UHF 回路の動向

東京都立大学工学部 小笠原直幸
布 施 正

1. ま え が き

UHF 技術は集中定数回路を主とする高周波技術と、立体回路を主とするマイクロ波技術の境界に位置している。したがって、UHF 回路技術の要点は、この両者の特徴をどのように活用するかということにある。

UHF 帯においては、集中定数回路を従来のままのやり方で適用するには波長が短かすぎるし、マイクロ波領域で用いられる導波管または同軸管回路をそのまま用いると形状が大きくなりすぎる。この矛盾を解決するには集中定数回路を採用するにしても、また、分布定数回路を採用するにしても、結局は回路の寸法を小さくすることに帰着する。人工衛星を利用したテレビジョンの直接放送の使用周波数のひとつに UHF 帯が考慮されており¹⁾、この分野では回路の超小形化²⁾ は特に重要課題となる。

UHF 回路技術におけるもうひとつの傾向は、マイクロ波領域では従来から広く用いられているフェリ磁性体の利用である。非相反回路を中心とするフェリ磁性体回路の採用によって、回路構成が非常に容易になり、かつ、回路の小形化にも寄与する面が多いからである。

本文では、上述の観点から、UHF 回路素子のうち、この傾向に沿うものとして、ストリップライン回路素子、ヘリカルライン回路素子、マイクロ波集積回路、フェリ磁性体回路について具体的にのべることにする。

2. ストリップライン回路素子

ストリップラインは、従来から広く用いられているが³⁾、これは後述のマイクロ波集積回路につながるものであるので、ここではストリップラインで構成される主な回路素子についてのべる。

2.1 ストリップライン濾波器⁴⁾⁵⁾

ストリップラインを用いた濾波器はその種類が非常に多いが、ここではその中から小形化に適するものを取り

上げることにする。UHF 帯における低域濾波器としては、ストリップラインをリアクタンス素子として用いた準集中定数濾波器が良い特性をもっている。これは図 1

図 1 準集中定数低域濾波器の原理図

(a) 構造

(b) 特性

写真 1 交叉指形濾波器の例

"Tendency of UHF Techniques" by Naoyuki Ogasawara and Tadashi Fuse (Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan University)

図 2 櫛形濾波器の原理図

に示すように、波長にくらべて充分短い線路をリアクタンス素子として濾波器を構成するもので、UHF 帯ではこの条件は充分満足されるので、低周波における集中定数濾波器と同じように動作する。したがって、UHF 帯では第二次通過帯は生じない。帯域濾波器としては写真 1 に示す交叉指形濾波器 (interdigital filter) が、形が小さくてしかもすぐれた特性を示し、帯域幅も 70% に及ぶ広帯域まで可能である。第二次通過帯は通過帯の 3 倍のところに生ずる。帯域幅 15% 程度までの帯域濾波器には、図 2 に示す櫛形濾波器 (comb-line filter) が交叉指形にくらべてさらに小形に構成される。図 3 に示す形の濾波器は、前二者と同様小形であるとともに、特徴として高域の阻止帯域は交叉指形濾波器よりもさらに広い。20% 程度までの帯域幅をもった帯域阻止濾波器としては図 4 の形のものが一般に用いられている。

図 3 帯域濾波器の原理図

図 4 帯域阻止濾波器の原理図

2.2 方向性結合およびハイブリッド⁶⁾

方向性結合器には種々の形があり、分類の仕方も一樣でないが、UHF 帯では写真 2 に示すようなストリップライン間の結合を利用したものが多く用いられる。この形のは、広い周波数範囲にわたってほぼ完全な整合および分離が得られる。また、構造的にも後述のマイクロ波集積回路に適している。写真 2 に示したものは $\lambda/4$ 結合の場合であって、周波数範囲は 1 オクターブ程度であるが、多重素子の結合器ではさらに広い周波数範囲が得

写真 2 ストリップライン方向性結合器の構造

られる。たとえば、2 素子の結合器で 2 オクターブ以上の周波数範囲が得られている⁷⁾。

ストリップラインによる UHF 帯のハイブリッドには、上述の形の 3 dB 結合器のほか、180° 位相形としてラットレースがよく用いられており、構造的にマイクロ波集積回路にも適している。なお、ラットレース形のものでは、図 5 (a) の $3\lambda/4$ の部分の代りに同図 (b) のように、等間隔の $\lambda/4$ の一部を交叉させたものがあり、1 オクターブにわたってほとんど完全な電力等分と 26 dB 以上の分離が得られる⁸⁾。しかし、これをストリップラインで構成しようとすると構造がかなり複雑になる。

図 5 ラットレース

3. ヘリカルライン回路素子

同軸線の内部導体をらせん状の導体で構成した線路は、軸方向の伝搬速度を通常同軸線の数分の 1 にすることができるため、同軸線またはストリップラインで構成する場合にくらべ、共振器の長さを数分の 1 に短縮することができる。しかも、Q の値は通常同軸線とほとんど変わらず、かつ、軸方向の長さとは無関係に一定である⁹⁾。

UHF 帯の濾波器を集中定数回路素子で構成しようとすると挿入損失が大きくなり、また、同軸またはストリップラインで構成すると形状が大きくなるが、ヘリカルラインのこの特徴を利用すれば、これらの問題は同時に

図 6 5素子ヘリカル波器の特性

わずか 49cm^3 という小形であることに注目されたい。

4. 集積回路

印刷回路化したストリップラインは従来から用いられてきたが³⁾、この考えをさらに進めて、その絶縁基板に誘電率の大きい磁器、半導体、フェライトなどを用いることにより、ストリップライン上の伝搬速度を遅くして回路の寸法を極度に短縮する研究が、いわゆる、マイクロ波の集積回路化の方向に沿って最近盛んになってきた^{11)~14)}。誘電体基板としては、現在のところ Q と安定性の点から主として磁器が用いられている。表 1 に主な誘電体基板の特性¹⁵⁾を示す。

表 1 マイクロ波集積回路に用いる誘電体基板の特性

材 質	$\tan\delta$	ϵ_r
アルミナ	2×10^{-4}	9.6~9.9
サファイア	10^{-4}	9.3~11.7
ガラス	4×10^{-3}	5
酸化ベリウム	10^{-4}	6
ルチル	4×10^{-4}	100

通常のストリップラインでは輻射を防ぐため、いわゆるトリプレート形を採用するが、集積回路の場合には他の部品またはデバイス（たとえば、プラグインサーキュレーター、トランジスタチップなど）との接続が便利のためと、パッケージによる遮蔽、および電磁界がほとんど誘電体基板に集中することから、図 7 に示すように厚さ $0.1 \sim 1\text{mm}$ 程度の誘電体基板と、幅 $0.01 \sim 1\text{mm}$

図 7 集積回路用マイクロストリップの構造

解決される。また、ヘリカルラインの内部に誘電体の棒を挿入し、この挿入深さを加減することにより簡単に共振周波数を変えられるため、可変周波器の構成が容易となる。入出力の接続の構造については印刷回路との接続に適した結合方法も考案されている¹⁰⁾。

図 6 にヘリカルラインを用いた波器の特性の一例を示す。容積が

程度の銅、アルミニウム、金、銀などの薄膜導体から構成されるマイクロストリップの形をとる。

この種のマイクロストリップの特性インピーダンスおよび伝搬定数の計算法は、最近 Wheeler¹⁶⁾¹⁷⁾ によって発表され、これに基づいた設計データが Caulton¹¹⁾ らによって与えられた。特性インピーダンス 50Ω のマイクロストリップの減衰は、表 2 の程度である¹⁵⁾。この種のマイクロストリップの許容電力は数 W 程度¹⁵⁾であるので、現在のところ適用範囲は低電力部に限られている。

この種のマイクロストリップと外部との接続は、通常のストリップラインの場合と同様に、同軸ケーブルを介

表 2 集積回路用マイクロストリップ ($z_0=50\Omega$) の減衰定数

導 体	基 板		ϵ_r	$\alpha(\text{dB/cm})^*$
	材 質	厚さ (mm)		
金	セラミック	0.025	9.9	0.098
金	セラミック	0.063	9.9	0.038
金	シリコン($150\Omega \cdot \text{cm}$)	0.025		1.3
金	シリコン($1500\Omega \cdot \text{cm}$)	0.025		0.24

* 2 GHz における値

図 8 (a) ストリップライン対同軸変換器

図 8 (b) 集積回路用マイクロストリップ対同軸変換器

して行なわれるので変換回路が必要である。変換器の構造は種々あるが、図8に示す構造で VSWR を 1.1 以下に保つことができる¹¹⁾¹⁸⁾。

この種のマイクロストリップを用いると、通常のストリップラインで構成する回路素子はほとんど構成できるだけでなく、特に高誘電率の基板を用いることによって、低インピーダンスの回路をきわめて小形に作りうるので、低インピーダンスを必要とする回路、たとえば、トランジスタ増幅器の構成に有利である¹⁹⁾。

集積回路に集中定数回路素子を利用することが最近注目されてきた¹⁵⁾²⁰⁾。集中定数回路素子が使えるためには、素子全長にわたっての位相差が無視しうることが必要であり、したがって、素子の寸法は波長にくらべて充分小さくなければならない。これは必然的に素子に蓄えられるエネルギーの減少をもたらす Q の低下は免れない。前者については、たとえば、UHF 帯に必要なインダクタンスの値は nH 単位の大きさであり、したがって、素子の寸法は小さくてすむので問題はないが、後者は無視できない。しかしながら、 Q の低下は犠牲にしても超小形化が要求される場合には、集中定数回路の利用はきわめて有効である。写真3にインダクタンスコイルの例²⁰⁾を示す。コンデンサの例としては、無水珪酸の基板に薄膜導体をもって構成した 15 pF のコンデンサが、0.5~2 GHz で 50 程度の Q 値が得られたと報告されている²⁰⁾。また、集中定数回路素子による UHF 帯増幅器の試作もすでに行なわれている²⁰⁾。

この種の集中定数回路素子を用いて共振回路を構成すると、 Q の値は 10^1 程度しか得られず、また、前述のマイクロストリップによっても高々 10^2 程度である。集積回路で高 Q

(a) 構造 (直径 1.52mm)

写真3 超小形インダクタンスコイル

図9 通常の設計工程と計算機とトレーサによる設計工程の比較

の共振器を構成するには、後述のフェリ磁性体の強磁性共鳴が利用される。

以上のべた回路素子の製造工程にも新しい傾向があらわれてきている。たとえば、電子計算機とトレーサを組合せて印刷原版を自動的に製作する方法の提案がある²¹⁾。これはマイクロ波回路素子の製作工程においてかなりな部分を占める設計工程（計算、製図）を自動化することにより、製作時間の短縮と原価の引き下げをはかろうとするものである。図9はこの方式と通常の設計工程との比較を表わしている。

回路素子の小形化に伴い、整合負荷、抵抗減衰器などの回路部品も、コネクタを介さず直接回路に接続できるようピル形、リボン形などの構造のものが開発されている。

5. フェリ磁性体回路

最近、多結晶ならびに単結晶のフェリ磁性体の開発が進み、UHF 帯においても広く利用されるようになった。

5.1 アイソレーター

UHF 帯におけるアイソレーターを大別すると、低または中電力用としては、(1)共鳴形、(2)3ポートサーキュレーターの一つのポートを整合負荷にて終端するものがある。前者は基本的には 1957 年に Duncan²²⁾によ

VSWR < 1.1
周波数 DC~4 GHz
電力 1W

写真4 ストリップライン用整合負荷の例 (TMC Tech 社)

図 10 H_{DC} と $\mu_{\pm}$ の関係

て発表されたもので、同軸線に ϵ が 10 程度の絶縁物を入れて軸方向の磁界をつくり、共鳴形アイソレーターとしたもので、1 オクターブ程度の周波数範囲をもっている。しかし、UHF 帯では $\mu_{\pm}$ と直流磁界との関係は図 10 のようになって順逆比、すなわち、共鳴磁界における $\mu_{\pm}$ の比は小さくなる傾向にあり、市販品のカタログをみても、順逆比は 10 以下にすぎず、測定用パッドとしての意味はあっても、通信機用としては問題にならない。後者は図 10 の斜線の部分を使用するので μ_{+}' および μ_{-}' は充分小さくなっており、これによる損失はいくらでも減少させうるので、順逆比は 20~100 に達している。

大電力アイソレーターすなわち、5~20 kW 程度の連続波を伝送するものには共鳴形の導波管形単向管に同軸導波管変換器を設けたものと、後述するような大電力に耐える Y サークュレーターのひとつのポートに大電力用整合負荷を設けたものに大別される。前者は表 3 の程度の特徴を与えるが、順逆比、重量、寸法からみて決して満足すべきものでない。しかし最近、大電力用サーキュレーターで良好な特性のものが開発されつつあるので、後者の方法によるアイソレーターが可能になってきた。

5.2 サークュレーター

UHF 帯におけるサーキュレーターを大別すると、中低電力用には、ストリップライン形の T または Y サークュレーターと集中定数形の Y サークュレーターがある。ストリップライン形のサーキュレーターは広い周波数範囲にわたって使用されているが、UHF 帯では挿入損失を小さくしようとすると形状が大きくなってくる。非相戻回路を集中定数によって構成しようとする試みは、最

表 3 市販大電力アイソレーターの特性

形名(会社名)	周波数 (GHz)	電力容量 (平均) (kW)	逆方向損失 (dB)	挿入損失 (dB)	VSWR	重量 (kg)	長さ (mm)	備 考
IUH 4 (Ray.)	0.225~0.4	15	16	1.0	1.25	272	1845	同 軸
IUH 2 (Ray.)	0.35~0.7	20	6	1.0	1.17	110	900	導波管
IUH 1 (Ray.)	0.5~0.7	6	7	1.1	1.25	45	750	導波管

(a) 外 観

(b) 特 性

写真 5 市販の集中定数サーキュレーターの例 (TDK 社)

初アイソレーターについて行なわれたが²³⁾²⁴⁾、その後 Y サークュレーターに関して研究され、良い特性のものが開発された²⁵⁾²⁶⁾。写真 5 に市販されている集中定数形サーキュレーターの特性の例を示す。

この種のサーキュレーターに補償回路を設けて広帯域化したものでは、1 オクターブ程度の周波数帯域が得られる²⁵⁾²⁷⁾。構造の面では、写真 6 に示すようなプラグイン形のものが製作されており、集積回路に適するように工夫されている。

大電力サーキュレーターでは、フェライトの温度上昇の解決法に種々の工夫がなされており、大別すると、ストリップライン構造のまま放熱の改善をはかるゆき方²⁸⁾と、同軸から導波管に変換して本質的には導波管 Y サークュレーターとして動作させるという、二通りのやり方で開発が進められている。

5.3 無接点スイッチ

中低電力のサーキュレータースイッチは、最近ラッチング動作化してゆく傾向にある。ラッチング動作の場合は、制御電力は切換えの瞬間だけでよいから、励磁機構はきわめて簡単になり、著しく小形軽量化することができる。すでに UHF 帯のラッチングスイッチも市販されており²⁹⁾、フェライトスイッチは今後この方向に向かうものと予想される。

大電力の無接点スイッチは、OFF 時に充分なアイソレーションを得られるかどうか問題であり、その

写真 6 プラグインサーキュレーターの例 (W.M.L 社)

解決に種々の考案がなされている。最近、許容電力 10 kW (平均), 挿入損失 0.2 dB, アイソレーション 36 dB 程度の値が報告されている³⁰⁾。

5.4 YIG 共振器

フェリ磁性体の新しい応用のひとつに YIG 共振器がある。これは YIG (Yttrium Iron Garnet) 単結晶球の強磁性共鳴周波数が直流磁界に比例し、かつ、その無負荷 Q が 10^3 程度の高い値をもっていることに着目して、これを共振器として用いたものであり、超小形であることと、電子同調がきわめて容易であることから、最近注目されている³¹⁾。

ガリウムをドーパした YIG (YGaIG) 単結晶では、球状で数百 MHz まで共鳴周波数を下げることができるので、UHF 帯においても、濾波器、掃引発振器などの共振素子として用いることができる。現在市販されている UHF 帯の YIG 濾波器の特性を表 4 に示す。YIG を用いた可変周波発振器も製作されており、1 オクターブ程度の周波数範囲をもち、1 GHz で 10 mW 程度の出力が得られている。その大きさは 25 mm 立方程度で、きわめて小形である。YIG 共振器の欠点はその非直線性で、濾波器の仕様にも必ずこの項が規定されているから注意することが必要である。

表 4 市販 YIG 濾波器の特性

形名 (会社名)	周波数 (GHz)	帯域幅 (MHz)	挿入損失 (dB)	阻止域減衰量 (dB)	VSWR	直線性 (%)
MA-9A2(M. A.)	0.25~0.5	20~30	4.0	35	1.5	0.1
MDC-U200(M. P. C.)	0.3~1.0	22	4.0	20		0.4
D401-H(LOR.)	0.5~1.0	25	4.6	70		0.25

YIG 単結晶の特徴を最もよく生かした応用は、4 章でふれたように高 Q 共振器としての集積回路への応用である。図 11 に一例を示す³²⁾。

図 11 YIG 共振器を用いた集積回路

5.5 遅延回路

YIG 単結晶中を伝搬する磁気弾性波、スピン波および静磁波の伝搬速度は $10^5 \sim 10^6 \text{ cm/sec}$ 程度であるので、この性質を利用した遅延回路の研究が最近進められており³³⁾、将来小形可変遅延回路として応用の可能性がある。

6. む す び

以上、UHF 回路の動向を、回路の小形化とフェリ磁性体の利用の面を中心にして具体的にのべたが、UHF 回路は半導体デバイスおよびフェリ磁性体と切離しては考えられないので、将来の進展はこれらの開発に負うところが多い。

〔参考文献〕

- 1) CCIR 報告, 第 215 号 (ジュネーブ 1963)
- 2) 武藤: 超小型回路の用語, 信学誌, **49**, 4(1966)533
- 3) J. M. C. Dukes: Printed circuits, Macdonald, London (1961) 153-196
- 4) G. L. Matthaei, L. Young and E. M. T. Jones: Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures, McGraw-Hill, New York (1964)
- 5) IEEE Trans., **MTT-13**, Nov. 5 "Special issue on microwave filters", Sept. (1965)
- 6) L. Young: Advances in microwaves Vol. 1, Academic Press, New York (1966) 115-205
- 7) R. Levy: General synthesis of asymmetric multielement coupled-transmission-line directional coupler, IEEE Trans. **MTT-11**, July (1963) 226
- 8) W. O. Tyminski and A. E. Hyles: A wide-band hybrid ring for UHF, IRE, **41**, Jan. (1953) 81
- 9) Sichak: Coaxial line with helical inner conductor, IRE, **42**, Aug. (1954) 1315
- 10) A. I. Zverev and H. J. Blinichikoff: Realization of a filter with helical components, IRE Trans., **CP-8**, Sept. (1966) 99
- 11) M. Caulton, J. J. Hughes and H. Sobol: Measurement on the properties of microstrip transmission lines for microwave integrated circuits, RCA Rev., **27**, Sept. (1966) 377-391
- 12) T. M. Hylton: Microstrip transmission on semiconductor dielectrics, IEEE Trans., **MTT-13**, Nov. (1965) 777
- 13) G. T. Poome, H. A. Hair and C. W. Cerst: A Planar 4 port switchable circulator for microwave integrated circuit, 1967 International Solid State Circuit Conf. Feb. (1967)
- 14) D. C. Buek: Ferrite microstrip propagation, 1967 G-MTT International Microwave Symp., IV-7, May (1967)
- 15) H. Sobol: Integrated techniques for microwave, Electronics **40**, March 20 (1967) 112
- 16) H. A. Wheeler: Transmission line properties of parallel strips separated by a dielectric sheet, IEEE Trans., **MTT-13**, March (1965) 172
- 17) H. A. Wheeler: Transmission line properties of parallel wide strips by a conformal-mapping approximation, IEEE Trans., **MTT-12**, May (1964) 280
- 18) J. R. Pyle: Broad-band coaxial-to-strip line transmission, IEEE Trans., **MTT-12**, May (1964) 364
- 19) K. C. Wolters and P. L. Clar: Microstrip transmission lines on high dielectric constant substrates for hybrid microwave integrated circuits, 1967 G-MTT International Microwave Symp., V-2, May (1967)
- 20) D. A. Daly, S. P. Knight, M. Caulton and R. Ekholdt: Lumped elements in microwave integrated circuits, 1967 G-M T T International Microwave Symp., V-5, May (1967)
- 21) W. K. Cetaruk: Computer draws art work for strip-line device, Microwaves, **5**, 11 (1966) 48
- 22) B. J. Duncan, L. Swern, K. Tomiyasv and J. Hannmacker: Design consideration for broadband ferrite coaxial line isolators, IRE, **45**, Apr. (1957) 483
- 23) 小笠原, 志方: 二種の UHF 用集中定数単方向性回路の実験, 昭 38 年信学全大予, No. 224
- 24) B. Seidel: Compact passive nonreciprocal structures for

- UHF frequencies, J. A. P., 30, Apr. (1965) 1565
- 25) 小西: VHF, UHF 帯集中定数 Y サーキュレータ, 信学誌, 48, 5 (1965) 899
- 26) 小西: VHF, UHF 帯の小形サーキュレータとその応用, テレビ誌, 19, 6 (1965) 388
- 27) G. Mechesney and V. Duun: Broadband lumped element UHF circulator, IEEE Trans., MTT-15, March (1967) 198
- 28) Y. Konishi: High power UHF Y-junction circulator, 1967 G-MTT International Microwave Symp., III-2, May (1967)
- 29) 例えば Western Microwave Laboratories Inc. カタログ
- 30) 小西, 金木: UHF 大電力スイッチ, NHK 技研月報, 9, 12 (1966) 566
- 31) J. F. McCole and A. W. Shaw: Application of YIG devices, Microwaves, 4, 9, Sept. (1965) 62
- 32) J. C. Hoover, G. A. Foggiano, R. W. Peter and L. B. Valdes: Recent advances in microwave integrated circuits combining semiconductor and ferrimagnetic elements, IEEE Inst. Conv. Rec., Part 6 (1967) 39
- 33) I. Kaufman: Microsecond time delay of microwave signals, Microwave journal, 9, 7 (1966) 69

— 今月の表紙 —

NHK 徳島教育放送実験局に設置された 東芝製 30 kW UHF TV 放送機電力増幅部

東京芝浦電気株式会社

東芝は日本最初の UHF 大電力テレビ放送機の電力増幅部を本年 2 月 NHK 徳島教育放送実験局に納入した。

本放送装置は納入以来、無事故にて運転を続けておりこの実績は UHF の本放送を開始する気運に貢献した。

この放送機の映像出力管には東芝製クライストロン (M-4640) を二本並列運転にて使用して 30 kW の出力を得、音声には 1 本のクライストロンを使用して 7.5 kW の出力を得ている。もしクライストロンの 1 本が事故を起こした場合には事故間を瞬時に回路から切り離し、出力 15 kW にて放送を継続することが出来る。クライストロンのコレクターの冷却には自然循環の蒸発冷却方式を採用しているので騒音が無く効率の良い冷却を行なうことが出来る。

コレクター用直流電源 (20 kV, 3 A) の整流素子はサージ電圧に強いコントロールド・アバランシュ・シリコンを使用して信頼度を増し、トランス、チョーク類は乾式のものを使用している。

なお、現在放送は 10 kW にて行なわれている。

東京芝浦電気株式会社
30kW UHF TV 放送機電力増幅部

— 告 告 目 次 —

池上通信機 (株) …………… 広後 8	(株) 新光電気商会 …………… 広前 6	日本通信機 (株) …………… 広前 1
(株) イムベックス・ケミカルス …… 広前 12, 13	関谷産業 (株) …………… 広後 6	日本電気 (株) …………… 表紙 4
(株) 大沢商会 …………… 広前 14	ソニー (株) …………… 広前 3	日本ビクター (株) …… 広前 4, 5
(株) 加藤電気工業所 …………… 表紙 4	大日日本電線 (株) …… 広後 2	富士写真フイルム (株) …… 広後 1
キャノンカメラ (株) …………… 広前 7	中央無線 (株) …………… 広後 5	松下通信工業 (株) …… 会告中
(株) 協立電機研究所 …………… 広前 11	DX アンテナ (株) …… 広後 5	松下電器産業 (株) …… 広前 15
興和 (株) …………… 広前 16	電気音響 (株) …………… 広前 10	目黒電波測器 (株) …… 広後 4
コスミカ光学 (株) …………… 広前 2	東京芝浦電気 (株) …… 表紙 1	八木アンテナ (株) …… 広後 7
佐藤金属工業 (株) …………… 広後 3	東芝商事 (株) …………… 表紙 3	リーダー電子 (株) …… 目次裏
芝電気 (株) …………… 表紙 2, 広前 8, 9	(株) ナニワ商会 …… 広後 7	
芝電気測器 (株) …………… 広前 8, 9	日本真空光学 (株) …… 広後 3	

本誌広告取扱店 広 和 堂 東京都港区東麻布 1-4 朗生ビル
放送文化通信社 東京都千代田区神田小川町 2-3 新小川町ビル

電話 (584) 6791
電話 (291) 9941-2