U.D.C. 621.396.677 : 621.397.5

八木空中線

斎藤五一* 古谷勝美**

"Yagi" Antenna

By Goichi Saitō, Yagi Antenna, Ltd. and
Katsumi Furuya, Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In radio communications system, the effective radiation and reception of radio waves are the first consideration, and it is the antenna that takes first the charge of these functions, that is, to convert electrical energy into radio waves starting them into space to the direction where they will do the most good, and to abstract electro-magnetic wave with sharp resonance.

Today, radio engineering is in the track of a marvellous progress. And the high frequent radio wave has been brought into the field of practical application in many a way, the necessity of the high efficient antenna for low power station use becoming for greater.

Particularly as regards the receiving system, we have had no means for increasing S/N ratio except by the use of an improved antenna. With the wave-length becoming shorter, the uni--directivity of the antenna has been acquiring much more importance in radiating and abstracting radio wave energy.

"Yagi" Antenna invented by Dr. Hideji Yagi, the eminent scientist of radio engineering of Japan, is the uni-directional antenna held in very high repute since its appearance. Its uni-directivity is provided by the use of antenna element that reacts upon the main antenna element only through mutual impedance, and therefore simple feeding is made possible.

Special features of this antenna may be summarized as follows:

(1) Extremely high uni-directivity,

(2) Ease of handling, and

(3) Simple construction

For such reasons, this antenna has come to prevail with such a rapidity in many communication practices.

In this paper, the design and the construction of "Yagi" Antenna are described in detail by the writers who are staff engineers in charge of its manufacture.

〔I〕 緒　　言

1896年ブリストル水道に於ける世界最初の無線電信の実験がマルコニーの手によつて行われ、爾来 60 年間に無線通信の技術は極めて長足の進歩を遂げて来た。この発達の歴史は即ち空中線発達の歴史であるといつて過言ではなく、始めてマルコニーの使用した接地空中線から現在の複雑な構成をもつ空中線系の出現迄通信工学の発達と不即不離に進歩発達し来つている。

この間使用される波長が次第に短かくなり、空中線の

* 八木アンテナ株式会社
** 日立製作所戸塚工場

形状もこれに応じて種々変つたものが出現して来た。最近のレーダーに使用される空中線の如きは、奇しくもマルコニーの実用化実験に先立つ約 10 年、ヘルツが実験室内で使用したものと同じ考え方で作られている。

テレビジョンの中継に、又多重通信に今後益々この種の極超短波の空中線は活躍するであろう。

抑も空中線は送信出力を電磁波として空間に送り出し又遠来の信号を迎えて損失なく受信機へ導く、所謂玄関口を司るものであるから、その能率の良し悪しは非常に重大である。

殊に受信用空中線の場合の如く、初段の真空管の発生する雑音によつて最低入感電圧が決つてしまうものでは空中線の改良による他は S/N 比の大巾な改善は望むべくもない。

通信波長が次第に短かくなり、性質も光線に近くなつて来るにつれて、空中線に対する要求も高度化し、超短波極超短波に使用される指向性空中線の如きは、これなくして良好な通信の確保は不可能とゆう所迄来ている。

八木空中線は、この高度化された要求に適合し、使い易く架設し易いとゆう特長をもつた頗る実用的な形式であつて、本邦の碩学八木秀次博士の発明になることは余りにも有名である。

現在日立製作所は八木アンテナ株式会社の協力工場として、各種の超短波帯通信用空中線やテレビジョン受像用空中線を製作しており、本稿はこれらの八木空中線の特性を説明し、併せて一つの設計方針に及んでいる。

〔II〕 空中線の指向性と利得

空中線の指向性が要求されるのは大別して二つの理由からである。一つは効率の問題から、今一つは S/N 比の問題からで、後者は整合の問題とも関連して指向性空中線の大きな特長となつている。

メガホンを使えば声がよく通るのと同様に、空中線から空間に発射されるエネルギーを集束してやればその効率は上る。これが空中線の利得と呼ばれ、通常指向性を与えぬ場合——即ち無指向性の空中線と比較した比率を以つて呼び、電力比の対数の 10 倍をとつて単位は db で表す。即ち 10 db の利得ありとゆうことは無指向性空中線に比べて 10 倍の効率ありとゆうことで、換言すれば利得 10 db の指向性空中線を使用する時は 10 W の送信出力を持つ送信機を使用して、無指向性空中線を使用している 100 W 局と同等に交信出来るとゆうことである。

受信用の場合も大体同じに考えてよいが、受信の場合は今一つ大切な効用がある。それは外来雑音の減少とゆうことで、よい受信用空中線とは目的の電波のみを拾い上げて、他の外来雑音は拾わぬものをいゝ、これは指向性を利用して方向を限り、鋭く目的周波数に共振させて広い周波数帯に散在する雑音を切捨てることによつて達せられる。

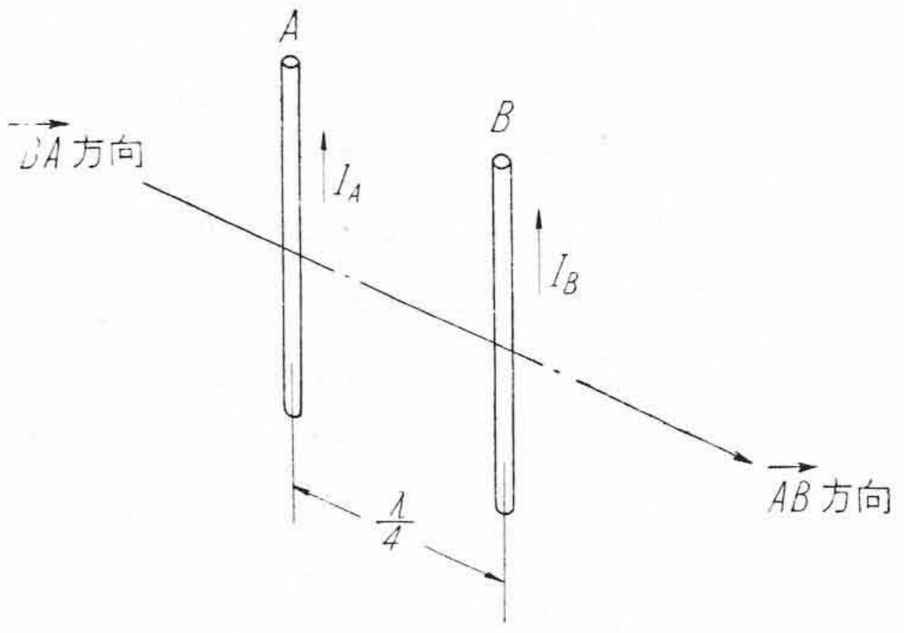
即ち指向方向に大きな利得を持たせるとゆう積極的な効用と、上記の消極的な効用が重なつて極微電界に於ける空中線の占める地位は極めて大きい。

〔III〕 指向性空中線の構成

空中線に指向性を附与することは前章にも述べた如く割合に簡単であつて而も大きな効果が得られる。この指向性を与える方法及び理論に関しては既に度々発表されているが[1]~[6]、その根本となる考え方は二本以上の空中線の相互干渉により、指向方向の電磁界を強め反対方向の波を弱めてやる事である。

一例として**第1図**の如く指向方向の軸線上に空中線素子を一列に並べた場合を考えてみよう。間隔は $\lambda/4$ とし、各素子を流れる電流は相互に 90° の位相差があるとする。この時 I_A が 90° 進相にあつたとすれば $\vec{AB}$ 方向の電磁界は 90° 進んだ I_A が $\lambda/4$ 離れた点にある I_B の電磁界と重畳することになり、これは同相であるから強め合う。逆に I_B の 90° 遅れの電磁界が I_A の電磁界に重畳すれば 180° の位相差となり逆相で弱め合う。結局**第1図**の矢印の如く $\vec{AB}$ 方向に対して指向性が与えられる事になる。

この場合間隔は $\lambda/4$ でなくとも良く、要は干渉によつて指向方向に集中して発射出来ればよい。即ち各素子を流れる電流の位相と素子相互の間隔に所望の関係を保つように設定され、又饋電されなければならない。これは実は極めて難しい問題であつて専問の知識なく架設は困難とされている。八木空中線はこの饋電方式を簡単化し



第1図　二本の空中線配列によつて指向性をもたせる機構の説明図

Fig. 1. Diagram Illustrating How Directivity Is Obtained by the Use of Two Spaced Antenna

たもので相互誘導によつて直接励振をうけていない二次素子に電圧を誘起させ、素子の長さを調整することによつて誘起する電流の位相を整え、導波用反射用の各素子を構成させた導波器1本以上と反射器を具えた空中線系であつて、設計の時確実に設定されていれば、饋電は主空中線に行うだけですむ誠に簡便な空中線が得られる、又構造も簡単であり、取付も通常小さい面積を占めればよい上に調整部分を残さないから、設置に特殊技能者の手を煩さない利点があり、テレビジョン受像用、FM 実験局用に広く利用されている。

〔IV〕 整 合 の 問 題

送受信機と空中線は饋電線で結ばれるが、この間にイムピーダンスの不連続があると反射が起り、この反射勢力は饋電線上に定在波を作つて損失となる。このような不連続をなくすることを、空中線の入力イムピーダンスと、饋電線の特性イムピーダンスと整合を取るといゝ、整合の状態は利得指向性とは別に、空中線の良さを決める大切な問題として攻究されている。正確にいえば空中線の入力イムピーダンスの値が問題とされるべきであろうが、慣習上反射された勢力が饋電線上に作る定在波電圧の最大最小の比を取つて定在波比（Standing wave ratio 略して S.W.R.）と呼び、これを以つて整合の状態を表している。勿論理想的には1となるべきであるが、実際には望めない。大体に於て2以下であれば支障がないといわれているが、吾々は 1.5 以下を目標にしている。

S.W.R. と入力イムピーダンスには次のような函数関係があつて結局は同じ事を表していることを附記する。

$$\text{S.W.R.} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$$

但し Γ は反射係数と呼ばれ

$$\Gamma = \frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0}$$

上記の式中 Z_{in} は、空中線の入力イムピーダンスを表し、Z_0 は饋電線の特性インピーダンスを表している。

実用上の問題に就いて、例えばテレビ受像用の空中線では、単にエネルギーの反射損失が生ずるばかりでなく、饋電線を往復した反射波がある時間遅れた像を生ずるため所謂複像を生じ、通常これは時間的に僅かなために近接して出て、恰も水平方向の分解能が低下したかの感を抱かせる。このためにテレビ受像用空中線は細心の設計の施されたものを使用しないと折角の受像がボケてしまうので、整合の問題は一般の通信用空中線よりも却つて難しい位である。

又高感度の通信用受信機を極微電界で使用する場合は、空中線はその初段の共振回路と協力して外来信号を内部で発生する雑音より高いレベルに保つ役割を果している。S/N 比が感度を決定する極微電界では受信機の内部雑音は、入感最低電圧を限るから、希望する信号だけを大きく浮び上らせる空中線の使命は大きい。極言すれば、極微電界に於ける S/N 比の改善は空中線の改良を俟たずしては不可能であるといえる。よく整合のとれた高利得の空中線こそ望ましいのである。

〔V〕 理 論 と 実 測

空中線理論の特質は、比較的よく実際に測定したものと一致している点で、電気力学の一分野として独自の発展をし来つたのもこの故であろう。この傾向は八木空中線に関しても同様にいえる。

しかし、八木空中線は極めて微妙な調整を要する箇所多く、又使用波長が短くなり、各部寸法が波長に比して無視し難くなるにつれて、理論との距りも次第に大きくなつて来る。これ等の定量的解明はそれ自身大きな問題であつて、東北大の通研に於てこの検討が行われている由である。

しかし乍ら、何れにしてもこれらの寸法を机上の簡単な理論計算のみで決定することは危険であり、数多く集積された実験データにより作られた実験式によつてこれを修正したものを使用することが必要である。更にこれらによつて設計されてものを最終的に今一度実測を行つて最も良好な状態迄追い込むことが必要である。

このように VHF 帯用空中線設計における理論と実測の関係は不可分であつて、車の両輪にも比えられるべきものであり、何れか一方に偏つた設計方針は危険であつて優秀な製品を生む所以ではない。

数多くのデータの集積による近似度の高い計算と、豊富な経験よりする卓越した実験技術、加うるにこれらを能率的に読み取ることの出来る測定装置が優秀な製品を生み出す素因となるものであらう。ここではその性質上、細かい数字数式を避けて、その概略を実測に就いて次章以下に略述するに止め、後日稿を更めて詳述する機会を得たいと考える。

〔VI〕 設 計・試 作・検 討

八木空中線の設計に当り、先づ第1に検討されるのは利得であつて、この要求に従つて導波器の所要本数が決められる。勿論帯域巾の問題、前後比の問題、指向角の問題等の関連性のある諸特性も併せて考えられるが、如何なる形式にするかとゆう事は主として利得によつて定められる。次に饋電方式及び電波の偏向面の問題等を考慮して大体の構造が決定される。この時主空中線を折返しダイポールとしておけば、後に入力イムピーダンスを調整する場合至便であるので量産製品以外はこの形をと

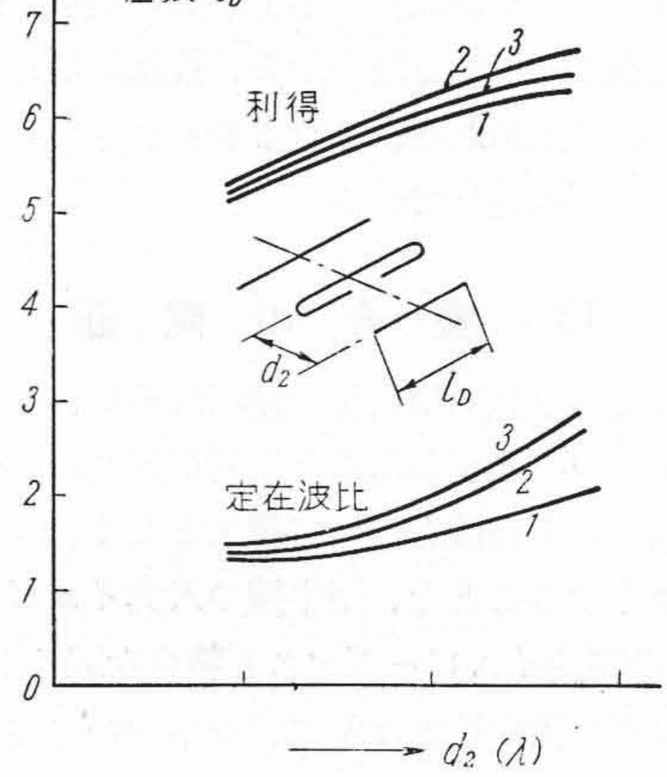
る。以上の概略が決定した後に機械的な構造の設計に移る。元来八木空中線は簡単な構造が得られる一面、全体が片持梁の構造となり、風圧、振動、衝撃等の考えられる外力に対して苛酷な条件に曝されるため、構造上の検討は入念に行われなければならない。

使用目的から固定用室中線に対しては、最悪の場合 50 m/sec の強風に耐える考慮を払い、移動用に対しては 10 g の加速度と振動に耐える特性と、構造物樹木等に接触する場合を考慮して靱性に富んだ素子を択ぶ等の考慮が払われる。又材質的にも軽量強靱なものを要求される点航空機体の設計に相通ずるものがある。吾々は材料メーカーと緊密に提携をもつて、今後猶一層軽量にして風圧抵抗少く、スマートにして強靱な構造の空中線を作り出すべく努力したい。

これらの中には特殊な加工表面処理等も含まれ、例えば高周波電流が表面に沿つて流れる特性を利用して中空体を用い、更に進んで特殊鋼管の表面に銅メッキして、強靱にして軽量な又電気的特性も遜色ないものを得ている。この銅メッキ層の厚みは波長によつて有効な値があり別に実験から求められる。又電流密度が尖端で零、中央饋電点に近く最大になる事と風圧に対する考慮から多く先細に作られる。

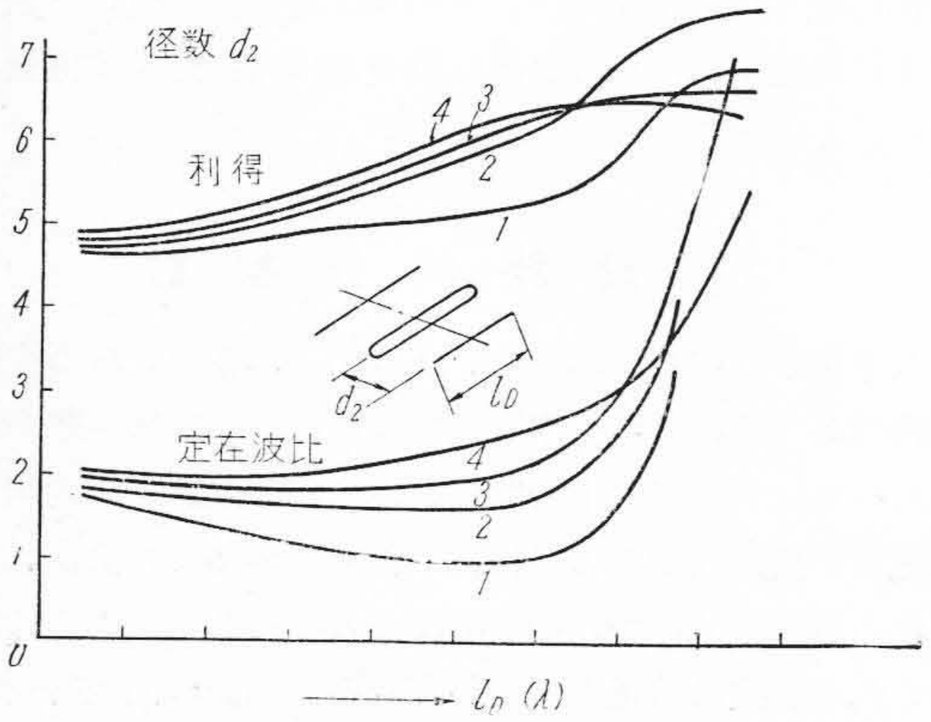
以上を考える時、吾々としては電気的特性から求められた幾何学的寸法を、特性に何等影響を及ぼすことなくスッキリした構造に移す事の難しさを今更乍ら痛感せざるを得ない。

各素子の長さ間隔をそれぞれ変量径数として利得定在波比等を打点して特性を次第に逐い込む。**第 2, 3 図**はこれらの実測の一例であつて、このような方法を最良の点を得る迄続けて行くのである。定在波比と利得は相互に関連をもつて変化する性質があり相反の関係があるため、この最適点は仲々見出し難く実験も亦甚だ繁雑となる。この解決策の一法として利得のみに着目して最良の状態を探し、入力イムピーダンスはこれと全く独立に主



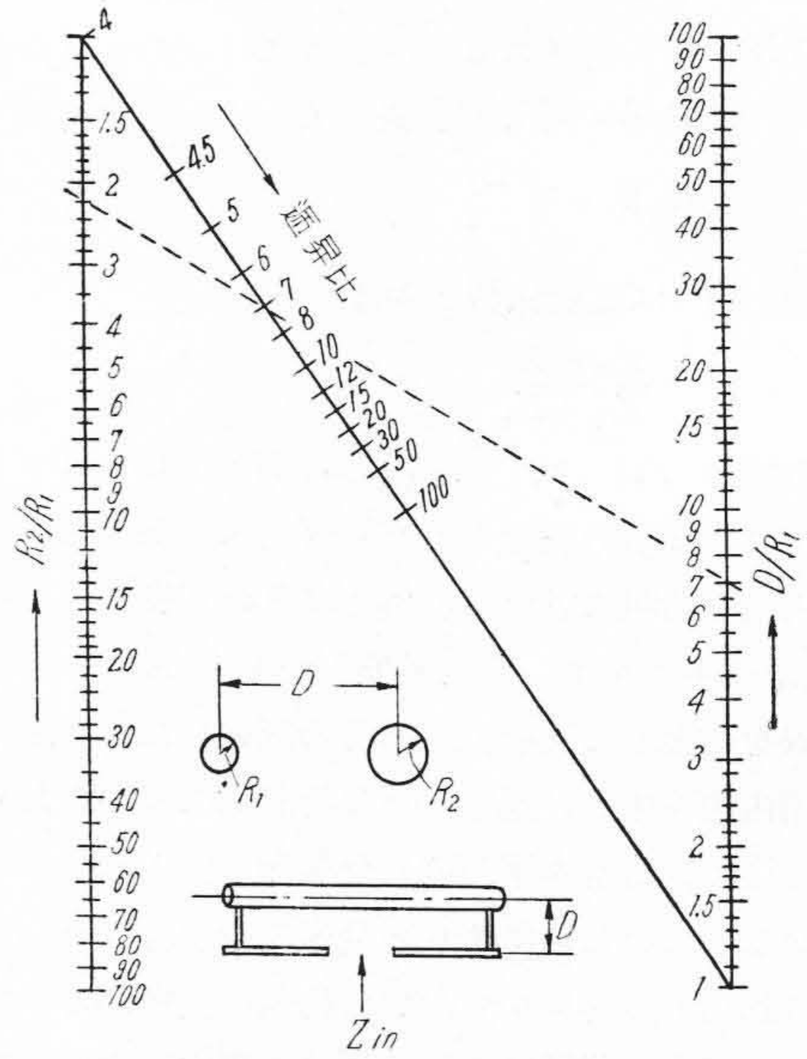
第3図　導波器と主空中線の間隔 d_2 の特性に及ぼす影響線（導波器長を径数とする）

Fig. 3. Diagram of Spacing d_2 V.S. Gain and S.W.R. when Length of Directer l_D Was Fixed



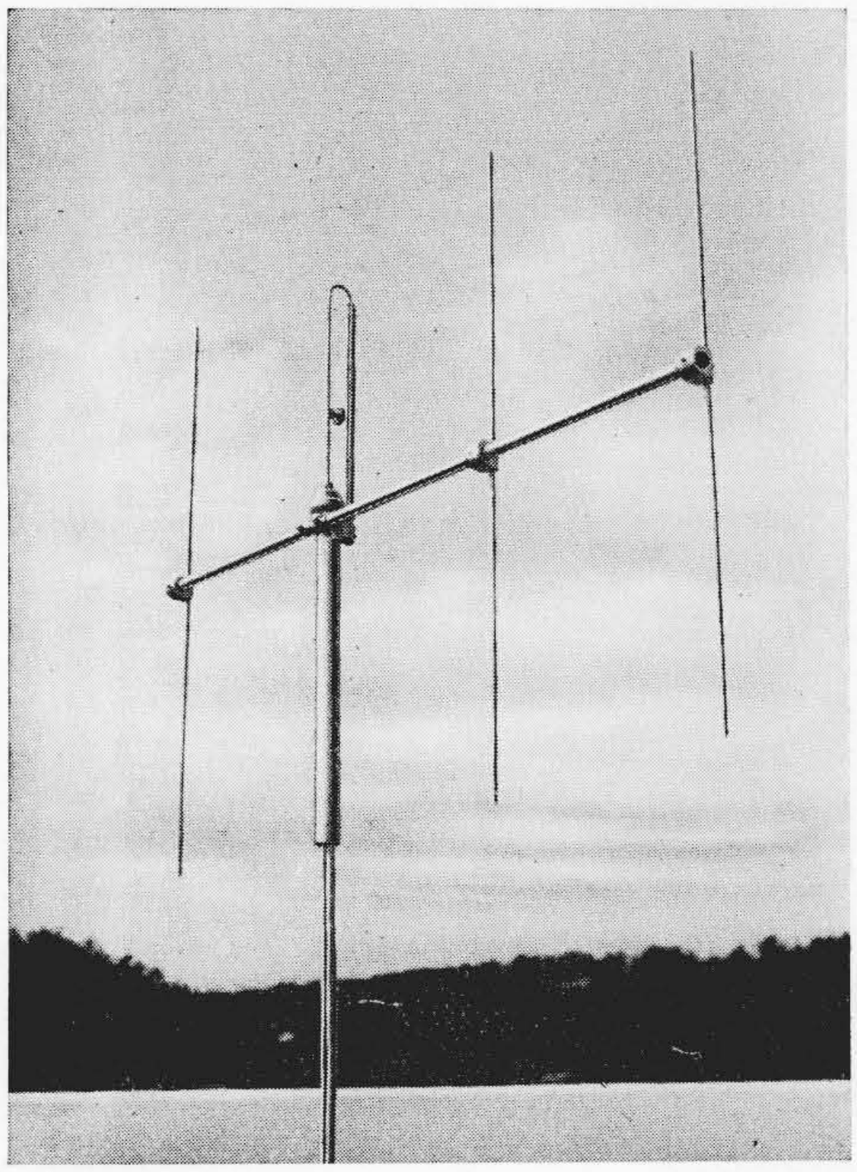
第2図　導波器の長さの特性に及ぼす影響線図

Fig. 2. Length of Director l_D Vs. Gain and S.W.R. when Spacing d_2 Was Fixed



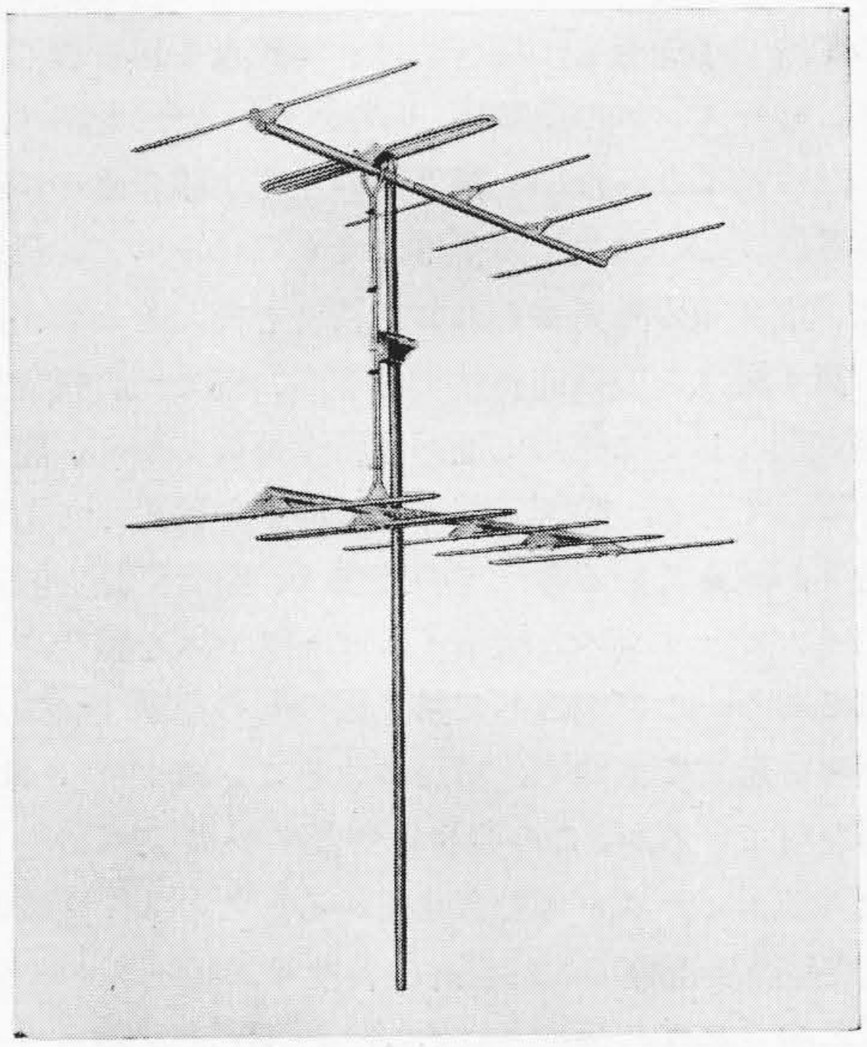
第4図　主空中線を打返し型にした場合の入力インピーダンス Z_{in} の遥昇比計算図表

Fig. 4. Nomogram for Computing Impedance Step Up in a Folded Dipole with Dissimiler Conductors



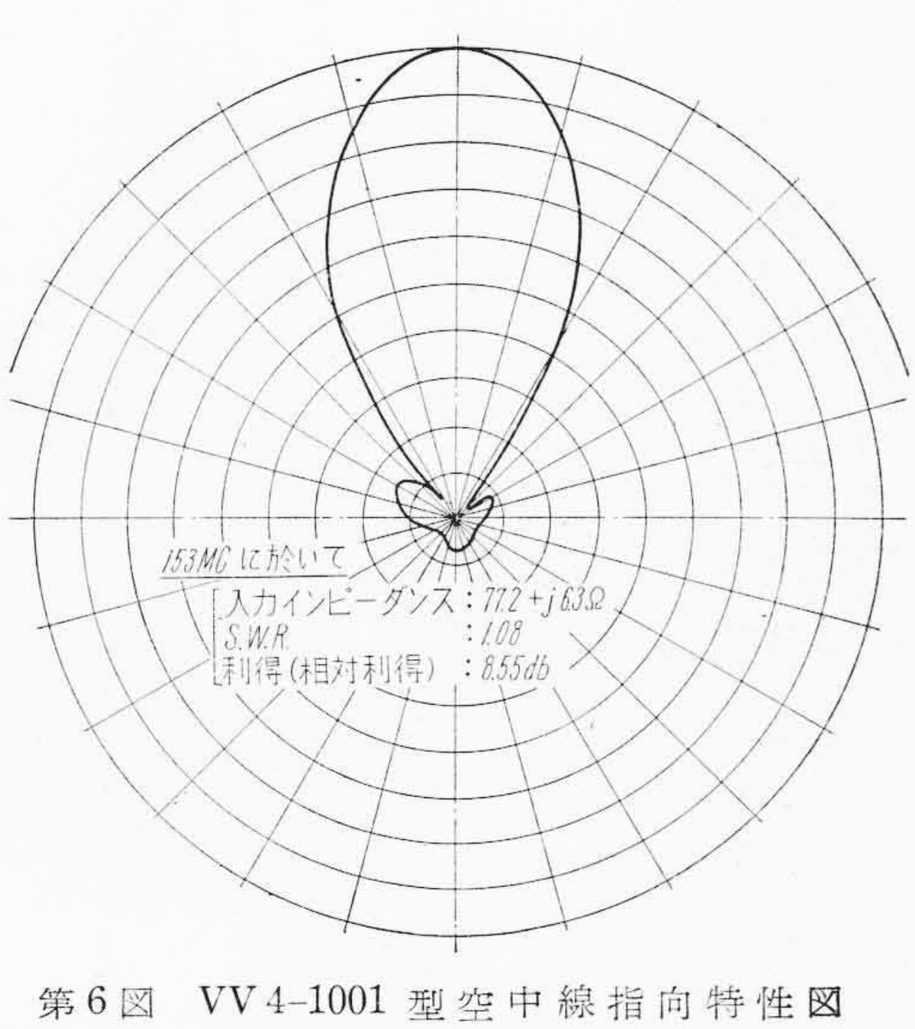
第5図　VV 4-1001 型4素子八木空中線

Fig. 5.　Type VV4-1001 4 Element "Yagi" Antenna



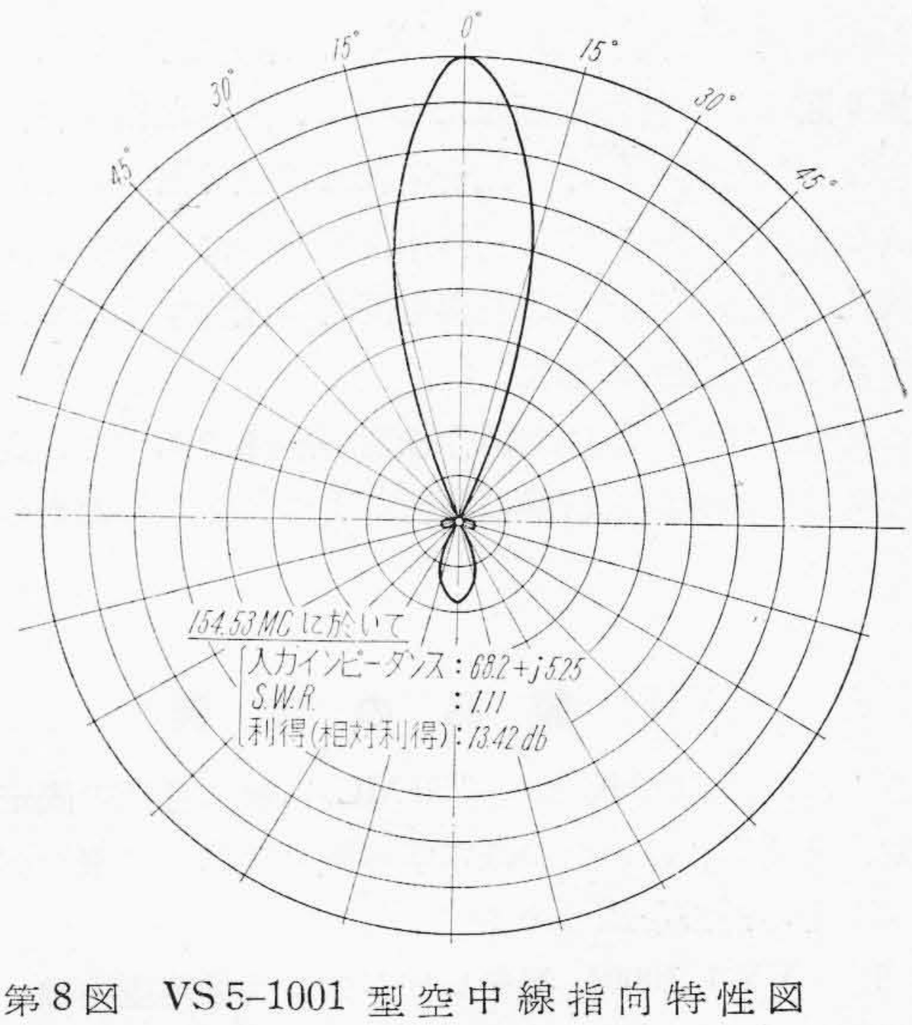
第7図　VS 5-1001 型複合八木空中線

Fig. 7.　Type VS 5-1001 5 Element Stacked "Yagi" Antenna



第6図　VV 4-1001 型空中線指向特性図

Fig. 6.　Horizontal Pattern of Type VV4-1001 Antenna



第8図　VS 5-1001 型空中線指向特性図

Fig. 8.　Horizontal Pattern of Type VS 5-1001 Antenna

空中線の折返し素子の径或は間隔を変える事によつて変化出来る事を利用して、希望する空中線を得る方法がある。厳密にいえば相互に及ぼし合う影響で特性に若干の影響はあるがこれは無視出来る。主空中線の励振素子と折返し素子の径及び間隔によつてイムピーダンスの変化する割合は**第4図**の計算図表から求められる。これは励振素子1本の場合のイムピーダンス 75Ω の空中線が、折返し素子1本を副えた場合何倍にイムピーダンスが逓昇するかを表している。1本に流れた電流が2本に等分に分流すれば、電流は 1/2 になり、見掛け上イムピーダンスは4倍に上る。径の比、間隔を変えることによつて分流する割合を変えれば或程度自由になるわけである。

尤も、このような方法で如何にしても整合のとれぬ場合もあり、例えばスミス・チャートの上の打点が片側を廻つて行く傾向をもつ場合には、特殊な手段を講じて入力イムピーダンスの虚数項(リアクタンス分)を消すようにしなければならない。**第5図**の主空中線の途中に挟んだ蓄電器はこの目的で装荷されたものであつて、最終的には、虚数項の殆ど残らぬよい特性を持たせる事が出来た。**第6図**はこの指向特性であるが、前後比、指向角共に垂直型としては極めて優秀な特性を得ており、整合もよく取れている。同図下端にその特性を書副えてある。

吾々が試みている今一つの方法は、整合回路を設けて入力イムピーダンスと線路イムピーダンスを整合させる方法である。この例として**第7図**のものを示す。これは所謂複合形式であつて、複合にすることにより 3 db の利得を得ているが、この場合は中間に $\lambda/4$ 変成器を介在させてイムピーダンスを合せている。この $\lambda/4$ 変成器は 1/4 波長の饋電線でこれ自身の特性イムピーダンスを Z_2 とした場合両端に接続される Z_1 と Z_3 とを整合させる条件は $Z_1 \times Z_3 = Z_2^2$ であつて、極端な場合を除けば凡ゆる場合に適用出来る。尤も $\lambda/4$ 変成器の動作は波長に対して頗る敏感であつて、帯域巾を要求されるものには適用出来ぬ欠点があるが、一波長のみを取扱う通信用空中線の場合却つて便利であつて、絶大な威力を揮つている。

第8図はこの特性を示したもので、尖鋭な指向特性と大きな利得を得ている。割合に後方に強く出ているのは目的が指向方向に対する利得本位であつたからで、元来前後比を改善すると前方利得も同時に減少するために、この点は若干犠牲にした。

これ等はすべて克明な試作検討の所産であつて、良心的な数多くの実験と理論の裏付によつて作られたものである。

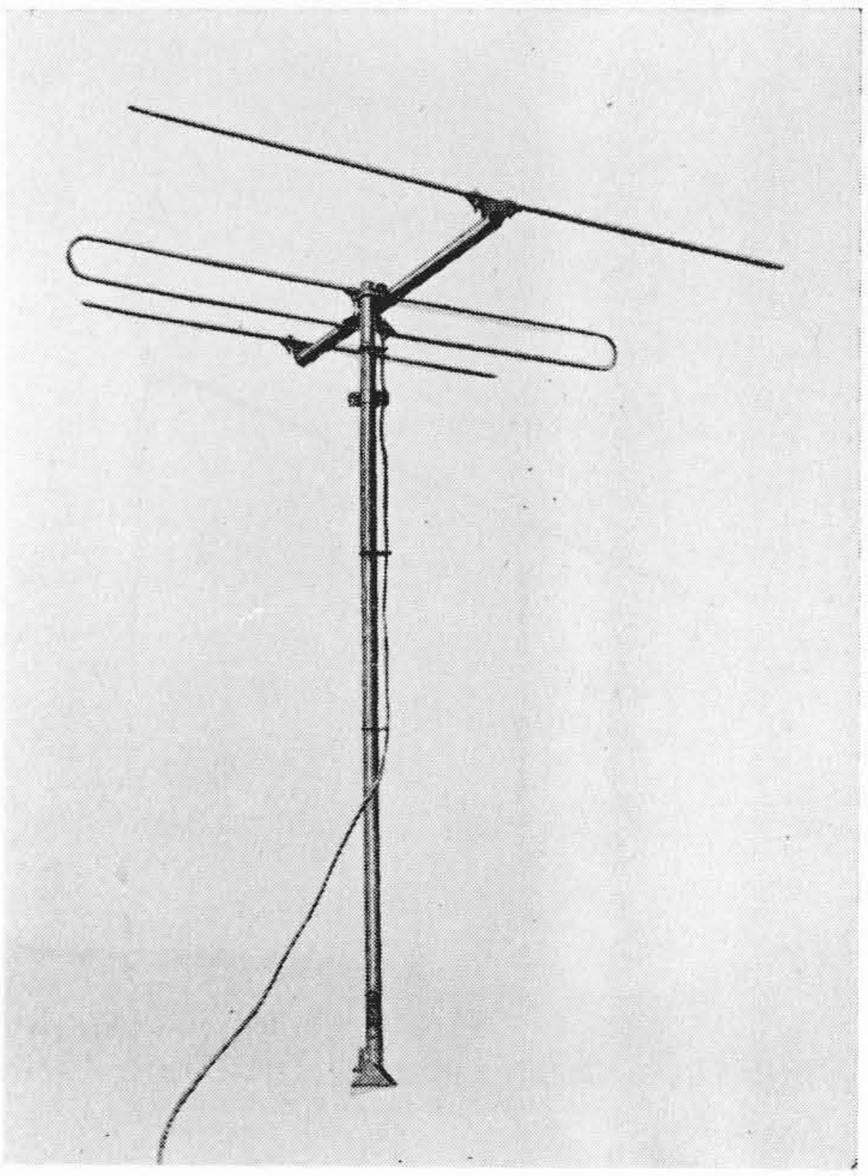
〔VII〕 製　品　の　実　例

吾々は既に 30 MC から 150 MC に亘る各種の固定、移動、多要素或は複合の八木空中線を製作して来たが、こゝにその外貌を紹介する。

(1) VY 1-10001 型テレビジヨン受像用空中線

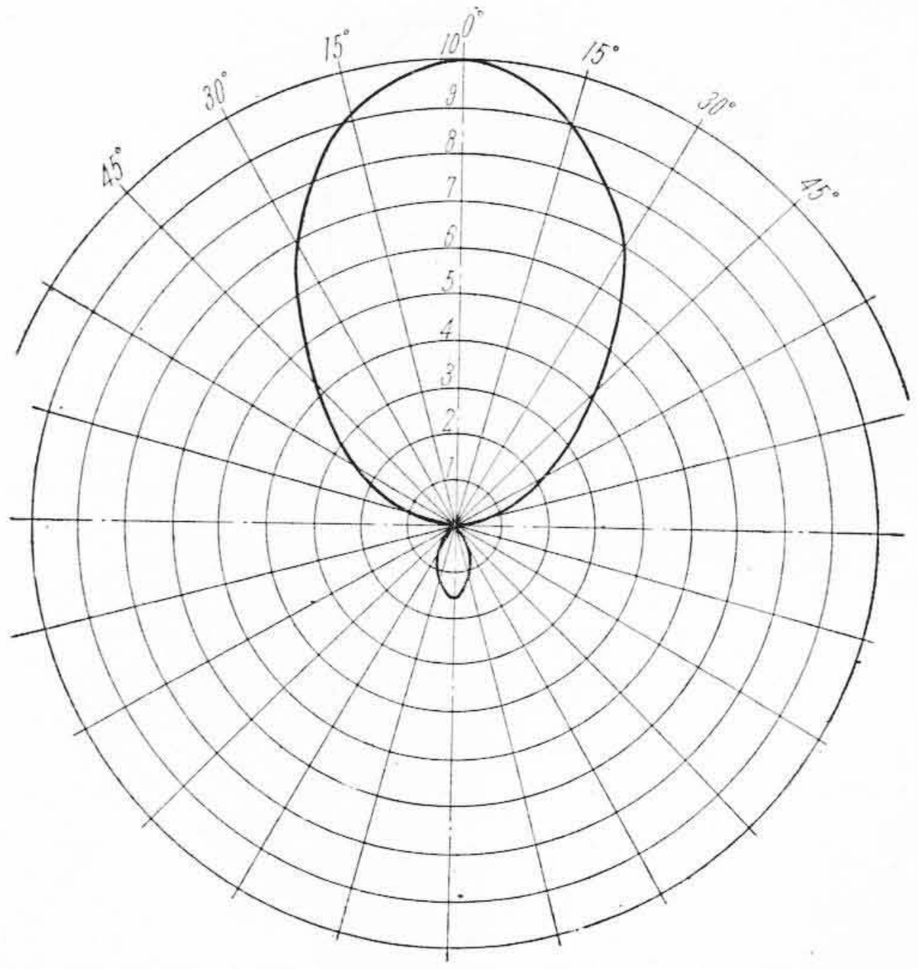
VY 1-10001 型は極めて特性のよい空中線である。この空中線を使用すれば、指向特性、整合の状態がよいために受像条件の悪い都心のビル街等に於ても、複像を生じたり、或はイグニッションノイズ等の外来雑音による画面の乱れが殆ど認められない。又日本の風土に適するよう特に構造を堅牢にして 40 m/sec の風圧に耐える強度を持たせてある。このために高所に架設して安全であり、特性の優秀と相俟つて御好評を戴いている。

この他にも、2素子、4素子のものを市場に送り共に好評を博しているが、VY 1-10001 型の特性によつて代表させる事にする。**第9図**はその外観であつて既に御覧になつた方々も多いと思う。その特性は**第10, 11図**の如く、すべてにのびやかに無理のない設計を施し、綽々として 6 db の利得を得ている。



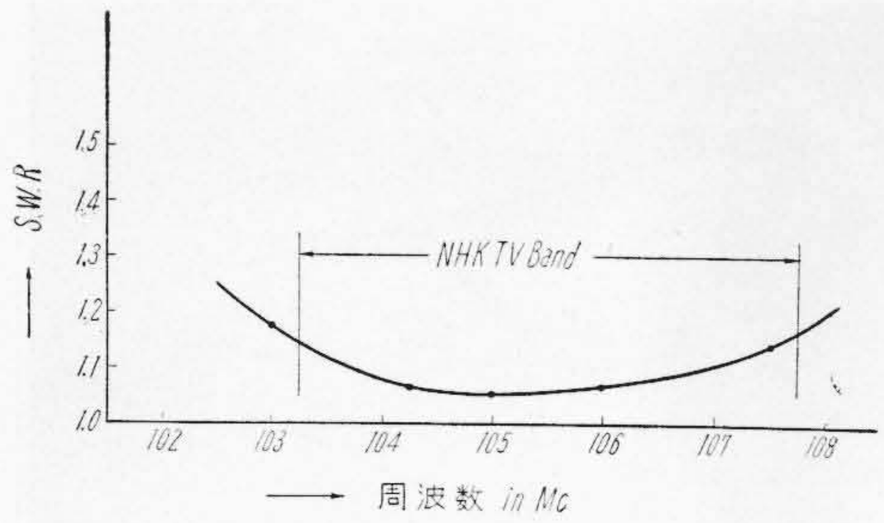
第9図　VY 1-10001 型 3 素子テレビ空中線

Fig. 9.　Type VY 1-10001 3 Element T. V. Antenna



第10図　VY 1-10001 型テレビ空中線指向特性図

Fig. 10.　Horizontal Pattern of Type VY 1-10001 T.V. Antenna



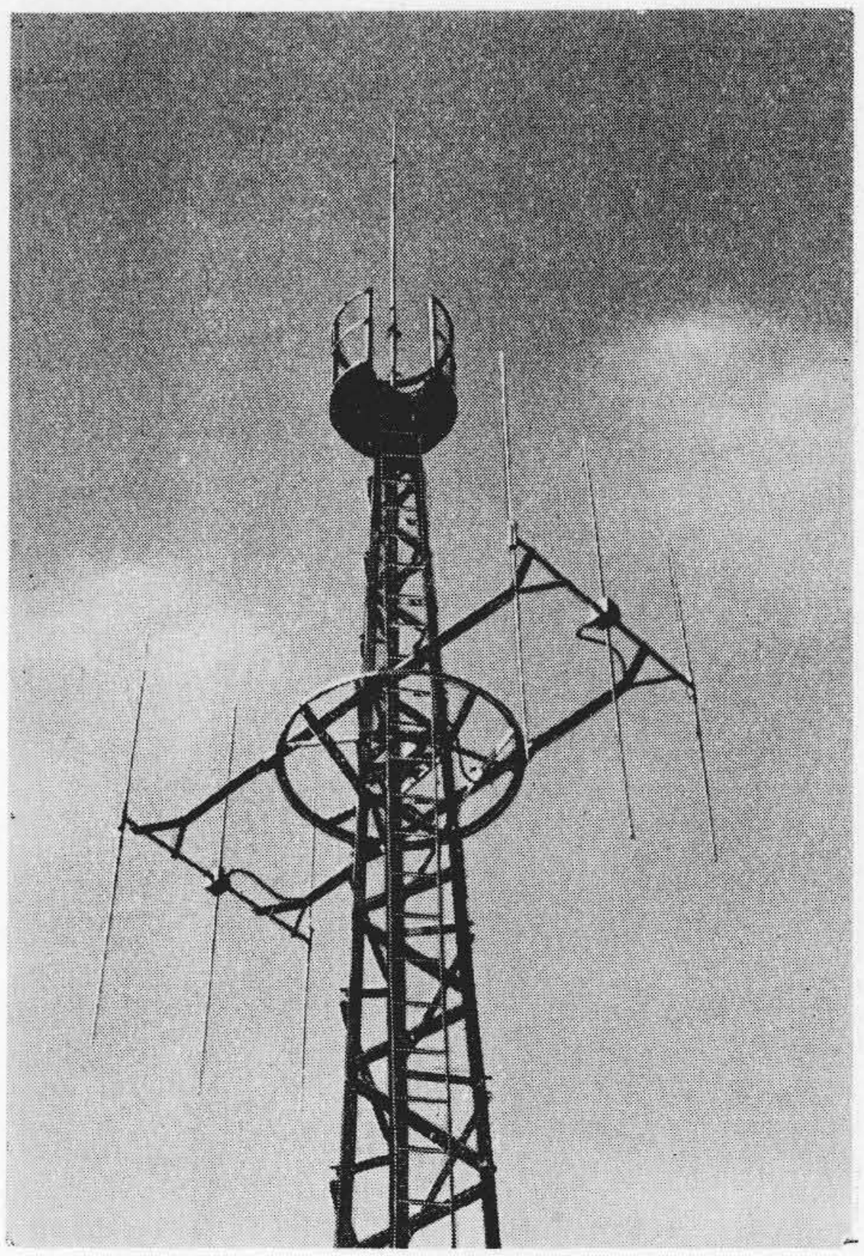
第11図　VY 1-10001型テレビ空中線帯域整合特性

Fig. 11.　Diagram of Frequency U.S. S.W.R. of Type VY1-10001 T.V. Antenna

本空中線の規格を記せば下記の通りである。

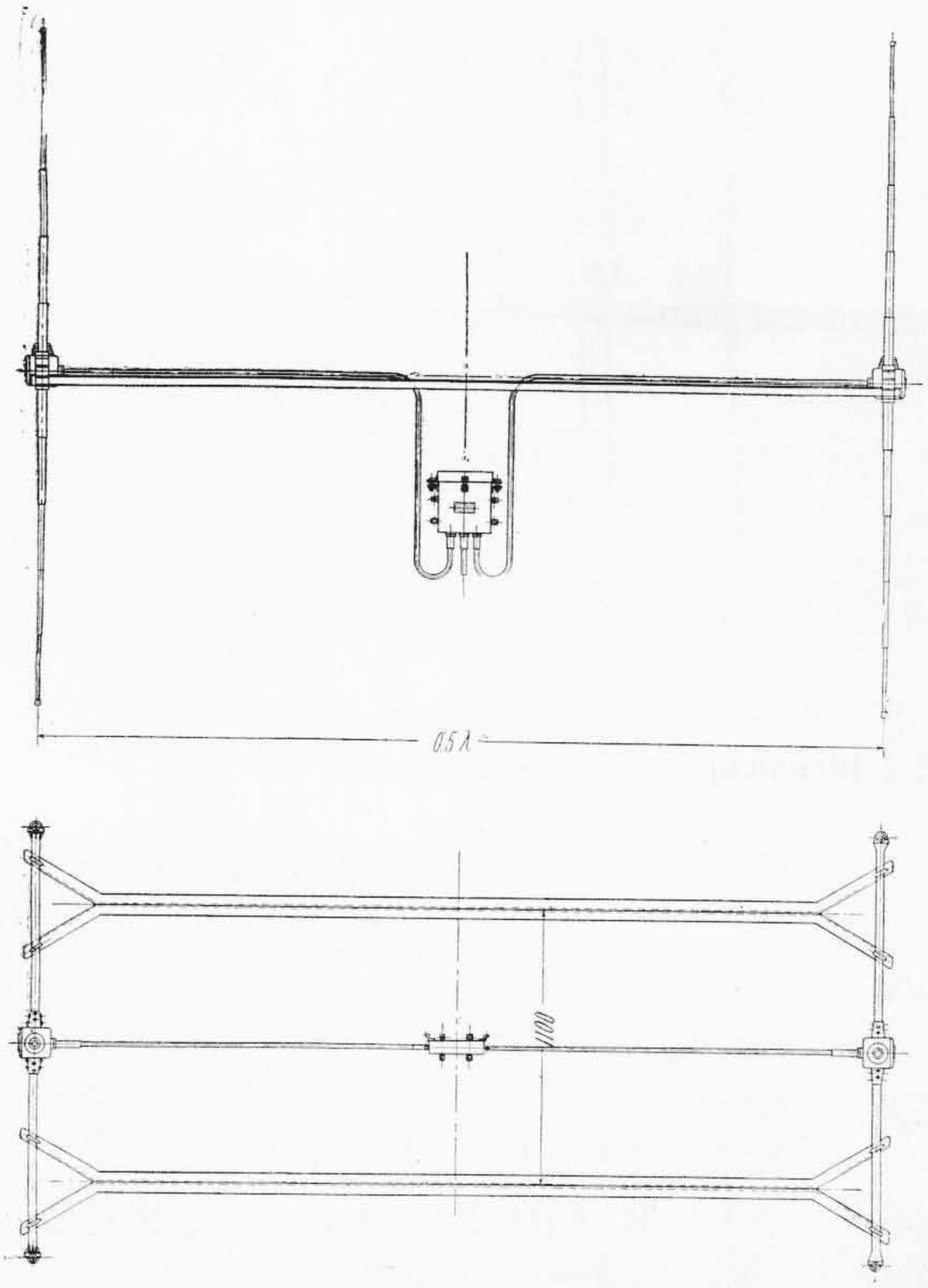
使用周波数範囲……102～108 Mc
利　　得……6db以上 (102～108 Mc に於て)
入力イムピーダンス……300±50 Ω
定在波比……1.5以下 (102～108 Mc に於て)
前後比……16 db以上 (105 Mc に於て)
耐風圧……40 m/sec

これ等のテレビジョン受像用空中線は、いわば量産品であつて、製品の主流をなすものであるがこの他に通信用の空中線を現迄に相当数作つている。



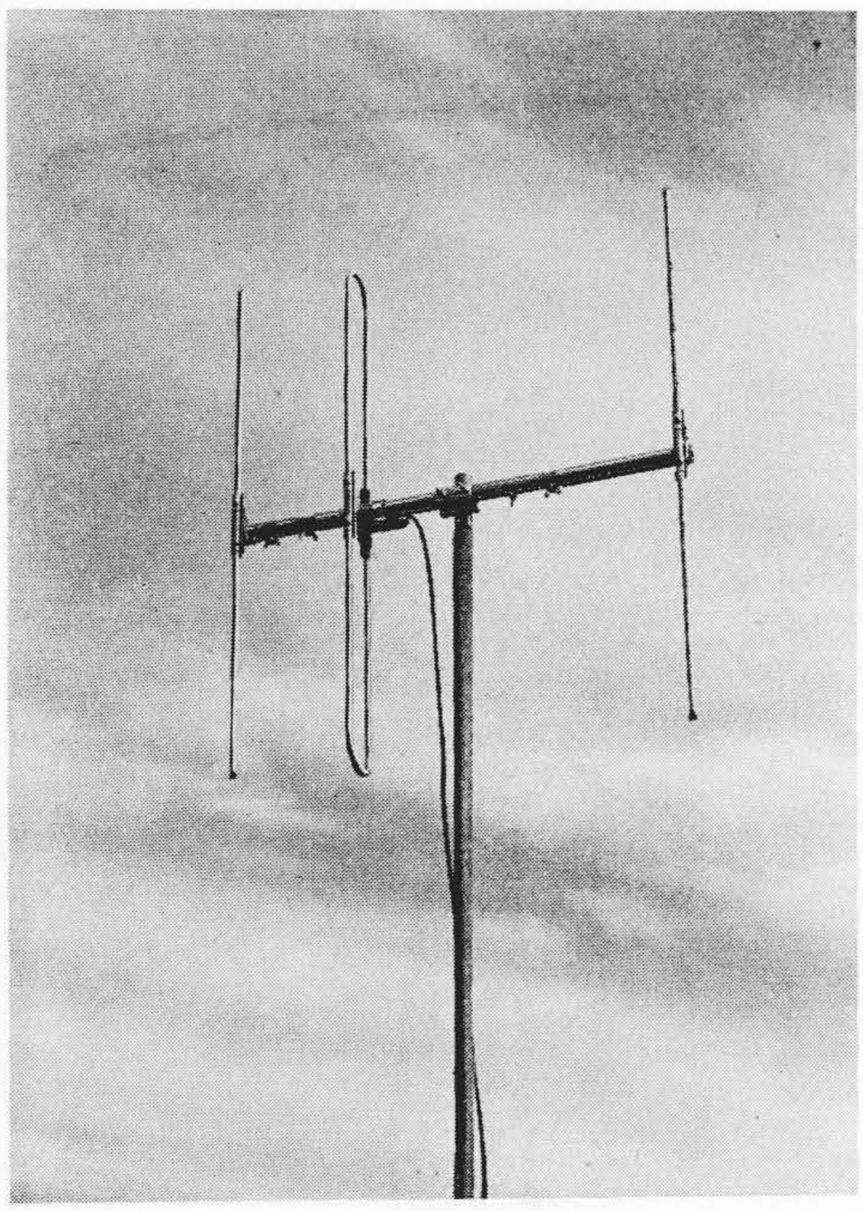
第12図　3素子複合八木空中線

Fig. 12.　3 Element Parallel "Yagi" Antenna

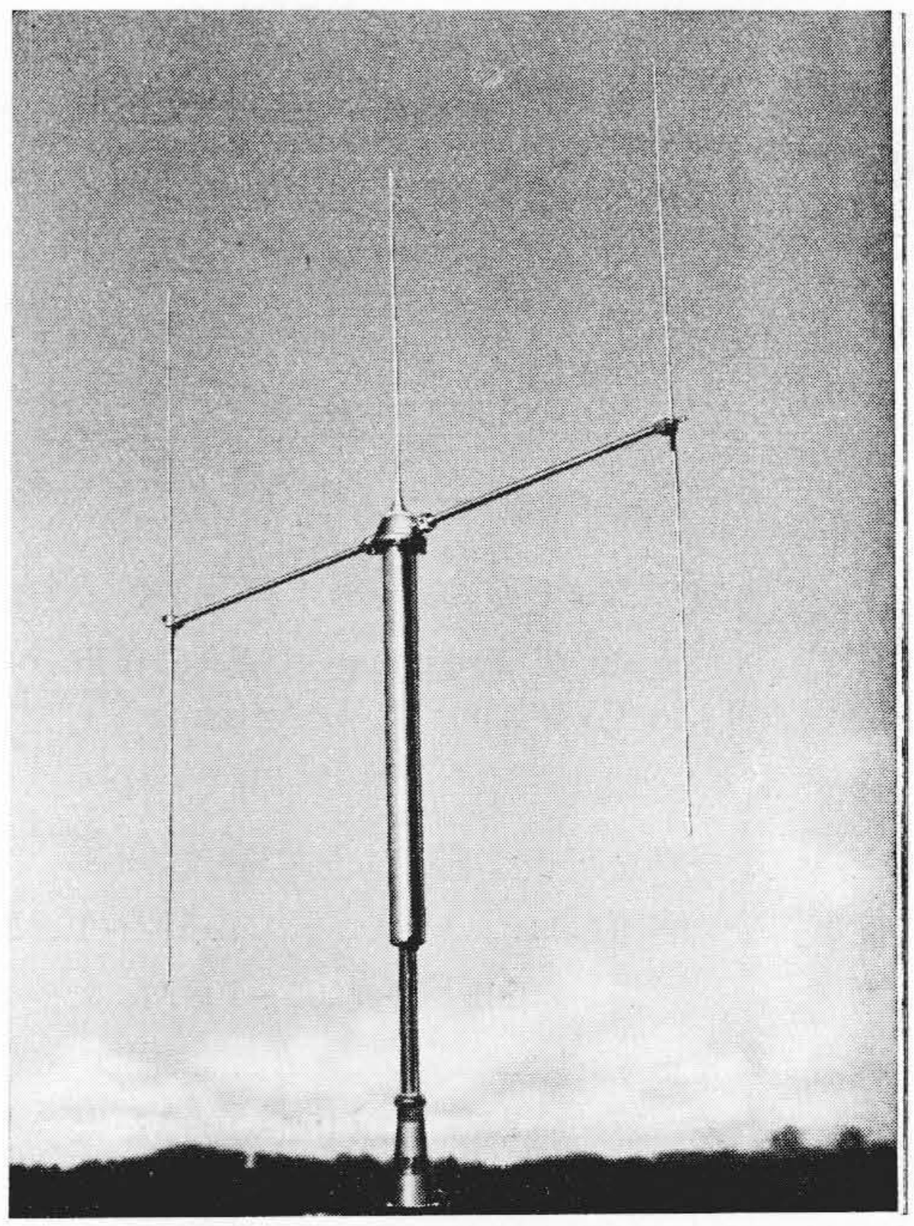


第13図　複合3素子八木空中線

Fig. 13.　3 Element Parallel "Yagi" Antenna



第 14 図　VV 3-1004 型携帯用八木空中線
Fig. 14.　Type VV 3-1004 Portable "Yagi" Antenna



第 15 図　VV 3-1006 型移動用八木空中線
Fig. 15.　Type VV3-1006 Mobile "Yagi" Antenna

第 16 図　VV 4-1002 型 4 子素指向性空中線
Fig. 16.　Type VV 4-1002 4 Element Unidirectional Antenna

（2） 30 MC 帯用複合八木空中線

この空中線は国家地方警察の通信網に使用されている 30 Mc 帯の複合八木空中線であつて、恐らく八木空中線として作り得る最大のものゝ一つと考えられる。

第 12 図はこの取付けられた状態を示し、取付面積が少くてすむとゆう特長をはつきりと裏書している。

この空中線は**第 13 図**に見る如く、左右二組の八木空中線を半波長離して設置し、これに適当な長さの饋電線を接続することにより双方共に 150 Ω の純抵抵として中央の饋電函に導き、並列に接続して 75 Ω の線路に整合させている。本機の場合設置される場所が多く山頂の高所にあり、荒い風雪に耐えて通信を護り通さなければならないため 50 m/sec の風圧に耐えるような強度を要求されており、又電気的には 6 db 以上の利得と 1.5 以下の S.W.R. を目標として製作された。**第 12 図**は箱根十国峠に近い鞍掛山頂中継所の空中線である。

（3）移動用空中線

第14, 15図は150 MC帯移動用の空中線であるが、その使用法は少々異る。**第14図**の VV 3–1004 型空中線は折畳式で現地で組立てた高いマストと併用され、確実に通信する目的で設計されたいわば遠距離型であり、**第15図**の VV 3–1006 型空中線は車載用であつて、常時車載で使用する目的で作られた中距離用ともゆうべきものであろう。

これらは何れも実用に供して特異な優秀性を発揮しており、殊に**第14図**の折畳式は実用して非常に効果的である。

（4）廻転式空中線

現在迄に製作された空中線で、特徴のあるものゝ一つは廻転式の空中線であろう。何れも150 MC帯のものであつて、指向特性を利して任意の希望する方向に適確に電波勢力を送り出す目的に使用されている。**第15図**の VV 3–1009 型空中線は移動用であると共に廻転式の一種であつて、これと類似の VV 3–1007 型空中線が JOKR に納入されている。

第16図の VV 4–1002 型空中線は突出型の塔上空中線であつて、これは極めて尖鋭な特性を持つており、廻転することによつて、大きな威力を揮う事が期待されている。

VV 4–1002 型中線の特性を略記すれば、下記の通りである。

入力イムピーダンス……48–j 1,875
利　　得……8.24 db
定在波比……1.08

但し本機に使用するケーブルは 50 Ω の特性イムピーダンスを有するものである。

〔VIII〕結　　言

八木空中線はすぐれた空中線であつて、使用は極めて簡便で、又良好な特性が得られるが、その設計は仲々難しい。今後に残された問題としてこれを平明簡易とすることが必要であろうと考えられる。

又構造上の問題として、頗る苛酷な条件で使用される事を覚悟しなければならないから、この点の研究が重視されなければならない。移動用は悪路に悩まされ固定用は荒い風土に苛まれ、移動固定を問はず空中線の立地条件は極めて悪い。保守も行届かぬ事が多いので、この研究は重要な問題として検討されなければならない。殊に吾々はメーカーとして、研究室から市場に製品を送り出す立場にあり、この点を真剣に考えている。

同時に市場に廉く良い製品を供給する事も考慮されなければならない。これは簡単そうで実は難しい問題が含まれており、簡易化の限界は理論的実験的に詳細な検討を行わなければ決定出来ない。材質処理の問題も併せて考える時、これは大きな問題として浮び上つて来る。

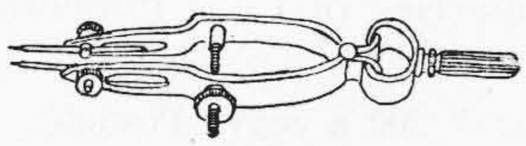
又今後テレビジョンの普及発達に伴つて、所謂縁辺地帯の視聴者を対象とした、高利得の受像用空中線を設計して供給する事を考えなければならないし、テレビ放送網の拡充により二周波を受ける形式のもの、或は更に広帯域周波数用のものを作る必要もあらう。

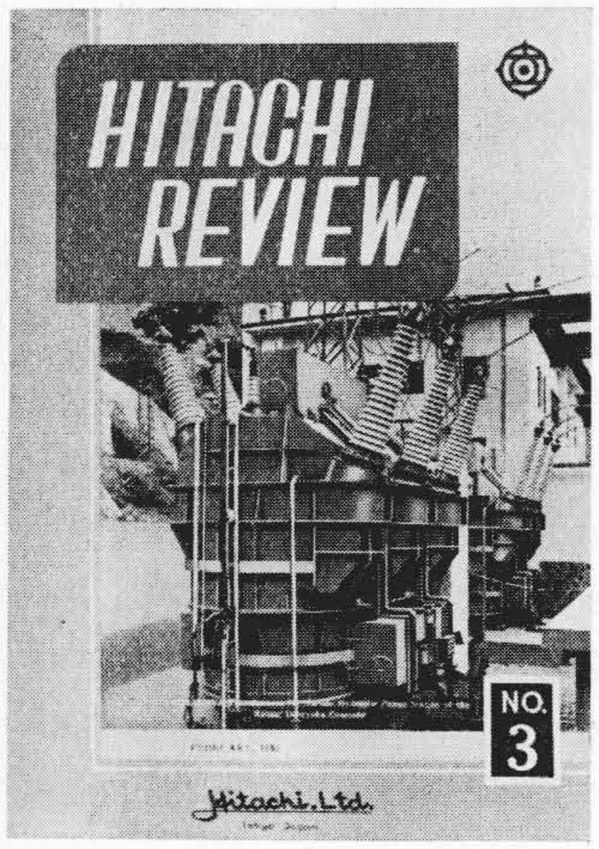
以上を要するに、今後に残された研究分野は極めて広く、又深いといはなければならない。今後これらの問題を克明に解明して行きたいと考えている。

稿を結ぶに当り、空中線製作に関し種々御指導を賜つた八木アンテナ株式会社社長八木秀次博士を始め八木アンテナ株式会社の高木技術部長及び東北大通研の宇田研究室の方々、並びに測定、製作に種々御便宜を賜つている日立製作所戸塚工場研究課三木課長、無線部滝田部長を始め製作課の各位に対し紙上を以つて深甚なる謝意を表するものである。

参考文献

（1）E. Hallén: Theoretical Investigations into the Transmitting and Receiving Qualities of Antenna. Nova Acta. Uppsala, Ser. 4, 11 4 (1938)
（2）F.E. Terman: Radio Engineering Third Edition.
同邦訳
（3）Henney: Radio Engineering Hand Book Fourth Edition.
（4）水橋東作：空中線理論
（5）岩片秀雄：電磁界及び空中線
（6）加藤安太郎：短波空中線の研究





HITACHI REVIEW

No. 3

—NOW ON SALE—

The Hitachi Review started by Hitachi, Ltd. for the purpose of introducing to readers overseas the newest phases of engineering activities of the Company, continues to gain favourable comment from its inception.

The third issue has recently been published. Articles in this issue are as mentioned below; each of them deals with most interesting subject of the writer's field of study and is full of suggestion. Immediate subscription is invited.

27,500 kW Water Turbine with 28,500 kVA Alterator for Ojiya Power Plant, Japanese National Railways .....
T. Komoriya and T. Takagi

Switchboard and Carrier Current Protective Relaying Set for the Ojiya Power Station, Japanese National Railways .....
H. Kawai, S. Morii, F. Saruwatari and H. Yakata

275 kV 70,000 kVA Transformers for Narude Hydraulic Power Station of the Kansai Denryoku Company .....
K. Sudo

New Type 80.5 kV 4,000 MVA Contrarc Circuit Breaker .....
M. Kuwayama and Y. Yamada

10,000 kW Steam Turbine and 12,500 kVA Turbine Generator for Madra Power Station, India .....
H. Urata, K.Takabayashi, T. Nakahara and K. Moriyama

4,000 kW Ilgner Set for 950 mm 2-High Reversible Blooming Mill, Supplied to Yawata Iron Works of the Yawata Iron and Steel Mfg. Co. .....
O. Tazuki, S. Kida, M. Yamamoto, S. Izumi and K. Hirakawa

Synchronized Drive of Wound Rotor Induction Motors with a Common Secondary Resistor .....
S. Matsui and Y. Sonoyama

A Low Energy Automatic Synchronizer .....
E. Kobayashi and S. Hira

Calculating Formulae for Characteristics of Multigrid Vacuum Tubes .....
Y. Sawada

Measurement of Displacement-Response Transducing Coefficient of Transmitter Carbon Granule .....
S. Nishiyama

The Parallel Operation of Blowers or Fans .....
K. Suzuki and H. Iesaka

Economical Rate of Acceleration for Rapid Transit Trains and MMC Multi-Notch Control System .....
K. Hirata

Heat Treatment and the Properties of Cold Punching Die Steel .....
S. Koshiba

Price: ¥ 200 a copy Postage: ¥ 40

Publisher: Hitachi Hyoron Sha, Hitachi, Ltd.
Marunouchi, Tokyo, Japan