

氏 名	さわ 澤	や 谷	くに 邦	お 男
授与学位	工	学	博	士
学位授与年月日	昭和51年3月25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 電気及通信工学専攻（博士課程）			
学位論文題目	異方性プラズマ中の線状アンテナに関する研究			
指導教官	東北大学教授 虫明 康人			
論文審査委員	東北大学教授 虫明 康人 東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 安達 三郎 東北大学助教授 石曾根孝之			

論 文 内 容 要 旨

最近のロケット，人工衛星の打ち上げ技術の飛躍的な進歩に伴ない，これらの飛翔体に搭載されるアンテナの役割は一層重要なものとなってきた。これらのアンテナには大きく分けて通信用アンテナと観測用アンテナのふたつがある。本論文の目的は後者の観測用アンテナの解析，検討である。磁気圏並びにそれを取り巻く宇宙空間はプラズマで満たされており，地磁気が存在することにより媒質はいわゆる異方性プラズマ媒質となっている。このような媒質中に置かれたアンテナの特性はある周波数以下において磁気プラズマとの相互作用により真空中とは異なったものとなる。したがってこの諸特性とプラズマパラメータとの関係が予め知られていれば，アンテナ特性を測定することによりプラズマパラメータを知ることができる。さらに，アンテナ特性を定量的に知っておくことにより宇宙雑音あるいは雷等により生ずる地上雑音の強度を測定することも可能となり，地上における通信回線の設計に大きく寄与する。このような目的に用いられる観測

用アンテナとしては、使用周波数が中波から短波帯付近であるため、主に線状アンテナが用いられており、その特性はアンテナ長、アンテナ軸と地磁気のなす角度が変われば当然変化するものと考えられる。本論文においては、異方性プラズマ中に置かれた波長程度の長さを有する線状アンテナの特性、特に指向性及び入力インピーダンスに注目して解析を行ない、科学衛星搭載用アンテナの設計資料を与えている。なお、本論文を通じてイオンの摂動効果、電子の熱運動効果及びイオンシースの効果を無視している。以下章ごとにその概要を述べる。

第一章は緒言である。

第二章ではアンテナ特性の解析の基礎となるダイアディックグリーン関数について述べている。静磁界 H_0 と z 軸を平行にとった直角座標を設けると、磁気プラズマはその等価比誘電率テンソル $\hat{\epsilon}$ が次式で表わされる異方性媒質となる。

$$\hat{\epsilon} = \begin{Bmatrix} \epsilon_1 & -j\epsilon_2 & 0 \\ j\epsilon_2 & \epsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_3 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{LU}{U^2 - M^2}, \quad \epsilon_2 = \frac{LM}{U^2 - M^2}, \quad \epsilon_3 = 1 - \frac{L}{U}$$

$$L = \omega_p^2 / \omega^2, \quad M = \omega_c / \omega, \quad U = 1 - j\nu/\omega$$

ここに ω_p , ω_c , ω , ν はそれぞれ電子プラズマ角周波数、電子サイクロトロン角周波数、駆動角周波数、電子衝突頻度である。このような媒質中でのMaxwellの方程式に対するダイアディックグリーン関数の表示式は複雑な積分で与えられているため、アンテナ特性の解析の際の大きな障害となってきた。また科学衛星搭載用アンテナの設計、あるいは観測結果の較正などに必要な資料を求めるといふ本論文の目的からいっても不便である。そこでこの章では、異方性プラズマ中の平面波の複屈折率面のひとつを球面で近似することにより、ダイアディックグリーン関数の近似式を導出している。この近似式は級数表示あるいは漸近表示で与えられている。近似式の精度、適用範囲について詳しい検討を行なった結果、上部ハイブリッド共振周波数より高い周波数でこの近似式は極めて有効であることが指摘された。また、そのほかの領域でも波源の近傍において妥当なものとなっているほか、一軸異方性媒質中でも成立する。さらに、この表示は準静近似により得られる解に ray の位相項をかけた形に似ているので物理的にもわかりやすく便利である。本章ではこのほか、ダイアディックグリーン関数がClosed formで求められる唯一の場合、即ち一軸異方性プラズマ中のグリーン関数、及びグリーン関数の漸近近似式についても述べている。

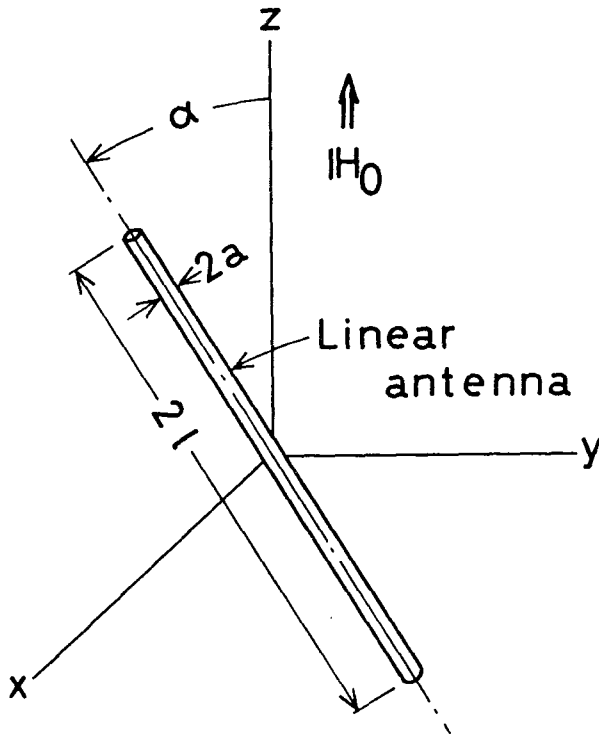


図1 線状アンテナの座標系

第三章では静磁界が無窮大の極限である一軸異方性プラズマ中の線状アンテナの特性，即ち指向性並びに入力インピーダンスについて理論的に検討を行なっている。(1)式において $M \rightarrow \infty$ の極限を求めると ϵ_2 は零となり，ダイアディックグリーン関数がClosed form で求められるため，問題はかなり簡単なものとなる。対象とするアンテナは図1に示すように静磁界 H_0 方向と角 α をなして置かれた有限長線状アンテナである。解析に当っては理論，実験両面から妥当性が確認されている正弦波状電流分布を仮定している。指向性の検討から放射電磁界の静磁界方向付近における方向特性がアンテナからの距離に大きく依存していることを見出した。この特性は有限磁界下のプラズマ中のアンテナには見られないものである。起電力法による入力インピーダンスの検討から，従来しばしば用いられてきた微小ダイポールモデルでは現われない特性，即ち ω_p^2/ω^2 が大きいときリアクタンスが誘導性になり得るという有限長アンテナ特有の特性を指摘することができた。

第4章においては，有限静磁界下のプラズマ中における線状アンテナの特性を理論的に検討した結果について述べられている。対象とするアンテナ及びその電流分布は第三章と全く同じである。まずダイアディックグリーン関数の漸近近似式を用いて指向性の検討を行なった。指向性の表示式は点電流源の指向性に電流分布の寄与を表わす係数をかけた形で表わされている。数値計

算結果から最大放射方向がアンテナ長 $2l$ 、アンテナの傾き角 α に大きく依存していることが明らかにされた。このうちアンテナ長に対する傾向として、アンテナが長くなると最大放射方向がブロードサイド方向に近づくことが指摘された。即ち、電流分布の寄与を表わす係数はアンテナにはほぼ垂直な方向の放射電磁界を強める効果をもたらしている。次に第二章で検討したダイアティックグリーン関数の近似式を用い、起電力法により半径 a の円筒アンテナのインピーダンスを求めた。さらに準静近似を用いたインピーダンスの計算、並びに異方性プラズマ媒質を誘電率が ϵ_1 あるいは ϵ_3 である等方性媒質とみなしたときのインピーダンスの計算も併せて行ない、比較している。その結果、グリーン関数の近似式を用いて求めたインピーダンスは、駆動周波数を低くしたとき準静近似値に漸近し、周波数を高くしたとき等方性近似値に漸近した。また、これらの中間の周波数帯においては、第二章で導びかれた近似式を用いた方法が有効であることがわかった。第四章における検討は電離層のプラズマパラメータと科学衛星搭載用アンテナの寸法を十分考慮して行なわれており、科学衛星搭載用アンテナの有用な設計資料になり得るものと考えられる。

第五章では異方性プラズマ中の線状アンテナのインピーダンスを実験的に検討するためスペースチャンバ内に設置した異方性プラズマ生成装置、並びにインピーダンス測定装置について述べている。ここでは一様な大容積異方性プラズマを生成することに注意が払われている。直径 1.6 m 、幅 30 cm のコイル二個と直径 1 m のコイル二個を組み合わせることで静磁界発生装置を構成した。このコイル系は $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の空間にわたってほぼ一様な静磁界を生成することを実測により確認して

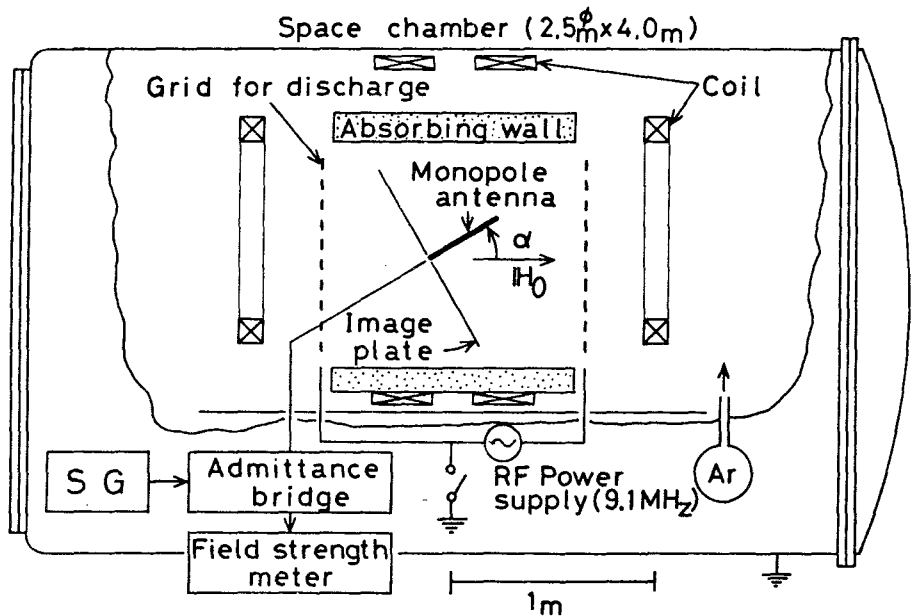


図2 インピーダンス測定装置の構成図

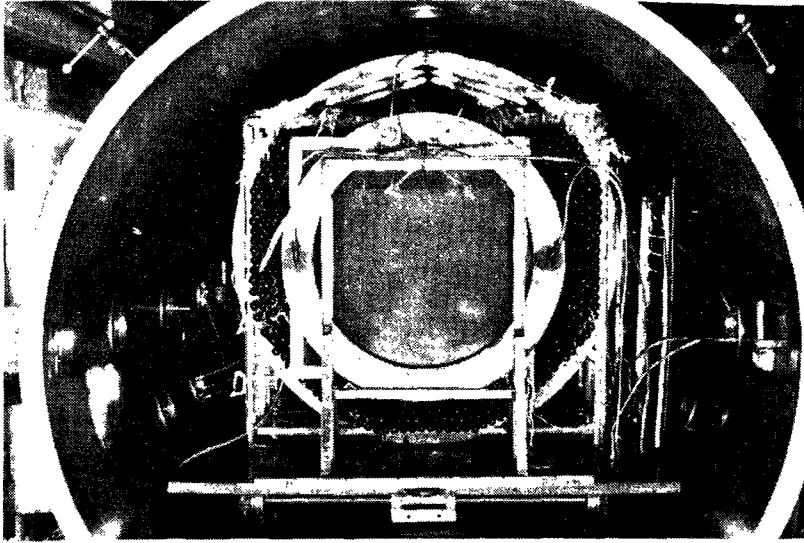


写真1 インピーダンス測定装置の外観

いる。また、静磁界を印加することにより生ずるプラズマの均一性の劣化を抑制するために、高周波放電を用いてプラズマを生成している。これらの工夫により一様性の良い大容積異方性プラズマが生成された。被測定用アンテナとして約 $1\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ のアルミ板の中央に取り付けた長さ 20 cm 及び 30 cm 、直径 2 mm の銅線からなるモノポールアンテナを用いた。このイメージ板付モノポールアンテナをコイル内の四面を電波吸収壁で囲んだ空間内に設置し、アドミタンスブリッジを使ってインピーダンスの測定を行なった。このインピーダンス測定装置の構成図及び外観をそれぞれ図2、写真1に示す。真空中においてインピーダンスを測定し、この測定系の精度を検討したところ、High-impedance に対して精度が劣化するものの十分に本研究の測定が可能であることを確認できた。

第六章においては第五章で述べた装置を用いて、まずプラズマ中の有限長モノポールアンテナのインピーダンスを測定し、次いで測定結果を理論値と比較することにより定量的な検討を行なっている。測定はアンテナ軸と静磁界のなす角が α が 0° 、 30° 、 60° 、 90° の四通りの場合についてそれぞれ(1)電子サイクロトロン周波数 $f_c = 0$ 、(2) $f_c = 130\text{ MHz}$ 、(3) $f_c = 207\text{ MHz}$ における測定を行なった。駆動周波数は $80 \sim 460\text{ MHz}$ の範囲を用いている。インピーダンスの測定結果から電子プラズマ周波数 f_p と電子衝突頻度 ν を推定したところ、 $f_p \approx 120 \sim 230\text{ MHz}$ 、 $\nu \approx$

$0.5 \sim 1.5 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ であった。これらの実験値に対して第四章で導びかれたインピーダンスの理論値、即ち第二章で述べたグリーン関数の近似式を用いたインピーダンスの理論値、並びに準静近似を用いたインピーダンスの理論値を用いて定量的な検討を行なった。その結果、上部ハイブリッド共振周波数より高い周波数帯において第二章で述べたグリーン関数の近似式の妥当性が実験的に裏付けられたほか、有限長であるために電子サイクロトン周波数より低い周波数で共振が生ずること、静磁界とアンテナ軸が傾いているためにいわゆる *Oblique resonance* が生ずることなどの現象を実験的に確かめている。

第七章は結言である。

本論文は異方性プラズマ中に静磁界と任意の角度をなして置かれた有限長線状アンテナのもっとも基本的な特性である指向性と入力インピーダンスについて新しい計算方法を用いて解析、検討を行なったものである。本論文に述べた結果は科学衛星搭載用アンテナに対して十分な設計資料を与えることができるものと考えられる。また、大規模な実験装置を用いて静磁界に対して任意の方向を向いた有限長アンテナのインピーダンスを実測し、それらに定量的な検討を加え、種々の新しい知見を得た。最後に今後の問題点として、イオンシースの効果並びに電子の熱運動効果のアンテナ特性に及ぼす影響についての理論及び実験的な検討の必要性を指摘している。

審査結果の要旨

宇宙開発に関連して、電離層中に置かれたアンテナの諸特性を明らかにすることが必要となり、これに関する多くの研究がなされて来た。しかしながら、地磁気の影響による電離層の電氣的異方性を考慮に入れた場合については、特殊な場合を除き、十分研究されていなかった。

そこで著者は、新しい近似計算法の提案、大規模な測定装置の試作などを行って、理論と実験の両面から研究を行い、多くの新しい結果を得た。本論文は、これらの研究成果を纏めたもので、全文7章から成る。

第1章は緒言である。

第2章は、静磁界が任意の方向に印加されたプラズマ中での、放射電磁界の理論的解法について述べたものである。著者は、等価屈折率の複雑な式において、物理的意味を考慮した僅かの近似を行うことにより数値計算が容易で見通しのきく、電磁界の表現式が得られることを見出し、この計算法の誤差を吟味している。このような場合の厳密解は未だ求められていないので、著者の方法は工学的に価値の高いものである。

第3章は、一軸異方性媒質中におかれた線状アンテナの諸特性を計算した結果を述べたもので、静磁界を大きくした極限の場合として、有用な資料を提供するものである。

第4章では、著者の提案した第2章の方法により、線状アンテナの諸特性を種々の場合について検討を行っている。本章の結果は、この種のアンテナの諸特性について新しい知見を加えたもので、高く評価される。

第5章では、大型スペースチェンバ内に試作して設置した、異方性プラズマ中の線状アンテナのインピーダンス測定装置について詳述している。

第6章では、第4章の計算結果を確かめるための実験的研究結果を述べ、著者の近似計算法の妥当性を実証している。このような大規模な装置によって宇宙環境をよくシミュレートした状態での詳しい実測結果は従来得られていなかったので、本章の結果は、第4章の計算結果とともに、この種のアンテナの設計資料として貴重なものである。

第7章は結言である。

以上要するに、本論文は、異方性プラズマ中に置かれた線状アンテナの諸特性について、新しい計算法と大規模な実験装置などによって行った、多くの優れた研究結果を述べたもので、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。