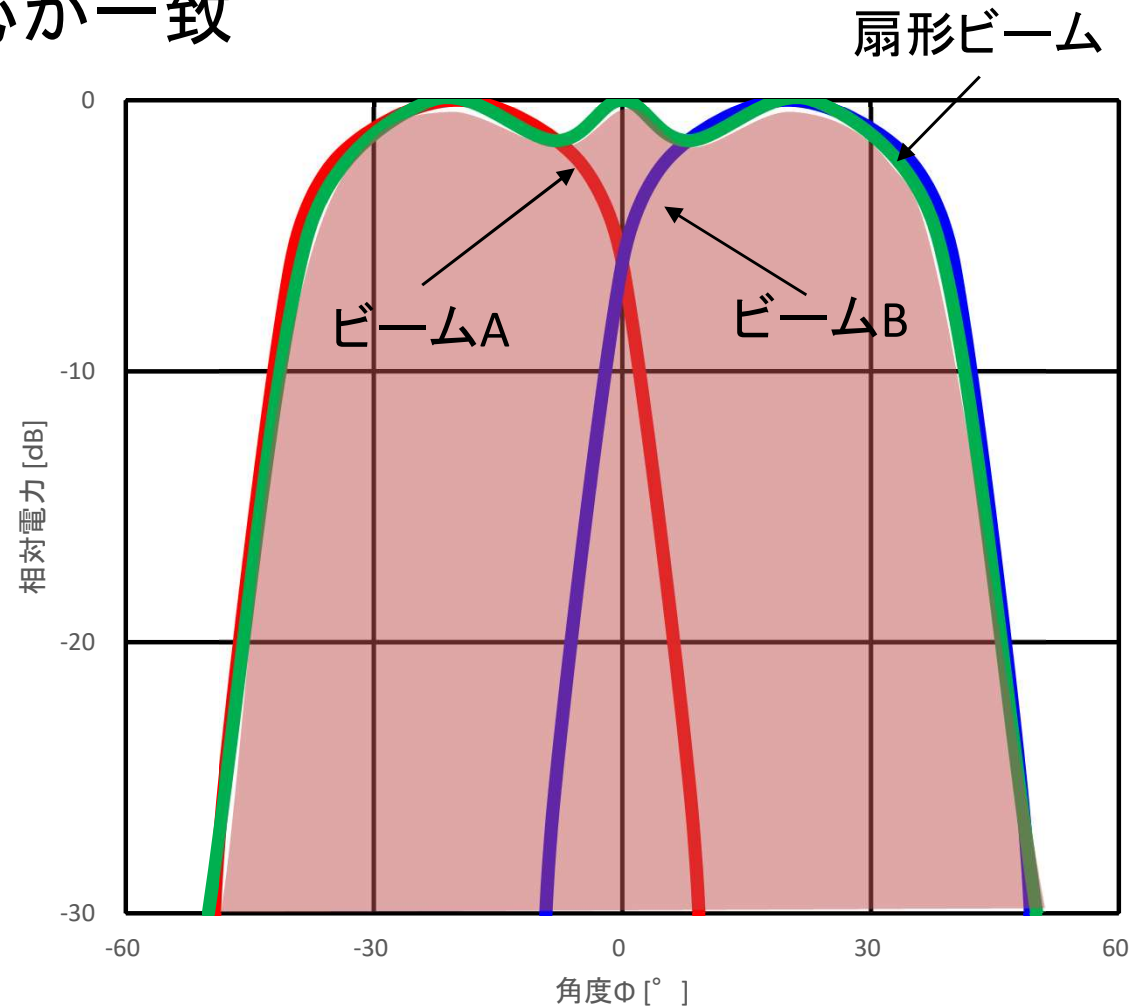
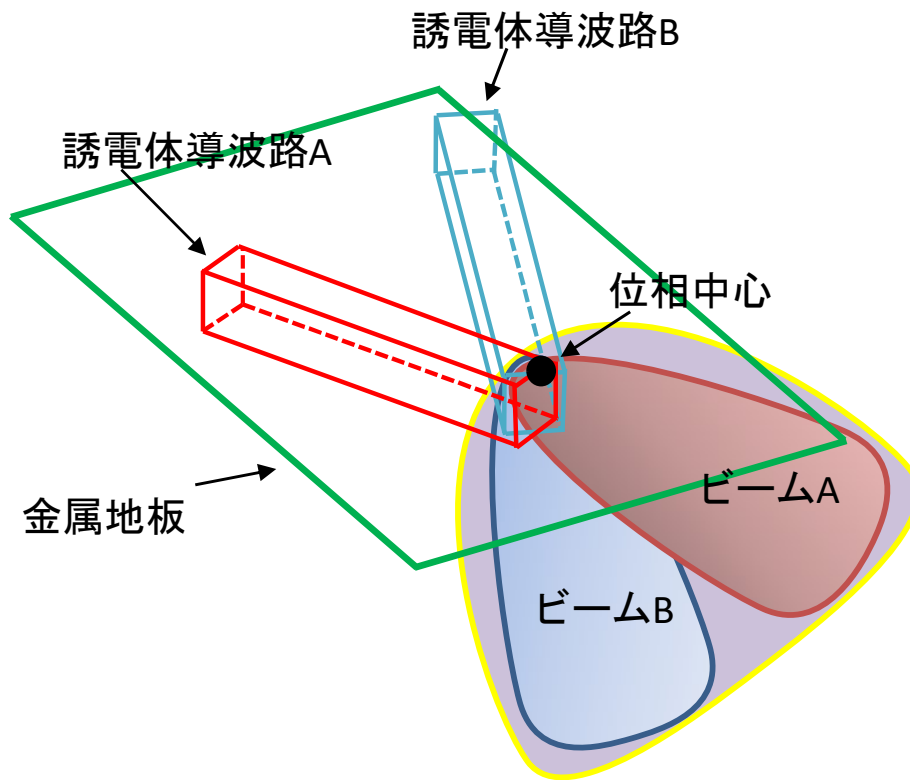
- ◇ 放射方向が異なる二本のペンシルビームを合成する方法
  - 2本の導波路から放射方向が異なるペンシルビームを放射し、空間で合成する方法
  - 基本モードと3次の高次モードの合成で「くの字状の電界分布」を導波路内に発生させ、導波路端面から2本の放射方向が異なるペンシルビームを放射させる方法
- ◇ 複数(基本, 3次, 5次)の高次モードの合成により、Sinc関数形状に近い電界分布を導波路端面に形成し、フーリエ変換により、扇形ビームを形成する方法

◇ 朝日良平, 宇山善純, “扇形ビーム双方向ビーム誘電体導波路アンテナに関する研究”, 広島工業大学工学部電気システム工学科令和2年度卒業論文, Mar. 2021.



## 理想的な扇形ビーム形成

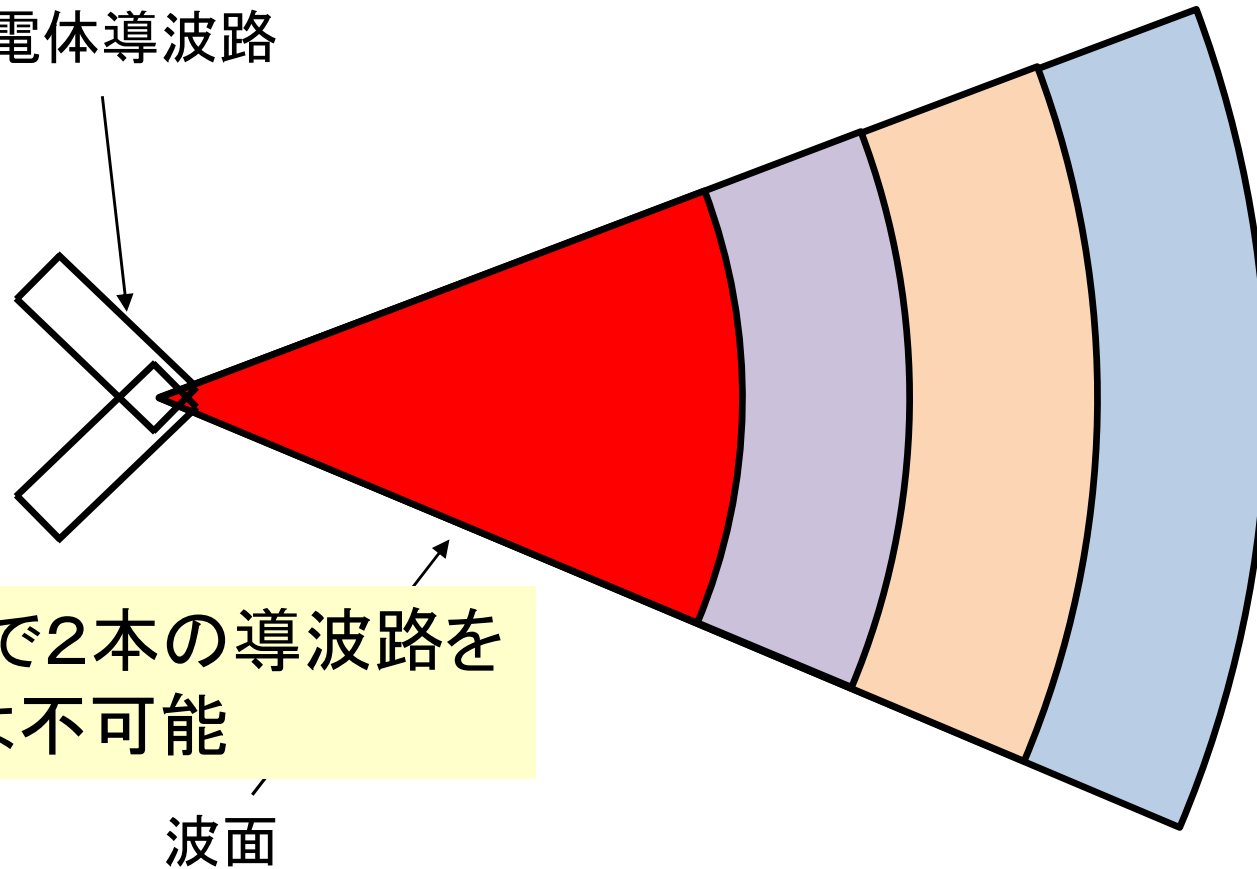
2本のビームの位相中心が一致



## 理想的な扇形ビーム形成

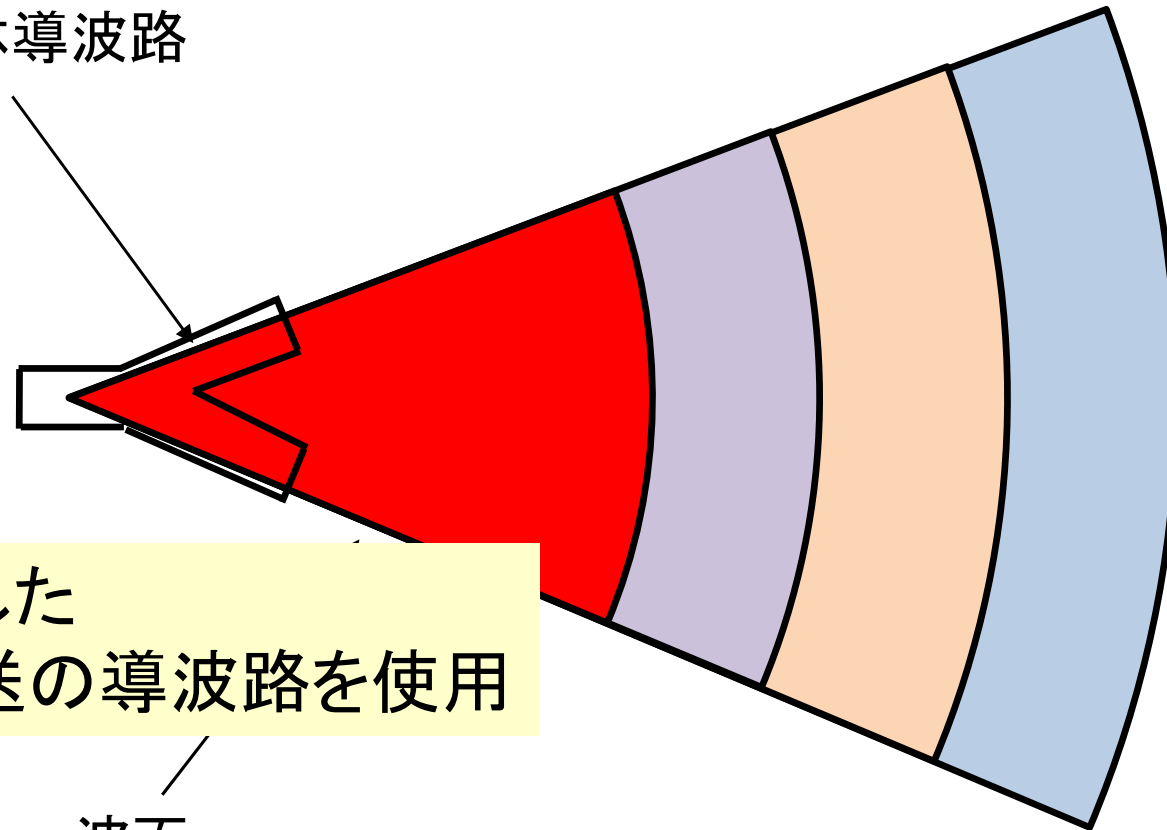
2本のビームの位相中心が一致

誘電体導波路



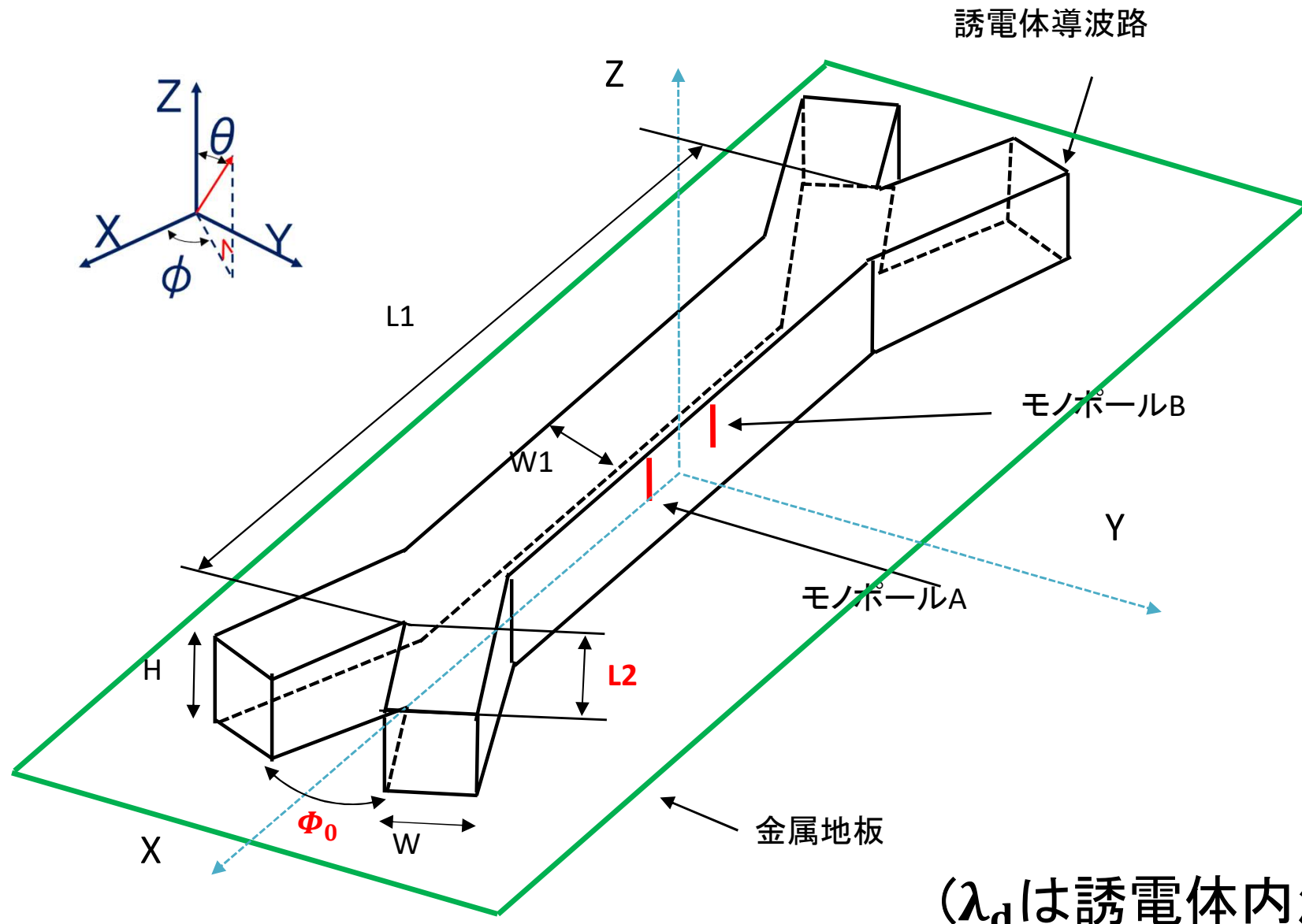
このような形で2本の導波路を配置するのは不可能

誘電体導波路



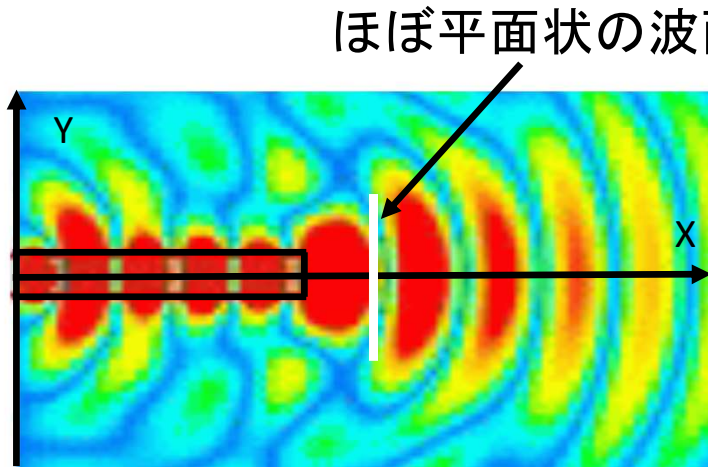
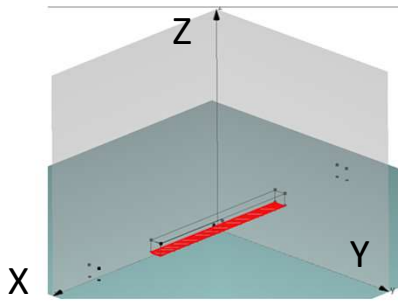
Y字形に分岐した  
基本モード伝送の導波路を使用

波面

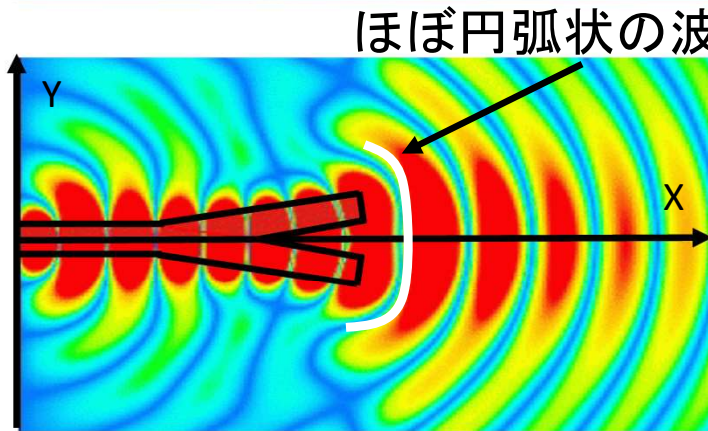
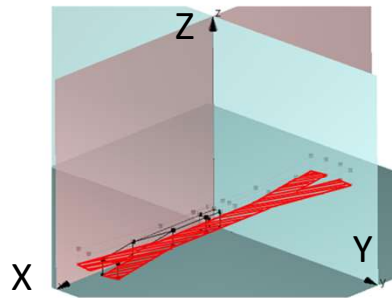


# 2本の導波路を用いる方法の電界分布

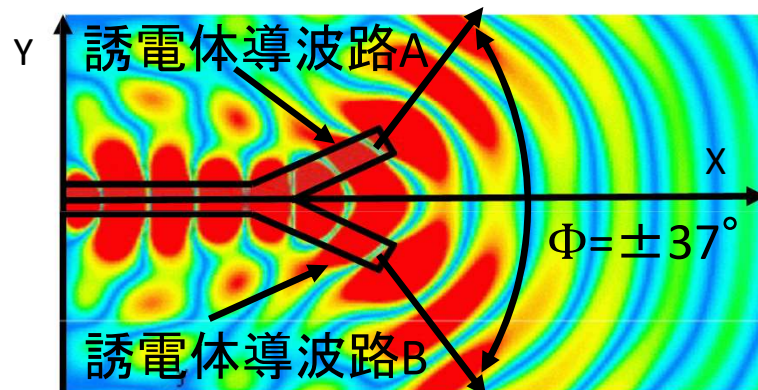
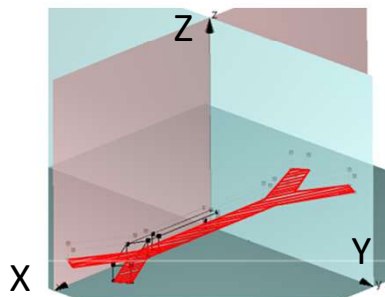
XY面 (Z=0.1mm)



寸法条件  
 $\Phi_0 = 0^\circ$



寸法条件  
L2=46mm  
 $\Phi_0 = 21^\circ$

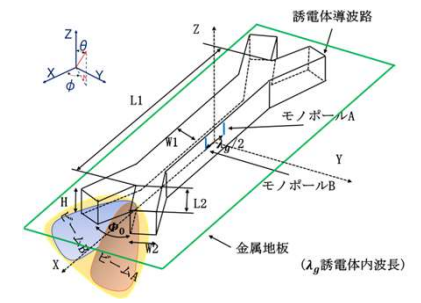
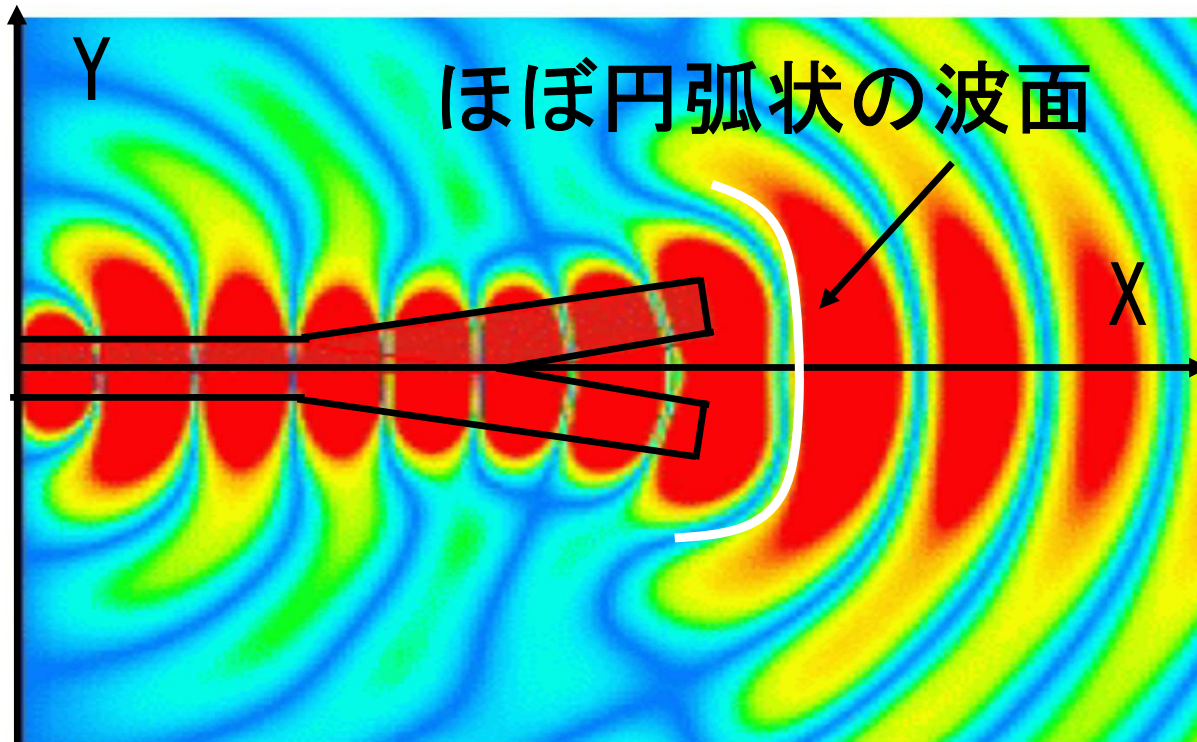


寸法条件  
L2=46mm  
 $\Phi_0 = 60^\circ$

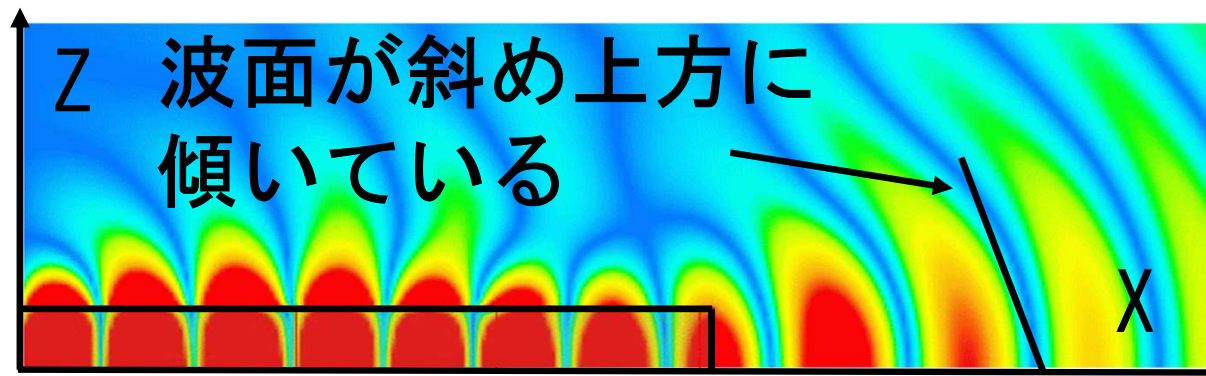
# 2本の導波路を用いる方法の電界分布

寸法条件  
 $L2=46\text{mm}$   
 $\Phi_0=21^\circ$

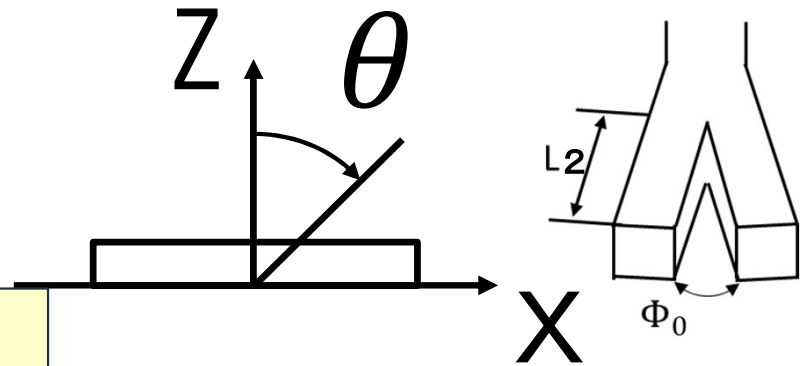
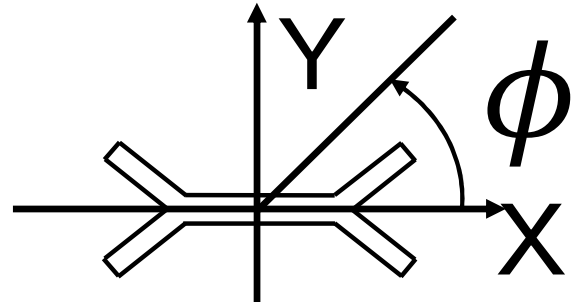
XY面  
( $Z=0.1\text{mm}$ )



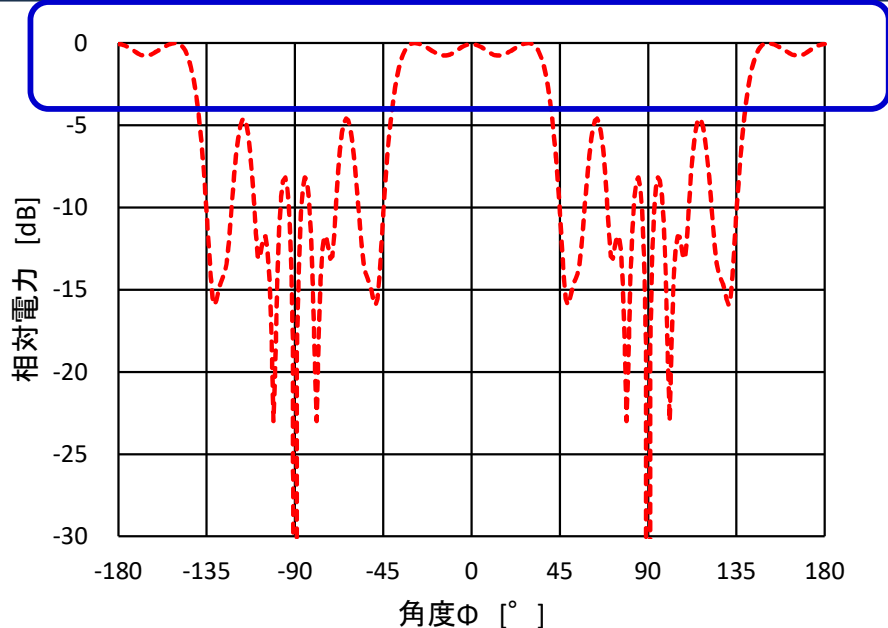
XZ面  
( $Y=0\text{mm}$ )



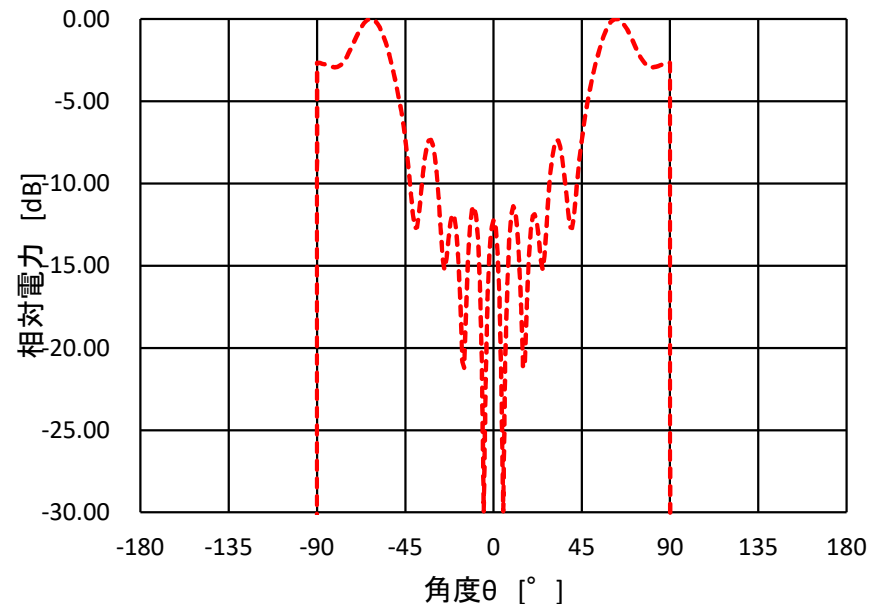
寸法条件  
L2=46mm



水平面は、扇形ビームの形成を確認

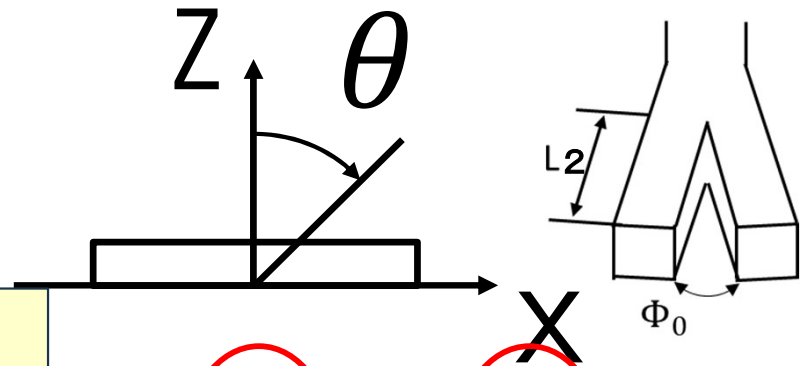
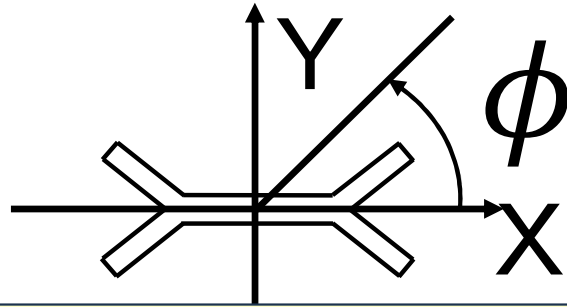


水平面  
(XY面)

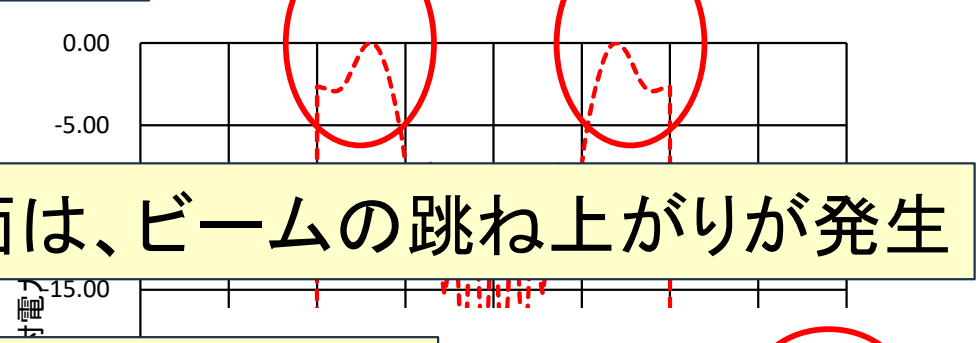
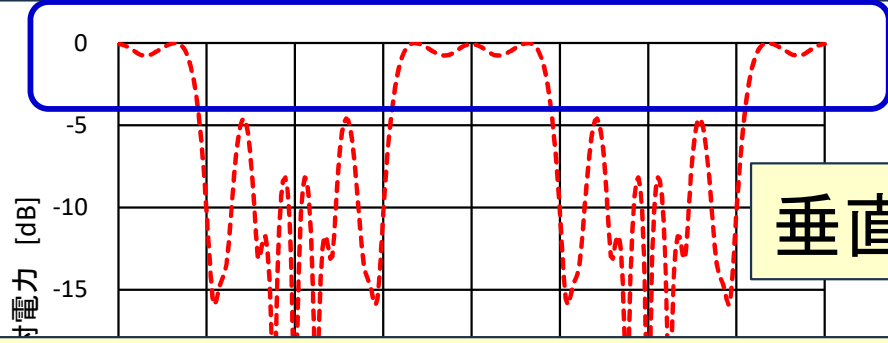


垂直面  
(XZ面)

寸法条件  
 $L2=46\text{mm}$

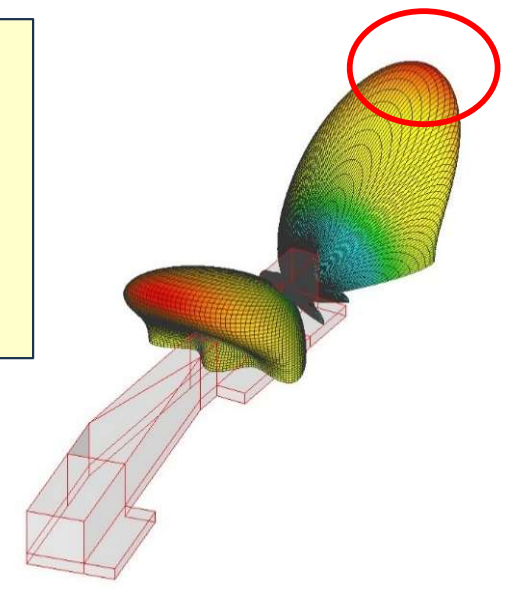


水平面は、扇形ビームの形成を確認



垂直面は、ビームの跳ね上がりが発生

導波路の管内波長と自由空間波長の違いによる  
ビーム指向方向の跳ね上がり現象が発生  
導波路の長さが長すぎた！！



水平面  
(XY面)

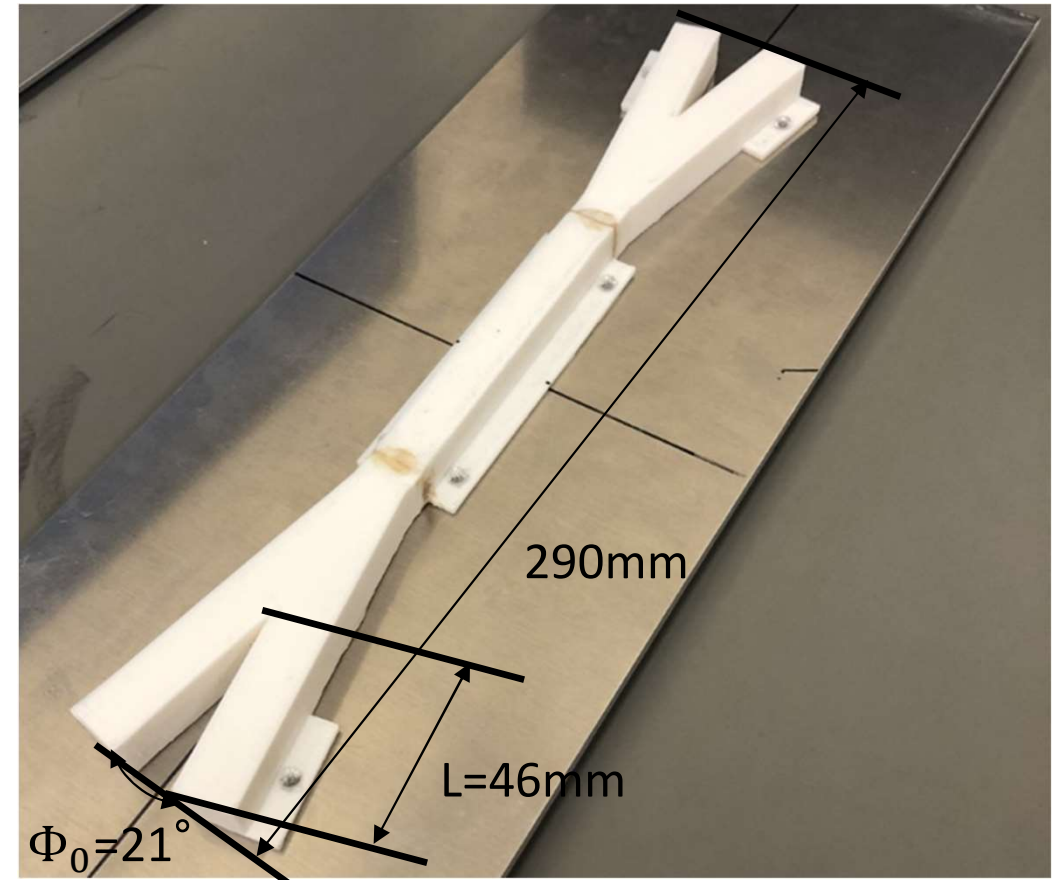


## 試作アンテナ

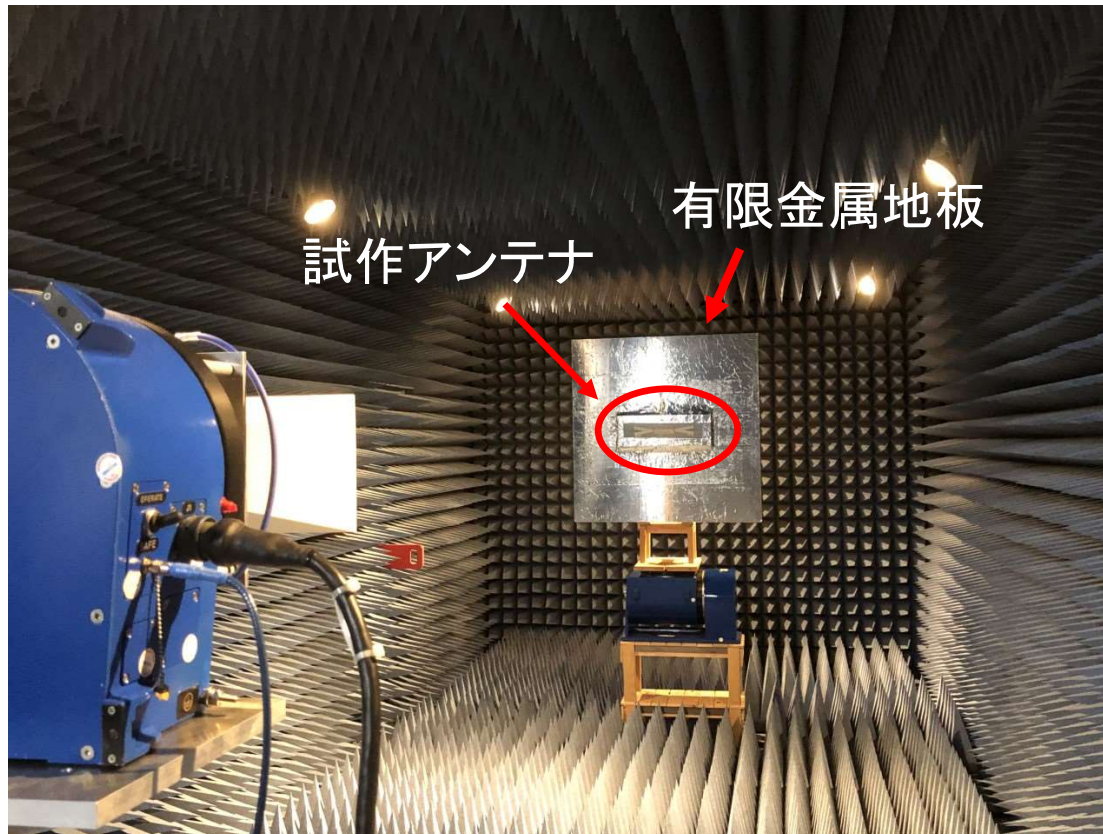
### ● 試作条件

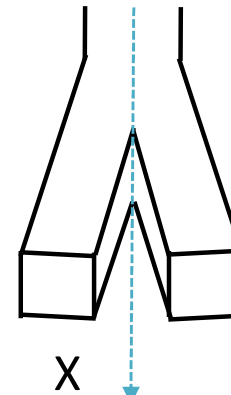
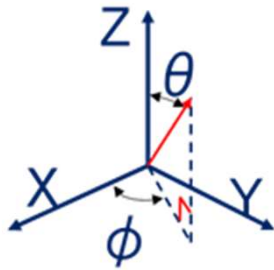
誘電体導波路の素材は  
ポリ乳酸 ( $\epsilon_r=2.75$ ) を使用

	単位	寸法
誘電体導波路	分岐先の長さL[mm]	46
	開き角 $\Phi_0$ [°]	21

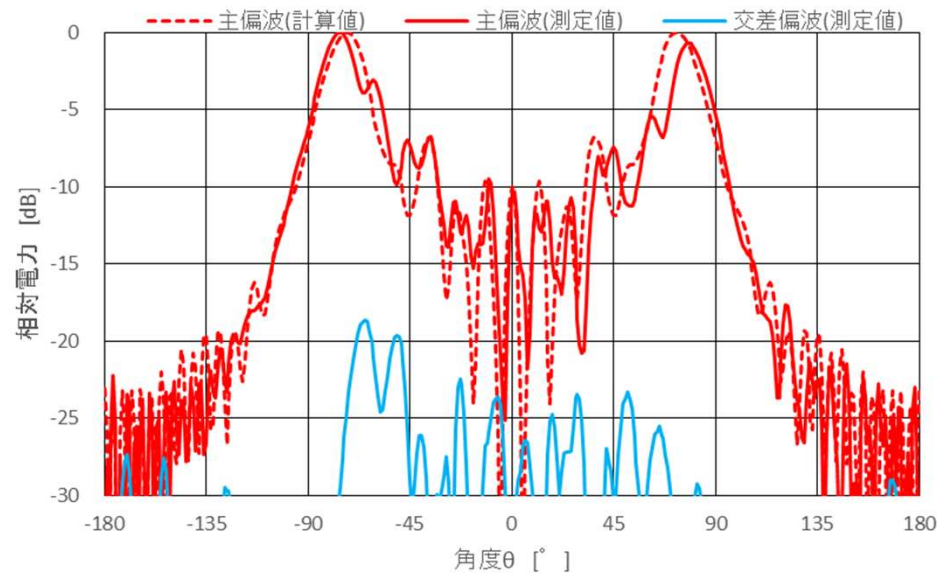


有限金属地板(縦910mm×横910mm)の中央に  
試作アンテナを設置

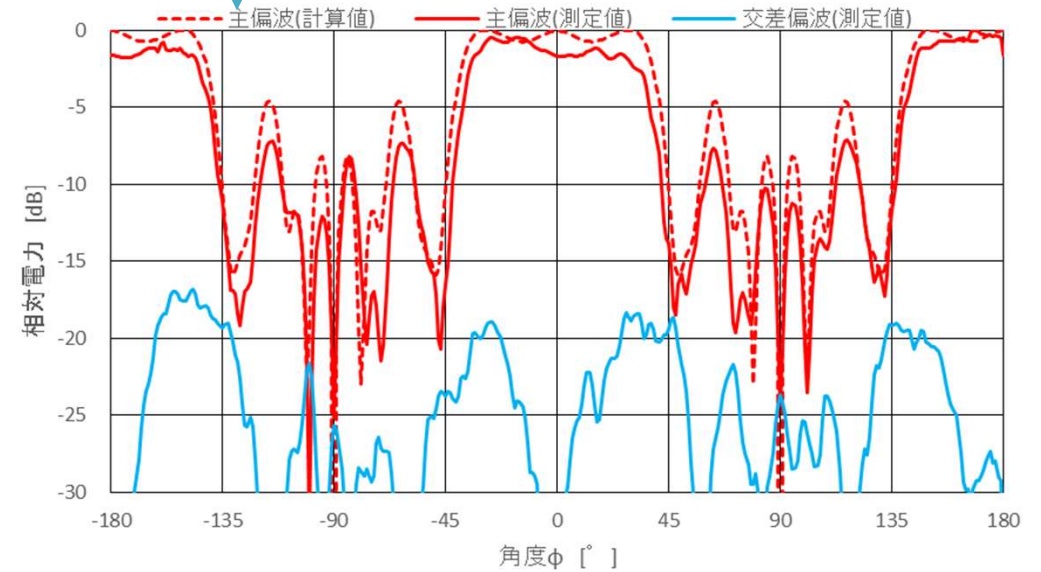




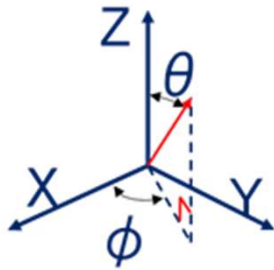
寸法条件  
 $L=46\text{mm}$   
 $\Phi_0=21^\circ$



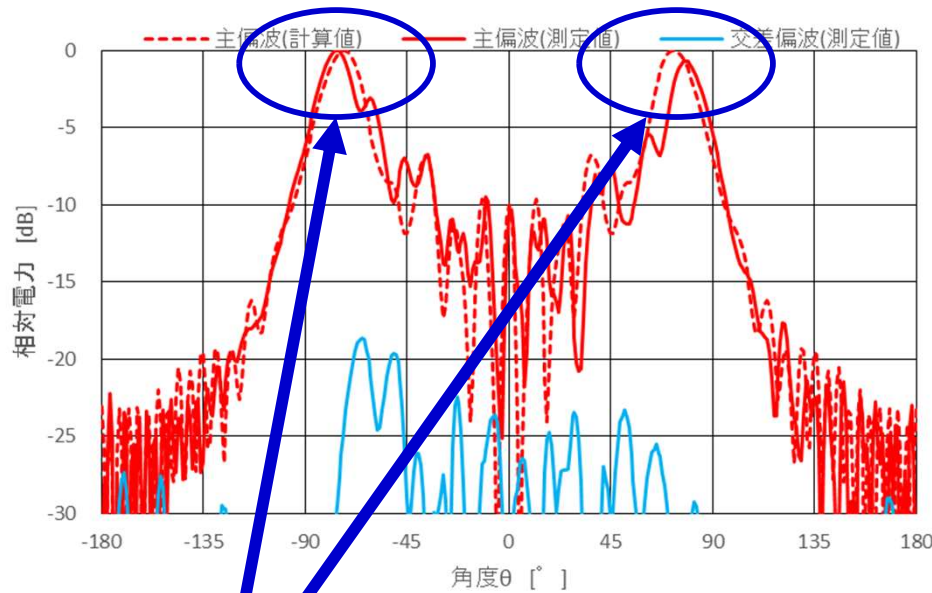
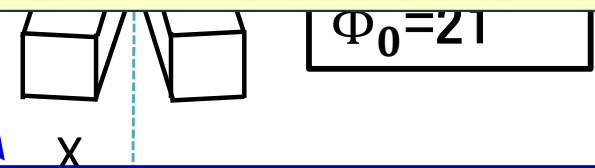
垂直面



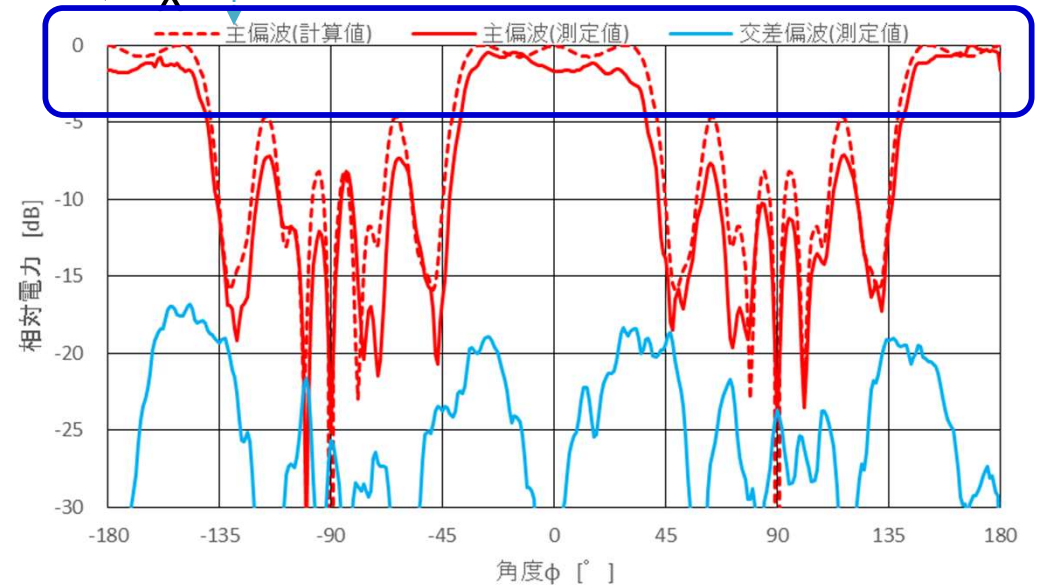
水平面



ビーム形状に非対称はあるが、  
測定値においても扇形ビームの形成を確認



垂直面



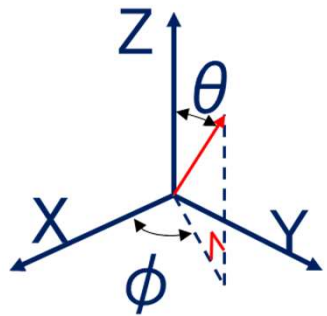
水平面

導波路の管内波長と自由空間波長の違いによる  
ビーム指向方向の跳ね上がりが発生

## 扇形ビームの形成方法

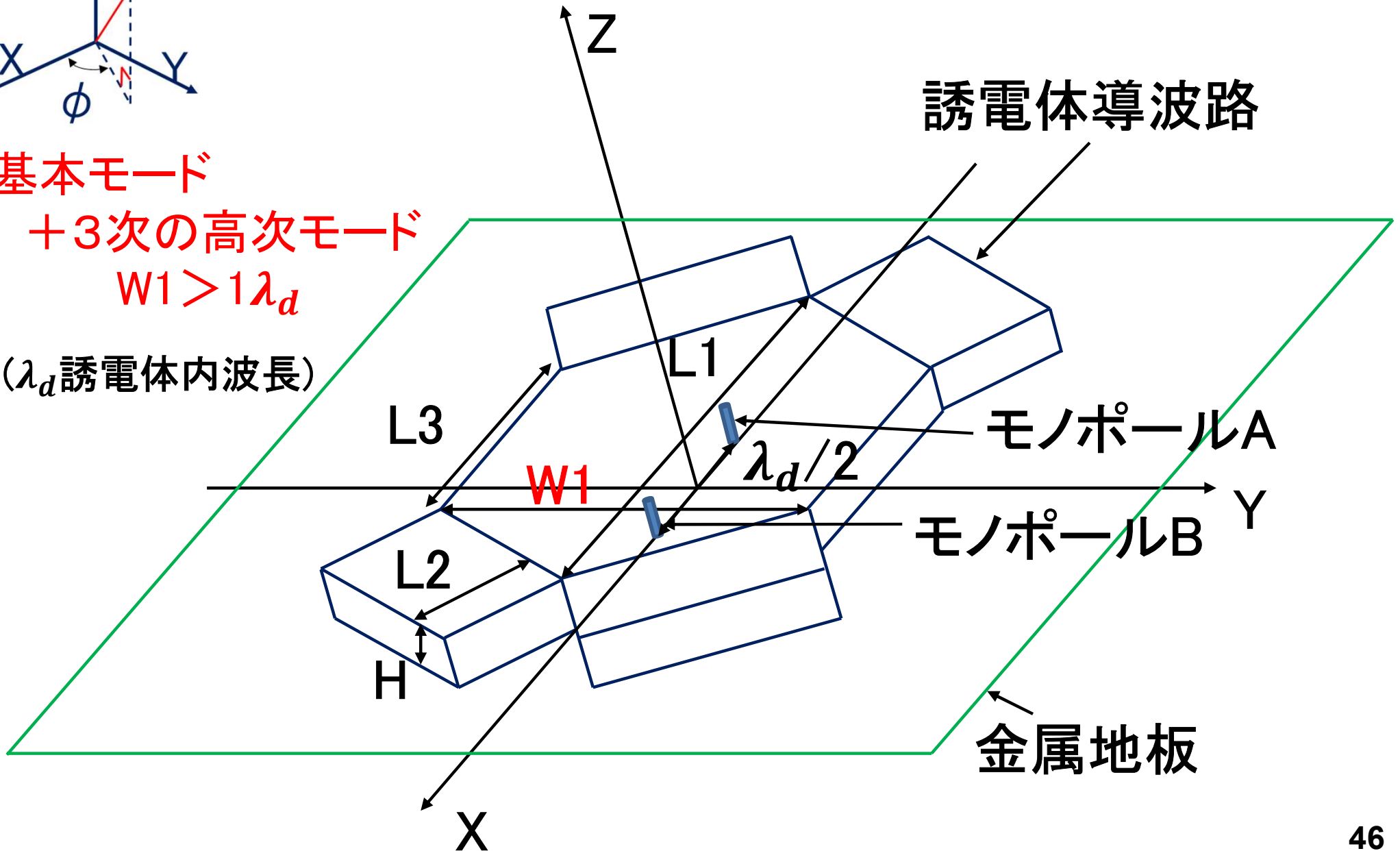
- ◇ 放射方向が異なる二本のビームを合成する方法
  - 2本の導波路から放射方向が異なるペンシルビームを放射し、空間で合成する方法
  - **基本モードと3次の高次モードの合成で「くの字状の電界分布」を導波路内に発生させ、導波路端面から2本の放射方向が異なるペンシルビームを放射させる方法**
- ◇ 複数(基本, 3次, 5次)の高次モードの合成により、Sinc関数形状に近い電界分布を導波路端面に形成し、フーリエ変換により、扇形ビームを形成する方法

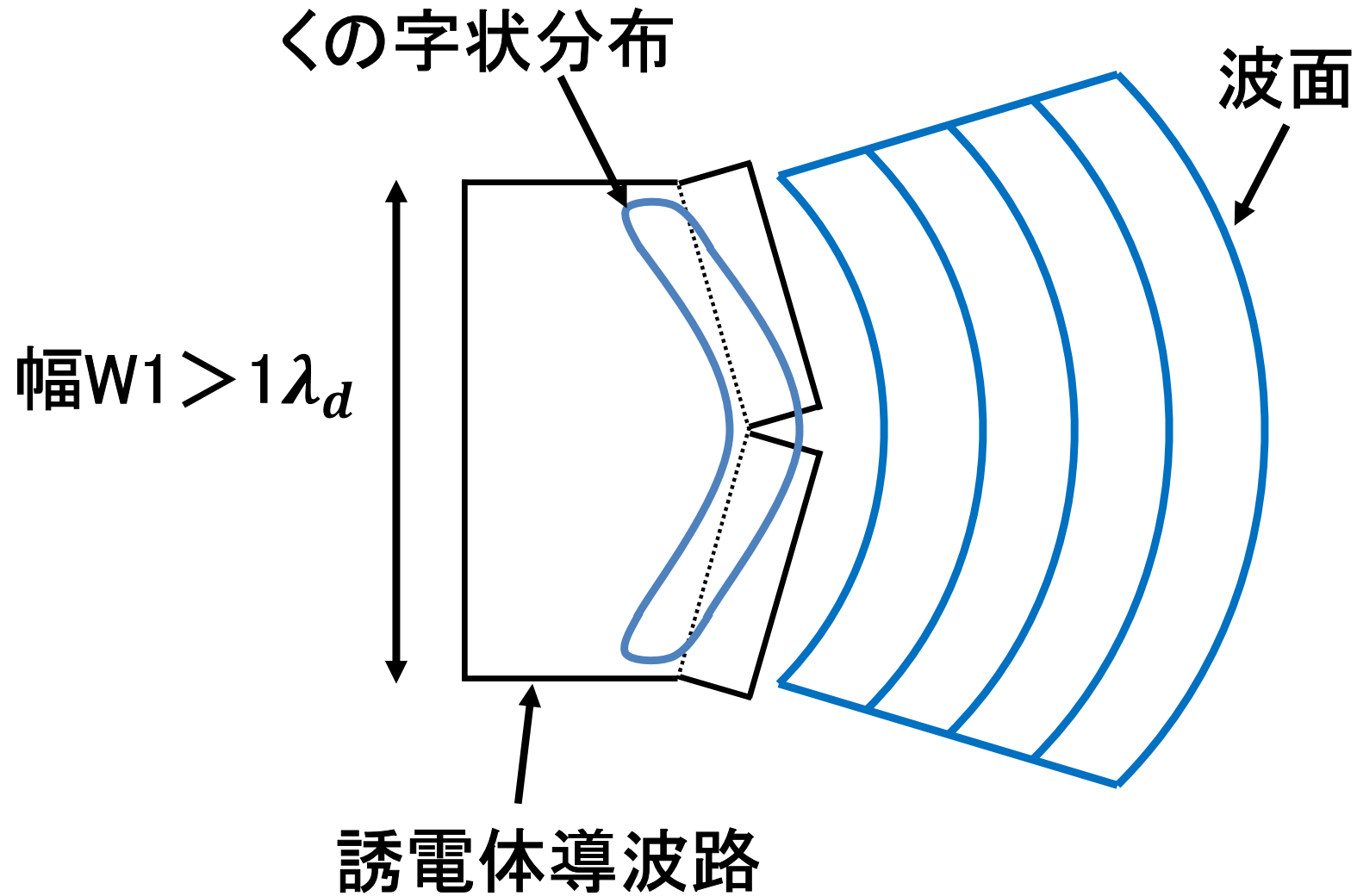
◇ 佐伯啓太, “扇形双方向ビーム誘電体導波路アンテナに関する研究”,  
広島工業大学大学院電気電子工学専攻令和3年度修士論文, Feb. 2022.

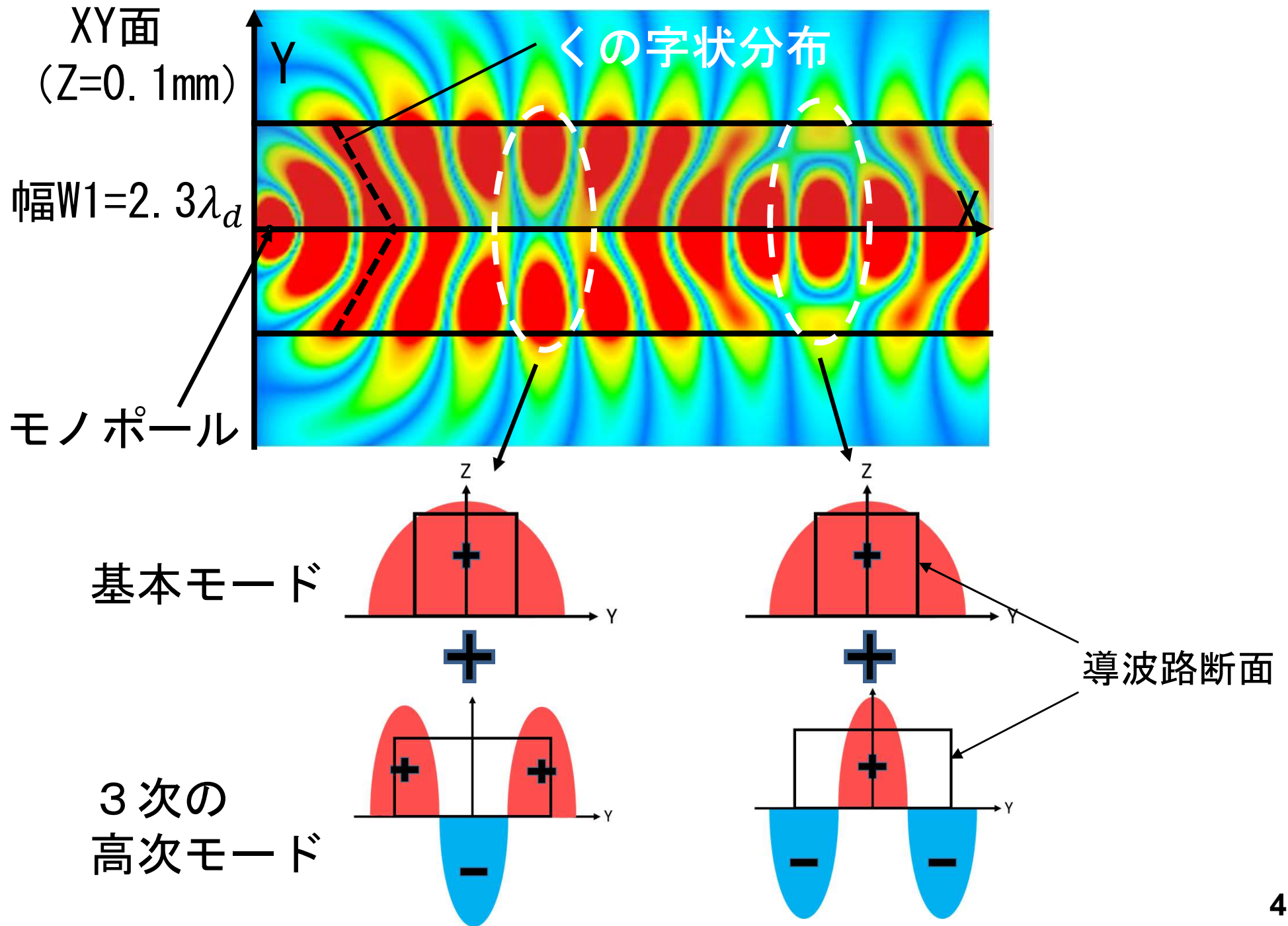


基本モード  
+ 3次の高次モード  
 $W1 > 1\lambda_d$

( $\lambda_d$ 誘電体内波長)



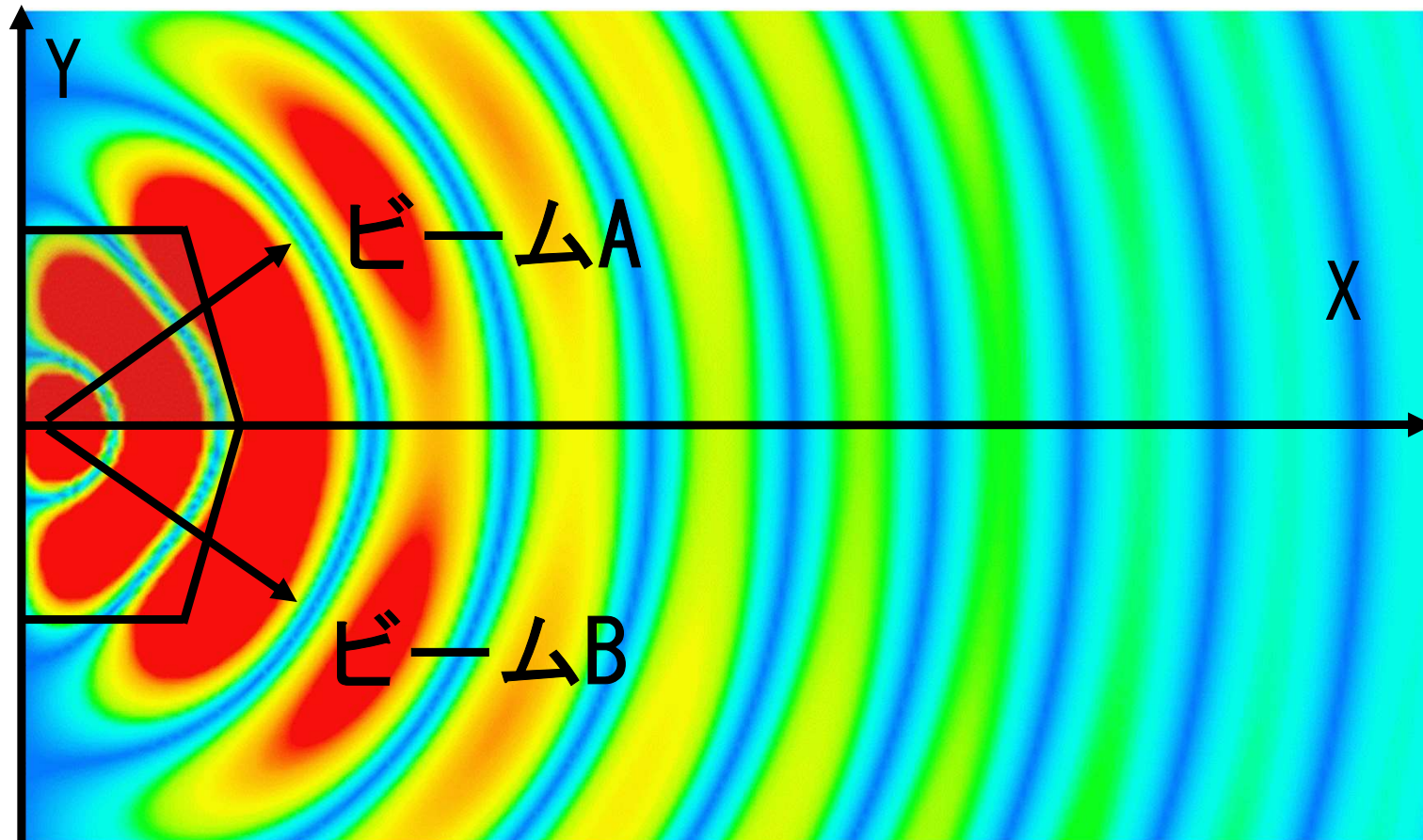






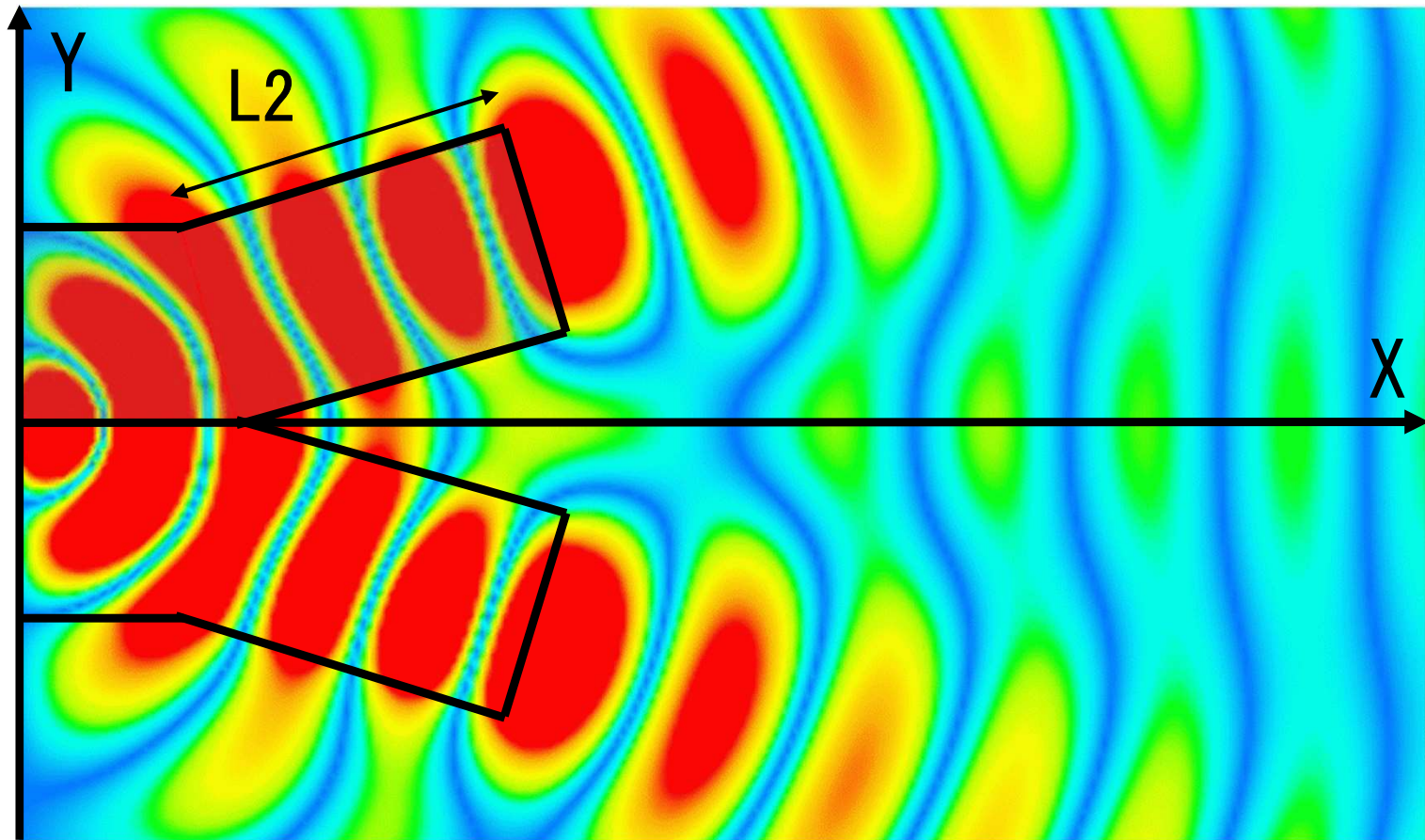
XY面  
( $Z=0.1\text{mm}$ )

寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W = 70\text{mm}$   
 $H = 10\text{mm}$   
 $L1 = 80\text{mm}$   
 $L3 = 60\text{mm}$



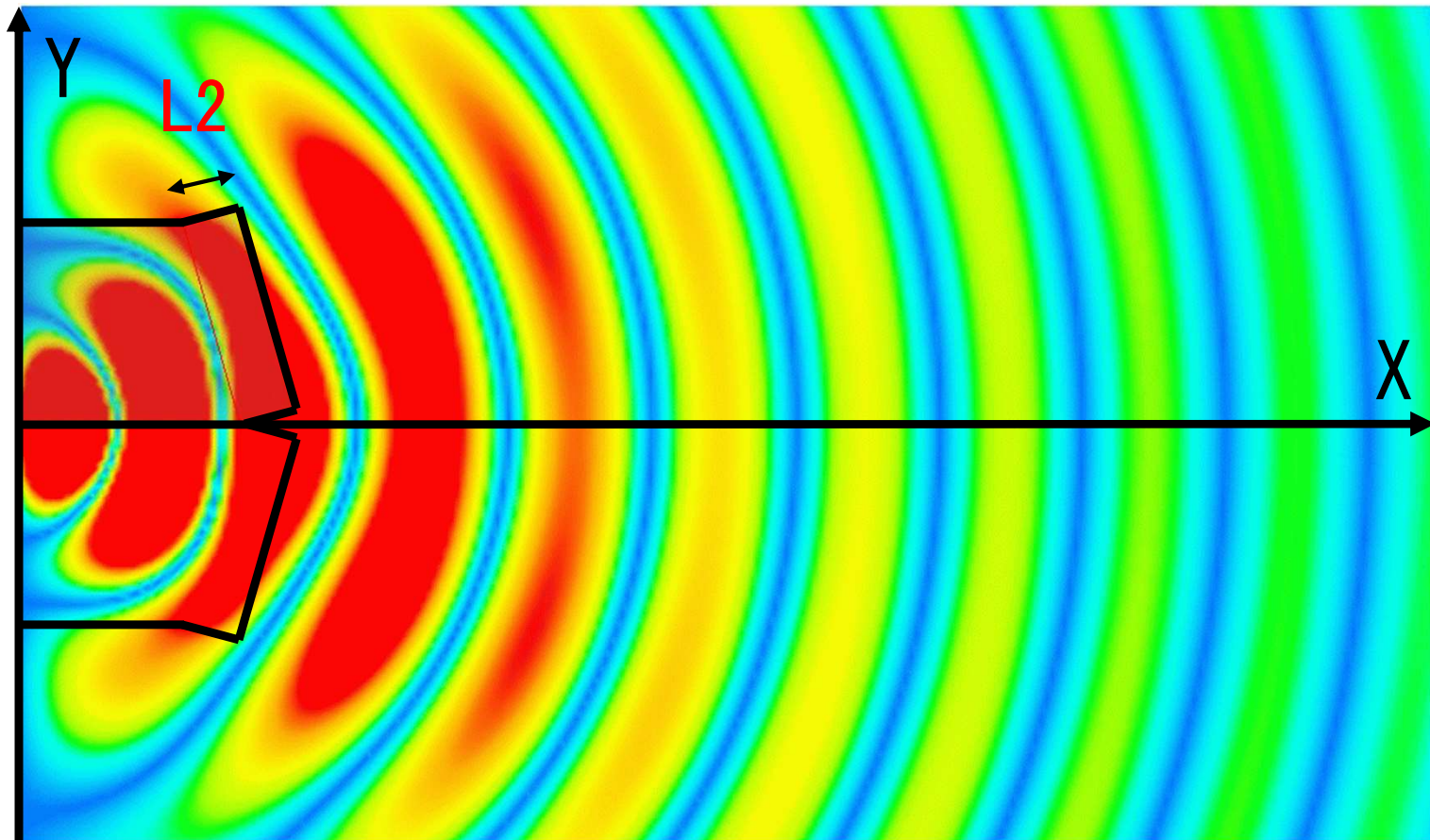
XY面  
( $Z=0.1\text{mm}$ )

寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W = 70\text{mm}$   
 $H = 10\text{mm}$   
 $L1 = 80\text{mm}$   
 $L2 = 60\text{mm}$   
 $L3 = 60\text{mm}$

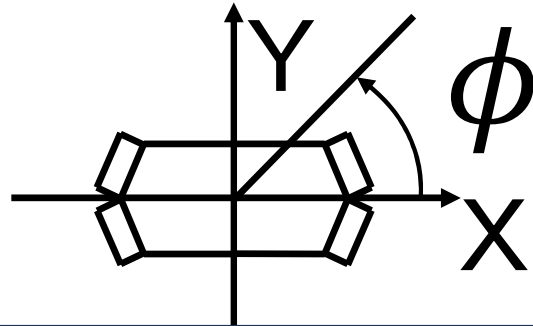


XY面  
( $Z=0.1\text{mm}$ )

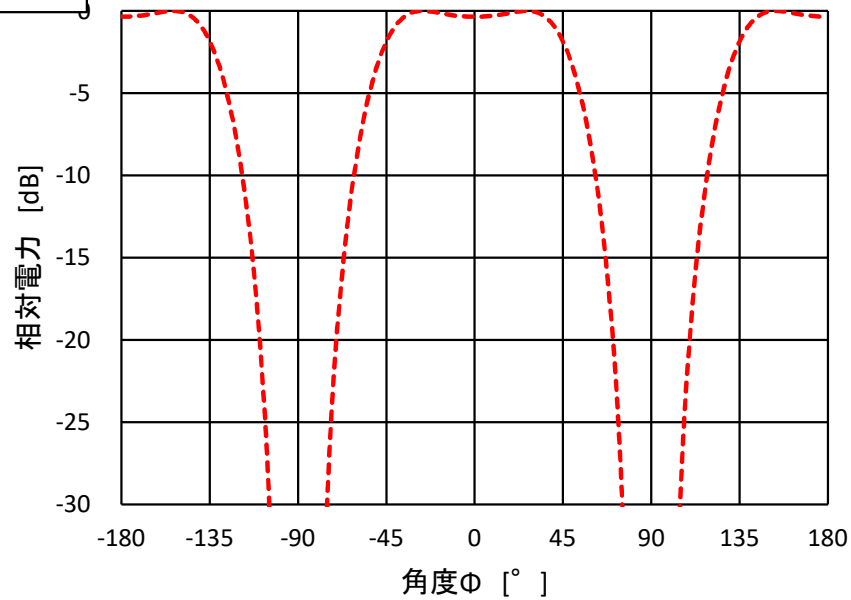
寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W=70\text{mm}$   
 $H=10\text{mm}$   
 $L1=80\text{mm}$   
 $L2=10\text{mm}$   
 $L3=60\text{mm}$



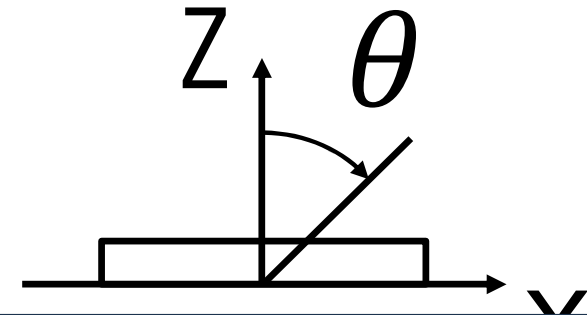
寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W = 70\text{mm}$   
 $H = 10\text{mm}$   
 $L1 = 80\text{mm}$   
 $L2 = 10\text{mm}$   
 $L3 = 60\text{mm}$



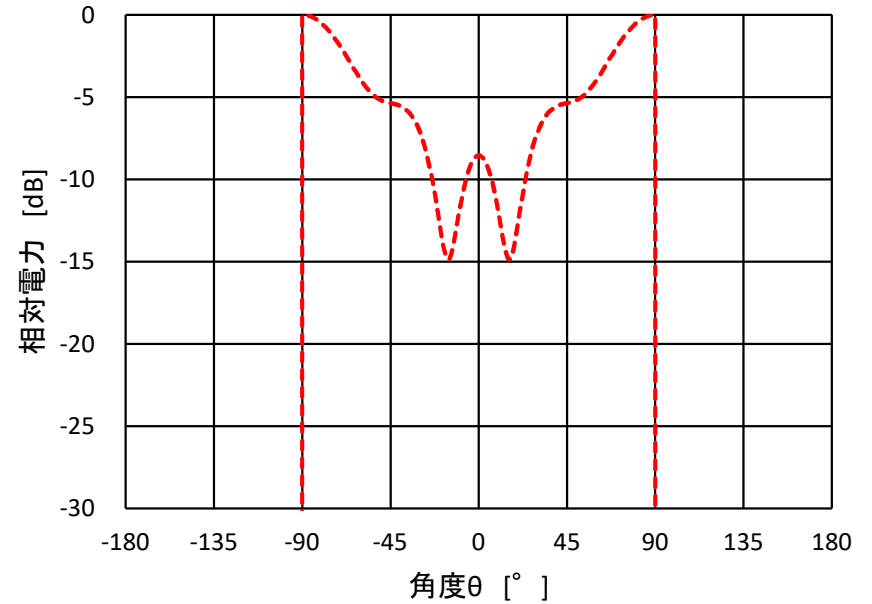
扇形ビームの形成を確認



水平面

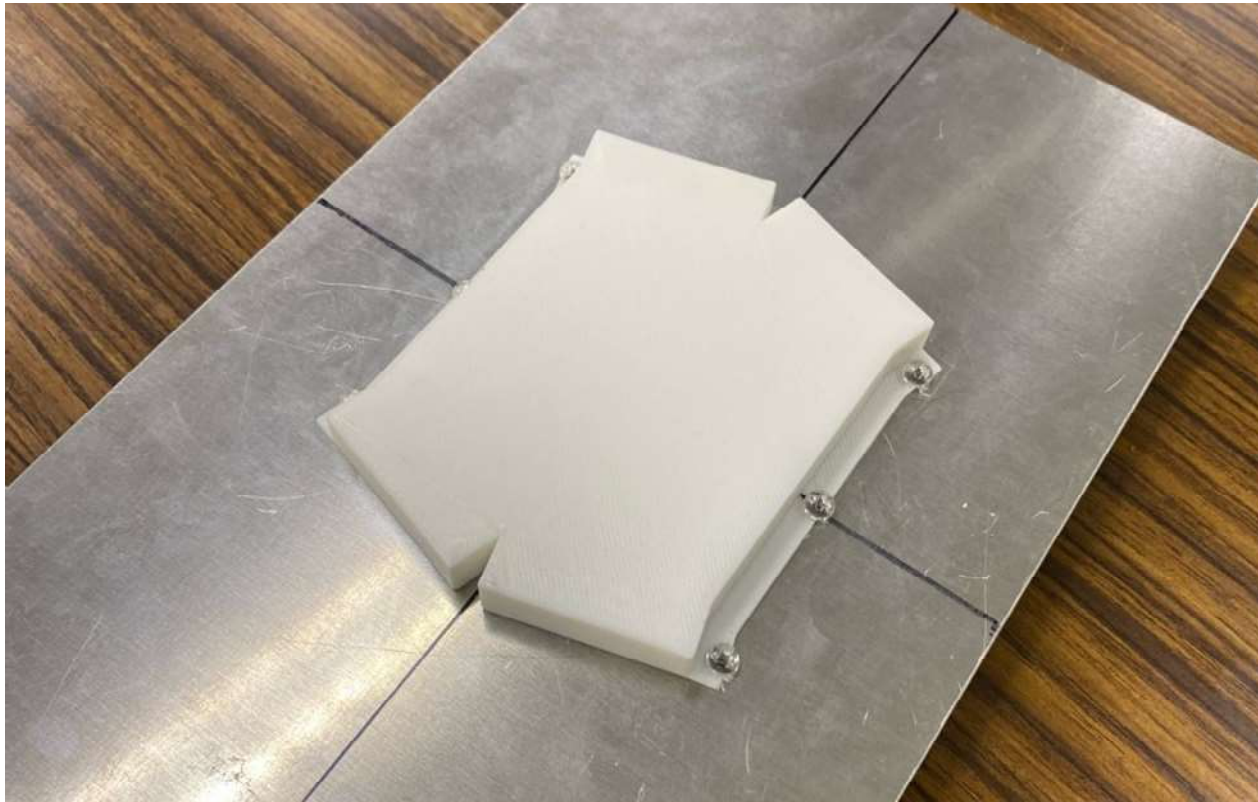


ビームの跳ね上がりもなし

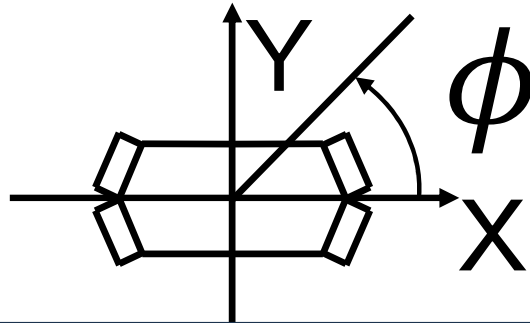
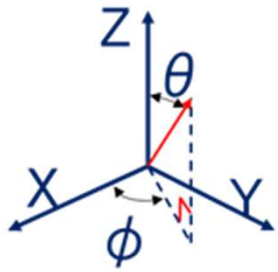


垂直面

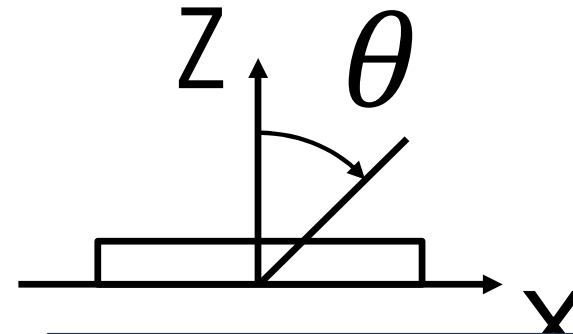
誘電体導波路の素材は  
ポリ乳酸 ( $\epsilon_r=2.75, \tan \delta =0.01$ ) を使用



周波数	L1 [mm]	L2 [mm]	L3 [mm]	W1 [mm]	H [mm]
6.0GHz	80	10	60	70	10

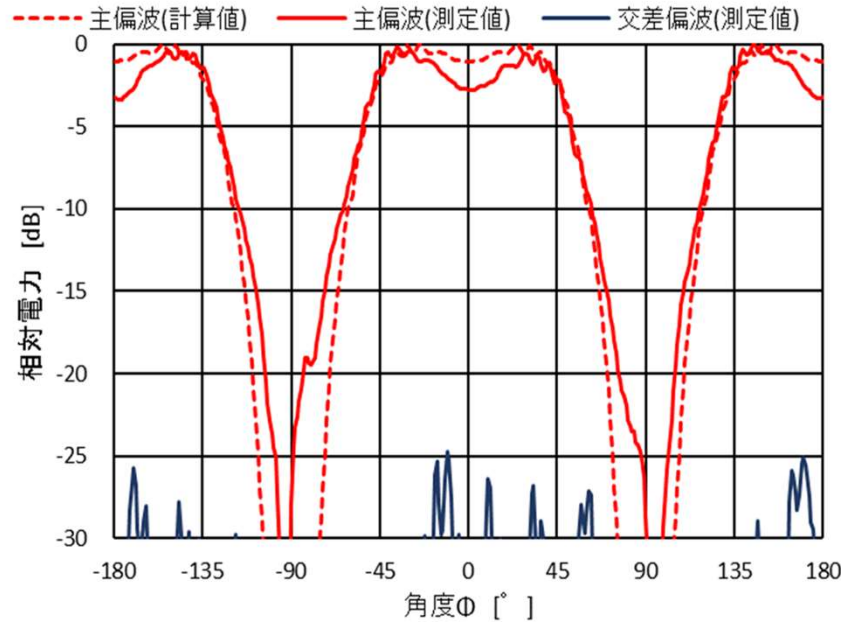


寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W = 70\text{mm}$   
 $H = 10\text{mm}$   
 $L1 = 80\text{mm}$   
 $L2 = 10\text{mm}$

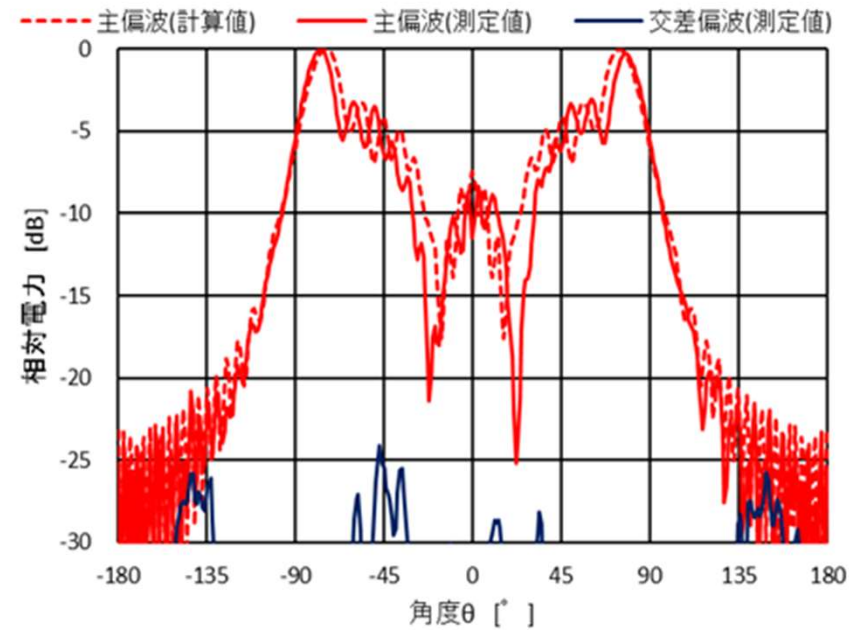


扇形ビームの形成を確認

ビームの跳ね上がりもなし



水平面



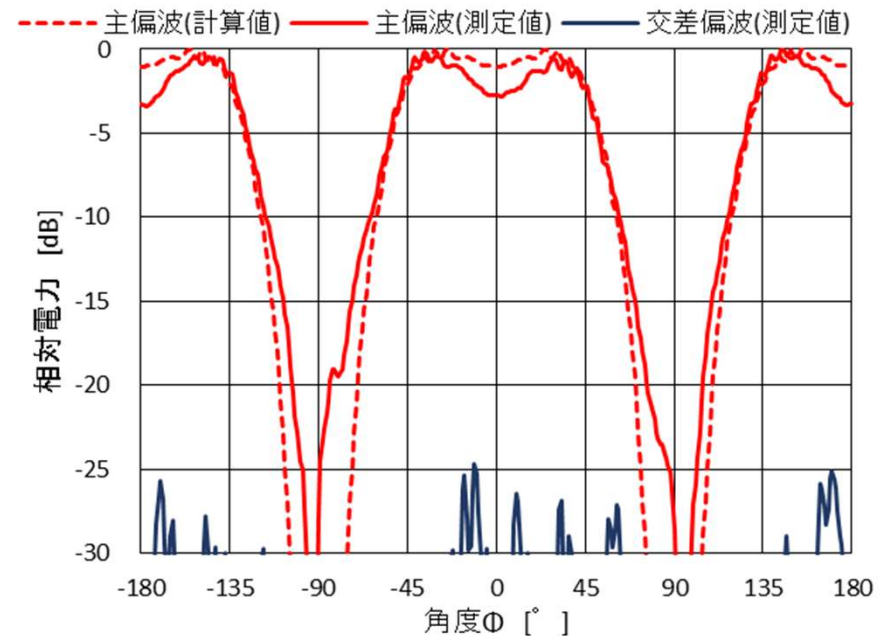
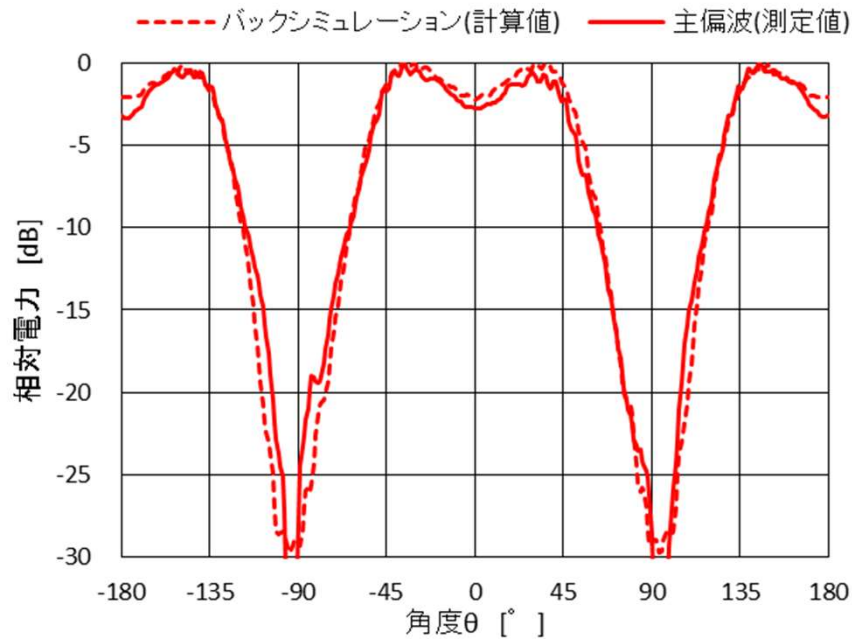
垂直面

## バックシミュレーション

励振電圧 +1.00V、-0.95V  
比誘電率 2.5

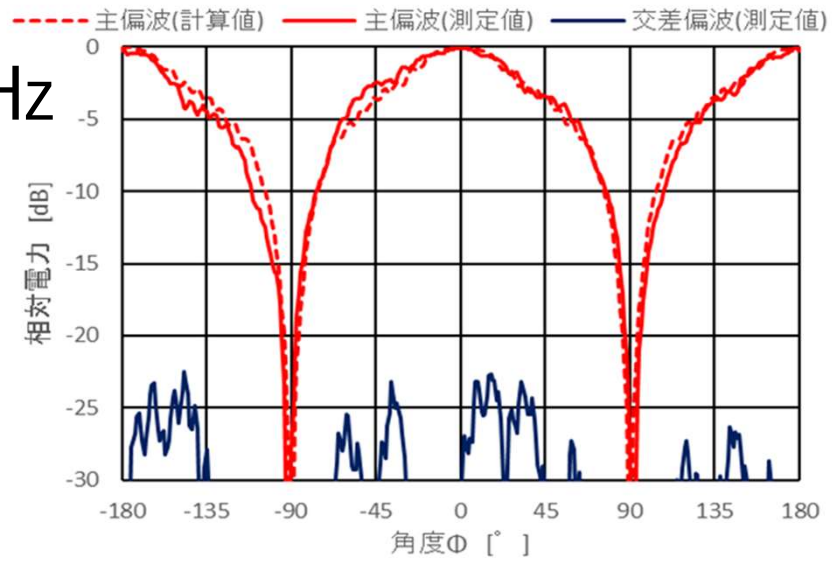
## 設計条件での放射指向性

励振電圧 +1.00V、-1.00V  
比誘電率 2.75

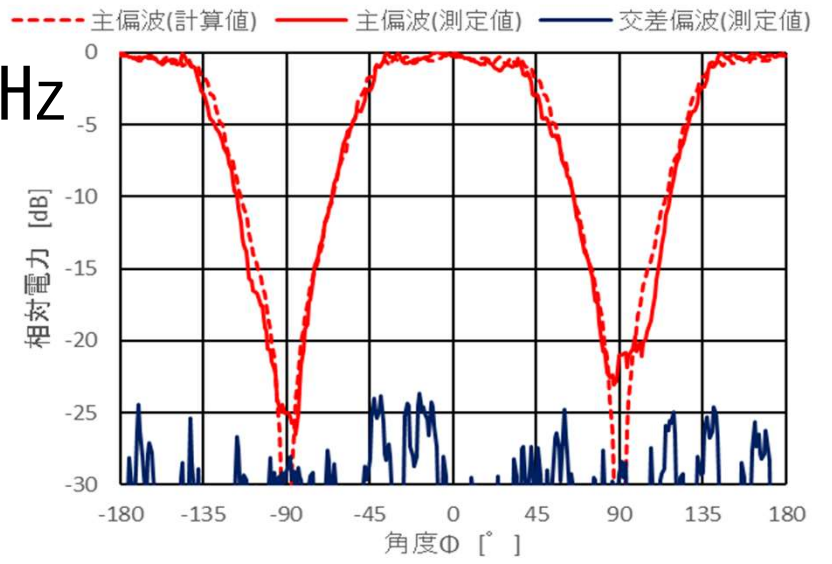


比帯域 10% 程度の周波数範囲で扇形ビームが形成できる。

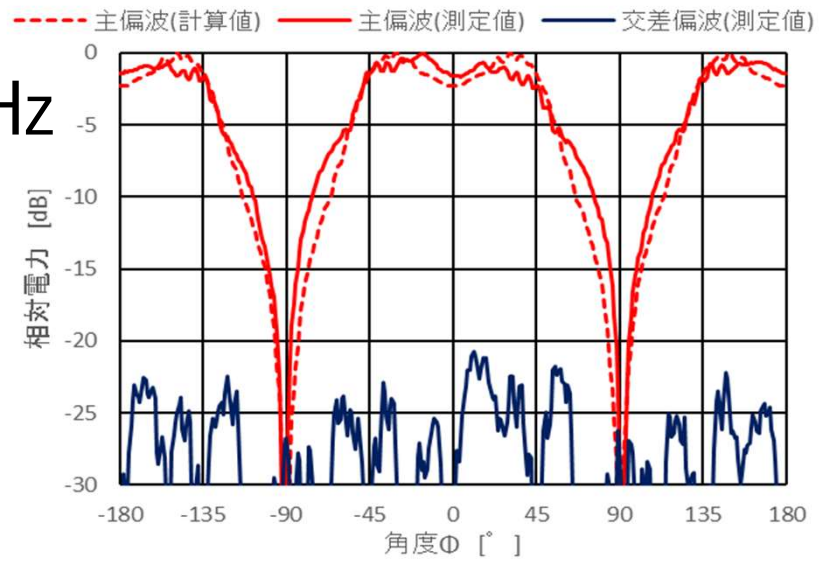
### 5. 0GHz



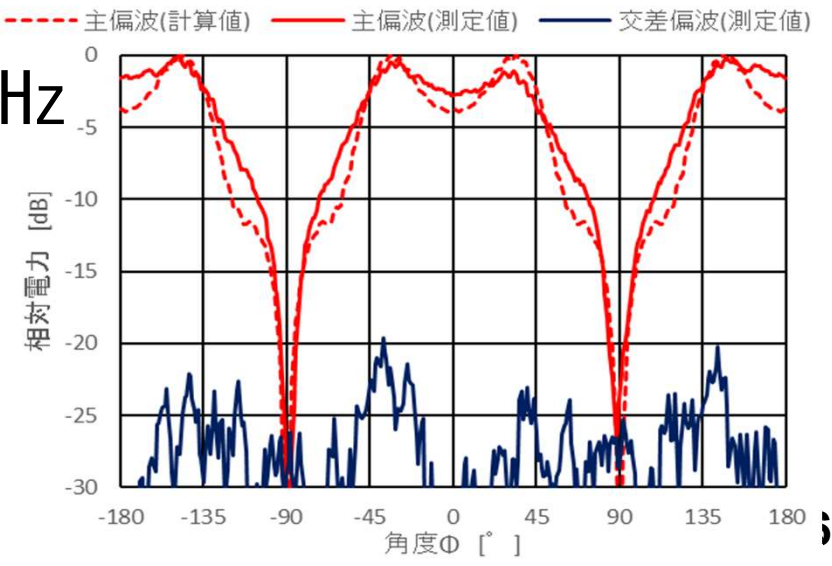
### 6. 4GHz



### 5. 6GHz



### 7. 0GHz

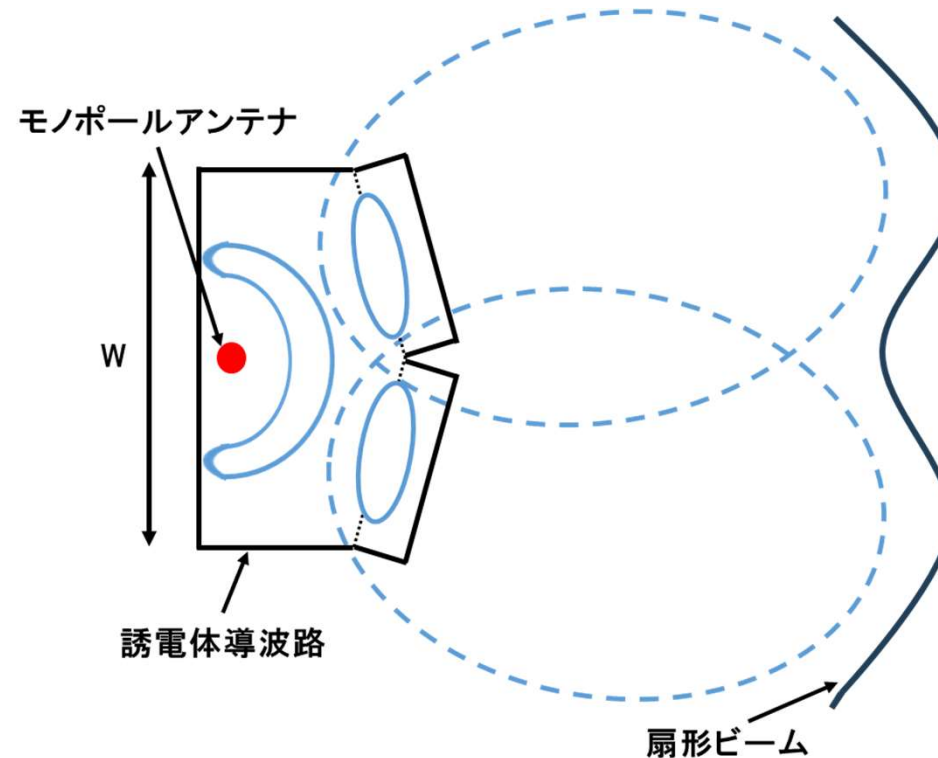




## 扇形ビームの形成方法

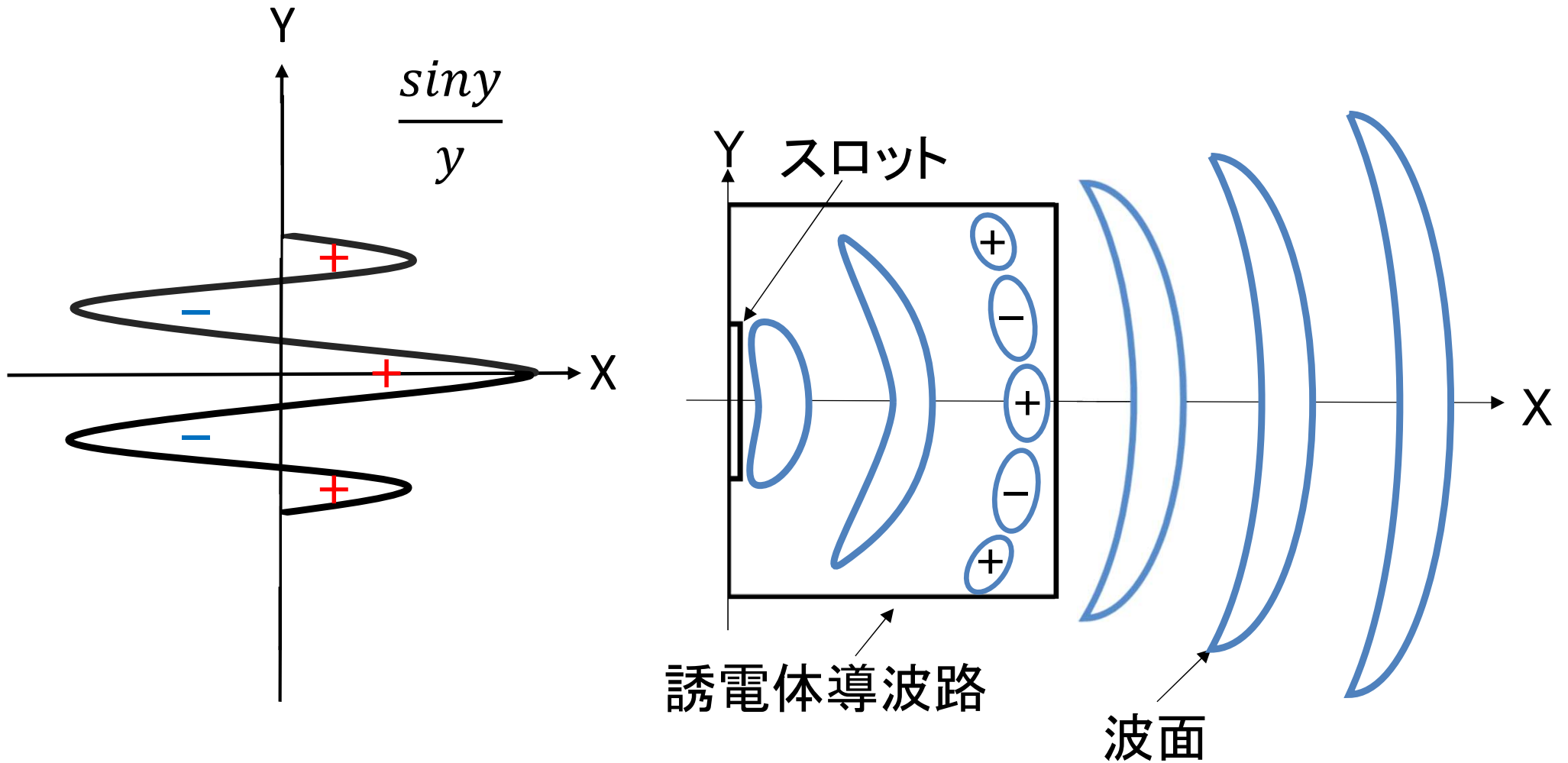
- ◇ 放射方向が異なる二本のビームを合成する方法
  - 2本の導波路から放射方向が異なるペンシルビームを放射し、空間で合成する方法
  - 基本モードと3次の高次モードの合成で「くの字状の電界分布」を導波路内に発生させ、導波路端面から2本の放射方向が異なるペンシルビームを放射させる方法
- ◇ 複数(基本, 3次, 5次)の高次モードの合成により、Sinc関数形状に近い電界分布を導波路端面に形成し、フーリエ変換により、扇形ビームを形成する方法

高次モードにより「くの字状」の電界分布を発生させ、  
導波路開口面から二つの異なる角度のビームを  
放射させることで扇形ビームを形成



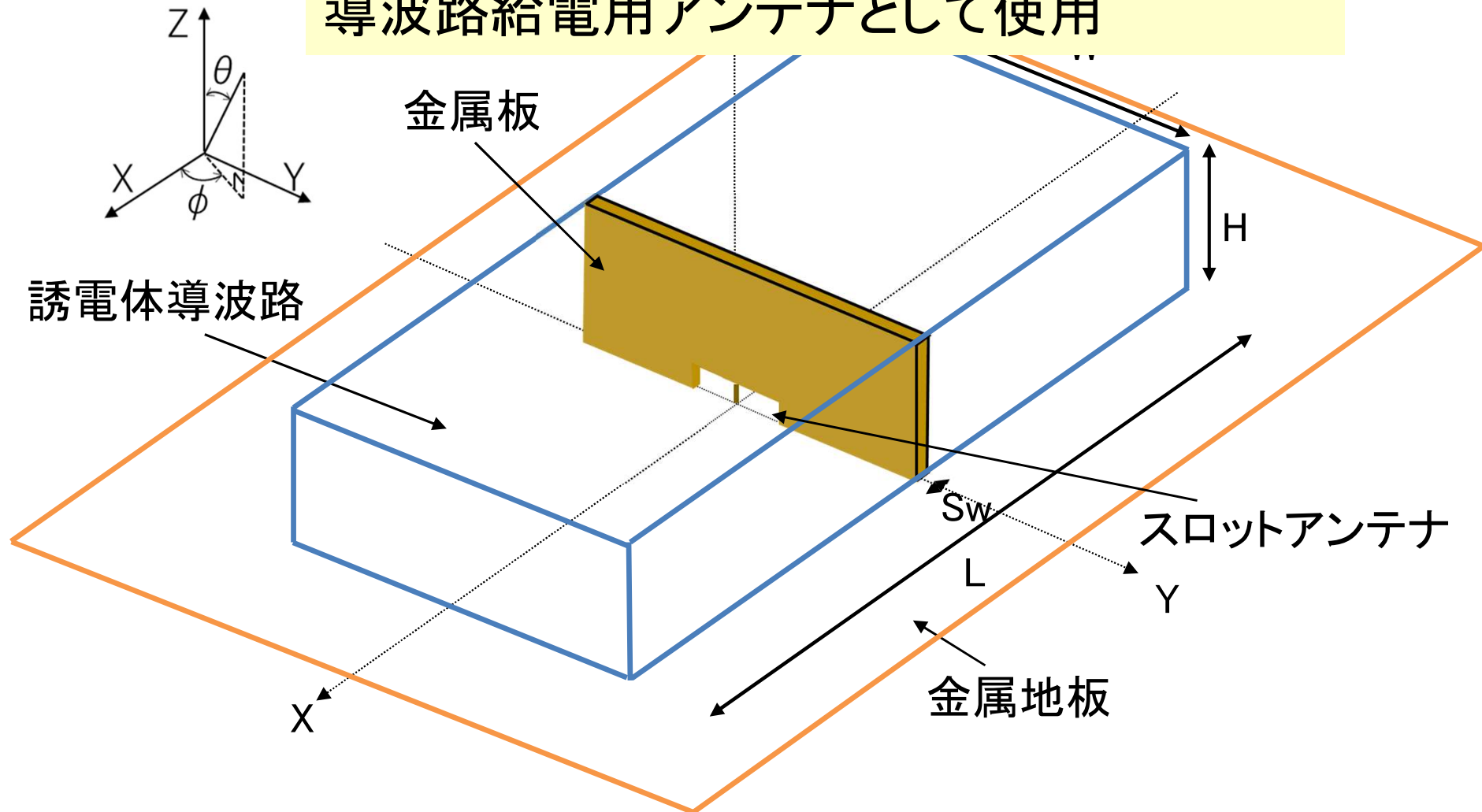
角度範囲が $\pm 45^\circ$ 程度の幅の広いビームしか作れない

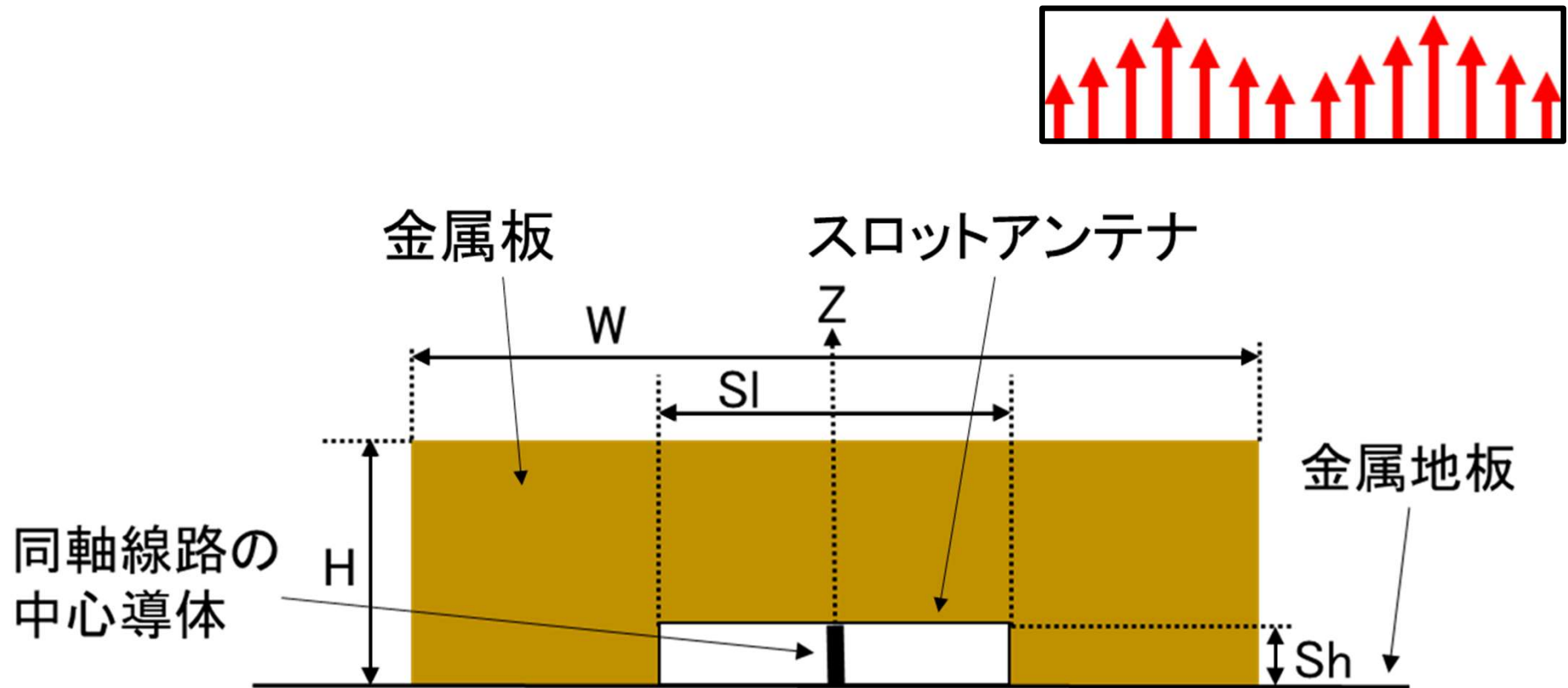
ビーム幅が狭い扇形ビームの形成手法について検討



Sinc(y)のような分布

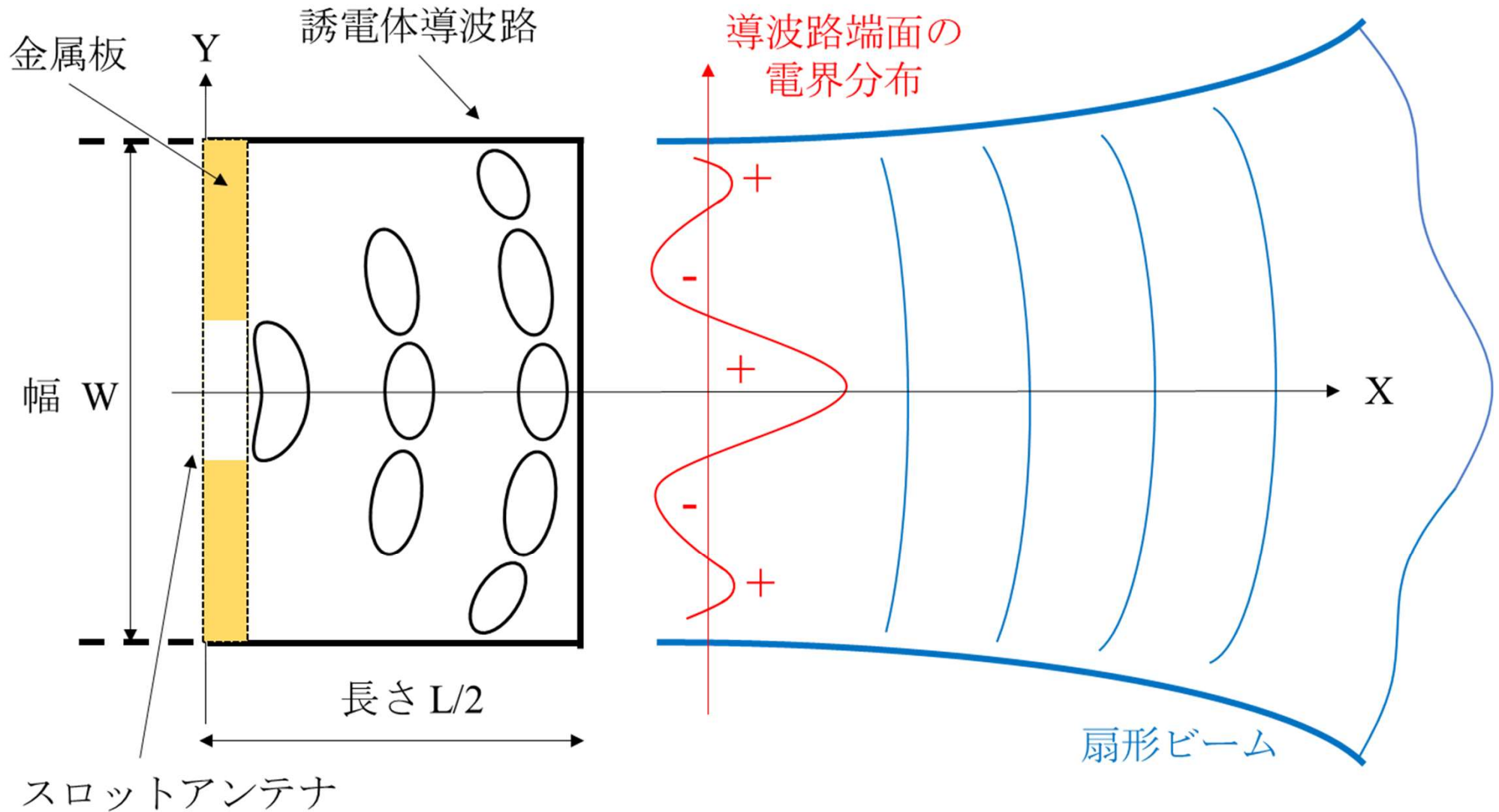
導波路内の電界の広がりを抑制するため、平面波を放射するスロットアンテナを導波路給電用アンテナとして使用





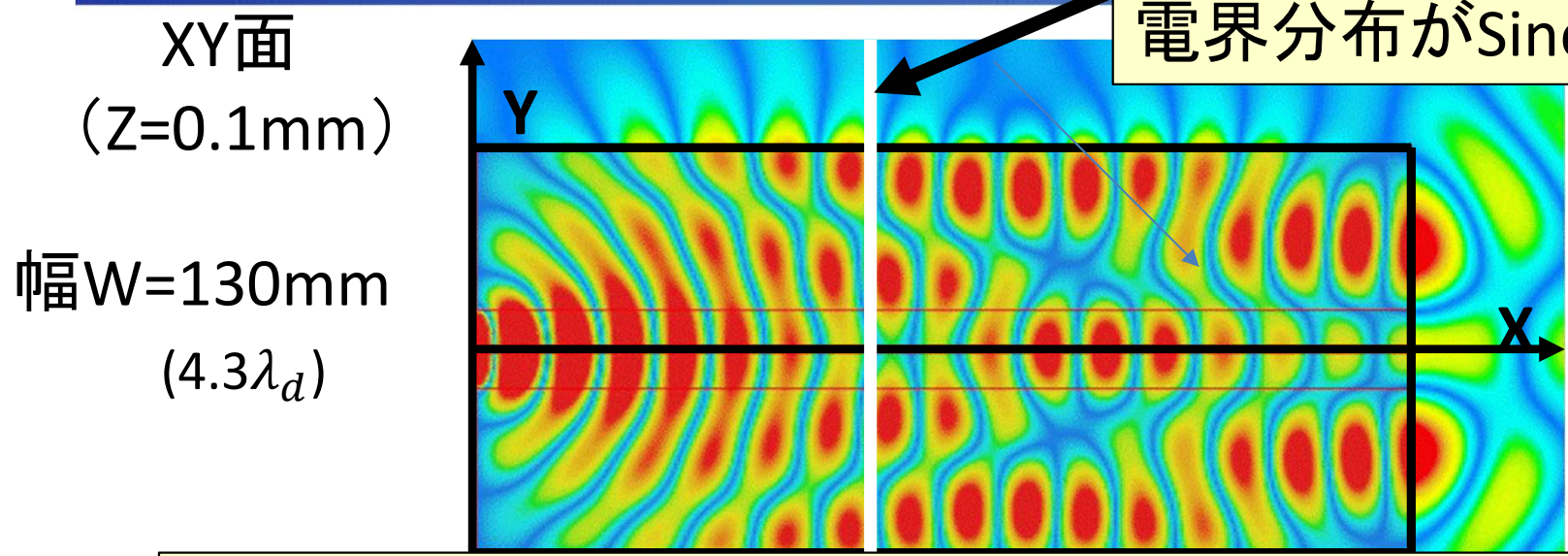
スロットアンテナからは平面波が放射されるため、  
導波路内の電界の広がりを抑制できる。

スロットアンテナの『長さ  $SI$  を1波長に近づける』ことで、  
平面波の供給範囲をできるだけ広くなる。

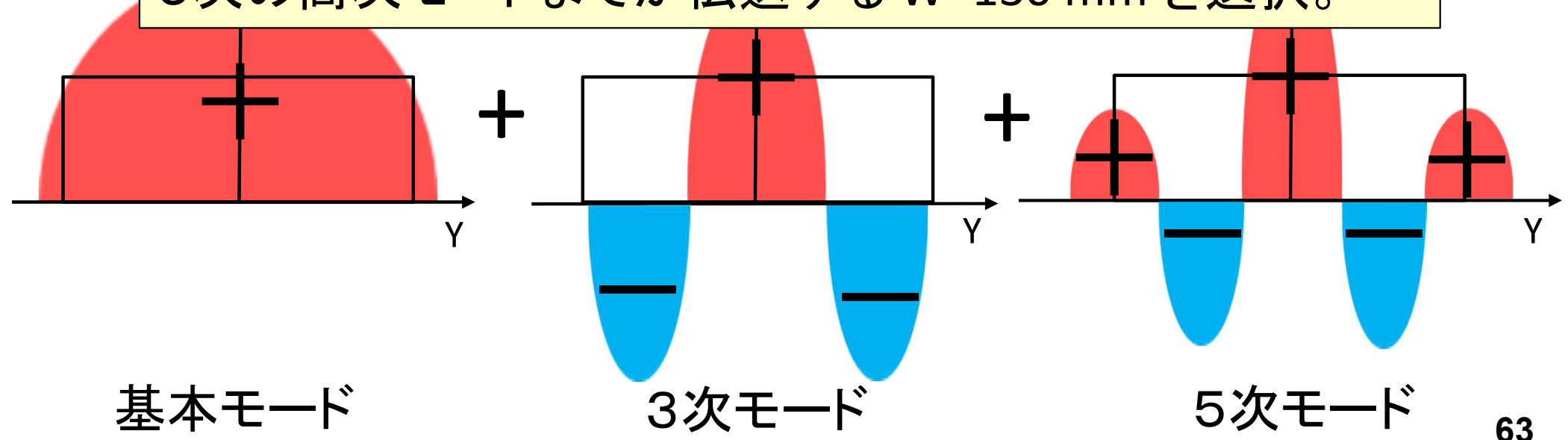


# 導波路内部および近傍の電界分布

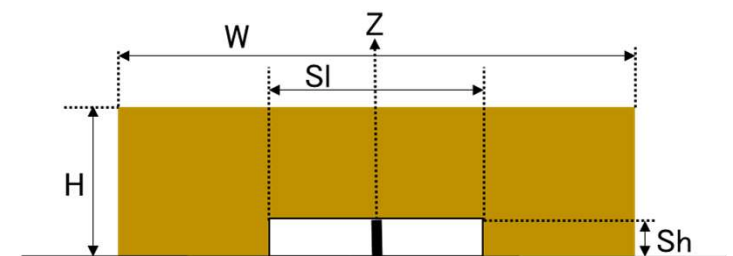
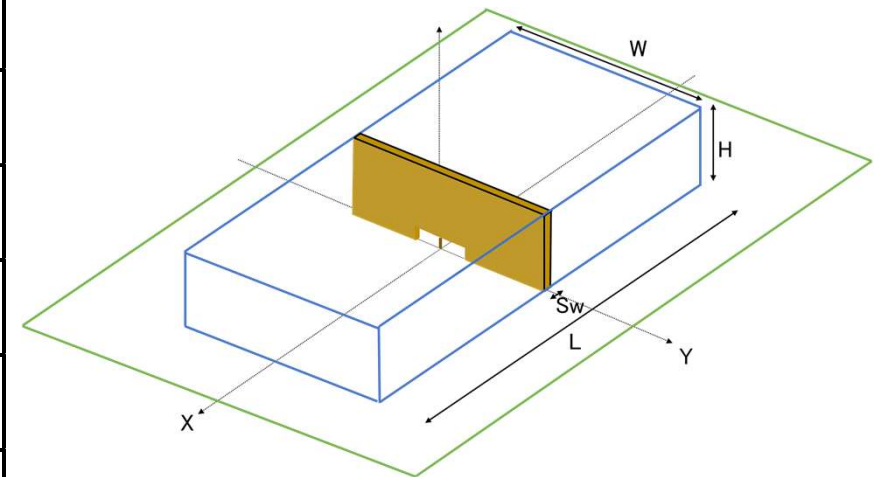
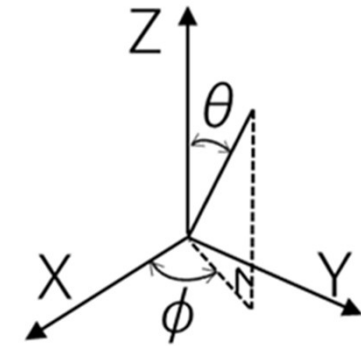
波面がほぼ平面となり、  
電界分布がSinc関数に近い



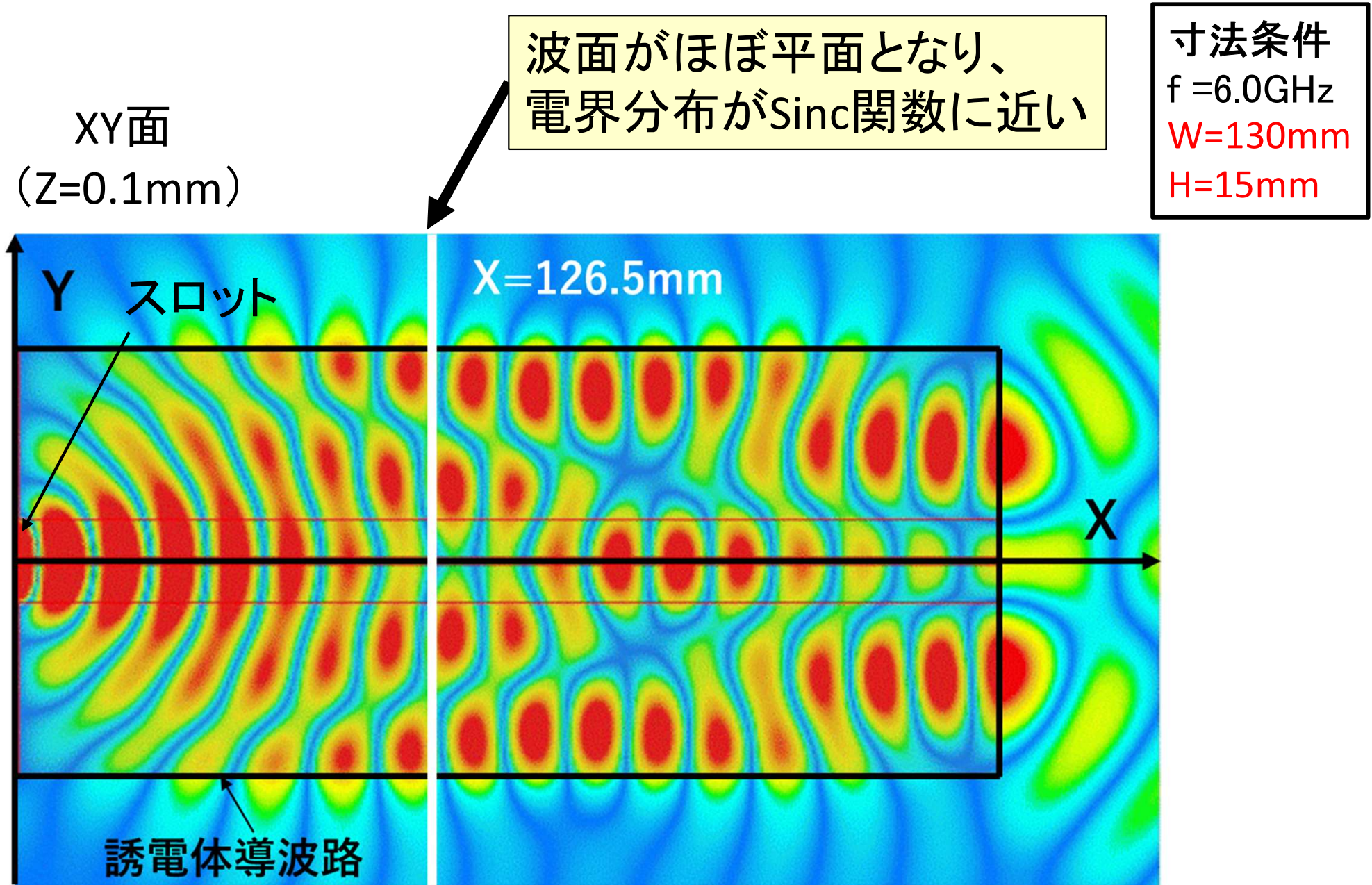
導波路の幅Wを広げすぎると、  
電波が広がりすぎて、導波路の伝送が不明確になるため、  
5次の高次モードまでが伝送する W=130 mm を選択。



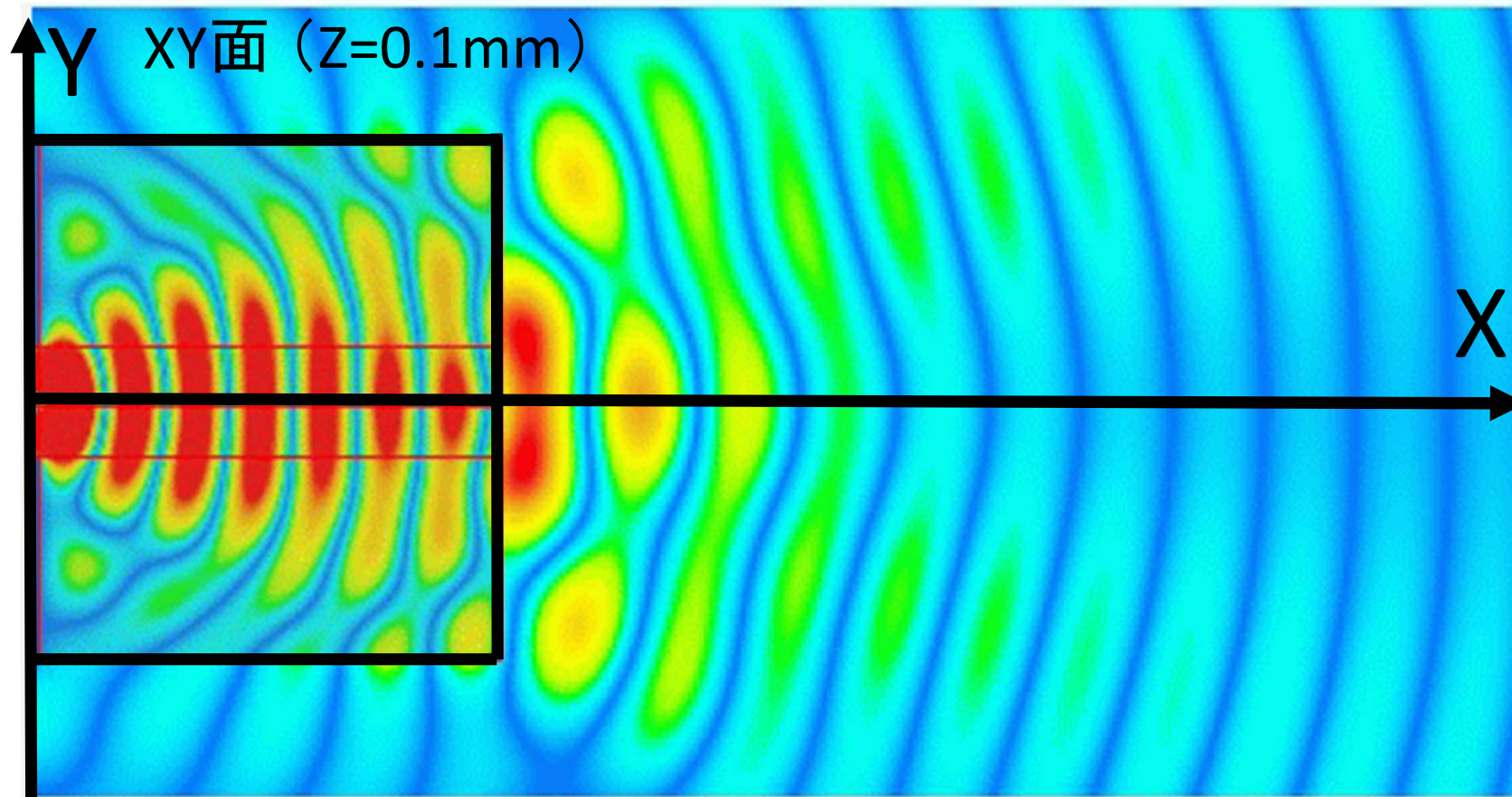
	単位	寸法
周波数	$f$ [GHz]	6.0
誘電体 導波路	波長 $\lambda$ [mm]	50
	誘電体内波長 $\lambda d$ [mm]	30.1
	長さ $L$ [mm]	45~405
	幅 $W$ [mm]	130
	高さ $H$ [mm]	15
	比誘電率	2.75
	誘電正接 $\tan \delta$	0.01
スロット アンテナ	長さ $S_l$ [mm]	27
	高さ $S_h$ [mm]	2.0
	厚み $S_w$ [mm]	5.0
金属地板		無限大



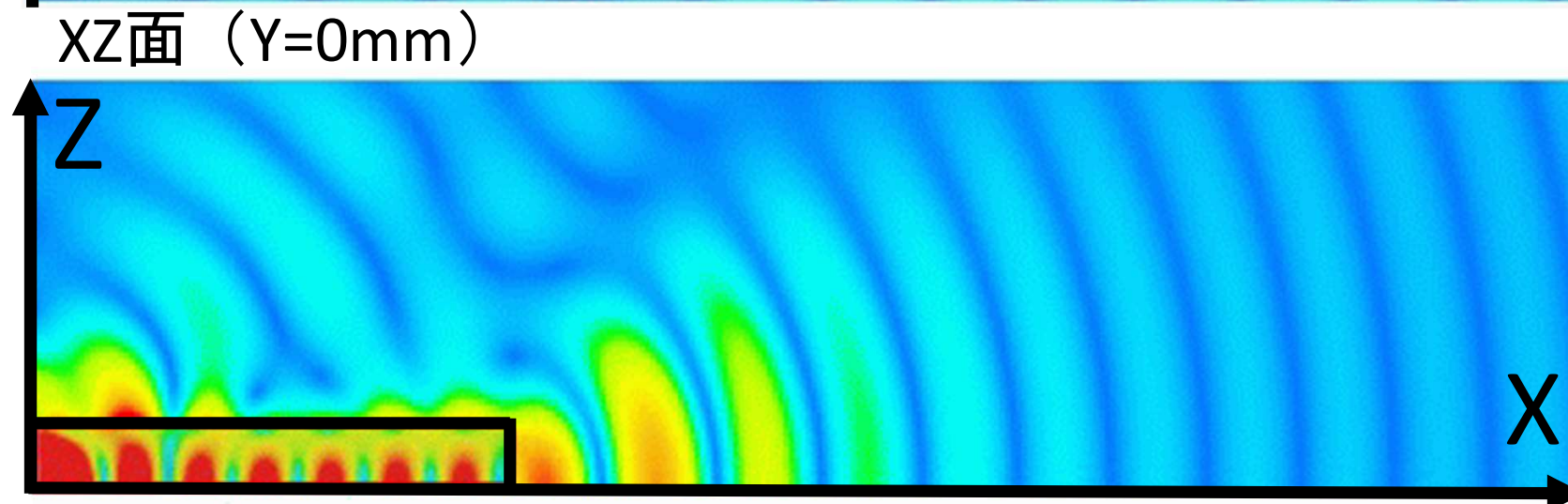




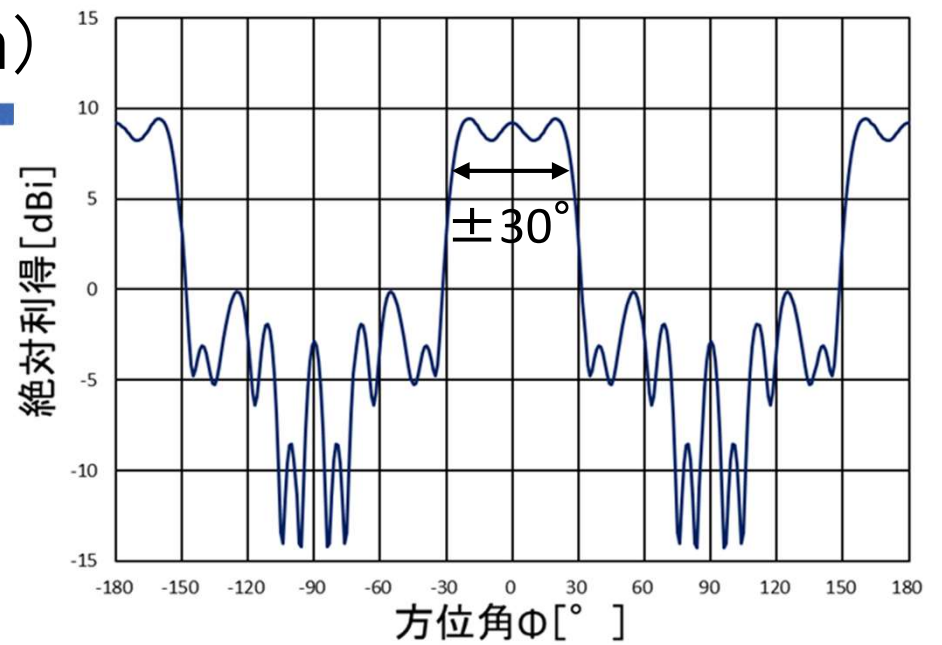
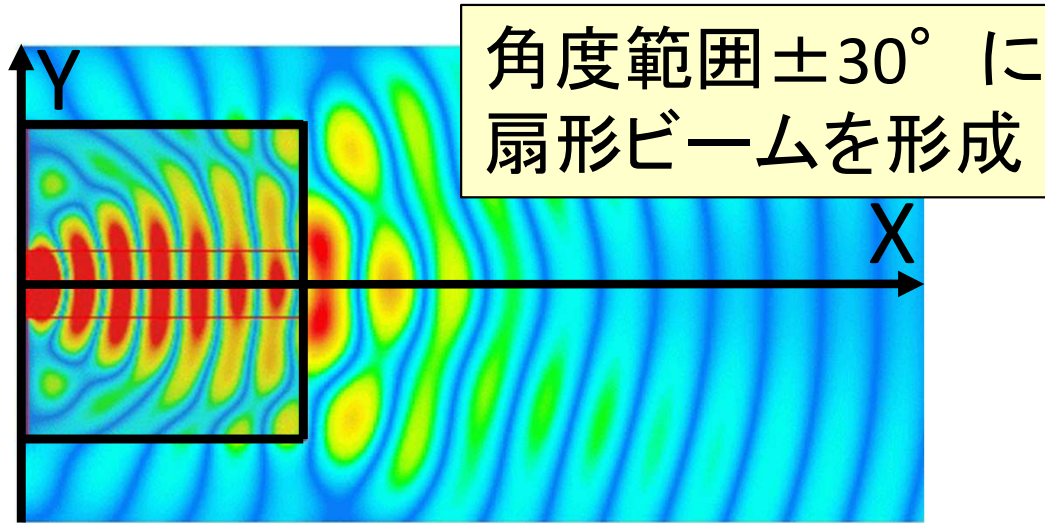
# 導波路内部および近傍の電界分布 (H=15mm)



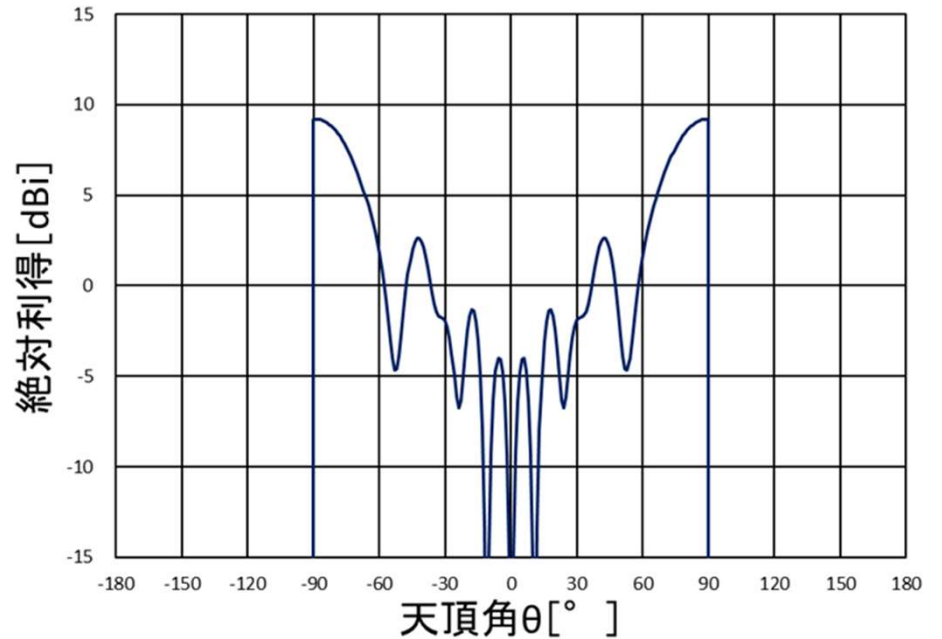
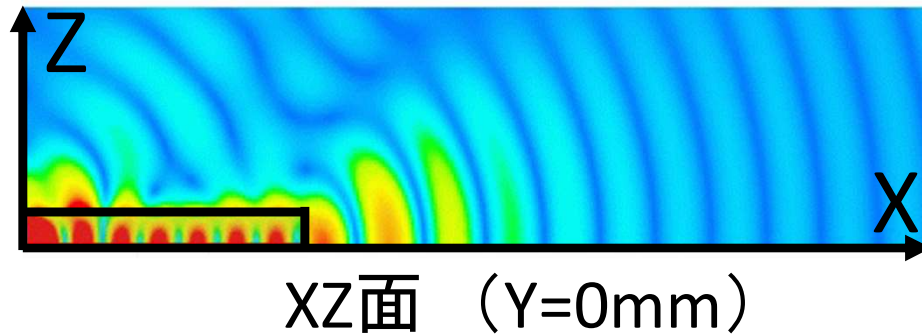
寸法条件  
f = 6.0GHz  
W = 130mm  
X = 126.5mm  
H = 15mm



# 放射指向性計算結果(H=15mm)



## 水平面 (XY面)



## 垂直面 (XZ面)

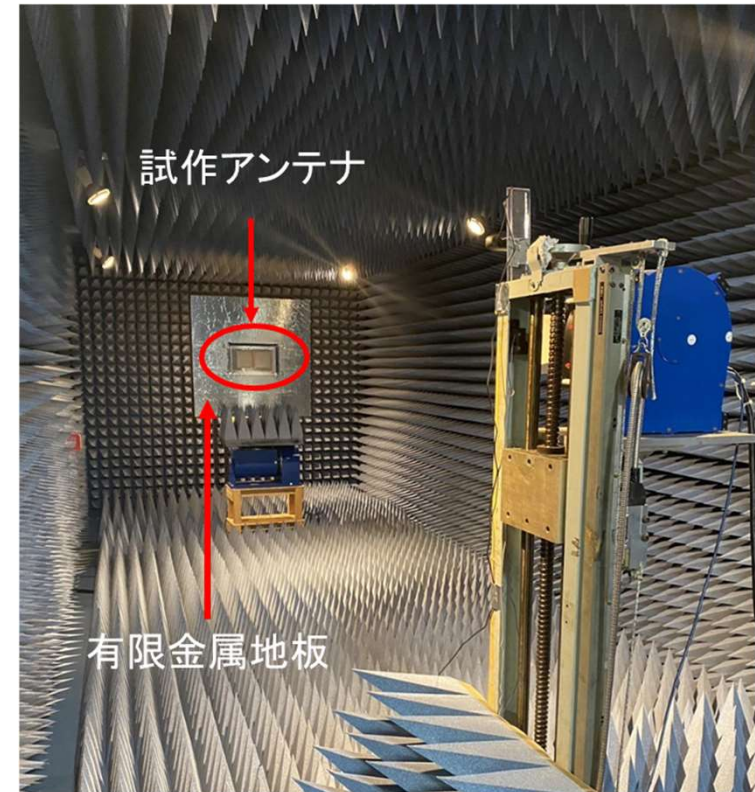
寸法条件  
f = 6.0GHz W=130mm  
H=15mm X=126.5mm

- 試作条件

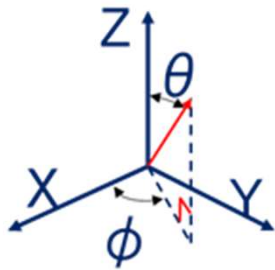
3Dプリンタで誘電体導波路を試作し、素材はポリ乳酸( $\epsilon_r=2.75, \tan\delta=0.01$ )を使用する



試作 アンテナ  
(W=130mm X=126.5mm)

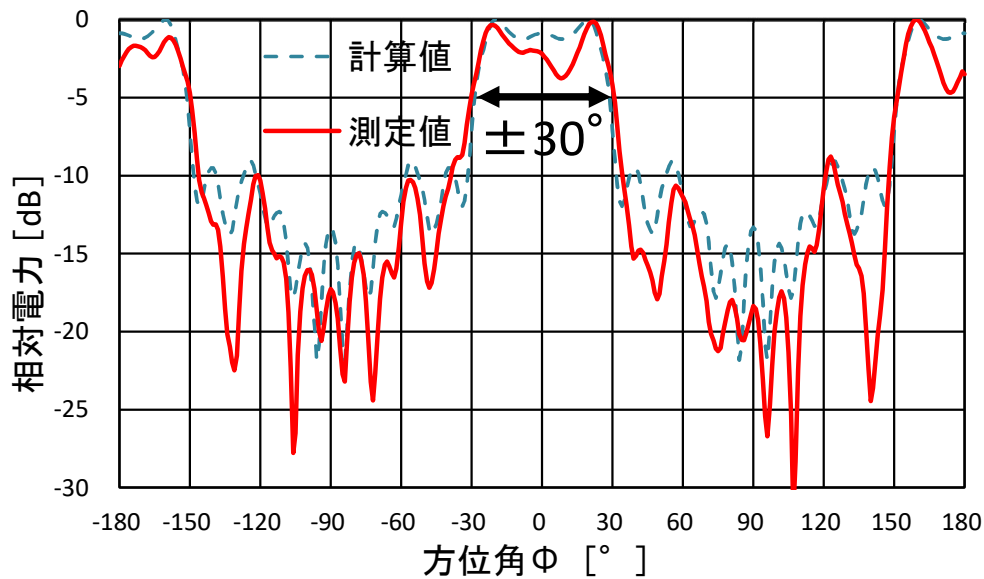


測定風景

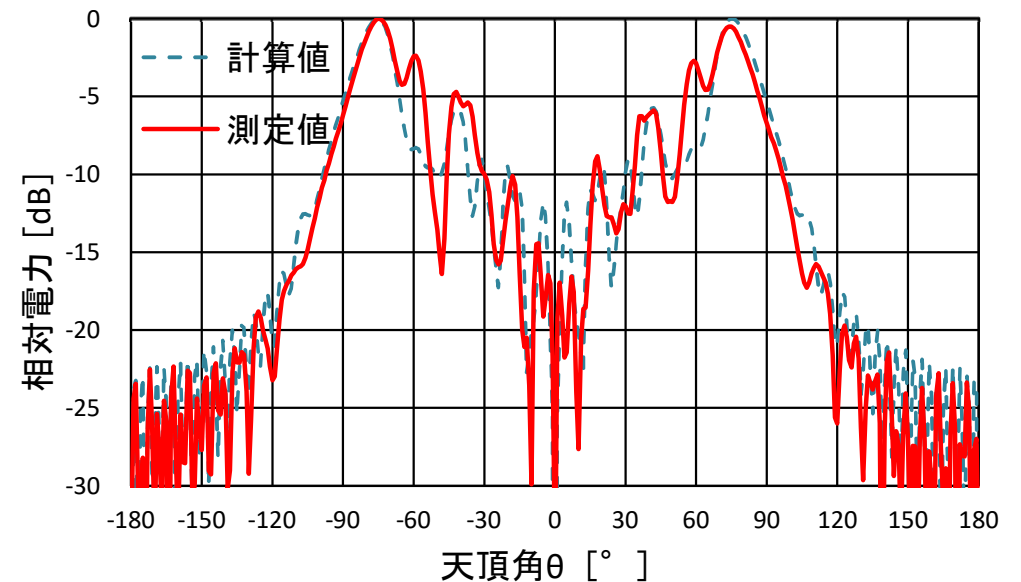


角度範囲  $\pm 30^\circ$  の  
扇形ビーム形成を確認

寸法条件  
 $f = 6.0\text{GHz}$   
 $W=130\text{mm}$   
 $X=126.5\text{mm}$   
 $H=15\text{mm}$

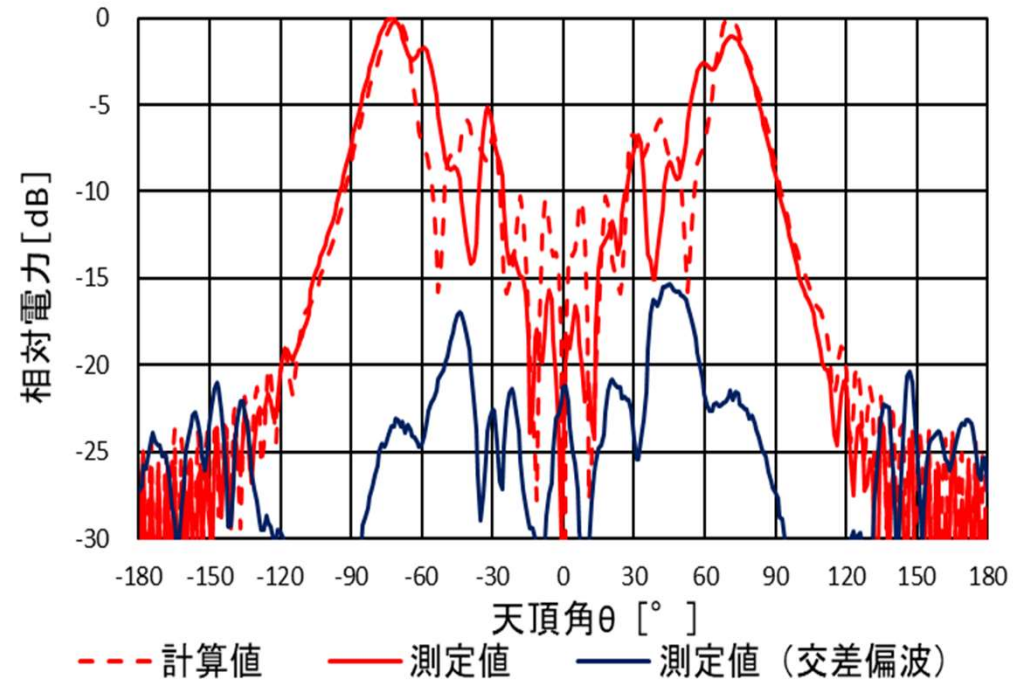
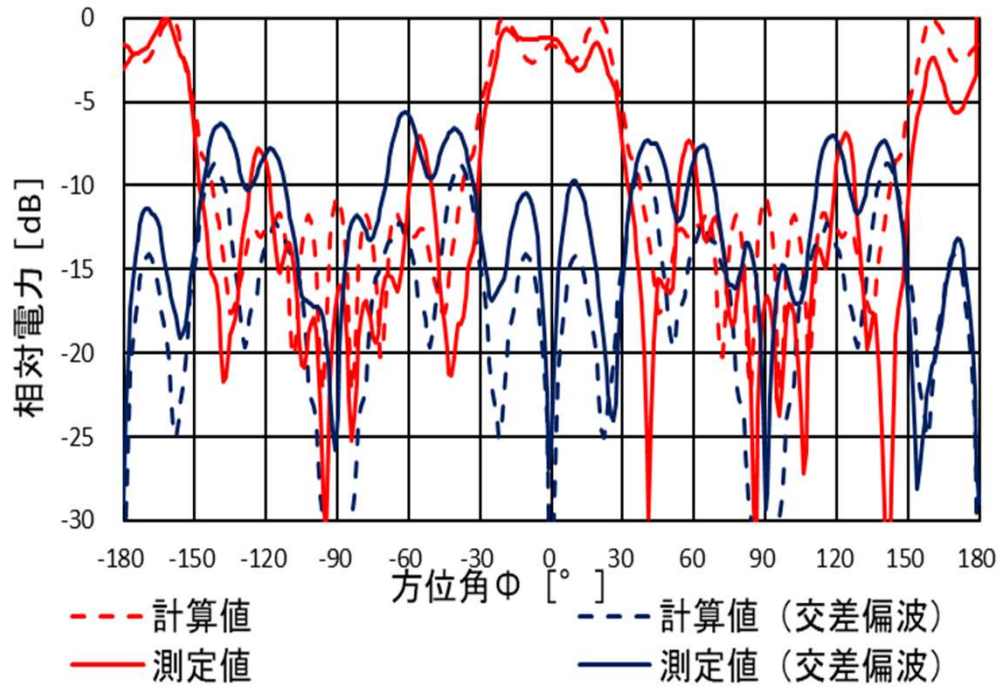


(a) 水平面 (XY面)

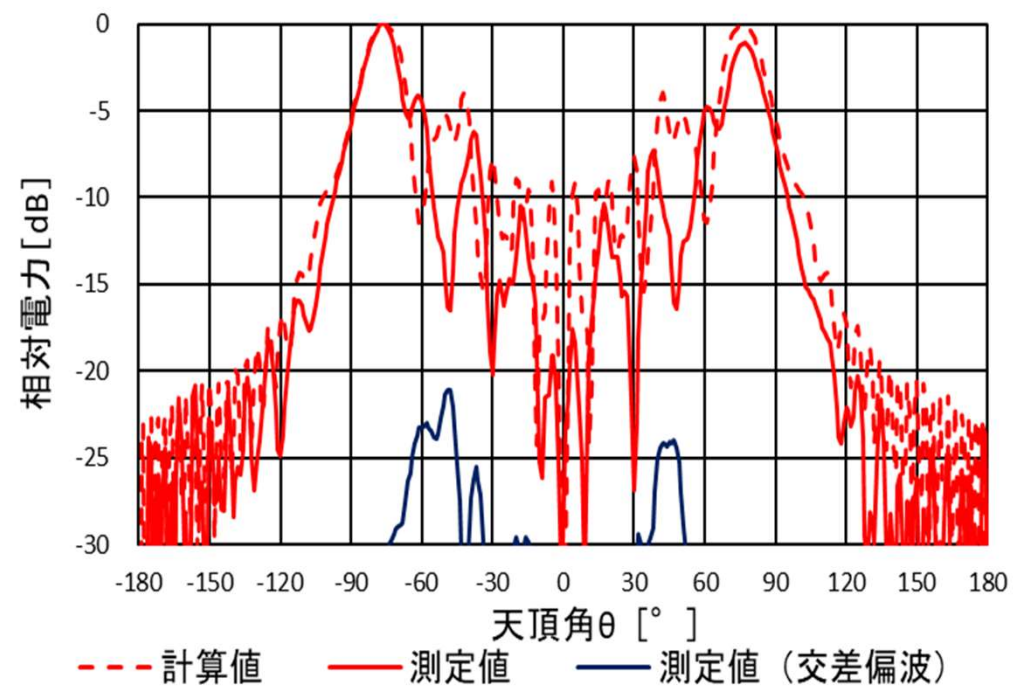
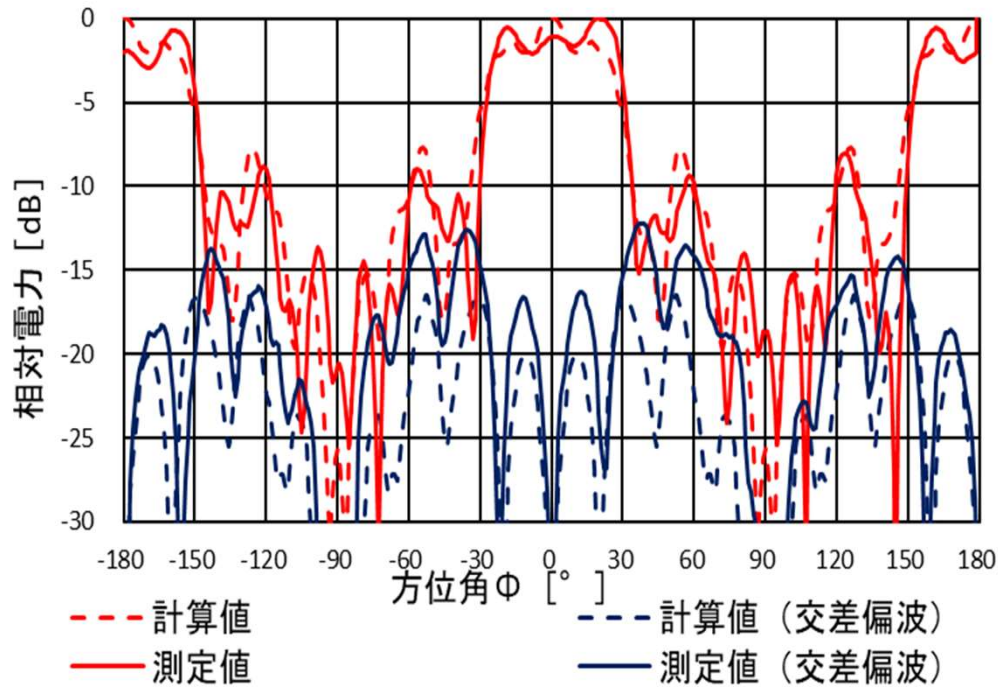


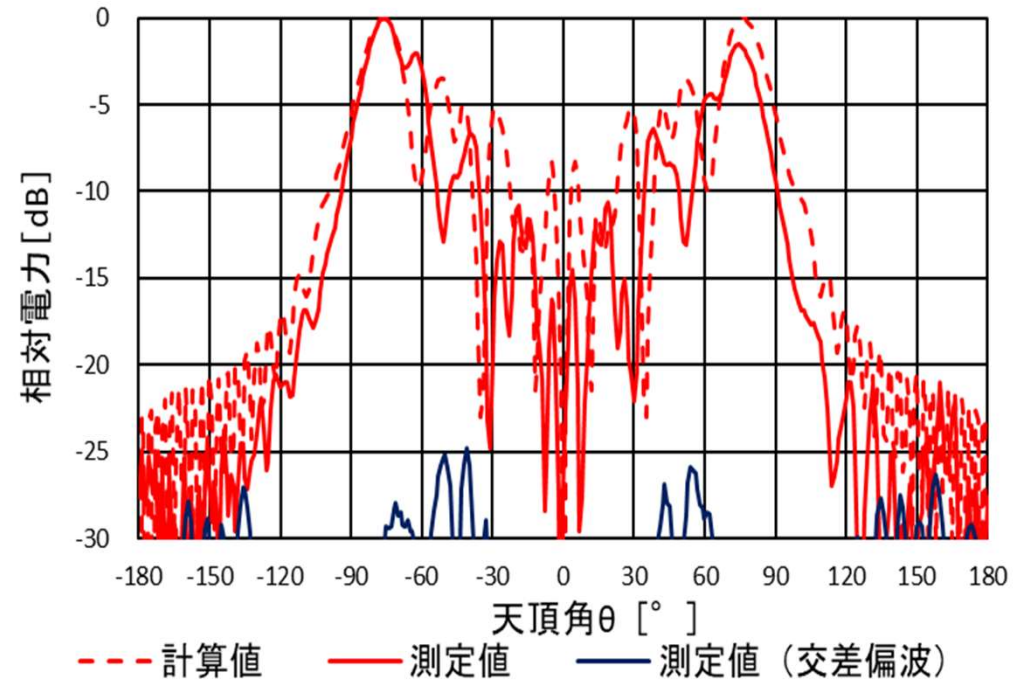
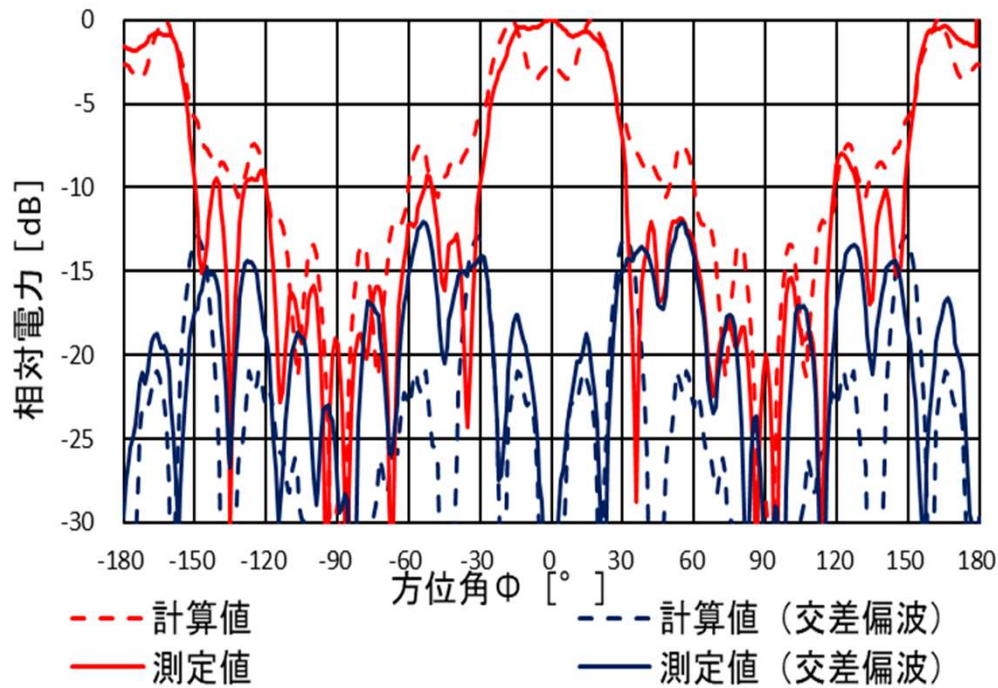
(b) 垂直面 (XZ面)

# 放射指向性測定結果 ( $f = 5.8 \text{ GHz}$ )



# 放射指向性測定結果 ( $f = 6.2 \text{ GHz}$ )

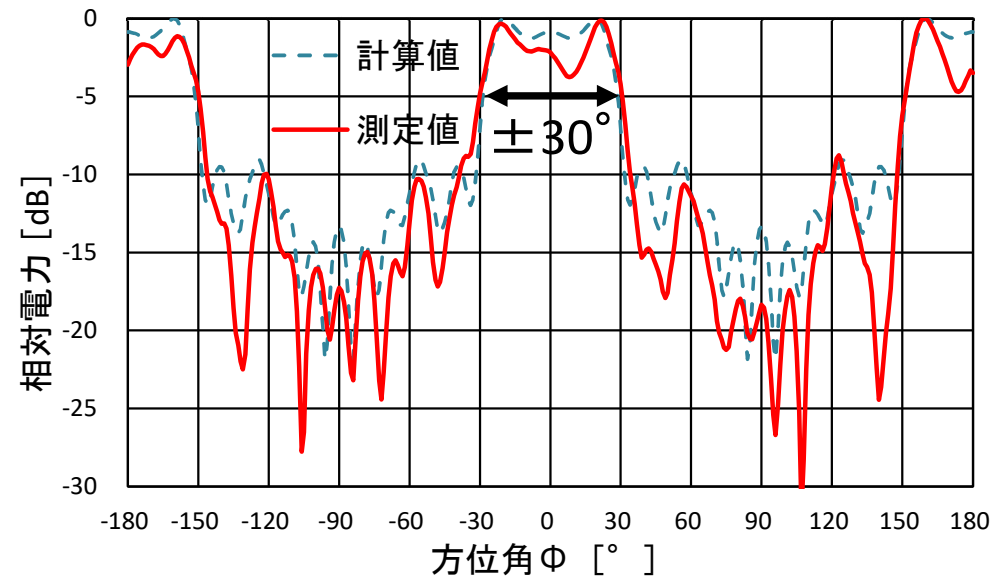
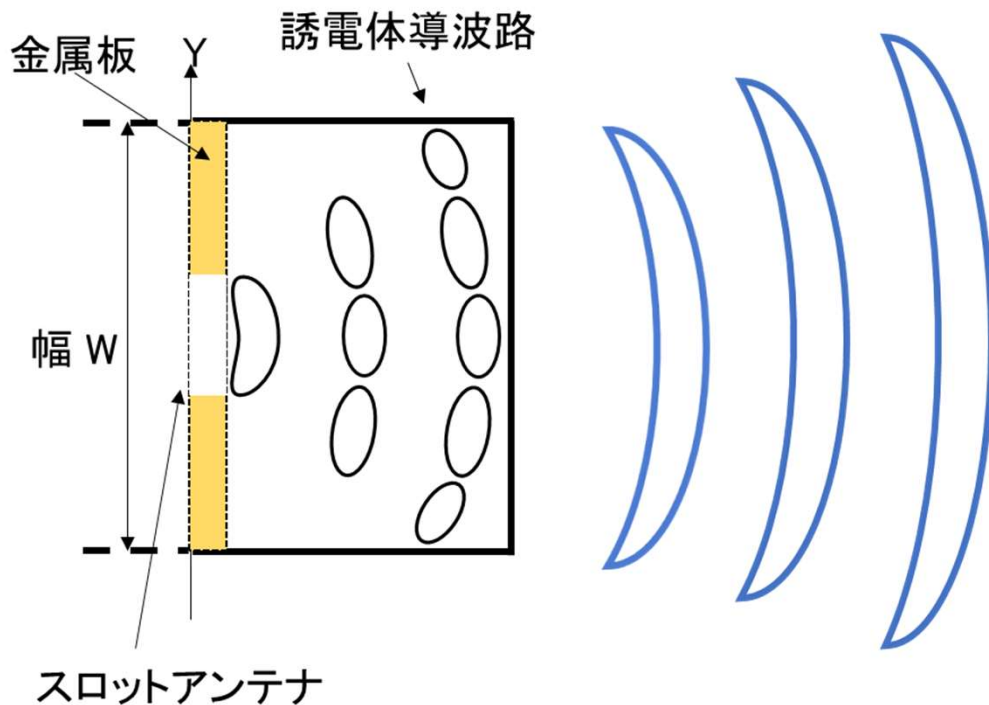




比帯域 10% 程度の周波数範囲で扇形ビームが形成できる。



導波路に5次の高次モードを発生させ、  
波面が平らな分布となる箇所で導波路を切断し、  
扇形ビームを形成。

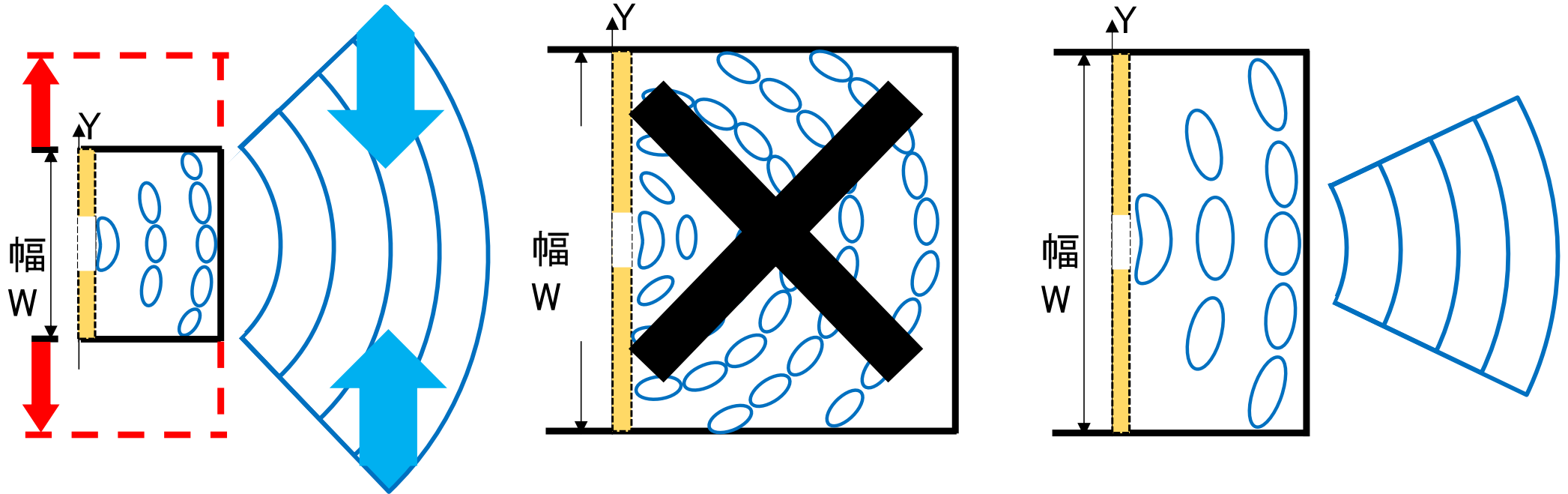


W=130mm H=15mm

角度範囲を $\pm 30^\circ$ より狭くすることができていない

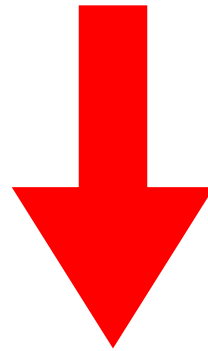
**$\pm 30^\circ$ より狭い角度範囲に扇形ビームを形成する手法を検討**

- ① ビーム幅を狭くする→開口を大きくするため導波路幅 $W$ を広げる。
- ② 単純に幅 $W$ を広げると導波路として動作しなくなる。
- ③ 導波路内に5次の高次モードを保つために、導波路の実効比誘電率を下げ、各モードの波長を長くする。



## 実効比誘電率を下げる方法

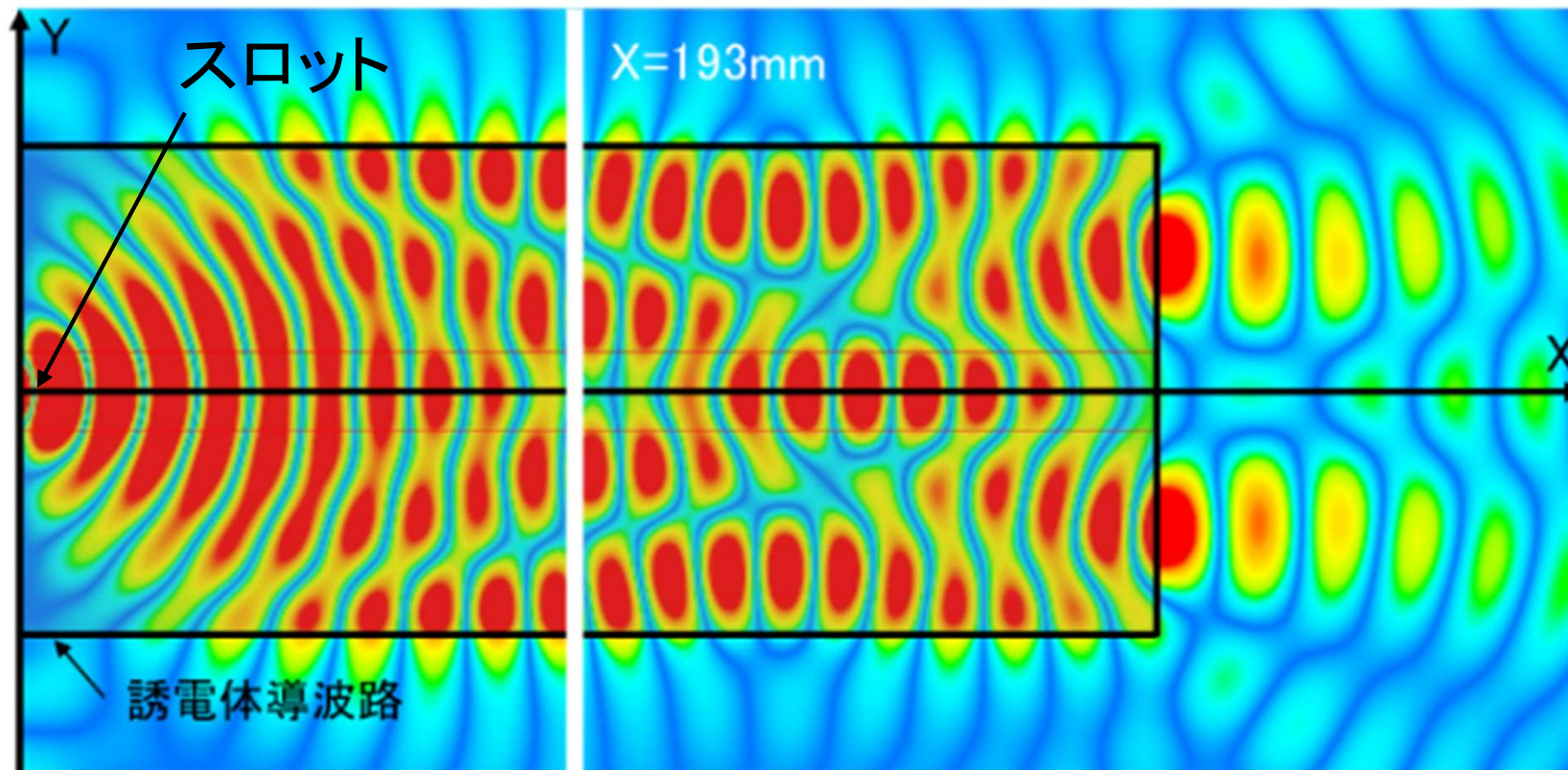
- (1) 比誘電率 $\epsilon_r$ が小さい誘電体を使用する。
- (2) 導波路の高さ $H$ を低くし、導波路外に広がる表面波の比率を増やすことで、  
空気の影響を大きくする。



(2) を採用

XY面  
(Z=0.1mm)

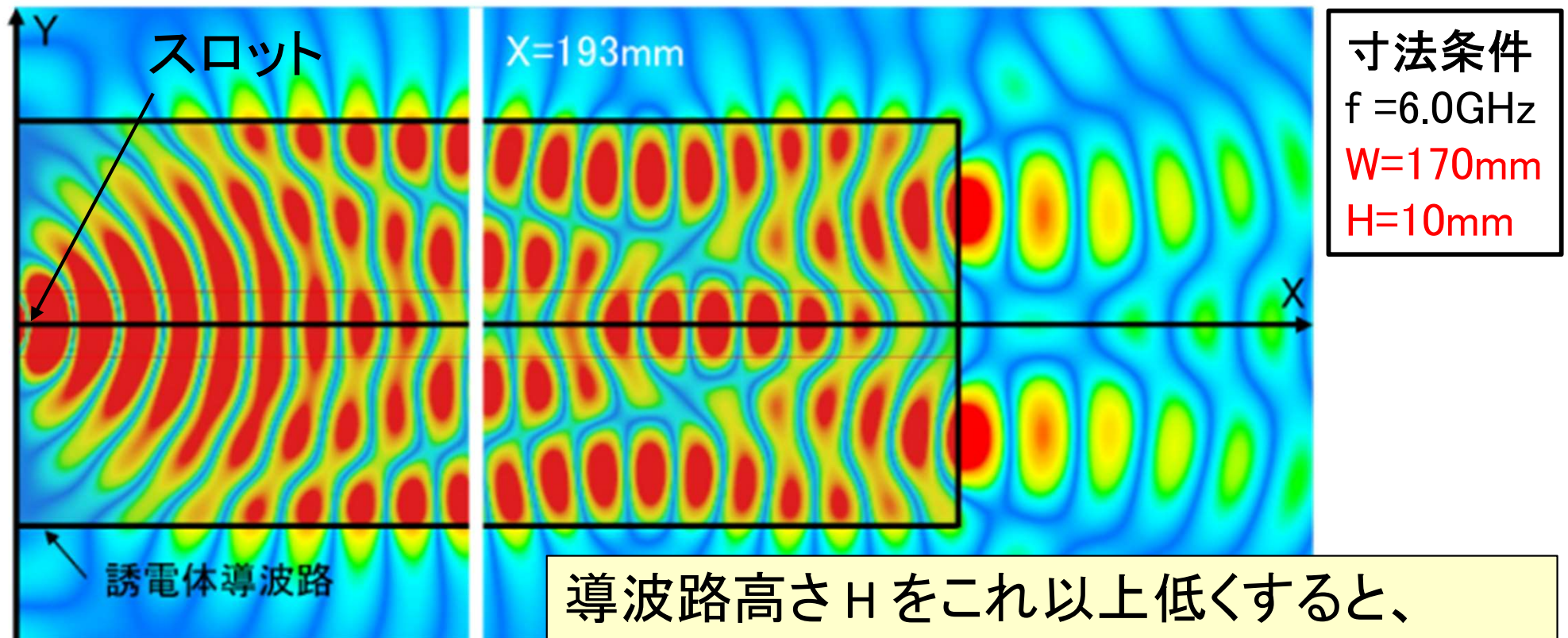
導波路高さを H=10 mm に低くすることで、  
導波路の実効比誘電率を下げ、  
5次の高次モードを発生できる  
導波路幅を W=170 mm に拡大。



寸法条件  
f = 6.0GHz  
W=170mm  
H=10mm

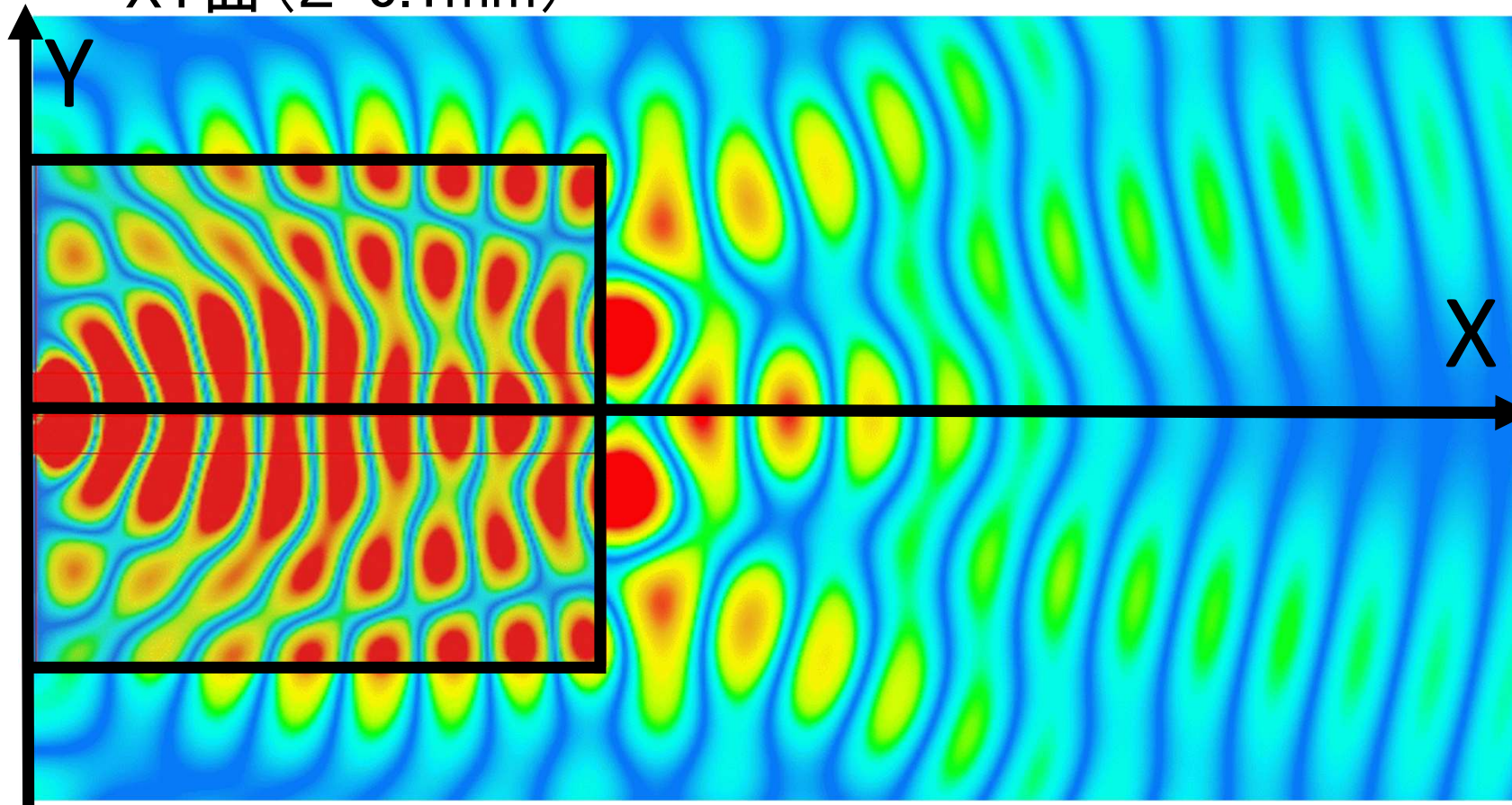
XY面  
(Z=0.1mm)

導波路高さを H=10 mm に低くすることで、  
導波路の実効比誘電率を下げ、  
5次の高次モードを発生できる  
導波路幅を W=170 mm に拡大。



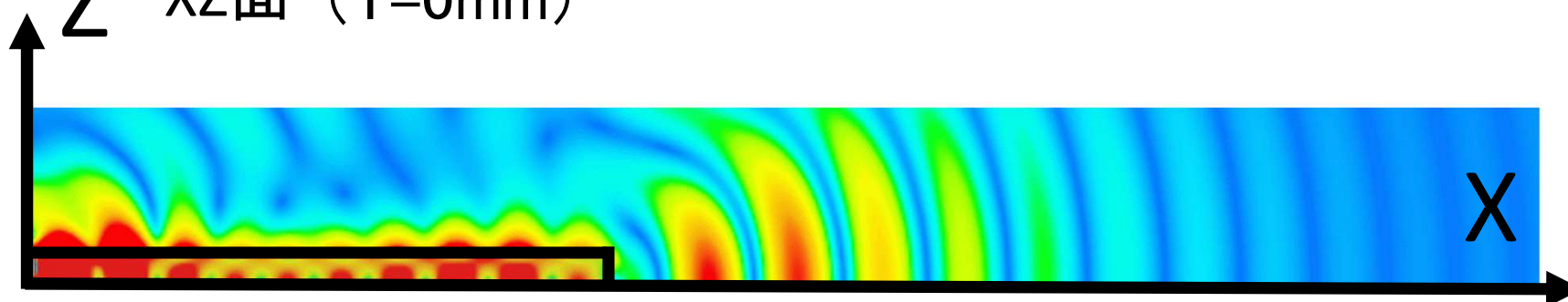
導波路高さHをこれ以上低くすると、  
上方向への電波の漏れが大きくなりすぎ、  
導波路として成り立たない。

XY面 (Z=0.1mm)

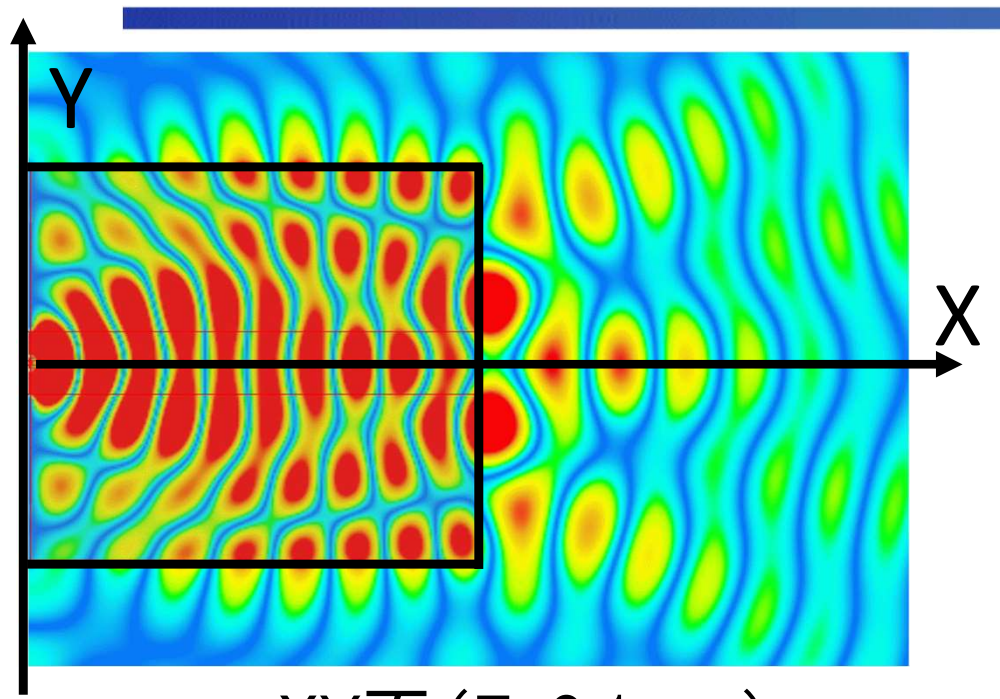


寸法条件  
f = 6.0GHz  
W=170mm  
X=193mm  
H=10mm

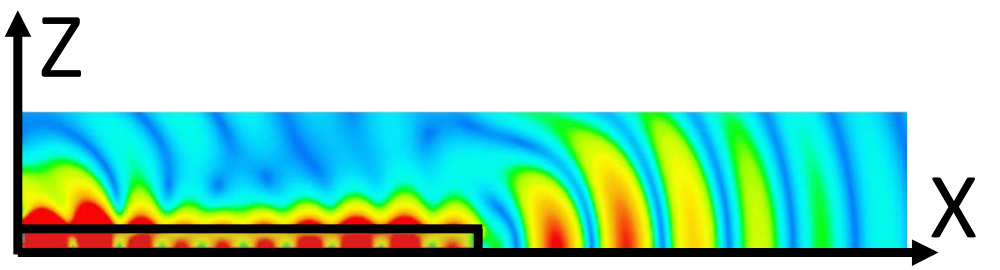
XZ面 (Y=0mm)



# 放射指向性計算結果 (H=10 mm)

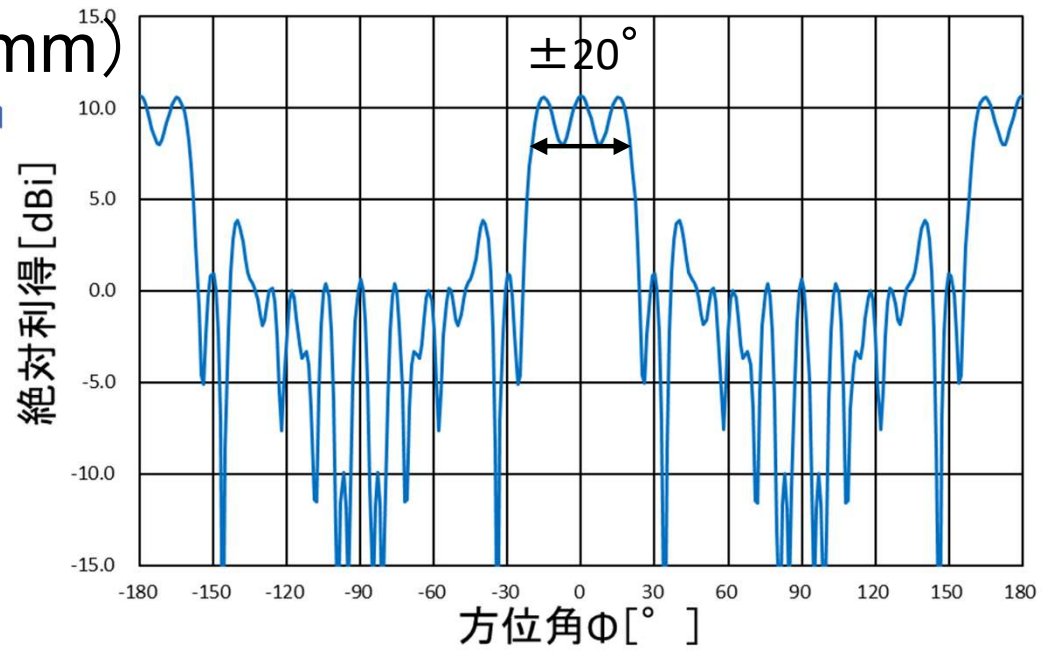


XY面 (Z=0.1mm)

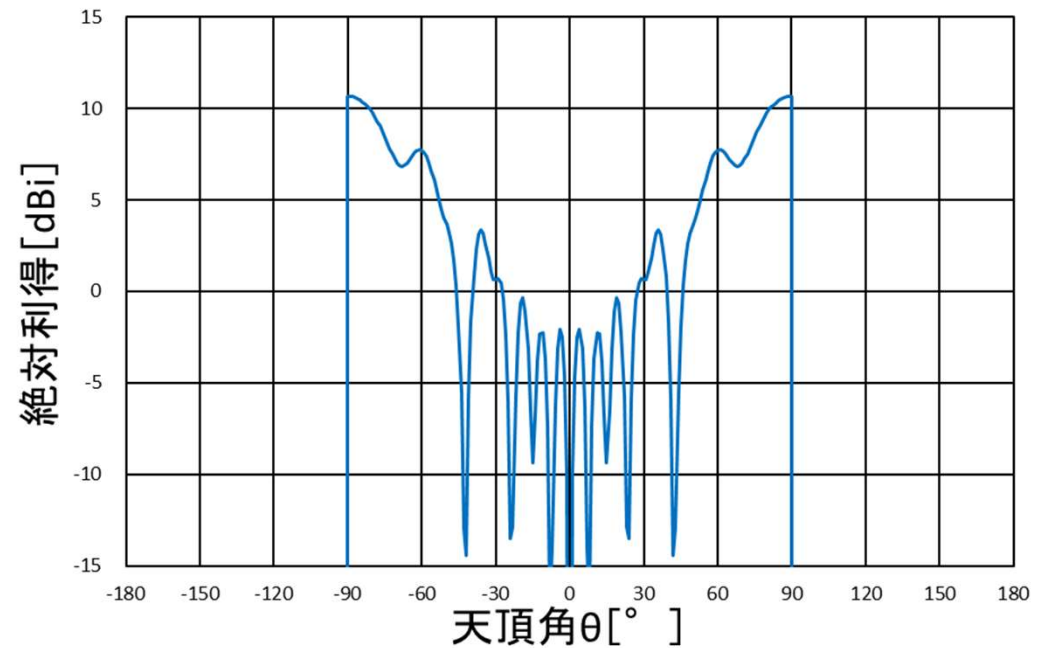


XZ面 (Y=0mm)

寸法条件  
f = 6.0GHz W=170mm  
H=10mm X=193mm

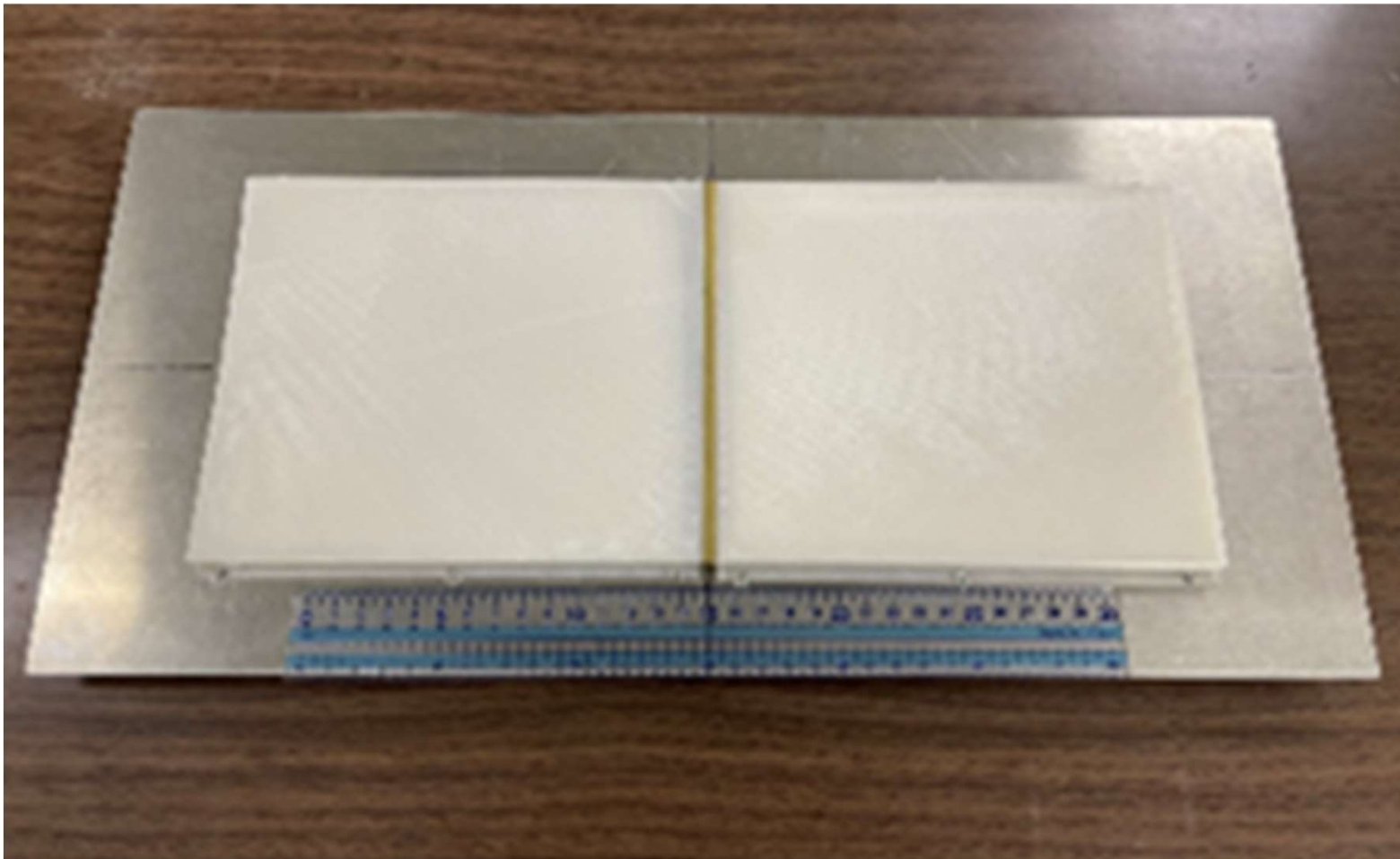


水平面 (XY面)



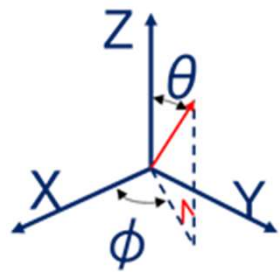
垂直面 (XZ面)

3Dプリンタで誘電体導波路を試作し、素材はポリ乳酸( $\epsilon_r=2.75, \tan\delta=0.01$ )を使用する



試作アンテナ (W=170mm X=193mm)

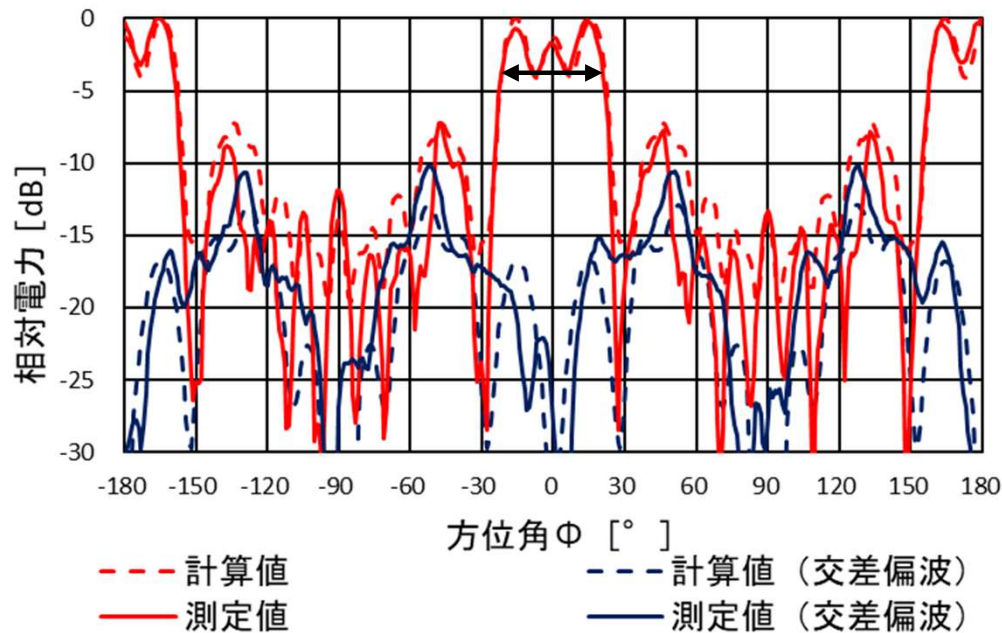




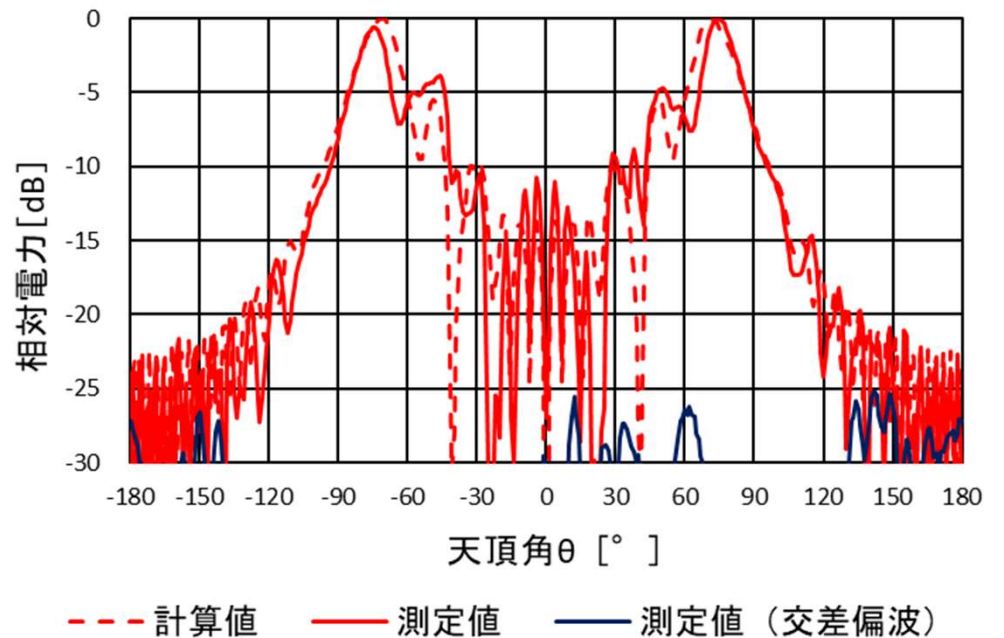
角度範囲  $\pm 20^\circ$  に  
扇形ビームを形成

$\pm 20^\circ$

寸法条件  
 $f = 6.0 \text{ GHz}$   
 $W = 170 \text{ mm}$   
 $X = 193 \text{ mm}$   
 $H = 10 \text{ mm}$



(a) 水平面 (XY面)



(b) 垂直面 (XZ面)

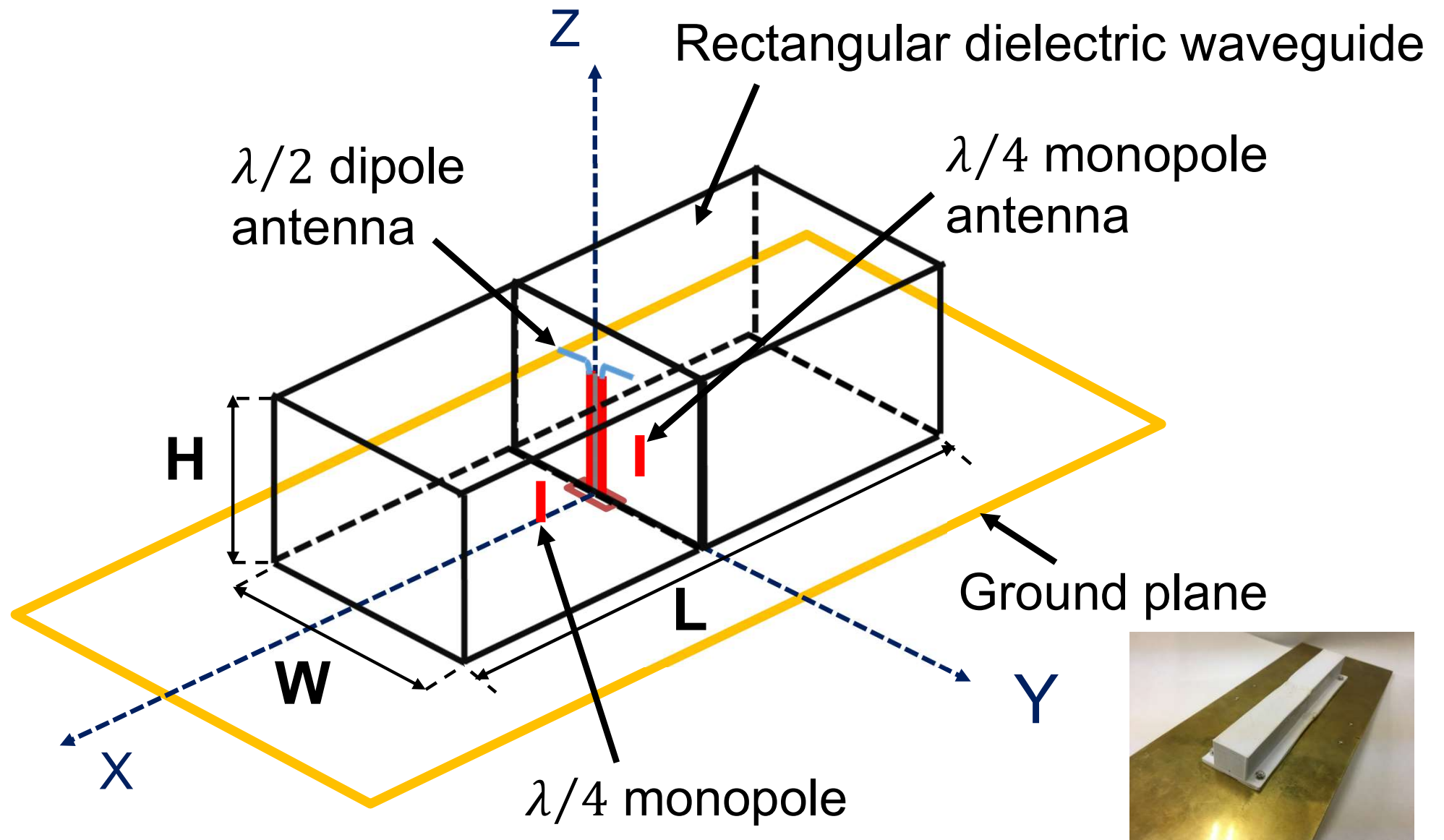
## 双方向ビーム誘電体導波路アンテナの扇形ビーム形成

- ◆ 導波路の表面波(漏れ波)の振る舞いと、管内波長の変化を考慮して成形条件を決定
- ◆ 高次モードの適用条件の配慮
  - 基本モード、3次および5次の高次モードを活用
- ◆ 導波路の幅方向および上方向への電波の漏れを防止
  - 導波路給電用アンテナの方式を選定
    - ・ 1/4 波長モノポールアンテナのエンドファイヤアレー
    - ・ ほぼ 1 波長の長さのスロットアンテナ
  - 導波路の高さに限界 ⇒ これ以上の狭ビーム形成は難しい

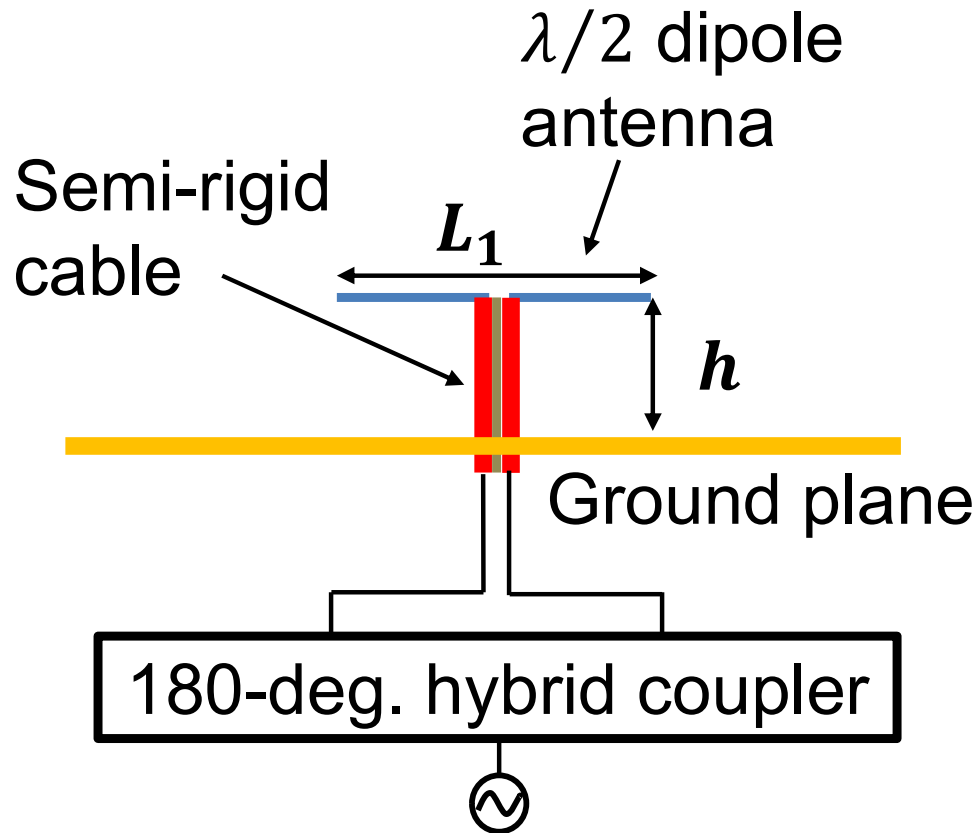
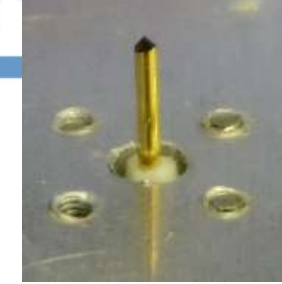


# 付録

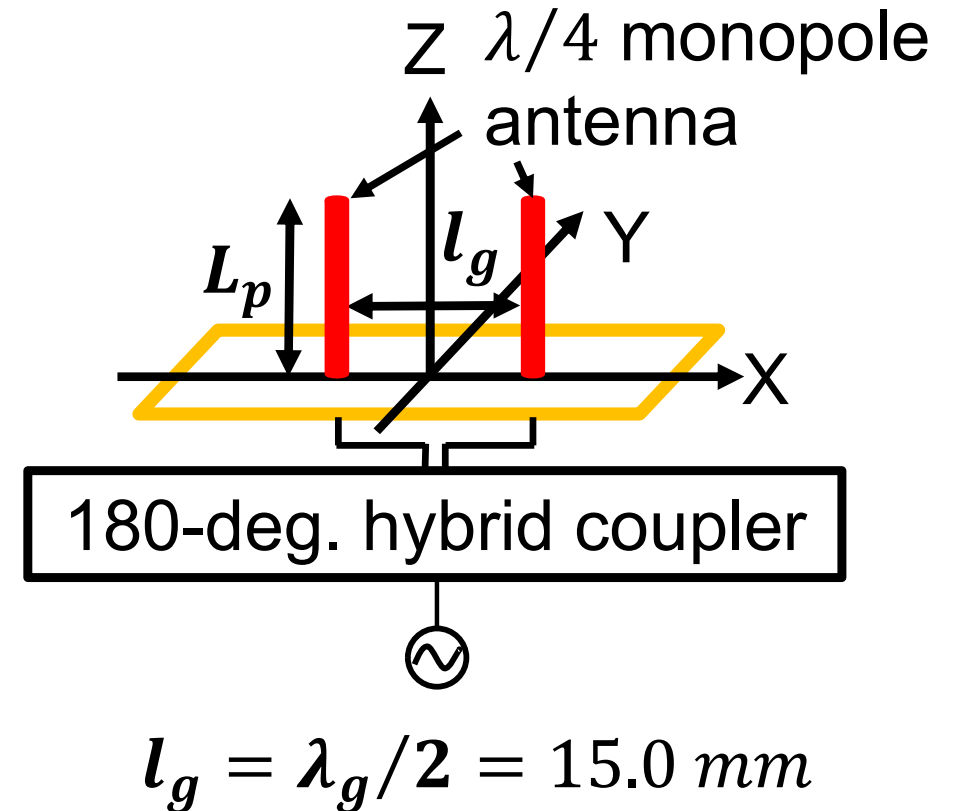
- ◇ 直交偏波共用
- ◇ 二周波共用



◇ Y. Konishi, Y. Hayashi, K.Saiki and D. Kondo, “Dual-polarized Bidirectional-beam Dielectric Waveguide Antenna”, IEEE RFIT2020, TH3C, Sep. 2020.

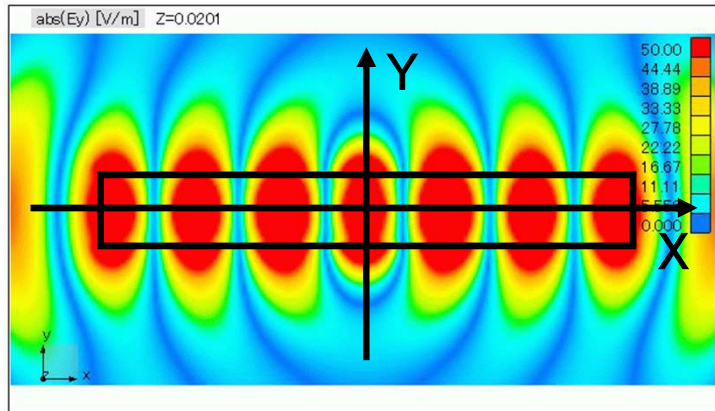


$\lambda/2$  dipole antenna for H-pol. signal

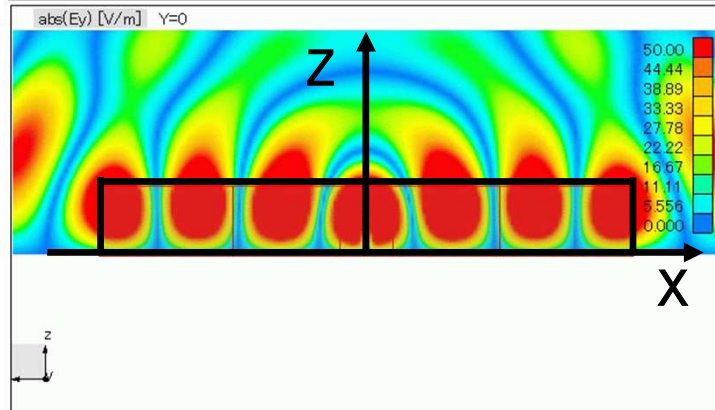
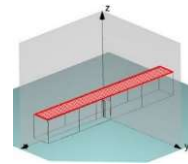


$\lambda/4$  monopole endfire array for V-pol. signal

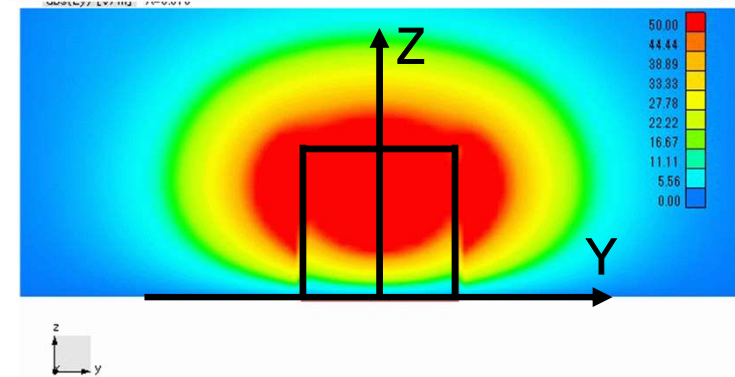
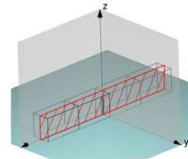
## Horizontal Polarization



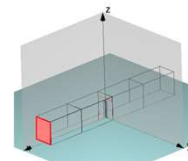
XY plane  
(Z=20.1mm)



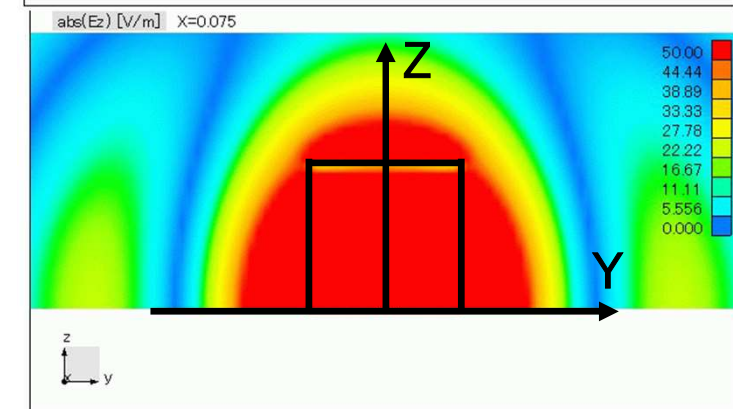
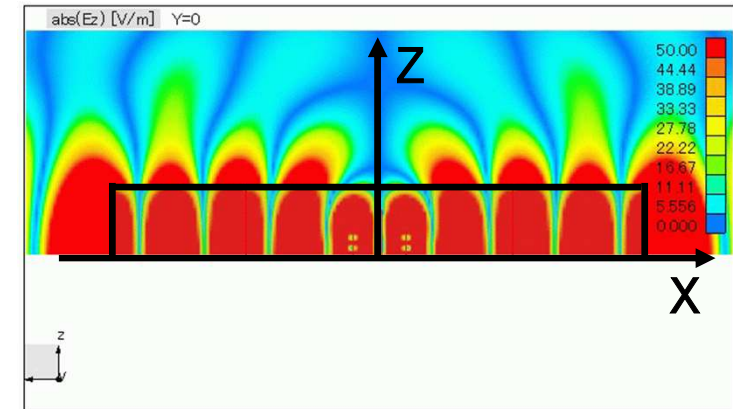
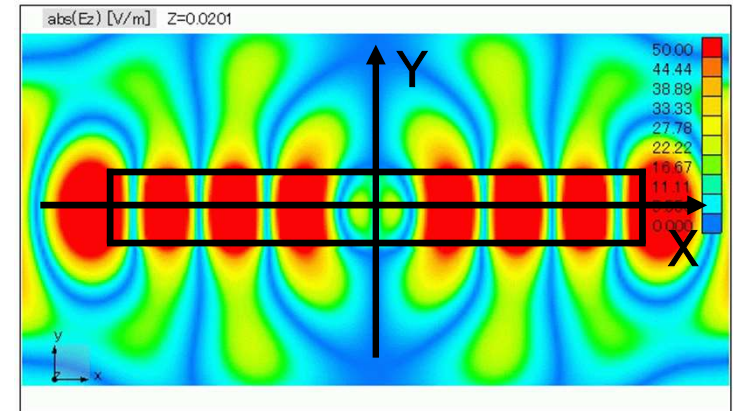
XZ plane  
(Y=0mm)



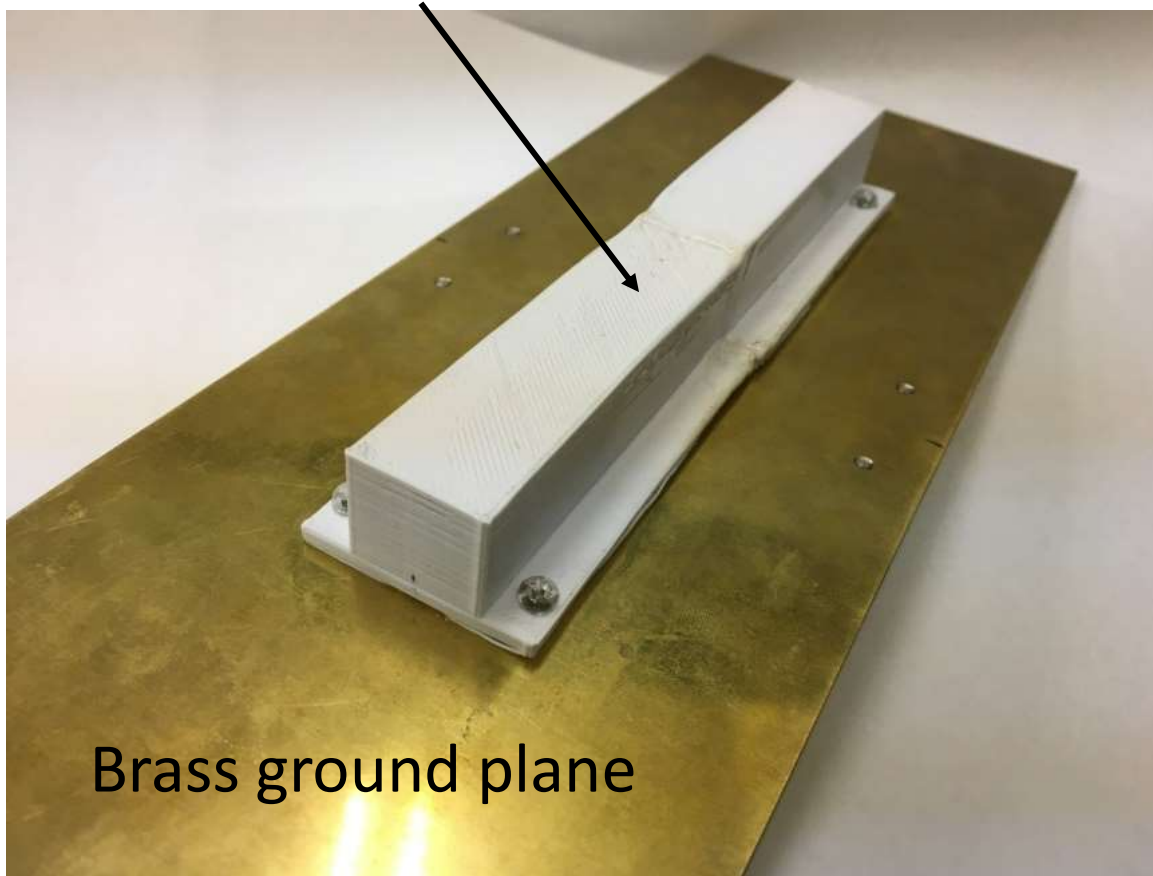
YZ plane  
(X=75.1mm)



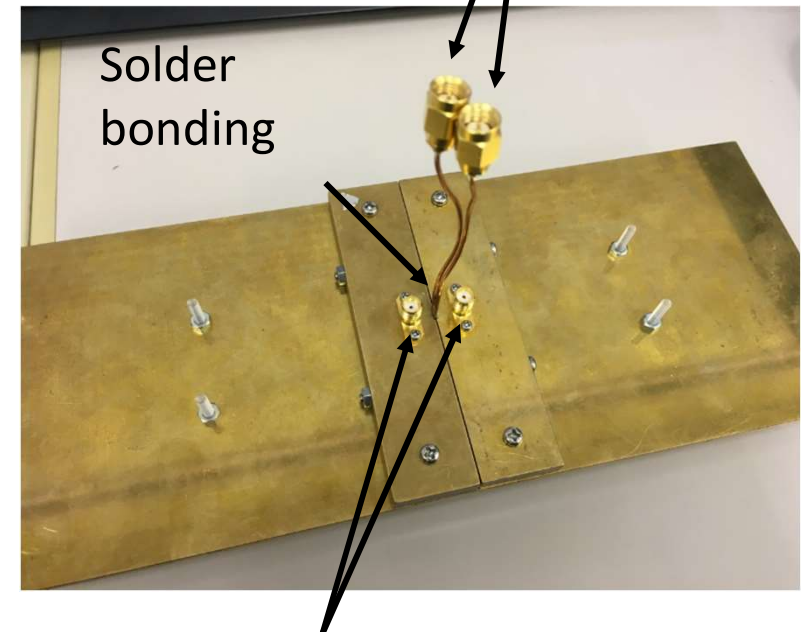
## Vertical Polarization



Dielectric waveguide  
using PLA resin ( $\epsilon_r = 2.75$ )  
manufactured by 3D printing system

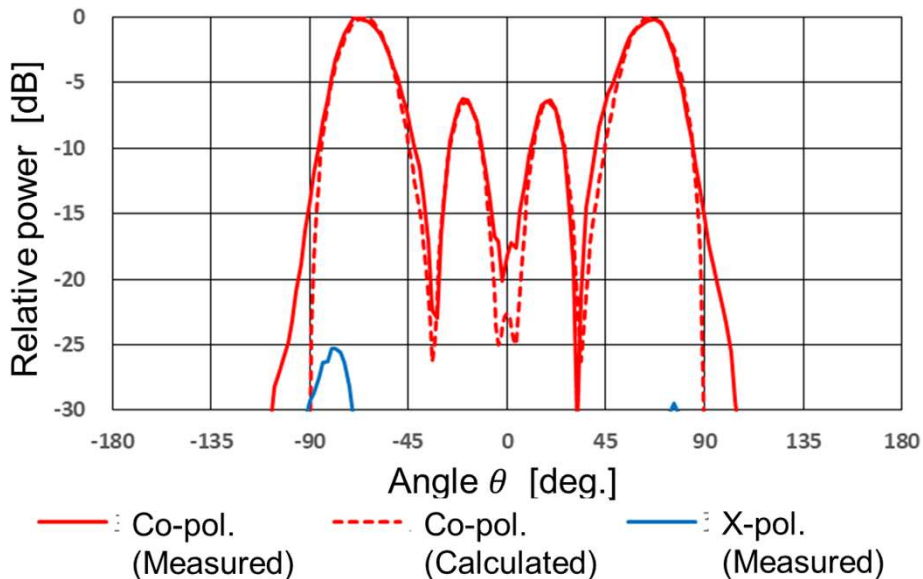


Input ports  
for  $\lambda/2$  dipole antenna

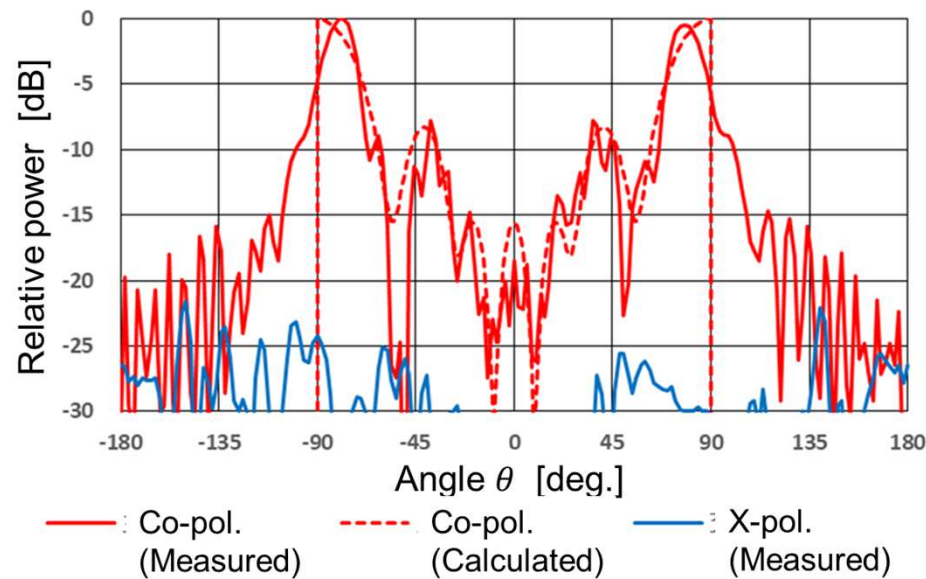


Input ports  
for  $\lambda/4$  monopole antennas

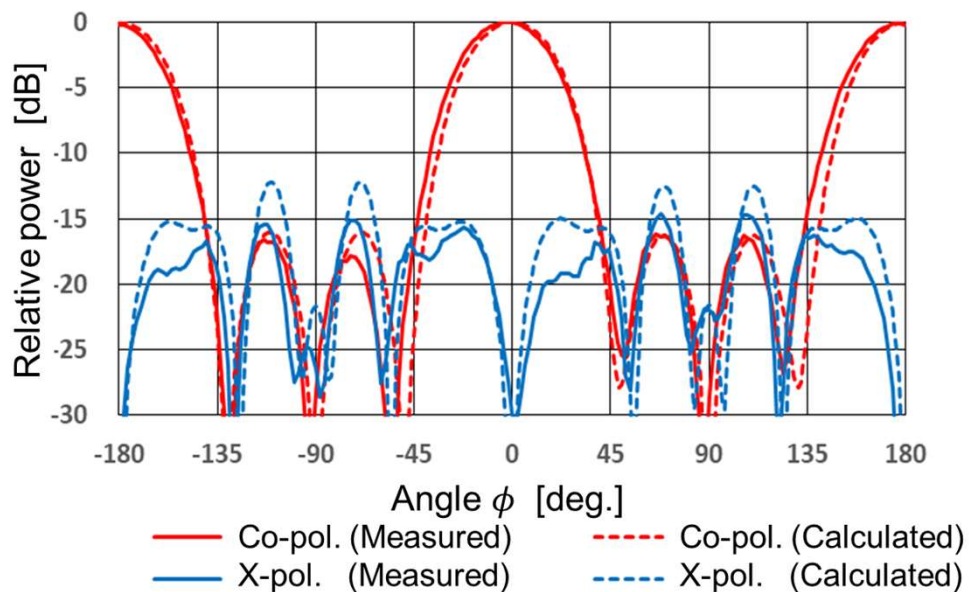
# 放射指向性測定結果(直交偏波共用アンテナ)



Vertical plane ( XZ plane )

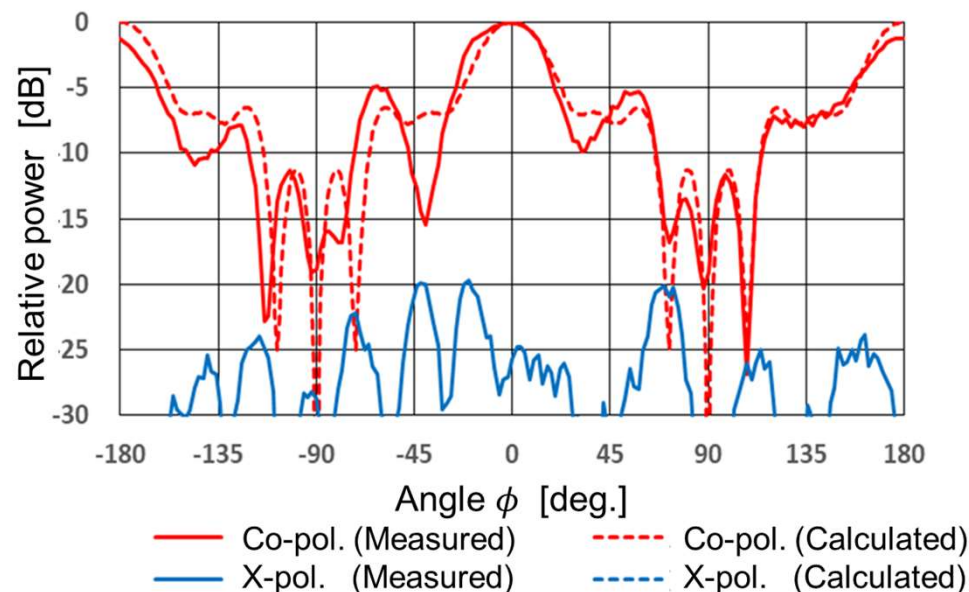


Vertical plane ( XZ plane )



Horizontal plane ( XY plane )

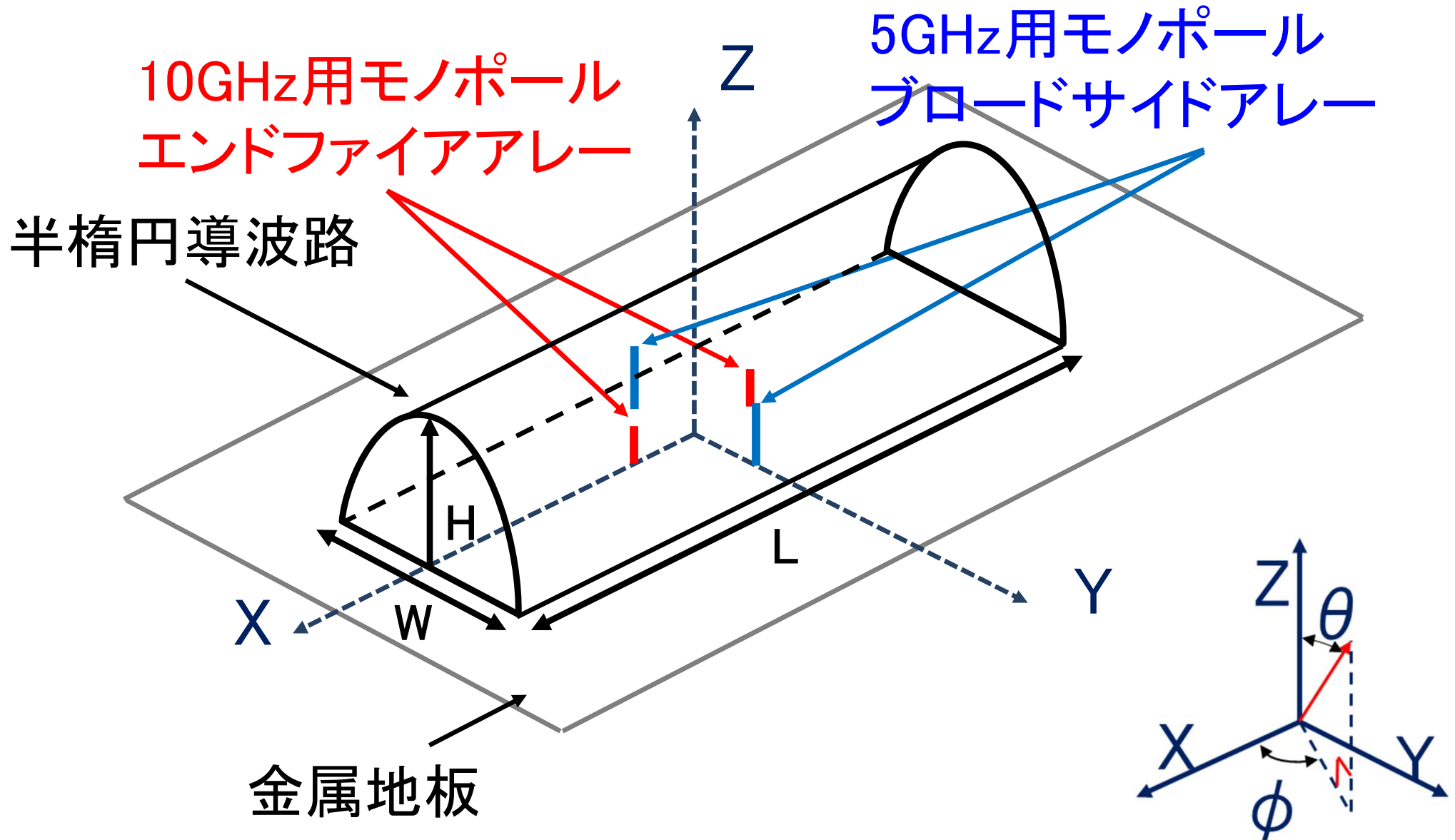
Horizontal Polarization



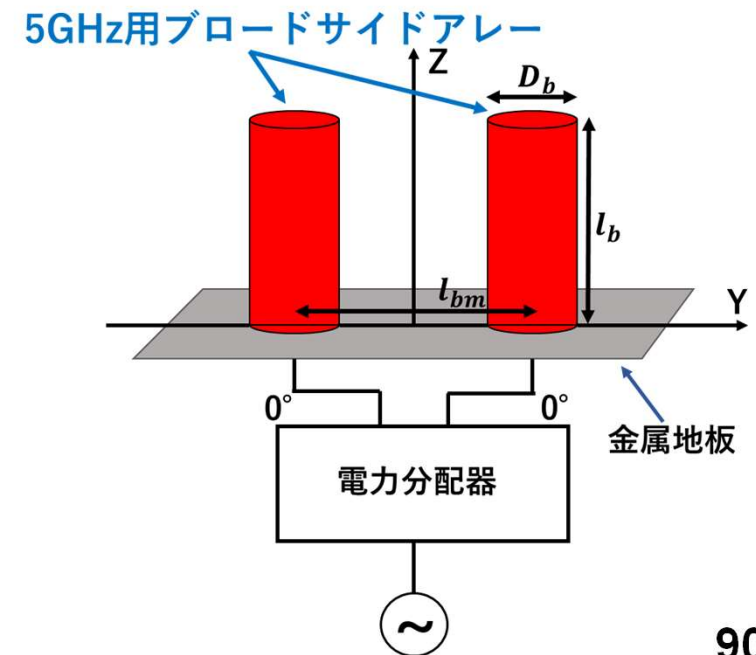
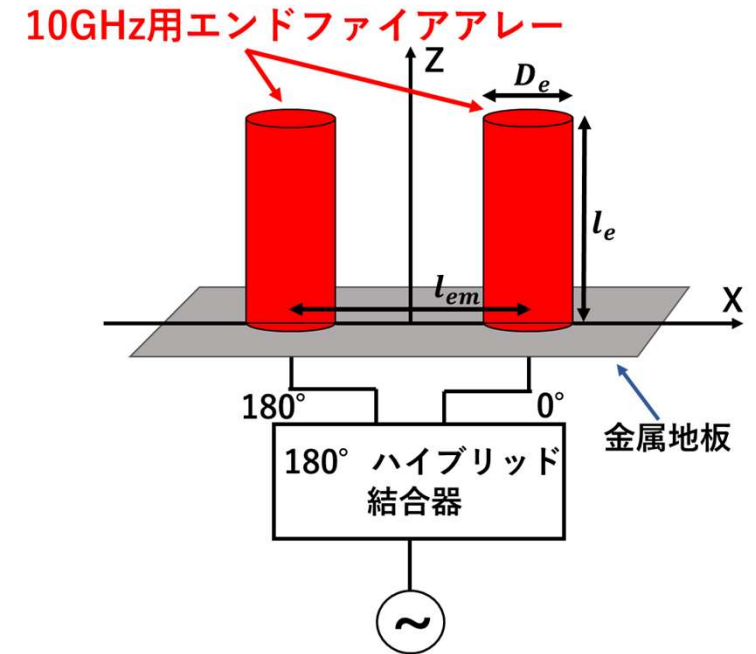
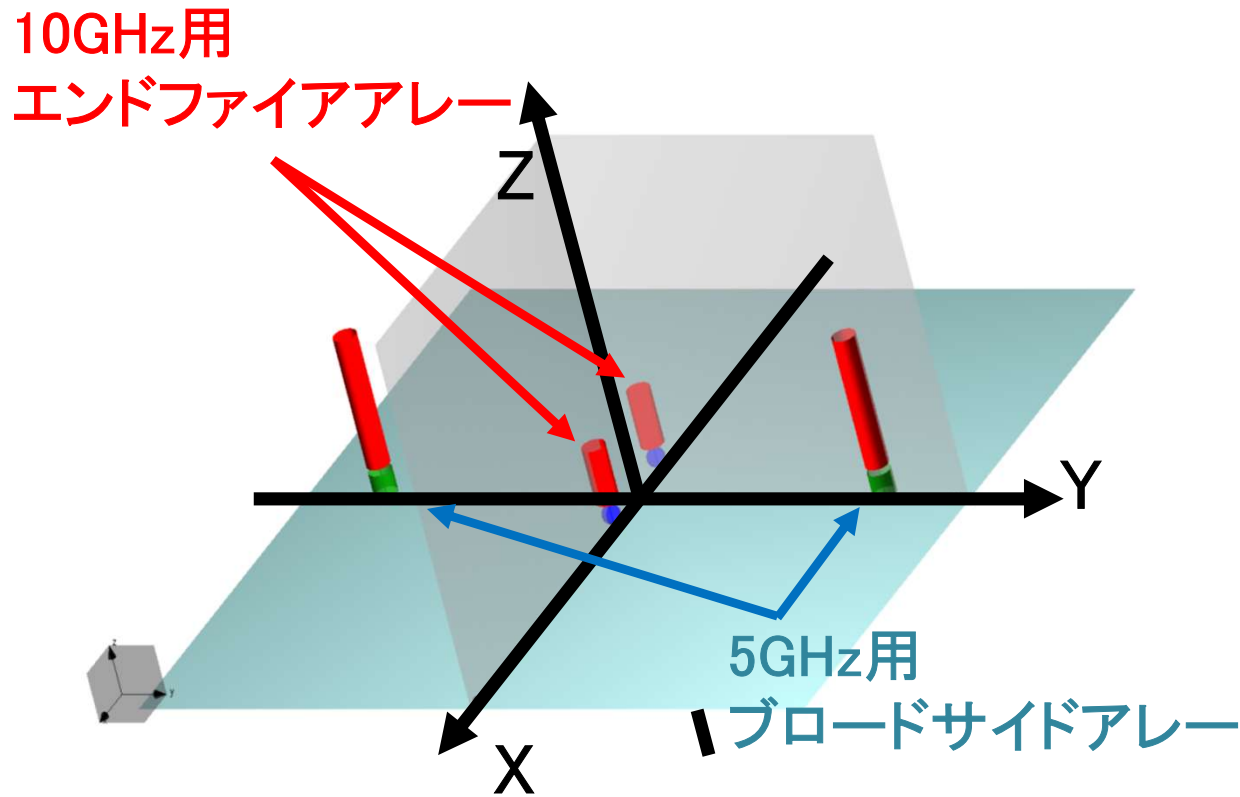
Horizontal plane ( XY plane )

Vertical Polarization

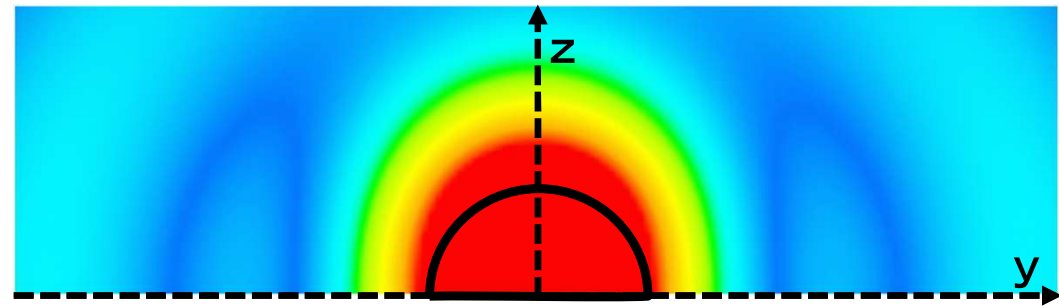
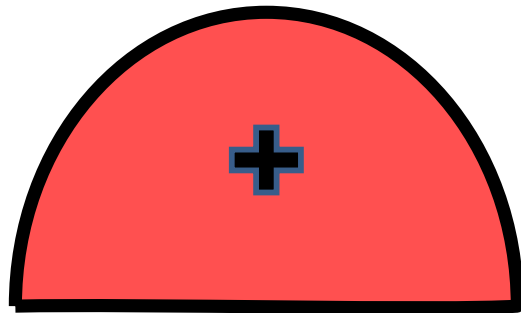




◇ 岡本尚輝, 原田 翔, 笠井広務, 小西善彦, “二周波共用双方向ビーム誘電体導波路アンテナ”,  
2021年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, R21-10-5, Oct. 2021.

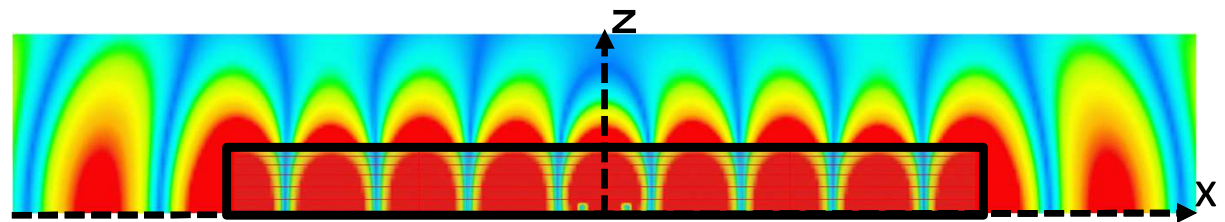


基本モード

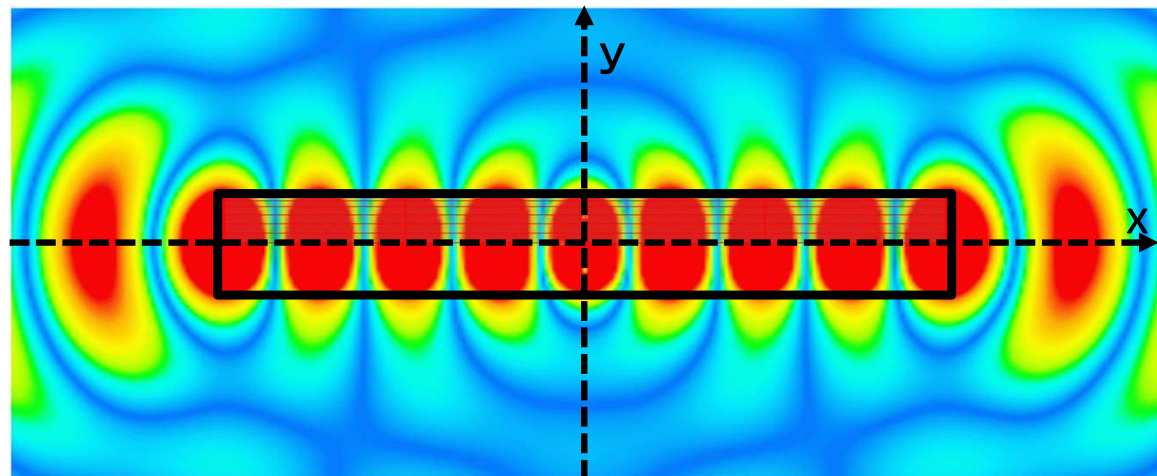


YZ面(X=94.75mm)

幅 $W=0.89\lambda_{g5}$ ( $\lambda_{g5}$ は5GHzでの誘電体内波長)

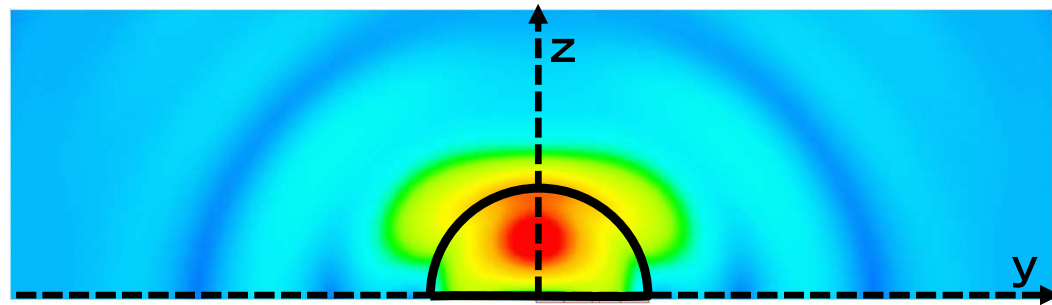
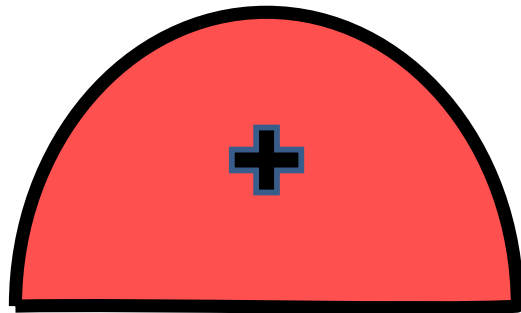


ZX面(Y=0mm)



XY面(Z=1mm)

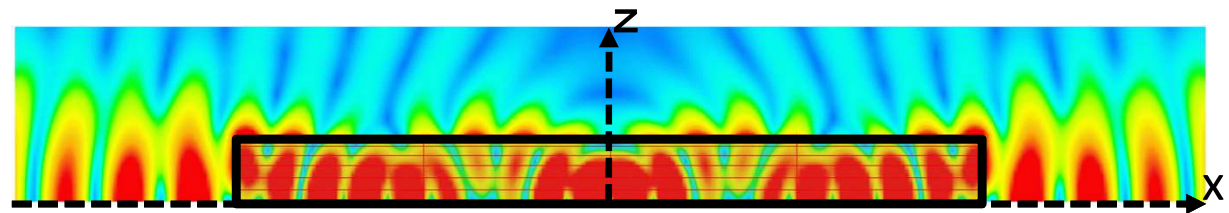
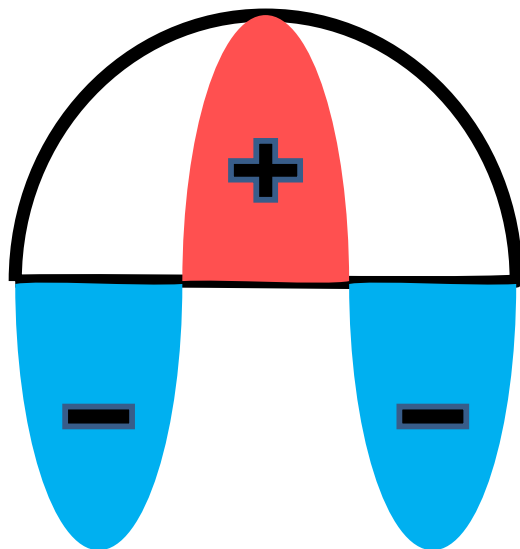
## 基本モード



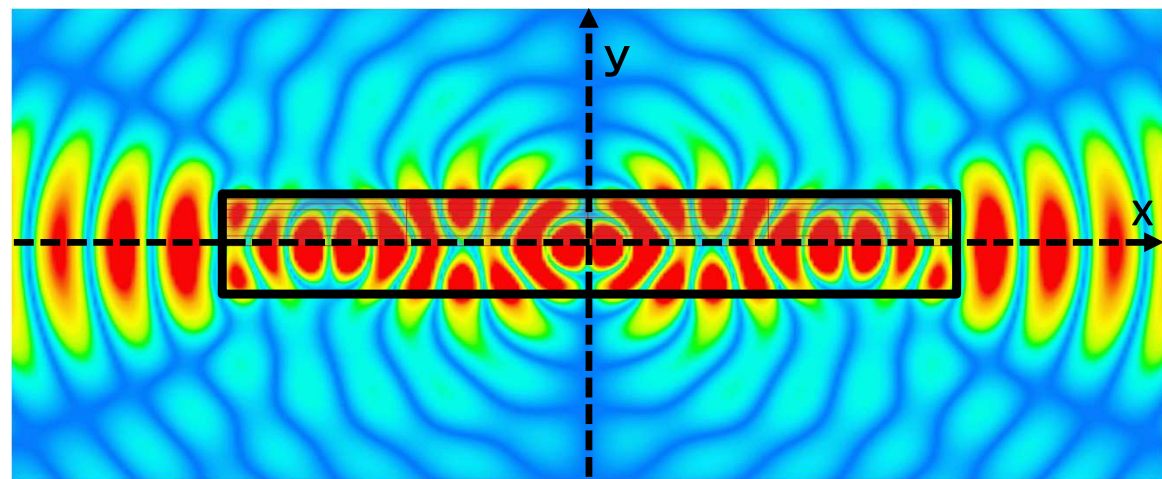
YZ面(X=94.75mm)

幅 $W = 1.78\lambda_{g10}$  ( $\lambda_{g10}$ は10GHzでの誘電体内波長)

## 3次の高次モード



ZX面(Y=0mm)



XY面(Z=1mm)

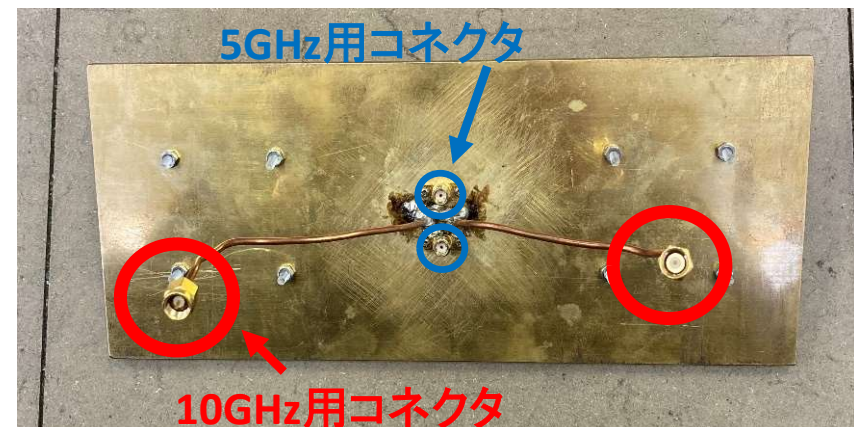
## 試作アンテナ寸法



測定風景

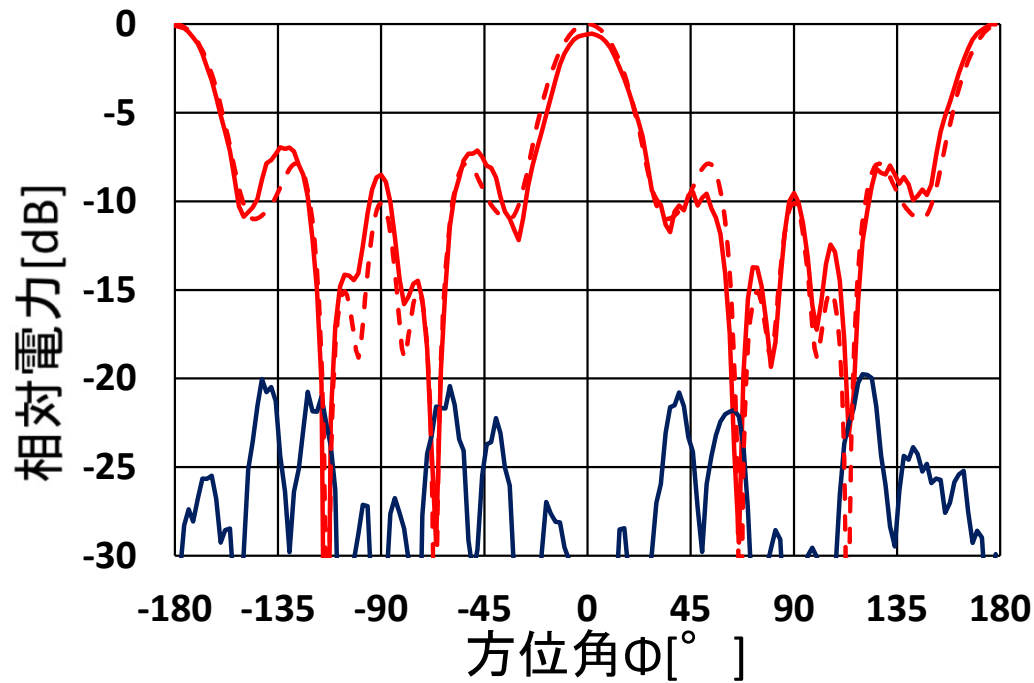
周波数	f[GHz]	5, 10
誘電体導波路	長さL[mm]	210
	幅W[mm]	32
	高さH[mm]	17
	比誘電率 $\epsilon_r$	2.75
	誘電正接 $\tan\delta$	0.01
10GHz用モノポール	長さ $l_e$ [mm]	4.5
	直径 $D_e$ [mm]	0.51
	間隔 $l_{em}$ [mm]	11
5GHz用モノポール	長さ $l_b$ [mm]	9
	直径 $D_b$ [mm]	1.3
	間隔 $l_{bm}$ [mm]	17

誘電体の材料はポリ乳酸

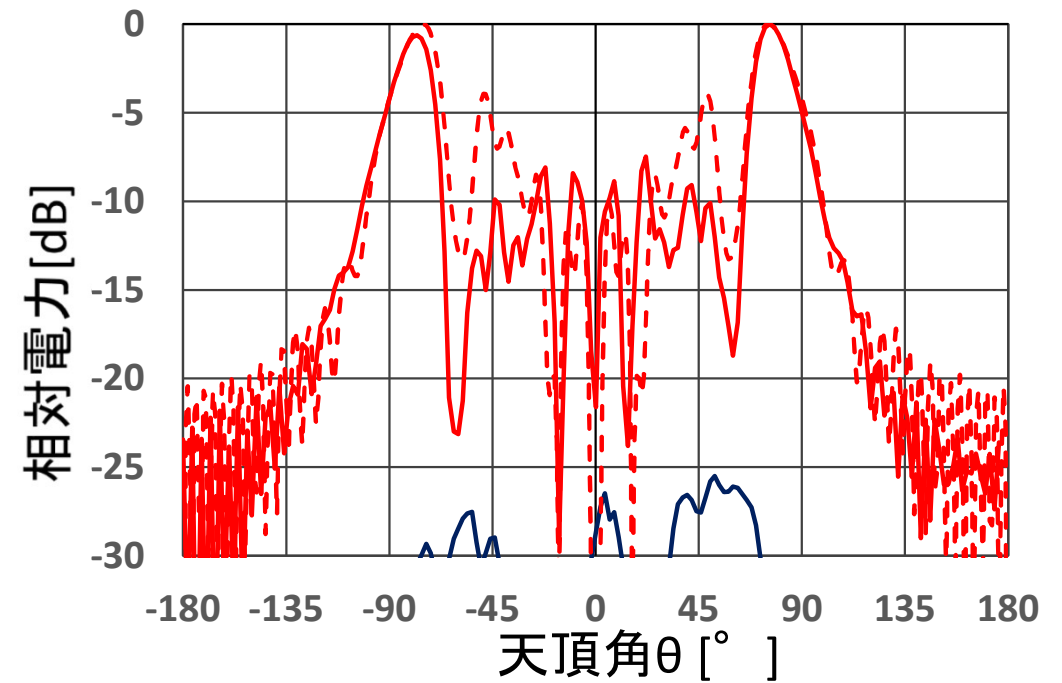


試作アンテナ

## 水平面(XY面)



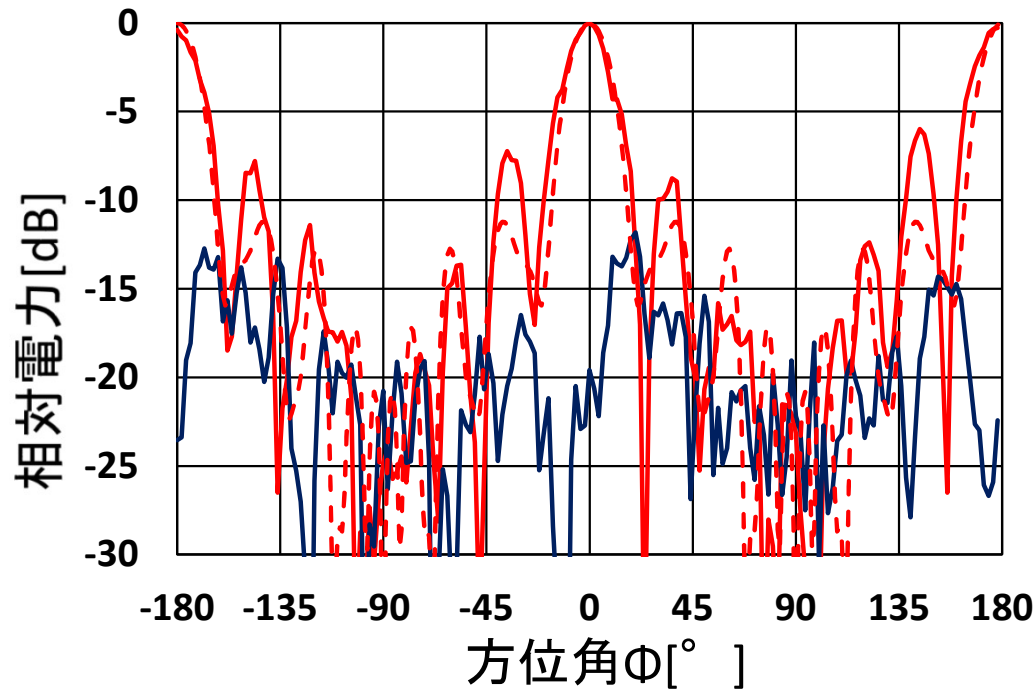
## 垂直面(XZ面)



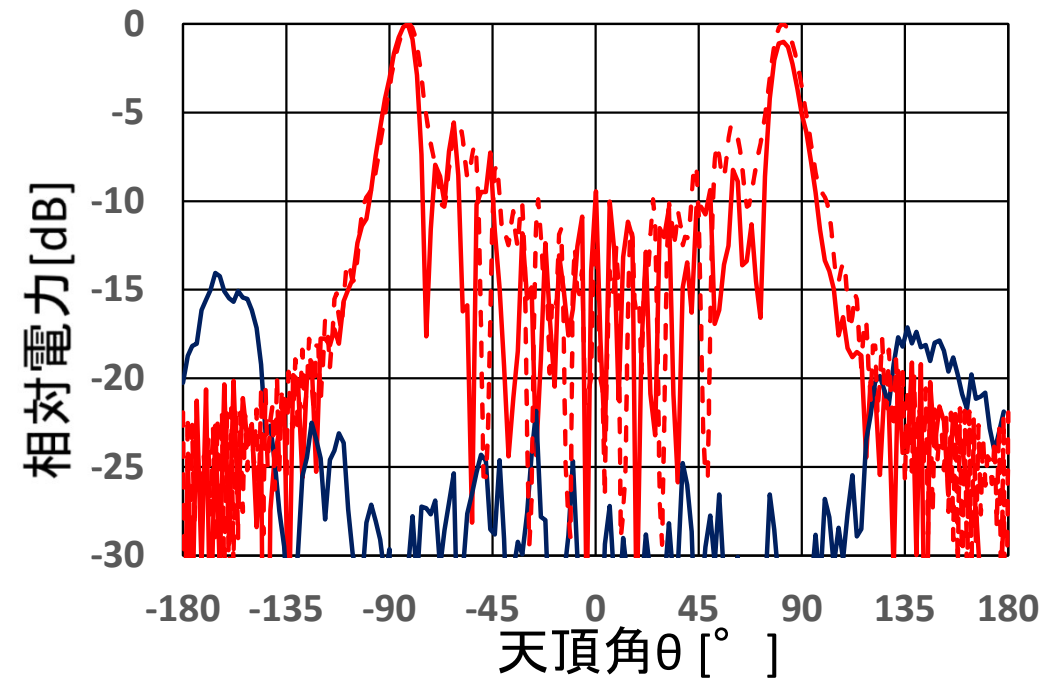
— 主偏波(測定値)  
- - - 主偏波(計算値)

— 交差偏波(測定値)

## 水平面(XY面)



## 垂直面(XZ面)



— 主偏波(測定値)  
- - - 主偏波(計算値)

— 交差偏波(測定値)