

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

ループアンテナがOAM波を放射する条件

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

電磁界

$$\begin{bmatrix} E_r \\ E_\theta \\ E_\phi \end{bmatrix} = \frac{\eta_0 k_0^2}{4} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \frac{2l+1}{l(l+1)} \frac{(l-m)!}{(l+m)!} I_m \left[\frac{1}{k_0} \frac{d\{rj_l(k_0 r)\}}{dr} \Big|_{r=a} \cdot m P_l^m(0) \begin{bmatrix} \frac{l(l+1)}{k_0 r} h_l^{(2)}(kr) \cdot P_l^m(\cos\theta) \sin m\phi \\ \frac{1}{k_0 r} \frac{d\{r h_l^{(2)}(k_0 r)\}}{dr} \cdot \frac{dP_l^m(\cos\theta)}{d\theta} \sin m\phi \\ \mp \frac{1}{k_0 r} \frac{d\{r h_l^{(2)}(k_0 r)\}}{dr} \cdot \frac{m}{\sin\theta} P_l^m(\cos\theta) \cos m\phi \end{bmatrix} \right. \\ \left. + a j_l(k_0 a) \cdot \frac{dP_l^m(\cos\theta)}{d\theta} \Big|_{\theta=\pi/2} \begin{bmatrix} 0 \\ \mp h_l^{(2)}(kr) \cdot \frac{P_l^m(\cos\theta)}{\sin\theta} \sin m\phi \\ -h_l^{(2)}(kr) \cdot \frac{dP_l^m(\cos\theta)}{d\theta} \cos m\phi \end{bmatrix} \right]$$

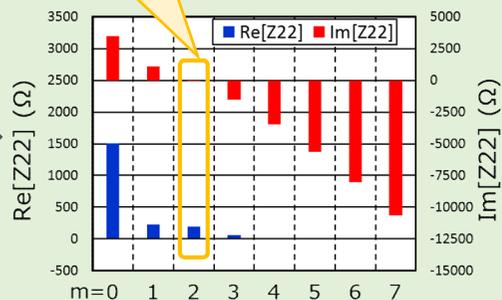
電流展開係数が単一 → 磁気量子数も単一 → OAM波放射

ある次数のインピーダンスが他の次数に比べて遥かに小さい

一般化Z行列

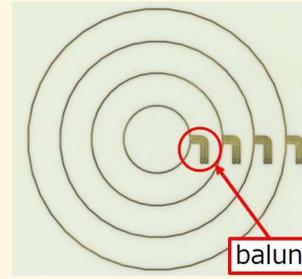
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^m & Z_{12}^m & Z_{13}^m & Z_{14}^m \\ Z_{21}^m & Z_{22}^m & Z_{23}^m & Z_{24}^m \\ Z_{31}^m & Z_{32}^m & Z_{33}^m & Z_{34}^m \\ Z_{41}^m & Z_{42}^m & Z_{43}^m & Z_{44}^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1^m \\ I_2^m \\ I_3^m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

Z_{22}^m の中で Z_{22}^2 が遥かに小さい

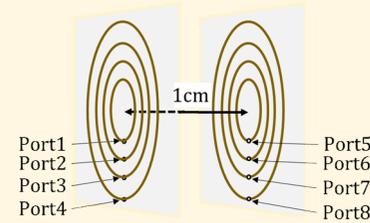


インピーダンスの
アイソレーションを最大化

近距離OAM通信

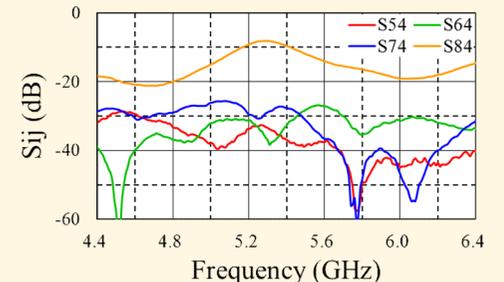
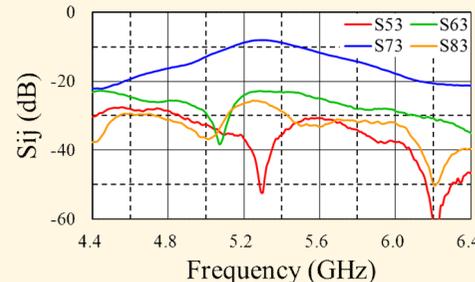
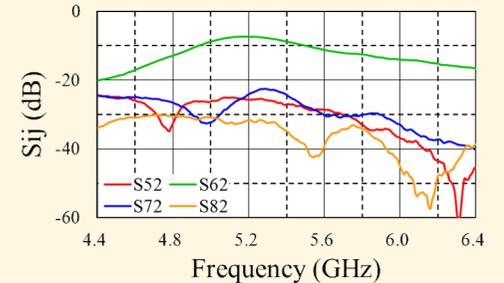
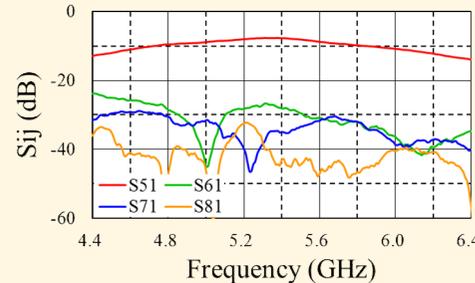


試作した基板



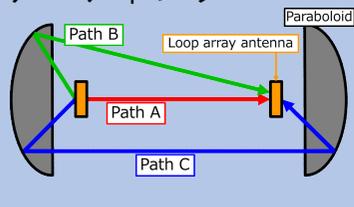
- 導体幅: 0.4mm
- ループ半径
 - Port1/ Port5: 8.4mm
 - Port2/ Port6: 16.5mm
 - Port3/ Port7: 24.4mm
 - Port4/ Port8: 32.5mm
- 端子インピーダンス: 200Ω
- 基板: FR-4
 - 厚さ: 0.1mm
 - 比誘電率: 4.8
 - 誘電正接: 0.01
- 基板間距離1cmで測定

アイソレーション: 14.4dB (@5.4GHz)



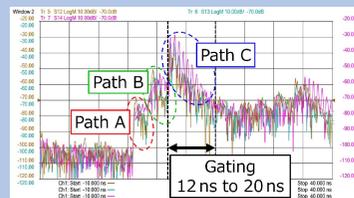
遠距離OAM通信

ゲーティング

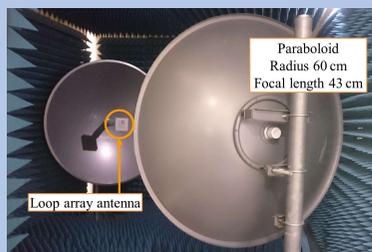


■ マルチパスによる干渉の影響

- Path A: 直接対向するアンテナに向かう経路
- Path B: 一度パラボロイドを介す経路
- Path C: 二度パラボロイドを介す経路

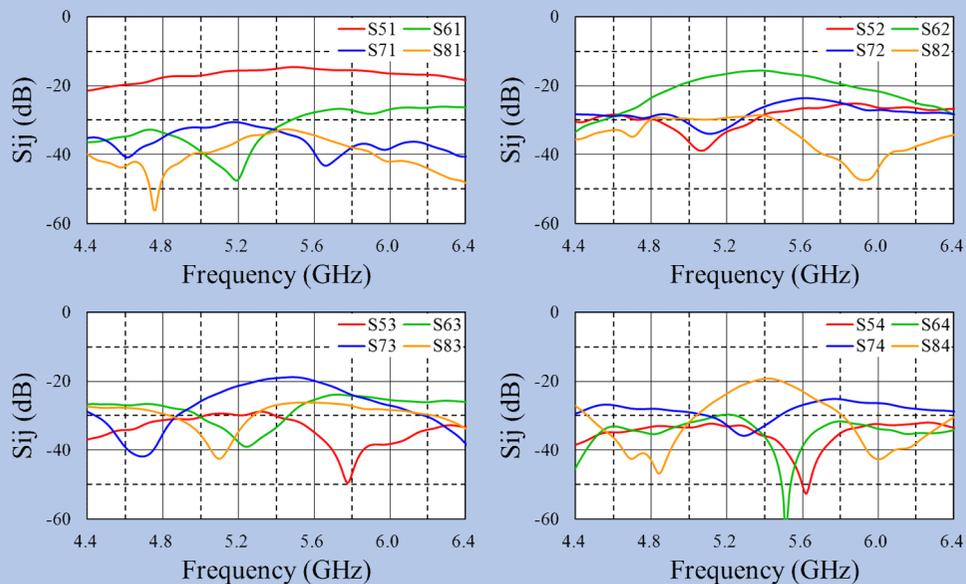


12ns~20nsの区間でゲーティングをし Path C のデータのみを用いる



- ▶ パラボロイド
半径: 60cm
焦点距離: 43cm
- ▶ 基板間距離: 150cm

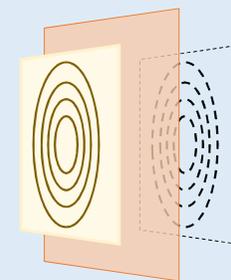
アイソレーション: 7.8dB (@5.4GHz)



反射板によるアイソレーションの改善

■ 反射板の裏側に仮想的なアンテナ

- ▶ 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
- ▶ 鏡像の自己インピーダンス, 同一アレイ内の相互インピーダンスは実際のアンテナの値と同じ



一般化Z行列

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^n - Z_{15}^n & Z_{12}^n - Z_{16}^n & Z_{13}^n - Z_{17}^n & Z_{14}^n - Z_{18}^n \\ Z_{12}^n - Z_{25}^n & Z_{22}^n - Z_{26}^n & Z_{14}^n - Z_{27}^n & Z_{24}^n - Z_{28}^n \\ Z_{13}^n - Z_{35}^n & Z_{14}^n - Z_{36}^n & Z_{11}^n - Z_{37}^n & Z_{12}^n - Z_{38}^n \\ Z_{14}^n - Z_{45}^n & Z_{24}^n - Z_{46}^n & Z_{12}^n - Z_{47}^n & Z_{22}^n - Z_{48}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix}$$

対角項の値が減少
↓
インピーダンスの
アイソレーション改善

- ▶ 反射板: 16cm×16cm (基板と反射板の距離1cm)
- ▶ 端子インピーダンス: 120Ω
- ▶ ループ半径: 8.4mm/16.7mm/25.0mm/32.8mm

アイソレーション: 10.1dB (@5.3GHz)

