

モノポール型ノルマルモードヘリカルアンテナの特性に関する研究

2005MT017 古本 翔 2005MT131 吉田 和真
指導教員 稲垣 直樹

1 はじめに

1.1 研究背景

情報技術の発達に伴って、移動しながら通信を行う機会が増えている。携帯電話端末にはもちろん、自動車にもラジオやカーナビゲーション、テレビを受信するためのアンテナが付いているが、これらには小型化や低姿勢化が要求される [1]。このために多く用いられているのがノルマルモードヘリカルアンテナ (NHA) である。車のルーフに搭載する NHA は必然的にモノポール型であるが、ダイポール型 NHA に比して研究が遅れている [2]。

1.2 研究目的・方法

先行研究ではダイポール型の数値解析が詳しく研究されていた [3]。それに対しモノポール型の NHA は多様性があるという特徴ゆえに、まださらに詳細に研究する余地がある。研究では FEKO [5] を用いるが、FEKO には不得意な構造があり、それが密巻きである。メッシュ化する際にセグメントを多くしないと忠実に再現できないからである。

本研究の目的は、さまざまな周波数や巻き方のモノポール型 NHA を FEKO を用いて解析することで、FEKO での解析が可能か、またどのような結果が得られるかを明らかにしていくことである。そしてそれを実験によって裏付けを行うことが最終目標である。

研究方法として、まずモノポール型 NHA の特性を FEKO 上で解析する。ここでは導線径や螺旋半径、またピッチごとの解析から特性を明らかにしていく。最終的に FEKO での数値解と実際に作成したアンテナでの実験値との比較から、判明した特性の裏付けを行っていく。

2 モノポール型 NHA の設計パラメータ

モノポール型 NHA を設計する際の構造パラメータを分かりやすく図示したものが図 1 である。また導線素材は銅 ($\sigma = 6.0 \times 10^7 \text{ S/m}$) とする。

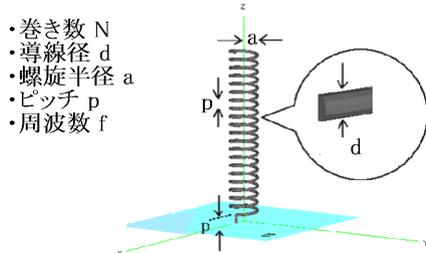


図 1 NHA の構造パラメータ

3 共振する構造の探究

どういった導線径 d を用いた場合に共振しやすいかを、構造の違いや特性を求めることで明らかにする。

3.1 解析を行うパラメータ

導線径 d (0.2mm, 0.6mm, 1.0mm) ごとに、螺旋半径 a をパラメータとしてピッチ p に対して解析する。 $N=20$, $f=300\text{MHz}$ とする。また共振するということは、放射リアクタンス X_r が 0 となる場合のことである。

3.2 解析結果

導線径 d と螺旋半径 a に対する、共振するためのピッチ p (単位: mm) と放射抵抗 R_r (単位: Ω) を、表では ($p[\text{mm}]$, $R_r [\Omega]$) としてまとめた。

表 1 導線径 d と螺旋半径 a に対する、共振するためのピッチ p と放射抵抗 R_r ($p[\text{mm}]$, $R_r[\Omega]$)

	$a=2\text{mm}$	$a=3\text{mm}$	$a=4\text{mm}$
$d=0.2\text{mm}$	(8.6, 18.15)	(5.7, 13.18)	(0.4, 3.97)
$d=0.6\text{mm}$	(9.2, 31.48)	(6.6, 11.77)	(1.3, 3.45)
$d=1.0\text{mm}$	(9.5, 30.70)	(7.0, 22.21)	(2.1, 3.20)

3.3 考察

導線径 d の大きさに関係なく、螺旋半径 a が大きくなるにつれて、ピッチ p が小さくても共振が起こる。しかし共振していても、導線径 d が大きくなるにつれて小さいピッチ p では共振しにくくなっているため、導線径 d が小さいほどピッチ p が小さくても共振しやすいと言える。また導線径 d が大きくなっていくにつれて抵抗の値が小さくなっていくことも判明した。

以後は実験しやすい太さである導線径 $d=0.32\text{mm}$ を用いて解析を行っていく。

4 ピッチ p ごとの解析結果の比較と考察

導線径 $d=0.32\text{mm}$ を用いることが決まったため、次はそれに対して細かく他のパラメータを決めて FEKO で解析を行っていく。ここではピッチ p ごとに共振周波数と放射抵抗を調べ、それぞれインピーダンスの整合の変化を調べた。

4.1 ピッチ p ごとの解析結果の比較

周波数 $f=240\sim 360\text{MHz}$ に設定し、まずピッチ $p=1\text{mm}$, 10mm , 15mm , 20mm の 4 つの規格の共振周波数と放射抵抗を求める。螺旋半径は $a=3\text{mm}$ とした。アンテナの全長は中心周波数の波長の約 $1/4$ となる必要があるため、 N はそれぞれ表 2 のようになる。

表 2 の中の $a=3\text{mm}$ の場合には共振は起こらなかったため、螺旋半径 $a=6\text{mm}$ で再解析した結果である。

表2 ピッチ p に対する特性変化

p (mm)	N	共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
1	13.24	共振しない	—	—
1	6.62	317.33	-2.09	5.98
10	11.71	316.70	-7.87	21.14
15	10.37	288.45	-9.58	25.08
20	9.09	273.30	-10.88	27.78

4.2 考察

ピッチ p が大きくなるほど共振周波数は低くなり、またインピーダンスは整合がとれている。ピッチ p=1mm の場合には共振は起こらなかったため、螺旋半径 a=6mm で再解析した結果共振が起こった。螺旋半径 a の違いによっても結果が変わってくることも判明したため、実験ではさらに螺旋半径 a も変化させながら解析し、これを実験との比較により裏付けを行っていく。また実験ではピッチ p を極端に大きいもの (p=20mm) と小さいもの (p=1mm) を適用することとした。

5 数値解と実験値の比較

FEKO による数値解と、実際に作成したモノポール型 NHA の測定値を比較する。

5.1 実験について

作成したモノポール型 NHA をグランド板に立て、ネットワークアナライザに取り付け、周波数を設定してモノポール型 NHA に電流を流す。実験装置の組立図が図 2 である。

またアンテナ作成の際には、導線を螺旋状に巻いただけでは安定性がない。そこで誘電率が低い木材を利用し、円柱状の木材に導線を巻きつけることで螺旋半径 a やピッチ p が等しくなるように作成した。FEKO ではグランドを無限としているが、実際に作成する場合はグランド板として用いる銅板のサイズを 111cm × 90cm とした。この大きさは、周りにいる人間や物の影響を受けない十分な大きさである。

周波数をそれぞれ f=70, 100, 300, 600MHz 付近で解析を行う。また第 3 章より導線径 d=0.32mm, 第 4 章よりピッチ p を大きくしたもの (p=20mm) とピッチ p を小さくして密巻きにしたもの (p=1mm) の 2 種類を用いることとする。アンテナの小型化も考慮し、p=20mm の場合は螺旋半径 a=3mm, p=1mm の場合は螺旋半径 a=6mm として実験を行う。巻き数 N は、周波数により変動するため以後にそれぞれ記載する。

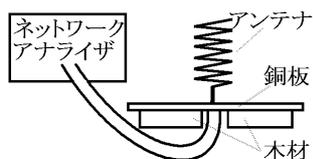


図2 ネットワークアナライザとアンテナの取り付けかた

5.1.1 ネットワークアナライザ

ネットワークアナライザは強力な校正機能により非常に高精度な測定ができる装置である。エスパラメータやスミスチャートを管面上に直接描画できるため、アンテナのインピーダンスマッチング作業を視覚的に行うことが可能である [6]。

5.1.2 モデル化したモノポール型 NHA と作成したモノポール型 NHA

図 3 が FEKO でモデル化したモノポール型 NHA, 図 4 が実際に作成したモノポール型 NHA である。

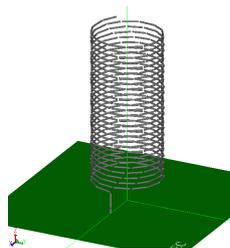


図3 FEKOでモデル化したモノポール型 NHA



図4 実際に作成したモノポール型 NHA

5.2 f=70MHz 付近での解析

5.2.1 p=20mm の場合

構造パラメータ

- ・周波数 f=70MHz 付近 (35 ~ 140MHz)
- ・螺旋半径 a=3mm
- ・巻き数 N=39
- ・ピッチ p=20mm
- ・導線径 d=0.32mm

- f=70MHz 付近 (p=20mm) の数値解と実験値のエスパラメータでの比較

図 5 が数値解, 図 6 が実験値のエスパラメータ表示である。

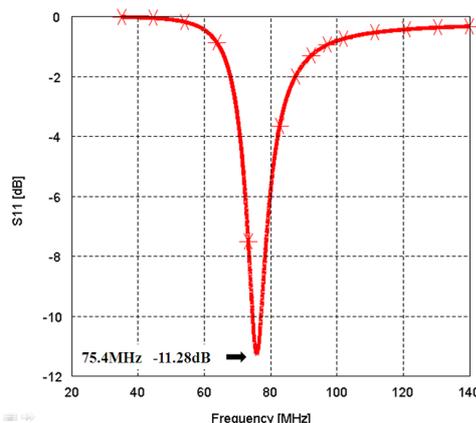


図5 f=70MHz 付近 (35 ~ 140MHz) の数値解のエスパラメータ表示

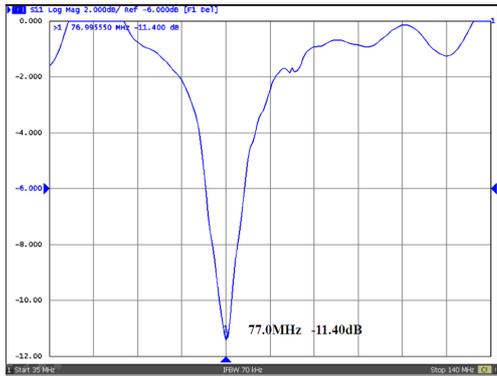


図 6 $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz) の実験値のエスパラメータ表示

- $f=70\text{MHz}$ 付近 ($p=20\text{mm}$) の数値解と実験値のスミスチャートでの比較

図 7 が数値解, 図 8 が実験値のスミスチャート表示である.

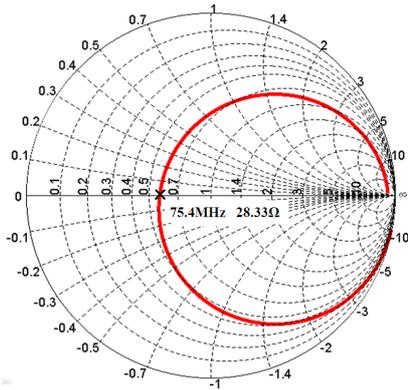


図 7 $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz) の数値解のスミスチャート表示

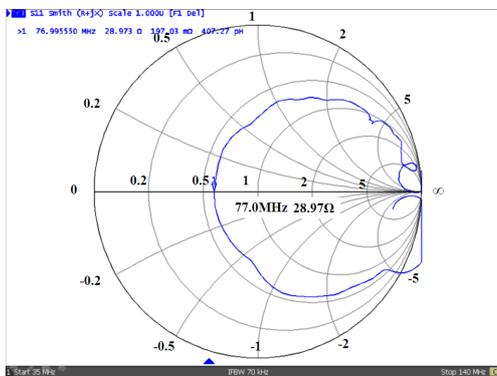


図 8 $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz) の実験値のスミスチャート表示

表 3 数値解と実験値の比較 ($p=20\text{mm}$)

		共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
$p=$	数値解	75.4	-11.28	28.33
20mm	実験値	77.0	-11.40	28.97

5.2.2 $p=1\text{mm}$ の場合

- $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz)
- $a=6\text{mm}$
- $N=28$
- $p=1\text{mm}$
- $d=0.32\text{mm}$

表 4 数値解と実験値の比較 ($p=1\text{mm}$)

		共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
$p=$	数値解	103.7	-0.84	2.41
1mm	実験値	113.5	-5.04	14.19

5.2.3 数値解のピッチ p ごとの比較

図 9 がエスパラメータの, 図 10 がスミスチャートの比較である. 赤線が $p=20\text{mm}$, 青線が $p=1\text{mm}$ である.

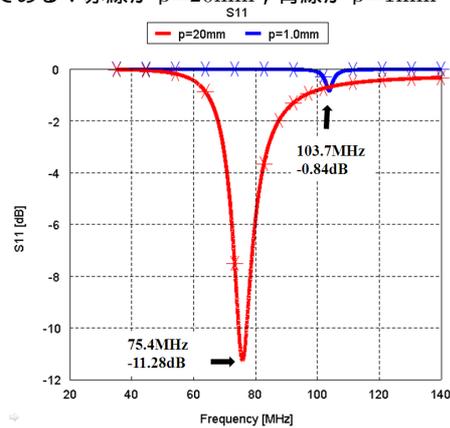


図 9 $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz) のエスパラメータの比較

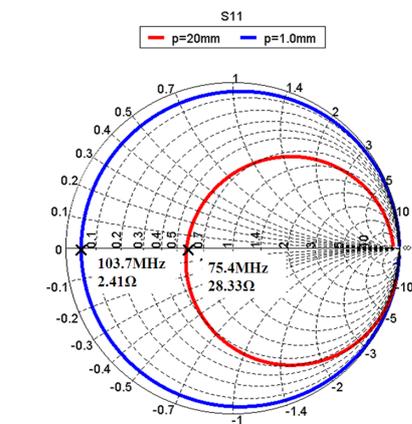


図 10 $f=70\text{MHz}$ 付近 (35 ~ 140MHz) のスミスチャートの比較

以下の解析では、

p=20mm の場合 p=1mm の場合
 ・ a=3mm ・ a=6mm
 ・ d=0.32mm ・ d=0.32mm

のパラメータを用いる。アンテナの全長は中心周波数の波長の約 1/4 となる必要があるため、巻数 N は以下に示す値として実験と解析を行った。

5.3 f=100MHz 付近での解析

p=20mm の場合 p=1mm の場合
 ・ f=100MHz 付近 ・ 100MHz 付近
 (50 ~ 200MHz) (50 ~ 200MHz)
 ・ N=27 ・ N=20

それぞれのモノポール型 NHA において、数値解と実験値の比較をまとめたものが表 5 である。

表 5 数値解と実験値の比較

		共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
p=20mm	数値解	104.7	-10.98	27.99
	実験値	107.4	-11.08	29.22
p=1mm	数値解	135.7	-0.77	2.21
	実験値	125.1	-1.56	4.64

5.4 f=300MHz 付近での解析

p=20mm の場合 p=1mm の場合
 ・ f=300MHz 付近 ・ 300MHz 付近
 (240 ~ 360MHz) (240 ~ 360MHz)
 ・ N=9 ・ N=7

それぞれのモノポール型 NHA において、数値解と実験値の比較をまとめたものが表 6 である。

表 6 数値解と実験値の比較

		共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
p=20mm	数値解	273.3	-10.88	27.79
	実験値	278.0	-13.83	32.84
p=1mm	数値解	321.3	-0.57	1.64
	実験値	322.9	-0.85	2.46

5.5 f=600MHz 付近での解析

p=20mm の場合 p=1mm の場合
 ・ f=600MHz 付近 ・ 600MHz 付近
 (480 ~ 720MHz) (480 ~ 720MHz)
 ・ N=4 ・ N=3

それぞれのモノポール型 NHA において、数値解と実験値の比較をまとめたものが表 7 である。

表 7 数値解と実験値の比較

		共振周波数 (MHz)	リターンロス (dB)	放射抵抗 (Ω)
p=20mm	数値解	509.7	-11.58	29.13
	実験値	485.1	-11.56	30.20
p=1mm	数値解	579.3	-0.61	1.75
	実験値	596.5	-0.92	2.95

5.6 考察

ピッチ p を大きくした場合もピッチを小さくして密巻きにした場合も、数値解と実験値との比較から、ほぼ一致しているという結果が得られた。しかし密巻きのモノポール型 NHA に対する f=70MHz 付近の結果では、比較で少し誤差が生じた。螺旋状に巻いた導線を安定させるために木材を用いたが、木材にも多少の誘電性があるためこれが影響したのだと予想される。

また数値解どうしで比較した場合、全ての周波数で同じ傾向を示した。

6 まとめと今後の課題

FEKO による数値解から共振周波数は螺旋半径とピッチに大きく依存することが明らかとなった。ピッチ p が大きくなるほど共振周波数は低くなり、またピッチ p が大きくなるほど 50 にインピーダンス整合が取りやすい。つまり導線径 d に関係なく共振することが可能ということである。

このことは実験によっても裏付けることができ、研究目的を達成することができた。しかし密巻きで f=70MHz 付近で解析を行ったものは、多少の誘電性がある木材を用いたために少しの誤差が生じてしまった。

解析結果に影響を与えないような方法でモノポール型 NHA を作成することができれば、解析結果を一致させることができると予想されるため、これが今後の課題である。

参考文献

- [1] 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, pp.149-151.
- [2] 佐藤源貞, 川上春夫, 田口光雄: “現代アンテナ工学”, 総合電子出版社, pp.154-156.
- [3] 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”, 2006 年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文 (2007.3).
- [4] 丸地智博: “垂直姿態ヘリカルアンテナに関する理論的検討”, 2007 年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文 (2008.3).
- [5] FEKO ホームページ,
http://www.feko.info/members/release_notes_4-2.html.
- [6] 足立英明, 仲村嘉人, 大河内達矢: “路車間通信用パッチアンテナの設計”, 2007 年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文 (2008.3).