

## 開発した技術の詳細

図1にビーム断面内に配置した障害物によって乱されたガウスビームのパワー分布の測定結果を示します。周波数は 300GHz です。ガウスビームは誘電体レンズによって生成され、障害物はレンズから 49mm の位置に配置しています。図 2 に示す金属体(SMA プラグアダプタ)と誘電体(7.5mm 角の立方体)から構成される障害物について吟味しました。図 1 の赤い部分はテラヘルツ波のパワーが高いところで、青い部分は低いところです。障害物が X 軸上の異なる位置に配置されると、パワー分布もそれに応じて変化することがわかります。例えば  $Z=98\text{mm}$ 、 $X=0\text{mm}$  の位置(ビームの中心)に受信機を設置すると、金属体の場合は  $X=0\text{mm}$  付近(図 1(e))、誘電体の場合は  $X=4\text{mm}$  付近(図 1(g))に障害物を配置すると受信パワーが極端に小さくなるのがわかります。一方、図 3 に示すように、自己修復性を有するベッセルビームの場合は、金属体、誘電体ともにビーム断面内の位置によらず受信機の設置を想定している  $Z=98\text{mm}$ 、 $X=0\text{mm}$  でのパワー低下は小さいことが実験により確認されました。受信パワーの低下は通信品質の劣化を招くことから、ベッセルビームの方がガウスビームよりも障害物による電波の遮蔽に強いテラヘルツ無線通信が可能であると予想されます。

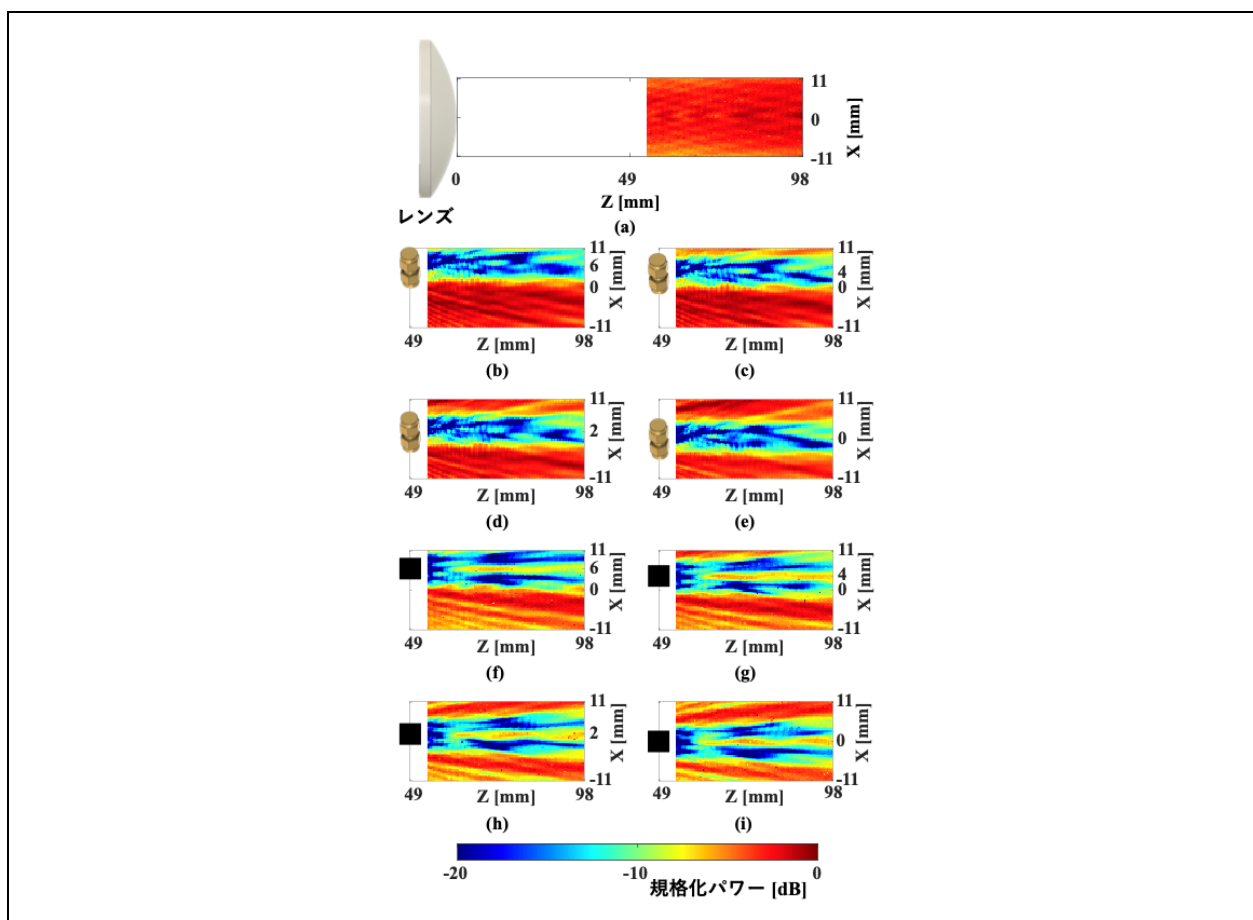


図 1 障害物によって乱された通常のテラヘルツビーム(ガウスビーム)のパワー分布の実測例。(a) 障害物がない状態でのパワー分布。(b)-(e)金属体障害物(SMA プラグアダプタ)がビーム断面を横切った際のパワー分布。(f)-(i)誘電体障害物がビーム断面を横切った際のパワー分布。

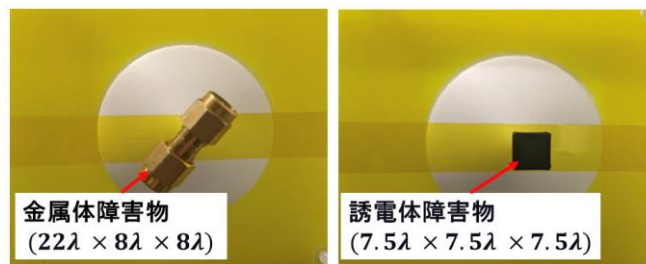


図2 ビーム断面内に設置された障害物. 黄色い治具に保持された白い物体はレンズで無線通信においては送信アンテナに相当する.  $\lambda$  (波長)は 1mm .

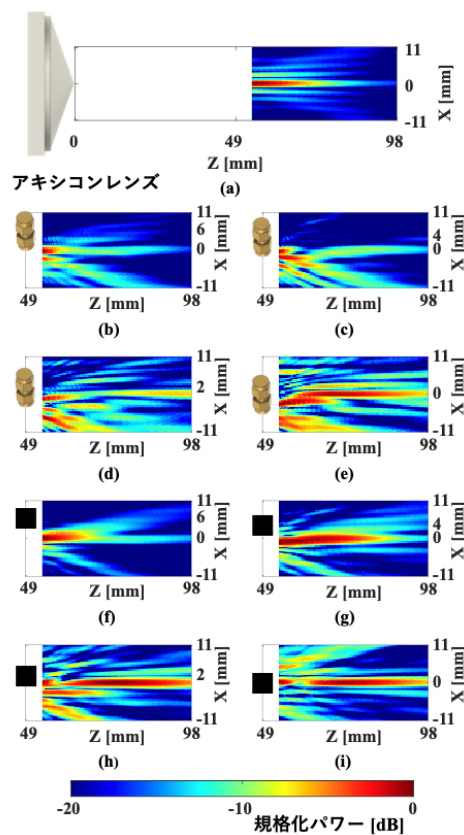


図3 障害物によって乱された自己修復テラヘルツビーム(ベッセルビーム)のパワー分布の実測例. (a)障害物がない状態でのパワー分布. (b)-(e)金属体障害物(SMA プラグアダプタ)がビーム断面を横切った際のパワー分布. (f)-(i)誘電体障害物がビーム断面を横切った際のパワー分布.

そこで実際にベッセルビームによるテラヘルツ無線伝送実験を行いました。図4に実験系の概略を示します。受信機と送信機の真ん中に障害物(誘電体)を設置し、ビーム断面内において障害物の位置を X 方向に変化させた際のビット誤り率を測定しました。ビットレートは 1Gbps としました。

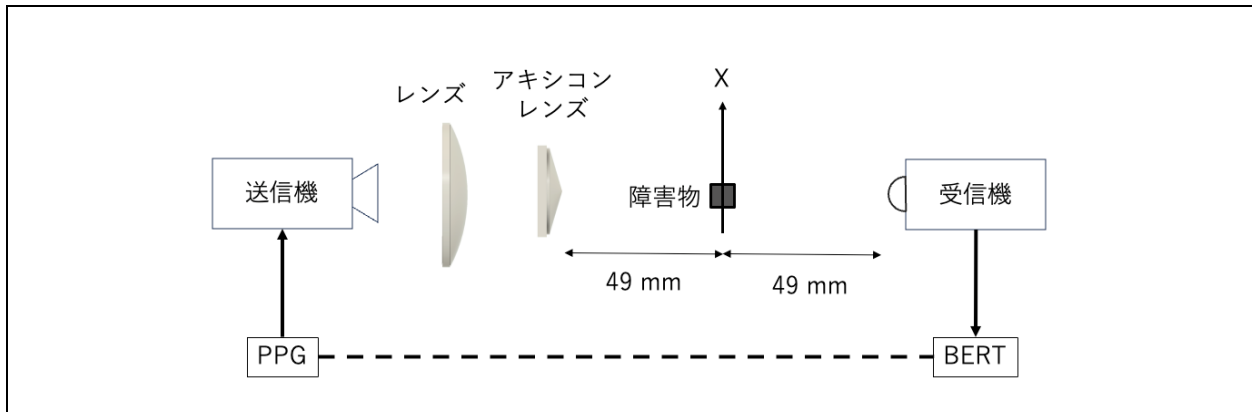


図4 通信実験系の概略図. パルスパターン生成器(PPG)からの1Gbpsの信号をテラヘルツ波に重畳している。受信された信号のビット誤り率はビット誤り率測定器(BERT)で測定した。障害物はX方向に自動ステージにより掃引した。

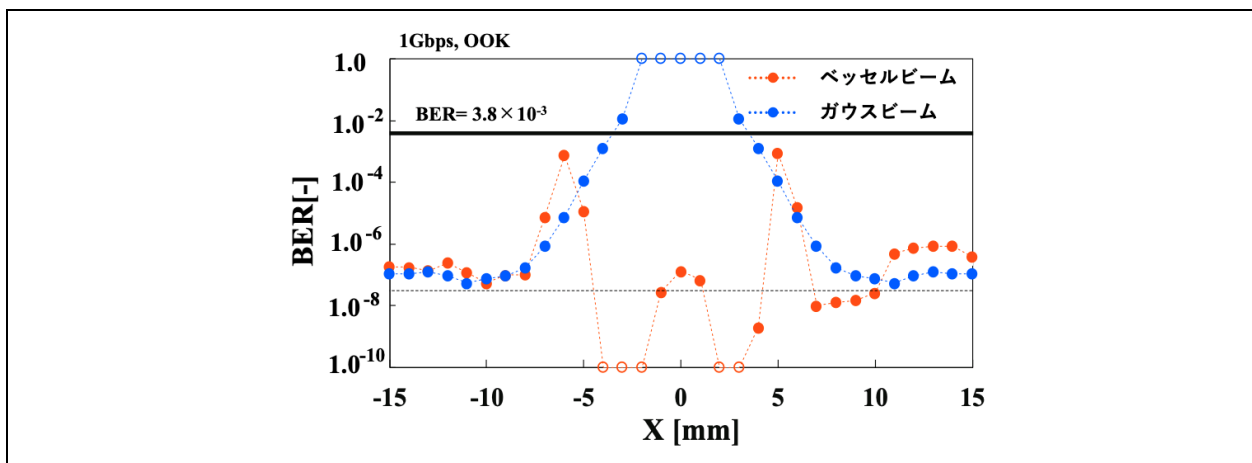


図5 障害物がビーム断面内を横切った際のビット誤り率(BER)。通常のビームであるガウスビームの場合、障害物がビーム中心に配置されると通信は切断された。一方、自己修復特性を示すベッセルビームの場合は、障害物の位置によらず、BERは $3.8 \times 10^{-3}$ (これ以下であるとビット誤りを訂正可能となる一つの目安)以下となった。

図5は障害物の位置とその時に得られたビット誤り率との関係を示しています。X=0mmはビームの中心を意味します。青丸はガウスビームの場合、赤丸はベッセルビームの場合です。ガウスビームの場合、障害物がビームの中心に近づくほど(X=0に近づくほど)ビット誤り率は高くなりました。特にX=-4mmから+4mmの範囲に障害物がある場合には、通信が切断されました(図5では青の白抜き丸で表示)。一方ベッセルビームの場合、障害物の位置によらず通信は維持されることが確認されました。

このように、ベッセルビームの自己修復性により、障害物による電波の遮蔽に強いテラヘルツ無線通信路が形成可能であることを示した本研究成果は、これまでテラヘルツ無線の大きな弱点であるとされてきた障害物によるビーム遮蔽に脆弱であるという問題を解決し、Beyond 5G/6G時代の超高速無線通信の実用化への重要な一歩と位置付けられます。