

# ループアレイアンテナを用いたOAM多重通信に関する研究

大塚 啓人、山岸 遼平 電気通信大学

## ループアンテナによるOAM波の生成

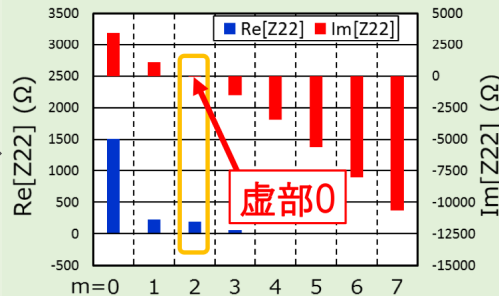
電流分布:  $I(\phi) = \sum_{m=0}^{\infty} I_m \cos(m\phi)$

電流展開係数

一般化Z行列

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^m & Z_{12}^m & Z_{13}^m & Z_{14}^m \\ Z_{21}^m & Z_{22}^m & Z_{23}^m & Z_{24}^m \\ Z_{31}^m & Z_{32}^m & Z_{33}^m & Z_{34}^m \\ Z_{41}^m & Z_{42}^m & Z_{43}^m & Z_{44}^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^m \\ I_2^m \\ I_3^m \\ I_4^m \end{bmatrix}$$

アンテナ2での各モードの入インピーダンス



各アンテナについて  
対応するモードの  
インピーダンス虚部を0とする

各アンテナが単一のOAM波を放射する

## 端子方位制御による干渉波の抑制

受信アレイ隣接ループ電流の解析式

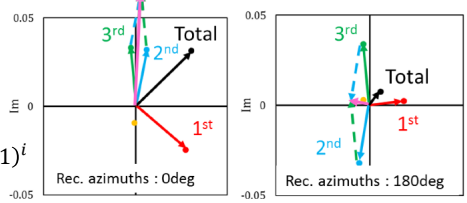
Y行列の0次, 1次微小量を用いて受信隣接ループ電流を解析

0次微小量:  $Y_{ii}^{total}, Y_{i,i+4}^{total}$  (同じモード間)

1次微小量:  $Y_{ij}^{total}, Y_{i,j+4}^{total}$  (1つ異なるモード間)

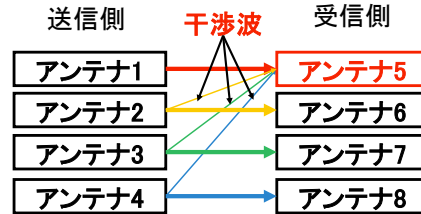
$$(R_p / \rho_{j+4}) = \frac{R_p Y_{j+4,i}^{total} - (R_p Y_{ji}^{total}) \left\{ \frac{R_p Y_{i,i+4}^{total}}{1 + R_p Y_{ii}^{total}} + \frac{R_p Y_{j+4,j}^{total}}{1 + R_p Y_{jj}^{total}} \right\} + \frac{(R_p Y_{i,i+4}^{total})(R_p Y_{j+4,j}^{total})(R_p Y_{j+4,i}^{total})}{(1 + R_p Y_{jj}^{total})(1 + R_p Y_{ii}^{total})}}{1 + R_p Y_{jj}^{total} - \frac{(R_p Y_{j+4,i}^{total})^2}{1 + R_p Y_{ii}^{total}}}$$

- $1 + R_p Y_{ii}^{total}$  and  $1 + R_p Y_{jj}^{total}$ 
  - インピーダンス整合に対応
  - 選択したループ半径ではほぼ等しい
- $R_p Y_{i,i+4}^{total}$  and  $R_p Y_{j+4,j}^{total}$ 
  - $Y_{i,i+4}^{total} \approx Y_{i,i+4}^i = \xi_{i,i+4}^i \cos i(\varphi_{e(i+4)} - \varphi_{ei}) = \xi_{i,i+4}^i (-1)^i$
  - それぞれの主要次数は奇数と偶数で異なる
  - 受信アレイを180度反転させた時、第2項と第3項の符号が異なる

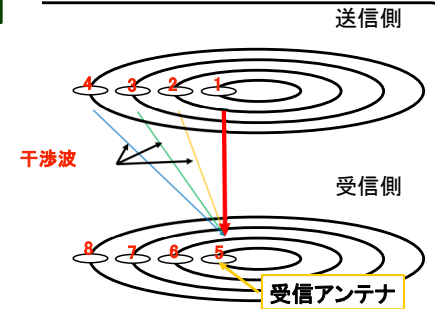


端子方位同一 180°反転

## 反射板による干渉波放射の抑制

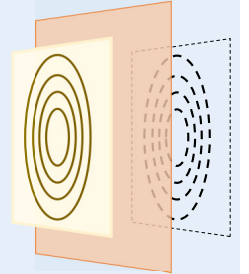


アンテナ5で受信する場合



■ 反射板によって鏡像が出来る

- 鏡像の電流は実際のアンテナの電流の符号が反転したもの
- 実体アンテナの入インピーダンスから鏡像との相互インピーダンスを引いた形になりインピーダンス実部が低下する



一般化Z行列

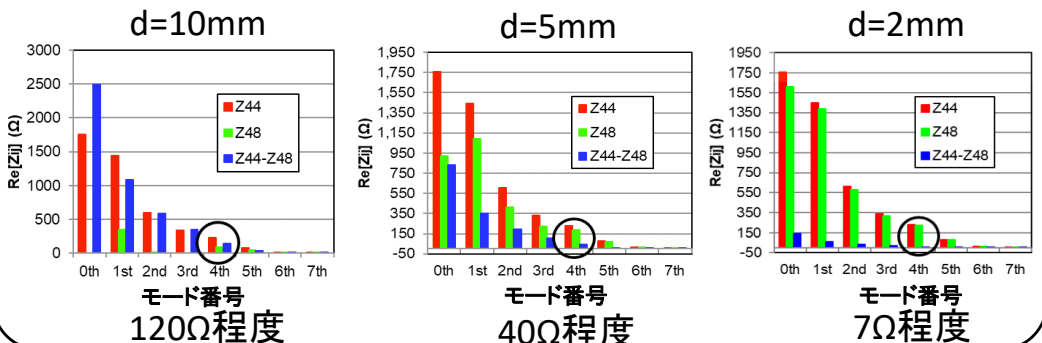
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^n & Z_{12}^n & Z_{13}^n & Z_{14}^n \\ Z_{12}^n & Z_{22}^n & Z_{23}^n & Z_{24}^n \\ Z_{13}^n & Z_{23}^n & Z_{33}^n & Z_{34}^n \\ Z_{14}^n & Z_{24}^n & Z_{34}^n & Z_{44}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^n \\ I_2^n \\ I_3^n \\ I_4^n \end{bmatrix}$$

対角項は鏡像との  
相互インピーダンスを引いた形  
→ 入インピーダンスの低下

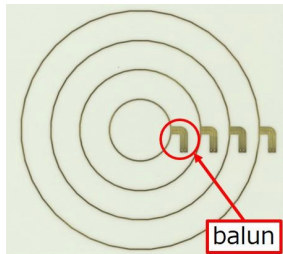
$n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Mathematicalによる数値解析

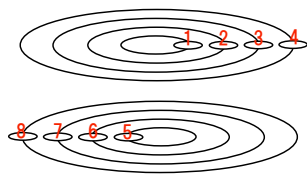
4番目のモードを放射するアンテナの自己インピーダンス実部



## 近距離OAM通信(実測評価)

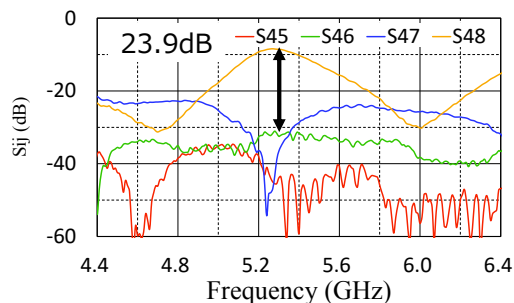
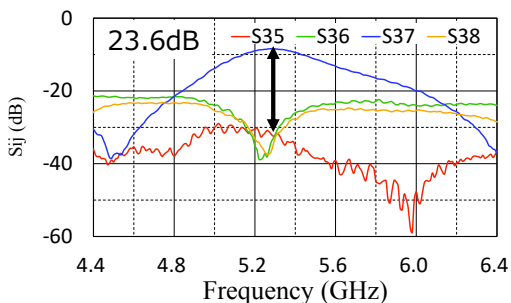
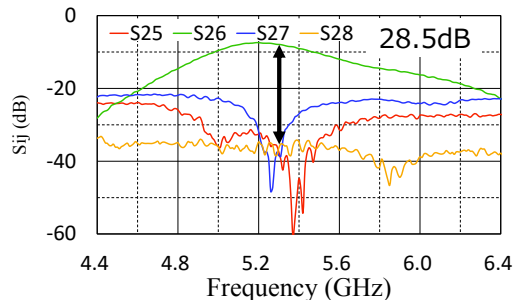
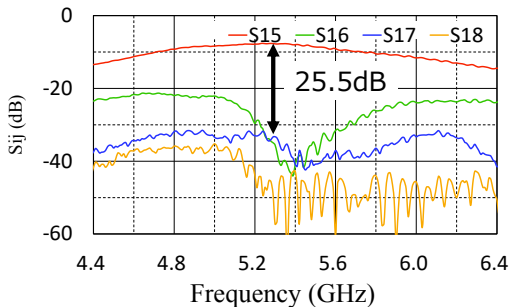


試作した基板



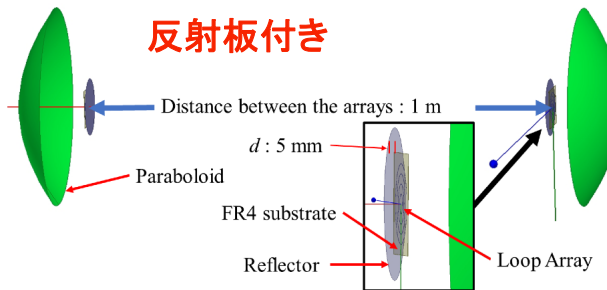
対向アレイ反転

- 導体幅：0.4mm
- ループ半径
- Port1/ Port5：8.4mm
- Port2/ Port6：16.5mm
- Port3/ Port7：24.4mm
- Port4/ Port8：32.5mm
- 端子インピーダンス：200Ω
- 基板：FR-4
- 厚さ：0.1mm
- 比誘電率：4.8
- 誘電正接：0.01

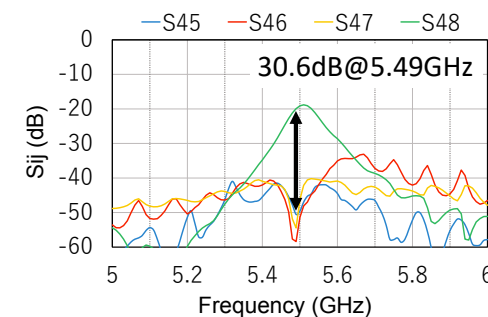
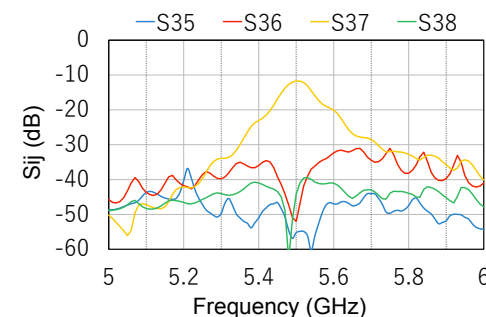
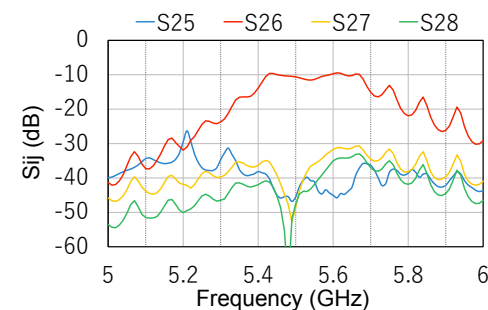
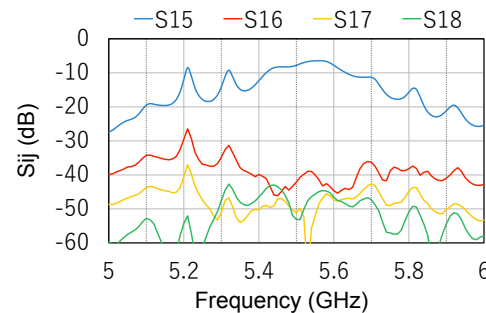


隣接したループ半径への干渉波抑制  
→信号波・干渉波比23.6dB (通常に比べ9.2dB改善)

## 遠距離OAM通信(シミュレーション)

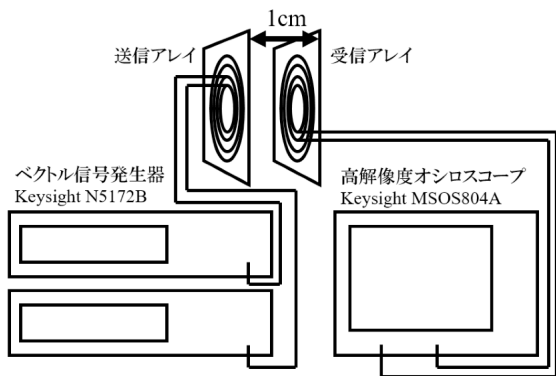


- ループ半径
- Port1/ Port5：7.9mm
- Port2/ Port6：15.8mm
- Port3/ Port7：23.7mm
- Port4/ Port8：31.6mm
- 端子インピーダンス：40Ω
- パラボラ反射鏡  
半径20cm  
焦点距離14.4cm



反射板なしと比較して信号波・干渉波比が19.6dB向上

## 信号波・干渉波比とEVMの関係



- 端子方位：受信アレイ反転
- 送信端子：1, 2
- 受信端子：5, 6
- シンボルレート：75Mpsps
- 入力電力：0dBm
- 変調方式：64-QAM
- 自己遅延波信号処理及びMIMO信号処理は施していない

