

# 不均一導波管を用いた漏れ波集光アンテナの試作

橋本 卓也, 佐藤 弘康, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

**概要:** 設計周波数 10 GHz において, 方形導波管を用いた近傍界集光アンテナを提案する. 進行波アンテナの一種である方形導波管漏れ波アンテナの内部広壁の大きさを不均一に設定することで任意の位置に集光効果を得る. 本報告では導波管漏れ波集光アンテナの任意の位置に集光効果を得るための設計法の提案と実際に集光点を設定した際の数値計算結果と実験結果を示す.

**キーワード:** 導波管漏れ波アンテナ, 近傍界, 集光

## 1. まえがき

近年, 3D プリンタの普及などの影響で銃や爆弾などの危険物が容易に入手, 製造が可能となってきている. またサイズも小型化され持ち運びや隠蔽が簡単になってきている. 空港や湾港等ではテロ防止のセキュリティ対策として人体に非接触・非侵襲で危険物等を検知できるイメージング技術の必要性が高まっている. 加えて, わきの下など人体の見えづらい部分にはより小型で軽量のハンディ型のイメージング装置が望まれる.

マイクロ波を近傍界に集光させる技術はイメージング [1], 温熱医療 [2], WPT (Wireless Power Transmission) [3], RFID リーダー [4] など様々なアプリケーションで注目されている. 通常マイクロ波を近傍界に集光させる際にはレンズとアンテナを用いる場合やフレクトアレーを用いる場合がほとんどである. しかしそういった集光手法ではイメージング装置の重量やサイズが大きくなってしまったため, 小型化・軽量化には向かない. アンテナのみで集光することができれば非常にコンパクトであり軽量化が可能となる. そのためハンディ型のイメージング装置に応用できると期待される.

進行波アンテナの一種であり放射方向が周波数によって異なるため一度に複数点を受信可能な導波管漏れ波アンテナに着目できる. しかしながら導波管漏れ波アンテナ自体には集光効果はなくイメージングは不可能である. 導波管漏れ波アンテナのみを用いて集光効果が得られれば, 小型のイメージング装置への応用が可能であると考えられる. 漏れ波アンテナを用いた集光効果については, これまでにいくつか報告されている. 漏れ波の放射源をテーパー構造とし管内に誘電体を装荷する [5], 漏れ波アンテナのスリット間隔を不均一に設定する [6], 導波管

の構造を三次元的に湾曲させる [7] などの検討が行われているが導波管の内部構造のみを不均一にすることを検討はまだ行われていない.

本報告では設計周波数を 10 GHz とし, 導波管漏れ波アンテナの管内の広壁の大きさを不均一構造にすることで近傍界の一領域に集光効果が得られるようなアンテナを検討する. 広壁の大きさを不均一に設定し進行波の位相定数を所望の分布に与えることによって近傍界に集光効果を得る導波管漏れ波集光アンテナの設計法を数値解析と実験的に検証する.

## 2. 集光の原理

導波管漏れ波アンテナは進行波アンテナの一種である. 管内の進行波の位相定数  $\beta$  が周波数により変化することでアンテナの放射方向が変化する. 式 (1) にはその関係式を示している. そのため複数点からの信号を一度に受信することができる.  $k_0$  は真空中の波数.

$$\theta_s [\text{rad}] = \cos^{-1} \beta / k_0 \quad (1)$$

しかしながら同一周波数において位相定数と波数は一定となるため, 放射方向も一定となることで漏れ放射は平面波となる. そのため集光効果がみられることはない. したがって導波管漏れ波アンテナを用いてイメージングを行うためには, 同一周波数において漏れ放射を近傍界に集光させる必要がある. 近傍界に漏れ波を集光させる手法の一つに進行波の位相定数を不均一に与える方法がある. 導波管内の進行波の位相定数を徐々に変化させ不均一に与えることで漏れ放射を近傍界に集光させることができる.

図 1 は集光の原理を示している.  $z = -0.5L$  で進行波が励振される. 進行波の位相定数を管内で不均一に与えることで近傍界の一点に集光効果が得られる. 任意の一点に集光させるためには進行波の位相定数を所望の分布にしなければならない. 本報告での提案手法は, 任意の位置へ集光効果を得るため導波管漏れ波集光アンテナの導波管の広壁長を不均一に与えるという手法である.

2019年2月19日

東北大学 電気・情報系 1号館 2階大会議室

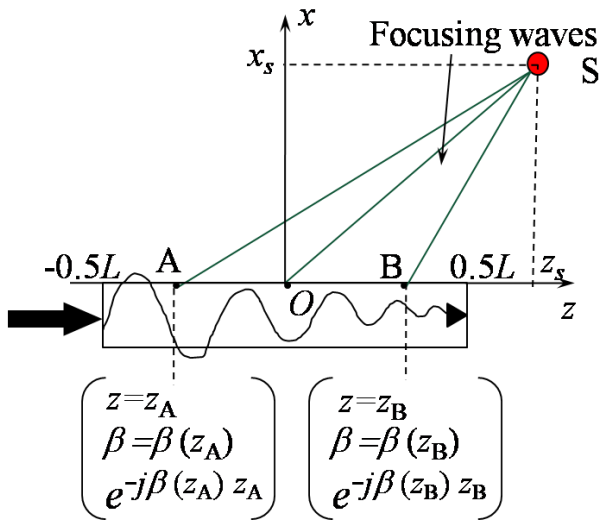


図1. 集光の原理図. 進行波位相定数を徐々に変化させることで近傍界に集光効果を得る.

不均一広壁長 (アンテナ部)	$h(z')$ non-uniform
スリット間隔	$p = 9 \text{ mm } (0.3\lambda)$
スリット縦長	$l = 14 \text{ mm } (0.47\lambda)$
スリット横長	$s = 3 \text{ mm } (0.1\lambda)$
長手方向スリット幅	$g = 3 \text{ mm } (0.1\lambda)$
スタブ長	$d = 8.86 \text{ mm } (0.29\lambda)$
モノポール長	$l_f = 7.2 \text{ mm } (0.25\lambda)$

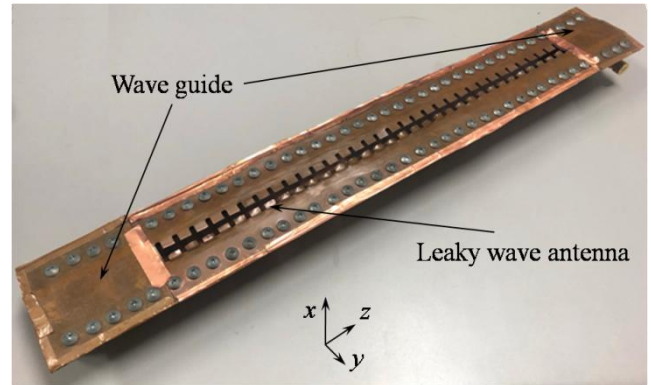


図3. 試作した導波管漏れ波アンテナ.

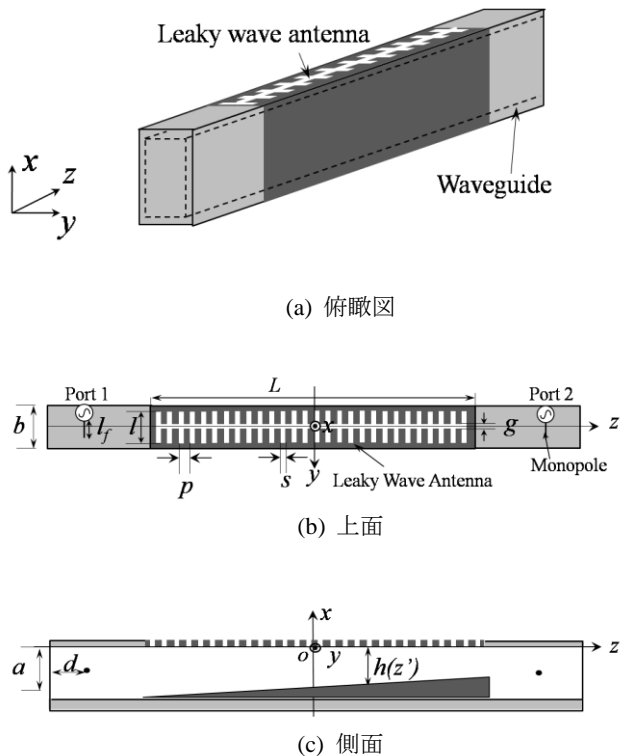


図2. 提案する導波管漏れ波アンテナ.

表1 導波管漏れ波アンテナの各パラメータ

周波数	$f = 10 \text{ GHz}$
アンテナ長	$L = 300 \text{ mm } (10\lambda)$
広壁長 (導波管部)	$a = 28 \text{ mm } (0.93\lambda)$
狭壁長 (導波管, アンテナ)	$b = 14 \text{ mm } (0.47\lambda)$

本報告における導波管漏れ波アンテナの数値解析モデルを図2に示す. 提案する導波管漏れ波アンテナは導波管狭壁面に多数のスリットを有する. このアンテナの設計周波数は 10 GHz であり, 漏れ波アンテナ部の構造は導波管スロットアレイ[8]に基づいている. 内部モノポールで TE10 モード進行波を励起する. 表 1 は提案アンテナの各パラメータを表している.

図3に試作した導波管漏れ波アンテナを示す. 試作アンテナは導波管部と漏れ波アンテナ部で構成されている. 導波管と漏れ波アンテナは共に銅板で作られている. アンテナ部と導波管部は多数のねじで接続しており, 接続のためのフランジがアンテナの両側に設けている.

放射方向は広壁の大きさ  $h$  に依存する. また, 位相定数は広壁の大きさにも依存する. このことから, 広壁の各高さにおける位相定数を推定することが可能である.

漏れ波アンテナの位相定数と広壁の高さの間の関係を近似した. 関係近似式を式(2)に示す.

$$h [\text{mm}] = e^{\frac{2611}{689} - \frac{10 \cos^{-1} \beta / k_0}{689}} \quad (2)$$

関係式(2)を用いることで任意の位置に集光効果を得るのに必要な所望の位相定数分布とそれに対応する導波管広壁高分布を推定することができると考えられる.

図4に設計点  $S(z_s [\text{mm}], x_s [\text{mm}]) = (250, 250)$  の正規化所望の位相定数分布と数値解析結果を示す.  $z$  が大きくなるにつれて正規化所望位相定数分布は徐々に小さくなる. また数値解析結果も同じ傾向を示した. また値も所望の位相定数分布もほぼ一致した.

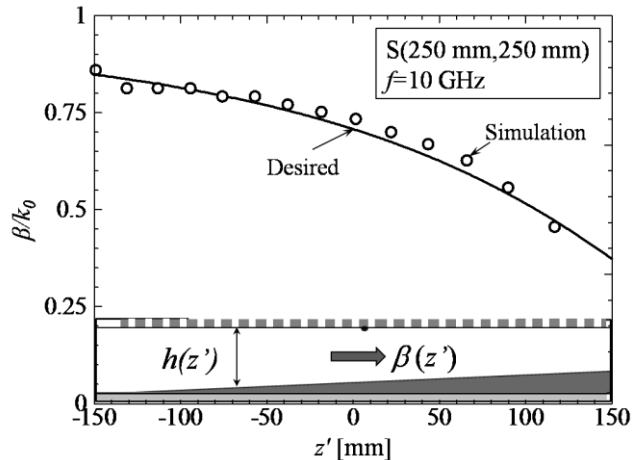


図4. 設計点 S(250 mm, 250 mm)への集光に必要な位相定数分布と数値解析結果の比較.

### 3. 実験結果

近似式(2)をもちいて設計点S(250, 250)に集光効果が得られるような所望位相定数分布となる導波管広壁分布の導波管漏れ波アンテナの近傍界の電界分布測定した. 受信アンテナとしてダイポールアンテナを用いた.

図5は数測定結果の電界分布を示している. 設計した集光点の付近で放射が集光している様子が確認できた.

図6は, 図5の $x = 250$  mm(水平白波線部)の電界のライン分布の数値解析結果と測定結果の比較を示している. 数値解析結果では,  $z = 267$  mmで最大値となり, 測定結果の最大値は,  $z = 275$  mmとなった. 数値解析結果と測定結果の両方ともに設計値の $z = 250$  mmとほぼ近い値となった.

### 4. むすび

本報告では, 10 GHzにおいて不均一導波管を用いた漏れ波集光アンテナの設計法, 数値解析結果および実験結果を示した. 導波管漏れ波アンテナの広壁の大きさや放射方向の関係について近似を用いて示した. 近似式から集光効果を得るための所望位相定数分布となるような導波管の広壁高分布を推定し, 集光効果が得られるか実験をおこない検証した. 測定した電界分布から集光効果が確認でき, 集光位置は設計値とほぼ一致した. このことから進行波の位相定数と導波管の広壁の大きさの関係の近似から, 所望の位置に集光効果が得られるような導波管漏れ波アンテナの設計法の妥当性が示された.

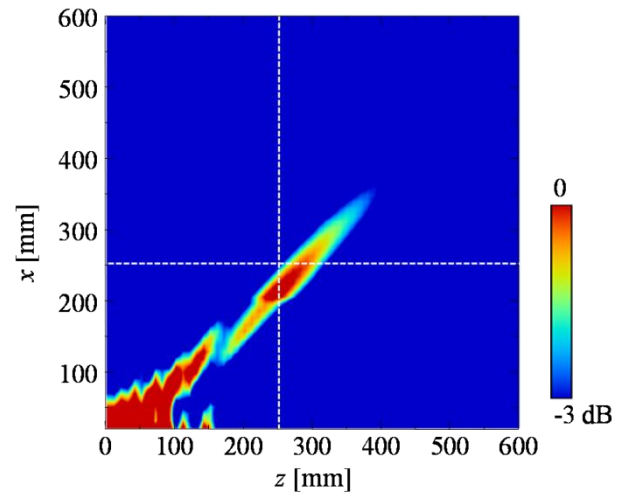


図5. 測定した近傍界電界分布. ( $0 \leq z$  [mm]  $\leq 600$ ,  $20 \leq x$  [mm]  $\leq 600$ )

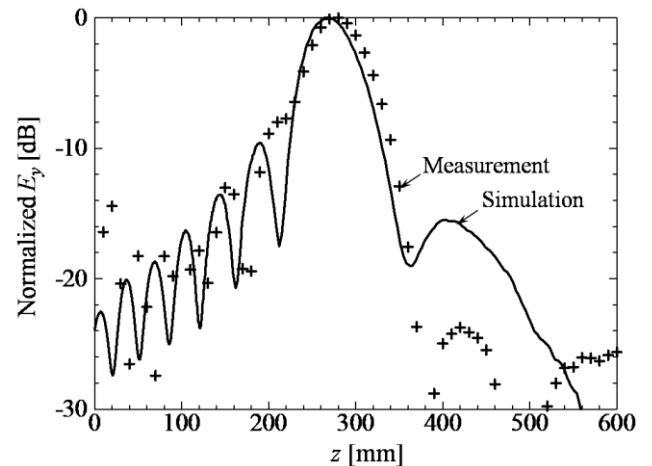


図6.  $x = 250$  mmにおけるライン電界分布の比較. 値は最大電界値で規格している.

### 参考文献

- [1]佐藤 弘康, 陳 強, "ミリ波パッシブイメージング装置", 株式会社シーエムシー出版, 最新ミリ波技術, 第10章, pp.1-12, Jul.2015
- [2] J. T. Loane, III, S. Lee, "Gain optimization of a near-field focusing array for hyperthermia applications", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 37, pp. 1629-1635, Oct. 1989.
- [3] J. O. McSpaddan, J. C. Mankins, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology", *IEEE Microw. Mag.*, vol. 3, no. 4, pp. 46-57, Dec. 2002.
- [4] H.-T. Chou, T.-M. Hung, N.-N. Wang, H.-H. Chou, C. Tung, P. Nepa, "Design of a near-field focused reflectarray antenna for

2.4 GHz RFID reader applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 3, pp. 1013-1018, Mar. 2011.

[4] T. Okuyama, Y. Monnai, H. Shinoda, "20-GHz focusing antennas based on corrugated waveguide scattering", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 1284-1286, 2013.

[5] J. L. Gómez-Tornero, F. Quesada-Pereira, A. Alvarez-Melcon, G. Goussetis, A. R. Weily, Y. J. Guo, "Frequency steerable two dimensional focusing using rectilinear leaky-wave lenses", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 2, pp. 407-415, Feb. 2011.

[7] Ya Fei and Yu Jian Cheng, "Near-Field Beam Focusing and Steering Generator Based on 3D Curved Substrate Integrated Waveguide," *2018 48<sup>th</sup> European Microwave Conference*, pp.353-356, 2018

[8] T.R.Cameron and A.T.Sutinjo, "Analysis and Design of Slitted Waveguides With Suppressed Slot-Mode Using Periodic FDTD," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, No.8, pp. 3654-3660, Aug.2012