

# 方向性可変結合器

南野幸雄\*

## Directional Coupler with Variable Coupling Factor

By Yukio Minamino

Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The Directional coupler, when used for the purpose of power measuring or as a frequency mixer, can ill afford the variation of scope for power measuring or the adjustment of coupling factor in the local oscillator coupling circuit, because of the general difficulty in changing its coupling factor.

The directional coupler the writer introduces in this article has eliminated such inconvenience by inserting an adjustable screw in a pair of coupling irises, and allows the adjustment of the coupling factor over the range of about 9 db. Over this range, the voltage standing wave ratio of the main waveguide can be maintained at 1.2 or lower while the directivity being held above -20 db.

When this new coupler is made to function as a mixer of microwave receiver, with the adjustable screw inserted to the notch "0", the signal power loss proves to be about 0.09 db, and even when the power level of the frequency converting crystal is kept at the optimum value of noise figure, the signal power loss can be held under 0.5 db.

In the article the writer also points to the fact that the writer's observation of this coupler's equivalent circuit agreed well with the result of his experiment.

### 〔I〕 緒 言

方向性結合器を極超短波電力の測定に用いる場合、測定範囲の増減を調整するためにはその結合度を変化させる必要がある。所が従来の方向性結合器ではそれぞれ個々の結合度を持ち、これを変化するためには結合窓を一々取換えねばならない不便がある。この不便を除くため結合器の一对の結合窓にネジを挿入しその挿入長を変化すれば結合度を可変にできる。

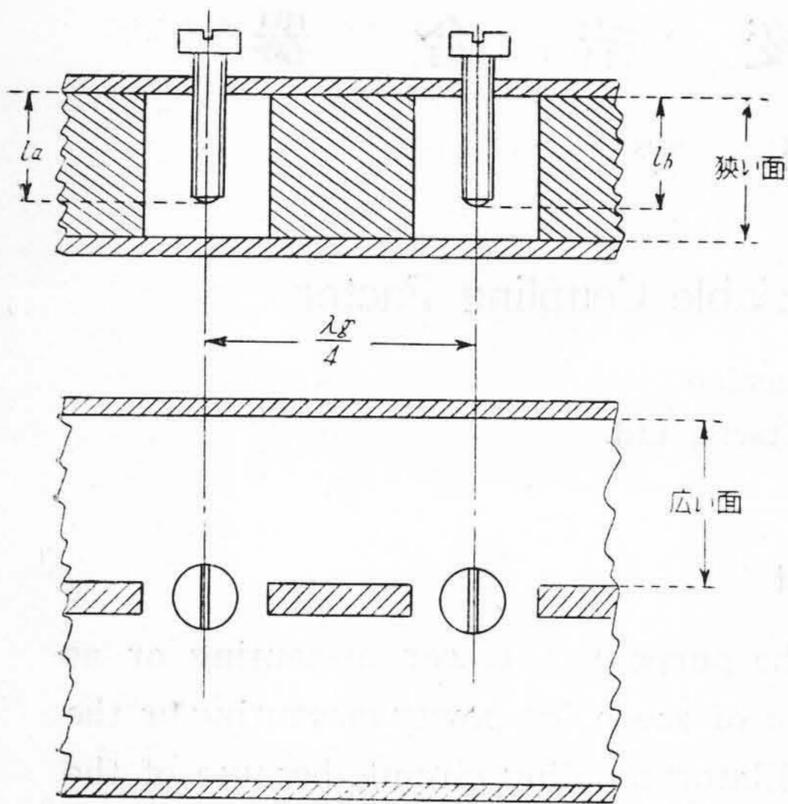
又方向性結合器を極超短波受信機の周波数混合器として用いる場合、周波数変換用鉱石の電力レベル調整のため結合度を加減する必要がある。普通電力レベル調整を可変抵抗減衰器で行っているが、この場合には結合度は常に一定であるから、受信電力損失を減少せしめることができない。

本報告は2箇の平行な同一寸法の導波管(80×40mm)の狭い面を共通壁とした型の方向性結合器に対して、その一对の結合窓に調整用ネジを設け挿入長を変化して結合度を可変にし得ることを述べたもので、簡単な等価回路より考察した結果と実験結果とがよく一致することを示し、混合器として用いた場合に就き報告する。

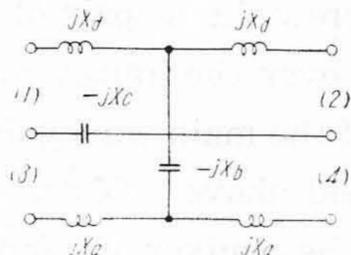
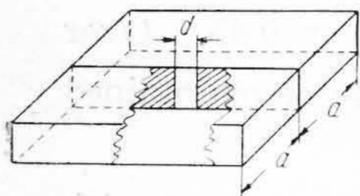
### 〔II〕 方向性結合器の等価回路

導波管の狭い面を共通壁とした型の方向性結合器に於ては、方向選別度の点から結合窓は互に1/4波長の間隔で設けられ、結合窓が2箇の場合は各窓の結合度は同一でなければならない。従つて各窓の結合度のみ等しく変化する如く第1図に示すネジ挿入長を変化すれば、方向性を失うことなく結合器の結合度を变化できる。この場合結合度が比較的小さく、主導波管回路に与える影響が少なれば2本のネジの挿入長は同一とみなしてよい。

\* 日立製作所戸塚工場



第 1 図 結合度調整用ネジ  
Fig. 1. Screw for Coupling Adjustment



第 2 図 結合細隙の等価回路  
Fig. 2. Equivalent Circuit of Slit

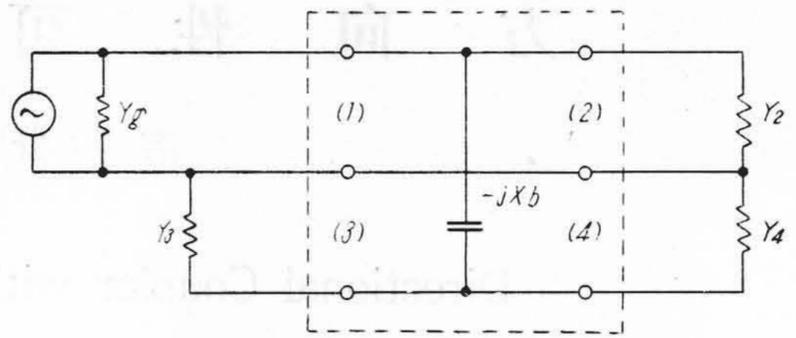
さて第 2 図の如き 1 箇の細隙を共通壁上に設けた場合の等価回路各定数は、細隙の幅  $d$  が管内波長に比し小さい時次の如く与えられている<sup>(1)</sup>。

$$\frac{X_a}{Z_0} = \frac{2a}{\lambda_g} \left( \frac{\pi d}{4a} \right)^4; \quad d \ll a$$

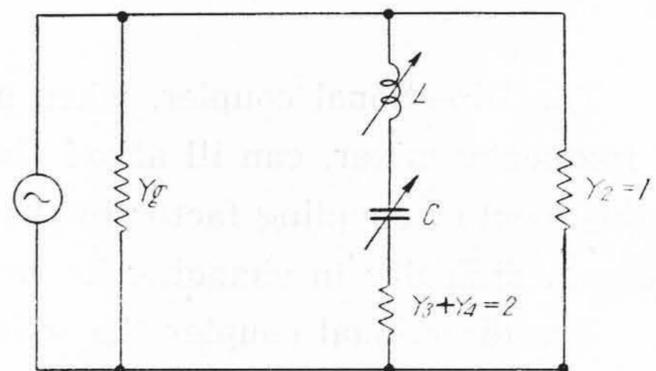
$$\frac{X_b}{Z_0} = \frac{a}{\lambda_g} \left[ \left( \frac{4a}{\pi d} \right)^2 + 2 \right]$$

$$X_a = X_c = X_d$$

ここに  $Z_0$  は導波管の特性インピーダンス、 $a$  は導波管断面の大なる辺の長さ、 $\lambda_g$  は管内波長である。実際方向性結合器の実験に用いた結合細隙は 4 箇あり、その何れの 1 箇に対しても  $X_a \ll Z_0$  なる関係は成立するので第 2 図の等価回路を第 3 図の如く書き直すことができる。そこでこの細隙にネジを挿入すれば第 3 図の容量結合回路は第 4 図の如く共振回路で表わすことができる。図に於ては結合回路の 4 開口 (1), (2), (3), (4) にそれぞれ電源及び整合負荷  $Y_2, Y_3, Y_4$  の接続を考慮してある。この図から明らかに結合細隙部で共振状態が生じ、その時負荷アドミッタンスは 3 となる。従つて主導管の電圧定在波比も 3 でなければならない。又負荷  $Y_2$  及び  $(Y_3 + Y_4)$  に消費される電力比は 1:2 でなければならない。以上の事実は後述の実験結果からも証明される。



第 3 図 単一結合細隙を有する場合の等価回路  
Fig. 3. Equivalent Circuit of the Coupling Circuit with Single Slit

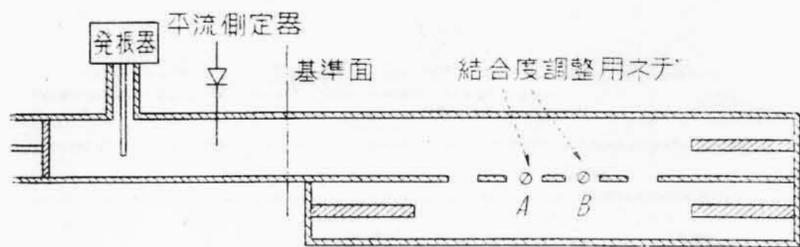


第 4 図 ネジを挿入した場合の等価回路  
Fig. 4. Equivalent Circuit Taking the Effect of Screw into Account

なお以上は単一結合細隙に就いて考えたが、方向性結合器では少くとも 2 箇以上の結合細隙があり、それ等の間隔は  $\frac{\lambda_g}{4}$  である。然も 2 箇の細隙に設けたネジは同じ挿入長で変化せしめるから、第 3 図の点線でかこんだ部分が  $\frac{\lambda_g}{4}$  離れて存在することになる。今簡単のため共振時を考えると、細隙 1 箇の場合負荷  $Y_2, Y_3, Y_4$  には各々同じ電力が消費され、方向性結合器の場合  $Y_3$  には消費されず、 $Y_4$  には細隙 1 箇の場合の 2 倍の電力が、 $Y_2$  には同じ電力が消費される。従つて電力の観点からすれば方向性結合器の場合負荷  $Y_2$  及び  $Y_4$  に消費される電力比は 1:2 であり、共振時の等価回路は矢張り第 4 図と全く同様でなければならない。たゞ共振時の結合度は相当大きく、従つて方向選別度が低下するから正確には第 4 図ではない。

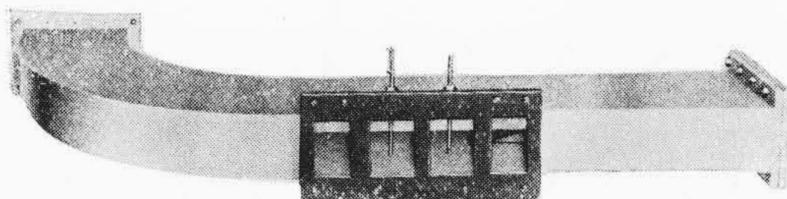
### 〔III〕 負荷アドミッタンスの測定

前節の考察を実験的に確かめるため、第 5 図の如き回路を用いネジ挿入長をパラメータにとり負荷アドミッタンス軌跡を求めた。第 6 図は試作した結合細隙の概観である。先づ結合度調整用ネジ A の挿入長のみを変化し、ネジ B の挿入長を 0 とした場合は第 7 図 a の如き軌跡をスミス図表上に描く。共振点に於ては殆ど 3 なる定在波比が得られる。同様にしてネジ B の挿入長のみ変化し、ネジ A のそれを 0 に保つと第 7 図 b の軌跡となる。



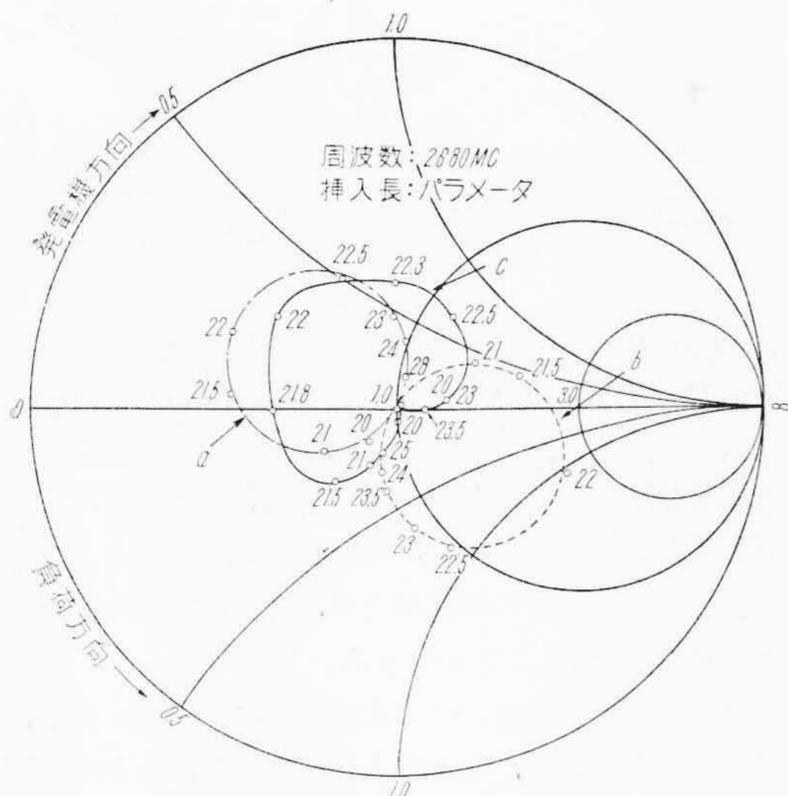
第5図 負荷アドミッタンス測定回路

Fig.5. Circuit of the Measurement of Load Admittance



第6図 試作結合部の概観

Fig.6. Exterior View of Coupling Irises



第7図 アドミッタンス軌跡

Fig.7. Locus of Admittance

曲線 a と b とはスミス図表の中心に対して対称であるのはネジAとBとの間隔が  $\frac{\lambda_g}{4}$  であるから当然であるが、各挿入長の同じ値に対しても中心に対して対称である。もつとも共振近傍ではこの対称性が少しずれているが、これは共振近傍でネジ挿入長の僅かな変化に対しアドミッタンスが大きく変動するため測定誤差が入ったものと考えられる。なお実験周波数は 2,680 Mc にて行い、ネジ挿入長共に零の場合の定在波比は 1.02 である。

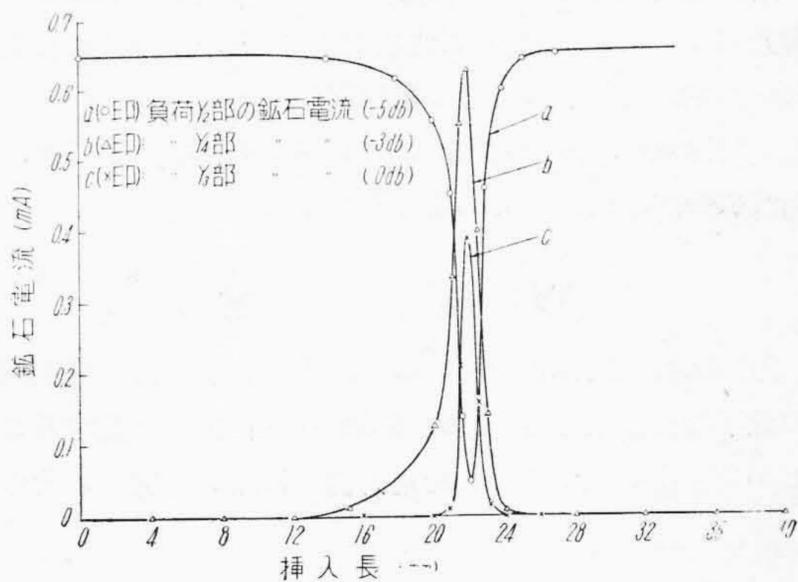
次にネジA及びBの挿入長を常に等しく保ち乍らこれを変化した場合には第7図cの如き軌跡を描く。これが方向性結合器として作動せしめた場合で、矢張り共振時には定在波比約3である。従つてこれらの実験から第〔II〕節の考察の妥当であることが判る。

〔IV〕 結合度及び方向選別度の測定

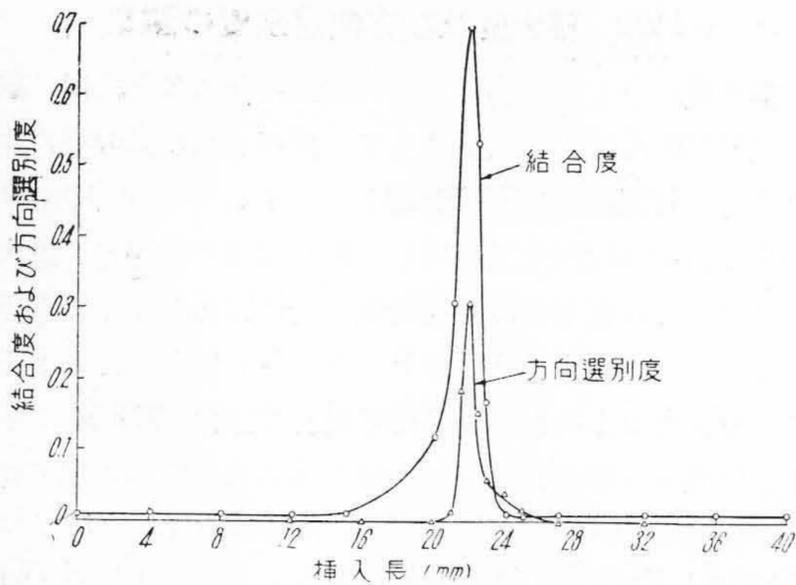
第5図に示した回路の3箇の整合負荷の各部に同一鉱石 (IN 23 A) を順次接続して、較正された減衰器により各部の相対電力を直接測定した。鉱石の定在波比は 1.07 以下におさえ、又使用した鉱石電流の範囲内 (最大 0.8mA) では鉱石電流対相対電力特性は殆ど完全な直線で与えられた。ネジA及びBの挿入長を等しく保ち乍らこれを変化せしめた時の各部の鉱石電流を第8図に示す。信号発生器の出力レベルは副導波管の逆方向電力測定の場合を 0db にとつてある。信号発生器としては Hewlett Packard 製 616A 型を用いた。逆方向電力は共振近傍で非常に大きく、従つて方向選別度が低下している。これは主として結合度の増大にもとづくものと思われる。これをなくするためにはネジA及びBの挿入長に僅かに不均衡を生ぜしめればよい (この場合結合度も変化する)。即ち方向性可変結合器は方向性改善の目的としても用いることができるが、このことに就いてはこゝにふれない。第8図 a, b, c の鉱石電流をそれぞれ  $I_a, I_b, I_c$  (出力レベルを考慮して換算せる値) とすれば、結合度及び方向選別度はそれぞれ

$$\frac{I_b}{I_a + I_b + I_c} \quad \text{及び} \quad \frac{I_c}{I_b}$$

で与えられるから、第9図(次頁参照)の如く結合度及び方向選別度対挿入長の特性が得られる。均一なネジ挿入長に対してネジの呈するサセプタンスが均一に変化しないため、共振点に対して左右対称な特性は得られないが、挿入長 20mm までは結合度はゆるやかに変化し、大体 9db の範囲に亘つて可変である。又この範囲では主導波管の定在波比を 1.2 以下におさえることができ、方向選別度も -20 db 以上に保つことができる。周波数 2,680 Mc で行つたが後述する如くその周波数特性も相当広帯域である。



第8図 鉱石電流対挿入長特性  
Fig.8. Characteristic Curves of Crystal Current v.s. Insertion Length of Screw



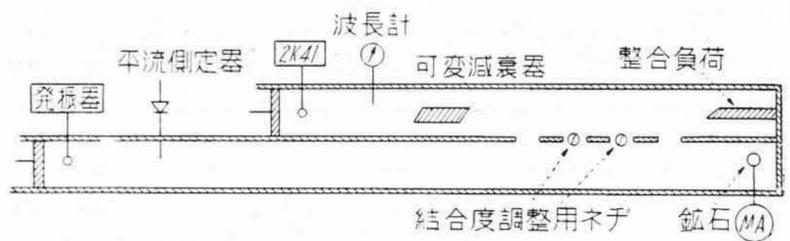
第 9 図 結合度及び方向選別度  
Fig.9. Coupling Factor and Directivity

〔V〕 混合器として用いた場合の  
局発結合度の測定

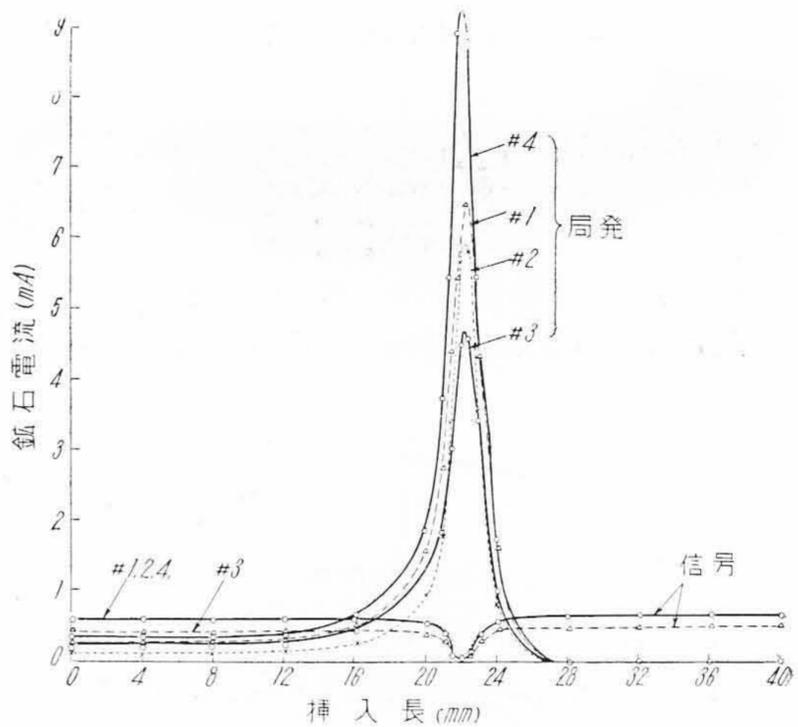
以上述べた方向性可変結合器を周波数混合器として用いると、その結合度調整が可能となる。そこで受信周波数 2,680 Mc, 局発周波数 2,630 Mc, 従つて中間周波数 50 Mc の極超短波受信機にこの結合器を使用した結果に就いて述べる。その測定回路を第 10 図に示す。ネジ A 及び B の挿入長を共に 0 にした時、この結合器の結合度は約 0.018 で、受信電力損失は数種の鉱石に対して実験した結果平均 0.09 db であつた。受信電力及び局発電力による周波数変換用鉱石の電力レベル変動の様相<sup>(2)</sup>は、第 11 図の如く同一パラメータである挿入長に対して与えられる。この結果より明らかなように数種の鉱石に対し受信電力損失 0.5 db 以内で、受信機総合雑音指数最良の電力レベル (使用受信機では 0.5~0.7 mA) になるよう局発振器の結合度を調整することができる。受信及び局発周波数は中間周波数 50 Mc だけ離れているから、第 11 図で共振点は僅かにずれている (挿入長で 0.5 mm 程度)。しかしこの程度の周波数変化で、そのために鉱石電力レベルが変化することは第 11 図から考えられない。まして局発管の周波数変動によるレベル変化は無視でき、周波数特性は広帯域であるとみなせる。

〔VI〕 結 言

方向性可変結合器を用いると以上のように方向選別度の低下なしに結合度を最大 9 db 程度自由に調整することができる。従つてこれを電力測定に用いる場合、その



第 10 図 受信機混合回路  
Fig.10. Mixer Circuit of Receiver



第 11 図 局発振器結合度  
Fig.11. Coupling Factor of Local Oscillator

測定範囲の増減が可能となり極めて便利である。又これを混合器として用いた場合、局発管及び鉱石のとりかえ等にもとづく結合度の調整ができ、受信電力損失も 0.5 db 以内で使用することができる。

理論的な取扱いに就いては尙検討すべき問題があり、共通壁の厚みの影響、ネジ挿入長の不均衡にもとづく方向性の問題及び更に詳細なる周波数特性等、今後研究を進める考えであるが、本結合器は一応実用に供し得るものと思ひ<sup>(3)</sup>、こゝに御批判を乞う次第である。

終りに終始御援助を戴いた日立製作所戸塚工場三木課長、長浜主任、日立製作所中央研究所高田主任研究員、関口主任に厚く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) Marcuvitz: Waveguide Handbook, 378 (Rad. Lab. Series, Vol. 10)
- (2) Pound: Microwave Mixers, Chap. 8 (Rad. Lab. Series, Vol. 16)
- (3) 特許出願中