

氏 名	前 田 忠 彦
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 60 年 3 月 26 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	導体球凹面側に配列したアンテナの諸特性
指 導 教 官	東北大学教授 安達 三郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎      東北大学教授 川上彰二郎 東北大学教授 西田 茂穂

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 言

近年, 電波応用技術の進歩に伴いレーダ用アンテナとして高速度・広角度でビームを走査することが必要となっている。この種のアンテナを実現するためにドームアンテナが提案されているが, ドームアンテナ設計に際して最も重要な問題であるドーム内部でのアンテナ間相互結合が, スロット系のアンテナを除いて求められていなかった。このためドームアンテナ設計の自由度は高いものではなかった。本論文では開放導体球凹面側の電磁界問題を解析しドームアンテナ設計のための基礎的研究を行っている。

### 第 2 章 波源及び観測点が共に境界から離れたときの導体球凹面側の電磁界の漸近表示式

本章では波源及び観測点が共に境界面から離れた場合の開放導体球凹面側の電磁界問題に対する第 1 次近似式を得ることを目的とし, 界を漸近的に評価し, 電磁界を Whispering Gallery モードと連続スペクトルの和として導出した。連続スペクトルの導出に当っては, 径方向の関数を導体球中心方向に対して定在波型の表示から進行波型の表示とすることにより, ポテンシャルに含まれる虚の回折波を取り除いた。また数値計算により, 従来計算されていなかった波源及び観測点が共に境界から離れた場合の電界を求めた。この結果から次のことが明らかになった。水平点電流源の

$E_r$  成分に対する連続スペクトルの寄与は非常に小さい。 $E_\varphi$  成分に対しては連続スペクトルの役割は非常に重要であり、特に波源近傍の界を表現するためには不可欠なものである。更に平面との比較を行った結果、 $E_r$ 、 $E_\varphi$  成分に関しては漸近表示式は妥当であると考えられるが、 $E_\theta$  成分に関しては問題点があることが明らかになった。

### 第3章 導体球凹面内の電磁界に対する改良解

本章での検討は漸近表示式の欠点を補う目的で行われたものである。ポテンシャルの積分表示式をより厳密に評価した結果、複素 $s$ -平面の原点に存在する極からの寄与が重要となることが明らかになった。更にこの極からの寄与をWGモードと組み合わせた形で表示することにより、数値計算時に発生する問題点を解消するよう努力が払われている。図1は水平点電流源による $E_\theta$ の理論値である。

Theory 1は第2章で導出した漸近式であり、Theory 2は本章で導出した改良解である。波源と観測点が十分近づけば、界は平面の値に漸近するはずであるが、漸近式はこの条件を満足していない。これに対し改良解は妥当な結果を与えている。しかしながら数値計算の結果、 $ka$ が $\frac{\pi}{2}$ の整数倍でなければ、改良解は正しく求まらないことが明らかになった。任意の $ka$ に対して $E_\theta$ 成分を正しく求めることは残された問題である。本論文で取り上げた問題に対して従来、基準となる解は得られていなかったので、本章で導出した改良解は各種の漸近表示式の精度を検討するための基準として使用出来ると考えられる。

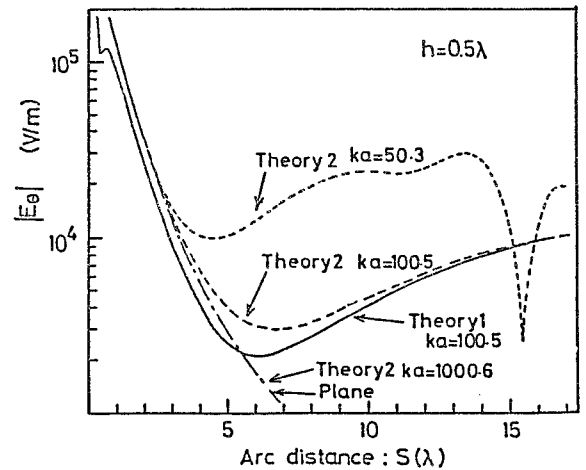


図1  $E_\theta$ の理論計算値

### 第4章 導体球凹面側の電磁界に対する実験的検討

本章は、第2章、第3章で導出した表示式の妥当性を確認するために行ったものである。実験は水平電流源に対して行われ、 $E_\varphi$ 及び $E_\theta$ の相対値が測定された。図2は $E_\varphi$ の測定結果である。実験結果は理論とよく一致している。この成分の測定は全測定を通して高い再現性が得られた。この電界成分が、水平電流源による電界の主たる成分であるか

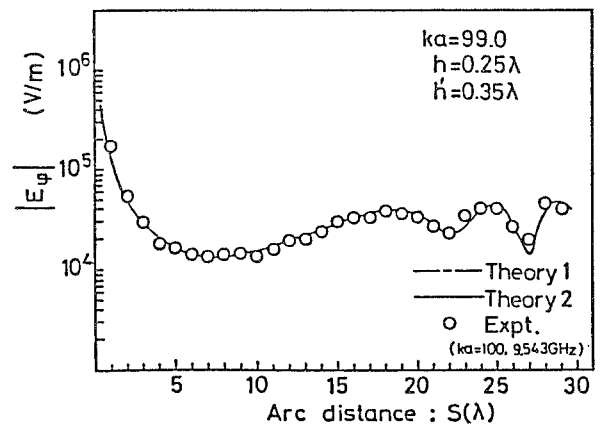


図2  $E_\varphi$ の理論値と実験値

らである。測定結果は十分に理論値の妥当性を裏付けるものとなっている。一方  $E_\theta$  成分は多くの領域で  $E_\varphi$  に比べて 20 dB 以上も弱い成分であるため、測定は極めて困難であった。しかしながら  $E_\varphi$  成分との比が 8 dB 程度以下の場合には比較的良好な測定を行うことが出来、理論との傾向の一致を確認することが出来た。

## 第 5 章 導体球凹面内に置かれたダイポールアンテナの相互結合

具体的なドームアンテナの設計に当たっては、導体球凹面内でのアンテナ間相互結合を知る必要がある。本章ではドーム内に配置されたダイポールアンテナ間の相互結合を求めている。図 3 及び図 4 が代表的な計算結果である。この結果からドームアンテナ設計の基礎資料となる素子間相互結合を知ることが可能となる。本章で示した相互結合の数値計算結果は導体球凹面側の電磁界解析の困難さからこれまで発表されていなかったものである。従って今後のドームアンテナ設計の参考となると考えられる。

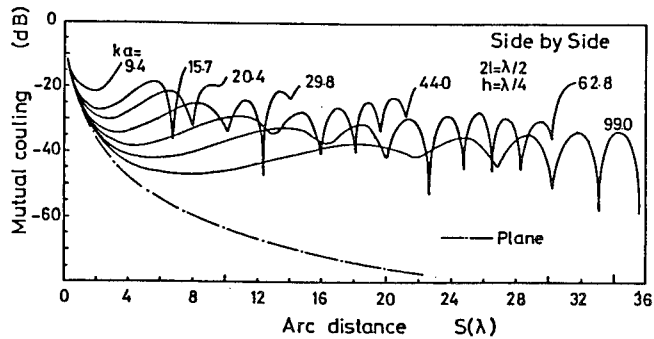


図 3 ダイポールアンテナ間の相互結合 (Side by Side)

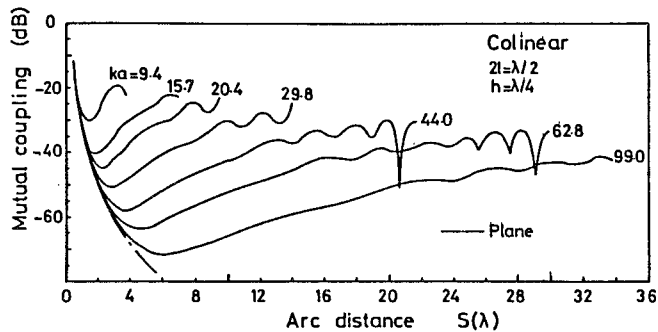


図 4 ダイポールアンテナ間の相互結合 (Colinear)

## 第 6 章 導体球面に構成された円弧状配列ドームアンテナの走査特性

本章では前章までに行った理論的及び実験的検討を基にして、導体球凹面内の電磁界解析の応用として円弧状配列ドームアンテナの走査特性を検討している。まず所望のラジエーター電流に対し最小 2 乗法的に最も近いラジエーター電流となるように 1 次放射器の励振を行い、走査角  $0^\circ$  から  $110^\circ$  にわたりほぼ一定の利得で主ビームの走査が可能であることを確認した。次にサイドローブの抑圧を行い、最小 2 乗法による励振

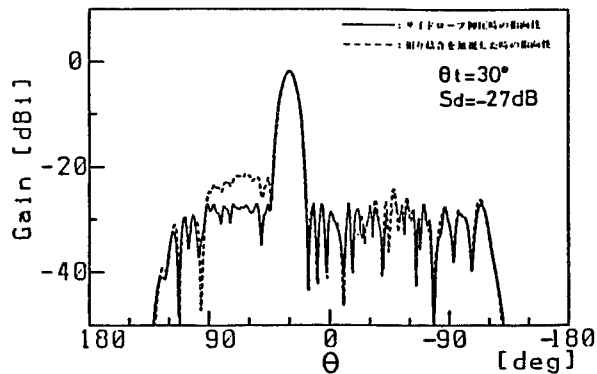


図 5 指向性に及ぼす相互結合の影響

よりも最大 18 dB 程度サイドローブを抑圧できることを示した。最後に走査指向性に及ぼすラジエター相互及びコレクター相互の相互結合の影響を検討した。図 5 は走査角を  $30^\circ$  とし、またサイドローブの抑圧を  $-27$  dB まで行った場合である。相互結合の影響が  $45^\circ \sim 90^\circ$  の方向に 8 dB 程度の差となって現われていることが確認出来る。サイドローブレベルを  $-25$  dB 以下に抑える場合には相互結合を考慮した設計を行う必要がある。本章での検討によりサイドローブレベルと相互結合の影響の関係を明らかにすることが出来た。

## 第 7 章 結 言

本論文は、半空間以上の広角走査が可能であるドームアンテナの構成素子としてダイポールアンテナに着目し、この解析に不可欠である基本問題、即ち波源と観測点が共に境界から離れた場合の導体球凹面側電磁界に対し解析を行い、ドームアンテナ設計の自由度を高め、設計のための基本的資料を与えたものである。

## 審 査 結 果 の 要 旨

近年の航空機その他の高速飛しょう体の発達に伴い、高速かつ広角度にわたってビームを走査できるアンテナとして平面フェイズドアレーアンテナが実用化されているが、ビーム走査角度には限界がある。この欠点を補う方法として、導体半球の凸面側と凹面側にアンテナ素子を配列してこれを電氣的に接続し電波レンズを構成することによって平面アレーアンテナの走査角度を広げようとするドームアンテナが提案されている。しかしながら、凹面側に配列されたアンテナの特性解析の困難さから、ドームアンテナの設計法は確立されていなかった。

本研究の目的は、開放導体球凹面側に配列されたダイポールアンテナの諸特性を解析し、ドームアンテナの設計の基礎を確立することにある。本論文はそれらの研究成果をとりまとめたもので全編7章からなる。

第1章は緒言である。

第2章は開放導体球凹面側のアンテナによる電磁界の漸近表示式について検討を加えたものである。まずグリーン関係を導出し、次にこれを高周波近似に基づいてWGモード（ささやきの廻廊モード）と連続スペクトルの和の形で漸近表示式を導いた後、詳細な数値計算を通じて漸近表示式の有効性について論じている。

第3章では、前章で与えた漸近式よりも更に精密な定式化と計算を行った結果、改良解が得られることを述べている。これらは開放導体球凹面内の電磁界の計算を初めて可能にしたもので、電磁界理論に新しい知見を加えたといえる。

第4章では開放導体球凹面側の電磁界に対する実験結果とその検討について述べている。詳細な測定によって理論の妥当性を裏付けると共に、その適用限界についても検討を加えている。

第5章では前述の理論に基づいて、球凹面側に配列されたダイポールアンテナ素子間の相互結合を計算しており、実用上有用な多くの資料を与えている。

第6章ではドームアンテナの例として、円弧状配列ドームアンテナを取りあげ、その設計を行った結果が述べられている。凸面側アレー素子、凹面側アレー素子、並びにドーム内の直線1次アレー素子間の相互結合を考慮して、1次アレーアンテナの励振分布を求める手法を与えている。その結果、広い角度範囲にわたり低サイドローブで、かつほぼ一定の利得で走査可能なドームアンテナが実現できることを示しているが、その意義は大きい。

第7章は結言である。

以上要するに本論文は、導体球凹面側の電磁界解析を行い、ドームアンテナの設計手法を与えることによって電磁界理論並びにアンテナ工学に新知見を加えており、通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。