ヨーロッパにおけるマイクロ波技術 の動向

NHK総合技術研究所 小 西 良 弘

ヨーロッパマイクロ波会議および幾つかの研究所において行なわれている研究活動を中心として、最近のヨーロッパにおけるマイクロ波技術の動向を解説する。内容は(1)最近のマイクロ波能動素子の開発、(2)プリント基板を中心とした集積技術の開発、(3)マイクロ波材料の開発と応用、(4)SHF帯を中心とした送受信系、などからなっている。

1. ま え が き

今回、ヨーロッパマイクロ波会議 (European Microwave Conference) に出席するとともに、2~3の研究所を訪れる機会を得、ヨーロッパにおける最近のマイクロ波技術の動向を知ることができたので、以下私見をまじえて述べてみたい。まず、ヨーロッパマイクロ波会議は1969年に第1回目が発足し、昨年は第2回目として、8月23日から8月28日までストックホルムの Royal Institute of Technology で開催されたもので、今回は各国から約400人が集り、盛会裡に終わった。またその後、スウェーデン国防研究所、マルコーニ研究所、フィリップス研究所などを訪れ、いろいろな分野におけるマイクロ波技術のアクティビティーを知ることができた。以下順を追って説明し、最後に総括的な意見を述べたい。

2. ヨーロッパマイクロ波会議の模様

会議では約170件の講演がなされ、それぞれの分野に分かれて発表された。以下、各分野におけるアクティビティーや、興味をひいた内容を中心に紹介したいと思うが、その内容を大きく分類してみると、表1のように分けることができると思う。

以下、表1の分類に従って説明を行なう。

2.1 半導体素子

まず半導体素子としては、半導体中の伝導バンド間の遷移を利用した、いわゆる電子遷移素子 (transferred

表1 内容の分類

1. 半導体素子	{ 電子遷移素子 アバランシェダイオード FET
2. 受動回路素子	{ 伝送回路 フェライト応用回路 弾性波回路 集積回路
3. アンテナ	{ アレイアンテナ 一般アンテナ
4. 送受信装置	{ 低雑音受信機 トランジスタ送信機
5. マイクロ波装置応用	{ 通信システム 工業応用

electron device) と pn や pin などの接合ダイオードにおけるアバランシェ効果を利用した、いわゆるアバランシェダイオードとが主なものであったが、その他、FETの報告もあった。特に電子遷移素子に関しては、最近英国から提案された InP 系の3レベル電子遷移素子の発表が多かったのが特徴である。また、これらの素子も、準ミリ波からミリ波帯にかけての高い周波数領域の発振ならびに増幅に関する報告が中心であった。

従来、電子遷移素子に関しては、GaAsを用いたガン発振器や、InP系の3レベル遷移によるものがあり、これらの2種類間の比較が、周波数の上限、電界-速度曲線などについて種々討議されて来た。今回は特にInP系の電界-速度間の理論曲線を求め、33%の能率限界なども示されていた。そしてこの理論値は、500°Kの温度においても保たれることが述べられた。また最近の実験によれば、InP系の発振周波数は、あまりサンプルの厚みには関係せず、非常に広範囲の周波数にわたって外部回路で同調でき、最大周波数はドメインの遷移時間に相当する周波数の約3倍まで可能であることが報告されていた。このような面における実験的考察も、今回の会議で報告された。その結果を図1に示す。なお、今回発表さ

"Recent Situations of Microwave Engineering in Europe" by Yoshihiro Konishi (NHK Broadcasting Technical Research Laboratories, Tokyo)

図 1 InP 系電子遷移発振器の層の厚みと発振周波数に関する実験結果

図 2 (a) 電子遷移発振器の特性

れた電子遷移素子の周波数や出力を図 2 (a) に示す。

次にアバランシェダイオードに関しては、最近周波数と発振電力との関係の理論的推定値や、また種々の実験報告がなされているが、発振電力も 100 GHz 以下では、だんだんと理論値に近づいている模様である。また発振電力は、先ほどの電子遷移素子にくらべると周波数の高い所でははるかに大である。そこで今回の会議では、む

図 2 (b) アバランシェダイオード発振器の特性

しろアバランシェダイオードの雑音成分の検討に関する報告が多かった。たとえば、大振幅動作における雑音の理論的検討や、その制御方法としてモジュレーション負帰還法などが発表された。なお参考のために、会議において発表されたアバランシェ発振器の発振出力と周波数の関係を図 2 (b) に示す。

また大電力化の方法として、12 個のインパットダイオードを 1 つの共振器で並列動作させ、9.1 GHz で cw 10.5 W の発振出力を得た例も示され、このロッキング理論なども述べられた。この他、大電力化するためにはダイオードの接合面積を大きくする必要があり、そのように大きくしたときに生じる進行波動作の設計なども検討されていた。

以上述べたことからわかるように、電子遷移素子に関しては、さらに高い周波数領域にもって行くことと、InP 系のもつ理論的高能率動作をいかに実現させて高出力化して行くかが、今後に課せられた重要な課題のように思える。また、アバランシェダイオードに関しては、100 GHz 以上の発振出力の問題と、雑音処理の問題が将来の課題であろう。

最後に FET デバイスとしては、現在高い周波数へのアプローチが盛んに行なわれているが、今回 18 GHz で利得 6 dB、NF 16 dB、帯域幅 520 MHz のものが報告された。この分野は、電子遷移素子やアバランシェダイオードの反射形増幅器の特性と相まって、今後研究が進められていく魅力的な分野である。

参考のために、今回報告された半導体増幅器の特性を図 3 に示す。

2.2 受動回路素子

受動回路素子としては、表 1 にあるように、伝送線路

図 3 反射形電子遷移増幅器の特性

フィルタなどの、いわゆる伝送回路の特性改善、および精密設計に関する問題と、アイソレータやサーキュレータなどの非可逆回路を中心としたフェライト応用回路のほか、遅延素子を中心とした弾性波回路、および集積回路技術の報告が主なものであった。

特に、このような受動回路素子の最近の特徴として、種々の材料を用いて特性を改善することに大きな力がそがれていることは注目すべきである。そして回路技術と材料面との中間領域の問題として、境界値問題や回路理論の研究が、材料特性との関連において進められて行くのが最近の特徴であり、また将来の重要な方向であろう。

まず伝送回路の問題として、最近、小形化のためにストリップ線路がよく用いられ、この解析が静的な取扱から準静的な取扱による伝搬定数の分散特性が検討されて来た。今回の会議では、この厳密解が計算機によってなされ、静的なモードから動的なモードへの移り変わりの考察が細かくなされていた。その電磁界分布は図 4 のようである。また、テーパ結合による超広帯域方向性結

合器では、0.6 GHz から 12 GHz にわたり結合度が $19.6 \text{ dB} \pm 0.52 \text{ dB}$ で、その最大定在波比は 1.33 であるものが報告され、このような特性改善に属する報告も幾つか行なわれた。

次にフェライト応用回路では、日本の現状を、非可逆回路や吸収体の応用および測定回路に関して著者が紹介を行なった。また、ミリ波帯の導波管形 Y サーキュレータにおける固有値を、誘電体共振器との関連で測定の立場から検討されていた。このようなアプローチは、特に導波管形対称サーキュレータの場合、今後研究を進めるうえで重要な方法である。また、L バンド帯のラッチング移相器として、最近、小形化が必要とされているが、本会議では、小形化のためにヘリカル伝送線路を用いた方法が報告された。これは図 5(a) に示したようにに、中空の円筒状フェライトのまわりに 10 回のストリップ線路が巻かれ、そのフェライト円筒の内部の面には、接地面に相当する金属が付着されたものである。そして、その中空の所に円筒軸に沿って制御用の直流パルスを通じる制御コイルを通したものである。したがって、制御コイルにパルス電流を通すことにより、フェライトは円周方向に磁化される。一方、ヘリカル伝送線路に高周波を通じると、フェライト部分にはフェライト内の磁化と垂直な面内に回転磁化が生じ、その回転方向は高周波の進行方向によって異なる。したがって、パルス電流の向きを変えることにより位相量の変わるラッチング移相器ができることになる。このような構造は初期の頃、共鳴形アイソレータとして開発されたものであるが、ラッチング移相器として用いることは、現在フェイズドアレイアンテナ等で小形化が非常に要求されている観点から、有効な方法であろう。その特性を図 5 (b) に示しておいた。

次に弾性波回路としては、現在 LiNbO_3 の表面波 (Rayleigh wave) や、水晶中のバルク波を用いた、いわゆる弾性波遅延回路と、YIG 単結晶中の磁気弾性波

図 4 ストリップ線路の動的な高周波電磁界分布

(b) 駆動パルス切替えによる位相差

図5 Lバンドヘリカルラッチングデバイスの構造と特性

図6 遅延時間-周波数特性を直線化した磁気弾性波遅延素子

(b) 特性

を用いた2種類のものが研究開発されている。本会議においては、前者に関して特に広帯域性の設計などに焦点があり、また後者に関しては、YIG中の直流磁界を適当に変化させて周波数-遅延時間関係が直線的に変化する工夫がなされていたのが興味をひいた。これは図6(a)のように、円錐形かまたはピラミッド形が多結晶中にYIGの単結晶棒（円柱または立方体）を、その軸が円錐またはピラミッドの軸と一致するように挿入し、その底辺にある中央の単結晶の所に高周波磁界が結合するようにしたものである。そして、この高周波は同図のように、サーキュレーターを介して入出力が分離されている。したがって、加えられた高周波はサーキュレーターを通りYIG単結晶に結合して静磁波を発生する。

この静磁波は、だんだん速度をおとして、ついに単結

晶中で速度が零になった所で交換スピン波に変換され、そのスピン波は、また入力側に進んで来る。そして途中で弾性波に変換され、その弾性波は、さらに下端に向かって進み、下端で反射されて再び上に進む。その弾性波は再び上に向かって途中で交換スピン波に変換され、速度が零になった所で静磁波に変換される。その静磁波は再び下端に向かって進み、単結晶の下端で電磁波に変換されてサーキュレーターを通過して入力と反対側の開孔から取り出される。

このような過程を進むことによって遅延が起こるわけであるが、YIG単結晶中の直流磁界を、適当に、上になるほど強くしてやれば、遅延時間と周波数の関係を直線的に変化で

きるという報告である。このような円錐形多結晶を外部に付けることにより、上の方が直流の反磁場が小さくなるので、上の方が内部磁場がより強くなるという理屈による。この特性を図6(b)に示した。

さて、このような遅延回路は、レーダーなどのバンドコンプレッション技術に多く用いられ、その際のスプリアスをできるだけ小さくすることが必要であるので、遅延時間の直線化が必要となる。将来実用的な観点から重要なことである。

次に集積回路に関しては、最近モノリシックなアプローチとして、SiやGaAsなどが検討されているが、本会議では特にGaAs基板が将来、準ミリ波帯で有効であろうとの発表がなされた。ここでは比抵抗 $10^7 \Omega \text{ cm}$ のGaAsが用いられており、その損失角が 6×10^{-4} (10

GHz)であるため、Siを用いるよりも1管内波長当たりの減衰量が、10 GHzで3倍改善されることを強調していた。また、このGaAs基板を用いたミリ波帯のモノリシックミキサーが発表され、29~35GHz帯で6dBの変換損失のものが得られていた。また基板として、日本では誘電体基板が用いられているが、むしろ非磁性フェライト基板を用いたほうが、アルミナよりも伝送損失が少なく、また温度による伝搬定数の変化率もアルミナと同程度であることが強調されていた。

また集積回路技術において、フィルターの小形化は非常に重要な問題であり、現在、YIGフィルターや誘電体共振器が研究されているが、前者は-10dBm程度の入力力で非直線特性を有するのが欠点であった。そこで本会議では、これを改善するため、長い波長のスピン波領域を用い、光干渉フィルターの原理を応用したものが報告され、これによって数kW程度まで非直線性が生じないことが示された。この特性を表2に示す。このように

表2 開発された干渉フィルターと従来のキッテルモードフィルターの特性比較

特 性	開発されたYIG干渉フィルター	キッテルモードフィルター
帯域幅 (3 dB) (MHz)	10~45	20~50
挿入損失 (dB)	3~5	2~5
帯域外アイソレーション (dB, min)	>40	50
帯域外スプリアス (dB, min)	25	25
帯域内リップル (dB, max)	なし	1
リミット電力 (W, peak)	>2000	0.01
アイソレーション (dB, min)	25	可逆性
定在波比一帯域内	1.5	2.0
一帯域外		非常に大

フィルターの無負荷Qに関しては、それほど従来と変わりはない。この技術は、実用上の観点から非常に大きな寄与である。また、誘電体共振器に関してはSr, Ba-ZrO₃などにより温度変化の少ないものの考察がなされていたが、これも実用化するうえできわめて重要な問題である。これは筆者らの行なっているLiNbO₃とTiO₂との複合形共振系のほうがはるかにすぐれているが、いずれにしても今後の重要な課題である。

その他の問題として、最近pinダイオードや強磁性体、強誘電体を用いた可変移相器の研究が盛んに行なわれているが、実用上大きな問題として、許容電力や制御電力の問題がある。そして従来、強誘電体としてはSrTiO₃やPbTiO₃が用いられていたが、今回は液体を用いた誘電体が、低コストで大電力用として適していることが示された。

これはフロロカーボンやハイドロカーボンの液体中に1μmのアルミ円板を8mg/ccの割合で混ぜたもので、これに電界を加えると、それらのアルミ円板が同一方向にそろおうため、等価的な誘電率が変化するという原理に

基づいたものである。この誘電率の変化度は $7 \times 10^{-4}/V/cm$ で、 2π rad変化させるのに200V程度ですみ、その挿入損失は2dB前後である。

以上が受動回路についてのアクティビティーであるが、一般的にいえることは、最初にも述べたように、電気材料をいかにマイクロ波で生かして使うかという問題と、さらに電気材料としてどうあるべきか、また、その材料が既製のものでできない場合には、液体誘電体のところで紹介したように、人工的に実現して行くという方法が、将来の重要な方向であろうということが結論としていえる。

2.3 アンテナ関係

アレイアンテナと一般アンテナの問題に分けることができる。フェイズドアレイアンテナにおける最近の重要な課題として、いかに経済的に、またいかに小形にするかという問題があげられるが、本会議においても、特にプリント技術や固体半導体素子を用いた小形化の他、フェイズドアレイ用ラッチングデバイスの小形化などが報告されていた。

また、一般アンテナの問題としては、最近、反射板を波状にしたコーンアンテナで低サイドローブのものが多く研究されているが、本会議では、特にサイドローブ特性の理論的検討と実験との比較が行なわれていた。

2.4 送受信機関係

以上述べたような回路素子を用いた送受信装置としては、パラメトリック増幅器や低雑音ミキサーをヘッドにもつ低雑音受信機の問題と、トランジスタを用いた小形送信機用増幅器などが発表されている。

前者の低雑音受信機に関しては、主としてパラメトリック増幅器の広帯域化の問題と、集積化することによる小形化の問題が中心であった。パラメトリック増幅器の広帯域化の方法としては、2つのバクタイオードを用い、それらのダイオードをアイドラー回路においてスタガー同調して広帯域化したもので、2段で24dBの利得をもち、1dBの比帯域幅9.2%のものを集積回路により構成したものがSバンドで報告されていた。

次に、ミキサーとしては、12GHz帯からミリ波帯にわたるバランスミキサーが多く、特に低雑音特性をもたせるため、影像周波数インピーダンスを開放にするものが多く報告されている。一般に、影像周波数で開放にするには、通常適当なりアクタンスを負荷にして行なわれているが、このような方法によると、影像整合ミキサーにくらべて帯域幅が狭くならざるを得ない。そこで今回報告されたものは図7のように平衡形ミキサーを2組用い、それぞれの平衡形ミキサーに90°の位相差のポンプ電力を加え、いかなる影像周波数でも開放インピーダン

図7 映像インピーダンス開放形ミキサの構成と特性

スにするという工夫を行なったものである。これにより変換損失 1.9 dB のものが広帯域にわたり実現でき、雑音指数が 4 dB 以下の特性が集積技術により達成されていた。

今後、このような技術はミリ波帯にかけての低雑音受信機に多く使われて行くものと思われる。また、ミキサの構成もほとんどが集積化されており、それも現在行なわれている誘電体基板を用いず、先ほど述べたようにフェライト基板を用いたものの他、GaAs などを用いたモノリシック集積のものが特に注意をひいた。

表3に今回発表されたいくつかの準ミリ波帯受信機の構成と特性をまとめておいた。このように、準ミリ波帯以上の送受信システムの開発は、今後利用面の研究と同時に進められて行くものと思う。

また、送信用トランジスタ増幅器としては、ハイブリッド技術を用い、0.2~2 GHz にわたる 50~20 W 出力

の増幅器が開発されていた。このような方法は珍しくはないが、今後、固体化で高出力を得るという実用的な意味では重要である。

2.4 マイクロ波装置の応用

これには表1にあげたように、通信システムの利用面のほか、最近是一般工業用としての応用面が拓けているのがひとつの特徴といえる。

まず、通信システムの利用面で大きく取り上げられているのは経済設計の問題である。そのほか、最近は準ミリ波帯以上でのテレビの多重伝送利用面が盛んに提案され、開発されている。

たとえば、テレフンケンでは 6 ch のテレビ多重の実験が 12 GHz 帯で行なわれており、受信側で生じる混変調を少なくするための検討なども行なわれていた。その他、フィリップスやジーメンスなどからも、それらの受信機の構成や特性が示された。また、米国からもこれに関連した報告がなされた。

これは現在の VHF 帯テレビ 4 チャンネルを 5.75~88 MHz の周波数帯に変換したのち、これでもって 3 GHz の周波数変調した、いわゆる FDM-FM (Frequency Division Multiplexed Frequency Modulation) 方式を採用している。この 3 GHz 帯はアップコンバーターで 12.7~12.95 GHz へ変換し、利得 40 dB の進行波管で 20 W の出力で送信している。受信側では 1.5 GHz の中間周波増幅器を通し、さらに復調器を経てテレビ電波にもどされている。これで 25 mile の距離で 1 in/hr の雨のものとで、テレビ 1 ch 当たり 45 dB の SN 比を得ている。

表3 各種受信機の特 性

企 業	ミ キ サ ー	局 部 発 振	前 置 1 F 増 幅 器	総 合 性 能
テレフンケン	方式：マイクロストリップによる バランスミキサ 基板：アルミナ 0.63mm 厚 ダイオード：ビームリード 入力周波数：11.8~12.2 GHz I F 周波数：470~790 MHz 変換損失：8 dB	方式：通倍 発振源：水晶	方式：トランジスタ 利得：15 dB 以上 雑音指数： 周波数：470~790 MHz 混変調：出力 -35 dBm で 70 dB 以下 (2 信号法) (直線性を良くするため負帰還回路使用)	アンテナ：パラボラ直径 約 1 m TVch：6 ch 総合雑音指数：12 dB 出力レベル：-22 dBm/ch 動作温度：-30°C~+60°C (TVダウンコンバーター受信機)
ジーメンス	方式：マイクロストリップによる バランスミキサ 基板：セラミック ダイオード：ショットキーダイオード 入力周波数：11 GHz 帯域 2 GHz I F 周波数：1.5 GHz 変換損失：6.0 dB	方式：注入同期 発振源：Gunn 注入利得：10dB 100MHz 出力：10 mW	方式：トンネルアンプ 利得：14 dB 雑音指数：6 dB (1200°) 周波数：1.5 GHz 帯域 300MHz	総合雑音指数：12.5 dB (衛星用トランスポンダ受信機)
フィリップス	方式：マイクロストリップ、マイクロ ストロップ、コプレーナ の組合せによるバランス ミキサ 基板：非磁性フェライト ダイオード：ビームリードショッ トキー 入力周波数：12 GHz I F 周波数：70 MHz 雑音指数：7 dB	方式：通倍 (ステップリ ガバリー) 発振：1 GHz×10 通倍		アンテナ：パラボラ直径 30cm 1 次輻射器：誘電体ロッド 150 cmφ 長さ 5 cm (TVダウンコンバーター受信機)

次に、一般工業用としての応用面では、いろいろとあげられるが、なかでも食品の品質管理の利用面は興味をひいた。たとえば、人工バター中には数 μm の水滴が無数に含まれており、その量を適当に管理することが必要である。一般に水滴はマイクロ波に減衰を与えるのみならず、その誘電率のため、マイクロ波の伝搬定数を変える。そこで本報告では、水滴の量による伝搬定数の変化を読み取り、品質管理を行なうというものである。特に、損失の測定による方法よりも伝搬定数による測定のほうが水分の量の推定には精度が上がるという報告であった。

マイクロ波利用面の今後の動向として、このような工業面の応用は、ますます拓けてゆくように思える。将来、公害その他の社会的問題と、マイクロ波技術との中間領域という分野は、マイクロ波技術者にとって重要な課題ではなからうか。

3. ヨーロッパの研究所を訪れて

一般にヨーロッパにおける研究は、ユニークな研究が地道に進められているという印象をうけた。以下、表1に示したような分野別に、私の見た範囲内で説明をしてみたいと思う。

半導体素子関係では、米国でガン発振器やインパット発振器が発表されたのに対して、英国を中心として InP 系の 3 レベル電子遷移素子の開発研究が盛んに行なわれているのが特徴的と思う。この特性や内容に関してはヨーロッパ会議において発表され、これに関しては2章で説明したので省略する。

次に受動回路素子に関しては、やはり集積技術の開発がよく行なわれており、これも後で述べるように、準ミリ波からミリ波帯における将来のプロジェクトに関連して進められているようである。この特徴として、いかに低コストで実現するかというのが大きなポイントのひとつであるように思えた。これは将来の電波利用に関連して生じる必要性から来ているものと思われる。

たとえば、集積基板上の半導体作成も、従来は蒸着法によって作られていたのが、シルバーペイントによって作るという方法をとっている。この方法によって、20 GHz 付近まではほとんど損失が問題にならないという結果が得られている。また集積基板としても、従来は熔融石英やアルミナのような誘電体を用いていたが、この方法によると、サーキュレーターやアイソレーターなどの非可逆素子の部分だけ別にフェライトを埋め込む必要がある。そこでフィリップスでは、一般の基板としては非磁性のフェライトを用い、非可逆回路の部分だけ磁性フェライトを用いる方法をとっている。そして焼成以

非磁性領域 10 μ 磁性領域

写真1 非磁性フェライトと磁性フェライトの合成

前の段階でそのように配分して非磁性の部分と磁性の部分とを同時に作成している。たとえば、非可逆回路に MnMg 系フェライトを用いる場合には、

を、また YIG (イットリウム鉄ガーネット) を用いる場合には、

の材料を非磁性基板の材料に使用している。この非磁性基板を用いると、従来のフェライト基板を用いた場合に生じた温度による伝搬定数の変化 ($4\pi Ms$ が温度により変化するため) がなくなり、アルミナと同じ温度特性を示していた。また1管内波長当たりの伝搬損失もアルミナの 2/3 程度という結果を得ていた。

この非磁性部分と磁性部分のグレインを写真1に示す。この磁性から非磁性部分への移り変わりは $8\mu\text{m}$ 以内で行なわれており、この写真からもわかるように、空隙率が非常に良い。

次に集積技術として、最近はストリップ線路、スロットガイド、コプレーナガイドなどが盛んに用いられているが、これらの線路を基板の表と裏とに適当に組合せることによって、非常に小形で広帯域なマジック T を中心としたブリッジが開発され、使用されている。これはフィリップスの De Ronde によって開発されたものであり、この一例を図8に示す。このような技術は今後、いろいろな受動回路素子の開発に適用されて、小形化、広帯域化されてゆくものと思われる。

また弾性波回路としては、会議の紹介において述べたように、磁気弾性波と弾性波表面波を用いたものが主であるが、前者に関しては、図5で示したような分散特性の直線化がフィリップスの Dr. Dötch により開発されていた。また LiNbO_3 上に従来インタディジタル電極を蒸着した表面波応用遅延線路に関しては、インタディジタル電極を用いずに、進行波給電を行なうことにより

図 8 ストリップ線路とスロットガイドを組合せた集積技術

広帯域化が進められており、Lバンドで約1オクターブの特性が得られていた。

次にフェライト応用回路に関しては、最近、フィリップスで CaV 系ガーネットの多結晶で 20e 以下の ΔH (磁気共鳴半値幅) をもつものが開発されたことは良く知られており、日本でもこの種の開発が進められているが、最近 In-Al 置換系の YIG 多結晶がマルコニーにおいて研究開発されている。このような材料によっても 50e 程度のものが開発されているが、キューリー点が低い欠点がある。しかしながら、いずれにしても多結晶でこのような小さな ΔH の実現を目ざして各研究所で研究が進められていることは、将来のフェライトデバイスの実用的な観点から、非常に期待できるものがある。また最近、米国の Dr. Hine によって発表されたペリフェリモードに関しては、ヨーロッパ各国でも盛んに研究開発を行っており、筆者も各研究所でその物理的説明や問題点の指摘を求められ、説明を行って来た。この種の問題も、ここ数年はいろいろと研究開発されて行くものと思う。

次に、準ミリ波からミリ波にかけての応用面の開発も、非常に活発に進められている。特にテレビの伝送用として 12~30GHz 以上までの多重伝送の開発が行われており、今回のマイクロ波会議でも数件発表された。今後この種の問題として、いかに経済的に多重信号を品質よく送るかということが、システムとハード両面から検討されるべき重要な課題である。

たとえば、フィリップスでは、12GHz 用の直径 30cm

のパラボラアンテナで受けた電波を HE_{11} モードの誘電体アンテナを介して TE_{11}^0 モード導波管に通し、これから MIC ミキサーに加えて変換損失 6 dB のものが得られていた。しかしながら、このような回路構成は、低コストの立場からさらに検討すべき問題があることを述べて来た。いずれにしろこの帯域の送受信技術は、近い将来大きくクローズアップされて来るものと思われる。

4. む す び

以上、マイクロ波会議におけるアクティビティとトピックスおよび各研究所において見ることのできた模様とを紹介したが、マイクロ波応用の今後の動向としては、準ミリ波帯以上の波の利用面に関して、テレビ伝送、通信および衛星通信用などを中心として進められて行くとともに、一般の工業技術などの新しい利用面が開拓されつつあるのは、注目すべきことであると思う。

また、これら応用面の発展にともなうハードウェアの立場としては、小形化、固体化および低廉化が要求され、特に半導体素子や集積技術の開発研究が進められている。

半導体素子に関しては、従来のガン発振器やインパット発振器以外に、InP 系の電子遷移素子が最近クローズアップされており、特に能率の向上が当面の大きな課題となるであろう。

また、集積技術を中心とした受動回路においては、今後、新しいマイクロ波材料の開発とその応用面に焦点がしばられて行くことになる。 (昭和 46 年 10 月 27 日受付)