

ノルマルモード・ヘリカルアンテナの特性改善に関する研究

2004MT028 飯田 将貴 2005MT087 岡田 壮平 2005MT091 太田 悟志

指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

1.1 研究の背景

小形アンテナの一種として重用されるノルマルモード・ヘリカルアンテナ (Normal Mode Helical Antenna, NMHA) は、様々な研究・開発がされている [1]。らせん状の導線によって構成される NMHA の特徴として、1 ターンの長さが波長に比して十分小さいもので、らせんの軸と垂直の方向に最大の放射が行われる [2]。しかし、小形化する際に放射抵抗は 50Ω に比べて小さくなり周波数の狭帯域化などが問題となっている。このため広帯域化と良好な整合条件を実現するためにタップ給電、折り返し型、対数周期構造にする方法が提案されている。

1.2 研究の目的・方法

本研究は、基本構造の NMHA に対してタップ給電、折り返し構造、対数周期構造を用いて低放射抵抗と狭帯域の問題を改善することを目的とする。

研究方法としては、基本構造の NMHA を電磁界解析シミュレータ FEKO を用いて設計・解析し、基本構造と同様のパラメータを用いてタップ給電構造、折り返し構造、対数周期構造についても設計・解析を行い、各々の放射抵抗・リターンロスを比較検証する。また、各構造のアンテナに対して FEKO で設計したパラメータを基に実際に製作しネットワークアナライザを用いて算出した実測値と、FEKO の解析結果を比較し検証を行う。

2 基本構造 NMHA

基本構造 NMHA の 3 次元モデルを図 1 に示す。

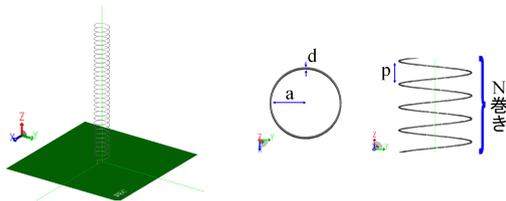


図 1 基本構造 NMHA の 3 次元モデル

2.1 FEKO による解析結果

2.1.1 基本構造 NMHA のパラメータ

構造パラメータとしてらせん半径 a 、ピッチ幅 p 、巻き数 N 、線径 d とする。本研究では基本構造 NMHA パラメータを以下に示すように設定する。

- らせん半径 $a = 7.5\text{mm}$
- ピッチ幅 $p = 5\text{mm}$
- 巻き数 $N = 30$

- 線径 $d = 0.28\text{mm}$
- 周波数 $f = 90 \sim 120\text{MHz}$

2.1.2 基本構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90~120MHz)

基本構造 NMHA のスミスチャートを図 2 に、リターンロスを図 3 に示す。以下 \times 印は共振周波数を示す。

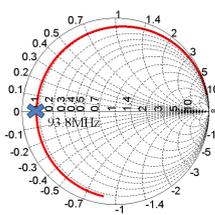


図 2 インピーダンス

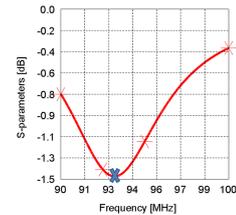


図 3 リターンロス

2.1.3 FEKO による結果の考察

図 2 より、放射抵抗値は 93.8MHz 付近で 4Ω 程度という結果が得られた。図 3 より、リターンロスは 93.8MHz 付近で -1.5dB という値を得た。

2.2 実験結果

2.2.1 製作した基本構造 NMHA

製作したアンテナは、発泡スチロールの真柱に 0.28mm の銅線を 5mm 間隔で 30 回巻いた構造をしている。また、グラウンド板は $90\text{cm} \times 111\text{cm}$ の銅板を使用した。給電点はグラウンド板の中心に SMA コネクタを接続し、そこから給電が行えるようにした。

2.2.2 製作した基本構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90~120MHz)

測定により求めたインピーダンスを図 4 に、リターンロスを図 5 に示す。

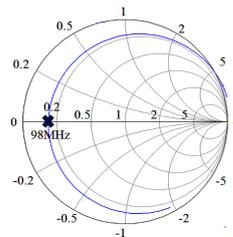


図 4 実験結果のインピーダンス

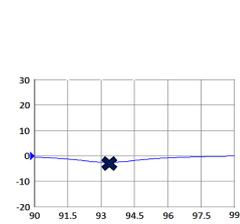


図 5 実験結果のリターンロス

2.2.3 実験結果の考察

製作した NMHA のインピーダンスでは図 4 より 98MHz 付近で共振しており放射抵抗は約 4Ω 程度である。リターンロスを図 5 より 98MHz 付近で -1.5dB という値を得た。

2.3 解析と実験の比較検討

FEKO の解析結果と製作した NMHA の実験結果は、放射抵抗値・リターンロスともほぼ同様の結果が得られた。これらの結果を踏まえて、次章以降にタップ給電、折り返し構造、対数周期構造を用いて特性の改善を目指していく。

3 タップ給電 NMHA による特性改善

タップ構造とは図 6(a) と (b) のように基本構造 NMHA の中心軸にタップ線を平行に配置する。また基本構造 NMHA 側から給電し、平行に配置したタップ線をグラウンドに接地する構造である [4]。

タップ線のパラメータとして、らせん半径 9mm、巻き数 $Nt = 0.75$ 回とした。タップのらせん半径、巻数は整合がとれ、かつ実験の簡便さを考慮に入れた長さである。

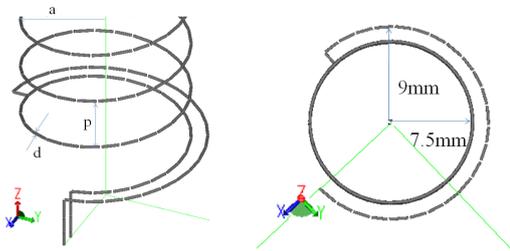


図 6 (a) タップ構造 (b) タップ構造 (xy 平面図)

3.1 FEKO による解析結果

3.1.1 タップ給電 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90 ~ 120MHz)

タップ給電 NMHA のインピーダンスを図 7 に、リターンロスを図 8 に示す。

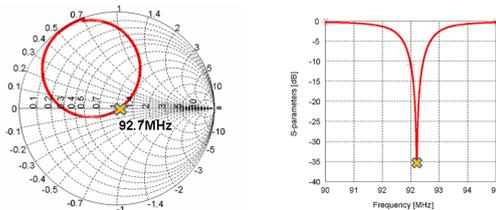


図 7 インピーダンス 図 8 リターンロス

3.1.2 FEKO による結果の考察

基本構造 NMHA の放射抵抗は 93.8MHz で約 4Ω であったが、タップ構造にした結果、92.6MHz で約 56Ω まで放射抵抗を高くすることができた。またリターンロスの値も -1.5dB から -35dB までさげることができた。

3.2 実験結果

3.2.1 製作したタップ給電 NMHA

らせん半径 9mm、巻き数 $Nt = 0.75$ 回のタップ線を製作し、基本構造 NMHA に接続した。

3.2.2 実験によるタップ給電 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90 ~ 120MHz)

実験によるタップ給電 NMHA のインピーダンスを図 9 に、リターンロスを図 10 に示す。

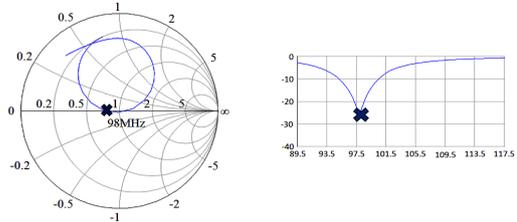


図 9 実験結果のインピーダンス

図 10 実験結果のリターンロス

3.2.3 実験結果の考察

製作したタップ給電 NMHA の放射抵抗値は 98MHz 付近で約 48Ω であり、リターンロスは -23dB という値を得ることができた。

3.3 タップ給電構造に関する考察

基本構造 NMHA をタップ給電 NMHA にすることにより、放射抵抗値を 50Ω に近づけることができた。リターンロスも目標値の -10dB 以上の値を得ることに成功した。

製作したタップ給電 NMHA の放射抵抗値は FEKO の解析結果と比較して、多少の誤差はあるもののほぼ一致させることができた。リターンロスもほぼ同様の結果が得られた。

4 折り返し構造による特性改善

折り返し NMHA は 2 本の基本構造 NMHA を図 11 のように平行に並べて、上部の 2 端を導線でつなぎ、下部の一端は給電し、もう一端はグラウンドに接地した構造である。また、2 つの NMHA 間の距離は 15mm とした [5]。

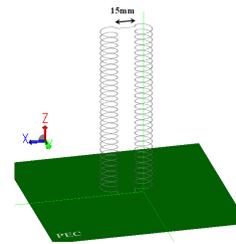


図 11 折り返し型の構造

4.1 FEKO による解析結果

4.1.1 折り返し構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90 ~ 120MHz)

折り返し構造 NMHA のインピーダンスを図 12 に、リターンロスを図 13 に示す。

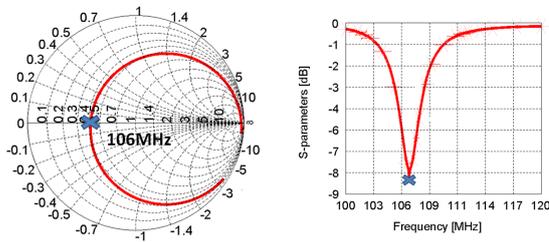


図 12 インピーダンス

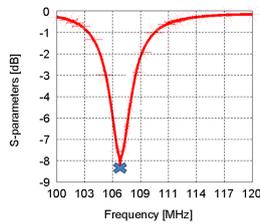


図 13 リターンロス

4.1.2 FEKO による結果の考察

基本構造 NMHA の放射抵抗は 93.8MHz で約 4Ω であったが、折り返し構造にした結果、106MHz で約 37Ω まで放射抵抗を高くすることができた。またリターンロスの値も -1.5dB から -8.5dB までさげることができた。以上の結果から、基本構造 NMHA を折り返し構造にすることにより、同電圧で電流が 2 倍され、電界、磁界も 2 倍されることにより、インピーダンスが 4 倍されるという折り返し構造 NMHA の特性を明らかにした。

4.2 実験結果

4.2.1 製作した折り返し構造の NMHA

基本構造の NMHA を 2 本作り、2 本の NMHA 間の距離は FEKO と同様に 15mm の間隔で接続した。下部の 2 端のうち 1 端は給電点に接続し、もう一端はグラウンド板に直接接地するように製作した。

4.2.2 実験による折り返し構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 90 ~ 120MHz)

実験による折り返し構造 NMHA のインピーダンスを図 14 に、リターンロスを図 15 に示す。

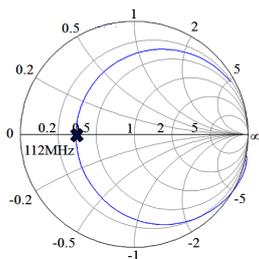


図 14 実験結果のインピーダンス

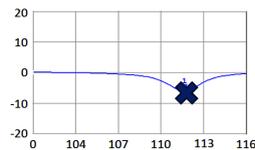


図 15 実験結果のリターンロス

4.2.3 実験結果の考察

製作した折り返し NMHA の放射抵抗値は 112MHz 付近で約 32Ω であり、リターンロスは -8.0dB という値を得ることができた。

4.3 折り返し構造に関する考察

基本構造 NMHA を折り返し構造にすることにより、放射抵抗値を 50Ω に近づけることができた。リターンロスも目標値の -10dB に近い値を得ることに成功した。

製作した折り返し構造 NMHA の放射抵抗値は FEKO の解析結果と比較して、多少の誤差はあるもののほぼ一致させることができた。リターンロスもほぼ同様の結果が得られた。

5 対数周期構造 NMNA による特性改善

対数周期アンテナは、アンテナの諸特性が周波数の対数に比例して周期的に繰り返すような構造をもつアンテナとして定義されている。寸法を K^n (K :定数, n :正負の整数) 倍にしたときのアンテナに重なるようなアンテナを意味する。したがってその特性は対数周期的に一定変化を繰り返す。らせん半径を a_n 、ピッチ幅を p_n 、それぞれの隣り合うアンテナの寸法比を r とすると、

$$r = \frac{p_n}{p_{n-1}} = \frac{a_n}{a_{n-1}} \quad (1)$$

という関係式が成り立つ。

5.1 対数周期構造 NMHA の設計構造

対数周期構造 NMHA の構造パラメータとして、1 巻目のらせん半径 $a=6\text{mm}$ 、1 巻目のピッチ幅 $p=4.5\text{mm}$ 、らせん半径とピッチ幅の比を $r=1.17$ 、巻数 $N=14$ 、線径 $d=0.28\text{mm}$ 、周波数 $f=0.1 \sim 1\text{GHz}$ に設計し、その構造を図 16 に示す。

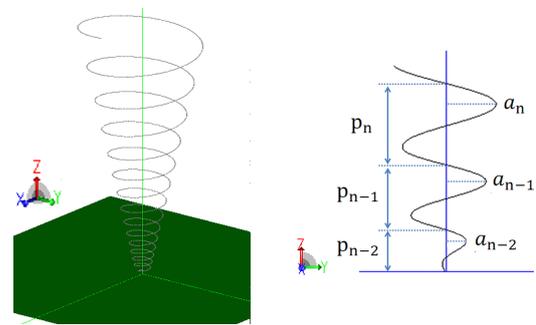


図 16 対数周期 NMHA の構造, モデル図

5.2 FEKO による解析結果

5.2.1 対数周期構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 0.1 ~ 1GHz)

対数周期構造 NMHA のインピーダンスを図 17 に、リターンロスを図 18 に示す。

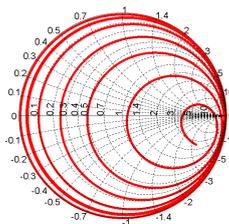


図 17 対数周期構造 NMHA 構造のインピーダンス

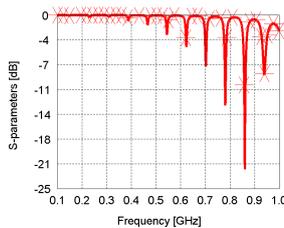


図 18 対数周期構造 NMHA のリターンロス

5.2.2 対数周期構造 NMHA の指向性利得の比較

基本構造の NMHA の指向性利得を図 19 に、対数周期 NMHA の指向性利得を図 20 に示す。

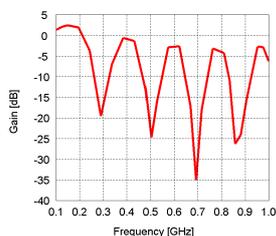


図 19 基本構造の NMHA

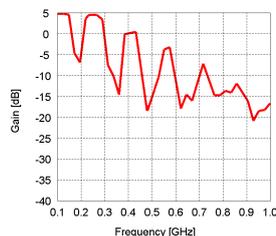


図 20 対数周期構造 NMHA

5.2.3 FEKO による結果の考察

対数周期構造 NMHA のリターンロスは、 -22dB を得ることができた。また指向性利得では、対数周期構造 NMHA の方が全体的に高い値を得ることができた。

5.3 実験結果

5.3.1 製作した対数周期構造 NMHA

らせん半径、ピッチ幅を調整するために 1 巻きずつ計算して円錐状の発泡スチロールに巻いた。

5.3.2 実験による対数周期構造 NMHA のインピーダンスとリターンロス (周波数帯 0.1~1GHz)

実験による対数周期構造 NMHA のインピーダンスを図 21 に、リターンロスを図 22 に示す。

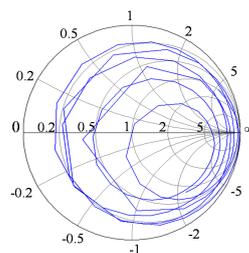


図 21 実験のインピーダンス

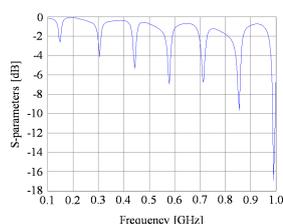


図 22 実験のリターンロス

5.3.3 実験結果の考察

放射特性値について FEKO での算出値とほぼ同じ値を得ることができた。リターンロスについては、FEKO の解析結果と似た形状のグラフになり、890MHz 付近で -17dB を得ることができた。

5.4 対数周期構造に関する考察

指向性利得は、100~400MHz 付近では、基本構造の NMHA に比べて対数周期構造 NMHA の方が良い値を得られていたので特性が改善させたといえる。

FEKO の解析結果と実験結果との比較について、実験結果の放射特性値は FEKO での算出値とほぼ同じ値を得られた。リターンロスの実験結果は、FEKO での解析結果とは少し異なる結果が得られたが、890MHz 付近で -17dB を得ることができ目標値を達成できた。また、実験でも基本構造の NMHA より良い結果を得ることができた。

6 まとめ

FEKO での解析の結果では、基本構造 NMHA をタップ構造、折り返し構造、対数周期構造にすることにより、大幅な特性改善に成功した。その中でも一番有効であったのはタップ構造である。

また、実験結果と FEKO による解析結果が近い値が得られたので、FEKO の解析結果が妥当であることを証明することができた。

参考文献

- [1] 真野尚往: ノルマルモードヘリカルアンテナに関する研究, 南山大学 2006 年度卒業論文.
- [2] 丸地智博: 垂直姿態アンテナに関する理論的検討, 南山大学 2007 年度卒業論文.
- [3] 道下尚文, 山田吉英: 高効率な超小形ノーマルモードヘリカルアンテナの性能, 信学技報, Vol.69, pp.25-30(2005).
- [4] 郭雄錦, 道下尚文, 山田吉栄: タップ給電したノーマルヘリカルモードアンテナの電気特性, 信学技報, Vol.154, pp.101-104(2006).
- [5] 浅川公男, 前田忠彦, 小椋好恵: 折り返しノーマルモードヘリカルアンテナの検討, 信学技報, Vol.137, pp.25-30(2004).
- [6] 国立情報研究所: Cindi NILL 論文情報ナビゲータ, <http://www.CiNii.ac.jp>.
- [7] アンテナ工学ハンドブック: 電子情報通信学会編, オーム社, 2003.
- [8] 永井淳, 遠藤敬二, 佐藤源貞: アンテナ工学, 総合電子出版社.
- [9] 後藤尚久・中川正雄・伊藤精彦: アンテナ・無線ハンドブック, オーム社, 2006.