

旧日本海軍における電波探信儀の開発過程

——大野 茂資料を中心に——

前 島 正 裕

〒169 東京都新宿区百人町 3-23-1, 国立科学博物館理工学研究部

The Development of Radar Technologies by Japanese Imperial Navy with The Ohno Collection

Masahiro Maejima

Department of Science and Engineering, National Science Museum
3-23-1 Hyakunincho, Shinjuku-ku, Tokyo 169, Japan

Abstract

The development process of the radar technologies in Japan consisted of four stages as (1) at a dawn before 1941, (2) inspection tour to Germany in 1941, (3) beat with gun radar and (4) out of gear. Through this stage, each kind of radar was made by The Naval Technology Laboratory. A 10 cm magnetron was developed individually on the first stage. A application of radar system came from Germany. However some gun radars had been reproduced based on US and UK radar. The Finally a technological innovation was not happened.

Key words: radar, magnetron

1. はじめに

大正末から昭和の初めにかけての15年間にラジオ放送、テレビジョンの実験、超短波の利用が始まり電子管技術が成熟した。その後第2次世界大戦を契機として高周波技術は急速に発達し、現代社会を支える技術として大きく成長した。近年欧米では技術史研究の一貫として、改めて第2次大戦における高周波技術、特にその中心となったレーダの開発史に興味が集まっている。わが国ではこの分野における研究はあまり盛んでなく、文献資料も敗戦時に廃棄されあまり無い。平成9年にこれら研究の基礎となる文献類が国立科学博物館に寄贈されたので、本論では同資料を元に我が国における海軍を中心とするレーダ（海軍は電波探信儀と呼称）の開発過程を考察する。

2. 電波探信儀研究の黎明

昭和の初めには超短波の利用の可能性が広がり、我が国においても電離層の研究、八木・宇田アンテナ（1925年）や岡部金次郎の分割陽極マグネトロン（1927年頃）など、世界に先駆ける研究が行われていた。高柳健次郎がテレビジョンの研究を始めるのもこの頃で、電子管の技術が花開こうとしていた。

海軍でも海軍造兵廠研究部で無線電信に関する研究が行われていたが、造兵廠研究部が海軍艦型試験所及び海軍航空機試験所と合体し大正 12 年に海軍技術研究所が創設され電気研究部がおかれると、無線通信や電離層、その後超短波の研究も同部を中心に行われていく事になった。またより実用的な研究をするべく呉工廠には電気実験部が置かれた¹⁾。

電波の反射を利用して物体の位置を検出する研究は、ドイツでは 1904 年に Christian Hülsmeier が行ったものが一般に知られている。電波の反射によって船舶の位置を把握し衝突を避ようというものであったが、これはあまり注目を浴びなかった。1934 年には GEMA 社が波長 48 cm のマグネトロンを使って、より実戦向きの装置の開発を始めた²⁾。英国においても 1935 年に電離層研究所のワトソン・ワットが電離層の高さを測定中、付近を飛行する飛行機からの反射電波を感受し、その存在を検知できることを発見した。

海軍においていつ頃電波探信儀の着想を得たかは明確ではないが、1937 年に伊藤恒雄、高橋勘次郎、水間正一郎はセンチ波 10 W の 8 分割陽極マグネトロン海技研 970 型を開発（後に橘型と命名）し、これを用いて電波による測距装置の開発を開始した。1939 年 5 月には日本無線を中心とするグループが波長 10 cm、連続出力 500 W のマグネトロン M3 を開発³⁾。技研も波長 10 cm の電波で横浜沖大観艦式で 5 km 先の感知に成功した⁴⁾。昭和 14 年 10 月、艦政本部長より海軍技術研究所長あてに「超短波応用の見張装置研究の件訓令⁵⁾」が発せられ、昭和 15 年内に有効射程 10 km の暗中測距装置の開発をすることとなった。以降海軍では本格的に電波兵器の研究にはいることとなる。

3. 対空見張り電波探信儀の開発

3.1 欧米よりの情報

電波を測距装置に用いるアイデアについて、海軍がいつ頃聞き及んだか不明であるが、ドイツの武装巡洋艦 Graf Spee (グラフシュペー) 号は 1938 年に Seetakt レーダを装備しているの、欧米への留学、学会や視察を通して随時情報は入っていたものと思われる。New York Times に掲載された航空機探知装置に関する特許⁶⁾や、米陸軍演習で公開された新航空機探知装置⁷⁾について 1940 (昭 15) 年には情報が入っている。1941 (昭 16) 年には海軍は電波を用いた測距装置について重大な関心を示し、在欧武官を通じて積極的に情報を入手している。例えば 2 月にはイタリア海軍武官より、超短波方向距離探知装置を用いた英艦隊に苦戦するイタリア海軍の情報を入手⁸⁾、3 月には米国駐在の有阪中佐に、米軍艦カリフォルニアとエンタープライズ搭載の装置の調査を命じている。その報告⁹⁾は、従来の測距儀の位置を変更してまで、取り付けた電波兵器らしき装置の重要性を指摘している。

昭和 16 年 2 月末には先行する陸軍に続き、海軍も遣独軍事使節団を軍事技術並びに軍事情報入手のためドイツに派遣した。こうして 3 月頃よりレーダに関する最新情報が次々にはいるようになる。3 月に視察団の伊藤庸二、松井登兵、大和忠雄は Amsgruppe technisches Nachrichtenwesens (NWA) 海軍省兵器局通信部を調査し、実戦に使用している超短波を利用した航空機検出装置を見学した。図 1 にその構造図を示す。この装置の基本原理は KH 層の高さ測定装置と同じものでインパルス変調、2.4 m 波、受信機側にスーパーヘテロダインを使用し、測定距離は 100 km である。他に波長 80 cm の小型水上艦船用装置も見学した。これは 30 m の高さに設置した場合戦艦を 20 km で探知できるものであった。さらに 4 月には西部戦線を視察しその有効性を確認している¹⁰⁾。日本側は機密保持の重要性から本装置を正式に X 装置と呼び入手方法の検討に入った。

その後、松井、鈴木が 6 月 15 日から 30 日にかけて X 装置に関する講習を受けた。受講内容は陸上対艦用装置（海面上 40 m に設置し、対戦艦で 30-50 km）、陸上対空用装置（波長 2.4 m で対航空機群に対し 150 km）、駆逐艦装備対空装置（ほぼ前者に同じ、空中線送信機のみ回転、受信機調整用補助送

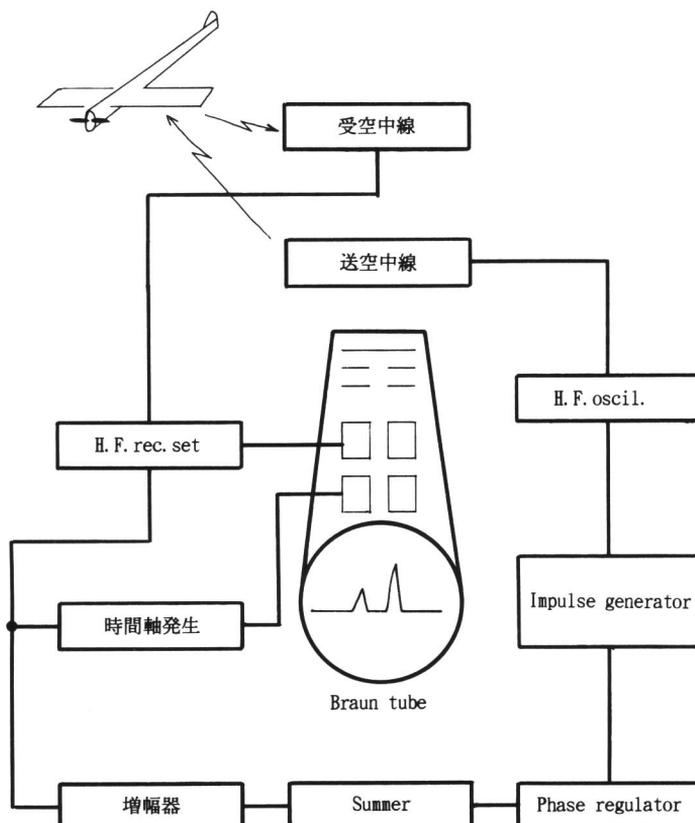


図1 超短波航空機検出システムの構造図¹⁰⁾。

信機内蔵)、潜水艦装備対空装置(固定空中線で、電氣的補助装置の調整により旋回と同じ効果を得る、測定範囲は約50 km以内)¹²⁾であった。

3.2 電波探信儀研究本格化

当時の軍の考え方では、自ら電波を出す探信儀についてなかなか理解が得られなかったが、1941(昭16)年の英国政府の発表やドイツ視察団の報告により電波探信儀研究は本格化する。そしてそれまでの干渉を利用した方式から衝撃波方式に転向し、テレビジョン技術や電離層測定技術を応用し、波長10 m以下と波長10 cm以下の2方式に焦点を絞り実用化を計った。8月には波長4.2 m出力5 kWの実験器を作り9月には、ドイツよりの報告から半年で波長3 mの対空見張り用電波探信儀を試作した¹³⁾。この装置は12月頃正式に装備され、翌年2月頃南方数カ所に設置されたが安定せず、その後改良され9月頃には使用可能となった。これが一号電波探信儀一型である。昭和17年には一号一型の移動用一号二型及び艦船用電波探信儀二号一型が完成し、実装備された。一方10 cm電探は艦船用水上見張りとして計画された。最初はダイポール空中線に奥行の長い放物面鏡を付け、送受信機が空中線と一体となつて、部屋と共に回転する方式であった。これは103号と呼ばれ、昭和17年5月に日向に搭載された¹⁴⁾。

3.3 二号二型電波探信儀

103号電探はその後改良され、二号二型となった。図2に二号二型電波探信儀の総合系統図を示す。本装置はM3をパルス変調用に変更したM312(図3)を送信用に使用し、尖頭出力約2kWの極超短

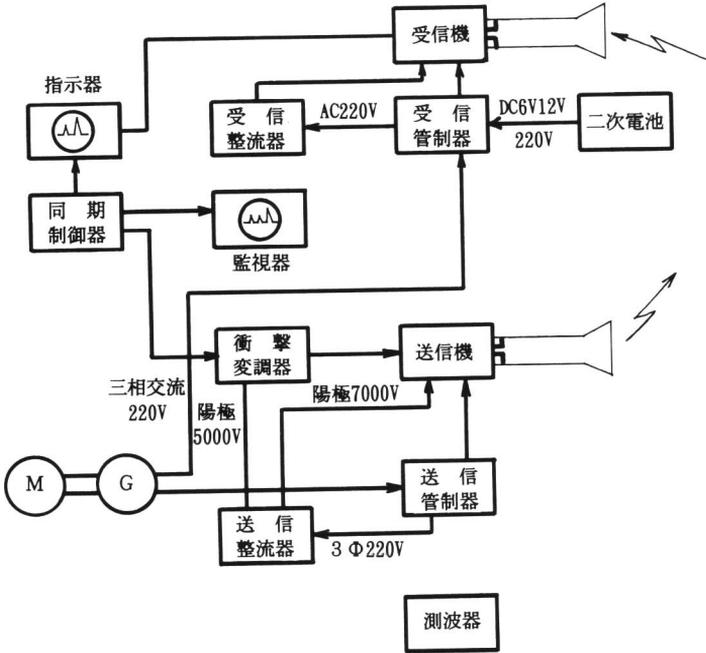


図2 二号二型電波探信儀総合系統図¹⁵⁾。

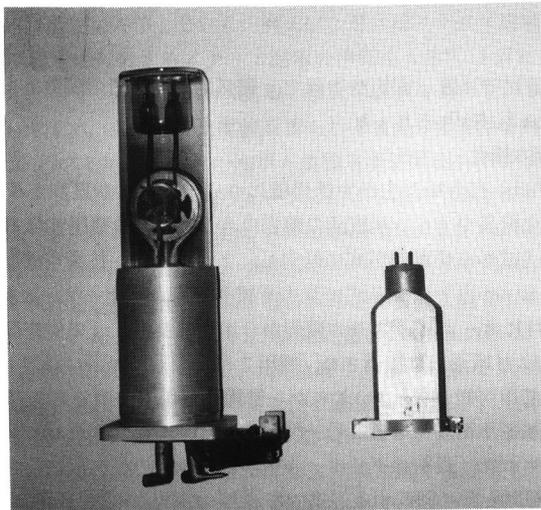


図3 二号二型電波探信儀使用マグネトロンM312とM60(アルミケース入り)。

表 1 各種二型電波探信儀⁶⁾。

名 称	使用目的	重量 (t)	装 備 位 置	性 能		備 考
				装 備 高	目 標 艦 (km)	
仮称二型電波探信儀二型 略称 220 号電波探信儀 大型反射鏡付き	陸上固定用	2	本装置は施回台の上に取り付けられた小屋の中に全部装備する	70 m 水平線 29.6 km	戦艦 40 駆逐艦 27 潜水艦 22	現在製造中止、潜水艦を探知するときは海上高 40 m 以上に設置すれば 20 km まで探知可能
仮称二分電波探信儀二型改一 略称 221 号電波探信儀 小型反射鏡付き	戦艦、巡洋艦用 但し陸上用とし ても可	1 +	発振部及び受信部のみを艦橋上でできるだけ高いところに装備し、他の機器は総て下部探信室内に置く	30 m 水平線 19.4 km	戦艦 34 駆逐艦 24 潜水艦 19	艦本三部の要求により 6 月までに 6 台完成の予定
仮称二型電波探信儀二型改二 小型電磁ラッパ付き 導波管式	駆逐艦、駆潜艇 掃海艇用	0.5 +	「ラッパ」のみを艦橋上でできるだけ高いところに置き、他は総て下部探信室に設置	15 m 水平線 13.75 km	戦艦 29 駆逐艦 18 潜水艦 12	艦本三部の要求により 2 月より月産 10 台
仮称二型電波探信儀二型改三 小型電磁ラッパ付き 導波管式	潜水艦用	1.3 +	「ラッパ」のみを司令塔前でできるだけ高いところに置き、他装置は艦内に設置	4 m 水平線 7.1 km	戦艦 23 駆逐艦 14 潜水艦 7	本機は現在計画中、但し 1 月未には改二を改造し実験の予定、6 月より月産 10 台を予定

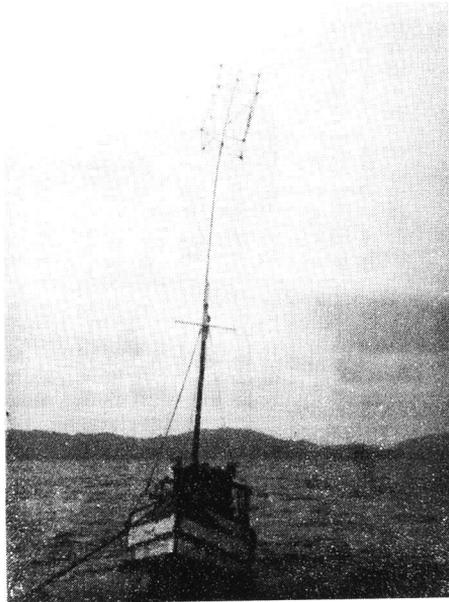
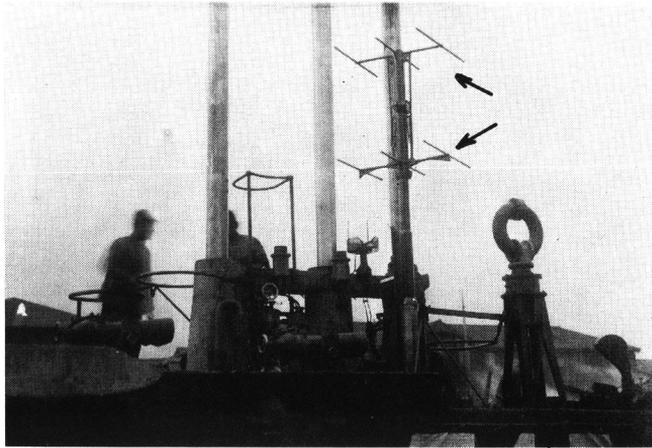


図4 潜水艦による八木空中線実験図.

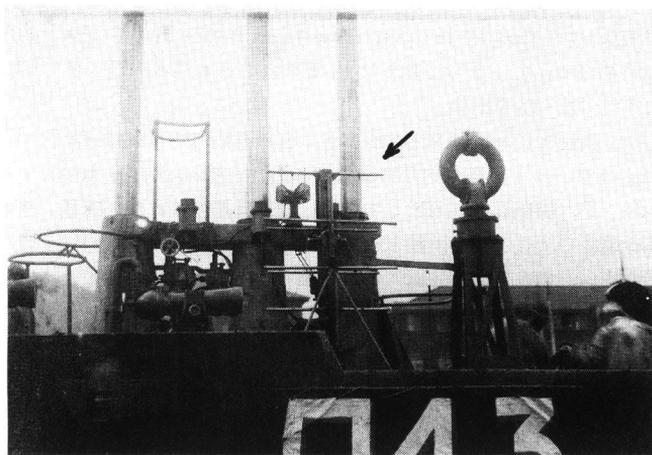
波を電磁ラッパにより発射し、その反射を受け超再生方式により信号化するものである。二号二型電波探信儀はその初期より波長 10 cm のマグネトロンを使用した画期的装置だったが、非常に不安定で特に送信周波数と受信回路のマッチングに苦勞し、実用化に時間がかかった。また運用に当たって、熱帯地域による絶縁の不良、真空管の不良、送信側と受信側マグネトロンとのマッチングの他、接触不良、送信トラップ、マグネトロン周辺のスパーク、変圧器とチョークコイルの不良などに悩まされた¹⁵⁾。その後、電磁ラッパ及び導波管を使用することに改められ、昭和 17 年 10 月二号二型改二として駆逐艦等小型艦艇に、電源に 50 Hz を利用し二号二型改三として潜水艦等に装備された。更に受信部をオートダイク式に代えるなどし、二号二型改四、19 年 7 月には鉱石検波器を利用したスーパーヘテロダイク式となり、自己鑑査装置を搭載した。表 1 に各種二号二型電波探信儀を示す。

3.4 潜水艦用 一号三型改

昭和 18 年 10 月には小型の対空見張り用電探一号三型が完成した。波長は 2 m である。元々陸上移動用に開発されたが性能が良好のため、水上艦の他に潜水艦にも装備された。空中線のみを変更し折り畳み八木アンテナを既装備の短波檣に取り付け、艦橋に受信用空中線を設置することによって、潜行中も対空警戒が可能となった。実験は 1944 年 5 月頃から行われ、三号一型電探に八木アンテナを取り付け種々の目標に対して測定実験を行っている¹⁷⁾。図 4 は漁船に取り付けた探知目標で、反射体の高さは 10 m である。これを 5 km 先から捉えることに成功した。その後、12 月には伊 156 潜と伊 157 潜を使用して実用化試験が行われた¹⁸⁾。図 5(a) に広げた八木空中線を (b) に折り畳んだところを示す。図 6 は呉海軍工廠製巻き線型水中空中線である。その後夏頃までに一号三型及び二号二型電探は残存艦船のほとんどに装備された。



(a) 広げた図



(b) 畳んだ図

図5 潜水艦装備八木アンテナ。

4. 対空射撃電波探信儀の開発

4.1 対空射撃用電探の衝撃

昭和16年6月に、ハイドパークで目撃した対空射撃装置について英国から情報が寄せられた¹⁹⁾。加えて航空機、水上の艦艇探知や対空射撃に電波反射の方法が有効であり、現在本装置に関係する者は数千名に及び、更に陸海空軍の即時必要とする人員が一万名であることが報じられている。

1942年にはフィリピンで米軍、シンガポールで英軍のそれぞれ見張り用電波探信儀と射撃用電波探信儀があいつで捕獲された。文献により相違があるが、フィリピンで捕獲したものは波長3mの見張り用電探SCR271²⁰⁾と波長1.5mの射撃用電探SCR525型²¹⁾またはSCR268²²⁾と思われる。一方シン

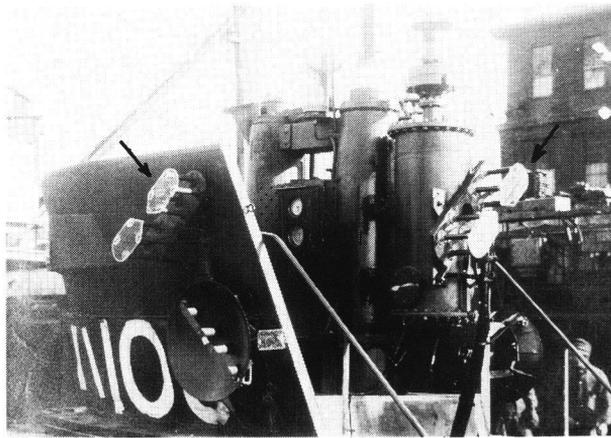


図6 潜水艦装備受信空中線。

ガポールで捕獲したものは波長 1.5 m の見張り及び位置測定用の電波探信儀 SLC (Search Light Control) または CD/CHL²³⁾ と波長 3 m の GL (Gun Light Radar) II 型²²⁾ である。図 7 に SCR271 の空中線構造図及び外観図を示す。さらに表 2 に 18 年末において日本が知り得た英国の電波兵器一覧を、表 3 に米国の電波兵器一覧を示す。

フィリピンにおいて捕獲した米国製 SCR268 型から資料を得て四号一型は設計された。第 1 号は昭和 18 年夏に完成し、ラポール中央高台砲台に装備された。一方シンガポールにおける捕獲兵器を参考に艦船用として四号二型、探照灯指向用として四号三型が兵器化された。四号二型は空中線及び送信出力を大にし、測距装置に変更を加え、陸上用の四号二型改二となった。四号三型についても、陸上用に転向され、送信電力を増大し測距装置に改良を加え、四号三型改二として陸上用対空照射となった。

4.2 仮称四号電波探信儀二型改二

四号二型はシンガポールにて捕獲された英国の GL 装置 II 型の資料を元に兵器化された。空中聴音器の架台に送信空中線として八木空中線一素子、受信空中線として八木空中線四素子及び送受信機が載っている。発振方式は環状プッシュプル、波長は 1.5 m、格子変調方式、送信真空管 TA1054、受信真空管 UN954。方位決定方式は受信空中線の指向特性を左右上下に振り、両者の受信感度を比較し同一となるよう追尾する振中比較等感度方式である²⁴⁾。外観図を図 8 に、送信機結線図を図 9 に示す。本機は九五式高射機または二式高射機と連結して使う。昭和 19 年秋には実戦配備された。

4.3 ウルツブルグレーダ

ドイツの射撃用電探の情報 は 1941 年暮れ頃より聞き及ぶ。松井は 1942 年 7 月 Telefunken 社にて Wurzburg C 型の外観を見学した²⁶⁾。10 月 7 日までの 14 日間陸軍武官と一緒にドイツ軍高角砲学校にてウルツブルグの講習を受けた。講習は主としてウルツブルグ A・C・D の原理構造の概要、取り扱い法、装備法、高射装置と探照灯との協同法、夜間戦闘機の誘導法及び将校下士官の教育法について行われた²⁷⁾。ウルツブルグ A は 1939 年に完成し、航空機の射撃法、C は 1940 年に完成し、A に比べ距離ブラウン管と俯仰角旋回角及び監視用距離ブラウン管を有している。D は 1941 年現在まだ改造中であるが、C に比べさらに距離精度を上げたものである。1942 年の暮れに本装置と付属資料一式を伊 30 潜にて日本向けに送付されるが、シンガポール沖で沈み図面及び装置の入手は大幅に遅れた。図 10

表2 英国電波兵器一覽表²²⁾。

名	装 備 場 所	用 途	性 能		備 考
			有 効 距 離	波 長	
陸上用	海岸要地	対空哨戒	300 km 最近大型 200 km	6.5~7.5 m 最近大型 15~10 m	1940 年秋完成
陸上用 (SLC) (CD/CHL)	海岸要地	夜間戦闘機誘導 艦艇位置測定	100 km	1.5 m 1.3~1.7 m	1941 年 3 月完成, 出力 50 kW 昭南島チャーギン刑務所装備
陸上用 (GLII 型)	局地	夜間戦闘機誘導 高角砲射撃	35~50 km 最近中型 100 km	3.5~5.5 m 最近中型 3.7~5.7 m	1939 年完成 昭南島にて捕獲
機上用	哨戒機	対潜偵察		1.5~1.6 m	独潜水艦の潜望鏡 1.5 m を発見
機上用	夜間戦闘機	対空距離方向測定	5 km	1.3~1.5 m	
機上用	索敵機	索敵・偵察	対艦船 35~70 km 対潜 35 km	1.3~1.5 m	
機上用	パスファインダー	下方対空見張り 高度測定 航法に利用 夜間艦船爆撃		10 cm	1943 年完成, 将来夜間洋上爆撃には有効 夜間戦闘機の下方攻撃を防ぐ
機上用	雷撃機	夜間雷撃			極めて有効な夜間雷撃を実施空 中線は前方及び左右
艦船用	対艦船夜間射撃用	対艦船夜間射撃			地中海艦隊は有効に実施 水中に電波を発射し弾着観測
艦船用	その他対空見張り哨戒用, 対艦見張り用, 対空射撃用, 味方識別装置等を有する物のごとし				

表3 米国電波兵器一覧表²²⁾.

名称	装備場所	用途	性能			備考
			有効距離	精度	波長	
陸上用	局地	対空見張り	100～ 300 km		3 m	出力 50 kW, コレヒ ドール島最高部に装備
陸上用	局地	対空射撃	36 km	±1°	1.5 m	出力 7.5 kW, コレヒ ドール島装備
艦船用 (SD)	潜水艦	対航空機	18 km	10～7%		Granadier 及び新型潜 水艦装備
艦船用 (SJ)	潜水艦	対艦船	18 km	2～5%	10 cm	潜水艦 Sculpin 号, 潜水 母艦 ホーランド号装備
艦船用		対空射撃			0.6 m	ウラキ号搭載
機上用	艦攻機に搭載	対空見張り	40 km			艦上攻撃機 TBF-1 に 装備
機上用			180 km		0.3～ 0.6 m	島, 艦船, 潜水艦, 航 空機を探知

(a) にウルツブルグレーダー FMG39T (無線送信機 FuSE62 型) の構成図を, (b) に外観図を示す. ウルツブルグレーダの国産化には苦勞し, 1944 年に陸軍がタチ-24 として完成する. 表 4 に 18 年末において日本が知り得たドイツの電波兵器一覧を示す.

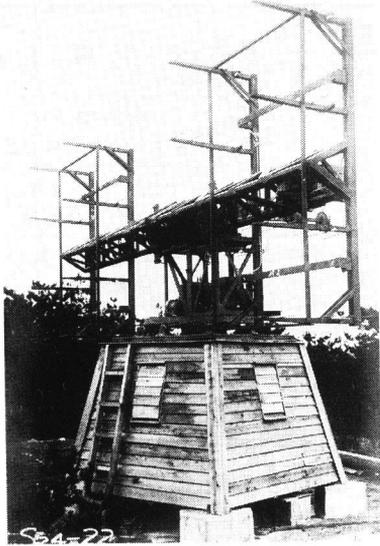
5. 航空機搭載電探

航空機搭載型電探は空技廠で開発を担当したので, 本論では詳しく述べないが, 昭和 18 年 5 月, 波長 2 m の航空機用電波探信儀が完成し, 大型機に装備された. その後 9 月にドイツより Y 装置の情報が入り, 味方爆撃機の誘導, 昼間戦闘機隊の指揮に使用する装置の情報を得た. 本装置はドイツで 1940 年より爆撃機に使用, 1942 年より電波標定機との協同により戦闘機の誘導に使用された²⁹⁾. 1943 年にはドイツより Lichtenstein (FuG212) 及び FuG213 を 2 組入手²⁷⁾ した.

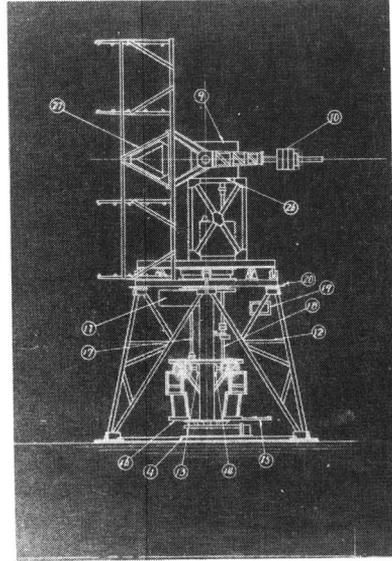
1943 年 2 月にドイツはオランダの (Rotterdam) ロッテルダムで英空軍爆撃機より, H₂S 型を使用した PPI 航空機搭載レーダーを入手した. センチ波を使った PPI 航法レーダにドイツは大きな衝撃を受けた. 調査中の情報が 6 月に日本にも入る³⁰⁾. 本装置は爆撃隊誘導のためのもので, 送信管はロシア特許の 8 分割マグネトロンを使用していた. その後ドイツは最新式ロッテルダム X を 1944 年 1 月のベルリン空襲で入手. その時, 使用波長は九糧から 3.4 糧へと縮まっていた. 波長 3 cm の H₂X レーダは米国が 1943 年に開発したものである. 1 月から 3 月にかけて新ロッテルダム装置による威力³¹⁾, 構造, 双曲線航法への応用³²⁾, 複製化と対策³³⁾ についての情報があいついで日本にも入ってきた. この時点で米英との技術の差は決定的であった.

6. ま と め

超短波から極超短波の開発は未知の世界であった. しかし当時の日本では八木・宇田アンテナ, 岡部金次郎の分割陽極マグネトロンや電離層の研究など, レーダの開発の要となる技術については, 海

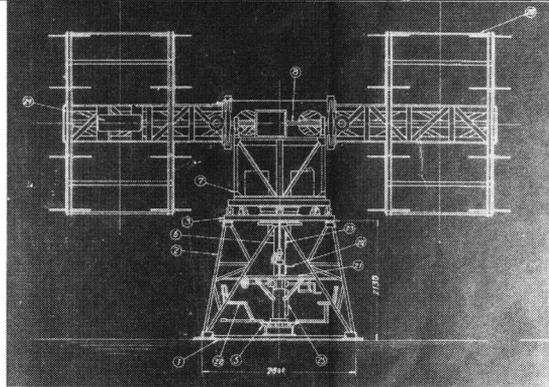


(a) 外観図²⁴⁾



外観側面図²⁵⁾

図号	部品名	図号	部品名	図号	部品名
1	天板	7	送受信機	25	電動機
2	支柱	8	電線	26	天板
3	天板	9	送受信機	27	天板
4	支柱	10	送受信機	28	天板
5	支柱	11	送受信機	29	天板
6	支柱	12	送受信機	30	天板
7	送受信機	13	送受信機	31	天板
8	電線	14	送受信機	32	天板
9	送受信機	15	送受信機	33	天板
10	送受信機	16	送受信機	34	天板



外観正面図²⁵⁾

図8 仮称四号電波探信儀二型改二.

外からも高い評価を受けていた。レーダのアイデアは欧米での発想から数年遅れて日本に届いているが、これは当時の電気の分野ではよくあることであった。それにも関わらず 1941 (昭 16) 年の海軍と在外武官の通信を見れば、レーダの目的とその威力について極めて正しい認識を持っていたことが分かる。まして、昭和 16 年の時点で 10 cm 波を使った装置の開発を目指したことは先進的ですからあ

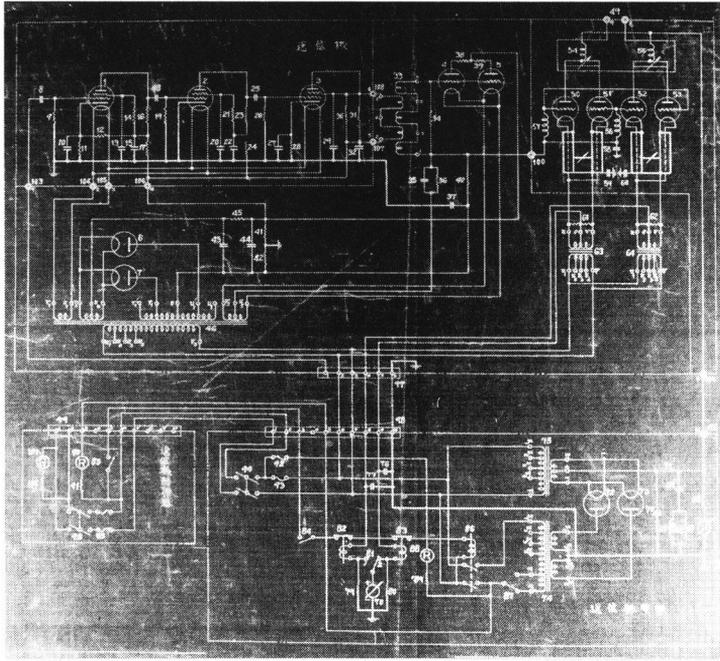
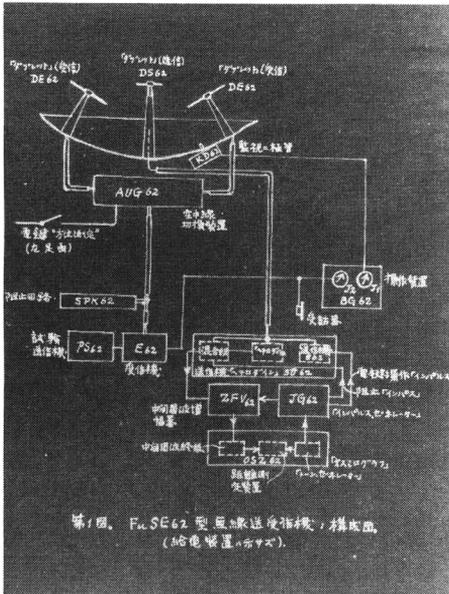
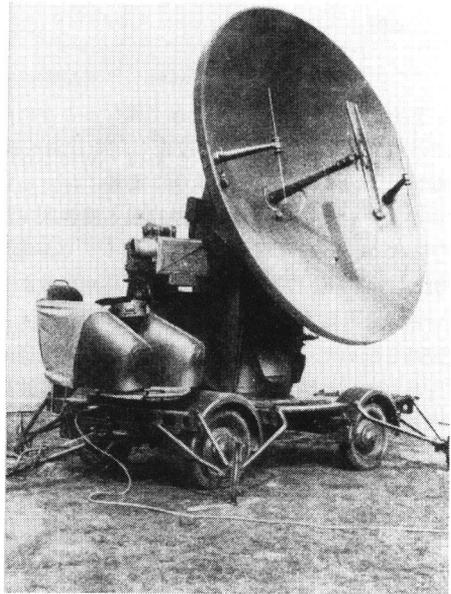


図9 仮称四号電波探信儀二型改二送信機結線図²⁵⁾



第1図. Fig. SE 62 型 電波送信機、構成図
(給電装置、省略)



(b) 外観図

(a) 送信部構成図

図10 ウルツブルグレーダ²⁸⁾

表4 ドイツ電波兵器一覧表²²⁾.

名 称	装備場所	用 途	性 能		
			有効距離	精 度	波 長
フライア	海岸 海陸要地	対空哨戒	200 km	±100 m ±1°	2.4 m
リーゼ	局地	夜間戦闘機誘導	80 km	±15 m ±1/4-1/5	40 cm
ドーラ Wurzburg D	局地		40~20 km	±25 m ±1/4-1/8	40~50 cm
Y 装置	昼間戦闘機	対空距離方向を測定し 戦闘機隊を指揮誘導			648 m
潜水艦用	潜水艦				
FuSG213	索敵機	洋上索敵 (対艦船)	160 km	±1 km ±5°	
リヒテンシュタイン FuSG212	夜間戦闘機	対空空中援索	8 km	±100 m ±3°	53 cm
妨害装置	海岸要地				
電波見張装置 (FMB)	潜水艦				0.6~3.5 m
電波見張装置 (FMB)	海岸要地				

た。しかし、結果は欧米と大きく異なることになる。

ドイツは1942年にレーダ技術の開発計画を推進するために、15,000人の科学者や技術者を兵役から解放した。4章で触れたように英米においても徹底的な動員が行われている。これらの情報を日本もつかんでいたが、一部は戦争宣伝と受け取ったようだ。当時の日本はドイツからレーダ技術の多くを学んだが、1943(昭18)年にはドイツでさえ英米に対して遅れをとるようになる。太平洋戦争では一般に1942(昭17)年12月のサボ島沖海戦あたりからレーダーにより戦況が不利になったと言われている。米軍はこの頃すでにMark 3やMark 4と呼ばれるPPI式のSG型水上および対空射撃レーダを装備し始めた。当時日本では対空見張り電探の増産のために、各工廠の電気部等の人々を集め研修が行われていた頃である。海軍があわてて電波兵器を中心とする無線兵器を開発する第二海軍技術廠を作るのは1945年である。

基本的には電波の反射を確認できれば良い見張り用電波探信儀と、精確に位置を測定しなくてはいけない射撃用電探、さらにPPI式航法レーダの間には、基本原理は同じでも技術的には大きな開きがある。レーダは電磁波や高周波に関する物理の他、電子管やテレビジョンなどの技術が複合してできあがった装置である。そして電子管の技術を支えるのは金属や半導体材料などの技術である。ちょうどピラミッドの頂点のような位置にあるレーダ技術の開発のためには、周辺技術の広いすそ野が必要であった。昭和15年頃からの五年間の海軍における電探開発は驚嘆に値するが、当時の戦争指導層における未知の技術を物にするための取り組みの違い、特に電子技術に対する認識の差が大きかったと

言えよう。

最後に、これら貴重な文献資料を保存された元海軍技術研究所技師故大野茂氏並びに同資料を寄贈頂いた大野信子様へ感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 電波管理委員会『海軍無線史』日本無線史第10巻，1951，185-195.
- 2) 田中浩太郎訳「第2次世界大戦におけるレーダー戦争」1997.
- 3) 岡村総吾編『電子管の歴史』オーム社，1987，158-159.
- 4) 新川「電波探信儀概略」電波研鑽録第27号，1944. 2.
- 5) 艦政本部長「超短波応用の見張装置研究の件訓令」艦本機密第21901号，1939. 10.
- 6) 在米海軍監督官事務所「航空機探知装置」米監常報第8号，1940. 8.
- 7) 在米海軍監督官事務所「米陸軍演習関係記事」米監常報第9号，1940. 9.
- 8) 在米館付武官，機密電第110番電，1941. 2.
- 9) 在米館付武官「米艦に装備の枠型空中線等に関する有阪中佐の調査概要」機密第156番電.
- 10) 伊藤，松井，大和「超短波航空機検出装置」1941. 3.
- 11) 遣独軍事視察団長「X装置」機密第268番電，1941. 4.
- 12) 在独管付武官「X装置に関する講習」機密大613番電，1941. 7.
- 13) 立石行男「電探かく戦えり」今日の話題（第十八集），1955.
- 14) 電波管理委員会 前掲(1)，388-389.
- 15) 海軍技術研究所「二号二型電波探信儀」電波探信儀講習テキスト，1943.
- 16) 海軍技術研究所電気研究部「仮称二号電波探信儀二型ノ概要」1943. 1.
- 17) 潜水艦電波探信儀用八木空中線試作報告（第1回）.
- 18) 「潜水艦電波探信儀折置空中線並ニ水中無線空中線実験」潜水学校，1944.
- 19) 在英武官，機密78番電その1, 2, 1941. 6. 18.
- 20) 「米軍超短波警戒機追加記事」1943.
- 21) 八木和子「レーダーの史実」八木和子，1995.
- 22) 叶屋復雄「外国ニ於ケル電波探信儀ノ情況」電波研鑽録廼号，1943.
- 23) 防衛庁技術研究本部「技術資料」第82号，1978.
- 24) 海軍技術研究所「仮称四号電波探信儀二型改二 取扱説明書（案）」1944. 2.
- 25) 海軍技術研究所「仮称四号電波探信儀二型改二 別冊付図」1944. 2.
- 26) 松井登兵「燭英米電波探信儀，電波探知機及其ノ他兵器ニ就テ」電波外84，1944. 10.
- 27) 在独館付武官「ウルツブルグに関する講習」機密第6番電，1942. 11.
- 28) 「FuSE62型無線送受信機ニ対スル説明及ビ使用規則」1941.
- 29) 海軍技術研究所「Y装置」電波外資第11号.
- 30) 在ドイツ武官「英国新型機上用電探」外25，1943.
- 31) 「英機上用電探「ロツテルダム」X装置ト独乙側ノ対策」外27，1944.
- 32) 在ドイツ監督長「三，四樞電探（ロツテルダムX）」機密第637番電，1944. 2.
- 33) 在ドイツ監督長「三，四樞電探（ロツテルダムX）」機密第661番電，1944. 2.
- 34) 電波管理委員会 前掲(1)，382.

