

氏名(本籍)	つち 土 屋 治 彦 (山梨県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 3 6 3 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 1 0 月 4 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	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	光波誘電体伝送路の励振に関する研究

(主査)

論文審査委員	教授 虫明 康人 教授 上領 香三
	教授 西田 茂穂 教授 安達 三郎

論 文 内 容 要 旨

第一章 緒 論

最近、光伝送膜の励振問題に関して幾つかの提案があり研究が成されている。その主なる方式は大別すると次の二つに分けられる。その一つはプリズムあるいは回折格子等を結合器として入射波と伝搬モードの伝搬定数を合わせる方式であり、もう一つは入射波と伝搬モードの電磁界パターンを合わせる方式である。前者の場合、高度の技術を要し振動等の機械的変動に対してきびしく影響を受ける為実用的でないように思われる。後者の方式は、実用面でビーム波を波長程度のスポットサイズに集束させることが困難である為効率をあげることが期待できなかった。

そこで筆者は二枚の平板ミラーから成る二次元ホーンとレンズを組み合わせた励振機構を提案した。これは完全導体から成る二次元ホーン内の基本モードはカットオフがなく、ホーンの首ま

で伝搬するという点に着目して励振器としたものである。この励振機構は次の二つの部分に分けることができる。即ち、ビーム波をホーン内基本モードに励振する入力部分と、ホーン内基本モードを伝送膜に励振する伝送膜励振部分である。

本論文はこのホーン（光波ホーンと名付ける）を用いた励振機構をいろいろな観点から論じ、励振効率を最大にする為の設計資料を得ることを目的としている。

第二章では幾何光学的見地から映像法を用いてホーンを解析し、伝送膜伝送条件を求める。第三章では電磁界理論を用いてホーン内の固有モードを求め、ビーム波からの変換効率を得る。さらにホーン内基本モードから、伝送膜基本モードの変換効率を求める。そして全励振効率が約72%であることを示す。第四章では第三章の理論の正当性を実験的に示す。そして第五章では、実際に伝送膜を結合させた場合の励振効率を測定した結果を示す。第六章は以上の結果を総合して最も効率よく励振する為の設計資料を与えている。

第二章 光伝送膜励振用光波ホーンの幾何学的解析

映像法を用いるとホーン内の光線の軌跡は直線となり、ホーン開口面における光線の方向と位置が定めれば、ホーンの首における光線の方向が簡潔な形で求められる。伝送膜がホーンの首と結合して、平行光線がホーン開口面に入射した場合、次式の範囲内の光線が伝送膜を伝搬する。

$$|x| < t + \varphi \ell \quad (1)$$

$$|x| < \begin{cases} \sqrt{n^2 - 1} \cdot t / \varphi \dots\dots n \leq \sqrt{2} \\ t / \varphi \dots\dots\dots n > \sqrt{2} \end{cases} \quad (2)$$

ここで x はホーン開口面の中心からの距離、 φ はホーン開き角、 ℓ はホーン長、 t は伝送膜厚、 n は伝送膜の屈折率である。これより伝送膜厚と入射光線束の太さが与えられた場合、励振効率を最大とするよう各パラメータ間の関係が得られる。

第三章 電磁界理論を用いた光波ホーンの解析ならび光伝送膜の基本波励振効率

図1はレンズと光波ホーンから成る励振機構を示す。光波ホーンは二枚の平板ミラーから成っており完全導体と仮定する。このホーン内の電磁界を円柱座標 (r, θ, y) を用いて求めると次のようになる。

$$E_r = - \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \sum_{\substack{n=0 \\ m=0}}^{\infty} A_{nm} \frac{\nu}{r} \psi_{nm} H_{\nu}^{(1)(2)'}(k_0 r) \sin \nu(\theta + \varphi)$$

$$E_{\theta} = - \frac{k_0}{j\omega\epsilon_0} \sum_{\substack{n=0 \\ m=0}}^{\infty} A_{nm} \psi_{nm} H_{\nu}^{(1)(2)'}(k_0 r) \cos \nu(\theta + \varphi)$$

$f = 19.6 \text{ cm}$
 $\mathcal{L} = 5.0 \text{ cm}$
 $s = 1.0 \mu m$

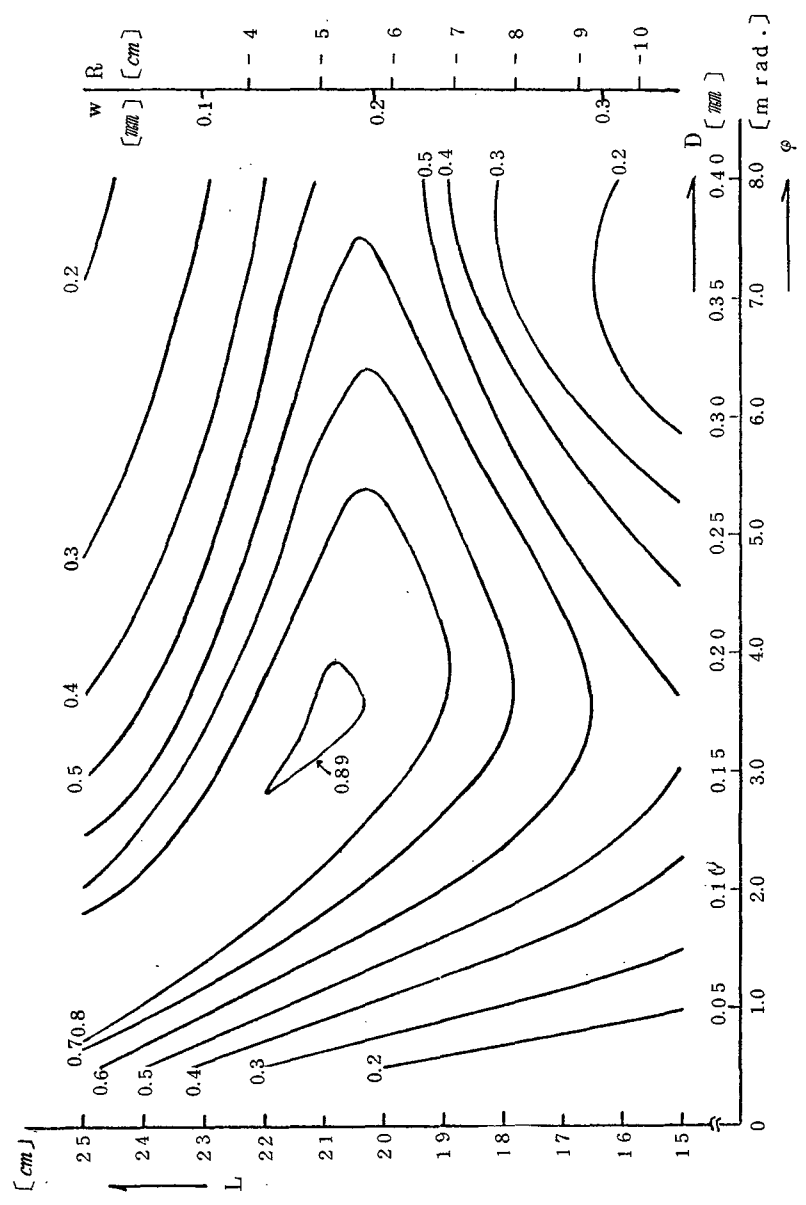


図2 レンズ位置およびホーン開き角に対する励振効率(等高線)

$$E_y = - \sum_{\substack{n=0 \\ m=0}}^{\infty} \frac{A_{nm}}{k_0^2 - (\nu/r)^2} \frac{\nu}{r} \frac{\partial \psi_{nm}}{\partial y} H_\nu^{(1)(2)'}(k_0 r) \sin \nu (\theta + \varphi)$$

$$H_r = -j\omega\epsilon_0 \sum_{\substack{n=0 \\ m=0}}^{\infty} \frac{A_{nm}}{k_0^2 - (\nu/r)^2} \frac{\partial \psi_{nm}}{\partial y} H_\nu^{(1)(2)'}(k_0 r) \cos \nu (\theta + \varphi)$$

$$H_\theta = 0$$

$$H_y = \sum_{\substack{n=0 \\ m=0}}^{\infty} A_{nm} \psi_{nm} H_\nu^{(1)(2)'}(k_0 r) \cos \nu (\theta + \varphi) \quad (3)$$

ここで

$$\psi_{nm} = \text{Hm} \left(\sqrt{2} \frac{y}{w_H} \right) \sqrt{\frac{w_{H0}}{w_H}} \exp \left[\left(\frac{j\beta_H}{2R_H} - \frac{1}{w_H^2} \right) y^2 - j\phi_H \right] \quad (4)$$

である。Hm(x)は Hermite 函数, $H_\nu^{(1)(2)'}(x)$ は Hankel 函数である。また境界条件より

$$\nu = \frac{n\pi}{2\phi} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

となる。

ホーン内の電磁界は θ 方向に余弦(正弦)的で y 方向に Hermite Gauss 型の界をもち r の増加(減少)方向に伝搬する波動を示す。 $n=0$ の場合にはカットオフのないモードでホーンの首まで伝搬する。

ホーン開口面にレンズを通過したビーム波が到来した場合、ホーン内モードの振巾が決定される。図2はホーン開き角、レンズ位置を変えたときのホーン内基本波励振効率を示したものである。この図はレンズ焦点距離を与えたとき、ホーン開口面でビーム波とホーン基本波の位相が合うようにレンズ位置を決め、かつ、ホーンを形成しているミラー間隔が、入射ビームのスポットサイズの二倍付近のとき、最大励振効率約89%が得られることを示している。このことよりホーンの長さは、ビーム波の位相項を表わす曲率半径の最小値に相当する長さでレンズ焦点距離に相当する長さの間になければならないことが分かる。つぎにホーン内基本モードに対する伝送膜基本モードの変換効率を求める。低損失伝送膜によって伝送されるパワーの多くは膜外にトラップされる為ホーンの首と伝送膜の結合は間隔 τ_0 をもうける必要がある。 τ_0 を適当にきめると最大変換効約81%が得られる。

従って全励振率は約72%となる。

第四章 光波ホーンの諸特性に関する実験

レーザー発振器は波長 $0.633\ \mu\text{m}$ の He-Ne ガスレーザーを用いる。光波ホーン励振機構は、レンズとホーンから成っており、レンズは光軸方向に可動である。ホーンはスライドガラスに AL を真空蒸着した鏡を用い θ 方向に可動である。図 3 はホーンの首の間隙 s をパラメータとしたときのレンズ位置に対するホーン出力変化を示す。また図 4 はホーン開き角に対する出力変化である。これらの図は最大となるレンズ位置およびホーン開き角が、ホーン内基本モード励振効率（理論値）のそれとはほぼ一致している。またホーンの首の間隙 s が小さくなると最大点が顕著になってくるが、これは高次モードがカットオフあるいは、ホーン壁面 (AL) による吸収が主なる原因となり、光波がホーンの首まで伝搬しないことに起因するものと思われる。これらの実験は第三章の理論の正当性を裏づけている。

第五章 光伝送膜励振効率に関する実験

伝送膜は厚さ $10\ \mu\text{m}$ の塩化ビニリデンと $28\ \mu\text{m}$ のポリプロピレンフィルムを用いた。まず単位長当りの減衰定数を求め、これを用いて伝送膜出力から励振効率を求める。伝送膜とホーンの首との結合は伝送膜のホーン内へ入り込んだ長さをできるだけ短くした（約 $0.3\ \text{mm}$ ）。その結果、伝送膜への最大全励振効率は、高次モードも含めて約 85% ($10\ \mu\text{m}$)、 91% ($28\ \mu\text{m}$) が得られた。このときのレンズ位置・ホーン開き角は理論値とはほぼ一致している。

第六章 検討および設計

第二章から第五章まで、光波ホーン励振機構の各パラメータに関して理論的実験的に検討を重ねてきた。以上の結果を総合して最大励振効率を得る為の設計方法を論ずる。伝送膜の膜厚・屈折率および伝送膜先端とレーザー管との距離は与えられているものとする。

- i) レンズ焦点距離 $[f]$ 与えられているものとする。
- ii) ホーンの長さ $[L]$ レンズを通過した後のビーム波の等位面の曲率半径が最小となる値に相当する長さ。
- iii) レンズ位置 $[L]$ ホーン開口面で入射ビームをホーン内モードの位相に合わせる。
- iv) ホーン開き角 $[\varphi]$ ホーン開口面でミラー間隔を入射ビームのスポットサイズの二倍付近に合わせる。（図 5）これより $\varphi = w_B/L$ となる。
- v) ホーン内に入り込んだ伝送膜の長さ $[d]$ 技術的に可能な範囲で短くする。
- vi) ホーンの首における間隙 $[\tau_0]$ 低損失光伝送膜の膜厚は波長に比して十分薄いことにより、ホーンと伝送膜の機械的結合は、適当な間隔をあけて挟み込む方式を採用する。この間隙 τ_0 は波長 λ 、伝送膜厚 $2t$ 、屈折率 n 、伝送膜のホーン内に入り込んだ長さ d が与えられれば

最適値が決まる。

これらの各パラメータは技術的に比較的容易に実現できる量であることを示している。

第七章 結 論

本論文は光波誘電体表面波線路の実用化に必要な励振方式として、光波ホーン励振機構を提案した。まず、第二章・第三章で理論的考察を行い、最大励振効率を得る為の各パラメータ間の関係を求めた。そしてそのとき最大全励振効率は約72%であることを明らかにした。第四章・第五章ではこの理論の正当性を裏づける結果が得られていることを示した。そして以上を総合して、第六章で工学的見地から設計資料を与えている。これらのパラメータは技術的に比較的容易に実現可能な量であることを示している。

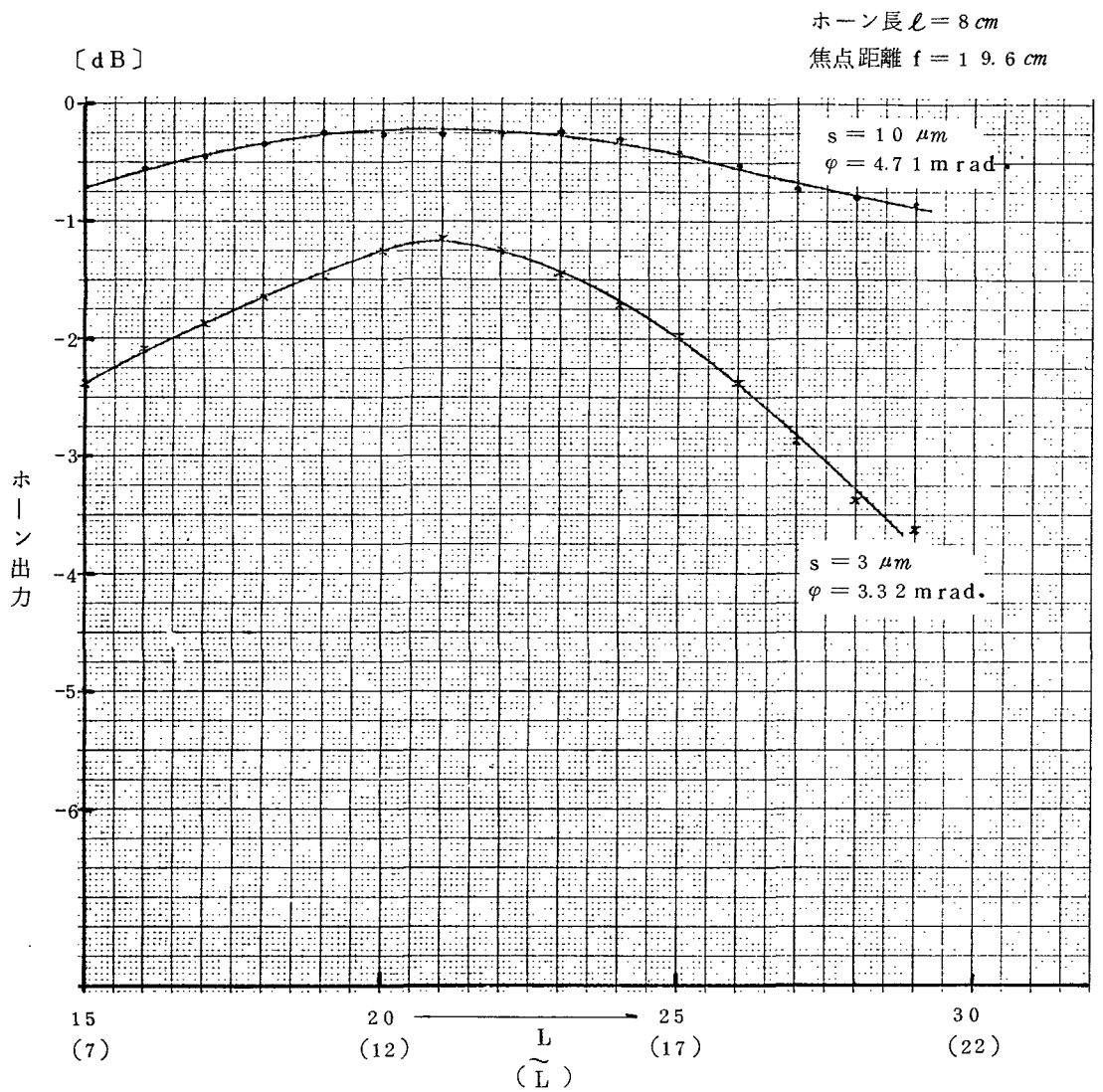


図3 レンズ位置に対する出力変化

ホーン長 $l = 8 \text{ cm}$
 焦点距離 $f = 19.6 \text{ cm}$
 レンズとホーン首の距離 21.0 cm

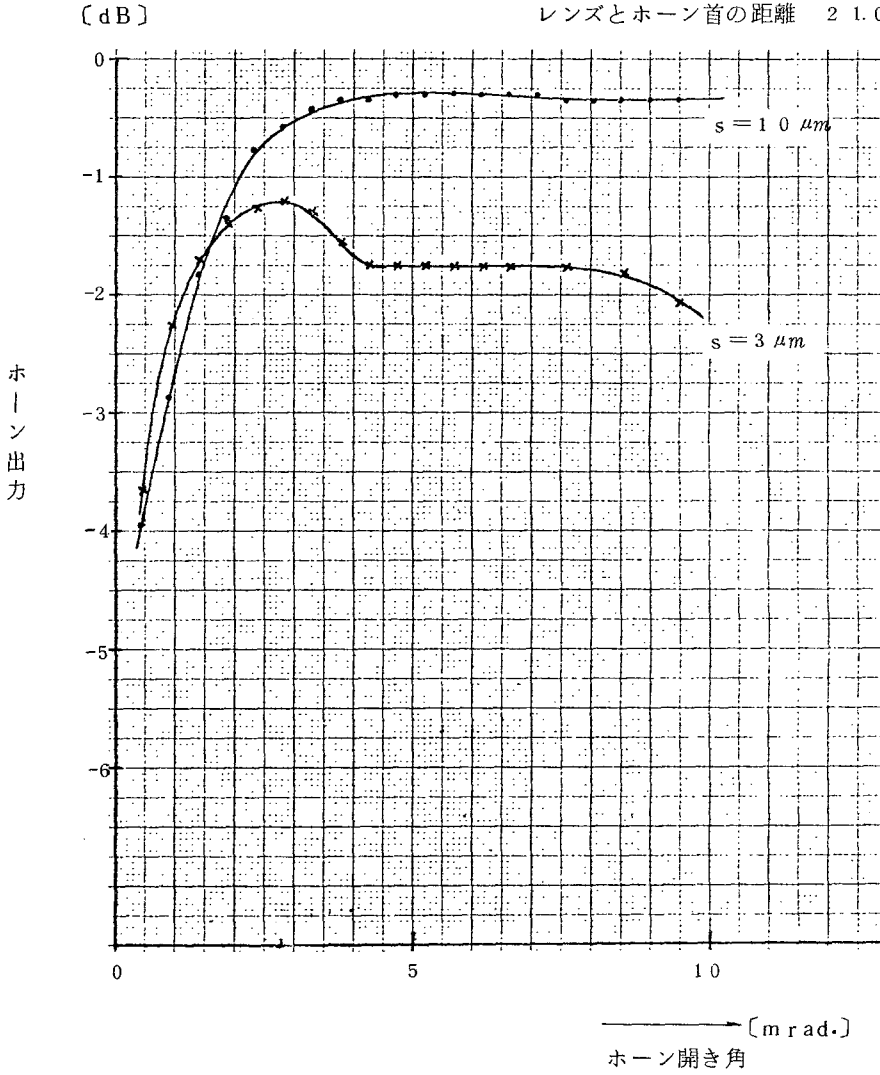


図4 ホーン開き角に対する出力変化

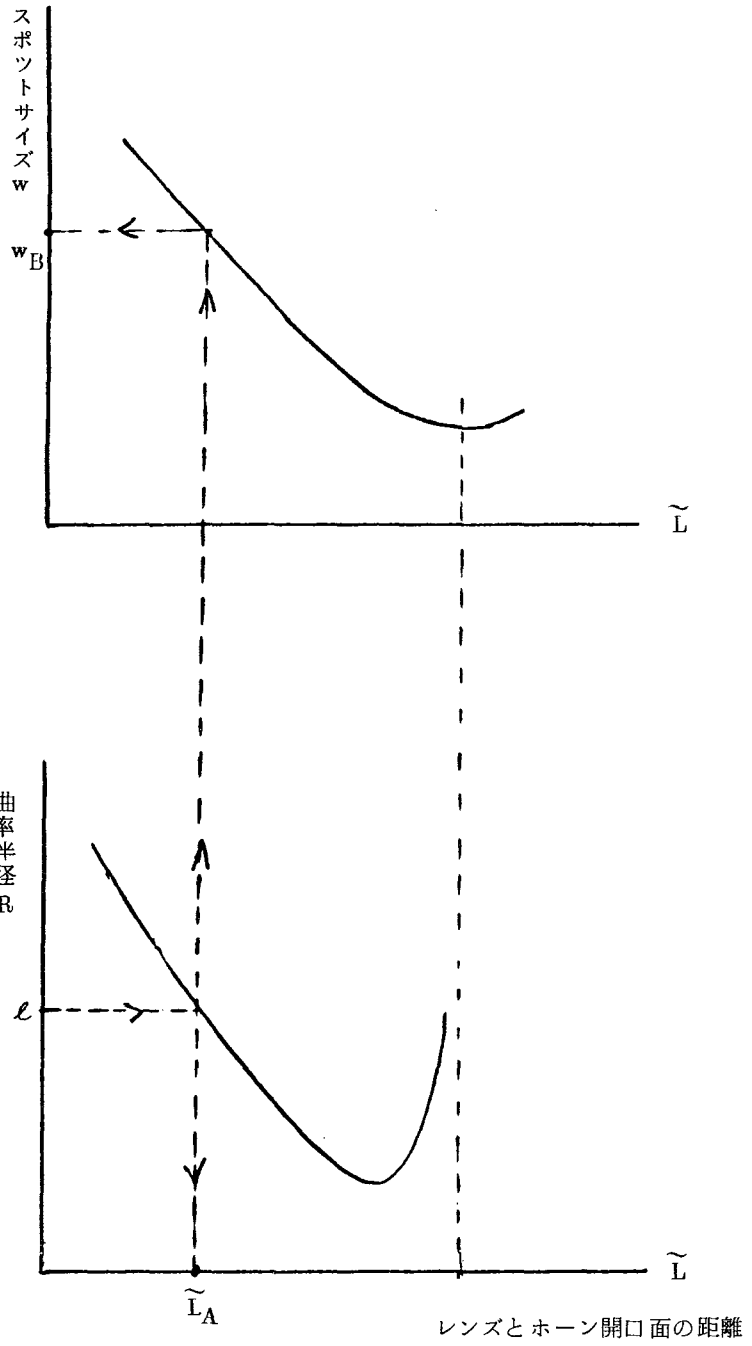


図5 ビームパラメータの変化

審 査 結 果 の 要 旨

中距離以下の光伝送に適した伝送路として、光ファイバー、あるいは光伝送膜のような誘電体伝送路が提案されており、その伝送路上での光波の伝播については、すでに数多くの研究結果が報告されている。しかしながら、伝送路に光波を能率よく乗せるための励振方法についてはまだ十分研究されていない。

そこで著者は、新しい原理の励振装置として、二枚の平面鏡で構成した光波ホーンを提案し、理論と実験の両面から研究を行なって能率のよい励振装置の設計に役立つ多くの設計資料を得た。

本論文は、この光波ホーンについての研究を中心として、光波用の誘電体伝送路の励振に関する研究結果をまとめたものであって、全文7章から成る。

第1章は緒論である。

第2章は、著者の提案した光波ホーンについて、幾何光学的に検討を加えた結果を述べたものであって、光波ホーンの諸特性の概略を見通すのにきわめて好都合な多くの資料が与えられている。

第3章は、光波ホーンおよびそれと光伝送膜との結合について波動論的に取扱った結果を述べたものである。著者はビーム波に対するホーン内電磁界の表示式を初めて導き、それを使った計算により、光波ホーンの励振効率を上げるためには、レンズを併用して光波ホーンの開口面における入射ビームの位相分布をホーン内の位相分布に合わせる必要があることを明らかにした。さらに、数値計算により、光波ホーンの各寸法、レンズの焦点距離、並びに両者の間隔等が励振効率に及ぼす影響を求め、その結果を、多くの図表にして示している。本章の結果は光波ホーン的设计資料として重要なものである。

第4章と第5章は、光波ホーンに関する実験的研究結果を述べたものである。第4章では、まず実験装置について説明した後、伝送膜と結合のない場合について、光波ホーンの各寸法とホーンの出力との関係を実測した結果を示している。第5章では、やや厚い光伝送膜を実際に励振した場合の結果を述べ、最大85ないし91%の励振効率を得られることを示している。これらの実測結果は著者の理論をほぼ裏付けるものである。これを従来のプリズムを使う方法に比較すると、膜が厚い場合に特に効率が大きく、しかも周波数依存性が原理上少ないという点で著しく優れている。

第6章は、設計という立場から前章までの結果を見直すとともに、設計の一例を示したもので

ある。

第7章は結論である。

以上，要するに本論文は，著者の提案した光波ホーンに関する研究を主眼とし，それを使って光波誘電体伝送路を能率よく励振する新しい方法について研究した結果を述べたもので，通信工学上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。