

超短波通信用空中線設計上の諸問題

Some Problems Concerning V.H.F. Communication Antenna Design

古谷勝美*

内容梗概

通信用空中線はいわゆるオーダーメイドで1台毎に設計され試験されていた。本稿はこれを工業的生産に移すことを主題として、その場合あらかじめ解決しておかねばならぬ問題、検討を要する問題についてのべられており、通信用空中線生産方式に対する一つの示唆を行っている。

〔I〕 緒言

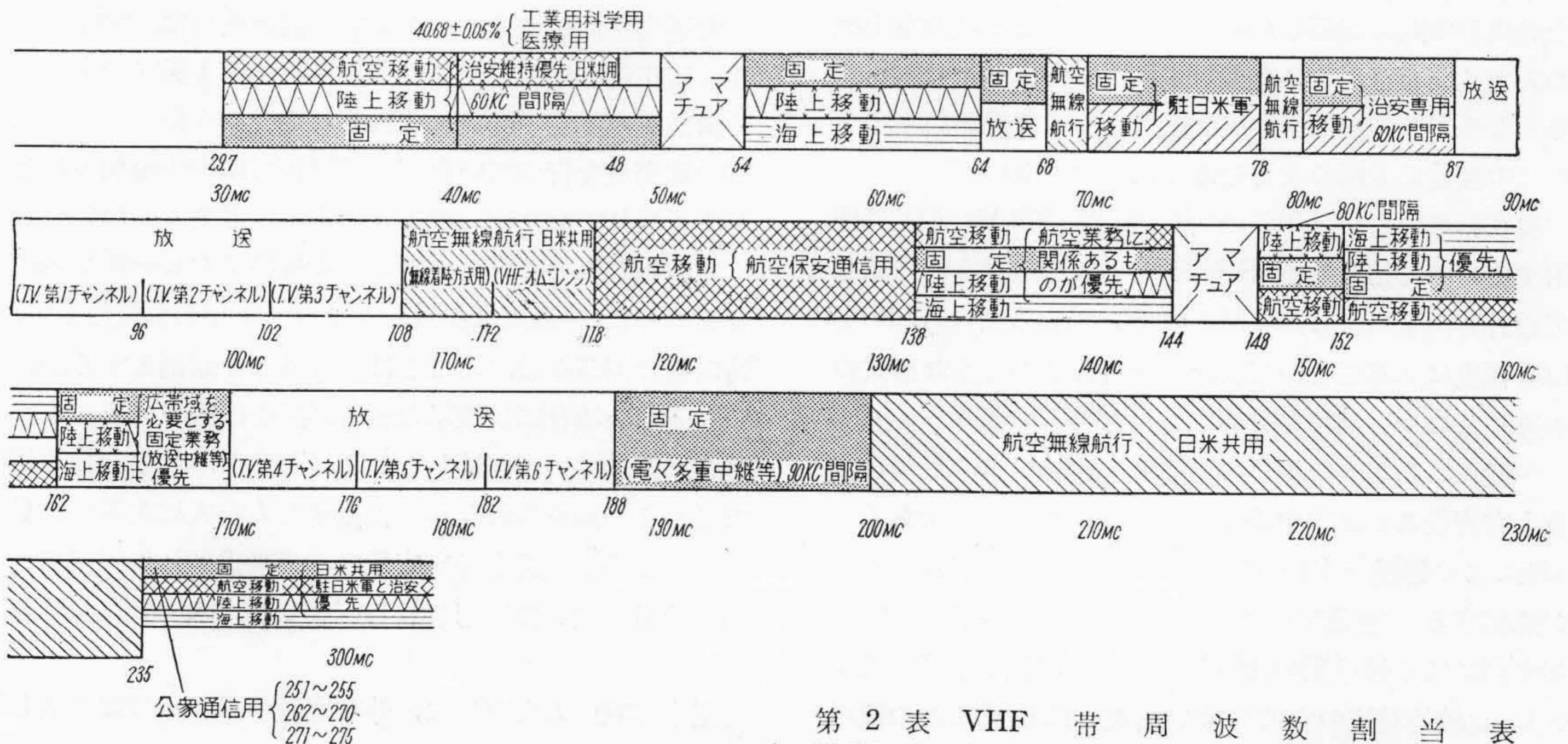
30 Mc/s より 300 Mc/s を超短波帯と称している。この周波数帯には第2表に示すごとく警察通信、軍用通信、航空無線などの特殊用途のものから、一般保安用無線、簡易無線などを含む業務用、特定の聴取者を対象とした小規模の放送、あるいはアマチュア無線局などきわめて多彩な数多くの通信局が運用されている。

超短波が開発されたのは比較的近年のことに属するが、その通信が安定であり、機器が軽量小型高能率にできるところから急速に需要が高まったものと思われる。一般に通信器材は波長の短縮と共に小型で高性能のものが製作可能になる。現今運用されている実用局の多くが短波帯に比べて低電力であるのは主としてこのような理由によるものであつて、特に空中線においてはこの傾向が著しい。短波帯では寸法上の制限をうけて、実現不可能

第1表 通信用空中線一覧表
Table 1. Typical Communication Antennas

	型式	標準利得 (db)	30 Mc	60 Mc	150 Mc	450 Mc	850 Mc	備考
反射器付	三次元パラポラ	>20	×	×	×	○	○	
	二次元パラポラ	>16	×	×	△	○	○	
	90°コーナーレフ	8	×	△	○	—	—	
	平板反射器	4	△	○	○	○	—	
	励振型2素子	3	○	○	○	—	—	
	非励振2素子	3	○	○	○	—	—	
八木空中線	3素子	5	○	○	○	—	—	
	4素子	7	△	○	—	—	—	
	5素子	9	×	△	○	○	—	
	5素子	10	×	×	△	○	○	
	二本並列	+2.5	○	○	○	○	○	単位空中線に対する利得向上
	四本並列	+5	△	○	○	○	○	
八本並列	+7.5	×	△	○	○	○		
高空周波線	Vアンテナ	—	○	○	○	○	○	
	ロンビックアンテナ	—	○	○	○	○	○	
	ヘリカルビーム	—	×	×	×	○	○	
細隙空中線	ホーン付	>10	×	×	△	○	○	

(注) ○……製作容易 (標準型)
△……製作困難 (特殊品)
×……製作不能



第2表 VHF 帯周波数割当表
Table 2. Frequency Allocation on V. H. F Band

* 日立製作所戸塚工場

であつた高性能の空中線が超短波帯では容易に製作するので盛んに使用されている。この事実を第 1 表によつて見られたい。すなわち中波短波帯では到底望みえなかつた多素子空中線が超短波帯ではむしろ標準型として採上げられてきていることに気づかれるであろう。

本稿には、比較的近年に開発されてきたこの種超短波通信用空中線の設計上生産上の問題を取り上げてみたい。

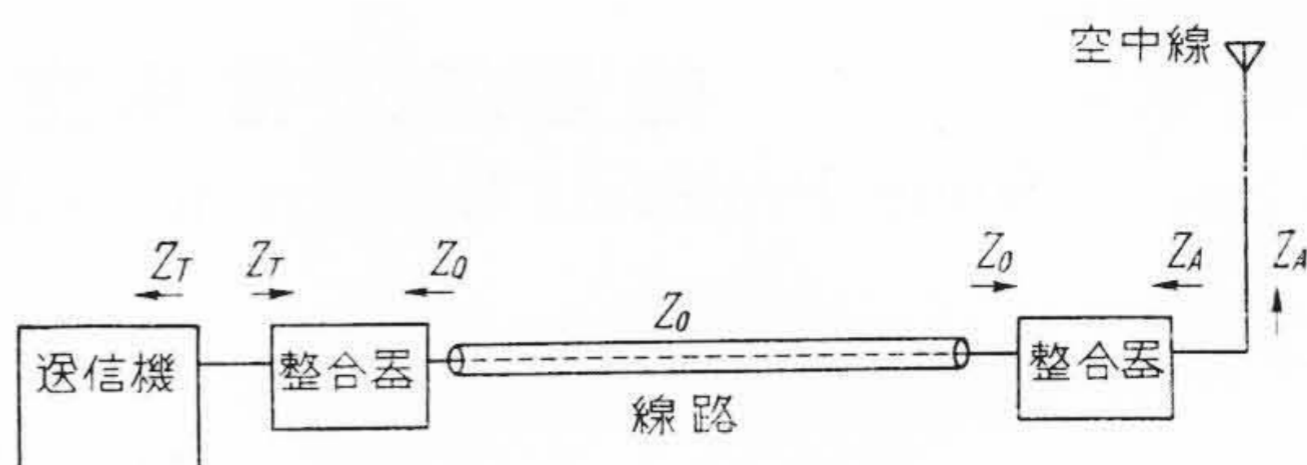
〔II〕 空中線と線路

空中線より電力を送受する場合、空中線単独の特性を論じても無意味な場合が往々にしてある。主としてこれは線路の不連続の問題に集約されるが、これに整合平衡変換の問題をあわせて考えて行きたい。

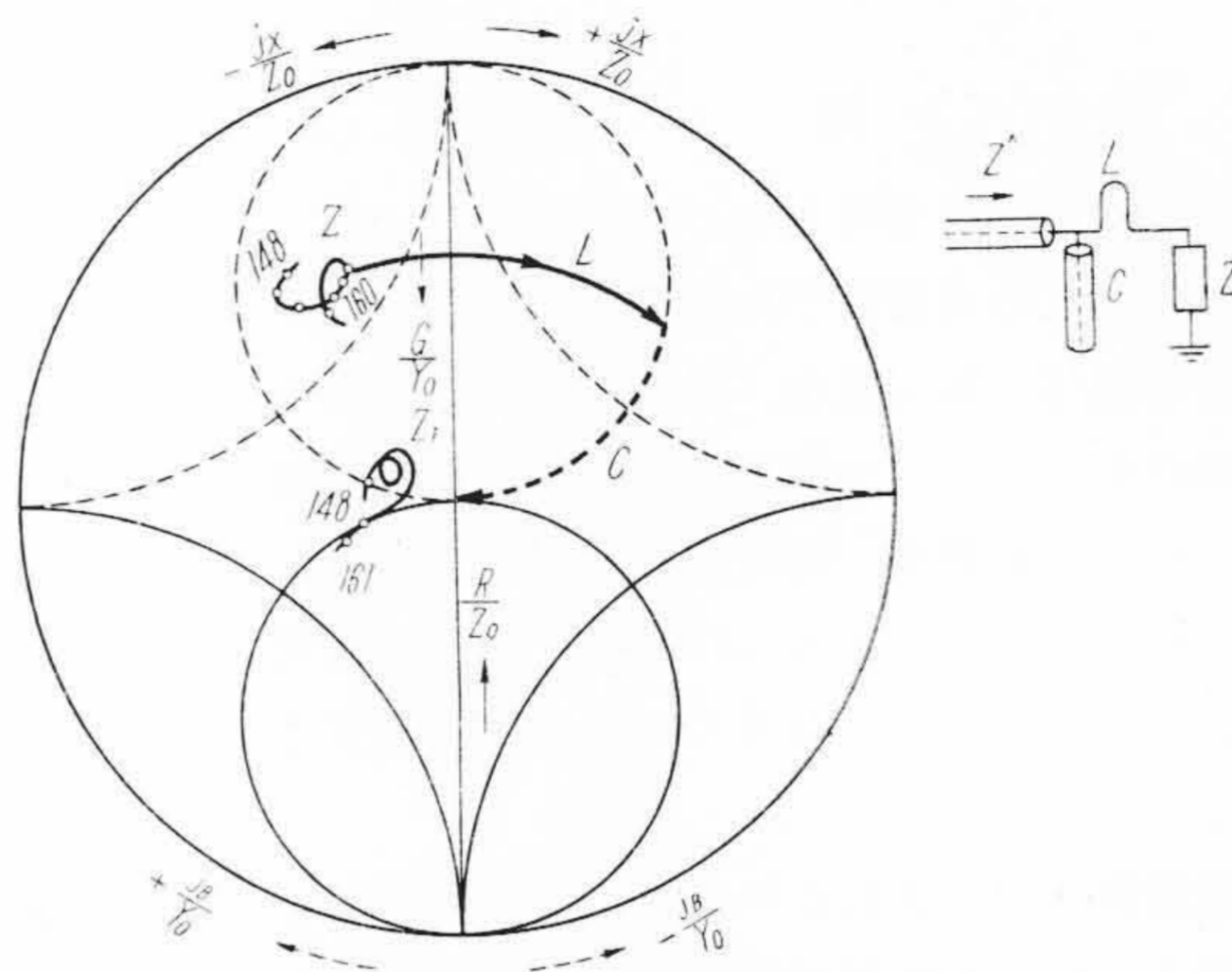
もとより線路損失は少いことが望ましい。線路損失を可及的少くするために幾何の特性インピーダンスのケーブルを使うべきかという問題はここでは触れぬことにし、主として線路の敷設法工事法および線路を構成する器材について検討を加えてみる。近時線路損失を僅少に抑える目的で低損失のケーブルを敷設し、その両端に通常使用される可撓性ケーブルを用いることが多い。このような場合仮りに接続点における不連続に基づく反射があれば低損失ケーブルを使用したことの意味が半減してしまふ。これは必ずしも杞憂とはいえないのであつて、現在広く市販されている同軸型接栓には超短波帯で使用を控えた方がよろしいものもあるようである。われわれの手許にあつたある種の接栓について測定した結果では 150 Mc ですでに残留 S.W.R 1.5 におよび、465 Mc, では 2.5 となりすでに実用にならない。このような接栓を線路の中間に使用した場合、最終負荷としての空中線の入力インピーダンスをどのように厳密に抑えても無意味となるので超短波空中線設計者としては線路用素子としての接栓にも関心を寄せなければならない。

現在われわれが I.T.V. の無線伝送 (800 Mc 帯) に使用する目的で特に残留 S.W.R が小になるように注意して設計したものは 1,000 Mc においても残留 S.W.R を 1.06 程度にすることができた。今後はこのような形式の不連続量の少い接栓が大いに使用されるであろう。

一般にこのような線路の中途に不連続が生じた場合、最も有害なことは空中線の帯域幅を狭めることである。(稀にこの影響で広帯域化されることもあるがほとんどが悪化する。勿論ケーブル自身の持つ不規則性もあるが中間に入る接栓類の迷容量に基づく不連続は意外に大きい)、比較的対策の立てやすい給電点に並列にこの種の迷容量が入つた場合でさえこの傾向は認められる。超短波空中線回路として第 1 に線路の不連続をなくすること



第 1 図 空中線整合回路
Fig. 1. Antenna Matching Circuit



第 2 図 整合回路の効果
Fig. 2. Effect of Matching Circuit

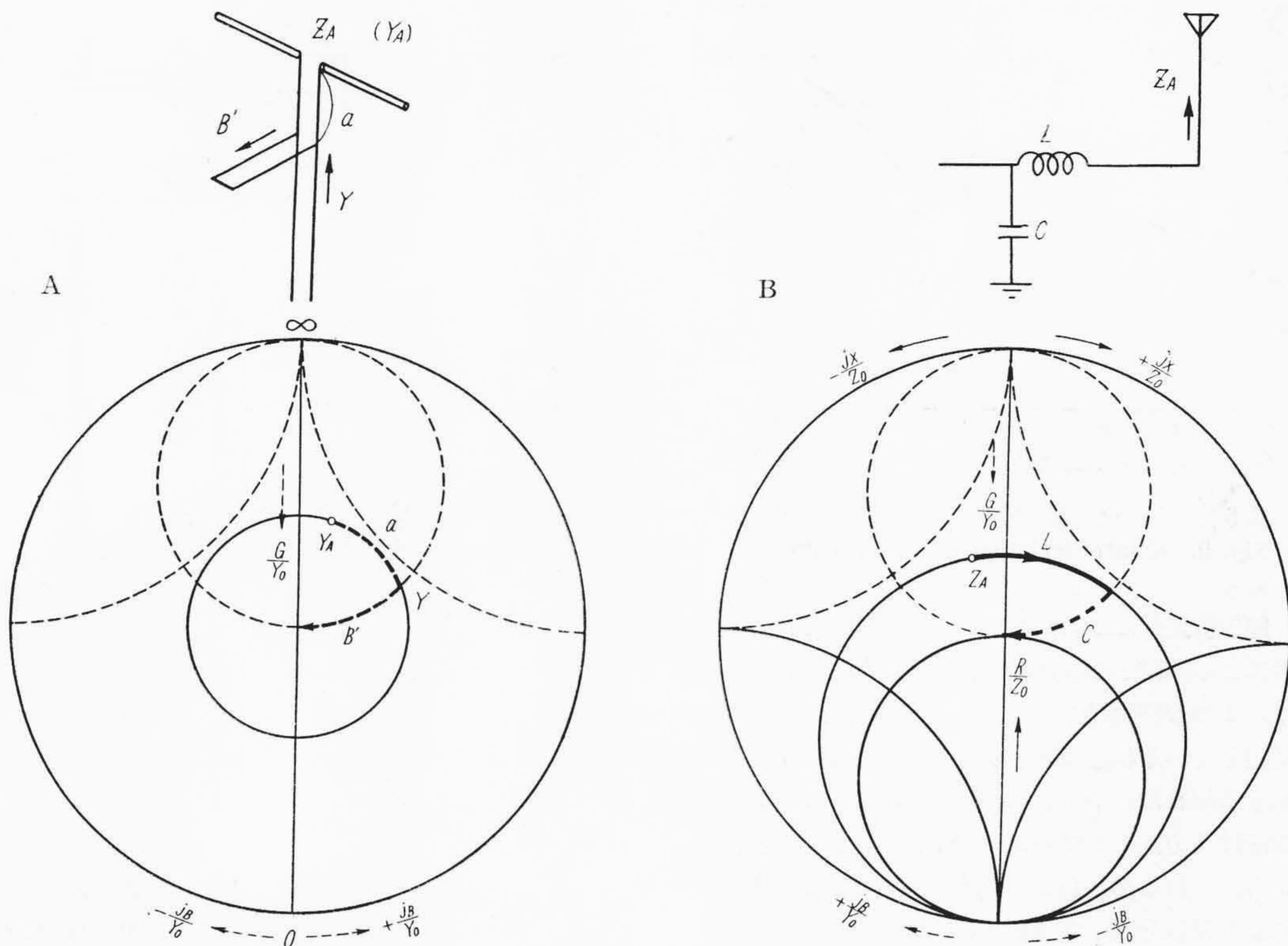
が必要である。

このような望ましい線路が敷設された場合つきに問題となるのは整合回路である。超短波空中線の特質ともいえることは、工場設計され十分試験された特性は設置された後にもほとんど再現できることで、そのため中波短波におけるごとき大型の整合回路を特別に必要としない。

大電力を使用することが多い中波短波では、線路に大きな定在波電圧が生じることを懼れて第 1 図に示すごとく送信機側と空中線側にそれぞれ整合器を設けて設置工事の際調整を行つていたが、超短波では空中線側の整合がよく取れており、このような調整を必要としない。

空中線の入力インピーダンスを線路インピーダンスに合わせるのに、普通には折返しダイポールなどを使用して、特に整合回路を設けることは避けるのを原則とするがやむをえない場合には簡単な整合回路を内蔵させている。整合回路について経験したことであるが、従来超短波帯ではあまり顧みられなかつた直列に L を入れあるいは C を入れる整合回路も分布定数のみで構成される回路に比べて簡単で大いに賞用されるべきではないかと思われる。

集中定数の L を直列に、分布定数の C を並列に接続して整合をとることができた 1 例を第 2 図に掲げて御参考に供しよう。



第3図 整合回路の動作原理
Fig. 3. Calculation Process of Matching Network

このような整合回路を設計する場合、空中線で従来主として使用されてきたものは第3図Aのように線路を迂回させて、線路上のその点から見たアドミタンスのコンダクタンス分を1にするような長さ a を求め、サセプタンス分を打消すようなスタブを挿入して整合をとる方式である。

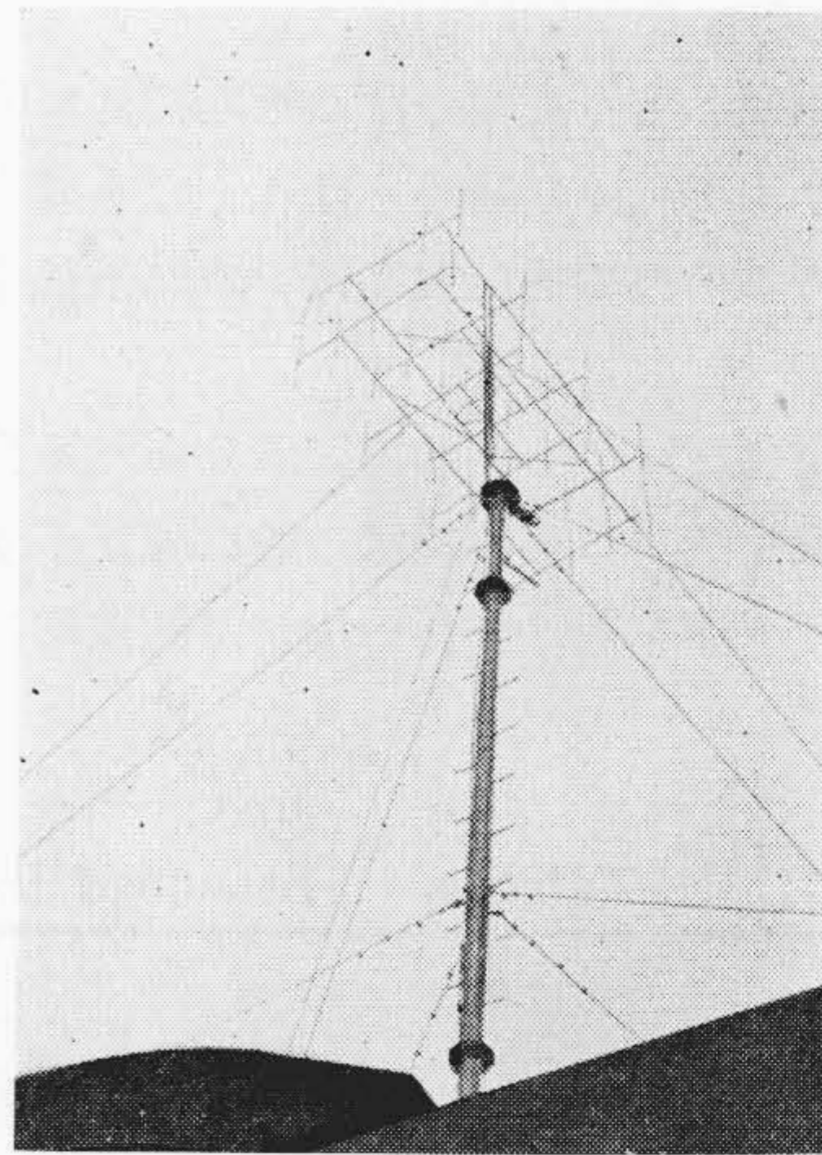
ここに例示した方式は従来は主として送信機の出端の整合筐に使用されていた方式で上記の筆法で説明すると第3図Bのようにを直列に接続した場合は $R = \text{const}$ の円群上を回る点のみが異なる。

整合と共に検討を要するものに平衡素子、濾波器などがあるが、これらは別に詳述された書物⁽¹⁾もあるので、平衡素子については広帯域化、濾波器については低損失という点を今後の課題として述べるに止めたい。

〔III〕 回線設計と空中線

回線設計において空中線利得を問題にするときはおおむね悪条件の下にある回線を検討する場合で、要求される空中線利得は一般に大きい。

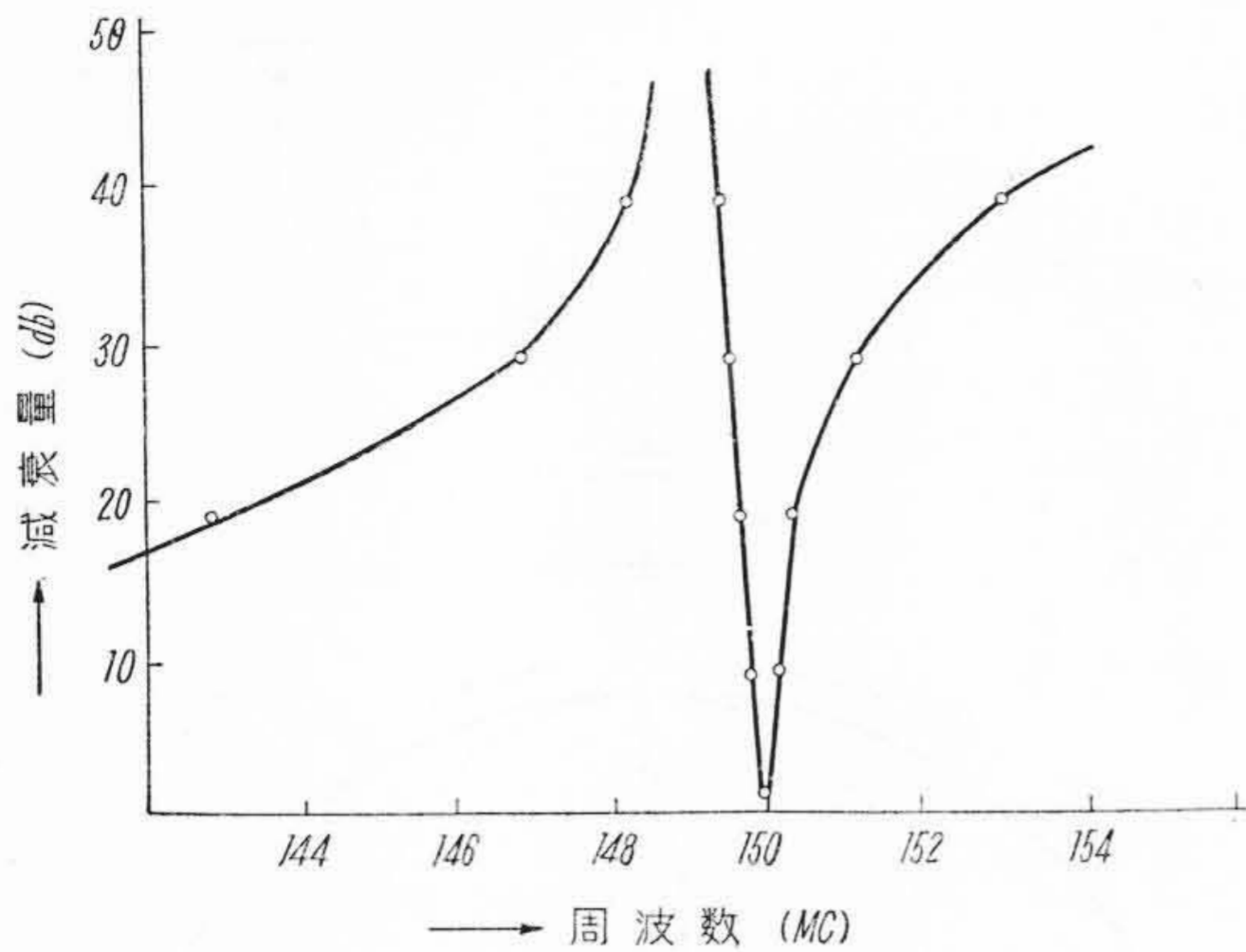
このような高利得空中線の設計は、構造的にも実現できる限界があり、標準化という見地からも考えねばなら



第4図 40 素子 八木 空中線
Fig. 4. High Gain Forty Elements "Yagi"

ないので、結局その周波数帯で製作可能の高利得空中線を単位空中線としてこれを並列給電する方式が採用される。第4図は 150 Mc 帯における超高利得空中線の一例で恐らく到達しうる限界かと考えられる。実測の結果、利得 17db をえている。

その他、回線設計上の要求として混信に対するものが

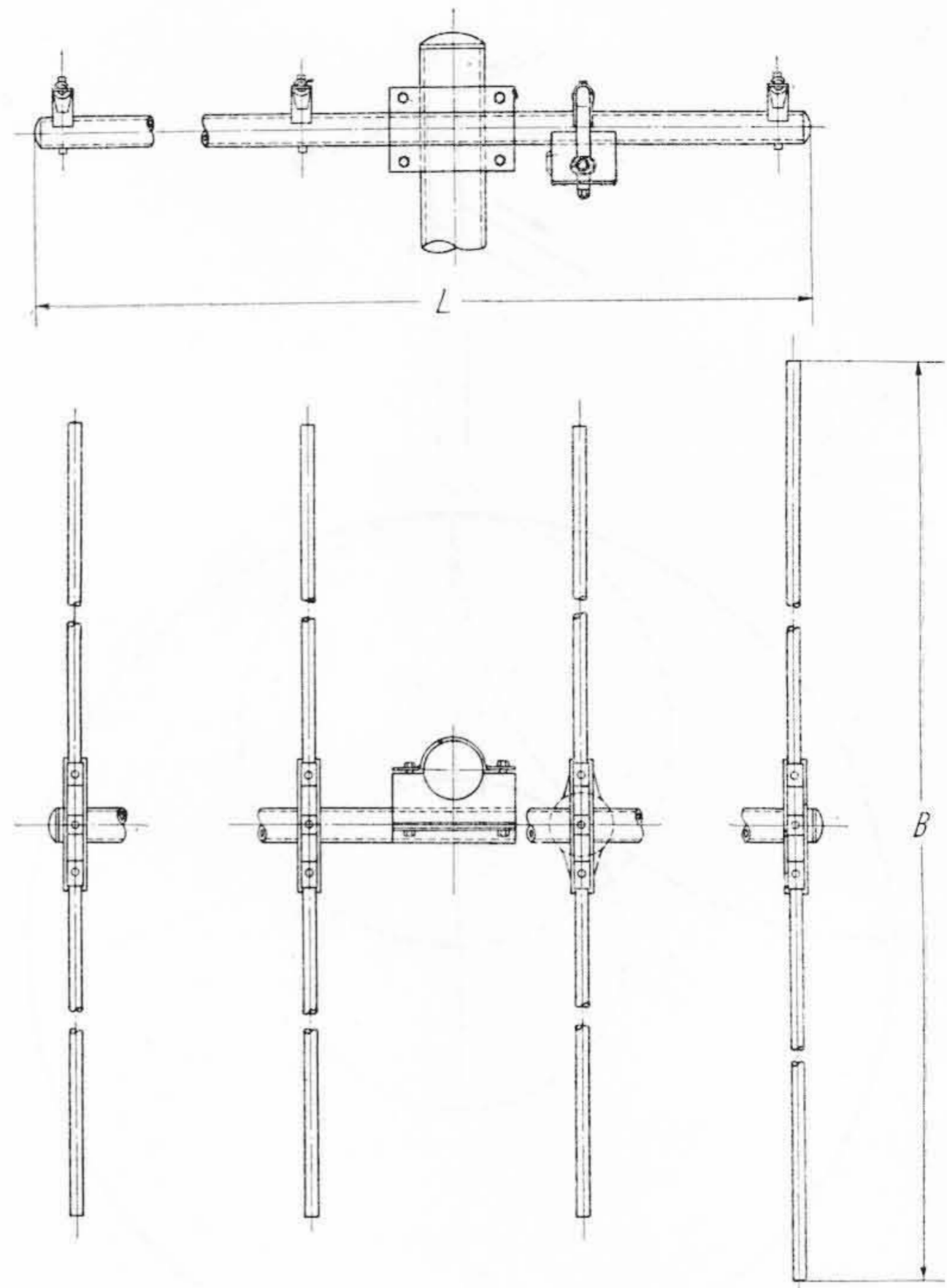


第5図 同軸濾波器の動作特性
Fig. 5. Characteristics of Piper Filter

ある。超短波通信には比較的少い事例に属するが、同一周波数による混信があり通信の円滑さを妨げる場合、たとえば、1つの移動局を狭んで2つの固定局が同一周波数で送信している状態で両者の電界強度の相等しい地点で受信する場合などがこれに相当する。このような場合混信を避ける方式としてパイロット信号による選択通信などが考えられるが、むしろ空中線の指向性を切換えることにより反転分離して通信する方式の方が簡単ですぐれている。

二局間を移動する車輛用無線などに適用して効果のある方式と考えられる。たゞここに注意すべきことは、このように指向性、あるいは前後比を利用して分離受信しようとする場合、その基礎となる指向特性が地形構造物の反射により工場試験の結果とはことなる場合がしばしばあることでこの典型的な実測例を本誌拙稿中に載せておいた⁽²⁾。

回線の安定化をはかる目的で設置せられる自動中継局あるいは回線中継用の空中線は一般に相互干渉を嫌う。空中線のみで干渉を避けがたい場合は濾波器の力を借り



第6図 60 Mc 帯用素子八木空中線
Fig. 6. 4 Elements "Yagi" in 5 Meter Band

て相互干渉を少なくするようにしている。二三の測定された結果⁽³⁾もあるが相互干渉を皆無にする方法は現在のところ考えられていない模様である。濾波器を併用する方式についてわれわれが試みた結果は第5図のごとくであった。

また要求によつてつ以上の方向にビームを分けた空中線が希望されることがある。原理的には簡単でつ以上の方向にそれぞれの空中線に向けてこれを並列給電すればよい。分配比なども回路定数を変えることにより可能である実用上の効果の点には若干の疑問はあるが特殊の目

第3表 60 Mc 帯 4 素 八 木 空 中 線 標 準 表
Table 3. Standard Ratings of 4-Elements "Yagi" in 5 Meter Band

型 式 名	周波数帯 (Mc)	利 得 (db)	半 値 角 (度)		S.W.R	受 風 圧 (kg)		自 重 (kg)		最 大 寸 法 (mm)	
			水 平	垂 直		含マスト	不含マスト	含マスト	不含マスト	L	B
VH4-1055A	54~56	7	60	110	2 以下	83	51	23.1	9.1	2240	2730
VH4-1057A	56~58	7	59	110	2 以下	81	49	22.8	8.8	2160	2630
VH4-1059A	58~60	7	59	110	2 以下	79	47	22.5	8.5	2090	2540
VH4-1061A	60~62	7	56	108	2 以下	77	45	22.2	8.2	2020	2460
VH4-1063A	62~64	7	56	105	2 以下	76	44	21.9	7.9	1960	2380
VH4-1065A	64~66	7	57	106	2 以下	75	43	21.7	7.7	1900	2310
VH4-1067A	66~68	7	57	105	2 以下	74	42	21.5	7.5	1850	2240

(注) 1. 半値角は各中心周波数における実測値。
2. 受風圧は 300 kg/m² として計算したもので被氷した場合の値ではない。

的には相等有効であろう。

〔IV〕 通信用空中線の標準化

前節までに述べてきた事柄は主として電気的な特性あるいは輻射特性に属することで、実際に空中線を設計し生産する立場から考える者にとっては、これにくわえて機構構造の問題について検討することが必要である。平易な表現にしたがえば軽くて丈夫で扱い易ければよく、もとより低廉であることが望ましい。

このような見地から二三の試案を実施してみた結果、結論として構造の標準化を二つの方式に大きく統一し、この両者を適宜併用して行くことが得策であることがわかった。

すなわちその第一は空中線各部の寸法を可変にした、いわゆる調整可能な形で、顧客の指定するいかなる周波数にも合わせるができる形式、これをA方式と仮称しておく。第二はあらかじめその形式の空中線でカバーできる周波数幅を検討しておき、全周波数帯をカバーできるようなシリーズ製品を製作する方式、これをB方式と仮称しよう。

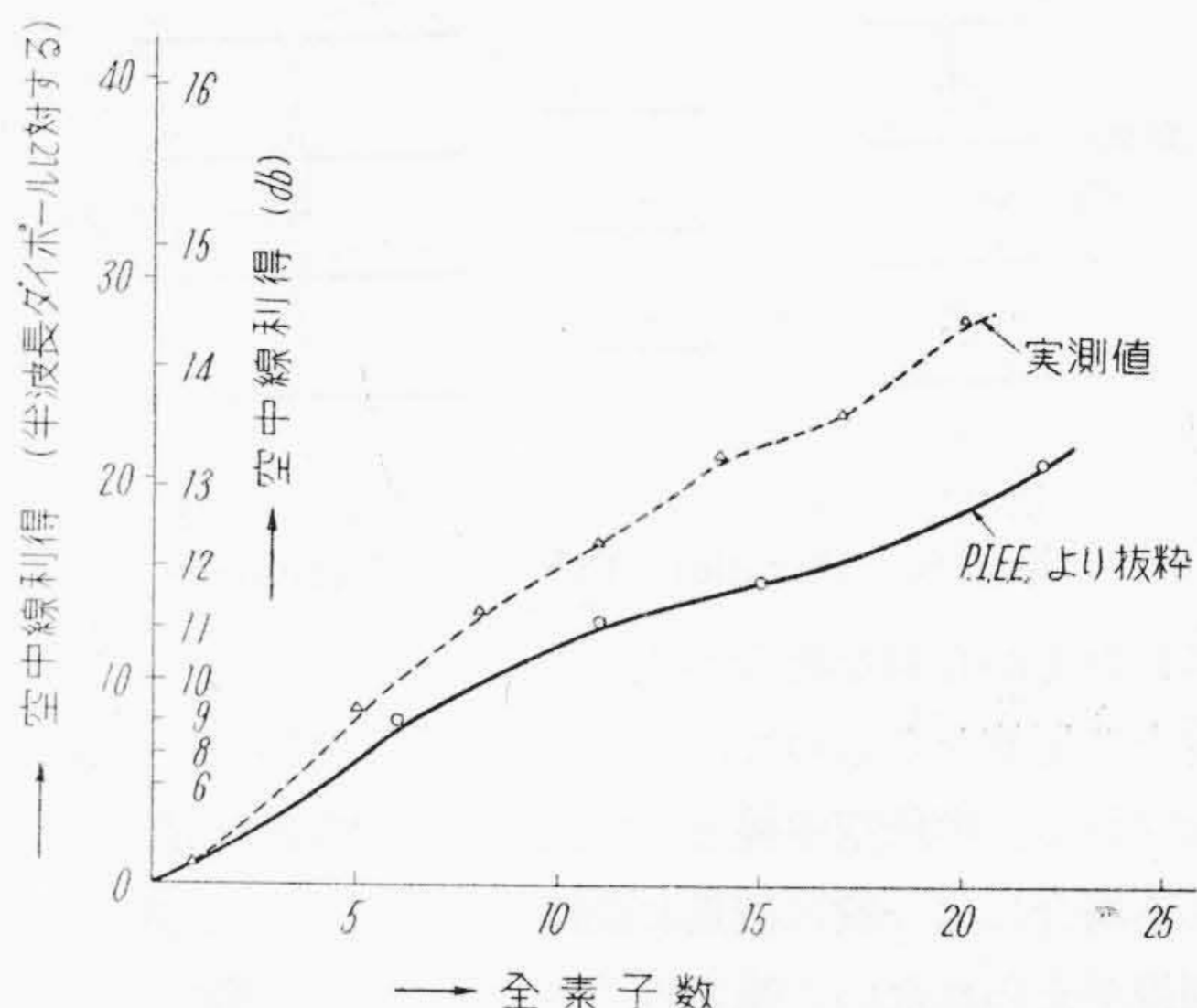
勿論 A, B いずれの方式にせよ、各部品、部分構造をユニット化した生産体制下におかねばならないが、生産量が少く要求性能の高度のものには A 方式が適しており、生産数量がある程度まとまる場合には B 方式の方が有利となる。現在 150 Mc 帯、60 Mc 帯の通信用空中線は B 方式により 30 Mc 帯は A 方式により計画されている。上記の 1 例として第 6 図に 60 Mc 帯 4 素子空中線の系列を第 3 表 (前頁参照) にその標準仕様を示す。

標準化ユニット化という考え方は決して新しいものではない。たゞ通信用空中線にこの方式を導入するにあたり検討解決をしておく必要のある問題が若干あつたので遅れたというにすぎない。材質の点互換性の点などわれわれの持つ技術を最高度に活かして通信用空中線の標準化を進めて行きたい。

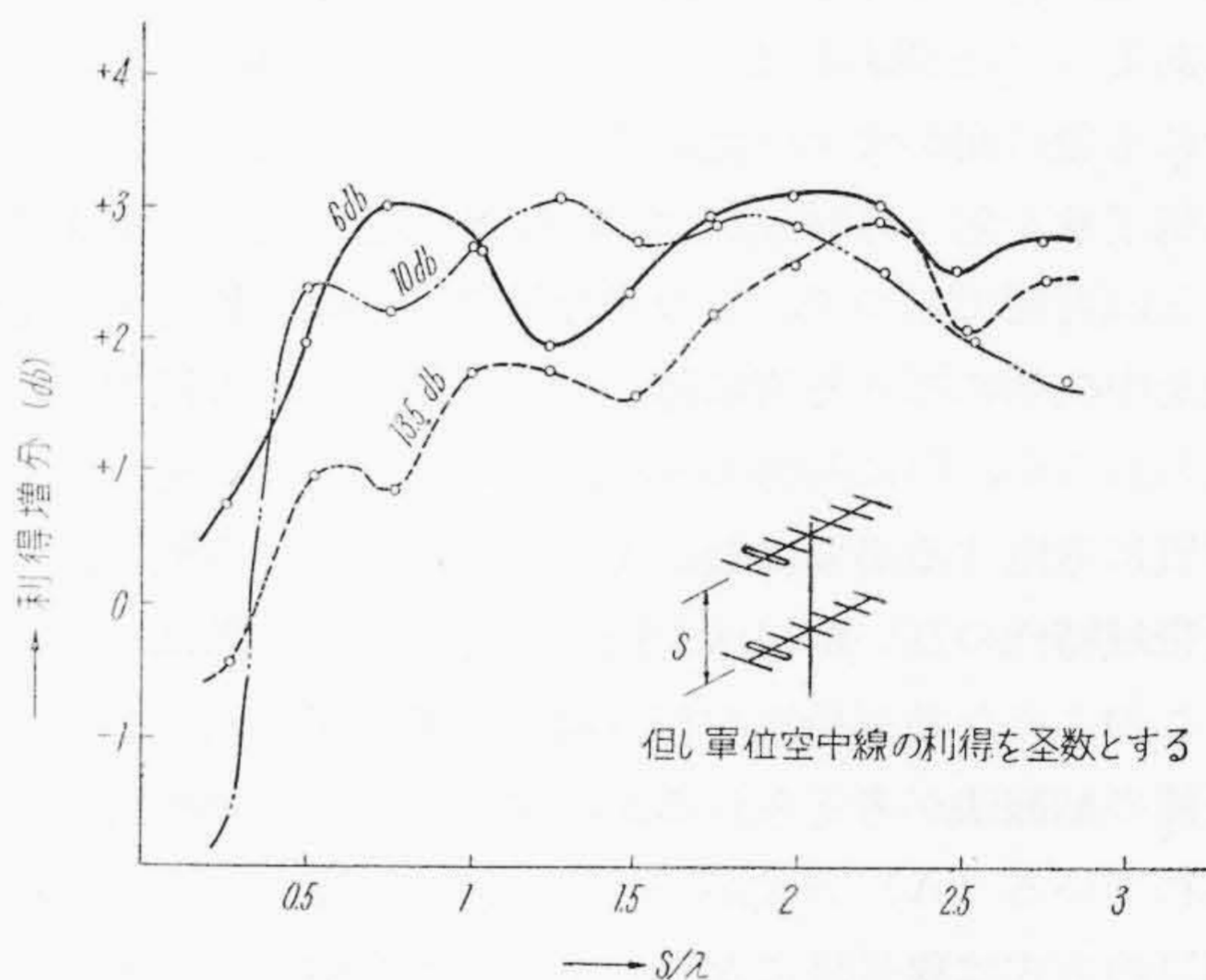
〔V〕 通信用空中線の並列給電

通信用空中線の並列給電は大別して三つの必要から要求される。

第一は第 3 節に示したように空中線の高利得化を計るものでこの場合は同一周波数用の空中線を一定方向にならべて同相に励振する。第二は 2 方向以上に電力を分配する目的で 2 個以上の空中線を並列給電する場合で分配回路網の設計宜しきをうれば間違いなく分配できる。第三は 2 つ以上の周波数帯で給電線を共用する目的で行はれた場合で相互の空中線の設計周波数があまり近接していると良好に分離できない。主として受信専用と考えた



第 7 図 八木空中線の素子数と利得の関係
Fig. 7. "YAGI" Antenna Gain as a Function of the Number of Elements



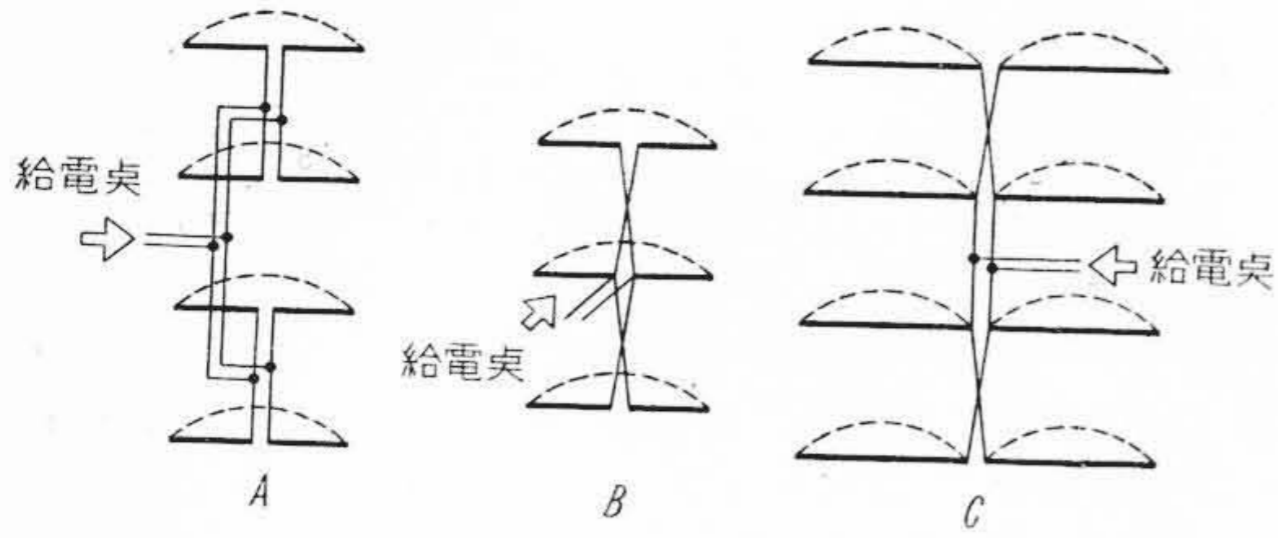
第 8 図 積重ね間隔による利得向上
Fig. 8. Antenna Gain Increase as a Function of Stack Spacing

方がよい。

上記のうち第二、第三項は技術的には興味のある問題であるが本稿の主題と外れるので割愛して第一の高利得化のための並列給電について技術的方面からの検討をして見よう。

八木空中線の素子数と利得の関係につき筆者らがしらべた結果では第 7 図のように素子数に比例した利得がえられている。英国における測定例⁽⁴⁾も絶対値において若干の相違はあるが上記の関係はわれわれと同様の傾向を示している。この結果より見るに 5 素子以上の八木空中線においてさらに 3 db の利得を上げるためには倍の素子数にする必要があり、構造的にこれは許せないことが多い。

すなわち八木空中線の利得向上を計るのに積重ね形式



第 9 図 並 列 給 電 法
Fig. 9. Parallel Feeding Networks

にした方が有利な場合が生じてくるのは主として構造強度上の制約からもので、この面から単位空中線の選択がなされる。単位空中線として選んだ空中線の利得が大である場合には一般に積重ね間隔を大にしないと希望する利得がえられない。筆者の手許で行なつた実験の結果を第 8 図に示して御参考に供しよう。このように最適間隔が異なる理由は、単位空中線が高利得のものであるとその開口面が大きくなり上下左右に排列する場合相互の開口面が重り合つて十分の利得向上を期待できないという点にあるものと思われる。(この実験は 465 Mc で行い何分にも開口面が大きい点で若干低い虞れがある御了承を乞う)同様に 4 本、8 本と併列に給電することは可能であつて、この場合単位空中線に給電する電流を中央部に厚く外辺に薄くすると副ビームの派生を抑えられるが、単に利得のみを問題にする場合はそれ程神経質に考慮する必要はないようである。むしろ整合容易な帯域特性の良い結線法を採んだ方が有利と思はれる。

このような並列給電を行う場合⁽⁵⁾第 9 図に示すように各種の結線法が考えられるが、すべてが同長の線路で結ばれている (A) 方式が一般的に最も無難である。(B) (C) の方式は狭帯域になりやすくまた調整がやゝ困難となる。いずれの場合も機械的に同相に接続して後、給電点で第 3 図に示す要領で整合をとればよい。輻射特性には悪影響をあたえない。また積重ね形式の一つとして無指向性の利得空中線も超短波帯では大いに利用して欲しい空中線である。目的によつては効果の大きい点単一指向性の比ではない。

〔VI〕 移動用空中線

第 1 節に述べたように超短波通信の特質は軽量小型という点で、移動用として特に偉力を発揮する。この故に現在各種の移動車輛あるいは船舶に搭載されて使用されており、この用途に適する空中線の設計も一つの大きな課題である。

移動用空中線に対する要求は設置条件よりくるもので搭載する車輛船舶の形状性質振動数などにより種々であるがその代表的な要求仕様に基いて標準化を進めている。

第 4 表 移動用空中線一覽表
Table 4. Typical Mobile Antennas

	標準利得 (db)	30 Mc	60 Mc	150 Mc	450 Mc	備 考
地線付空中線	0	○	○	○	—	一般移動用
ホイップ	—	○	○	—	—	自動車用
カートップ	0	△	△	○	○	自動車用
J型空中線	0	△	△	○	—	自動車用
折り曲げダイポール	-0.7	○	○	○	—	電 車 用
U型空中線	-4	△	○	○	—	水平偏波一般移動用

(注) 1. U型空中線以外は垂直偏波用である。
2. ○……製作容易 (標準型)
3. △……製作困難 (特殊品)

第 4 表は移動用空中線の標準形式をまとめたもので、使用目的により周波数帯によつてそれぞれに適したものをえらんで使用している。

この外に可搬形式の移動局用の空中線も開発する必要があるが、これは空中線自身は第 1 表に示したものと異ならない。これに特殊のマストを附し回転装置を附して移動先での設営を容易にする面を考慮したものである。

現在までに第 4 表に示す各種空中線を製作したがこの機種はきわめて変化に富み、ホイップ空中線を例にとつて見ても全長 9 m におよぶものから 50 cm 程度まで、取付ける車体に合わせるため形状に至つては千差万別の形態を示している。

〔VII〕 結 言

本稿では主として超短波通信用空中線設計上の問題点を述べてきた。最近の傾向を見るに超短波通信の発展は今後さらに著しいものがあるものと期待される。これに伴い技術的によく検討され量産化された通信用空中線を待望する声もしたいに強くなるものと思はれる。

われわれは従来オーダーメイド方式による通信用空中線からこのように量産化された工業製品としての空中線へ飛躍させるべく努力を続けて行きたいと考えている。

江湖の諸賢の御理解ある御支援と御指導を切に願うしだいである。

参 考 文 献

- (1) たとえば内田虫明：超短波空中線 通信学会編：立体回路 (上巻)
- (2) 日川，古谷：空中線測定上の諸問題 (II) 日立評論 No. 4 Vol. 38
- (3) W.C. Babcock and H.W. Nylund: "Antenna Systems for Multichannel Mobile Telephony" I.R.E No. 11 Vol. 38
- (4) R.M. Fishenden and E.R. Wiblyn: "Design of Yagi Aerials" I.E.E No. 39 Vol. 96
- (5) 古谷：NHK SK ファンアンテナの並列接続 テレビジョン学会誌 No. 4 Vol. 10