

同一周波数多重通信用 アンテナモジュールおよび関連技術

電気通信大学 大学院 情報理工学研究科
情報・ネットワーク工学専攻
教授 石川 亮

2021年5月13日

軌道角運動量OAM (Orbital Angular Momentum) を用いた通信多重化(並列化)

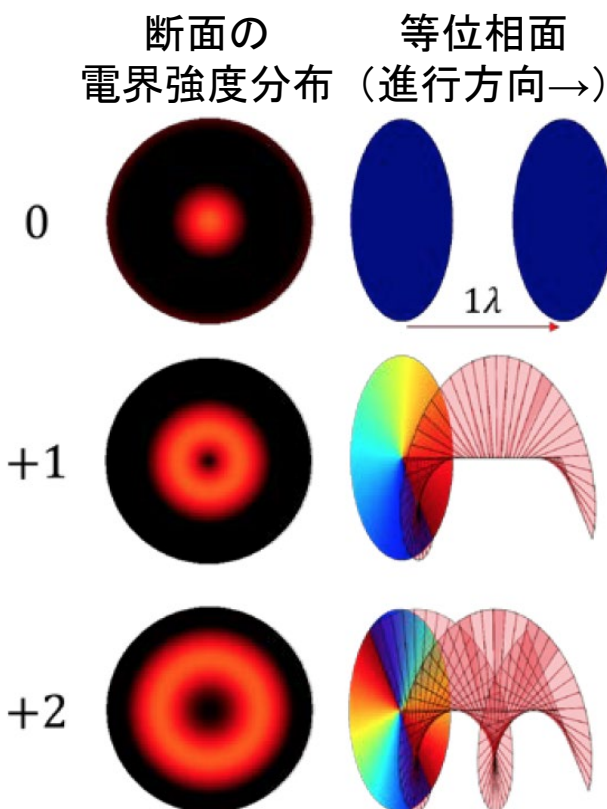
背景 無線システム通信速度向上のために周波数帯域を拡大
しかしながら周波数資源は有限



OAM波の直交性を用いた新たな多重化
(同一周波数での多重化が可能)

OAM波とは？

- 断面で $2m\pi$ 回転する位相分布 (m : 整数)
- リング状の強度分布
- 異なるモード (m 値) のOAM波は互いに直交



OAM波の想定応用例およびOAM波生成の従来手法

想定応用例

(アンテナ間の中心軸を合わせる必要あり)

近接大容量通信

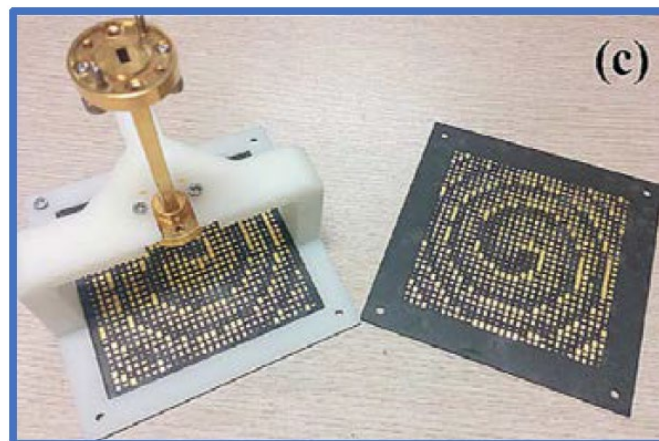


基地局間大容量無線通信

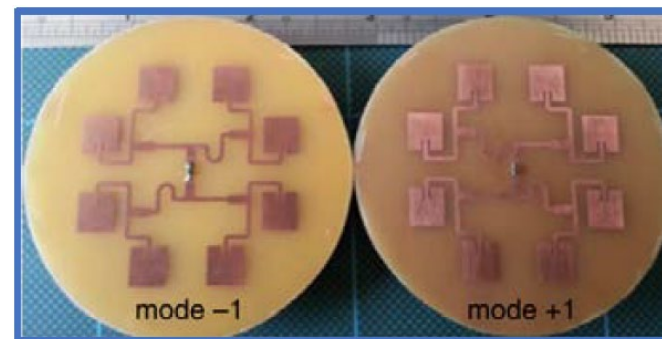


従来手法

スパイラル位相板を用いて位相を回転



複数アンテナを円周配置して位相制御



課題

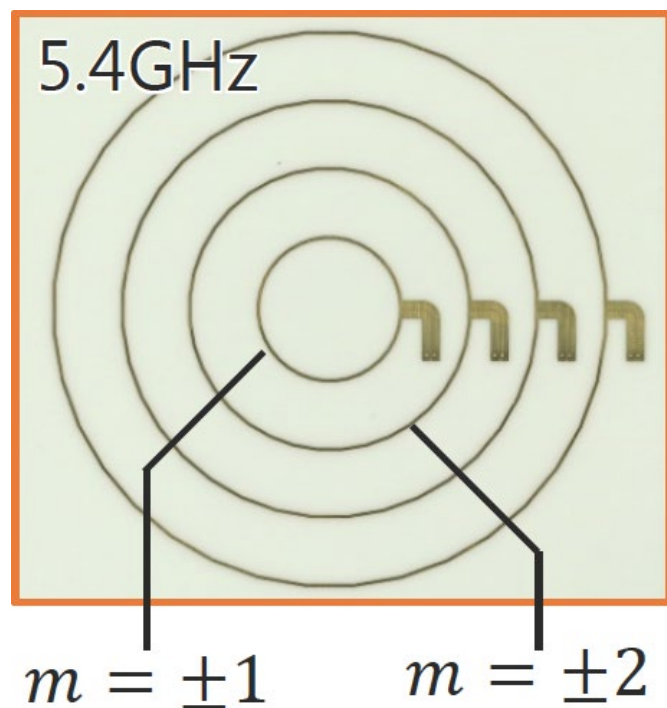


回路が複雑化
(モード毎に別の回路が必要)

A. Tennant et al., Electronics Lett., 2014.

Y. Chen et al., IEEE Ant. Wirel. Propag. Lett., 2016

提案している円形ループアンテナアレイを用いた OAM波生成手法



FR4 樹脂基板上に作製された
4 値ループアンテナアレイ
(厚さ 0.1 mm, バラン付)

円周を調整するだけでOAM波を生成可能

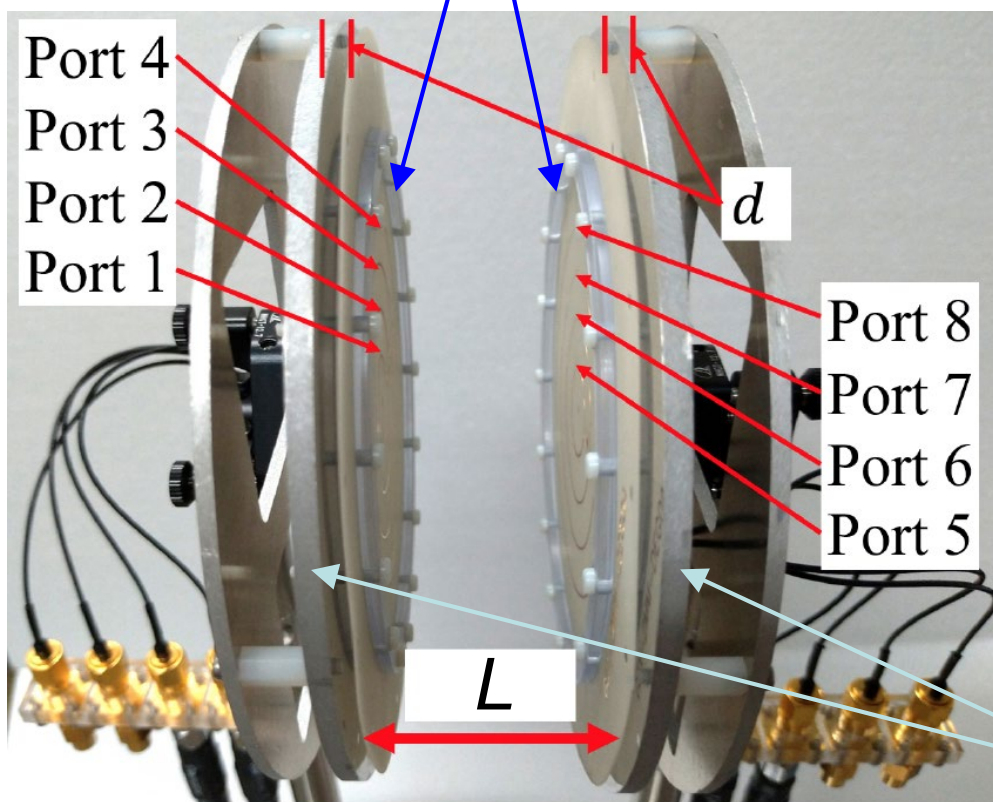
- m 次共振周波数となるループ半径で主モードが m のOAM波を放射
- 一枚の基板上で複数モードが生成可能
- 同一モード間(同一円周間)の通信となり,異なるモード間の干渉が大きく抑制



樹脂基板上に作製可能で簡便・安価で
複数モードOAM波の生成が可能

OAM波多重通信の実証例1 (近距離通信1)

送受ループアンテナアレイ



5.5 GHz 帯で検証実験

ループ直径: 15.8/31.8/47.8/63.8 mm

送受間距離 L : 3 cm

アンテナ - 反射板間距離 d : 2 mm

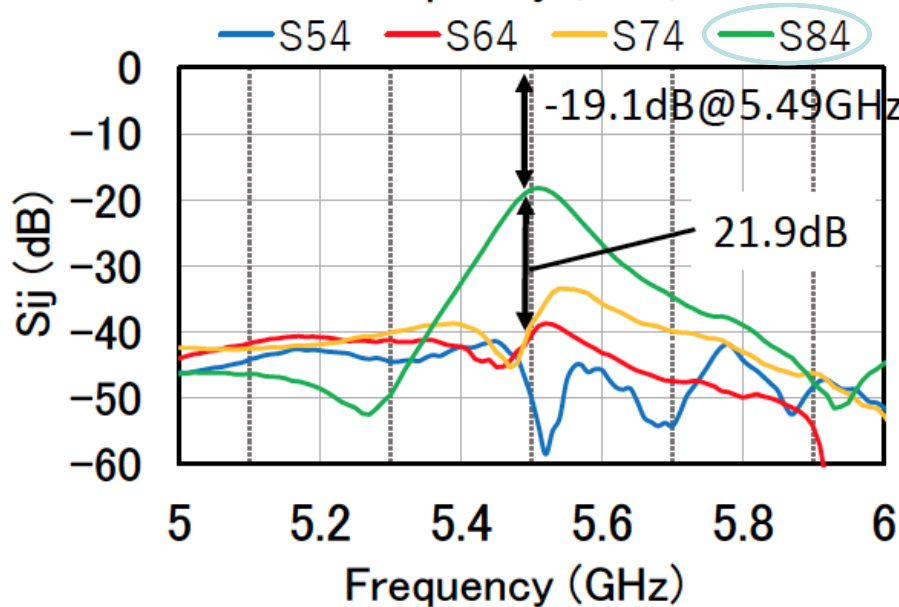
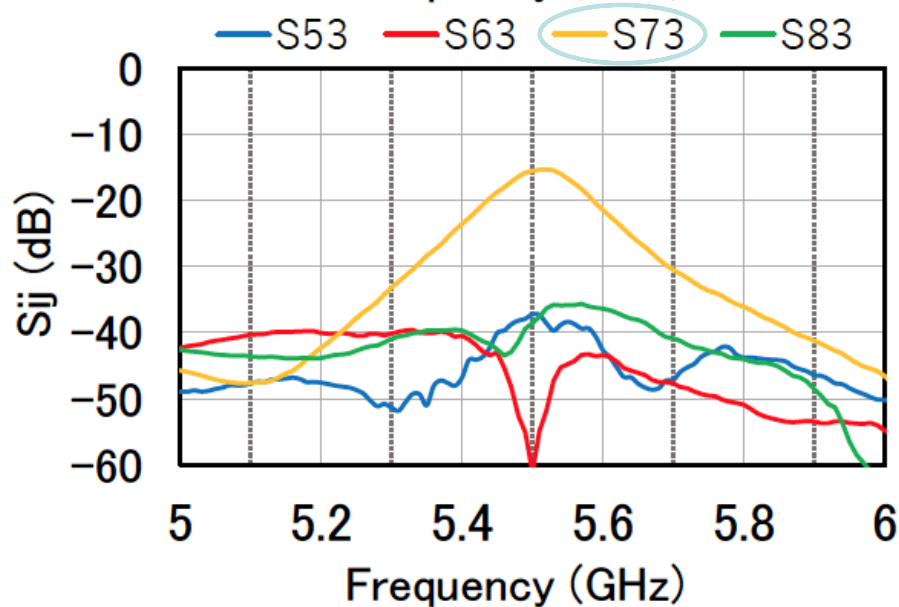
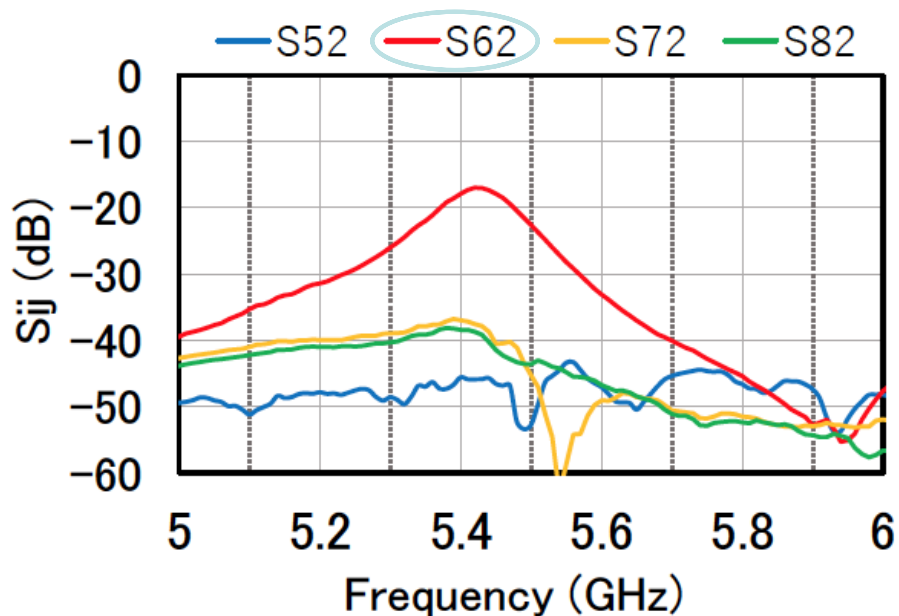
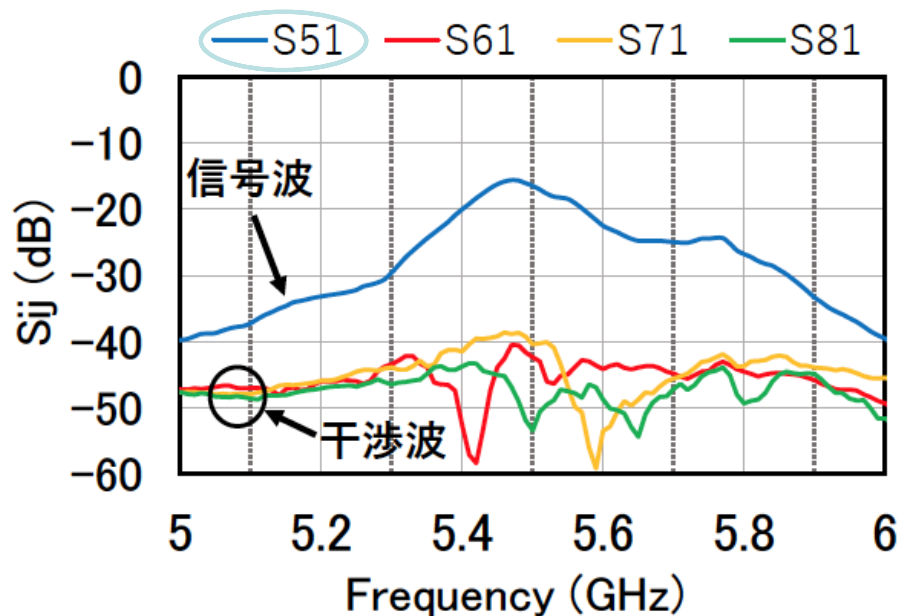
反射板を設けることで IT を改善
(帯域幅とのトレードオフ)

金属反射板

評価指標: 通過アイソレーション IT を定義
(信号通過量と干渉量との比)

$$IT(m, n) [\text{dB}] = S_{n+4, n} [\text{dB}] - S_{m, n} [\text{dB}] \quad (n = 1, 2, 3, 4 \quad m = 5, 6, 7, 8)$$

OAM波多重通信の実証例1 (近距離通信1)



測定結果

$IT \geq 21.9$
dB

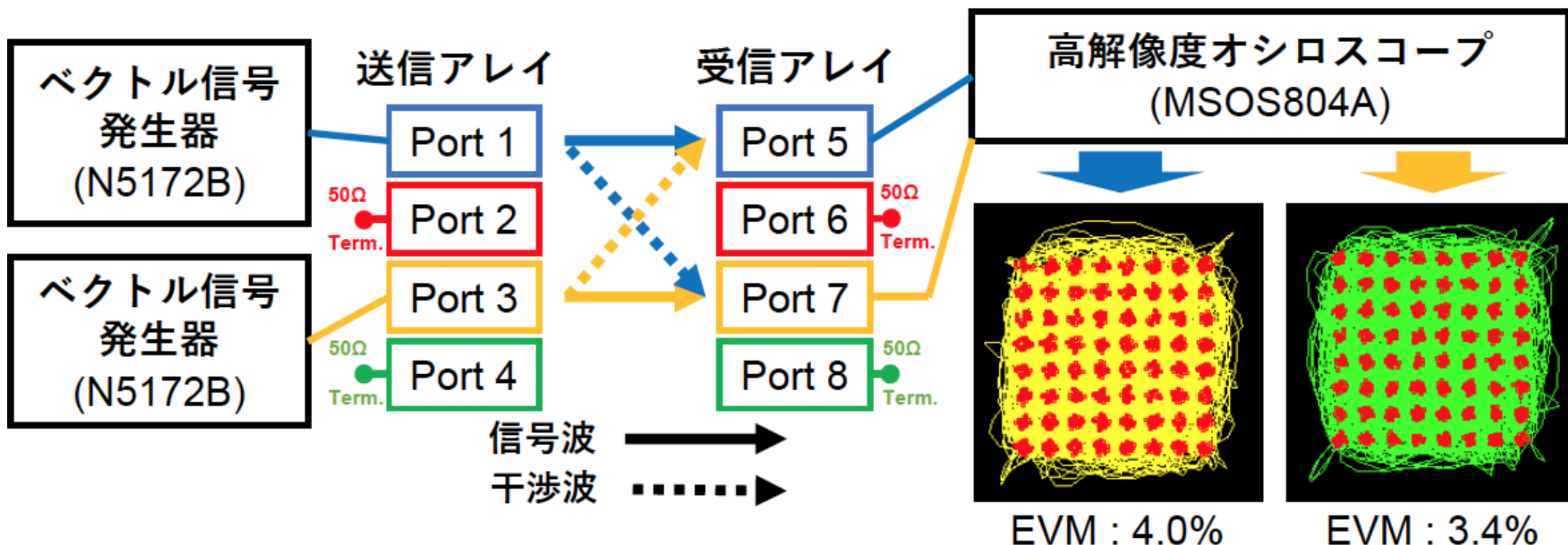
@5.49 GHz

信号波に対して干渉波が十分抑制できていることが確認

OAM波多重通信の実証例1 (近距離通信1)

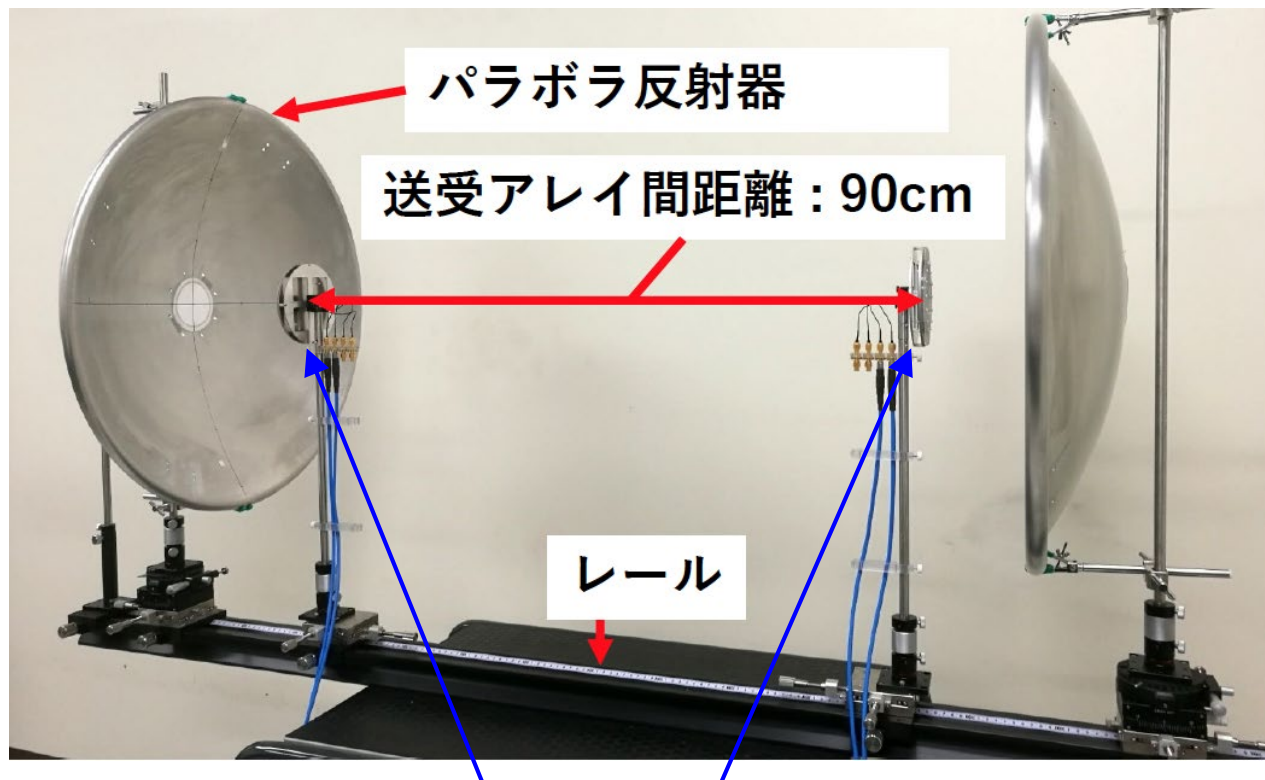
64 QAM デジタル変調信号の伝送特性評価

中心周波数: 5.47 GHz, シンボルレート: 10 M Symbols/s



MIMOなどで用いられる信号処理を一切行わず、同一周波数での多重化が可能であることが実証

OAM波多重通信の実証例2(遠距離通信1)



パラボラ集束による
遠距離通信の検証実験

- 5.5 GHz 帯
- 伝送距離 90 cm
(測定系の都合
+ 電波の広がり)

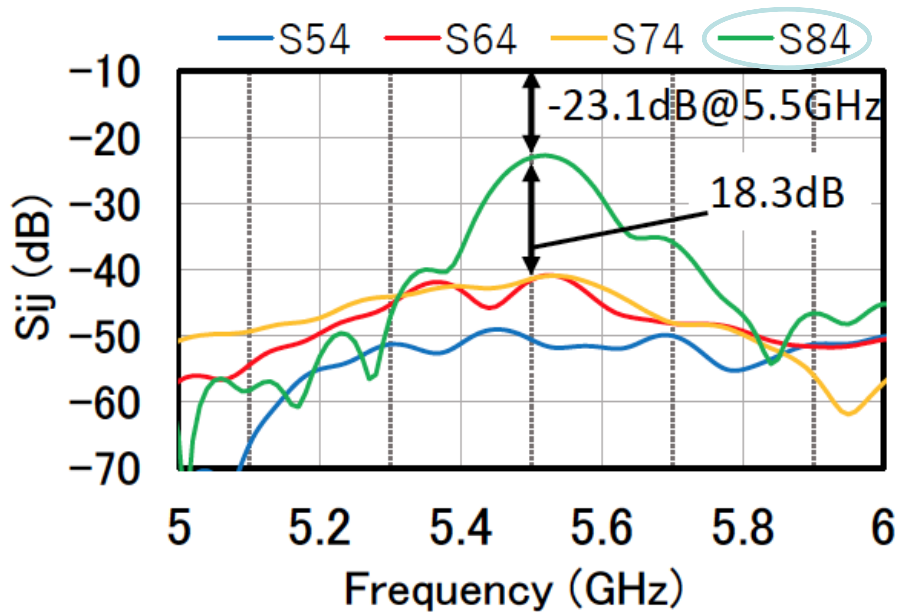
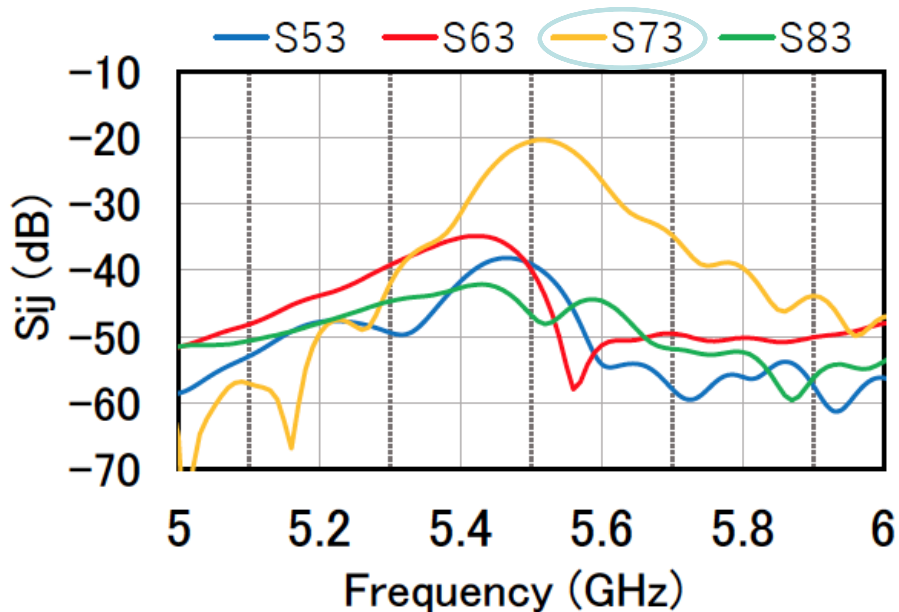
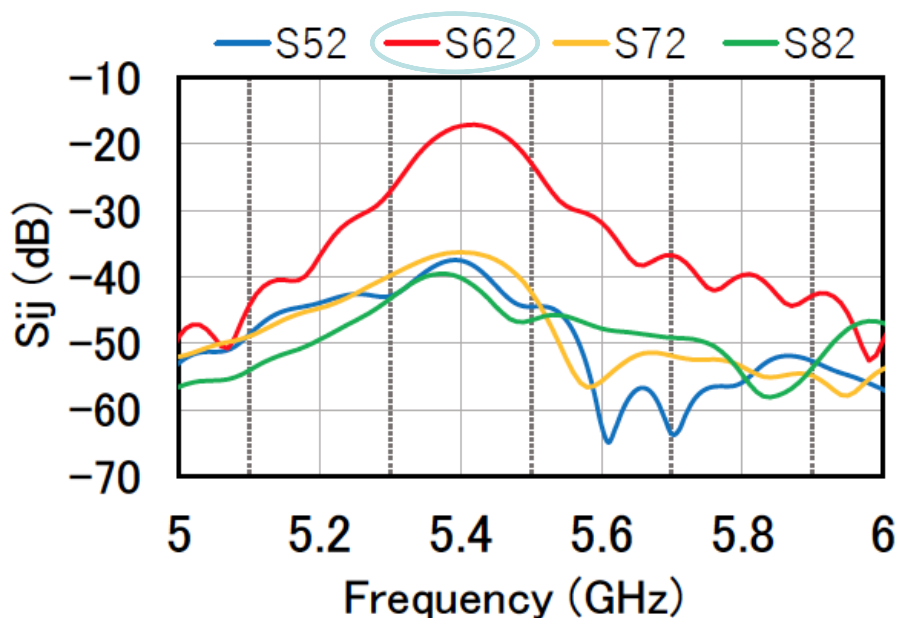
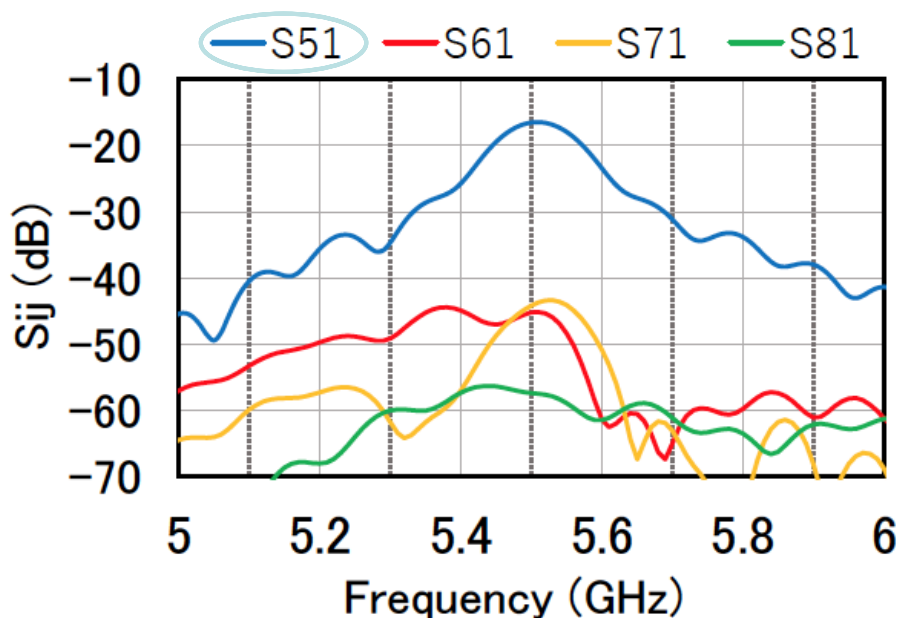
送受ループアンテナアレイ+反射板

距離の長距離化に関する課題

→ パラボラサイズの大型化

→ 周波数の増加 (一般的OAM波はミリ波帯での実用が検討)

OAM波多重通信の実証例2(遠距離通信1)



測定結果

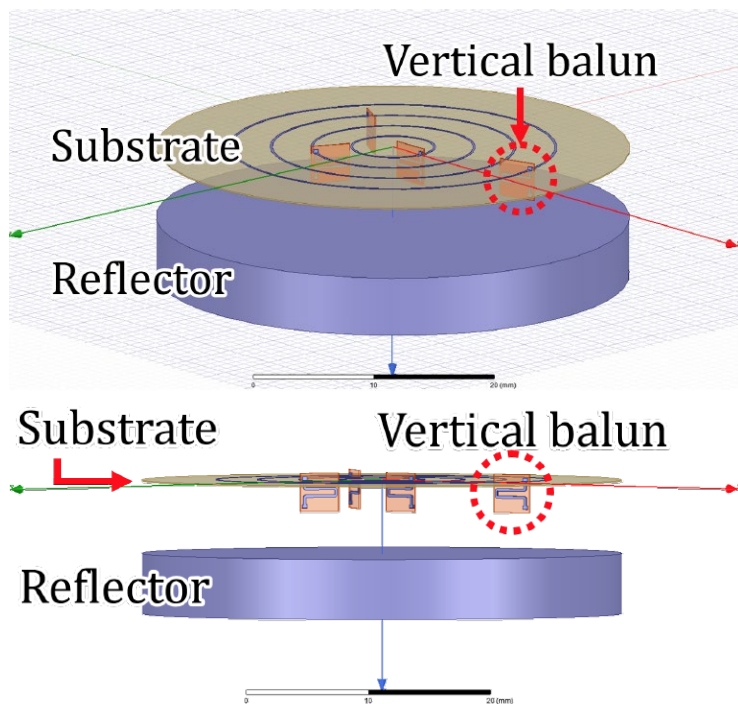
$IT \geq 18.3$
dB

@5.5GHz
パラボラでの
集束効果



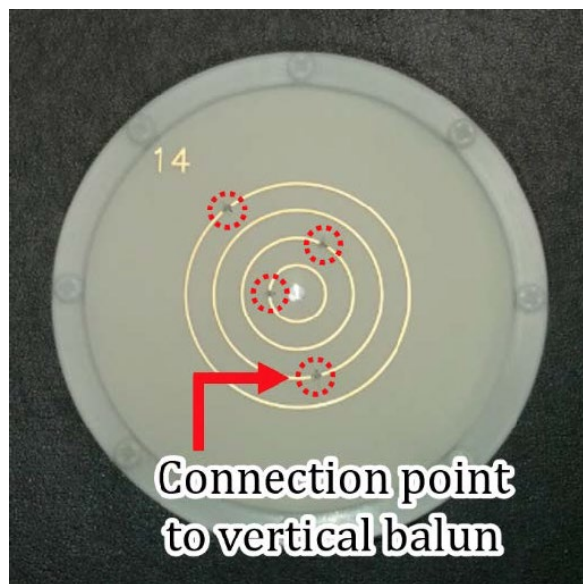
近距離同様
信号波に対
して干渉波
が十分抑制
できている
ことが確認

OAM波多重通信の実証例3(遠距離通信2)



- 高周波化の検討 → 12 GHz帯
- アンテナ励振位置最適化で IT 改善
→ アンテナ上の電流分布を考慮して干渉が最小化するように位置調整

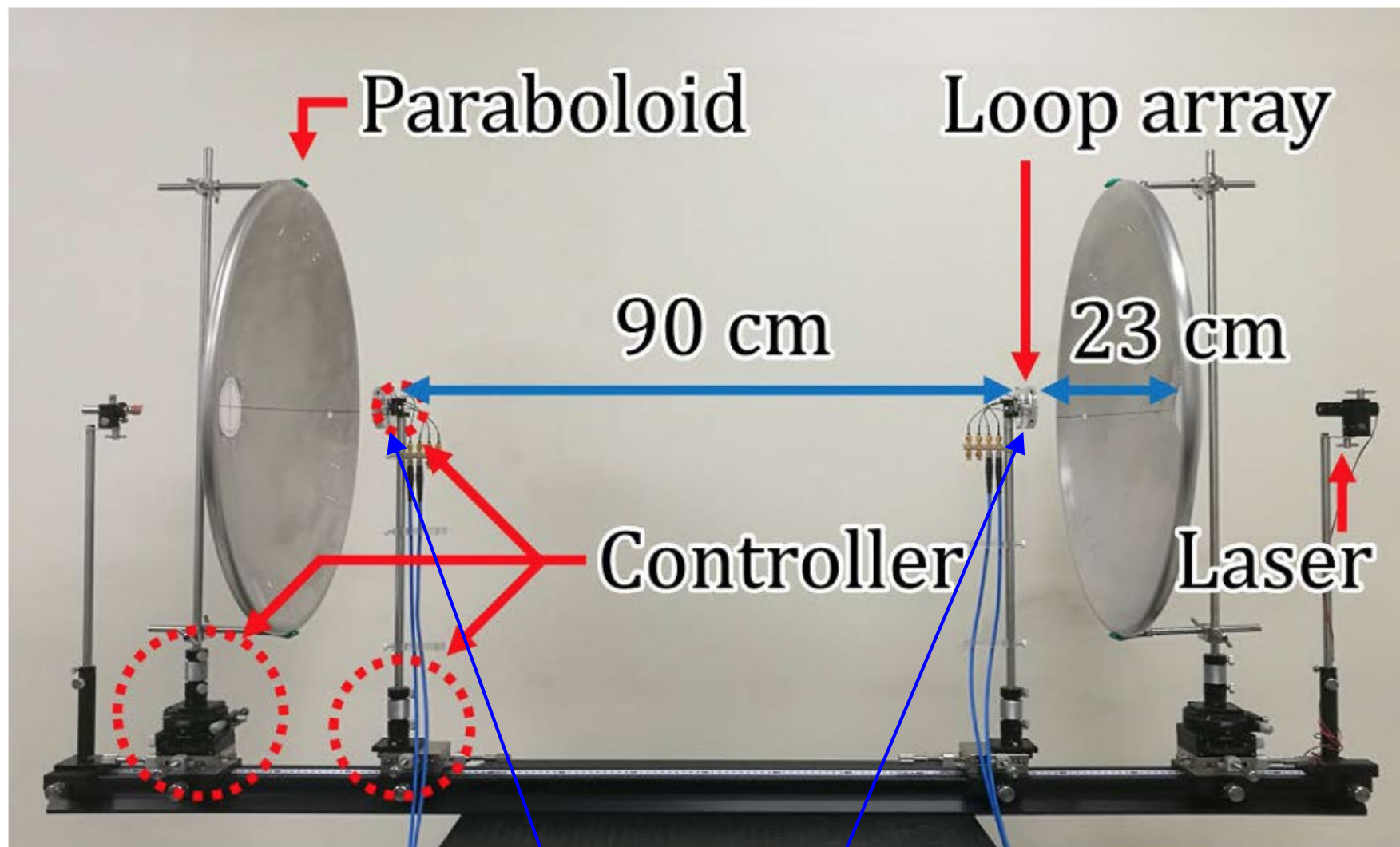
- balan構造検討で IT 改善
→ アンテナ平面上に balan を作成した場合の OAM 波電磁界への影響を最小化するためにアンテナ背面に垂直に balan を接続



ループ直径: 7/13.7/20.6/27.5 mm
アンテナ - 反射板間距離 d : 3 mm

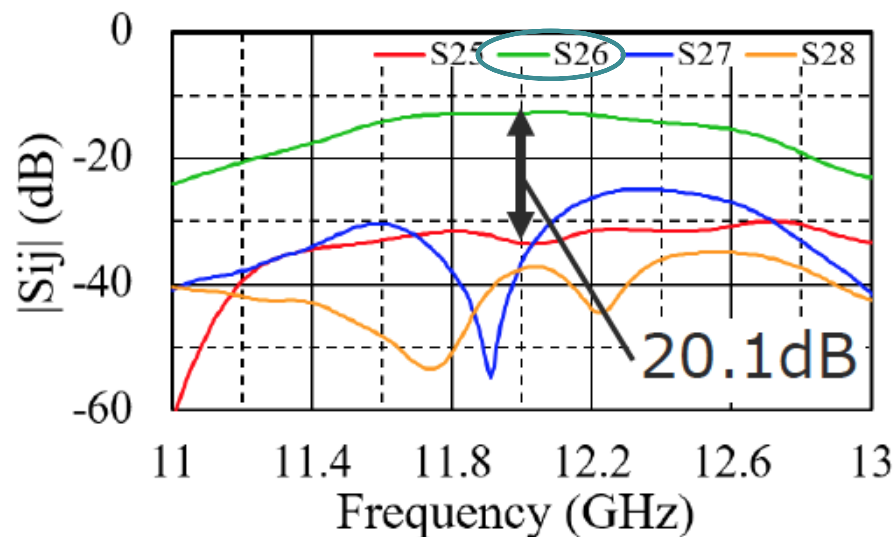
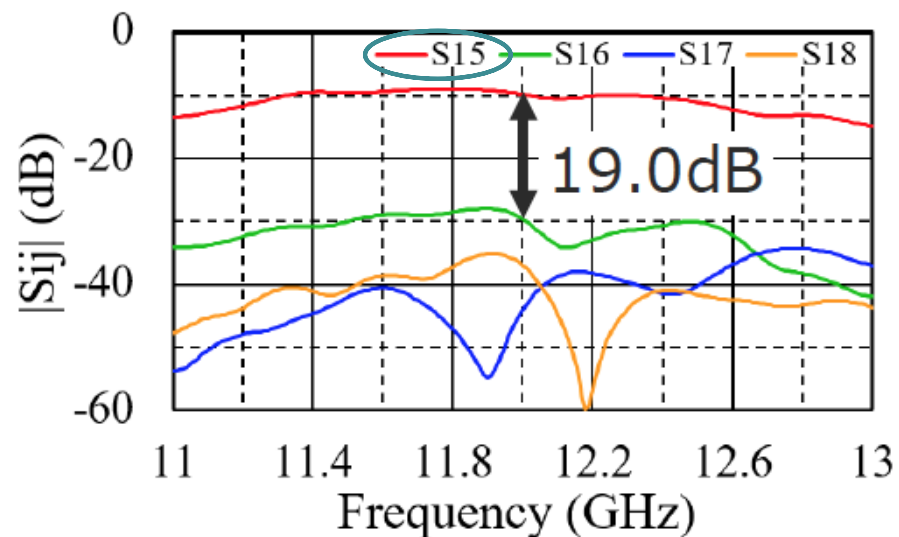
OAM波多重通信の実証例3(遠距離通信2)

パラボラ集束による遠距離通信の検証実験(12 GHz帯)

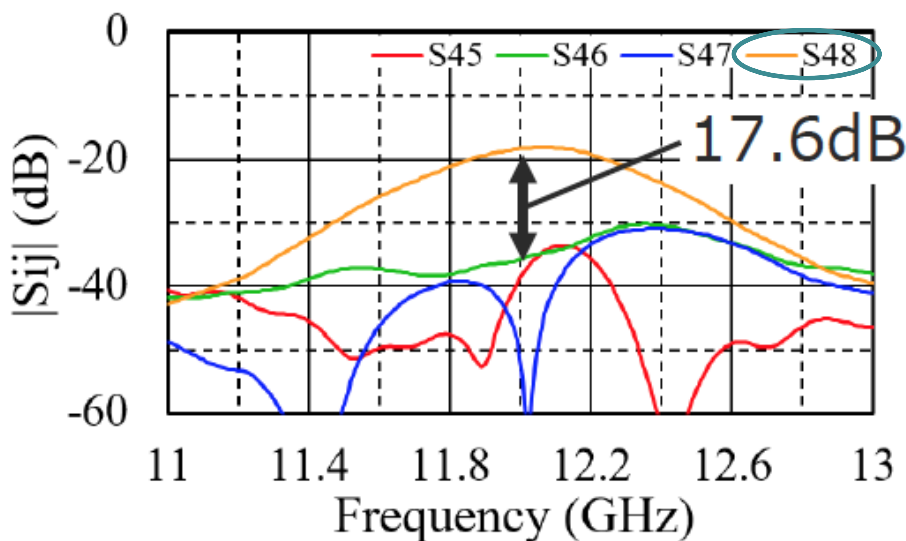
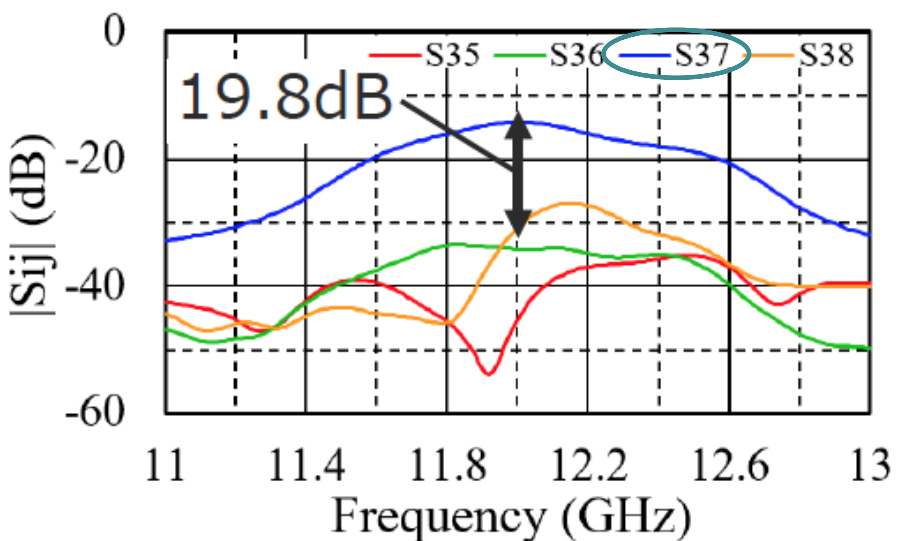


送受ループアンテナアレイ+反射板

OAM波多重通信の実証例3(遠距離通信2)

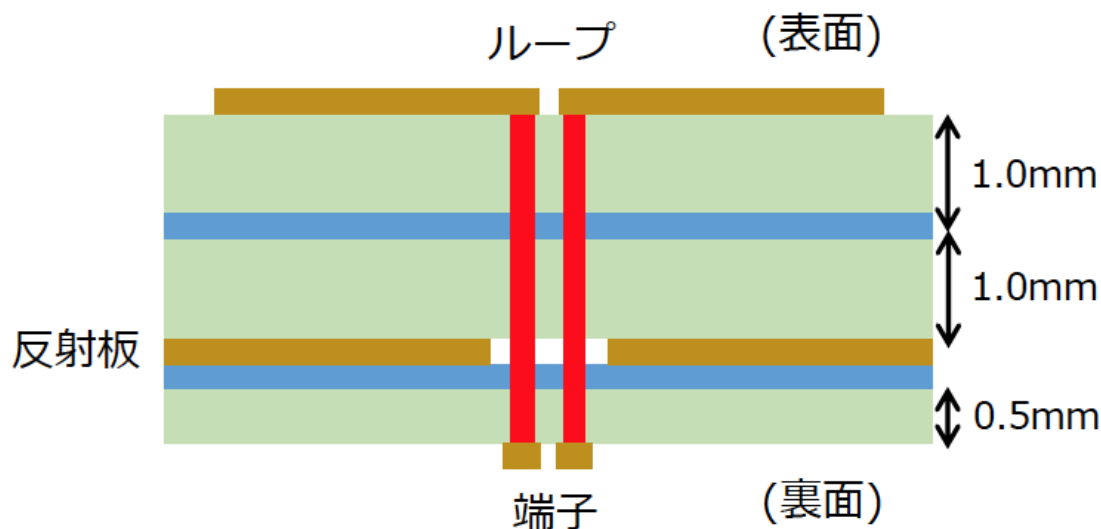


測定結果
IT \geq 17.6
dB
@12 GHz



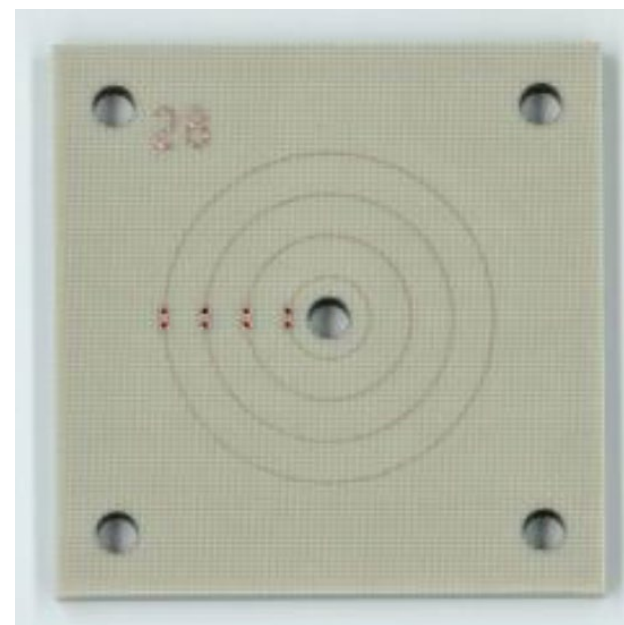
OAM波多重通信の実証例4(近距離通信2)

反射板とアンテナを基板に集積して一体化



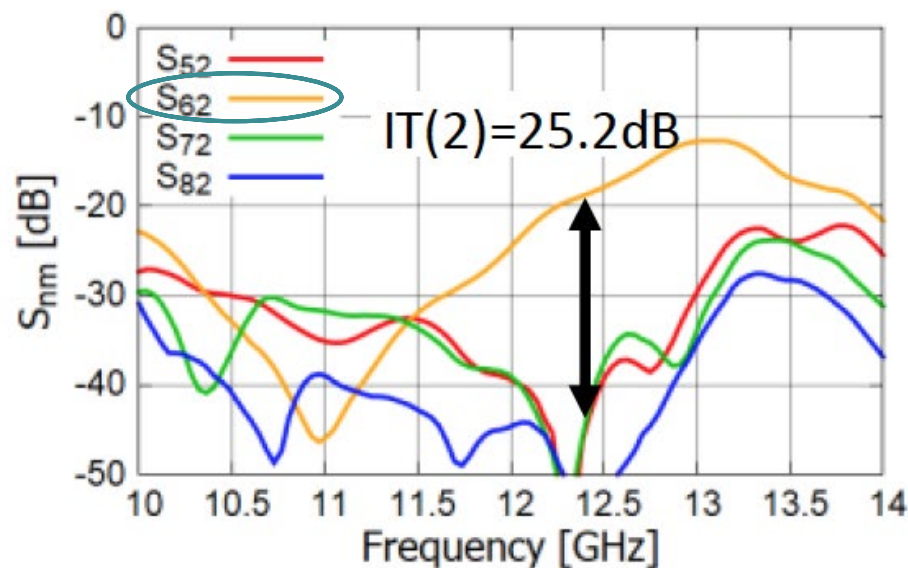
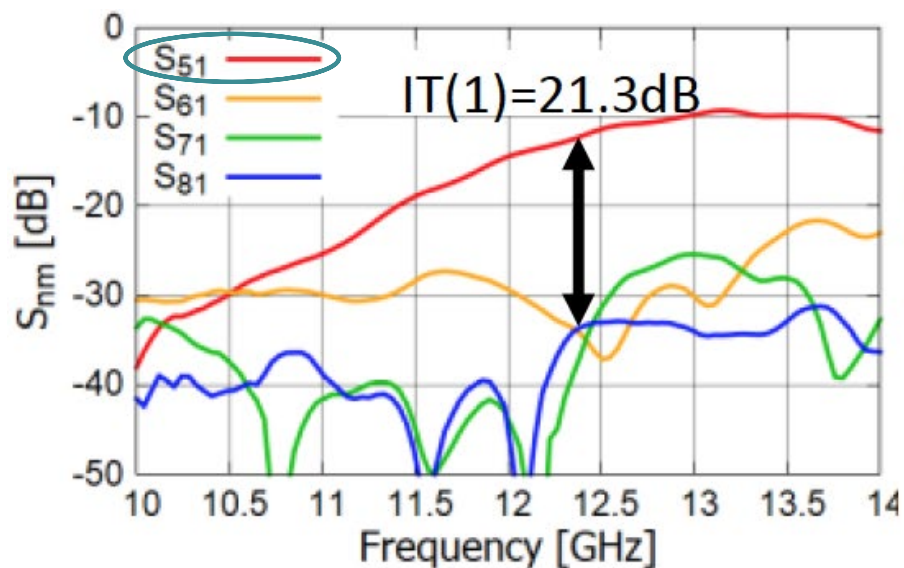
- PTFE
($\epsilon_r=2.2$, $\tan\delta=0.0009$)
- Copper
0.03mm
- ボンディングシート
0.038mm ($\epsilon_r=2.3$, $\tan\delta=0.002$)
- ビア
(Diameter:0.4mm)

12 GHz帯で設計・試作
(樹脂基板での製作精度に課題)

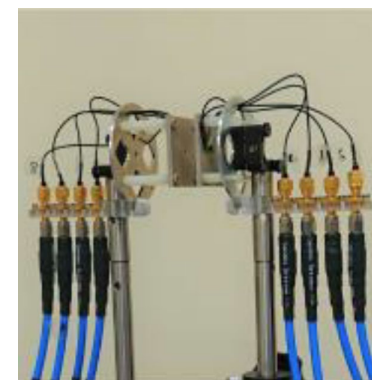
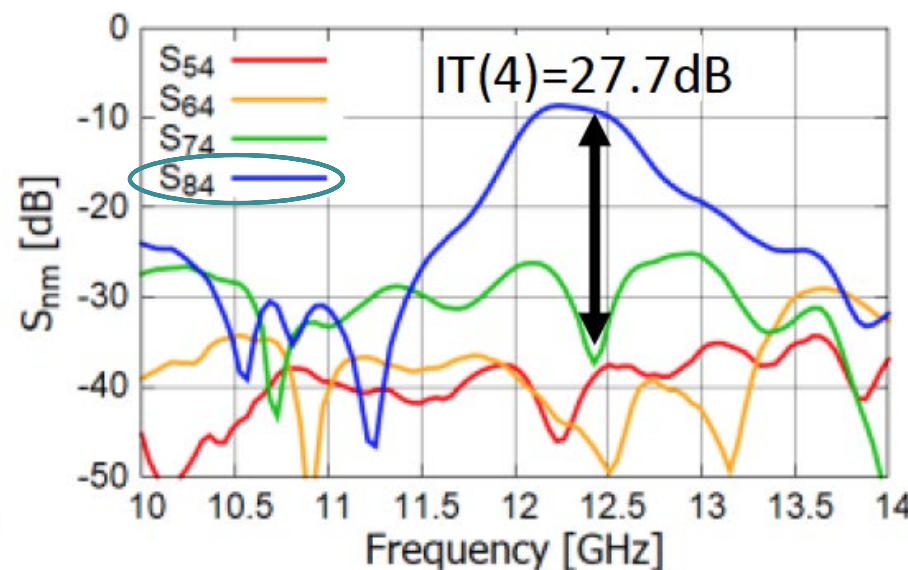
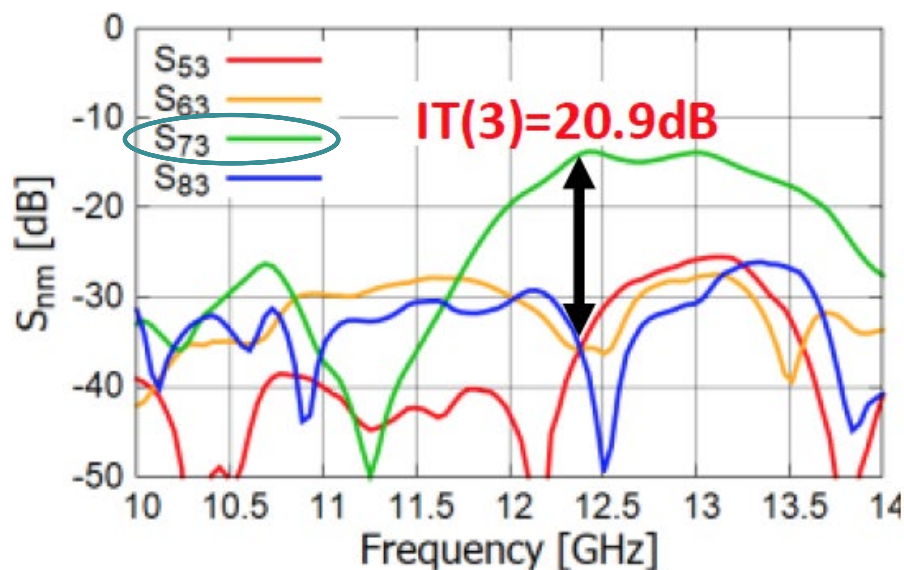


ループ直径: 6.1/12.0/18.0/24.0 mm
導体幅: 0.05 mm

OAM波多重通信の実証例4(近距離通信2)



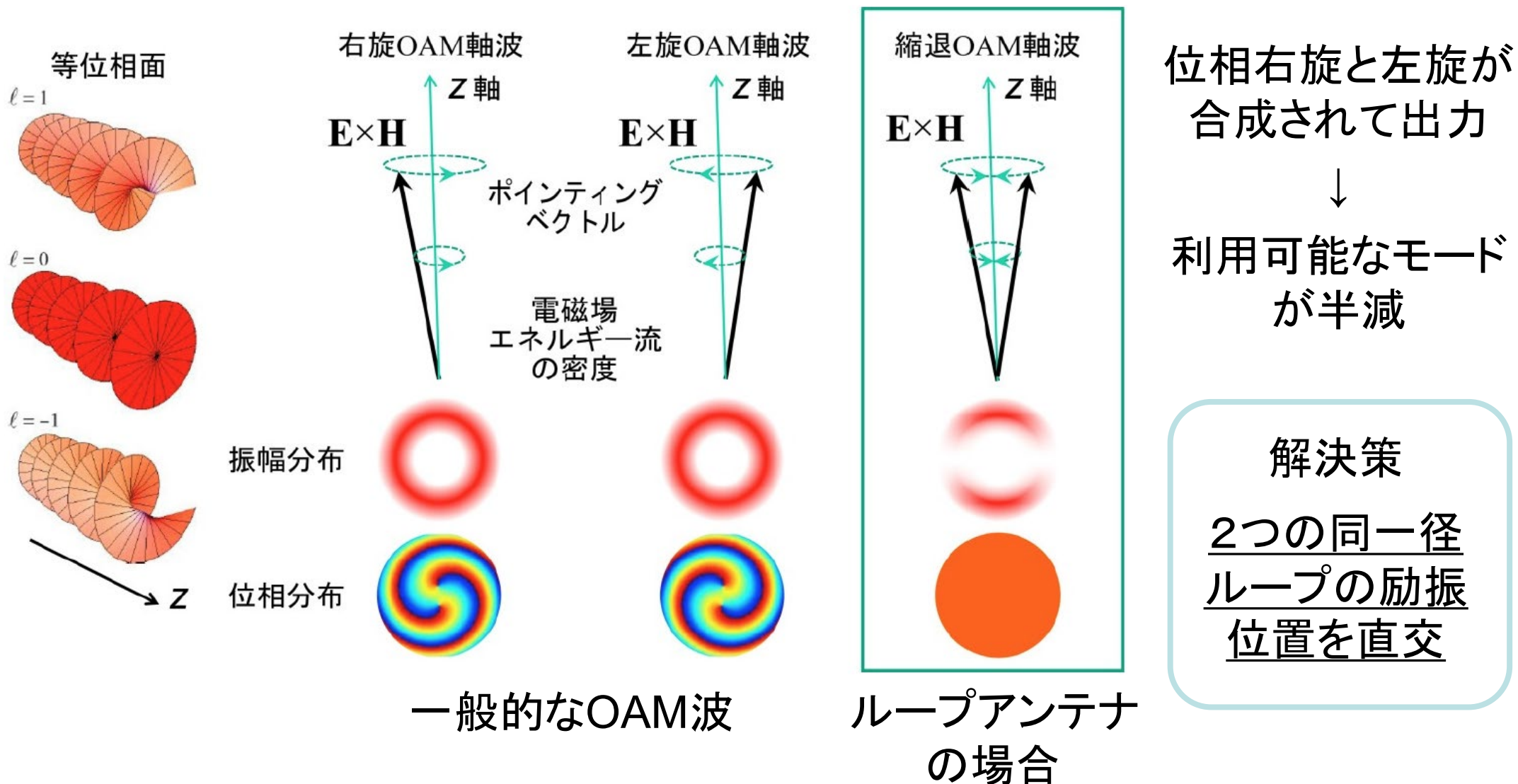
測定結果
IT \geq 20.9
dB
@12.4 GHz



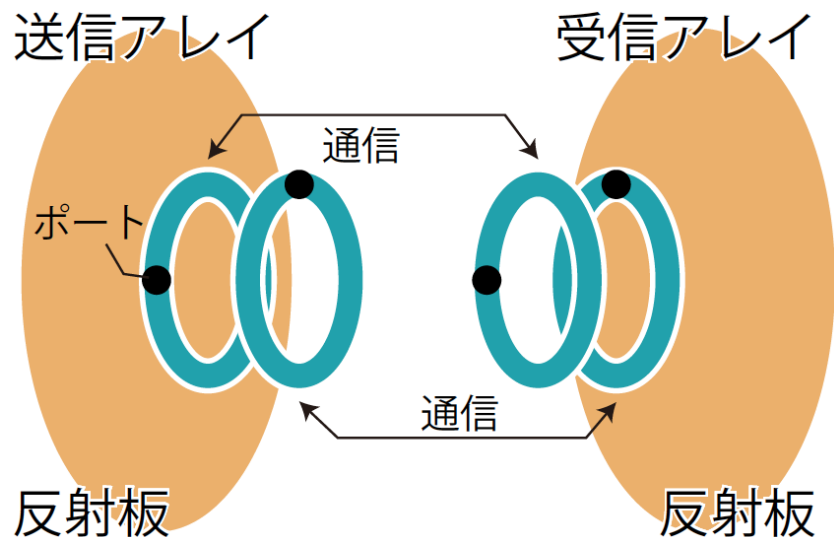
アンテナ距離
L: 4 mm

OAM波多重通信の実証例5(近距離通信3)

- ループアンテナでOAM波を生成する際の問題点



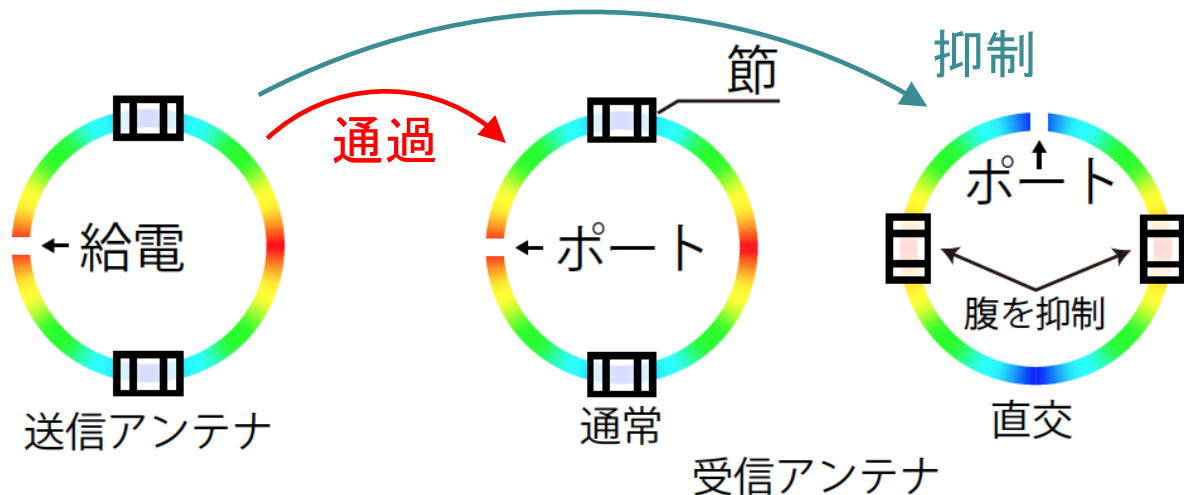
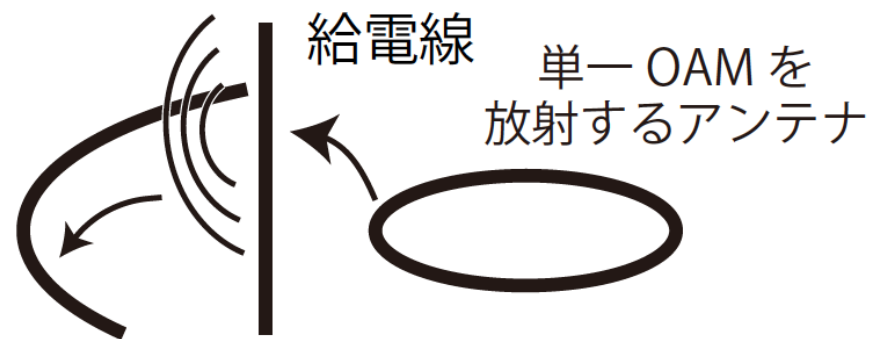
OAM波多重通信の実証例5(近距離通信3)



2層の同一径ループアレイが対向する様子

新たな問題点:

励振ケーブルが邪魔して
OAM 励振電流分布を乱す

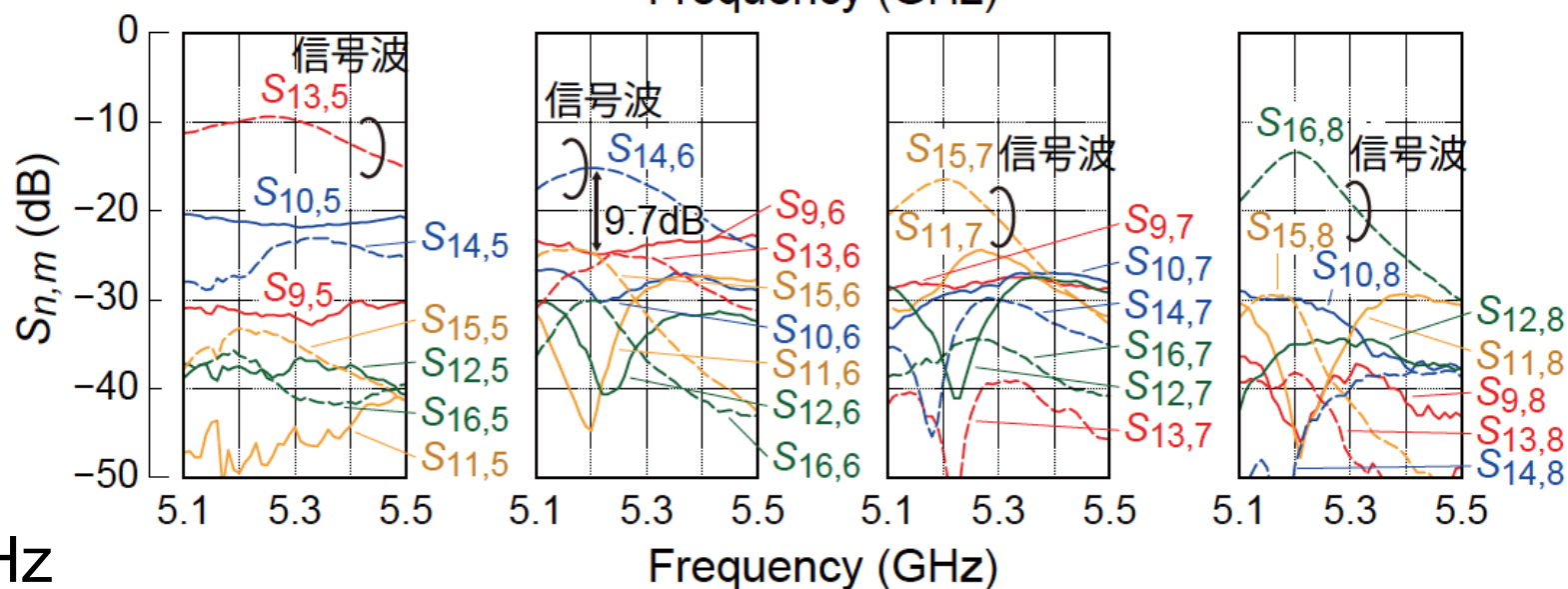
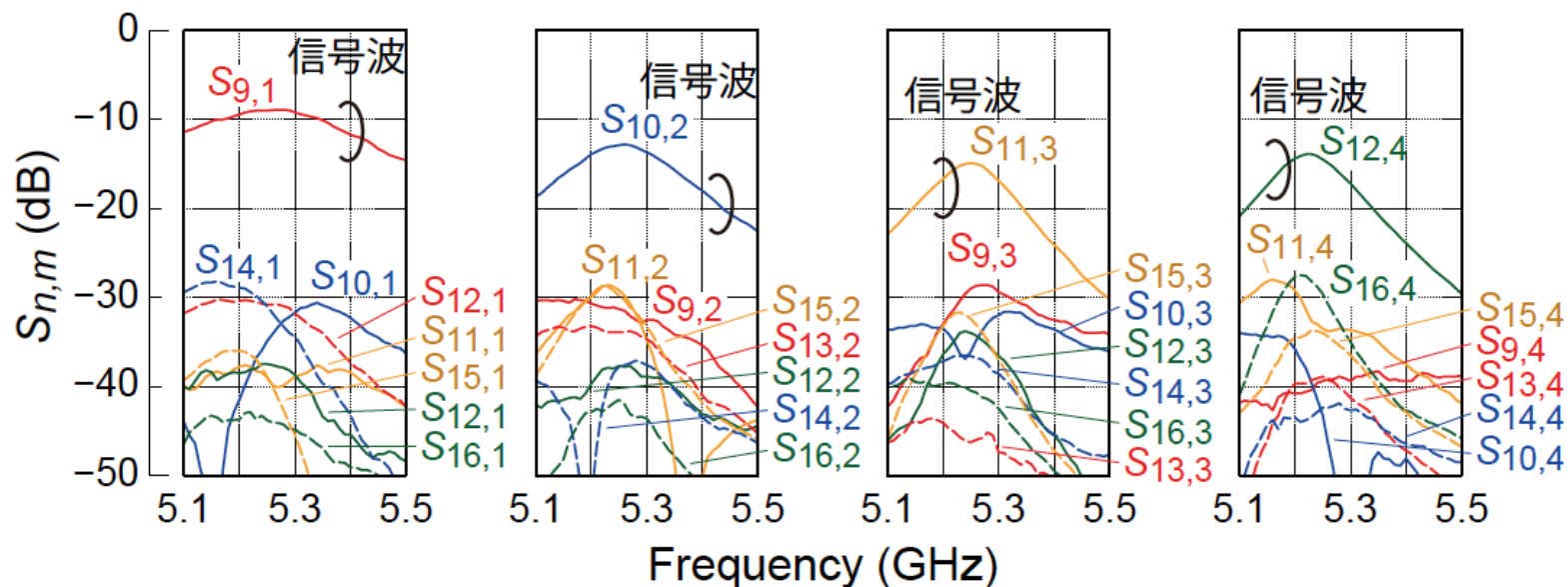
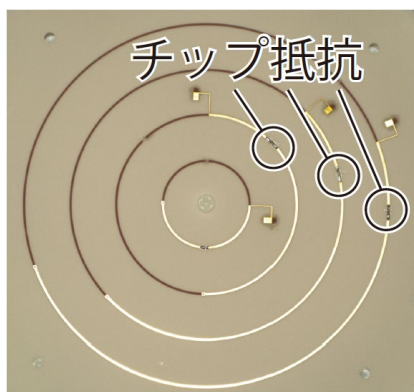
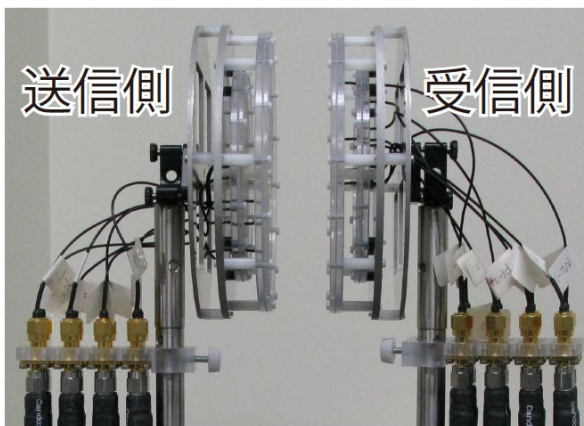


解決策

ループ内のモードに影響を
与えない適切な位置に損失
となる抵抗を挿入

OAM波多重通信の実証例5(近距離通信3)

8対8多層ループ
アンテナアレイ

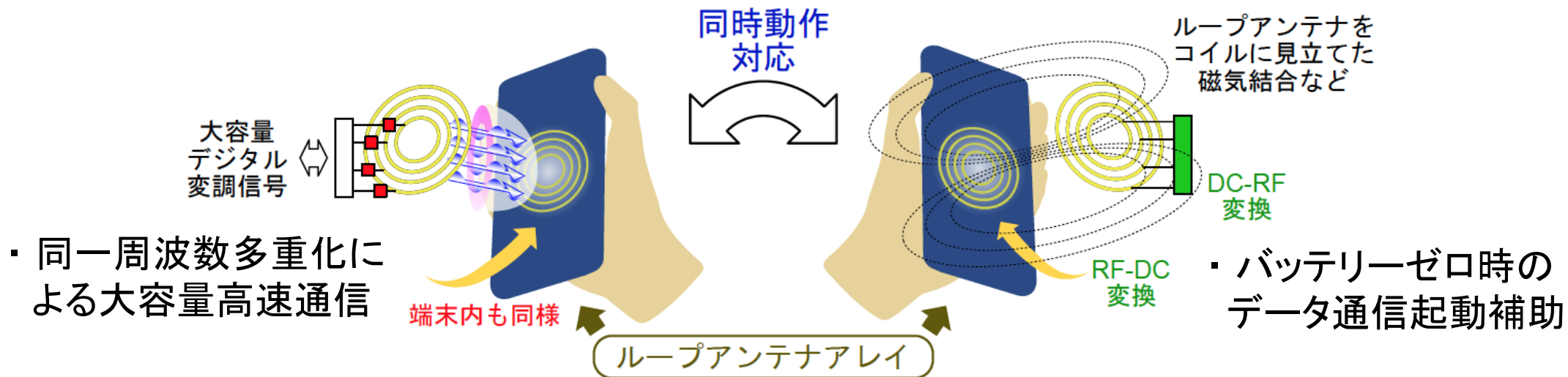


測定結果

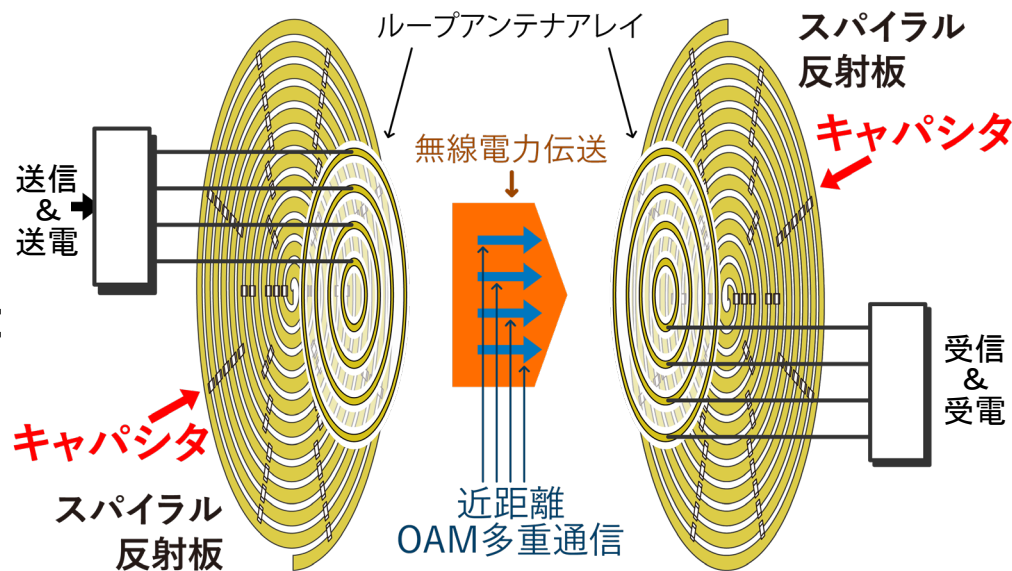
$IT \geq 9.7 \text{ dB} @ 5.21 \text{ GHz}$
(抵抗なし: $IT \geq 3.5 \text{ dB}$)

OAM波多重通信 + 無線電力伝送同時動作

大容量高速データ伝送と非接触充電の同時実現が期待

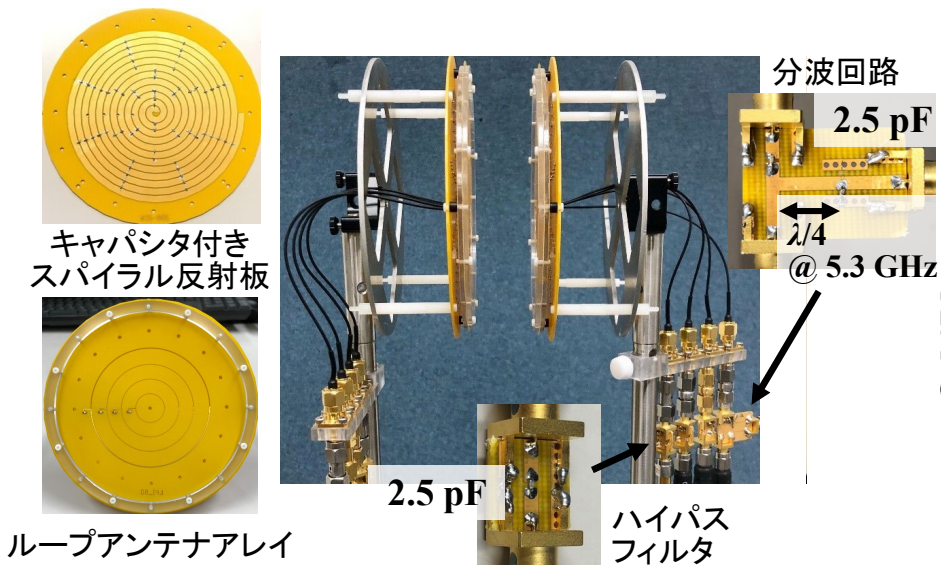


近距離非接触
電力伝送高効率化
に向けた提案構成:

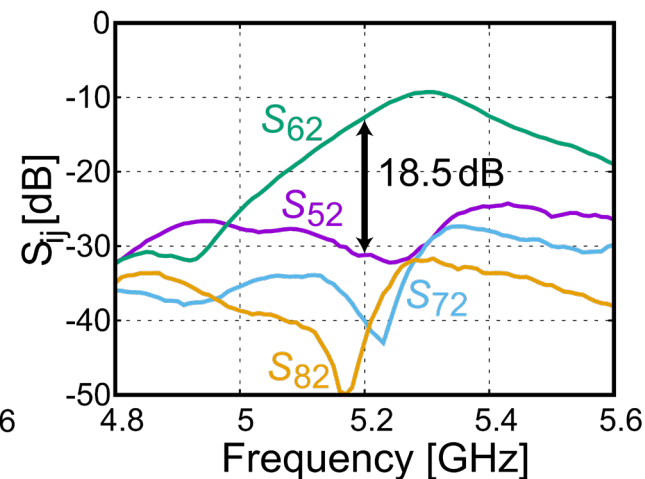
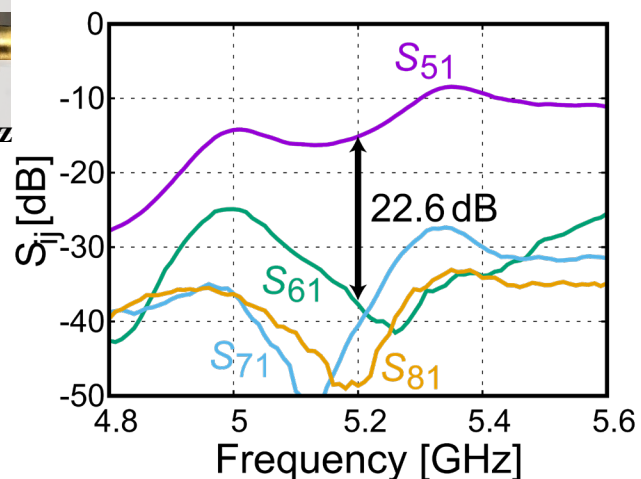


- 反射板をスパイラル化
- スパイラル上に OAM 波短絡用キャパシタを装荷して OAM 波特性改善

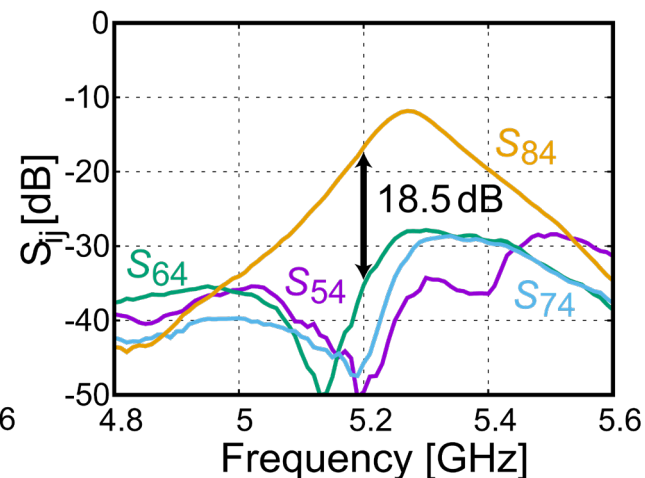
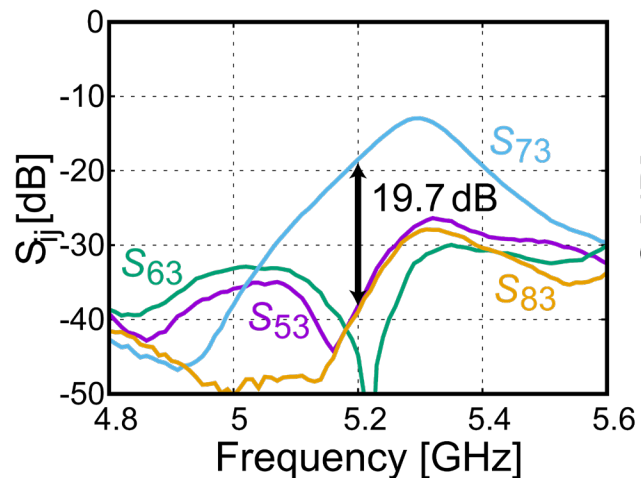
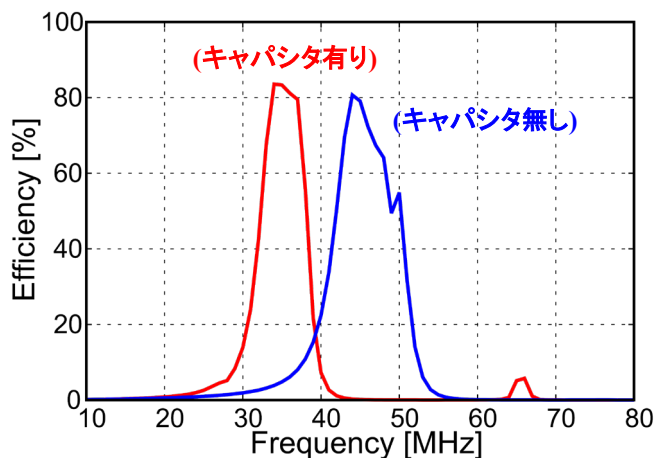
OAM波多重通信 + 無線電力伝送同時動作 実証例



OAM 性能評価



無線電力伝送性能評価



伝送効率 83.6% @34 MHz

$IT \geq 18.5 \text{ dB} @ 5.2 \text{ GHz}$

実用化に向けた課題のまとめ および企業への期待

- 要素技術の基礎検討に関しては前述の通りいろいろ検証済み。しかし、実際の実装等に関しては要検討
 - 入出インターフェースを含めたより実用に近い形での動作検証に関してサポートが必要
- さらなる高周波化に関して、樹脂基板では現状での製作精度に限界。(別の方法で検討中)
 - LTCC などの精度の高い製作技術導入に関してサポートが必要

本技術に関する知的財産権

発明の名称	出願番号	出願人	発明者
無線通信装置及びアンテナ装置	特願2016-087008, PCT/JP2017/016153, WO2017/188172	電気通信大学	斉藤昭, 本城和彦, 石川亮, 大塚啓人
無線通信装置及びアンテナ装置	特願2017-102931, PCT/JP2018/01		斉藤昭, 大塚啓人, 本城和彦, 石川亮
アレイアンテナおよび無線通信システム	特願2018-034522		斉藤昭, 本城和彦, 石川亮, 鈴木博
ループアンテナの給電装置	特願2018-158123		大塚啓人, 斉藤昭, 本城和彦, 石川亮
アンテナシステムおよびアンテナ	特願2019-198601		三宅久之助, 斉藤昭, 本城和彦, 石川亮
無線電力伝送システム及びアンテナ装置	特願2020-198025		和田渉, 斉藤昭, 本城和彦, 石川亮

お問い合わせ先

**国立大学法人電気通信大学
産学官連携センター
産学官連携ワンストップサービス**

T E L 042-443-5871

F A X 042-443-5725

e-mail onestop@sangaku.uec.ac.jp