

## 短波長ビームに就て(第七報告)

(新らしき電波投射器)

會員 宇田 新太郎

(東北帝國大學工學部電氣工學科)

On the Wireless Beam of Short Electric Waves. (VII)

(A New Electric Wave Projector.)

By S. UDA, Member

(Tohoku Imperial University.)

## 内 容 梗 概

本篇は短波長ビームに關する研究の第七報告であつて、一つの新しき電波投射器を提案してある。その原理は今までの如く反射器のみを使用するにあらずして、寧ろそれと全く相反した働きを有する wave director の特性を最も有効に利用せんとするにある。この點が從來の方法と根本的に異なる新しい點である。然もこの方法に依つて得られる短電波ビームは、極めて顯著な指向性を有する事を、實驗上得た多くの極座曲線圖で示してある。そしてダイレクターの數さへ増せば、數度内の角度に電波を聚める事も、容易に出來得る事が述べられてある。

第二節にはダイレクターの一つの系列より成る wave canal, 及びこれと三角型反射器を組合せた、我々の所謂 wave projector に就ての一般的概念が述べられてある。第三節には單一のカナルを有する single canal projector に就ての多くの實驗結果が示してある。第四節には multi-causal projector, 例へば 2—canal projector とか、或は 3—canal projector に就て比較研究してある。そして single canal projector の方が簡單で、然も優秀な結果を與へるから、寧ろその方を採用すべきである事をつけ加へてある。この電波投射器を發振側のみならず、之を受波側に使用すれば、また極めて有効な電波の collector になる事は、第五節に例を擧げて示してある。最後に wave canal を反射器の丁度反射の方向に置かず、ある角度を爲した直線上に排列した場合とか、或はダイレクターをある曲線に沿うて並べたやうな特種の場合に於ける實驗結果が二三擧げられてある。

## Abstract.

A new electric wave projector is proposed in this paper. The principle of this wave projector is quite different from other reflecting system, and its directive effect is chiefly due to the action of wave director rod.

When several wave directors are arranged along a line with intervals equal to or more than a quarter wave-length, the wave energy is transmitted chiefly along this line, and the row of these directors forms what the writer will call a "Wave Canal."

---

本篇記載の研究は財團法人齋藤報恩會より研究費の補助を受け、東北帝國大學内に於て之を行つたものである。

Now the projection of the sharpest beam of electric waves can be effected by the combination of a trigonal reflector and a wave canal. This combination will thus be called a "Wave Projector."

The directivity can be improved by increasing the number of director rods contained in the wave canal. For example, when the wave projector with 27 directors is used, the radiated power is almost confined to an angle of  $5^\circ$ . As an extreme case, when the sending and the receiving stations are connected with a line of wave canal, power transmission will be accomplished by electric waves.

Experiments have been also made using two or three parallel lines of wave canals erected before the trigonal reflector, and the results show that the directive effect of multi-canal projectors is not very much superior to the single canal system, so that the simpler single canal system seems to be preferable.

When a straight wave canal is arranged in front of the sending antenna, not exactly along the line of reflection but making a certain angle with it, there will still be concentrated wave radiation along the canal.

The theoretical determination of the best condition of the canal becomes much involved, and the adjustment should rather be made experimentally. In our experiments, the wave length was 440 cms. and the length of each director being 180 cms. and their interval 150 cms.

The receiver was set at a distance of 50 metres, and the field was measured by means of a receiving antenna comprising either a thermo-couple or a crystal detector combined with a micro-ammeter.

With regard to this new wave projecting system, a preliminary report was presented to the Imperial Academy of Japan. (YAGI and UDA, Projector of the sharpest beam of electric waves. Proceedings Imp. Academy 2. 1926.) Two papers relating to the same subject were also presented to the 3rd Pan-Pacific Science Congress held in Tokyo, Nov. 1926. (YAGI and UDA, A new electric wave projector and radio beacon. YAGI and UDA, On the feasibility of power transmission by electric waves.) (Sendai, March, 1927)

## (1) 緒 言

短波長ビームに關して、筆者の試みた研究の一部は、既に數回にわたり、本會雜誌に發表した。これを一括して言へば、反射器を専ら使用して、出来るだけ鋭い指向性の短電波を得んとしたに他ならない。従つて使用した金屬棒も、反射器として有効に働く、半波長或は僅かに之より長いものに限つた、そして排列の仕方を主に問題にしたのである。その結果最簡單な、然も比較的有効な働きをするのは、三角型反射器である事、且つもつと複雑な場合では、普通知られてゐるパラボラ型反射器で得られる程度の指向性ならば、より簡單な角型反射器でも得られる事を知つたのである。然しこれらは上述の如く、使用した棒をどこまでも、すべて反射器として働かし

た點は、從來爲された所と何等變りなく、其原理には新しい點はもとよりないわけである。

其後試みた實驗的研究の結果より、これは寧ろ反射器のみを使用するより、全く別な働をする wave director をもあはせて用ひ、大にその特性を利用する方が、却つて遙に優秀な結果を與へる事を知つたのである。本篇に述べる所は其實験的研究の報告である。

## (2) Wave canal 並に Wave projector

一本の金屬棒を空中線の前方適當な距離に置く時、若しその長さが半波長より幾分か短い或る値になると、前方に發射される電波が之が爲に著しく強められ、棒は所謂 wave director として最も有効に働くにいたる事は、既に第四報告(電氣學會雜誌 第四百六十二號)に於て、理論及び實驗上より詳述した。一本の director を用ひても、猶且つ然りであるから、數本を使用すれば、愈々その特性が顯著になる事は想像し得る所である。實驗の結果はまさに此豫想を確める。即ち數本の wave director を一直線上に適當な間隔で排列すれば、各棒による電界は前方に於ては、相加はり互に助け合ふに反し、側方には互に打ち消す結果となるから、結局電波の勢力は主としてこの線上に沿うて發射される事になる。この時各ダイレクターは電波の勢力を聚め、之を一層強勢にして、前方に送る役目をしてゐる事は明かである。恰も勢力の流れが之等ダイレクターに依つて導かれ、排列の線に沿うて進み行くが如くである。この現象は今までの如く、棒の反射器としての一面の作用ばかりを見てゐたのでは、全く豫想のつかぬ事であつて、まことに興味多き事實である。筆者等がこれら director rod の系列を wave canal 或は wave duct と名付ける所以も茲にある。

かくして我々の經驗では最も鋭き短波長ビームが上述の wave canal と、第二報告に述べた三角型反射器の結合によつて得られるのである。我々はこの新しき電波投射器のシステムを“wave projector”と命名する。この電波投射系は、もとより之を受信側に使用すれば、全く同様に有効に働く。電波の指向性は canal 中に含まれるダイレクターの數を増加する事によつて、愈々一層顯著になり來る、かくて机上の計算より得られたものは兎角、實際に實現し得たものゝ中では、恐く最も鋭いと思はれる短波長ビームを得る事が出来る。最も極端な場合を想像すれば、送受兩所を wave canal で連絡した時である。この時は電波の勢力が最も多く送信所より受信所に輸送出來ると思はれる。これに就ては本文の目的外の事であるから、他日の機會に述べる所があるであらう。

## (3) Singl canale wave projector.

第一圖に於て、R は三角型反射器をなす 5 本の反射器、D はその前方適當な間隔を置いて、一直線上に排列されたダイレクターである。この形式は單一の canal よりなるから、便宜單一カナル電波投射器即ち“Single canal wave projector”と名付ける。圖は我々の使用した波長 4.4 米に相當する場合に於ける排列を示す。

各ダイレクターの長さ、並に相互の距離を如何に定むべきかは、之を理論上正しく求める事は困難であるから、寧ろ實驗によつて定むべきである。先づ其長さに就て行つた實驗結果の一例は、第二圖に示してある。この時は 19 本のダイレクターを使用し、これらの一直線上に  $\frac{1}{2}$  波長より幾分か長い 1.5 米の間隔に排列した。

ダイレクターは何れもテレスコピツクの眞鍮管を使用し、それらの長さはすべて相等しく、且つ容易に一樣に變へ得るやうにした。かくして受波系をカナルの線上空線より 50 米の距離に置き、ダイレクターの長さを一樣に變化した場合に於ける、受波系の讀みを見たのである。縦軸

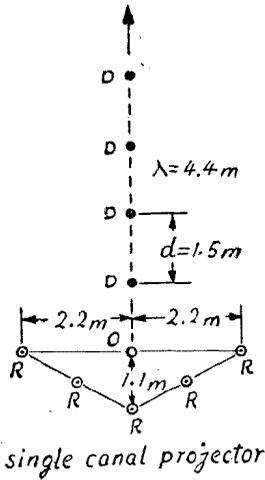


Fig. 1

は受波系に入るマイクロアンテナの読みであつて、 $i_0$ の高さはすべてのダイレクターを取り去つた場合、即ち三角型反射器のみ存在する時に於ける読みを示す。

この結果を見て、一目して知られる事は、棒の長さが半波長より短い或る値になる時は、(圖の排列では凡そ 185 纏即ち凡そ  $\frac{42}{100}\lambda$ ) 受波勢力が急激に増加する事である。而て

棒の長さがそれより長くなると、受け取られる勢力も急に減少

し、或る値(圖では半波長より幾分か短い 200 纏附近より)以上になると、電波は殆ど停止遮断され、恰も一種の wave filter の作用をする。かくなれば反射器として働く範囲に入るので、ダイレクターとは全然反対な働きである。第二圖の如き特性は、ダイレクターの数を増加する程益々顯著になる。第三圖は最大發射を與へるダイレクターの長さ 180 纏を採用した場合に、ダイレクターの數と共に受波勢力の次第に増す有様を示したものである。最初空中線單獨の場合、それより 50 米の距離に置かれた受波系の読みは  $8 \mu a.$  を與へる。次に (1)(2)(3)……と番號の順序に 5 本の反射器を並べ、更に (6)(7)(8)……と逐次ダイレクターを増してゆく。この時受波系に入るメーターの読みを取ると、番號の傍に附記してある數字の如く次第に其値を増加し、最後に 25 本のダイレクターを全部排列すると、151  $\mu a.$  を與へるに至る。

次は各ダイレクター相互の間隔の事である。システム全體が一つの联接系を形成すると見るべきであるから、理論上正確に最も適當な間隔を云々する事が困難であらう。筆者は 180 纏のダイレクターを使用した時、それらの間隔が實際どの位が最も適當であるかを見るべく多くの實驗を試みた。その結果によると  $\frac{1}{2}$  波長即ち 1.1 米では幾分か小に失する。それ以下になると、相互の影響が著くなるから、益々思はしい結果を與へない。また半波長或はそれ以上になると、結

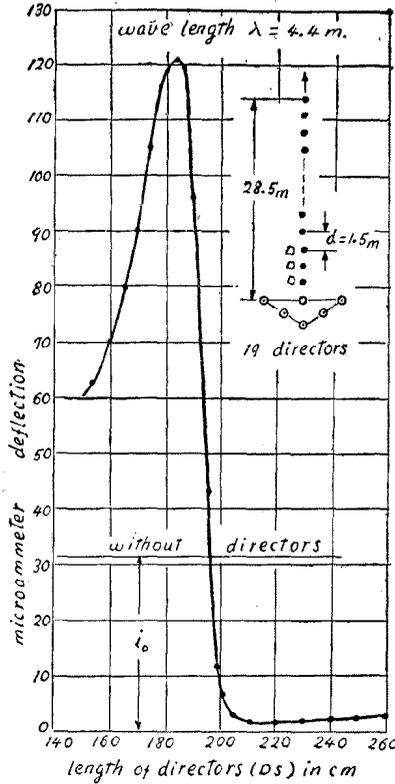


Fig. 2

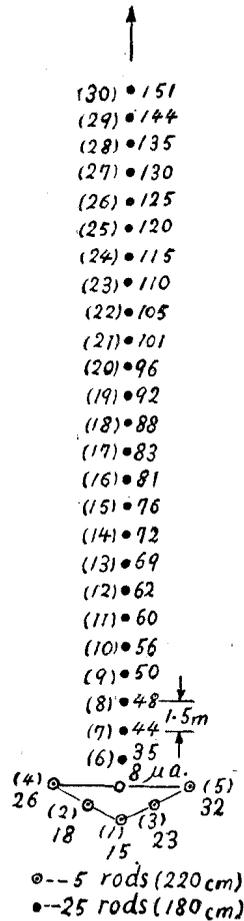


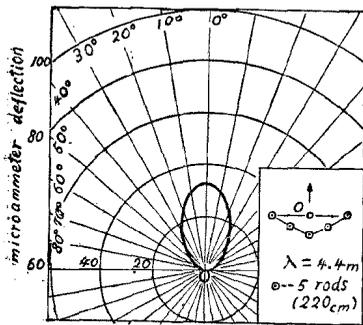
Fig. 3

果が甚だ悪い。其中間の 1.5 米、1.6 米、1.7 米位のところが適當で、何れも殆ど變らないと云つて差支ない程度の結果を與へる、つまり  $\lambda$  附近が適當であると云つてよい。以後の實驗に於いては、この間隔 (第一圖に於ける  $d$ ) が 1.5 米になつてゐる。

次に今一つ述べべきは、最初におかれるディレクターと空中線の距離である。この點に就ても理論上より求める事は困難と思はれる。ディレクターが餘り空中線に近くなれば、之に反作用を及ぼすのみならず、反射系全體にも react すべく、ために不良の結果を來たすであらう。事實この距離は前記諸圖に於ける場合の如く、各ディレクター間の距離と等しく 1.5 米にする事は、幾分か小に失する。實驗によると、半波長より少し大きい 2.5 米乃至 3 米位が最も適當であつた。後節述べる實驗の中には、この距離が 1.5 米のもの、他に、2.5 米、または 3 米にした場合の結果が擧げてあるのは、そのためである。

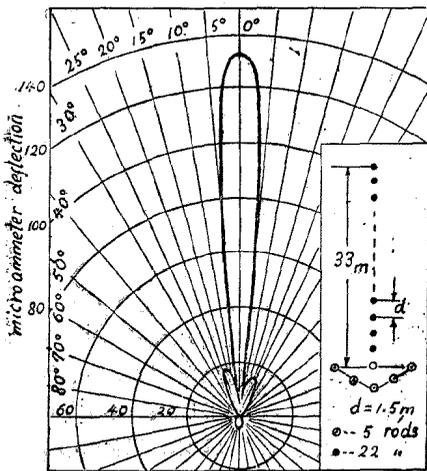
(a) 受波系に鑛石檢波器を使用した  
場合に於ける測定結果

この時は發振器として用ひた真空管は小型の  
オーディオン、バルブであつた。受波系には感



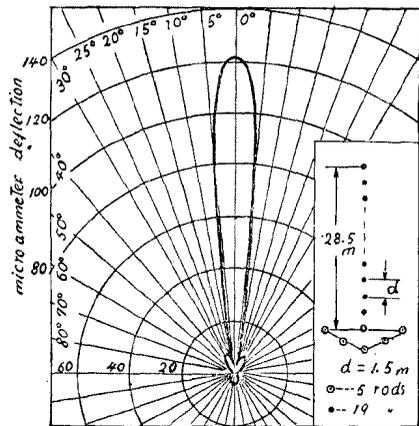
Trigonal reflector with 5 rods

Fig. 4



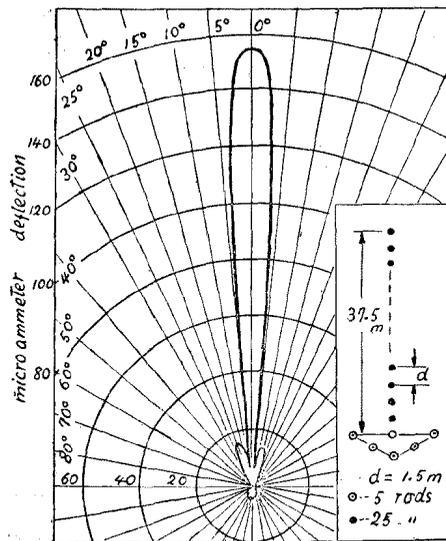
Single canal projector with 22 directors

Fig. 6



Single canal projector with 19 directors

Fig. 5



Single canal projector with 25 directors

Fig. 7

度のよい鑛石検波器を用いた。實驗中はこの鑛石系の感度が特に變らないやう留意した。この時の實驗結果は第四圖乃至第七圖の極座曲線圖であつて、空中線を中心とする半徑 50 米の圓周上に測定したものである。極座曲線圖の動徑の長さは、受波系に入るメーターの讀みを直ちに取つてある。

第四圖はダイレクターを一本も使はない、5 本の反射器のみ存する場合の極座曲線圖である。第五圖は 19 本のダイレクターを有する場合、猶ほ其數を増して、22 本 25 本とした場合は、夫々第六圖第七圖に示してある。比較のため何れも同じ状態で實驗した。而してこれらの場合は、反射器はすべて半波長 220 種、ダイレクターは何れも 180 種の眞鍮棒を使用した。

これらの結果より、ダイレクターの數を増すにつれ、前方に發射される電波の勢力愈々強勢を加へ、同時に側方に出る勢力が大いに減少し、益々鋭いビームが實現出来る事は明かである。第六圖第七圖を見ると、發射勢力の大部分は 10 度以内の角度中に聚められてゐる。第八圖はすべてのダイレクターの長さを 190 種にした場合の結果で、其數  $n$  の増加と共に愈々指向性の顯著になる事を示す。

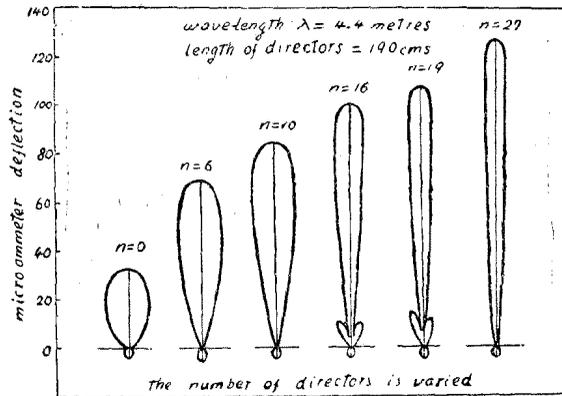


Fig. 8

(b) 受波系にサーモカップルを使用した場合の測定結果

使用した鑛石検波器が使用状態のもので、電界の強さの自乗を正確に示さないものであれば、その特性が測定結果にあらはれてくる事勿論であるから、得られた極座曲線圖は嚴密には勢力に比例したものを與へない事になる。この點が明かでなかつたので、其後、用いた鑛石検波器を實際使用状態のもので、サーモカップルと比較して、校正して見たのである。その結果電界の強さが弱い所では、凡そ自乗に比例した讀みを與へるが、電界の強さが大きくなると、自乗以下となり寧ろ比例に近いものを與へるに至る事を知つた。従つてこれに依つて測定した前記第四圖乃至第八圖の結果は、電界の弱い點が比較的大きくあらはれるから、幾分か實際のものより悪い結果を與へる。距離が近くて電界の強さが比較的強くなると、殊に然りで、我々の場合には 50 米の距離で測定した場合は、兩者の差異はそれほどでないのであるが、30 米或はそれ以下になると、電界の強さが大きくなるので、鑛石検波器によるものの方が可なり實際より悪いものを與へる。

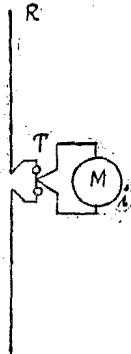


Fig. 9

上述の理由で、後になつてサーモカップルを用ひ、再び同様の實驗を試みたのである。第九圖はこの時の受波系の接続圖を示す。R はヘルツ共振子よりなる受波空中線、T はサーモカップル、M はマイクロ、アンメーターである。この時は電源の勢力を大にする必要があつたので、5 ワットのサイモトロン 202 を二個グツシウ、プルに使用した。第十圖は六本のダイレクターを使用した場合であつて、同じく 11 本の場合は第十一圖、14 本を用ひた場合は第十二圖に示してある。僅か 14 本のダイレクターを使用してすら、極めて鋭いビームが得られる事がわかる。これらの場合

は何れも距離は 30 米で測定した結果で、波長は前節 (a) の場合と同様 4.4 米、反射器は

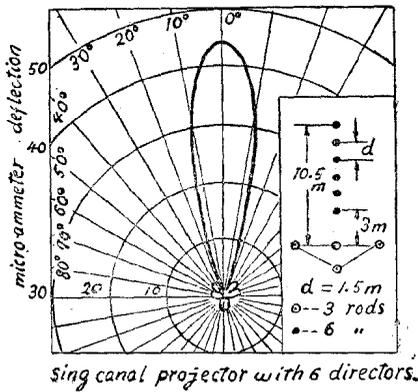


Fig. 10

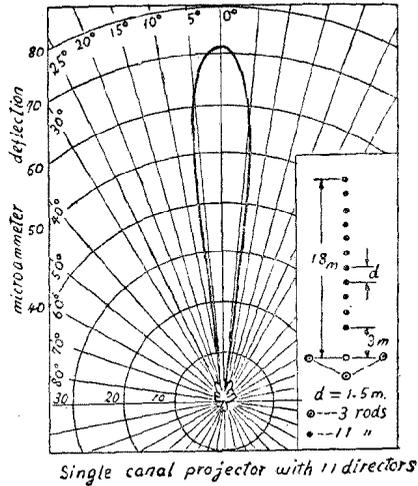


Fig 11

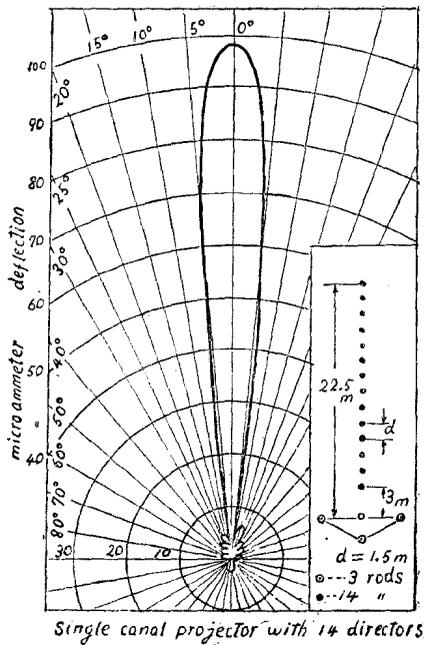


Fig. 12

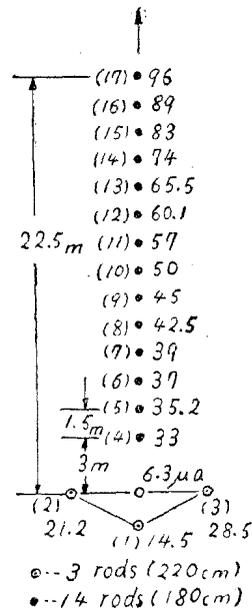


Fig. 13

220 種の長さ、ディレクターはすべて前同様 180 種のものを使用してある。只少し前と異なる點は反射器は三本である事と、最初のディレクターと空中線の距離が 3 米にしてある事である。第十三圖はこの場合に於ける反射器及びディレクターを番號に従つて順次増した時、受け取られる勢力が如何様に変るかを示す。番號の傍らに附記した數字は、第九圖に示すメーター M の読み  $i$  を表はし、最初空中線單獨の時  $6.3 \mu a$ 、であつたものが、3 本の反射器と 14 本のディレク

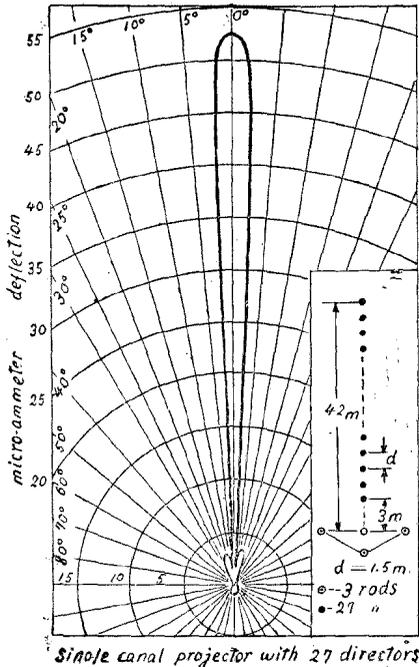


Fig. 14

第十五圖に於て  $a=1$  m.) 26 本のダイレクターを使用した場合、これらの長さを等しく同時に變へる時は、前方に發射される勢力は第十六圖の如くなる。この時も受波勢力は凡そ 180 輝の附近で著く強勢となる。而してそれより長くなると、急激に減少し來たり、210 輝以上では殆ど電波が前方にトランスミットされない。第十七圖はこの時、最大發射を與へる點、即ちダイレクターをすべて 180 輝の長さにして、半徑 50 米の圓周上に測定した時の極座曲線圖である。

第十八圖は二つのカナル間の距離を種々にした場合に、極座曲線圖が如何に變るかを示す。この時ダイレクターの数は 26 本である。同じ状態のもとで、半数のダイレクターを使つて、第一圖に示す single canal projector にすると、ほぼ第十八圖の  $a=1.5$  米の極座曲線圖と凡そ似た結果を得る。従つて多くのダイレクターを使つて、2-canal にしたが爲に得るところが極めて少い、のみならず二つのカナル間の距離が適當でない時は、却つて單一カナルの場合より不良の結果さへまねく。

#### (b) 3-canal wave projector.

第十九圖は三列の互に並行なカナルを有する、3-canal wave projector を示す。今相互の距離  $a$  を 1.5 米にし、27 本のダイレクターを使ひ、それらの長さを一様に伸縮すれば、第二十圖に示すが如く、(a) の場合と同様凡そ 180 輝の附近で、前方に送られる勢力が最大となる。こ

ターを全部使つた最後には 96 の讀みとなり、即ち勢力にして約 15 倍以上になつてゐる。

第十四圖は同じく 180 輝のダイレクターを 27 本まで使用した場合であつて、半徑 50 米の圓周上に測定した結果である。これを見ると、凡そ 5 度の角度内に發射勢力の殆ど大部分が聚められてゐる事がわかる。更にダイレクターの数を増せば、愈々一層鋭いビームとなり、他の如何なる方法を以つてしても、恐く得る事が出来ないと思はれる極めて鋭い指向性が得られる。

#### (4) Multi-canal wave projector.

##### (a) 2-canal wave projector.

第十五圖に示すが如く、三角型反射器の前に、二列の互に並行な wave canal を排列する。このシステムを 2-canal wave projector と名付けやう。

今二つのカナル間の距離を 2 米にし、(即ち

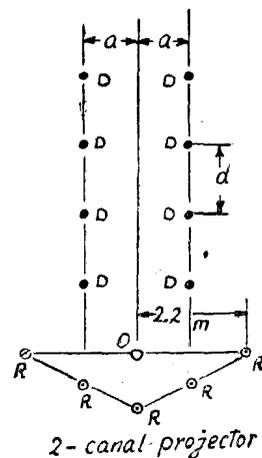


Fig. 15

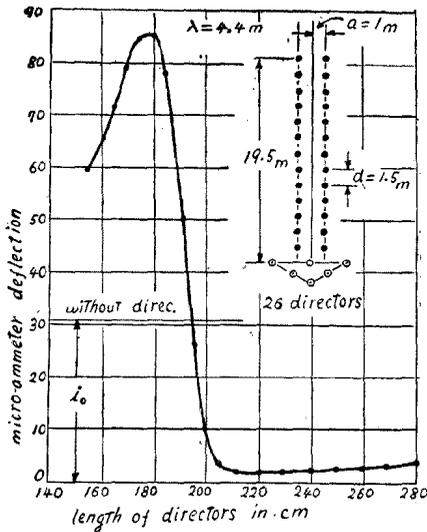


Fig. 16

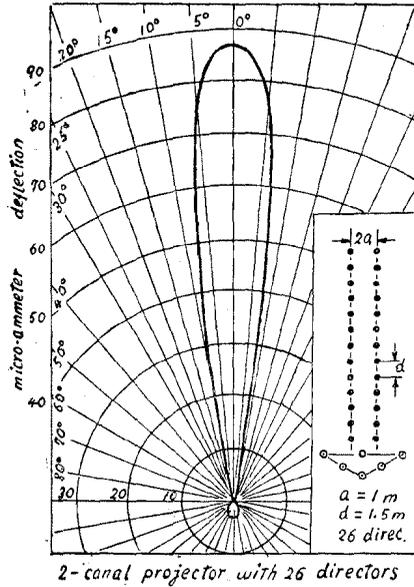


Fig. 17

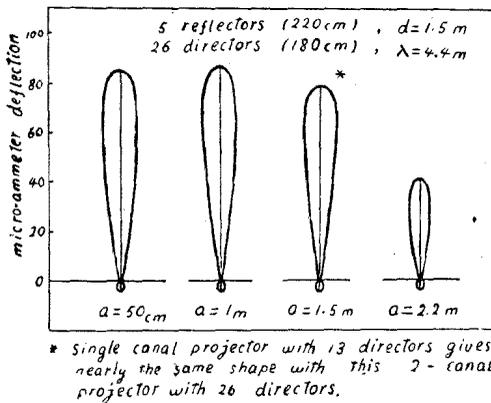


Fig. 18

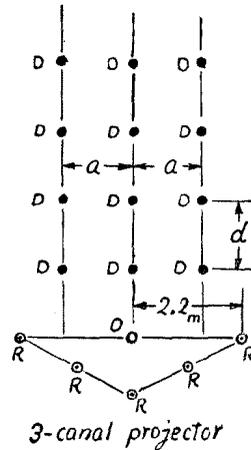


Fig. 19

の最大發射の時に於ける極座曲線圖は、第二十一圖となる。

第二十二圖は、各カナル間の距離  $a$  を種々に變へて、測定した結果である。 $a$  の値が凡そ 1.5 米の時、最もよい結果を與へてゐる。この時若し三分の一即ち 9 本のダイレクターを使用し、第一圖の如く排列すると、第二十二圖中  $a = 2.2$  m のものに凡そ似た結果を得る。従つてこの場合も、三列のカナルにしたが爲に、それ程効果を増してゐない事がわかる。これを要するに、multi-canal wave projector は一般にダイレクターの數も多くなり、構造も複雑になつてくる割合に思はしい好結果を與へないのである。従つて寧ろ簡單な然も有効に働く、單一カナル電波

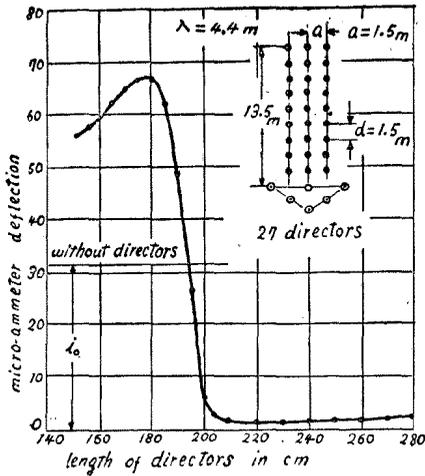
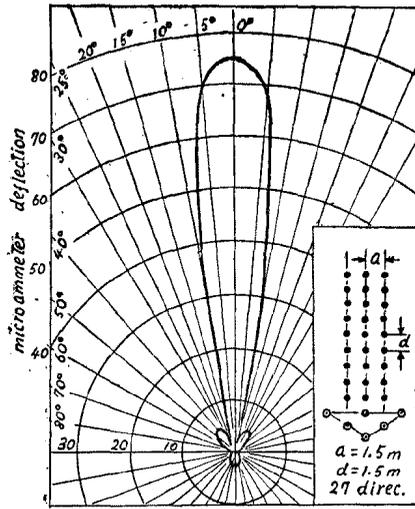
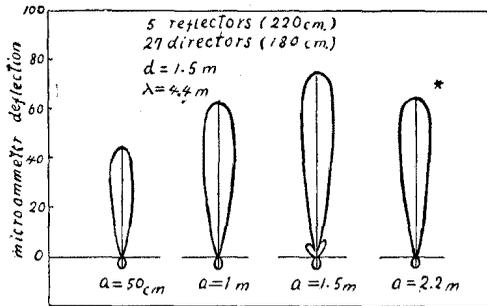


Fig. 20



3-canal projector with 27 directors

Fig. 21



\* Single canal projector with 9 directors gives nearly the same shape with this 3-canal projector with 27 directors.

Fig. 22

投射器の方を採用すべきである。

(5) Single canal wave collector.

単一チャンネル電波投射器は送信側のみならず、之を受信側にも使用する時は、また極めて有効な電波のコレクターとして働く。この時は Single canal wave collector と云ふ方が適當であらう。今送受兩所に之を用いた時の一例を示さう。第二十三圖に於て、A を發振側、B を受波側とする。従つて O は送波空中線、R は受波空中線を示す。發振器は 5 ワット真空管を用ひ、受波系には第九圖に示すが如く、サーモカップルを使用した。送受の距離を 54

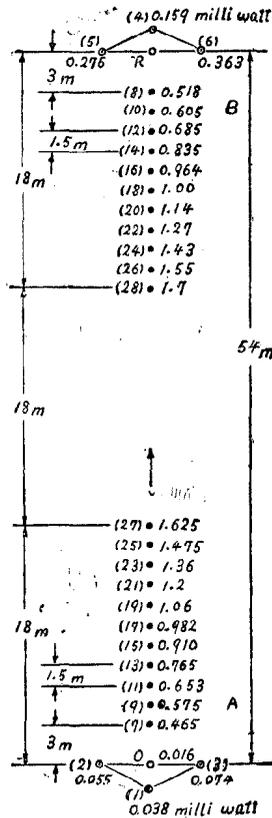


Fig. 23

米にし、最初すべての反射器及びディレクターを取り去り、兩空中線のみが存在する時、受波空中線 R に受けとられる power は 0.016 ミリワットである。今發振側より始めて、(1) (2) (3) と反射器を立て、次に (4)(5)(6) と反射器を受波側に立てる、更に (7)(8)(9)…… の順序でディレクターを一本づつ送受交互に増加してゆく時、R に受け取られる勢力は、番號の傍に示した數字の如く逐次増加する。この時の數字は第十三圖の場合と異り、メーターの直接の読みではなく、實際の power を示す。これを見ると、送受兩側に三本づつの反射器のみを置いてすら、既にこれなき時の凡そ 23 倍の勢力が得られ、ディレクターを加へれば、逐次勢力が増加し、最後に送受兩所のディレクターの数が各々 11 本になると、R に入る勢力は、空中線單獨の場合の凡そ 106 倍餘りになる。この實驗に際しては、兩空中線、反射器及びディレクターの下端は、地上凡そ 30 糎の高さにあつたに過ぎない。(前節諸實驗に於いても、また同様の高さにあつた)、従つて地表に要收される勢力も、少からずある事と思はれる。若し地上相當な高さで、この實驗を行つたならば、或はもつと、好い結果が得られるであらうと考へられる。

第二十三圖で、なほもディレクターの數を増し、送受兩側が愈々接近してくると、益々多くの勢力が R に受け取られるのである。その極端な場合は送受兩側をカナルで連絡した時であるが、これは問題外にわたる事であるから、茲に省く事にする。

(6) 反射の方向に排列せられざる電波カナル

Wave canal が反射器の丁度反射の方向に置かれず、ある角度をなした直線上に排列された場合に就て二實驗を試みた。第二十四圖第二十五圖第二十六圖は、夫々カナルの線が、反射の方向と 17 度 28 度 40 度の角を爲す場合の結果を示す。此時もカナルの線に沿つて、勢力が發射される事がわかる。然し傾きが増すにつれて、最大發射の値も減じ來たり、従つて電波投射器としての有効率も次第に減つてくる。

若しディレクターを一直線上におかず、ある曲線上に排

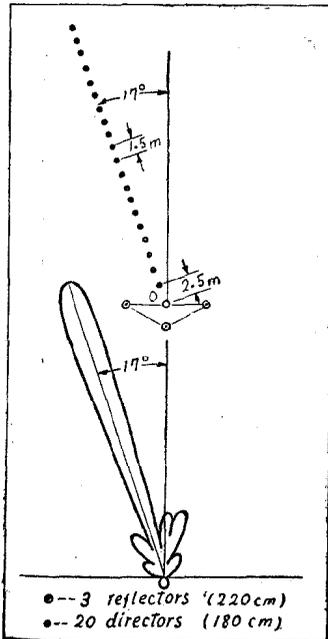


Fig. 24

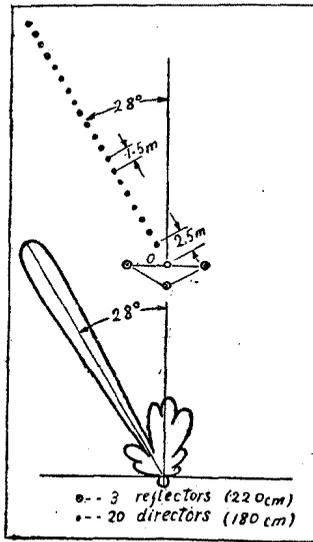


Fig. 25

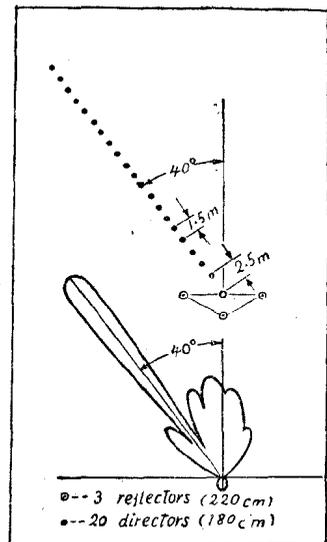


Fig. 26

列すれば、發射電波の勢力は必ずしも排列の方向にマキシマムを取らない。この時は一般に極座  
 曲線圖は複雑なものとなる。この事は第二十七圖第二十八圖の二つの例を見ても、知られるであ  
 らう。

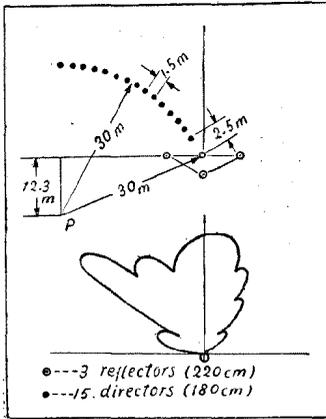


Fig. 27

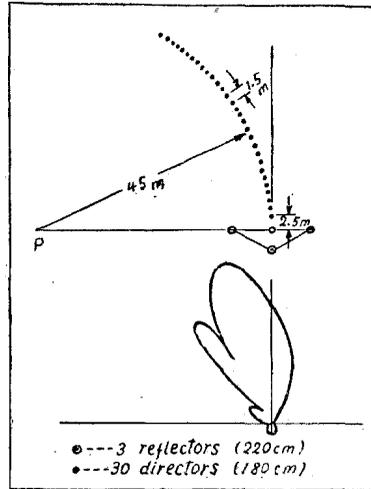


Fig. 28

(7) 結 論

本篇に述べた電波投射器は、その原理に於て従來のものとは根本的に異つてゐる。即ち今までの  
 如く、反射器のみを使用しないで、寧ろそれと全く相反した働きを有する、wave director の特  
 性を最も有効に利用するにある。この點が全く新しい點で、然もその特徴は、この方法によつて  
 得られる短電波ビームの指向性が、極めて顯著であると云ふ事である。そして従來の何れの方法  
 によるよりも、恐く最も鋭いと思はれるビームが、極めて簡単な構造を有するシステムで、然も  
 極めて容易に實現し得る點がまた大なる利點であらう。これは本文に挙げた多くの實驗結果を見  
 て、自ら了解出来ると思ふ。

この電波投射器に關して、先きに帝國學士院報告に八木教授と共に提出してある。猶ほまた之  
 に關聯した二つの論文が、同じく八木教授と連名で、大正十五年十一月東京に開催された第三回  
 汎太平洋學術會議へ提出した。

本文の研究は齋藤報恩會より學術研究費の補助を受け、之を行つたものであつて、茲に同會に  
 對して感謝の意を表すると共に、直接御懇篤な御指導を賜つてゐる八木教授に深謝する次第であ  
 る。(昭和二年三月)

參 考 文 献

拙 者 “短波長ビームに就て” 第一報告乃至第六報告  
 H. YAGI and S. UDA, “Projector of the sharpest beam of electric waves.”  
 Proceedings Imp. Academy, 2, 1926.  
 H. YAGI and S. UDA, “A new electric wave projector and radio beacon.”  
 H. YAGI and S. UDA, “On the feasibility of power transmission by electric  
 waves.” presented to the 3rd Pan-Pacific Science Congress held in Tokyo,  
 Nov. 1926.