# NRD ガイド-円形導波管 H 面変換器と そのアンテナ給電系への応用に関する検討

# 清水 隆志 \* 米山 務\*

+ 東北工業大学ハイテクリサーチセンタ 〒982-8588 宮城県仙台市太白区二ツ沢6
 ‡ 東北工業大学環境情報工学科 〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1
 E-mail: † shimizu@tohtech.ac.jp, ‡ yoneyama@tohtech.ac.jp

**あらまし** 本報告では、NRD ガイドの導体板を貫通して円形導波管を穿ち、この導波管を介してミリ波を 誘電体ストリップから導体板上面に導くことを検討した。そのため、まず NRD ガイドを構成する誘電体ストリッ プと導体板を貫通する円形導波管を結合する H 面変換器について考察した。その結果、|S<sub>11</sub>| -15dB の帯域幅が 4GHz と十分広帯域な特性を実現し、また変換損も 0.2dB と実用的であることを見出した。さらに、この変換器を応用して、 NRD ガイド導体板上に装荷されたレンズアンテナの給電系を設計・試作し、|S<sub>11</sub>| -15dB の帯域幅 6GHz、開口効率 78%、-27dB 以下の低サイドロープ特性を有するアンテナを実現した。

**キーワード** 変換器, NRD ガイド, 導波管, 誘電体レンズアンテナ, ミリ波

# Study of NRD-guide and circular waveguide H-plane transition and its application for antenna feeding structure

Takashi SHIMIZU<sup>†</sup> and Tsukasa YONEYAMA<sup>‡</sup>

† High-Tech Research Center, Tohoku Institute of Technology 6 Futatsusawa, Taihaku-ku, Sendai-shi, Miyagi 982-8588 Japan
‡ Environmental Information Engineering, Tohoku Institute of Technology
35-1 Kasumityou, Yagiyama, Taihaku-ku, Sendai-shi, Miyagi 982-8577 Japan E-mail: † shimizu@tohtech.ac.jp, ‡ yoneyama@tohtech.ac.jp

**Abstract** In this paper, NRD-guide and waveguide H-plane transitions are proposed to propagate the millimeter wave from the dielectric strip to the upper surface of conductor plate through the waveguide made by digging the conductor plate. As a result, it has a bandwidth of  $|S_{11}|$  -15dB with 4GHz and a low transition loss with 0.2dB. Moreover, NRD-guide upper side dielectric lens antenna is designed and manufactured as an application of proposed transition. It has a wide bandwidth of  $|S_{11}|$  -15dB with 6GHz, high efficiency with about 78% and low sidelobe with less than -27dB.

Keywords Transition, NRD-guide, waveguide, dielectric lens antenna, millimeter wave

# 1. はじめに

近年、高速・大容量無線通信に対する要望の高まり から、ミリ波帯利用に関心が集まっている。これまで、 ミリ波帯で特に有効な低損失伝送線路である NRD ガ イド(非放射性誘電体線路:Non-Radiative Dielectric waveguide)[1]を用いた様々なミリ波回路が研究されて きた[2]-[4]。NRD ガイドは、誘電体ストリップを2枚 の導体板で挟んで構成される。この導体板を、例えば アンテナなどのデバイスの装荷台に利用できると NRD ガイドの実用性が一段と向上し、その応用もさら に広がる。NRD ガイドの導体板を利用したデバイスと して、NRD ガイドに適合したミリ波誘電体アンテナが 報告されている[5]。このデバイスでは、導体板を利用 するために NRD ガイド-同軸線路-円形導波管変換器が 用いられている。しかしながら、この変換器には同軸 線路変換が含まれるため、その構造は複雑であり、製 作が困難になるという問題がある。



(a) LSM<sub>01</sub>モード
 (b) TE<sub>11</sub>モード
 図 2 NRD ガイドの LSM<sub>01</sub>モードと円形導波管の TE<sub>11</sub>モードの電磁界分布

そこで本研究では、NRD ガイドの導体板を貫通して 導波管を穿ち、この導波管を介してミリ波を誘電体ス トリップから導体板上面に導くことを検討する。その 方法として、NRD ガイドを構成する誘電体ストリップ と上部導体板を貫通する導波管を結合する H 面変換器 について考察している。この変換器は、導体板の一部 に結合孔を有する導波管を掘り込み、その結合孔に誘 電体ストリップを配置する構造のため、非常に容易に 製作できる。また、これまで NRD ガイド回路で苦手 とされた特性の調整が可能であるという利点がある。 さらに、提案した変換器をアンテナ給電系に応用し、 NRD ガイド上面誘電体レンズアンテナを設計・試作し、 計算と実験によりその有効性を示す。

# 2. NRD ガイド-円形導波管 H 面変換器

## 2.1. 構造

NRDガイド-円形導波管H面変換器(以下、NRD-CWG



図 3 直径 d の変化による反射特性の計算結果



変換器)の構造を図 1に示す。

NRD ガイドは、遮断平行平板に方形断面の誘電体ス トリップを挿入した構造である。したがって、2枚の 導体板間隔は 60GHz 帯で自由空間波長の半波長以下 となる 2.25mm とする。また、誘電体ストリップには、 比誘電率 $\varepsilon_r=2.04 \pm 0.01$ ,誘電正接 tan $\delta=(2.1 \pm 0.1) \times 10^{-4}$ @48GHzのPTFEを用い[6]、その寸法は高さ a=2.25mm、 幅 b=2.50mm である[1]。NRD-CWG 変換部は、誘電体 ストリップと同一平面まで延長した下部導体板に誘電 体ストリップと等しい寸法の結合孔を有する直径 dの 円形導波管を掘り込んだ構造である。また、誘電体ス トリップ底面から導波管終端部までの長さを底面位置 pとする。この変換部と NRD ガイドは、結合孔を介し て NRD ガイドを構成する誘電体ストリップを長さ l だけ挿入することにより接続される。また、変換部と 円形導波管は、直径 d の円形導波管を掘り込んだ上部 導体板を介して接続される。

この構造を用いることで、図 2に示すように NRD ガイドの基本伝送モードである LSM<sub>01</sub>モードと円形導 波管の最低次の伝送モードである TE<sub>11</sub>モードの電磁 界の向きが揃うため、モード変換が可能となる。



図 5 挿入長 / の変化による反射特性の計算結果



図 6 底面位置 p の変化による反射特性の計算結果

2.2. シミュレーション

ここでは、我が国で特定省電力機器として運用可能 な周波数帯 59-66GHz で動作させることを目的として 検討を行う。

まず、3次元電磁界解析ソフト Ansoft HFSS Ver.8.5 により、変換部線路挿入長 *l*=0mm,変換部底面位置 *p*=0mm とし、直径 *d* に関して検討を行う。なお、HFSS を用いた計算は、全て無損失条件にて行っている。そ の反射特性の計算結果を図 3に示す。また、直径 *d* と 反射が最小になる周波数の関係を図 4に示す。図 4中、 一点鎖線で円形導波管の高次モード TM<sub>11</sub> モードの遮 断周波数、実線で計算値に対する近似曲線(Freq.=3.9*d*<sup>2</sup> -35.4*d*+136.7)を示す。直径 *d* により、中心周波数が決 定できることがわかる。ここでは、NRD ガイドの動作 帯域 55-66GHz で、円形導波管が単ーモード伝送とな る *d*=3.4mm を選択する。

次に、d=3.4mm, p=0mm とし、lを変化させた場合に 関して計算を行う。その反射特性の計算結果を図 5に 示す。結果より、l=0mm、つまり円形導波管の接線と 線路端面が一致した時に最も反射が小さくなることが わかる。これは、PTFE 線路を導波管内に挿入した場



図 7 NRD-CWG-NRD 変換器の構造図



図 8 NRD-CWG-NRD 変換器の測定結果

合、挿入された線路自身の影響により TE<sub>11</sub> モードへの 変換を阻害するためであり、逆に導波管側から離した 場合、遮断状態となっている平行導体板間を伝播せざ るを得ない LSM<sub>01</sub> モードが導波管変換部へ伝わりにく くなるためである。

最後に、d=3.4mm, l=0mm とし、p を変化させた場合 について検討を行う。その反射特性の計算結果を図 6 に示す。ただし、p は下部導体板表面から高くなる方 向を正としている。底面位置 p により中心周波数およ び帯域幅の調整が可能であり、d=3.4mm, p=0.1mm とし た時、58-65GHzの7GHzにわたり、反射量が-15dB以下と極めて広帯域な特性が得られることがわかる。さらに、底面位置 *p*を直接変化させる代わりに金属ネジを配置して変化させることで、NRDガイドが従来苦手とした回路製作後の特性の調整が可能となる。

#### 2.3. 実 験

前節の結果に基づき、直径 d=3.4mm、挿入長 l=0mm、 底面位置 p=0 および 0.1mm の NRD-CWG 変換器を試作 した。ここでは、実験の簡便さを考慮し、図 7に示す ように NRD-CWG 変換器 2 個を CWG 側で対向させた NRD-CWG-NRD 変換器構造として伝送および反射特 性を測定した。また、円形導波管部長さ t=10mm とし た。その測定結果を図 8(a), (b)にそれぞれ示す。比較 として、同図に HFSS による計算結果を破線で示す。 測定結果は計算結果とよく一致しており、提案した変 換部構造の有効性を確認した。一方、p=0.1mmの時、 60GHz 付近における反射量が計算結果よりも大きい。 この主な原因は、底面位置 pの製作精度によるもので ある。測定用方形導波管-NRD ガイド変換ホーンの変 換損を含んだ伝送損失は、58-64GHzの範囲で 1.2 ± 0.3dB であり、変換ホーン1個あたりの損失 0.4±0.1dB を考慮すると、NRD-CWG 変換器1個あたりの変換損 は 0.2dB 程度となり、十分に低損失である。

## 3. NRD ガイド上面誘電体レンズアンテナ

#### 3.1. 構造

本節では、NRD-CWG 変換器をアンテナ給電系に応 用した NRD ガイド上面誘電体レンズアンテナについ て検討する。その構造を図 9に示す。この構造は、図 1 において、上部導体板を直径 d, 長さ tの円形導波管部 とその上部に高さ h, 開口直径 dmの円錐ホーン部を設 けた導体板に付け替える。さらに、その円錐ホーン上 部にレンズ焦点距離に等しい高さ FP を持つレンズ固 定台に取り付けた直径 2R, レンズ焦点距離 Fの誘電体 レンズを配置した構造である。誘電体レンズは、直径 2R=32mm, 焦点距離 F=12mmのものを使用し、その設 計は参考文献[7][8]に従う。

#### 3.2. シミュレーション

はじめに、図 9より誘電体レンズアンテナ部を取り 外し、一次放射器となる NRD ガイド上面円錐ホーン アンテナのみを検討する。

円錐ホーン部の高さ h および開口直径 d<sub>m</sub> は、参考文 献[8]で低サイドロープ特性が得られている h=5mm、 d<sub>m</sub>=7mm とする。また、上部導体板に設けた円形導波 管直径 d は、変換器の動作帯域でシングルモード伝送 となるように、d=3.4mm とした。まず、導波管部長さ t を 0~5mm と変化させて、HFSS により反射特性を計



図 9 NRD ガイド上面誘電体レンズアンテナの構造図



図 10 導波管部長さ t の変化による 60GHz における反射特性の変化



図 11 底面位置 p の変化による反射特性の変化

算した。その結果を図 10に示す。図 10より t が 0.5mm より小さい、もしくは t=2.5mm 以上の時に、その反射 量は-15dB 以下となることがわかる。ここでは、アン テナ全体の構造を小さくすることを考え、t=0mm と決 定する。次に、t=0mm とし、底面位置 p= -0.1, 0, 0.1mm と変化させた時の反射特性の変化を計算した。その結 果を図 11に示す。NRD-CWG 変換器の場合と同様に p の変化によって、反射特性の改善が可能であることが



図 12 NRD ガイド上面円錐ホーンアンテナの 反射特性の測定結果



図 13 NRD ガイド上面円錐ホーンアンテナ の放射特性の測定結果

わかる。また、*p*=0.1mm とした時、|S<sub>11</sub>|が-15dB 以下 となる帯域幅が 6GHz 以上と極めて広帯域な反射特性 が得られることがわかる。

## 3.3. 実 験

以上の検討を元に決定した各部寸法をもつ NRD ガ イド上面円錐ホーンアンテナを試作し、その反射特性 および放射特性の評価を行った。その測定結果を図 12、



図 14 NRD ガイド上面誘電体レンズンテナの 反射特性の測定結果



放射特性の測定結果

図 13に実線でそれぞれ示す。また、同図に計算結果を 破線で示す。測定結果と計算結果はよく一致しており、 NRD ガイド-円形導波管 H 面変換器のアンテナ給電系 への応用が有効であることがわかる。さらに、|S<sub>11</sub>| -15dB となる帯域幅は 6GHz 程度であり、|S<sub>11</sub>| -20dB となる帯域幅でも 5GHz 程度と非常に広帯域である。 また、測定用方形導波管-NRD ガイド変換ホーンおよ び NRD-CWG 変換器の変換損を含んだ最大利得はそれ ぞれ 12.4±0.1dBi、半値角は E 面:40 度、H 面:46 度で あり、誘電体レンズアンテナの一次放射器として十分 な特性を有している。

次に、この円錐ホーン上部に直径 2*R*=32mm, 焦点距 離*F*=12mmの誘電体レンズを取り付けて、図 9に示す NRD ガイド上面誘電体レンズアンテナ構造とし、その 特性を測定した。その測定結果を図 14、図 15にそれ ぞれ示す。誘電体レンズを取り付けたことにより、反 射特性に細かなリップルが現れるが、その帯域幅は若 干広がり、|S<sub>11</sub>| -15dB となる帯域幅で 6GHz 程度と十 分に広帯域である。測定用変換ホーンおよび NRD-CWG 変換器の変換損を含んだ最大利得および開 口効率はそれぞれ 24.4±0.2dBi、68.1±3.1%であり、そ れぞれの変換損 0.4dB および 0.2dB を考慮すると、25.0 ±0.2dBi、78.2±3.6%となる。 また、E 面、H 面とも に半値角 9 度、サイドローブは-27dB 程度以下と優れ た特性を有している。

### 4. まとめ

NRD ガイドの上部導体板にミリ波を導くことが可 能な NRD ガイド-円形導波管 H 面変換器について提案 なd& 御母存神性発融類なよび実験により激素語した 気そ の動作帯域は、反射量が-15dB 以下の帯域幅で 4GHz 程度と広帯域であり、変換損に関しても 0.2dB 程度と 十分に低損失であった。さらに、提案した変換器をア ヴ病費竈鏡鍬 1億応用し、広帯域・高効率・低サイドロ銦 酉ア探芽額÷<sup>ヘ</sup> | 滲