

ノルマルモードヘリカルアンテナに関する研究

2002MT044 真野尚往

指導教員: 稲垣直樹

1 はじめに

ヘリカルアンテナには1ターンが一波長程度のアキシャルモード・ヘリカルアンテナと、1ターンの長さが波長に比して十分小さいノルマルモード・ヘリカルアンテナがある。前者は軸方向に向く鋭いビームを放射する円偏波アンテナとして動作し、衛星通信などの高利得が必要な場合に用いられる。後者は軸と垂直な方向に垂直偏波を放射し、アンテナが小形である必要がある場合に用いられる。自動車に搭載するアンテナは車両意匠との整合性のために小形、低背形であることが望まれ、1990年代後半からヘリカルロードエレメントを用いて低背化したモノポールアンテナがAM/FMラジオ放送受信用として多くの車両に搭載されている[1]。このアンテナはノルマルモード・ヘリカルアンテナの一種である。

本学の過去の卒業研究で、ノルマルモードヘリカルをAM/FM共用の車載アンテナとして用いた場合の理論的研究を行い、螺旋半径を現用アンテナより大きくすると高さを半減できることが明らかにされている[2]。ノルマルモード・ヘリカルアンテナの螺旋半径、導線半径、ピッチ、ターン数を変数とする基本特性の理論解析は、古く1971年に行われている[3]が、導線素材の有限な導電率による特性の変化など、詳細の検討はまだなされていない。本研究は、電磁界数値解析ソフトウェアのFEKO[4]を用いて、ノルマルモード・ヘリカルアンテナの基本特性の解析を行うものである。

2 ノルマルモード・ヘリカルアンテナ

2.1 構造

ノルマルモード・ヘリカルアンテナの基本構造を図1に示す。

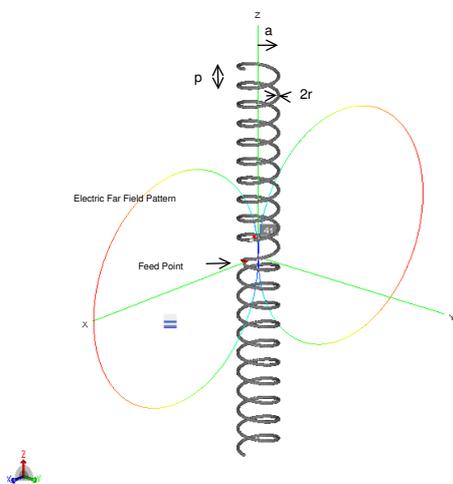


図 1: ノルマルモード・ヘリカルアンテナ

2.2 動作原理

電流は螺旋を直線状に伸ばしたダイポールアンテナの上のように分布し、軸方向の電流成分が有効に放射する。周方向の電流成分は螺旋半径が波長に比して十分小さいため、逆方向の電流成分が直径を隔てて存在し、放射を打ち消しあう。指向性はダイポールアンテナと類似の特性となる。アンテナ長を短くできる利点があるが、有効に放射する電流の積分値がダイポールアンテナより小さいため、一定の給電電圧に対する放射電力は小さくなり、したがって放射抵抗も同じ比率で小さくなる。

2.3 設計パラメータ

設計する際の構造パラメータは以下のとおりである。

- 螺旋半径 a
- 導線素材の導電率 σ と半径 r
- ピッチ p
- 巻き数 N

3 数値解析の例

FEKOを用いて数値解析した結果の例を示す。

3.1 共振する構造の探求

アンテナ寸法は放射インピーダンスが給電線路の特性インピーダンスに整合するように決めることが望ましい。少なくとも、放射インピーダンスの虚部、すなわち放射リアクタンスがゼロである必要がある。この状態はアンテナの共振と呼ばれる。

図2は、ダイポール型のノルマルモードヘリカルアンテナに対して、導線半径 $r = 0.5\text{mm}$ 、ターン数 $N = 25$ とし、螺旋半径 a をパラメータとし、周波数 $f = 300\text{MHz}$ (波長 1m) における放射リアクタンスをピッチ p に対して計算した結果を示す。共振条件 $X_r = 0$ を満たすピッチ p を螺旋半径 a をこの図から求めることができる。このグラフから、螺旋半径 a を大きくすると小さいピッチ p で共振が起こることが分かる。

3.2 共振する構造を決定するためのグラフ

上述の計算を種々のピッチ p 、螺旋半径 a 、ターン数 N 、導線半径 r の組み合わせに対して行い、共振する構造寸法の組み合わせを求めた。

図3は導線半径 $r = 0.5\text{mm}$ とし、ターン数 N をパラメータとして、ダイポール型ノルマルモードヘリカルアンテナの共振する螺旋半径対波長とピッチ対波長の組み合わせを、設計用の汎用グラフとして描いたものである。この図から、螺旋半径 a をある値に決めるとき、共振するためにはピッチ p をいくらにするべきかを知ることができる。また逆もできる。

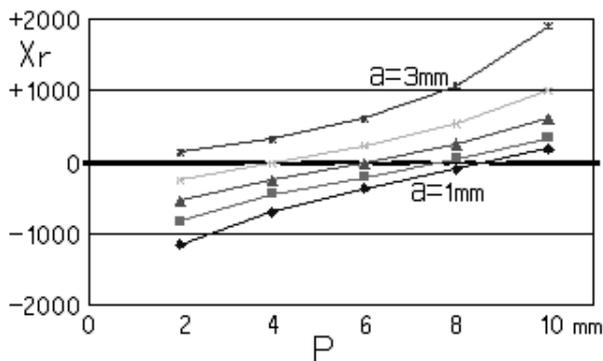


図 2: ダイポール型ノルマルモードヘリカルアンテナの放射リアクタンスのピッチ p に対する変化 ($f = 300\text{MHz}$, $r = 0.5\text{mm}$, $N = 25$, パラメータ $a = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0\text{mm}$)

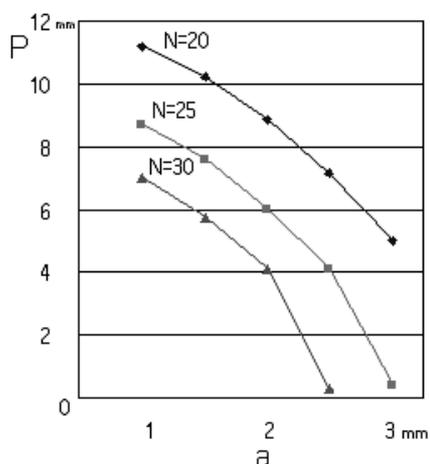


図 3: 共振構造を決定するためのグラフ ($f = 300\text{MHz}$, $r = 0.5\text{mm}$, パラメータ $N = 20, 25, 30$)

同じ巻き数なら螺旋半径が大きい程ピッチが小さくなっていることが分かる。ここから、螺旋半径を大きくする程アンテナを短くすることができる。尚、同じ螺旋半径なら巻き数が多い程ピッチが小さくなるが、巻き数を増やすということはアンテナを長くするということである。

3.3 有限導電率の影響

アンテナ導線が銅である場合 ($\sigma = 6 \times 10^7 \text{S/m}$) と、導電率が $\sigma = 1 \times 10^4 \text{S/m}$ と小さい場合の放射インピーダンスの違いを求めた。結果を図4と図5に示す。いずれの場合にも、導線半径 0.1mm 、ピッチ 10mm 、螺旋半径 $a = 2\text{mm}$ 、巻き数25とした。ここに、中心周波数 $f_0 = 300\text{MHz}$ 、周波数範囲は $f_0 \times 0.8 \sim f_0 \times 1.2$ とした。

4 おわりに

本研究は車載AM/FM放送受信アンテナとして用いられているノルマルモード・ヘリカルアンテナを対象として、業界でまだ十分に把握されていないその基本特性を明らかにすることを目的とした。近年、パソコンの処理

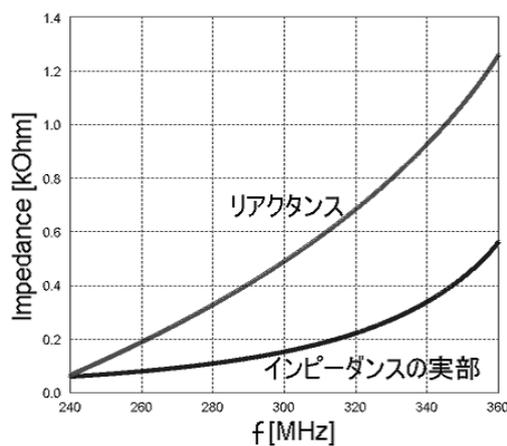


図 4: アンテナ導線が銅の場合の放射インピーダンス

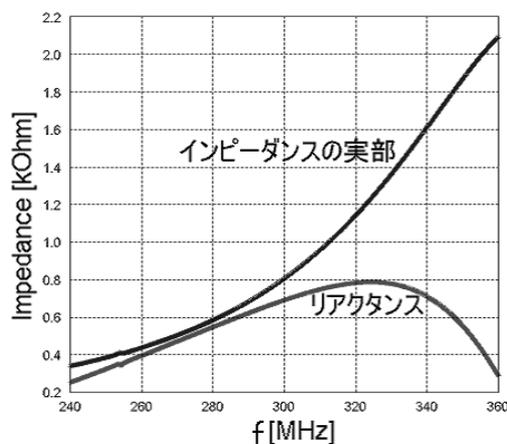


図 5: アンテナ導線の導電率が $1 \times 10^4 \text{S/m}$ の場合の放射インピーダンス

能力の急速な向上と共に、数値解析ソフトウェアの能力も急速に向上している。電磁界数値解析ソフトウェアのFEKOを用いて、螺旋半径、導線半径、ピッチ、ターン数をパラメータに、アンテナが共振するための構造パラメータを与える曲線を求めることができた。本論文に示したように、単に多くのデータを得るにとどまらず、低背化、小形化の最適化まで進めることが今後の課題である。

参考文献

- [1] 大江準三, 西川訓利: “自動車におけるアンテナ技術”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-B, No.9, pp.1569-1579(2006.9).
- [2] 堀英晴, 石津良輔, 加藤倫也: “AM/FMラジオ共用車載アンテナに関する研究”, 2004年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文(2005.3).
- [3] 稲垣直樹, 田村克彦, 藤本京平: “垂直姿態ヘリカルアンテナの共振長に関する理論的検討”, 名古屋工業大学学报, Vol.23, pp.335-342(1971).
- [4] EMSS(EM Software & Systems) FEKO ホームページ, <https://www.feko.info/index.html>.