

# 戦間期における旧海軍による航空機用無線通信機の 研究開発

## ―軍需からみた真空管の普及とその利用―

横井 謙斗

### 1. はじめに

無線通信技術は19世紀の終わりに発明された、20世紀を代表する技術の一つである。1888年にヘルツ (Heinrich Hertz) が行った実験により、マックスウェル (James Clerk Maxwell) の唱えた電磁波理論が証明され、ロッジ (Oliver Lodge) はヘルツの実験装置を情報伝達手段に応用できる同調 (syntony) 可能な技術へと改変させた。そしてマルコーニ (Guglielmo Marconi) は、1901年に大西洋横断通信を成し遂げ、無線ビジネスの道を切り開いた<sup>1</sup>。

その後、送信機は安定した連続波 (continuous wave) を生成することを目指して、火花式からアーク式、高周波発電機式へと改良され、受信機もコヒーラーから鉱石検波器へと各々改良が進められてきた<sup>2</sup>が、真空管の発明によって無線通信技術に革命が起こる。フレミング (John Ambrose Fleming) による二極真空管 (1904年) は、無線通信における検波・整流を可能にし、ド・フォレスト (Lee De Forest) による三極真空管 (1906年) は、増幅・発振を容易に可能にする画期的な発明だった<sup>3</sup>。次いで1912年にアームストロング (Edwin Armstrong) により再生・発振回路が発明されると、搬送波の生成も可能となり、音声信号を無線で伝送する道が開かれた<sup>4</sup>。真空管が発明されると、火花式などのそれ以前の無線技術はすでに時代遅れのものになった。

日本において真空管がどのように導入され、普及し、産業が形成されていったのかについては、経営史家の平本厚による一連の研究が存在する<sup>5</sup>。それによれば、日本における真空管の研究開発を開始し主導したのは、無線機のユー

ザーであり、専門知識を持った多数のエンジニアを有していた通信省と海軍だった。そして民間企業においても 1916 年頃から研究が開始され、両者から何らかの形で技術導入がなされつつ、1910 年代末ごろには真空度の高い硬真空管を完成させたとされる。

その後 1920 年代の展開において、平本はラジオ放送開始（1925 年）を大きな転機と捉えている。それゆえ、平本の先行研究では、1925 年以降は主にラジオ受信機用の真空管を対象とした分析が中心となり、その結果、1920 年代から 30 年代にかけての歴史記述は民需からの視点に偏る傾向があった。しかし、1923 年に海軍技術研究所が創設され、同研究所電気研究部を中心に短波通信や超短波通信、電離層の研究が行われるようになった<sup>6</sup>ことを踏まえると、当該期において真空管は軍用無線機用としての需要も高かったと予想される。したがって、その技術や産業の展開を振り返る上では、軍需・民需の両方を見据える必要があるだろう。

そこで本稿では、以下の二つの問題について解明し議論することを試みる。第一に、戦間期（1926 年頃から 1936 年頃）に海軍技術研究所で研究開発が行われた計 10 台の航空機用無線通信機（電信機・電話機）を取り上げ、各々の送受信機においてどのような真空管がこういった用途で使用されていたのかを明らかにしながら、各製品の開発過程を辿る。第二に、それら軍需から見た真空管の普及状況を、海外の動向や、国内のラジオ受信機といった民生品の事例と関連付けながら分析する。これらの作業を通じて、これまで分析が充分に行われてこなかった軍用無線機における真空管の普及状況を明らかにし、従来の歴史記述を再検討したい。

海軍技術研究所における航空無線機の研究開発の過程や使用された真空管の調査に際しては、同研究所の正式な実験報告書である『技研電報』と呼ばれる資料に依拠した<sup>7</sup>。『技研電報』に収録されている多くの報告書では、送受信機に用いられた真空管の名称が記されているが、正式な名称ではないと考えられる記述もある。こうした場合は、他の資料も参照しつつ、可能な限りその種類を特定することを目指す。また、国内での真空管の製造や民生品への普及状況

については、『東京電気株式会社五十年史』や、同社が1914年から発行した機関紙『マツダ新報』などに依拠しながら分析する<sup>8</sup>。

第二章以下では、時系列に沿いながら、次のような順序で議論を進める。まず第二章では、海軍において航空無線機の開発と利用が始まった最初の経過を振り返る。そして、マルコーニ社製のAD6Cを参考にしながら航空無線としては最初の海軍独自の製品となる一五式空一号無線電信機が開発される過程を検討する。第三章では、1920年代より重要性が認識されつつあった短波通信を取り入れた一五式空二号無線電信機の開発に注目した後、一五式空一号・二号の性能を向上させた八九式空一号・二号の開発過程を取り上げる。この時期に開発された製品で使用された真空管については曖昧な点も多いが、おおよそマルコーニ社の設計による真空管に依存し、一部東京電気のサイモトロンも使用されていたことを確認する。第四章では、1930年代前半に取り組みられた4種類の製品の開発過程に目を向け、送信管には東京電気のサイモトロンが、受信管にはRadio Corporation of America（以下RCAと略記）のラジオトロンが使われていたことを明らかにする。続く第五章では、同じく1930年代に入ってから研究が行われた2台の航空機用無線電話機を取り上げる。最後に、それまで明らかにしてきた軍需における真空管の普及状況について、海外での歩みや民生品における普及と関連付けながら分析する。

## 2. 日本海軍における航空無線機の導入と国産化

海軍技術研究所で航空無線の研究が開始されるのは1923年頃からであるが、本章ではまず、それ以前の草創期の動向を簡単に振り返りたい。

日本では世界初の有人飛行から6年後の1909年に陸海軍および大学関係者が合同で臨時軍用気球委員会を創設したことが、組織的な航空研究の嚆矢となったといわれる。その後海軍は独自の研究体制を整備するために、1912年に海軍航空術研究委員会を発足させたが<sup>9</sup>、その直後に航空無線の可能性が検討されていたという記録が残っている。1913年に水雷学校教官の徳田伊之助

は、金子養三<sup>10</sup>から「飛行機の無線通信機はどうすればいいか」という質問を受けたが、技術者でない徳田には見当がつかなかったという<sup>11</sup>。そこで彼は当時造兵部無線電信工場に勤めていた松木宇吉に、三六式送受信機に「瞬滅火花式 (quenched spark)」<sup>12</sup>を採用した電信機一組の製作を依頼し、約6ヶ月後に試作品が完成した。この電信機の受信機は鉱石検波方式で、電源は小型の二次電池に風力発電機で飛行中に充電するという方式だったという<sup>13</sup>。徳田はこの試作品を用いて飛行機上で火花を出してもガソリンに引火するおそれがないことを自身で確認すると、同年の9月頃に東京築地の海軍造兵廠内にある水雷学校通信兵無線電信所から送信し、和田秀穂<sup>14</sup>が操縦するモーリス・ファルマン複葉水上機に通信士として同乗した内ヶ島辰彦<sup>15</sup>が受信するという機上試験を行なった。その結果、築地と館山間の40 哩（約74km）で受信に成功した。しかし受信機における最良の調整を探し出すことが難しく、それ以降の実験に成功することはなかったため、このとき実用化には至らなかった<sup>16</sup>。

その後研究はいったん閑却され、海軍は1919年、1920年頃からマルコーニ社製品を輸入するようになり、「M式無線電信機」として利用していたようである<sup>17</sup>。このとき海軍では既にそれまで指導的立場にあった木村駿吉が第一線から退き、国産第一主義から輸入主義に変わっていた<sup>18</sup>。

松木が航空無線用にどのように工夫を施したのかは興味ある点であるが、その詳細を窺い知れる資料は現在確認できていない。だが、開発におよそ6ヶ月しか要しておらず、以下に見るように海軍技術研究所で開発が行われた製品一台あたりに必要とされた研究期間と比較しても、本格的な設計というよりは改良を基盤とした試作であったように思われる。

海軍が次に独自の航空機用無線機の開発に取り組むのは1923年頃からである<sup>19</sup>。同年4月1日には、ワシントン海軍軍縮条約締結に伴う兵器の「量から質」への軍備路線の変更を背景に、海軍内の総合実験研究機関として海軍技術研究所が設立されていた<sup>20</sup>。設立当初、電気関係の研究は研究部内の電気班で行われていたが、同年9月に発生した関東大震災による被災からの復興に際して大規模な組織改編が実施され、1925年に電気研究部が設置された<sup>21</sup>。そし

てこのとき電気研究部内に航空無線専門の部員が置かれることになり、その初代部員に任命されたのが園田又雄（旧姓は木原）だった<sup>22</sup>。園田は本稿で扱う10台の航空無線機のうち8台の開発に携わっており、海軍技術研究所における航空無線研究の中心人物である。

園田又雄は1923年に東京帝国大学工学部電気工学科を卒業し、同年5月に造兵中尉として海軍技術研究所に入所している。東大で執筆した卒業論文は『無線電話における変調制御』だった。彼は序文で、このテーマを選んだ動機として、近年無線工学が驚くべき進歩を遂げていること、以前から無線工学に関心を持っていたこと、そして電気工学科のこれまでの卒業生の中で意外なことにも無線工学をテーマにした卒業論文を書いた者がいなかったことを挙げている。論文は4章構成で、第一章では変調の一般的な解説がなされ、第四章において真空管を用いた変調方法が扱われていた。本章では、バン・デル・ビジル(Hendrik van der Bijl)<sup>23</sup>の先行研究を参照しつつ、園田自身も最も好ましい変調システムを模索していた<sup>24</sup>。また1922年12月に書かれた実習報告からは海軍造兵廠（後に海軍技術研究所に統合）において、Arc Generator（アーク放電器）、Searchlight（探照灯）に加えて、Three Electro Vacuum Tubes（三極真空管）を用いた試験を行っていたことが読み取れる。なお、序文では深井宗吉への謝辞も記されていた<sup>25</sup>。

『技研電報』の中で確認できる最初の航空無線に関する報告は、1926年2月6日に発行された深井宗吉・太田善一郎による『仮製航空機用無線電信送受信機試製報告』<sup>26</sup>である。深井宗吉は1912年に東京帝国大学工科大学を卒業し<sup>27</sup>、1915年に海軍造兵廠に造兵大技士として着任し、本報告書が出された1926年に海軍技術研究所を退任している<sup>28</sup>。彼は船橋無線電信所の建設に取り組み、鉄塔作業の指揮を執ったという仕事でも知られている人物だった<sup>29</sup>。一方の太田善一郎は、1922年3月に東京高等工業学校電気科を卒業したのち、海軍造兵廠に技手として入廠していた<sup>30</sup>。

本報告書では、海軍独自の試作品の機上試験の成果および、マルコーニ社製の無線電信機であるAD6Cと比較した際の特徴が記されている。マルコーニ

社では 1910 年の時点で火花式送信機および磁気検波器を用いた航空無線が開発されていたが<sup>31</sup>，第一次世界大戦中に送受信機に三極真空管が導入され，航空機用の無線電話機が普及した<sup>32</sup>。1923 年 6 月には英国で著名なパイロットであったヒンチリフ (Walter G. R. Hinchliffe) がマルコーニ社製 AD6 の送信機を用いて無線電話によって通信に成功したといわれ<sup>33</sup>，AD6C はおそらくその一種であると思われる。

AD6C の送信機には，発振用に 1 個，変調用に 2 個と，計 3 つの真空管が使用されていた。深井と太田は，AD6C においてはとりわけ変調用に 2 個用いている点を優れていると評価しつつも，海軍製品の設計に際してはエネルギー損失の点よりこれら変調用の真空管を取り除き，発振用に並列で 2 個使用するように改良を加えている。一方の受信機では，AD6C では 5 個，海軍製品では 6 個の真空管が使用されていた。『技研電報』には，海軍製品の送信管は「発振電球三号一型」，受信管は「六号検波電球」を用いていると書かれているが，これらが具体的にどのような真空管を指していたのかは現段階ではわからない。また AD6C に用いられている真空管については，送受信機ともに記載がない。しかし，岡村純編『航空技術の全貌』によれば，AD6 型の受信管は検波用に QX，増幅用に V-24 という三極真空管が使用されていたと書かれている<sup>34</sup>。QX，V-24 はともにマルコーニ社製の真空管で，第一次大戦後にマルコーニ社のラウンド (H.J. Round) によって設計された同社草創期の真空管だった<sup>35</sup>。V-24 は英国海軍でも多用されていたという<sup>36</sup>。

この製品の性能 (150W，送信波長 600-1500m，75m の垂下式<sup>37</sup> アンテナ，不衰減電波電信及び電話可能なもの) は，『日本無線史』に書かれている一五式空一号無線電信機のそれと一致しているため，この試作品は一五式空一号の原型であったと判断できる。だが演習等の「実施部隊」にとっては，やはりマルコーニ社製の方が扱いやすかったようである。一五式空一号は 1930 年に取り扱いの簡便化を目指して大幅に改修されることになるが，このとき使用真空管に変更はなかった<sup>38</sup>。

松木が火花式の航空無線機を試作してから約 10 年が経ち，海軍技術研究所

において技術者らはマルコーニ社製の AD6C を参考にしながら海軍独自の航空無線機の開発に取り組んだ。このようにして完成した海軍内初の独自の兵器が、一五式空一号無線電信機であった。

### 3. 航空無線への短波の導入

一五式空一号無線電信機の開発が行われていたのと同時に、短波を利用できるように設計されたもう一台の航空無線機の研究も同時に進められていた<sup>39</sup>。

この一五式空二号無線電信機の開発を担当したのは、大沢玄養と太田善一郎の二人である。大沢は 1919 年に東京帝国大学理科大学を卒業し、船橋無線電信所の所長を務めた後、1920 年末に造兵廠研究部に赴任した。この報告書が出された翌年の 1928 年末に昭和製作所に入社している<sup>40</sup>。

短波は一般的に波長 10m 以上 100m 以下の範囲の電波を指し、1920 年代に入ってその重要性が認識され始めた。マルコーニの業績の一つは、垂直接地アンテナを利用し長波を発生させることで、それが地球の湾曲に沿いながら長距離まで伝達が可能であることを発見したことだった。1920 年代以前に短波を用いた実験が行われなかったわけではないが、当時利用可能であった真空管は高周波を発生できなかったため、うまくいかなかった。したがって、マルコーニはもちろん同時代の誰もが長波に注目し、1919 年に英米両政府はアマチュア無線家に対して 100m 以下の「無用な」帯域を開放した。しかし 1920 年代に入ると真空管の実用期に入り、いろいろな周波数の発振が容易に得られるようになったことを背景に、アマチュア無線家らは短波を利用しても長距離通信が可能であることを発見した<sup>41</sup>。日本海軍もこうした動きを注視していたようで、1925 年 4 月に谷恵吉郎と中田豊蔵は、海軍技術研究所で試作した出力 100W の送信機を用いて海軍内初の短波通信の実験を行なっている<sup>42</sup>。

大沢と太田は、短波通信を航空無線に活用することの利点を次のように論じている。昨今航空機の行動範囲が広がるにつれて要求される通信距離も伸びる傾向にある。それに伴い送信に必要なエネルギーも大きくなり、送信機の容積・



重量も大きくなる。だが飛行機上に搭載できる無線機には容積・重量ともに制限がある。そこで同じエネルギーであっても長波に比べて遠達性が期待できる<sup>43</sup> 短波は、航空機用として活用する場合のメリットは大きい。さらに短波は長波のような垂下式アンテナではなく固定アンテナを用いることができるため、不時着した際も自己の位置を母艦等に通報でき、保安上も大きな意義があると。では、この一五式空二号無線電信機はどのような真空管を用いていたのだろうか。

報告書の最後にある回路図からは、送信機には2個、受信機には3個の真空管が使用されていることが読み取れる。これらの真空管の種類について直接言及されていないが、一五式空二号の受信機をそのまま転用した別の電信機についての研究報告書では、受信管に「六号検波電球ヲ使用セル」と書かれていた<sup>44</sup>。さらに一五式空二号の報告書において保安上の意義を論じている箇所では、着陸水の際にも「極メテ簡単ニ送受信ヲ行フコトヲ得即チ送信電球ニ代フルニ『サイモトロン』201A型受信電球ヲ以テシ」という記述があることから、受信管としてはサイモトロン201Aが利用されていた可能性がある<sup>45</sup>。また岡村純編『航空技術の全貌』には、一五式空二号無線電信機の送信管にマルコーニ系のSM153Bが使用されていたと書かれている<sup>46</sup>。

ここで示されている「サイモトロン」とは、1923年末より東京電気がUV-200、UV-201を発売して以降、同社の真空管に付されたブランドの名称である。この名称は、ギリシャ語で波を意味する“κ ύ μ α”を語源とする“cymo”<sup>47</sup>に由来していた。なお1932年3月以降、サイモトロンの名称は送信管にのみ残され、その後受信管はマツダ真空管と呼ばれるようになった<sup>48</sup>。サイモトロン201AはRCAの201A<sup>30</sup>を国産化したものと思われる。

これまでに検討した一五式空一号・二号無線電信機は、海軍技術研究所で製作された最初の海軍独自の航空機用無線機である。だが、これら全てが「実施部隊」を満足させる兵器では必ずしもなかった。したがって、1920年代末から1930年代初頭にかけて、新たな製品の開発が園田と太田により行われることになる。



一五式より性能を向上させることを目指して開発された製品は2台あった。八九式<sup>31</sup> 空一号無線電信機<sup>51</sup> と、八九式空二号無線電信機である。このうち八九式空一号無線電信機は、一五式空一号の改善を目的として新たに設計された。同機の設計に際しては電話装置を取り除いたことに加え、受信機の真空管も改められた。その選択において、「四号検波電球」、「六号検波電球」、「一号検波電球」の3つを使用した受信機をそれぞれ試作し比較試験を行なっている。このうち「一号検波電球」は「飛行機用電信機用として設計製作せられたる」真空管であるから、電信機の前面に取り付けることができ、故障が起きた場合など真空管を差し替える際には都合が良い。したがって取り扱いの簡便さという観点から「一号検波電球」を採用したと報告されている。その結果、受信機は発振、高周波増幅二段、検波、低周波増幅二段の計6個の真空管を用いた六球式<sup>52</sup> という設計になった。

ところで、本資料の末尾に掲載されている回路図には、6つの真空管のうち1つにQX、残りの5つにV-24という記載がある。このことから、「一号検波電球」はV-24に、「二号検波電球」はQXに相当する真空管を指していたことが読み取れる<sup>53</sup>。これらは既に述べたようにマルコーニ社製の真空管だった。V-24は飛行機電信用に設計されたものかどうかは不明だが、少なくともマルコーニ社製のAD6型に用いられていた受信管であったことは確かである。

送信機では、一五式空一号では「発振電球三号一型」が採用されていたが、それが「発振電球三号三型」2個に変更された。この真空管についての情報は回路図にも記載がなく、製造会社や製作年等について、現時点では明らかにすることはできない。

さて、一五式からの性能の向上を目指して設計されたもう一つの機器、八九式空二号無線電信機は、一五式空二号の性能を向上させることを目指して設計された<sup>54</sup>。一五式空二号からの主な改良点としては、電源方式をバラスト抵抗法<sup>55</sup> から定速度回転風力発電式<sup>56</sup> に変更したこと、そして受信管を「六号検波電球」から「四号検波電球」へと改めたことである。受信管を変更した理由としては、「六号検波電球」は振動による雑音が大きく、感度が悪く、寿命が

短く、ソケットとの接触が悪いことを挙げている。本章では既に「六号検波電球」は東京電気のサイモトロン 201A であることを示唆したが、このことからこの時点でサイモトロンには問題が多く、海軍の要求を満たすことはできていなかったという事実が浮かび上がってくる。なお、送信管は八九式空一号と同様「発振電球三号三型」が用いられていた<sup>57</sup>。

以上の経過を振り返ると、一五式から八九式までは東京電気社製のサイモトロンとマルコーニ社製の真空管とが併用されていたことがわかる。その反面、サイモトロンはときに海軍の要求を満たすことはできていなかった可能性も示唆された。

#### 4. 目黒移転後 -1930 年代

本章では、1930 年から 1933 年にかけて研究開発が行われた 4 台の航空無線機に着目するが、その前に、この時期の海軍を取り巻いていた環境の変化について確認しておく。

まず、海軍技術研究所は関東大震災後、焼失を免れた建物を修理して 7 年間使用していたが、1930 年に目黒へ移転することになった<sup>58</sup>。

また同年にはロンドン海軍軍縮条約が締結され、海軍では大型巡洋艦や潜水艦などの補助艦についても保有の制限が設けられるようになった。海軍が構想した作戦では大型巡洋艦が重要な役割を果たすことになっており、海軍はこの条約の締結により作戦が破綻することへの危機感を強めた。そこで条約の「抜け道」として着目されたのが航空兵力だった<sup>59</sup>。1932 年には、海軍における最初の長期計画「三カ年試製計画」が策定され、1932 年から 1935 年までの間に十数機種の試作を実施することが決められた<sup>60</sup>。

航空兵力を重視するという軍備路線の変更を受け、1930 年代に入ると海軍技術研究では無線通信機その他、無線嚮導装置や方向探知機、無線電話機の開発が要望されるようになるなど、航空兵力の重点化は航空無線兵器の研究にも影響を与えることになる。以下ではこうした時期に行われた 4 台の無線電信・電

話機の開発を、使用真空管に着目しながら検討する。なおこれらの開発は園田と太田が担当していたが、1932 年から和田正三郎がメンバーに加わった<sup>61</sup>。

まず 2-3 座機程度の小型飛行機用の無線電信・電話機として、航空機用 150W 短波無線電信（話）機、および航空機用長波 150W 無線電信（話）機の開発が行われた。前者は、訓令に基づき八九式空二号無線電信機の性能を向上させることを目指して開発された製品である<sup>62</sup>。それに対して後者は、八九式空一号の送信周波数の安定や受信感度の増大などの改善を目的として、技術者らによって自発的に開発が行われた製品であった<sup>63</sup>。この他に、訓令に基づいた、中型飛行機用の航空機用 300W 短波無線電信（話）機の開発と<sup>64</sup>、小型飛行機用に長波と短波を兼用できる送受信機があると便利であるとの見地から航空機用 150W 長波短波兼用電信（話）機の自発的な開発が行われた<sup>65</sup>。なお、これらの製品は電信・電話機としつつも、電信が主体で、電話はそれに従属するという方針で設計されていた。

以上の 4 台の送信機に用いられている真空管は全て同じで、発振用にはサイモトロン UX-202A が、増幅用にはサイモトロン UX-860 が使用されていた。真空管の個数は、航空機用 300W 短波無線電信（話）のみが増幅用に 2 個、発振用に 1 個を使用した三球式で、それ以外は全て増幅・発振用に 1 個ずつ使用されていた。サイモトロン UX202-A は東京電気において 1927 年から製作された真空管で<sup>66</sup>、パワーアンプ用に設計された製品だが、発振用としても利用できる三極真空管だった<sup>67</sup>。そしてサイモトロン UX-860 は同じく東京電気において 1929 年に製作された遮蔽格子四極真空管だった<sup>68</sup>。

遮蔽格子真空管は、1926 年に General Electric 社（以下 GE と略記）のハル（A.W. Hull）が発明した真空管である。彼は従来の三極真空管における制御格子とプレート（陽極）との間にもう一つの格子を加えることによって、制御格子-プレート間の静電容量を減少させることが可能であることを提案した。この真空管はのちにマルコーニ社のラウンドによって製作され、これにより高周波の増幅が安定して行われるようになった<sup>69</sup>。アメリカでは RCA が 1927 年に UX-222 を、1930 年に UY-224 を発売しており、日本でも数年遅れてハルの特許を

持っていた東京電気が1929年に前者を、1930年に後者を発売している<sup>70</sup>。

UX-201A 及び UX-860 は商業通信用の無線機にも普及していた。例えば、日本無線電信株式会社の対南商業通信用の国産 40kW 短波送信機では、発振用に UX-201A が、増幅用として UX-860 が利用されていた<sup>71</sup>。

一方受信機の方でも4台とも用いられている真空管はおおよそ同じであり、種類を挙げれば「RadiotronUY236」,「RadiotronUY237」,「RadiotronUY238」という3つの真空管が使用されていた。また、用途と個数は以下のものであった。まず航空機用 150W 短波無線電信（話）機が高周波増幅に UY-236 を1個、検波に UY-237 を1個、低周波増幅に UY-237 を2個用いた四球式だった。次に、航空機用 150W 長波無線電信（話）機が高周波増幅に UY-236 を2個、検波に UY-237 を1個、低周波増幅に UY-237 を2個使用した五球式だった。また、航空機用 150W 長波短波兼用電信（話）機は高周波増幅に UY-236 を1個、発振に UY-236 を1個、第一検波に UY-236 を1個、中間周波増幅に UY-236 を2個、第二検波に UY-237 を1個、低周波増幅に UY-237 を2個用いた八球式だった。最後に、航空機用 300W 短波無線電信（話）機は高周波増幅に UY-236 を1個、中間周波増幅に UY-236 を2個、検波に UY-237 を1個、低周波増幅に UY-237 を1個、強力出力用に UY-238 を1個使用した六球式だった。

ラジオトロンは、1919年に米政府の肝煎で設立された RCA から販売された真空管のブランド名である。RCA は1920年12月からラジオトロンの名前で UV-200 と UV-201 を発売した<sup>72</sup>。

ラジオトロン UY-236, UY-237, UY-238 はそれぞれ傍熱型<sup>73</sup>4極, 3極, 5極管だった<sup>74</sup>。これらは自動車用受信機に用いる目的で設計された真空管だが、海軍は、耐震構造であること、雑音が少ないこと、小型であるとの理由から航空機用として転用した。これらの真空管は当時としては最新のもので、とくに高周波増幅用に UY-236 を採用したことで受信感度が向上したことが報告されている<sup>75</sup>。

このように1930年から1933年の間に開発された4台の航空機用無線機においては、送信機では東京電気のサイモトロンが、受信機では RCA のラジオト

ロンが用いられていたことがわかる。またラジオトロン UY-236, UY-237, UY-238 は本来自動車ラジオ用に設計された真空管であったが、それを航空機用として活用していたという実態も浮かび上がった。

## 5. 航空機用無線電話機の研究開発

前章で検討した4台の航空無線機はいずれも電信・電話機だったが、あくまで電信を主として設計されたもので、電話はそれに従属する機能であると位置付けられていた。それに対して、本章で検討する1931年から1936年までに開発が行われた2台の製品は、航空機用無線電話機であった。

まず、1931年から1933年にかけて、園田、太田、和田の三人に伊藤庸二、淡近赳夫らも新たに加わり、隊内用通信のために超短波 (VHF: Very High Frequency<sup>76</sup>) を導入した航空機用無線電話機の開発が行われた<sup>77</sup>。超短波は大気上層部にある電離層を貫いてしまうため短波のような遠通性は持たないが、近距離の隊内通信用には適していると考えられた。超短波通信は、海軍技術研究所では淡近赳夫を中心に研究が進められていた<sup>78</sup>。

淡近赳夫は1895年10月27日に生まれ、1917年早稲田大学電気工学科を卒業すると、海軍造兵廠研究部に勤務した。1924年には英国出張を命じられ、その間マルコーニ社の研究所に入るとともに、チェルムスフォード大学にも留学している。1926年に海軍技術研究所に戻ると、彼は超短波に着目し、1930年に海軍で初の超短波用の無線電話機の開発に主導的な役割を果たした<sup>79</sup>。

航空機用超短波無線電話機は訓令に基づき、航空機相互間の交話を可能にする小型・軽量で取り扱いの容易な無線電話機として設計された製品である。送信管には、発振用・変調用として UX-112A が1つずつ使用されていた。また受信管には、検波用として UY-37A、低周波増幅用として UY-38A が用いられていた<sup>80</sup>。

UX112-A は RCA から発売された検波や増幅などに用いることができる万能真空管<sup>81</sup>で、東京電気からもサイモトロン UX112-A として1928年に発売され

ている。この真空管は、ラジオ受信機用としても普及していた<sup>82</sup>。

1932年から1936年にかけて開発が行われていたもう一台の電話機が、戦闘機用電話機だった<sup>83</sup>。これは単座の戦闘機用に設計された無線電話機である。この戦闘機用無線電話機の送信機では、発振・変調用としてUX-202Aが、増幅用としてUX-865が使用された。一方、受信機では、航空機用300W短波無線電信（話）機の受信機をほとんどそのまま利用するとしており、高周波増幅にUY-236を1個、第一検波にUY-237を1個、中間周波増幅にUY-236を2個、第二検波にUY-237を1個、低周波増幅にUY-238を1個利用した六球式だった。

UX-865は、東京電気において1929年に製作された<sup>84</sup>大型真空管だった<sup>85</sup>。この真空管も軍用に設計されたものではなく、例えば名古屋中央放送局第二放送機として採用されたマツダGRP 71A型放送機<sup>86</sup>、旭川放送局に導入されようとしていたマツダGRP 35B型<sup>87</sup>などにも使用されていた。

## 6. 軍需から見た真空管の普及状況

以下では、これまで明らかにしてきた海軍の航空機用無線通信機における真空管の普及状況を、海外の動向や、日本における真空管産業の展開と関連付けながら改めて検討したい。

本稿の冒頭でも述べたように、日本において真空管の研究開発を開始し主導したのは、通信省と海軍であった。民間企業も1916年頃から真空管の研究に着手し、両者から何らかの形で技術を導入しながら1910年代末頃に硬真空管を完成させた。中でも特に東京電気は当初から海軍と深く関わっていた。海軍は1919年から東京電気を育成する方針を掲げると、造兵廠で得た資料を東京電気に提供し、同社の宗正路を海軍の嘱託にするなどしていた。またラジオ放送開始後はGEと技術・資本提携を結んでいた東京電気が他の有力メーカーを真空管生産から撤退させたため、1920年代の真空管市場は東京電気と中小零細企業に二極化していた<sup>88</sup>。

したがって海軍が真空管を調達しようとしたとき、国内のトップメーカーで

あった東京電気のサイモトロンを採用していたという点は納得がいくことである。しかしこれまで見てきたように 1930 年代中頃まではサイモトロンだけではなく、マルコーニ社製の真空管や RCA のラジオトロンと組み合わせて利用していた点も注目される。では海軍は真空管を選定する際に、どのような方針を掲げていたのだろうか。

海軍技術研究所電気研究部が 1927 年に研究経過や成績について報告した資料における「送信電球試験」という項目では、「送信用電球ハ専ラ東京電気会社ヲシテ製作セシムルコトナレル結果会社製品ト『マルコーニ』社製品トノ優秀比較及並用可否等ニ関スル実験ハ本年度初頭設備ノ畧完了スルト共ニ送信電球 [...] ニツキ試験ヲ開始シ引続キ今日ニ及ベリ。之レニヨリ東京電気会社ノ初期ノ製品ハ種々ノ点ニ於テ「マ」社ニ遜色アリシモ時々製造者ニソノ考慮ヲ促シ近時製品著シク向上シツツアルコトヲ認メ得ルニ至レリ」と記されている<sup>89</sup>。さらに、同資料における「真空管性能ニ関スル研究」という項目では、「放送電話開始以来安価ニシテ能率高キ真空管ハ何時ニテモ購買シ得ル状況トナリタルヲ以テ之レヲ直チニ我海軍用トシテ使用シ差支ナキヤ否ヤノ研究ヲ行ヘリ」とも書かれていた<sup>90</sup>。

これらの記述から、海軍は東京電気に対してマルコーニ社製品を参考にしながら製品の向上を図ることを促す方針を掲げつつも、東京電気社製の初期の真空管はマルコーニ社製のものに比べると遜色があると評価していたことがわかる。しかし、ラジオ放送開始後は安くて能率の良い真空管を調達することができるようになり、海軍は国内製品の性能が実際に向上しつつあることを認めていたことも窺い知れる。

したがって海軍の航空無線機において輸入品と国産品の真空管を併用していた実態からは、海軍が東京電気社製の真空管を採用することを基本としながらも、同時に海外の最新の製品にも注目しつつ、その時々において最適な真空管を採用しようとしていた姿を見て取ることができるだろう。

さらに、海軍の航空無線機に UX-860 や UY-236, UY-237, UY-238 が使用されていた点も注目される。1920 年代後半から海外では電極構造を複雑にした



多極管・複機能真空管が登場し、1930年代に入るとスーパーヘテロダインや自動車ラジオなどの受信機革新が次々と起こった。日本においても多極管・複機能管は一応出現し、1933年に五極管 UY-57、UZ-58 や、アメリカの自動車ラジオに影響を受けたトランスレス真空管などを発売している。しかし、こうした新型管を採用したラジオ受信機の売れ行きは悪く、市場の中心はあくまで旧式管だった<sup>91</sup>。それに対して、1930年代の海軍の航空機用無線通信機では遮蔽格子四極管である UX-860 や、自動車ラジオ用に設計された真空管である UY-236、237、268 が採用されていた。このことから、ラジオ受信機においてはあまり普及していなかった種類の真空管の一部が、軍用無線用として普及していたとすることができるだろう。

## 7. おわりに

以上、戦間期（1926年頃から1936年頃）に海軍技術研究所で研究開発が行われた計10台の航空機用無線通信機（電信機・電話機）を取り上げ、各々の送受信機においてどのような真空管がどういった用途で使用されていたのかを明らかにした。次に、それら軍需から見た真空管の普及を、海外の動向や国内のラジオ受信機といった民生品の事例と関連付けながら分析した。

本稿では、海軍は東京電気のサイモトロンを採用すると同時に、海外の最新真空管にも注意を払い、両者を併用していたこともわかった。海軍にとって、1930年代半ばまでには、まだ国産の真空管のみで兵器を設計することはできなかったのである。また、これまで民生品ではあまり普及していなかったとされていた自動車ラジオ用の真空管や、遮蔽格子四極管が、軍用航空無線に取り入れられていたことも明らかにされた。

1934年以降海軍の航空無線の研究開発部門は、横須賀航空隊と緊密に連携することを目指し、海軍技術研究所電気研究部から海軍航空廠へと移管された<sup>92</sup>。軍需から見た1930年代半ば以降の真空管技術の展開については、今後の課題としたい。

## 註

- 1 Hugh G.J.Aitken , *Syntony and Spark- The Origin of Radio*, New York: Wiley, 1976.
- 2 Hugh G.J.Aitken, *Continuous Wave: Technology and American Radio, 1900-1932*, Princeton: Princeton University Press, 1985.
- 3 Sungook Hong, *Wireless: From Marconi's Black-box to the Audion*, Cambridge, MA: MIT press, 2001.
- 4 高橋雄造『電気の歴史 - 人と技術のものがたり』東京電機大学出版会, 2011 年.
- 5 平本厚「日本における真空管産業の形成」『研究年報経済学』第 68 巻第 2 号 (2007 年), 1-16 頁. 平本厚『戦前日本のエレクトロニクス - ラジオ産業のダイナミクス』ミネルヴァ書房, 2010 年. 平本厚「真空管産業における独占体制の形成」『研究年報経済学』第 72 巻第 3・4 号 (2012 年), 1-22 頁. 平本厚「真空管技術と共同研究開発の生成 - 戦前から戦中における共同研究開発の開始と広がり」平本厚編『日本におけるイノベーション・システムとしての共同研究はいかに生まれたか - 組織間連携の歴史分析』ミネルヴァ書房, 2014 年, 所収, 82-108 頁.
- 6 河村豊「1930 年代のマグネトロン研究と海軍技術研究所 - 伊藤庸二の多相高周波研究構想と実用マグネトロン開発」『科学史研究』第 38 号 (1999 年), 72 頁.
- 7 『技研電報』は, 研究所唯一の正式な報告書である『研究実験成績報告書』のうち, 電気研究部の報告書として作成されたものである. 本資料の存在自体は知られていたが, 航空無線という観点から分析されたことはこれまで一度もない. なお本資料は一般に公開されておらず, 公式の目録も存在しない. 現在は中央大学に保管されている. 『技研電報』を含んだ現存する旧海軍関係資料の所在については, 西川榮一「現存する旧海軍技術資料の所在と渋谷文庫」『日本マリンエンジニアリング学会誌』第 41 巻, 第 1 号 (2006 年), 77-81 頁を参照.
- 8 東京電気における『マツダ新報』の発行の経緯や経営戦略上の意義については, 菊池慶彦「タングステン電球の普及と東京電気の製品戦略」『経営史学』第 48 巻第 2 号, 27-52 頁を参照.

- 9 水沢光『軍用機の誕生』吉川弘文館, 2017 年, 13 頁.
- 10 1882 年 6 月 11 日生まれ, 1941 年 12 月 27 日没. 1910 年 5 月に臨時軍用気球研究會委員に就任した. (秦郁彦編『日本陸海軍総合事典』東京大学出版会, 1991 年, 182 頁.)
- 11 和田秀穂『海軍航空史話』明治書院, 1940 年, 280 頁.
- 12 1906 年にドイツのウィーン (Max Wien) によって考案された方式で, 従来の火花間隙を 1 ミリ以下にし, 電極の対向面積を大きくし, かつこれを冷却することで高周波電力へのエネルギーの転換能率を向上させることができた. (田丸直吉『子どもの夢の跡 - 海軍エレクトロニクス秘史』沖興業株式会社, 1978 年, 63 頁.)
- 13 日本海軍航空史編纂委員会編『日本海軍航空史 (1) 用兵篇』時事通信社, 1969 年, 817-818 頁. なお『海軍航空史話』には, 受信方式は「磁石検波器」であったと記されている.
- 14 1886 年 1 月 2 日生まれ, 1972 年 4 月 3 日没. 1932 年 4 月に海軍航空廠の飛行機部長に就任した. (秦郁彦編『日本陸海軍総合事典』東京大学出版会, 1991 年, 246-247 頁.)
- 15 水雷学校教員の中でも最優秀の定評がある人物だったという. (『日本海軍航空史 (1) 用兵篇』, 817 頁.)
- 16 和田, 前掲書, 280-282 頁.
- 17 岡村純『航空技術の全貌 (下)』日本出版共同株式会社, 1955 年, 218 頁.
- 18 電波監理委員会編『日本無線史』第 10 巻, 1951 年, 58 頁.
- 19 「研究実験部長会議 (2)」大正 15 年 6 月 (JACAR [アジア歴史資料センター], Ref. C04015013500, 『公文備考』昭和元年, 官職 5, 巻 5).
- 20 『日本無線史』第 10 巻, 61 頁.
- 21 沢井実『近代日本の研究開発体制』名古屋大学出版会, 2012 年, 90 頁.
- 22 『日本海軍航空史 (1) 用兵篇』, 820 頁.
- 23 ベル研究所にてブラウン管の改良に寄与した工学者である. (日本電子機械工業電子管史研究会編『電子管の歴史 - エレクトロニクスの生い立ち』オーム社, 1987 年, 21 頁.)

- 24 Matao Kihara, *Modulation Control in Radio Telephony*, 卒業論文, 東京帝国大学, 1923 年.
- 25 木原又雄『実習報告 (築地海軍造兵廠研究所)』実習報告, 東京帝国大学, 1922 年.
- 26 深田宗吉・太田善一郎「仮製航空機用無線電信送受信機試製報告」『技研電報』第 15 号, 1926 年.
- 27 卒業論文のタイトルは "Theory of repulsion motor" で, 三年次の実習では枝光製鉄所, 大阪造兵工廠を訪れていた. 木原の卒論等を含めたこれらの資料は, 東大工学部 2 号図書室が所蔵している.
- 28 沢井, 前掲書, 101 頁.
- 29 田丸, 前掲書, 75 頁.
- 30 『東京高等工業学校一覧 大正 11 年 -12 年』, 147 頁.
- 31 W.J. Baker, *A History of the Marconi Company*, London: Methuen, 1970, p.235.
- 32 J. A. Slee, "The International Radiotelegraph Convention of Washington, 1927," *The Marconi Review*, No.3, (December 1928), p.3.
- 33 "Marconi News and Notes," *The Marconi Review*, No.3, (December 1928), p.29. なお本資料には "Hinchliffe" と記述されているが, "Hinchliffe" の間違いであると思われる.
- 34 岡村, 前掲書, 268 頁.
- 35 J.W. Stokes, *70 years of Radio Tubes and Valves: A Guide for Electronic Engineers, Historians and Collectors*, New York: Vestal Press, 1982, p.200. 斎藤一郎訳『真空管 70 年の歩み - 真空管の誕生から黄金期まで』誠文堂新光社, 2006 年, 200 頁.
- 36 大塚久『クラシック・ヴァルヴ - 幻の真空管 800 種の軌跡』誠文堂新光社, 1994 年, 59 頁.
- 37 trailing antenna のことで, この方式ではアンテナを機体の下部から吊り下げて利用する. 悪天候の場合や低空飛行の際にアンテナが切断するおそれがあることに加え, 非常時に陸上や海上から通信できないという欠点があった. (岡田実「航空無線」『電気試験所調査報告』第 90 号, 1933 年, 23 頁.)
- 38 園田又雄・太田善一郎「一五式空一号無線電信機改修研究報告」『技研電報』第 113 号, 1931 年.
- 39 大沢玄養・太田善一郎「飛行機用短波無線電信機研究報告」『技研電報』第 50 号,

1927 年、本報告書では無線兵器の名称は書かれていないが、開発された時期および、短波を取り入れた最初の航空無線機であることを考慮し、一五式空二号であると判断した。

40 『海軍電波追憶集第 4 号』海軍電波関係物故者顕影慰霊会，1965 年，88-90 頁。

41 Daniel R. Headrick, *The Invisible Weapon: Telecommunications and International Politics, 1851-1945*, Oxford: Oxford University Press, 1991, pp.202-203. D.R. ヘッドリク（横井勝彦・渡辺昭一監訳）『インヴィジブル・ウェポン - 電信と情報の世界史 1841-1945』日本経済評論社，2013 年，273-274 頁。

42 田丸，前掲書，144 頁。谷恵吉郎・仲田豊蔵「短波長応用ニ関スル研究報告（其一）」『技研電報』第 11 号，1925 年。

43 「M 式 AD6」及び試作の短波電信機はともに 150W だが，短波電信機はおよそ 2 倍の距離の通信に成功したことが報告されている。

44 園田又雄・太田善一郎「飛行機弾着観測用無線電信機研究経過報告」『技研電報』第 57 号，1928 年。

45 『航空技術の全貌』においても，15 式空 2 号の受信管には米系受信管 UX201A 系統の真空管を使用していると記述されている（268 頁）。

46 岡村，前掲書，268 頁。

47 寺澤芳雄『英語語源辞典』研究社，1999 年，313 頁。

48 『東京電気株式会社五十年史』東京芝浦電気株式会社，1940 年，425 頁。

49 G. Tyne, *Saga of the Vacuum Tube*, Indianapolis: H.W. Sams & Co. 1977, p.298.

50 従来は兵器が採用された元号の年数を〇〇式として名称に採用していたが，九六式以降は，皇紀から最初の二桁を除いた残りの数字を採用するよう兵器名称附与の方針を転換した。

51 園田又雄・太田善一郎「八九式空一号飛行機用長波電信機計画報告」『技研電報』第 82 号，1930 年。

52 回路内で用いられる真空管の個数 (n) によって「n 球式」という言い方をすることがある。

53 受信機では増幅・発振用に一号検波電球が，検波用に二号検波電球が用いられ

ている。したがって、一個のみ利用されている二号検波電球の方が QX であると判断できる。

54 園田又雄・太田善一郎「航空機用短波無電線電信機の改良」『技研電報』第 102 号, 1931 年。

55 航空機用無線機において風力発電から電力を供給する場合、飛行機の速力に応じて風速が変化し、発電機の回転数に変動が生じてしまう。これを防ぐために、ある範囲で電圧が変化しても一定の電流が流れるように回路に組み込む素子が「バラスト抵抗」と呼ばれる装置である。（『技研電報』第 50 号, 4-5 頁。）

56 プロペラの回転速を一定にすることで、飛行機の速度に関係なく定電流を流すように工夫した方式である。

57 上記の資料の 13 ページ目には、「〔発振電球三号三型〕は本電信機用として特殊に設計せられ」という記述がある。

58 『日本無線史』第 10 巻, 74 頁。

59 水沢光『軍用機の誕生』, 48-49 頁。

60 同上, 50 頁。

61 和田は 1932 年 10 月に造兵中尉として海軍技術研究所に出仕している。（沢井, 前掲書, 102 頁。）

62 園田又雄・太田善一郎・和田正三郎「航空機用 150 ワット短波無線電信（話）機（第三回報告）」『技研電報』第 176 号, 1933 年。

63 園田又雄・太田善一郎・和田正三郎「航空機用 150 ワット長波無線電信（話）機（第三回報告）」『技研電報』第 171 号, 1933 年。

64 園田又雄・太田善一郎「航空機用 300 ワット短波無線電信（話）機（第一回報告）送信機 (Type AST-3) 試製の部」『技研電報』第 145 号, 1932 年。

65 園田又雄・太田善一郎・和田正三郎「航空機用 150 ワット長波短波兼用無線電信（話）機（第三回報告）」『技研電報』第 171 号, 1933 年。

66 『東京電気株式会社五十年史』, 454 頁。

67 『『マツダ』無線電信電話送受信機型録（東京電気株式会社）』（[アジア歴史資料センター], Ref. A05020146800, 『内務省関係』種村氏警察参考資料第 27 集）, 29 頁。

- 68 『東京電気株式会社五十年史』, 440 頁.
- 69 『電子管の歴史 - エレクトロニクスの生い立ち』, 72 頁.
- 70 平本厚「真空管産業における独占体制の形成」, 3 頁.
- 71 『マツダ新報』第 17 巻第 8 号, 1930 年, 34 頁.
- 72 J.W. Stokes, op. cit., n. 35, p.15.
- 73 酸化皮膜を塗布したカソードを用い, 内部に間接加熱用のヒーターを設けることで, 交流で加熱しても熱電子放射面の電位が変動しないように設計された真空管である. (大塚, 前掲書, 133 頁.)
- 74 園田又雄・太田善一郎・和田正三郎「航空機用 300 ワット短波無線電信(話)機(第三回報告)」『技研電報』第 116 号, 1933 年.
- 75 園田又雄・太田善一郎「航空機用 150 ワット短波無線電信(話)機(第一回報告)受信機(Type ASR-2)の部」『技研電報』第 132 号, 1932 年.
- 76 直訳は, 「超高周波」である.
- 77 伊藤庸二・園田又雄・和田正三郎・淡近赳夫・太田善一郎・鈴木新太「航空機用超短波無線電話機実験研究(第一回報告)」『技研電報』第 177 号, 1933 年.
- 78 田丸, 前掲書, 181 頁.
- 79 『海軍電波追憶集第 4 号』, 139 頁.
- 80 堀内多雄・伊藤庸二・園田又雄・淡近赳夫・和田正三郎・太田善一郎・鈴木親太「航空機用超短波無線電話機実験研究(第二回報告)」『技研電報』第 177 号, 1933 年.
- 81 『マツダ新報』第 15 巻第 2 号, 1928 年, 19 頁.
- 82 平本厚『戦前日本のエレクトロニクス - ラジオ産業のダイナミクス』, 88 頁.
- 83 堀内多雄・田丸直吉・園田又雄・和田正三郎・酒井忠義・鈴木親太「戦闘機用電話機実験研究」『技研電報』第 270 号, 1936 年.
- 84 『東京電気株式会社五十年史』, 454 頁.
- 85 『マツダ新報』第 20 巻第 9 号, 1933 年, 22 頁.
- 86 同上, 37 頁.
- 87 同上, 38 頁.
- 88 平本厚「日本における真空管産業の形成」, 2-13 頁.



- 89 電気研究部長「海軍技術研究所電気研究部現状報告」昭和2年6月(JACAR [アジア歴史資料センター], Ref.C04015495900, 『公文備考』昭和2年, 官職7, 巻7).
- 90 同上, 「真空管性能ニ関スル研究」.
- 91 平本厚「真空管産業における独占体制の形成」, 11-12 頁.
- 92 『日本無線史』第10巻, 196 頁.