
同軸短絡構造を用いた指向性可変アンテナ

A Radiation Pattern Variable Antenna Using Short-circuited Coaxial Structure

菅原 悟*

星 文和*

安達 一彦*

Satoru SUGAWARA

Fumikazu HOSHI

Kazuhiko ADACHI

要 旨

アンテナ給電部における同軸線路の短絡構造による電界分布の偏りを利用し、広帯域動作を可能にした独自の指向性可変アンテナを提案した。同軸線路中の短絡構造は、高い周波数においてインダクタンスとして機能するため、短絡構造の有無によるアンテナ入力インピーダンスの変化は非常に小さい。

電氣的にスイッチ動作可能な同軸短絡構造を持つ、指向性可変アンテナを試作し、その指向性が広い帯域において変化することを、実験的に確認した。

ABSTRACT

A radiation pattern variable antenna working over a widerange of frequencies is proposed. Electric field deviation provided by the short-circuited structure of the coaxial line at a feed point of the antenna is used as a fundamental principle of the proposed antenna. Short-circuited structure of the coaxial waveguide works as an inductance at higher frequencies. As a result, the difference of input impedance of the antenna with and without short-circuited structure is very little.

The radiation pattern variable antennas with electrically swicthable short-circuited coaxial structure are fabricated. Variance of radiation pattern has been observed experimentally at tense of GHz range.

* 研究開発本部 東北研究所

Tohoku R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

近年IEEE802.11に代表されるような、国際的な無線規格の標準化と無線機器の低価格化の進行により、オフィスや家庭、街中のホットスポット等至る所で無線LANが普及してきている。その動きに加速されるかの様に、無線技術はさらなる伝送速度の高速化や伝送品質の向上を目指して、様々な研究が進められている。特に最近ではUWB（Ultra Wide Band）やMIMO（Multi-Input-Multi-Output）といった次世代無線技術の研究開発が精力的に行われており、これらの技術名称が雑誌やインターネットの記事に普通に取り上げられる程、多くの人々にも注目されるようになってきている。

UWBとは帯域当たりのパワーがノイズレベル以下となる様に周波数拡散を行うことで、500MHz以上の広い帯域を既存無線と共用可能にする技術である。UWBでは既存無線の百倍以上の帯域を利用可能となるが、法律による出力制限が厳しい上に帯域が広い分ノイズも大きく、S/Nの確保が高速化の鍵となる。一方MIMOは複数の送受信アンテナによって得られる複数の伝搬路を活用し、既存の帯域で多重化伝送を行う技術である。MIMOでは送受信アンテナの数に比例して伝搬路を増やし多重化可能となるが、アンテナ数や莫大な伝搬路計算をささえる回路規模をどこまでシステムが許容できるかが課題と考えられる。この様にUWBとMIMOはその技術思想や特長、課題が異なるため、将来的にはMIMOは高速化された無線LANとして、UWBは近距離超高速通信に適した技術としての棲み分けが予想される。

我々は近距離超高速通信に適した技術としてUWBに着目し、高速化の鍵となるS/N、より具体的にはSINR（Signal-to-Interference-Noise Ratio：信号妨害波雑音比）を改善可能なアンテナの研究を行っている。一般にアンテナ指向性を制御することにより、無線通信時の送信電力をSINRを低下させずに低減したり、送信電力を上げずに受信時のSINRを向上出来ることは以前より広く知られている。しかしアンテナ指向性を制御する代表的な方式であるアダプティブアレイ¹⁾やDBF（Digital Beam Forming）²⁾では、複数の無指向性アンテナの入出力をベクトル合成して指向性を形成するため、UWBの様な広い帯域に適用する事が難しかった。この事は複数のアンテナ間の距離が一定の値であるため、波の干渉条件が周波数と共に変化することから容易に理解する事が出来

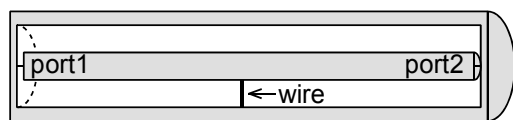
る。またアンテナ自身の電氣的な形状を切替可能な指向性可変アンテナも研究されているが^{3), 4), 5), 6)}、広帯域特性を劣化させずに指向性を変えられるアンテナは筆者らの知る範囲では報告例が無かった。本報告では従来報告されていた指向性制御方式とは異なる原理を用いることにより、広帯域動作が可能なアンテナ指向性制御方式を提案し、その指向性制御方式を用いた指向性可変アンテナの試作結果を報告する。

2. 技術

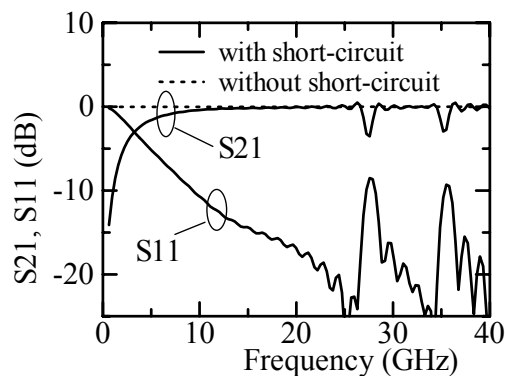
2-1 アンテナ指向性制御原理

高速な無線通信においてアンテナ指向性を制御して無指向性の状態よりもSINRを向上させる為には、少なくとも無指向性の状態を実現可能である事、アンテナ指向性を変えてもアンテナ入力インピーダンスが変化しない事、そして高速に指向性切替可能な事等が必要となる。従来のアンテナ指向性制御方式では、複数の無指向性アンテナからの出力を干渉させたり、アンテナの電氣的な形状を切り替えて指向性を制御していたため、特定の周波数ではこれらの条件を満たす事が出来たが、広い帯域にわたってこれを満たす事は難しかった。

この様にアンテナ指向性制御の広帯域化が困難な原因は、アンテナ指向性の制御原理を干渉やアンテナ形状の変化に置く事にあった。そこで我々は従来の指向性制御方式とは異なる原理によって、アンテナ指向性が制御できないかという所から考えてみた。アンテナ指向性とは例えば送信モードの場合、角度に対する放射電界強度分布と考えられるが、この分布を生み出しているのはアンテナに流れる電流分布である。この電流分布が角度に対して均一であれば、放射電界も均一となり、アンテナ指向性は無指向性となる。一方電流分布が角度に対して不均一であれば、放射電界も（単純に一对一対応する訳ではないが）不均一となり、アンテナに指向性が生じる。この時アンテナ形状が不均一である必然性は無く、あくまで電流分布が重要である。この考えを進めると、無指向性アンテナの形状はそのまま、角度に対する給電分布を変化させてやれば、アンテナを流れる電流に分布が生じその結果放射される電界強度も角度に対する分布を持つようになると考えられる。これが今回提案するアンテナ指向性制御方式



(a) Calculation model of the short-circuited coaxial line



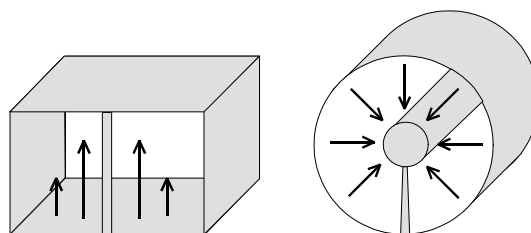
(b) Calculated S-parameters

Fig.1 Calculated S-parameters of the short-circuited coaxial line.

の基本的な考え方であり、広い帯域で給電分布に変化を生じさせる方法として、同軸線路の短絡による電界分布変化を利用している。

同軸線路を短絡すると、低い周波数では当然電氣的にも短絡となり短絡部で電磁波が反射してしまう。しかし高い周波数においては、短絡構造は電氣的には単純な短絡とはならず、電磁波は短絡部で反射しなくなる。Fig.1は同軸線路を短絡した場合の透過、反射特性を電磁界解析法（FDTD法）によって計算した例を示しており、10GHz以上の周波数では短絡線の有無に関わらず、ほとんどの電力が透過している事がわかる。なお一部の周波数（27.5、34.5GHz）で反射が大きくなっているが、これはカットオフ周波数を超えて同軸線路内を伝搬可能になったTE₁₁モードの共振による。

この様に短絡線があっても高周波で反射が小さくなる現象は、方形導波管における短絡板等の例で古くから知られており⁷⁾、基本モードがTE₁₀モードの方形導波管では、電界と平行な短絡板はエバネッセントな高次のTEモードによってインダクタンスとなる。Fig.2に示す様に、同軸線路の短絡構造も基本モードであるTEMモードの電界に平行な配置となるため、やはりエバネッセントな高次のTEモードによりインダクタンスとして働くことになる。短絡部で発生するイ



(a) Waveguide

(b) Coaxial line

Fig.2 Relationship between short-circuit structure and electric field direction of the fundamental mode.

ンダクタンスは周波数と共に増加し、短絡線のインピーダンスが高く見えてくるため、短絡線による反射が減少することとなる。短絡線付近のエバネッセントな高次のTEモードは、短絡線付近に局在するため、短絡線付近の電界強度分布を変えることとなる。この分布は短絡線から離れた同軸線路中ではエバネッセントな高次モードの減衰にともなうて解消されていく事になる。しかしこの電界強度分布が発生した直後に、この分布をアンテナの伝播モードに結合させて空間に放射することが出来れば、アンテナからの放射電界強度分布すなわち指向性に変化を与える事が出来る。また同軸線路の短絡構造は周波数に依存しにくい形状であり挿入損失が小さいことから、本原理を用いて広い周波数範囲でアンテナ指向性を制御できる事が期待される。

2-2 実測による原理の確認

同軸線路の短絡構造による電界強度分布変化によって、アンテナ指向性が本当に変えられるのかを確認するため、給電部の同軸線路に金属線による短絡構造を持つアンテナ（以下、同軸短絡アンテナと呼ぶ）を試作しその評価を行った。Fig.3に試作した同軸短絡アンテナの概略図を示す。アンテナには円錐状の放射素子と地板からなるディスコーンアンテナを用いている。アンテナ給電部は同軸線路に接続し、地板（disc）表面の同軸線路端部で内導体と外導体の間に金属板を接続して短絡している。同軸線路はSMAのレセプタクル（内導体径1.27mm、外導体径4.1mm、誘電体はPTFE誘電率2）を用いている。

試作した同軸短絡アンテナのリターンロス対周波数特性をFig.4に示す。図中の実線は同軸短絡アンテナの、点線は短絡しない場合のリターンロスをそれぞれ示している。

15GHz以上の周波数では両者とも-10dB以下となっており広帯域な特性が得られている。15GHz以下の周波数では同軸短絡構造の有無による違いが見られており、同軸短絡構造によるインダクタンスの値が十分に大きくなっていないために、短絡部で反射が生じていると考えられる。

試作した同軸短絡アンテナの25GHzにおけるE面指向性測定結果をFig.5に示す。横軸の角度の表記は地板に垂直な方向を0度、地板に平行な方向を±90度とし、短絡線を含む側を負にとっている。一方縦軸は絶対利得の表示としている。図中の実線は同軸短絡アンテナの、点線は短絡しない場合の指向性をそれぞれ示しており、同軸短絡構造によりE面指向性が変化している事がわかる。同軸短絡構造による利得の変化は、短絡線側の利得が低下し、反対側の利得が向上している。Fig.6には各周波数での同軸短絡アンテナのE面指向性変

化を示している。図中の実線は同軸短絡アンテナの、点線は短絡しない場合の指向性をそれぞれ示しており、いずれの周波数でも同軸短絡構造によりE面指向性が変化している事がわかる。15GHzや40GHzでは指向性の変化量は小さくなって

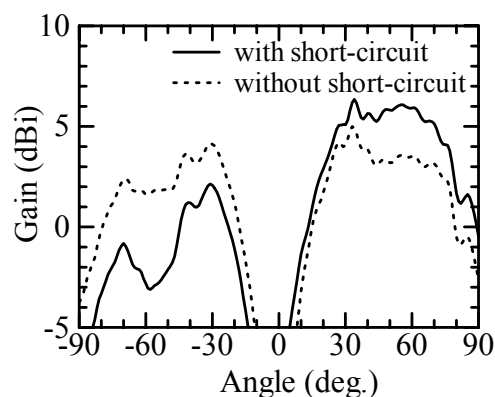


Fig.5 Radiation pattern of the antenna with and without short-circuited coaxial structure.

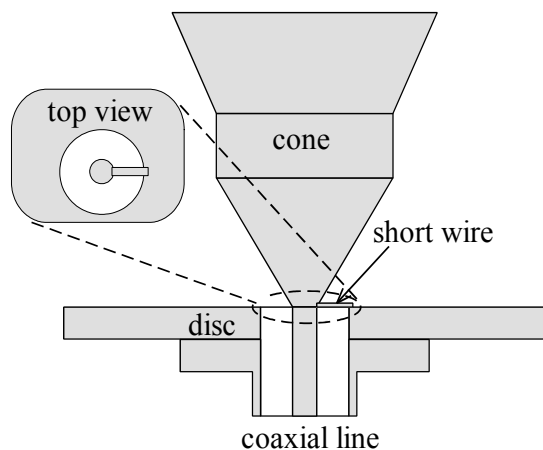


Fig.3 Geometry of the antenna with short-circuited coaxial structure.

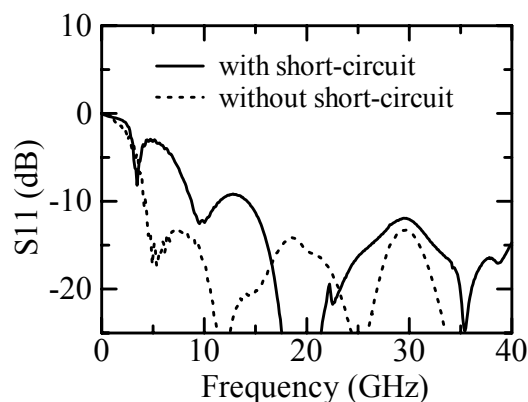


Fig.4 Return loss of the antenna with and without short-circuited coaxial structure.

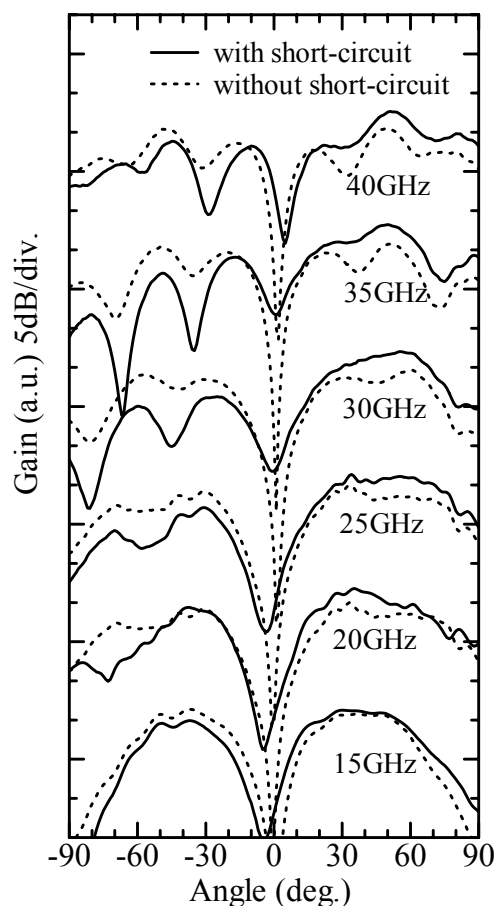


Fig.6 Radiation patterns of the antenna with and without short-circuited coaxial structure.

いるが、広い周波数範囲にわたって同じ様に指向性が変化している事がわかる。なおこの測定は受信モードで行っているが、送信モードでも同様の結果が得られており、相反定理を満たしたアンテナの特性といえる。以上の結果より本原理を用いる事で、広帯域な指向性制御が実現可能である事が明らかとなった。

2-3 指向性可変アンテナの試作

本原理を用いてアンテナ指向性を電氣的に切替え可能な、指向性可変アンテナを試作した。試作した指向性可変アンテナは原理確認用同軸短絡アンテナと同じ寸法のディスコーンアンテナを基本構造とし、アンテナ給電部となる地板面上の同軸線路端部に、スイッチによりON/OFF切替可能な同軸短絡線を放射状に4方向に設けている。試作した指向性可変アンテナの概略図をFig.7に示す。同軸内導体から放射状にのびた同軸短絡線は、pinダイオードスイッチに接続された後、高周波成分はキャパシタを用いて地板に接地されている。一方pinダイオードバイアス用のDC成分はキャパシタの上部電極を経由してバイアス線に接続され、地板周辺部の貫通穴よりリード線を通じて地板裏側に取り出されている。同軸短絡線とバイアス線は誘電体フィルム上の導体パターンとして形成されており、地板からは絶縁されている。

試作した指向性可変アンテナのリターンロス対周波数特性をFig.8に示す。図中の実線はスイッチを一箇所ONにした場合を、点線は全てのスイッチをOFFにした場合をそれぞれ示しており、両者とも広帯域な特性が得られている。

試作した指向性可変アンテナの各周波数でのE面指向性測

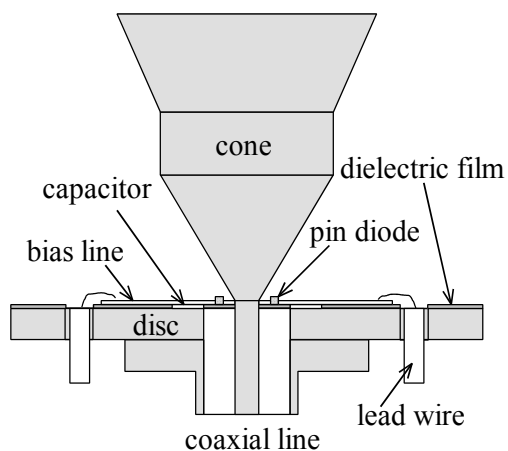


Fig.7 Geometry of the radiation pattern variable antenna.

定結果をFig.9に示す。図中の実線は一侧のスイッチをONにした場合を、点線は全てのスイッチをOFFにした場合をそれぞれ示している。全てのスイッチをOFFにした場合は無指向性となり、ほぼ左右対称なパターンとなっている。一侧のスイッチをONにした場合は同軸線路の一侧が短絡されるので、一侧の利得が低下し、反対側の利得が上がっている。この結

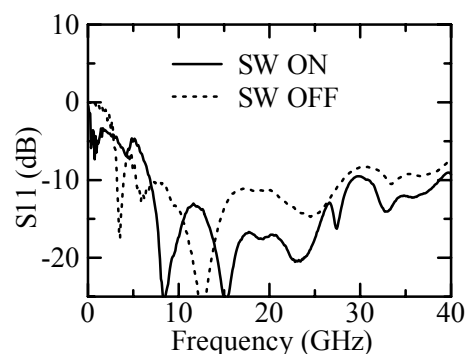


Fig.8 Return loss of the radiation pattern variable antenna.

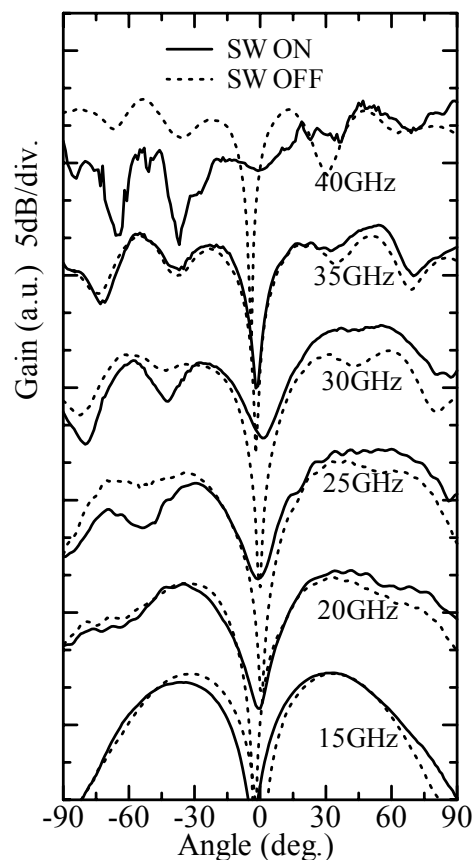


Fig.9 Radiation patterns of the radiation pattern variable antenna.

果より本指向性可変アンテナが原理通りの動作をする事が確認できた。

3. 成果

アンテナ給電部の同軸線路を短絡する事によりアンテナ指向性を制御するアンテナ指向性制御方式を新たに提案した。本指向性制御技術は、アンテナ入力インピーダンスを変化させずに、短絡側の利得を低下させ反対側の利得を向上させることが出来る。同軸短絡構造による指向性の変化は、相反定理を満たし、広い帯域で動作する事が実験的に確認された。また本原理を用いて電氣的に指向性切替可能な指向性可変アンテナを試作し、その動作を確認した。これにより初めて広帯域指向性可変アンテナを実現する事が出来た。

4. 今後の展開

今後、本指向性制御方式の理論解析を進めると共に、特性改善を行っていき、更に良い特性を持つ広帯域指向性可変アンテナの開発を行っていく。またUWBへの適用を考慮した動作帯域の低周波化も行っていく。

参考文献

- 1) 大鐘, 小川: アダプティブアレーと移動通信, 信学誌, 81, 12, (1998), pp.1254-1260
- 2) 諸岡: DBFアンテナ, エンサイクロペディア電子情報通信ハンドブック, 5-13, (1998), pp.631
- 3) 大平, 飯草: 電子走査導波器アレーアンテナ, 信学誌, 87, 1, (2004), pp.12-31
- 4) 浦田, 羽石, 木村: マイクロストリップアンテナにより構成されるビーム可変平面アレーアンテナ, 信学誌, 87, 1, (2004), pp.100-111
- 5) D. V. thiel and S. smith: swiched parasitic antennas for cellular communications, ARTECH HOUSE INC., (2002)
- 6) P. Namjanyaporn and M. Krairiksh: Switched-beam single patch antenna, Electron. Lett., vol.38, No.1, pp.7-8, (2002)
- 7) N. Marcuvitz: Waveguide Handbook -Radiation Laboratory Series, Vol.10, McGraw-Hill, (1951)

注1) 「ホットスポット」はエヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社の登録商標ですが、本稿では、一般的な公衆無線LANサービスを意味する英単語の「Hotspot」をカタカナ表記にした、一般名詞として使用しています。