

V T信管考

白石 一美

序

毎年、八月頃になると十五日ゆえにか太平洋回顧録風のテレビ番組が多くなる。心に残る近年の番組二つはゼロ戦開発とマリアナ海エレクトロニクス戦であった。

前者はその特性と長所短所、運動性能の軽快性に卓越するが被弾性すなわち防御特性が著しく弱い点の反省、後者はV T信管の登場、原爆やレーダーにならぶ新規開発としての放送内容と察せられ、そのアナウンサーは何れも山本 肇氏であった。

両番組に密接する書はNHK取材班＝編太平洋戦争日本の敗因3『電子兵器「カミカゼ」を制す』であろう。1995年7月発行（角川文庫9714）全222頁。

執筆は箕輪 貴氏と前記山本 肇氏、あとがきはNHKプロデューサー中田整一氏。

論者はこの文庫本に注釈と個人的調査にもとづく意見を加えて近代テクノ技術・近代科学技術史の一断面を誌しておきたい。なお、該書からの引用文頭に◎をつけて書名註記に代える。

1 V Tの名称

◎「V T信管」のV Tとは“Variable Time Fuse”の頭文字をとったもので、直訳すれば「可変型時限式信管」となる。これまで爆発する時間をセットしていた装置が、変幻自在に敵の側で爆発するのでこの名前が付けられたと思われる。正式には“Proximity Fuse”（近接信管）という名称が付けられているのだが、アメリカはこの「近接信管」の名称を使うことで、その機能が外部に漏れることを恐れた。そこで機密保持の手段として、意図的に意味をなさないV T信管という名称をつかったのである。(P153-154)

文中の「セット」、大岡昇平の『レイテ戦記』¹⁾に小沢艦隊が距離二万米から米機を黄燐散弾で迎え撃つ記述がある。大岡自ら「これは砲弾の中部に二五ミリ高角機関銃弾数百発、そのほか黄燐弾を詰めたいわゆる三式弾で、時限装置によって爆発する。」と註す。この時限装置は、飛行機との距離を予め目測または光学測定で判断して、人間が砲弾の起爆時間を発射前にセッ

トする装置であった。VT信管は、敵機が砲弾の破片による有効被災圏内に入った瞬間、この瞬間を砲弾内部の真空管回路それ自体がオートマチックに識別判断起爆点火する自動起爆装置である。

2 VT信管の作動原理

◎その仕組みを簡単に説明すれば、VT信管を砲弾に装填することで砲弾から電波が放たれ、その電波が敵の目標物を感知し、その側で自動的に爆発するようになっている。目標物の近くに接することで爆発することから、このVT信管は正式には「近接信管」と呼ばれている。(P.15)

かかる説明文を読んで論者が考えたことがらを4点記す。

- 1 砲弾発射、誤爆防止上、砲弾が砲身より離れて電源回路が起動する（安全対策）。
こうして電源回路からの電気は発振回路にも供給される。
- 2 この時、真空管に所定の電圧はかかっている。
したがって発振回路が適正に組み立てられていれば発振する。本稿では、発振するとは高周波電圧の誘起にともなう電磁波すなわち電波の発生を意味する（狭く限定する）。
- 3 この状態で発振回路の部品コンデンサCを故意に一つ抜いて欠品状態にする。または発振条件を満足せぬようCの静電容量を不足（不適正・欠格）状態にしておく。かかる状態のときには、電圧はかかっているが回路不全ゆえ発振せず電波はでない。
- 4 飛行機が砲弾の破裂・有効被災範囲内に入り込むと飛行機の金属部分が例の欠落部品の代替品（発振回路の1パーツ）となる。
飛行機の翼など金属部分と砲弾側検知極との間に補助的コンデンサ成分たる静電容量Cが成立し、飛行機の有効圏内入り込み（近接）が発振回路の成立条件を満足せしめる。
したがって真空管は能動作用を起こして発振回路は発振する（電波が発生する）。
だが検知以前に電波を放つ模様であり（◎P.15）、以上は発振条件の一例である。

3 VT信管の記述説明の問題点と注釈

◎VT信管は、レーダーと同じく電波を利用している。VT信管がセットされた砲弾は、周囲一五メートルの範囲で電波を出す。立体的に説明すれば、電波がドーナツ状になって砲弾を覆うように放射される。真ん中の弾頭部分より直進方向に電波が放射されないのは、狙った方向が正しければ目標物に命中するので、電波が必要ないためである。また近くで爆破するより、やはり命中したほうが破壊力が強いので、その効果が無駄にしないためにドーナツ状に電波が放射される仕組みになっている。

またVT信管には安全装置が施されており、発砲される時の強い衝撃と空中を猛進する時の激しい回転が起きないと作動しないようになっている。これが一度作動すると電波を出して、目標物を感知する。そして自動的に爆発するのだが、直接砲弾があたらなくても、その破片と爆風で敵機を撃ち落とすのである。(p.154~155 ~~~~~論者 「これ」は電源回路か発振回路か?)

上記引用の波線部分の一つ、「その効果が無駄にしない」を解釈すれば「(せっかく発射したが命中せず飛行機の脇をすり抜けようとする) 外れ弾も無駄にしない」の意であろうか。

ドーナツ云々は検知極（言わばアンテナAとアースE）に関係する説明と思われる。

米国ジョンズ・ホプキンス大学に展示されたVT信管を撮影した写真資料（◎P154砲弾全

容・156信管部)によれば、砲弾全体の外観はタケノコ状の流線形であり、直径10cm内外・全長は50cm程度か。弾頭は鋭い円錐状をなす。ここは空気抵抗を考慮したキャップ部分と思われ、これがホット検知極Aアンテナを兼ねると判断する。他方コールド側、一升瓶の上部を切除したような広口の弾体開口部にV T信管をマウントして砲弾全体を成す。その側面胴体部分は鉄製と思われ、ここがコールド検知極Eアースを成すと思う。

ドーナツは爆発した砲弾の破片が飛行機に効果的にダメージを与える領域を示したものか、それとも電気力線の有効散布界なのか定かでない。電気力線はA E間すなわちキャップと胴体の中で最も強く形成せられ、(ドーナツよりもむしろソロバン玉の)外周部へ外周部へと遠心力方向に遠ざかるほどに弱くなる。なお電界断面として砲弾の進行方向に対して直径15mの言わば電波の壁を形成する点、留意したい。(ドーナツは第4節末尾に補説)

4 検知極と発振・調整

コンデンサCとは何か。その最大の特徴は電線で接続されない空間領域を有する点である。コンデンサは、二枚のあい対向する金属板で構成され、この板と板の間に電荷を蓄えたり放出したりする電気部品(邦訳 蓄電器)である。

コンデンサの静電容量の大きさは対向する金属板の面積Sに比例し距離Dに逆比例し、その値Cは対向面積Sを距離Dで割った数値で与えられる。つまり金属板の面積が大きければ大きいほど・板と板の間隔が狭いほどその電気容量は大きくなる。

V T信管のホット検知極A・コールド検知極Eの金属面積、相手の飛行機(特に翼)の金属面積、これらの面積は不変であるので信管と飛行機の両者接近によって形成されるCの電気容量を決定する要素は前述の電気力線同様距離Dである。

さて飛行機が有効被弾圏内に近接した場合、ホット極Aと飛行機とでもって二枚の金属板をなす。すなわち第1コンデンサが成立し、飛行機とコールド極Eの間に同様に第2コンデンサが成立する。

第1ホットコンデンサの言わばマイナス電極は飛行機の金属体であり、

第2コールドコンデンサの言わばプラス電極も飛行機の金属体である。

ゆえに第1第2の両者は、飛行機の金属体を中継電極(電離板・反射板)とする一個の直列合成コンデンサをなし、この空飛ぶ直列合成Cが弾丸のホット極Aとコールド極Eを介して信管内部の発振回路のCに電荷的にペタリくっついた並列接続の形態をなす。

まず発振周波数を考えるに高周波発振回路の要はコイルLとコンデンサCの並列接続に成る同調回路であり、その同調周波数FはLC両者の積で決定される。以下、数式で示す。

電気の一般公式として周波数Fは、 2π ルートLC、この逆数で与えられる。(したがって、数式上、ルート内のLとCの積が小さいほど周波数=每秒振動数は高くなる。)

高周波LC発振回路を真空管一本を用いて適正に組み立て、これに電圧をかけて発振さす。

回路よりCを外せば発振しない(真空管に電圧がかかって活きているにも関わらず)。

Cの値を徐々に減じてゼロに近くすればどうなるか、発振周波数が高くなる。しかし極端に高くなると例えば次の4点から真空管は発振能力を失って発振を停止する。

1 能動素子としての当該真空管の有する発振可能な限界周波数や供給電圧の高さの限度その

他の制約から極端に高い周波数で真空管を共振させ得ない。

- 2 同調回路よりCを完全に除外したつもりでも回路の配線自体に浮遊容量が存在すること
- 3 真空管の電極間や足ピンリード線自体にL成分C成分が存在し、周波数がVHF超短波やUHF極超短波のように高くなるとこれら成分に起因する影響を無視できなくなる
- 4 (真空管の限界周波数に充分余裕があり且つ数式上は前記公式を満足する値にも関わらず) Lの値とCの値との間には、共振を促すにたる調和的關係があり、極大Cと極小Lの掛け合わせ(LC逆もまた同様)では電気現象の実際問題として共振しない。

ドーナツと共振強度 コンデンサCと共振出力の関係をグラフ特性的に把握して、共振に最も適正の状態真空管LC共振回路を組立てる(最適共振周波数)。

この最適点が出力最高ポイント(Cピーク)であり、ここより少し(C小)周波数が上がったり・(C大)下がったりした場合、得られる共振出力が下がる場所である。

次にこの回路よりCxほどCの容量を減少させてガクリ共振停止となることを電流計で確認する。このCxは飛行機と砲弾の両者が成す前述合成Cに関わり、Cを減じた数値分だけ外部より電気補償して与えれば再び共振する。音波の音楽同様、電波にも高さや強さがあり、両面併用の必要がある。

ジョーンズ・ホプキンス大学に実弾テストの記録フィルムが遺る。高さ75mの二本の鉄塔の間にワイヤーで吊り下げられた戦闘機やリモコン操縦で飛行する戦闘機(1942.8.12)を目標に実弾テストを実施して「機体のいたる所に無数の穴があき」「炸裂した砲弾の破片と爆風が、機体に大きな打撃を与え、高い成功率を取めた由である(◎P.170~171)。

VT信管は大戦中に2200万本製造された由であるが、大量生産上、均一の品質管理が重要であり、この信管は飛行機から20mの遠方で起爆、別のは3mで起爆などと製造上のバラツキはまずいし、また製品1本毎に実弾テストを実施することもできない。

多分、製造の最終工程で飛行機の代替となるダミー調整試験用コンデンサをあてがって共振強度(電波の強さ)や周波数を調整、均一の品質管理を行ったことであろう。

以上、信管の回路図が無いので推論したが、距離に関わる電気力線および合成コンデンサの電気容量、その数値がこの信管の鍵をにぎるであろう、と論者は思っている。

補説 ドーナツという語の有効性について

砲弾の周囲15mが有効範囲という。これを直径とみれば有効半径はその半分である。

例えば砲弾の側面5mに飛行機が位置した時が電氣的最適点で、距離3mでも7mでも効力は落ちるが有効であり、距離10mの場合には無効の謂か。このような意味であればドーナツという語は了解可能である。ただし、検知・起爆点火・被弾に至る多分ミリ秒レベルの時間の遅延と飛行機信管たがいの高速運動とを考慮すれば、電界検知圏と有効被弾圏との間に不一致が生じる。(相対運動速度、毎秒1kmとしてミリ秒あたり1mズレる)ドーナツは何れを指すのか、不一致を見込んだ両圏の総合か不明である。

なお注意すべきは、飛行機が信管にずっと近づけば、例えば300メガヘルツの高周波共振周波数は数メガ低くなると思うが、これは二義の問題であり、接近が高周波共振回路内に生ぜしめる例えば1000ヘルツなど低周波の意義を考慮する必要がある。このことに注意しておきたい。

5 電波送信方式

◎ワシントンのカーネギー研究所の資料室に、真空管のサンプルが五〇個ほど保管されている。真空管は長さ二センチ、直径五ミリほど²⁾の大きさで、……/この真空管は、砲弾から電波を発信させ、また反射波を受信するためには、必要不可欠な部品だった。(P165-166 「超耐震性真空管の開発」の項)

あい異なるA B二地点における電波のA送信・B受信は楽であるが、V T関連としてT Vのゴースト障害がある。A→Bの直接波に加えて、A→C(飛行機)→Bの屈折迂回波がズレ重なって映像受信されて不愉快な画面となる。(例 T Vアンテナを左右ズラし回して画を視る)

一地点Aにおける送受信は技術上困難をとまなう。減衰反射波がもとの場所にたどり着くより前にA内部で強力な送信波が受信機にダイレクトに回り込むからである。受信機が開いたままではシールドをいかほど厳重にしても回り込む。

回り込み防止に送信波を発生させた瞬間、受信機側ではトップの真空管のグリッドに極端に深いマイナスの電圧を与えるなどして受信できぬよう受信機を殺し、ごく僅かに遅れた瞬間、受信機を開く。送信側のパルス間隔波と、これに遅延同期する受信側の開閉(生殺)のことも考える必要があり、全体に多数の真空管を必要とする。

電波の到達速度は30万kmの距離を1秒程度で達するとされている。それゆえ30km遠方より反射波を得るのであれば時間処理はその万分の一すなわちマイクロ秒レベルで判断できるので回路設計は成立する。だがこのような回路設計は周知のようにレーダーそのものであり、方位指向性を極端に先鋭化したパルス発生波の送受信処理となり、ドーナツ状の放射波ではない。

砲弾の周囲15m程度であれば時間はほぼゼロ、パルス反射波の開閉受信処理は技術的に無理。テレビでの山本 肇アナの解説によればV T信管1つに真空管を4本使用の由。レーダーからブラウン管や磁電管の如き特殊真空管を排除して極端に真空管の球数を減じても4本では回路設計が成立しない。球数制限と距離時間を併せて非パルスの普通の電波を空間に放射することで何ができるかを以下考える。起爆するしないの瞬間が即ち発振するしないの瞬間であった前述の方式に対して以下の記述は事前に電波を放つ(電波の秘匿性に弱い)方式である。最初に、スーパーを応用した回路では実現困難であろうことから述べる。

送信機と受信機をそれぞれ独立させるには真空管不足ゆえ送受一如の回路を考える。

送受一如として電波を発生させ、これを外部に放射する。至近距離に飛行機が近づいてくる。で、どうなる。高周波発振周波数は飛行機が近づいた分だけ低いほうに偏移する。以下は、電子楽器テレミン³⁾やスーパーラジオの原理に近いが、砲弾内部に別に低い周波数の局部発振器を設置し、この局発と外部むけ発振器の電波を混ぜれば、両電波の和と差が現われ、このうち差を利用する(例えばFM10.7メガとかAM455キロヘルツなどスーパーの中間周波回路、FMラジオで真空管2~3本、AMで1~2本を必要とする所謂IF回路)。

テレミンは辞典類³⁾に「二つの低周波の発振回路をもつ装置上にかざした手を動かし、」云々とあるが、実は耳に聞こえる低周波ではなく耳に聞こえない二つの超音波発振回路である。

固定発振側を50キロヘルツ・可変発振側を55KHZ原発振とする(両者同一周波数も可)。可変側に手をかざせば人体のボディ効果でかざす手の変化量に応じて例えば52~54KHZと変化、両発振器の差2~4 KHZ、この辺りの低周波は人間の耳に最もよく聞こえる音の高さであり、超

音波電気信号から音波信号が発生、楽器である。

テレミンなどのVHF版（VT信管の運用周波数不明、超短波30～300メガヘルツの周波数帯と仮定）として単なる電波である高周波からサイラトロンを駆動する低周波を発生させるまでの回路を考えるに、弾丸も飛行機も運動しつつあり、内外両発振器の周波数差が中間周波増幅回路に適合するのは一瞬のことゆえ最終段でサイラトロン（熱陰極グリッド制御放電管）か何かでこの一瞬を恒常状態に変換するとして、真空管数は発振2・IF2・BFO1・検波1・低周波2・サイラトロン1合計9本。BFOと検波を再生検波1本でまとめても球数不足である（内外周波数一致ゼロビートの一瞬をねらう場合も同様）。

この外G・D・M（グリッドディップメータ）の応用回路・キャパシティリレーの導入なども考えられるが、要するに飛行機の近接が発振用真空管のプレート側信号電圧もしくはグリッド直流電流に顕著な変化をもたらすこと、そしてこの変化が起爆スイッチの引き金になればこと足りる。以下、回路を単純化して単球式の再生検波回路の考察をする。

6 再生・超再生・正弦波

再生検波管1－低周波2段増幅－サイラトロン(後述)1の合計4球構成とする。再生コンデンサの容量が小さくてプレート出力側の高周波成分がグリッド入力側にフィードバックされず再生が働かない場合、これはストレート検波の感度の低い旧式ラジオ受信機に近い。適正容量の場合は感度の高い再生受信機、容量過多の場合、「ピーと泣かすな、赤子とラジオ」⁴⁾ ピーギヤー音を伴う発振送信機となって近隣のラジオにまで障害電波を放つ。このピーギヤー音は高周波電波の波形に低周波成分が含まれていることを示す。

弱い高周波発振から生まれた低周波の発生信号電圧レベルをサイラトロンのグリッド始動（放電開始）電圧の少し下程度に抑え、飛行機の近接が信号レベルを加速する方式、この方式は確実であり、低周波で変調された高周波を放射するが再生より発振に及ぶ境界（臨界点）がクリチカルで電圧レベル次第では誤爆誘発の可能性がある。受信方面で感度不足であれば「単球のセットでも3球位のセットの感度がある」⁴⁾ とされる超再生方式があり、動作は再生ベスト状態の球と電源それ自体を超音波程度の低い周波数でパルス状に断続発振・励振する方式であり、回路の安定度は再生式よりも不安定と思われ委細省略する。

次に再生検波管の代わりに発振管において発振波形として低周波成分を含まない正弦波を放射して空中から力学的圧縮波を得る場合、速度不明ながら仮に飛行機を速度を秒速100m・砲弾側を900mとする。両者間に介在する電波は毎秒1kmの運動に押されて縮む（スプリングを左右に拡げると波の間隔はゆるやかに、押すと縮んで密になる。密とは周波数＝毎秒振動数が高くなること）。飛行機の金属板による2次圧縮反射波ともとの波形との間にはわずかなズレがあり、両波を合成するとビートうなり即ち低周波を生じる。これを2段増幅してサイラトロンに送りこむ。

以下、相対速度毎秒1km・発生させる唸り信号周波数毎秒1KHZ・電波の速度毎秒30万kmとしてVT信管の発振周波数 x を求めれば、振動数が高まる倍率は30万を30万－1で割った値A、 $Ax - x = 1000$ から $x = \text{約}300$ メガとなる。150メガなら500ヘルツ、実用可能な低周波であるが力学圧縮方式の受信感度はストレート同様最も低性能と思われる。前述第2節以下、何れかの方式を採るべきか、これらの複合かなお別の方式か判断を決しかねる。

7 V T信管をかわす方法

V T信管はある程度の高度を飛ぶゼロ戦の如き小型戦闘機の迎撃を目的に、特に翼に穴を空けて飛行特性を損なうことを意図した電子信管であると思う。

海面近く5m程度で低空飛行していれば、砲弾は近似的には直線運動をなすので、飛行機に達する以前に海面反射現象を生じて自爆する。このように低空の水平方向に弱点があるので対船舶目的ではなくて船上より砲に仰角をかけて上向きざまに特に表面積が目立つ翼をねらった対航空機用の新型機器かと思う。

この種新型爆弾に対してはその設計意図や目的の中心点を外れた環境施策を考慮して防御するの外ない（その作動原理が事前にわかれば対策がたつかと思うがV T開発そのものが極秘とされて、情報は外部にもれなかった模様である）。

火薬に起因する砲弾の破壊力と有効被弾距離との兼ね合いを戦闘機の特に翼面積を中心に設計していると思うが、この設計基準を是とすれば基準点からラジオの同調ツマミのように右か左に人為的にズラし外せば砲弾の迎撃をかわすか被害を軽減できるかとも思う。

○翼の実面積はそのままとして電氣的翼面積を増大する方法

ガラス窓は光に対して透明であるが風雨には不透明である。これに準じて戦闘機に加工するに空気に対して透明、電気には不透明となるように工作を施す。即ち主翼と尾翼の間に広い空間があるが、ここに粗い目の細かい金網（ニワトリ小屋の金網の如き）を張って全体として電氣的実効面積を拡大する。空気は細かい金網部分をスカスカ流通して従前通りほぼ変化はないが、電氣的には巨大な等電位のシールド壁面となって全体としての静電容量や反射効率を無視できなくなり、砲弾は遠方で爆発するであろう。欠点は機体重量が僅かに重くなることである。

○電氣容量をマイナス側にずらす。（類例として英国の木製飛行機⁵⁾によるレーダーよけの例あり）翼の骨組みを残し、導電性である金属翼を廃止、乾いた布製のものとする。多分V T信管の感度はかなり低下して飛行機のかなり近くに砲弾が位置するにも関わらず信管が起動しない状況が生ずることと思われる。ジェラルミン不足か沖繩戦では布製とも仄聞きする。

○上記二項は消極策であるが妨害波送信機の製造は容易に可能な積極策である（勿論、周波数が事前に判明のこと）。砲弾の達するはるか遠方でV T側が妨害波を受信して自爆、基本設計・戦略からやりなおし、米国の製造業者や産業に大打撃を与えることとなる。だが妨害波は自己位置を露呈し、必然的に電子戦を将来して泥沼化に至る。

V T信管付きの砲弾は航空機に対しては実効直径15メートルの巨大弾丸であり、回収不発弾の同調コイルから運用周波数は判明するのであるが、無効弾としてマリアナ海面に落下する寸前、多分空中で爆発したであろう。欧州戦や沖繩戦でも使用されてトータル2200万発製造された模様であるが、落下寸前の海上や地上に人間などが存在すればこれまた被害はまぬがれない厄介な爆弾であったと思われる。（通常の爆弾は大地などに接触してその機械力学的ショックで起爆、その火薬エネルギーは地上の大穴や海上の水柱と化して空振ったが、空飛ぶ地雷ともいべきこの種の新型は非接触に空中で爆発して辺りを破壊する。）

8 日本におけるVT信管類似の研究 有眼信管⁶⁾

VT信管を装備した砲弾は、実弾の直径は小さいが実効直径は大きく非接触爆発性を有する被弾率の高い砲弾であった。ほぼ同じ頃、高周波発振器ではなく、感知部分に光を採用し低周波増幅器を用いるところの日本における非接触方式の研究について次に考察してみたい。

◎ 実は、日本においても近接信管の研究は密に行なわれていたのである。

私たちは、当時の日本のエレクトロニクスに関する資料や証言者を探しているうちに、その取材の過程で一通の報告書を手に入れた。それは大阪大学理学部の浅田常三郎博士が戦後、GHQに提出したとされる報告書である。(P.176~177 「有眼信管」と題された「昭和22年9月15日 / 浅田常三郎 / 大阪帝大 理学部 / 報告」の「概要」全文を次に引く。文書上方右隅にマル秘スタンプあり。P179)

有眼信管は、投下せられた爆弾が地上または水上の目／標の約10m上方で爆発して大なる破壊効果を得るため／の発火装置である。爆弾の頭部にとりつけ毎秒1000／回の明滅する光を下方に送り、目標からのその光の反射／を受けその強さが一定の大きさになったとき作動する信／管である。投下実験の結果、本装置は闇夜でもまたは太／陽直射の日昼でも外部の光には無関係に地上または水面／上約10mの距離で作動することが確かめられた。昭和18／年末兵器となり「三式発火装置」の名のもとに量産に移／り、サイパンおよびタクロバン等の爆撃に使用せられ完／全に機能を発揮した。(／改行箇所 論者)

この「概要」と有眼信管の回路図(◎p180)によって作動原理が明らかとなる。

★送光装置のメカニズム(配線図より論者読みとり)

浅田実験室に等間隔に穴を空けた回転円盤がある(P177)。円盤の奥に豆ランプを点灯し、こちらより回転円盤越しにランプを覗けば明滅光が機械的に得られる理屈である。

これの進展か、12V電池と12V50Wランプとの間にスイッチを設け、これを電磁または電機的にオンオフ自動断続させてランプに毎秒1キロヘルツの明滅光を発生させている。

考察・批判点

○浅田方式はスイッチ制御部分の消費電力を除外すれば電池のエネルギーを自動断続スイッチを介してほぼ100%生のままランプに送り込む簡便高効率の明滅光発生方式である。

○明滅光を発生させるのは太陽光を除外して人為光のみ信号処理するためであり浅田氏の苦心もこの点にかかる。ただ人為光より得られる電気信号レベルがより大きければ真空管アンプ側の負担が小さく設計が楽になる。信号が微弱にすぎるか。

○VT信管は相手の翼など金属部分が当方の発振回路に影響を及ぼすことを利用、柔道で相手の力を利用するに似るが、こちらは何かから何まで自前調達であり、10m離れた地表面より微弱な二次反射光を得るのに50Wもの消費電力が必要か、電波発振との比較上、特に光学系のあり方に考え込まれる。

○大電力のランプを明滅するので電池の新古が気になる。電池の電圧が少し下ればランプの明るさが直ちに低下して反射光の照度ひいては起爆距離の精度に影響が現れる。この誤差を電池のムラに関わりなく補正すべき積分回路を介して電池側と連絡したグリッド制御による補償回路を受光アンプ側に設けるべきか、電池は常に新しくその必要はないか。

○電源の内部抵抗を考えると、ランプ明すなわち重負荷のときに電源電圧が下がり、減（ゼロ負荷）のとき電圧が上がる。この電源から真空管のヒータ回路へも供給されているので、電圧上下変動の影響はアンプ増幅回路に及び、ランプの明滅に同期したヒータ電圧の変動がアンプ系で雑音として現れはしないか懸念する。この回路には設計側の見落としが、無駄がある（後述）。

★受光側の動作（配線図より論者読み取り）

受光収束レンズの後方に光電管 PL50V1が位置する。地面からの反射光が管に入って、管から発生した微弱電気信号出力は第1真空管 UY6301に送り込まれて信号増幅、同じく第2真空管 UY6301でさらに増幅、最後に終段管 XB767Aに送り込まれる。終段はグリッド制御熱陰極四極放電管（サイラトロン 言葉自体矛盾するがアルゴン・クセノンなどを管内に封入したパルス発生・リレー・タイマーなどに用いられる言わば真空管、そのイオン吸着を管内を通過する電流のオンオフに利用する電子管）であり、終段の負荷としてリレー継電器（電磁石式の起爆スイッチ）が接続される。光電管と第1真空管の間の信号の受け渡しはコンデンサCと抵抗器RによるCR結合、第1・第2間は昇圧比1：2の低周波トランス、第2・終段間は1：3のトランスで結合し、信号を受け渡している。トランスでも電圧を昇圧している。

補説 光電管は微弱信号波とともに太陽光も受け入れる。太陽光は電氣的に直流もしくは十分に積分された一定値と、断続明滅光の波形は矩形パルス波と考えてよいであろう。

光電管に入る入力光は大部分が自然光による直流成分であり交流信号分はごく微弱である。直流分は増幅回路の結合コンデンサやトランスで遮断（カットオフ）され微弱交流信号分のみ真空管アンプで数ボルトレベルに増幅してサイラトロンのグリッドに注入。

グリッド入力が入力値を超えればサイラトロンが放電。あとは而後のグリッド入力状況がいかがやうであれ、これには関わりなく（電源を切らぬ限り）サイラトロンに電流が流れ続ける状態が保持される。真空管の動作特性曲線と異なってサイラトロンの動作はデジタル的オンオフである。これが放電するか否かが起爆スイッチオンの鍵となる。

昇圧トランスの使用は重く断線し易く不可。時代遅れであり、真空管3～4本を採用すべきか。初段管UY6301も野暮で大飯喰(0.15Aで充分)、紙を切るのに鉋は要らない。前述の電圧変動のこともあり微弱信号段にはごく小さな直熱管を独立電源で開発使用すべきか。別件で次のような記述◆もある。

- ◆戦後、占領軍の実情を聞いたが、われわれが二、三球でやっているものを、向こうは六、七球使っている。これには私も驚きましたね。真空管の信頼度が高ければよい使う方が便利に決まっている。機器の性能もよくなるし、設計も楽になるからですよ。ところが、海軍は少ない数で性能のいいものをつくれと過大な要求をする。(中川靖造『海軍技術研究所』⁷⁾ P.211)
- ◆音響機雷の掃海具の開発を担当したが、最初は解析にえらい苦労しましたね。そのくらい精巧につくられていた。たとえば、電気回路部分は冷陰極放電管をたくさん組み込んだものを使っている。この放電管のことはわれわれも学校で習ったが、日本ではほとんど使われていない。それだけに解析が非常にむずかしい。しかも、音が入れば作動するという単純なものでなく、推進器特有の低周波の音響が、小さな音からあるスピードでしだいに大きくなったときに作動する。(同上 P.262 ～～論者リレー放電管で2進パルス計数回路を構成し、1回目2回目の船は無事通過、安心させておいてn回目の船をねらった機雷か)

9 有眼信管の限界

山本 肇氏たちNHK関係者は、有眼信管とVT信管の開発生産上の日米比較を試みる。
【開発スタッフ】約1000人：約30人、【生産個数】2200万発：数百発、【開発時期】遅速云々と日米工業力の差を強調なされていた。以下、論者は隠れた一面の日米比較を試みる。

【真空管製造技術、電子式検知と光学式検知】

◎砲弾と違って爆弾は、飛行機から投下するだけで衝撃が少ない。真空管に与えるショックは、砲弾の発射にくらべて極端に少ないのである。

VT信管の真空管のように、衝撃に強い真空管を開発する技術を日本は持ち合わせていなかった。また信管の仕掛けに電波でなく光を使っている点にも違いがある。アメリカも当初、光を使った近接信管の試作に取り組んでいたのだが、兵器としての精度が電波の方が高いという結論に達して、電波式の信管の研究に切り替えていったのである。(P.181)

参考 とくに初期の電探【註 レーダー】は、実戦を念頭につくったものでなかったため、主砲や対空砲火の一斉射撃のショック、反動のため、真空管の球切れや性能の狂うものが続出する。そのほかコンデンサー、抵抗器類、絶縁物といった部品も、南方特有の高温多湿に遭うと、たちまち性能不良になってしまう。それが実情だった。⁷⁾

真空管は静かな状況で使用する。これは従来の既成観念である。VT信管に用いた真空管はVT専用にならば開発されて超小型のサブミニチュア(sub MT 1941年開発)管であり、この現物を目前に展示すれば日本人は職人芸で器用に真似して作る。

従来観念では、砲弾にガラスの管を載せて発射すれば管は割れる、だから載せられない、それが自明でありその態度をもち続けた。ところが米国は砲弾に真空管を載せた。日本にはその発想がなかった。新しい局面への発想の問題である。細かくは発想以前に伝統的文化の問題がある。概して在来の既存の中に己の理想なり考えを溶かし込んでゆく方向に向かうので、既存からこれまで無かった新しいものへ、目前の現実生活を越える要求には考えが及び難いので当然つき込んで考えない。だから新しい状況は生まれない(海彼の紹介と追随)。

以下、論者は一点記す。消費電力のことである。日米両国における近接信管の所謂A電源、その陰極消費電力を相互比較する。

有眼信管の回路図によればA電源系電圧は12ボルトである。受電側は第1・第2真空管を直列接続、ゆえにそれぞれ6Vずつ印加。サイラトロンと抵抗器を直列接続、こちらにもそれぞれ6Vずつ与えていると判断する。判断の理由は7.5オーム(回路図の数値)の抵抗器に6Vを与えれば、オームの法則から通過電流は6を7.5で割って0.8アンペア、サイラトロンXB767Aは旧品種廃止品種らしく昨今の真空管便覧にその記載がない。しかし便覧に類似品種らしきXB785B(陰極電圧6.3V・電流0.8A)があり、ヒータ電流規格が一致、結局4部品それぞれに6Vずつ等しく与えていると判断するからである。(なお真空管UY6301のヒータ規格は6.3V・0.6A)

厳密には規格値6.3Vに対して実印加電圧6Vゆえ若干の誤差を生ずるが、概算に止めてトータルの消費電力を略算すればW(電力ワット)=I(電流アンペア)×E(電圧ボルト)

$$W = (0.6 + 0.8)A \times 12V = 16.8 \quad \text{約}17W \text{ 近い消費電力である。}$$

ここで注意すべきは抵抗器の消費電力 $0.8 \times 6 = 4.8W$ である。この抵抗器はサイラトロンに6

Vを供給する目的にのみ設置された電圧分割抵抗であり、その消費する4.8Wはただ単にジュール熱となつて空气中に放出されるのみであり、ある意味では全く無駄な存在である。思うに全電流1.4A流す必要はなく、1.2Aで良い。①真空管0.6A 2本の並列接続で1.2A②サイラトロン0.8Aに分流抵抗(15オームに変更0.4A)を並列に抱かせて1.2A ①②直列接続して $12V \times 1.2A = 14.4W$ 抵抗器の消費電力は $0.4 \times 6 = 24W$ 無駄の半減であり、少しずつ合理的に考えることの積み重ね結果が製品であろう。

戦時中の国産ラジオの中心は国策から銅・鉄などの資材節約を目的としたトランスレス再生式ラジオである。これは局型受信機とも呼ばれ、各真空管のヒータを多数直列して家庭用100V電源に直接つないで言わば銅と鉄の塊である大きく重い電源トランスを不用としたラジオであり、これを機会に局型真空管の基準ヒータ電圧は12.6Vとなった。サイラトロンの12V管化($6.3V \cdot 0.8A \rightarrow 12.6V \cdot 0.4A$)は容易であるが真空管製造メーカーによるヒータの仕様変更をはかる動きは回路図にみられず、無駄が無駄として残った。

【VT信管の陰極系消費電力】回路図が無いので推論にわたり放電管が陰極電気不要の原始的冷陰極管を使用の場合、下記の本数外(真空管4+冷陰極管1)であるが、

その消費電力は小さくみつもって $1.25V \times 0.05A \times 4本 = 0.25W$

大きくみつもって $2V \times 0.05A \times 4本 = 0.4W$

(前述の有眼信管の抵抗器1個で無駄に捨てられる熱電力4.8WでV T信管用の真空管10~20本程度を作動可能)

計算の根拠 当該V T真空管の陰極構造は直熱型と判断する。直熱型の特徴は、豆ランプが即座に点灯するような即起動性と熱効率の良さである。

(有眼信管は傍熱型真空管を使用、陰極カソードをヒータで間接的に熱するので起動までに時間がかかり、特に前述サイラトロンは予熱に30sec必要であり、戦後のテレビ用真空管においても標準規格ヒータウォームアップタイム $Thw = 11sec$ であった。)

直熱管と判断するその他の根拠 発射後直ちに誤爆した例の存したこと、説明文中に「フィラメント」なる語の存すること、砲弾の性質上、真空管の起動に数十秒要するのは着弾との兼ね合いから不都合であること、及び次のような戦後の直熱管事情などからである。

フィラメントについて V T信管は大戦中2200万個(ゆえに真空管は8800万本)製造、戦後、その余材と覚しき真空管材料や超小型のソリッド抵抗器など新しい電子部品が過去にポータブルラジオ文化の無かった日本に流入、フィラメント電池管携帯ラジオとして電池とともに大量生産された。換言すれば戦勝国が余材物資や進んだ真空管の生産設備を敗戦国にもちこんで安い人件費で生産販売、市場をひろげた、ということ。アメリカに限らず例えばオランダフィリップスとM電器のようにヨーロッパも、である。

そのポータブル用電池管の陰極の定格が1.25V50mAであり、便宜これを適用した。

(2V計算は発射後ガラスが割れて発電し始める「安全装置」の薬剤性電池の推定起電圧鉛蓄電池バッテリーと同じと思う)

ランプの消費電力50Wなどが加わってトータル70W近い有眼信管のA電源である。6アンペ

ア前後の大電流の安定供給はマンガン乾電池には困難と思われ、鉛蓄電池を使用したか。

消費電力は、電池に、さらに製造費用にはねかえる。原材料方面で真空管の製造に必要なガラスやニッケル・タングステンなどにせよ、一本二本の場合には気にもとめないが超小型の真空管と通常サイズのST(ダルマ)管を数千万本製造する場合には原材料の費用その他に大きな差が現れる。

そのような経済方面の記述はこれを省略するが、結論として有眼信管はそのサイズも材料・製造単価もV T信管よりも大であると判断する。現実には数百個の生産にとどまったが、これを多く製造すればするほど資材理財面でのV Tとの差、日米の差が大きくなったことと思われる。戦時の様相の想像とともに終止の意義を改めて考えるものである。[未完]

註

- 1 中公文庫・昭和四十九年九月・中央公論社 上巻P234
- 2 寸法については参考事例として
TOSHIBA VACUUM TUBE HANDBOOK VOL.1 (1960) の外形図参照
- 3 日本国語大辞典 第二版 第九巻 テレミンの項参照 2004.5 小学館
- 4 ラジオ技術叢書『ラジオの基礎知識』P.89-91 (昭和24年4月 高瀬芳卿) 科学建設社
- 5 真空管の伝説 木村哲人 筑摩書房 2001.5 P159・P85・P131
- 6 増田美香子編 町人学者 産学連携の祖 浅田常三郎評伝 に関連記事あり。
2008.4 毎日新聞社
- 7 講談社文庫 1990.10 講談社 P211, P262

参考文献

- 電子管工学 電子通信学会編 昭和40年 コロナ社
 実用無線工学・電子管 昭和33年 近代科学社(第9章・第13章)
 真空管 東北大学基礎電子工学入門講座 1960 近代科学社
 真空管製造技術 真野国夫・荒居茂夫 昭和二十三年五月 修教社
 エレクトロニクス・アイデア集 昭和41年 誠文堂新光社
 ラジオ技術全書第2巻『全日本真空管マニュアル』1969年版
 (昭和44年1月第11版1刷 小形サイラトロンP.141ほか) ラジオ技術社
 エレクトロニクス術語解説 昭和50年 誠文堂新光社
 ラジオ・テレビハンドブック 1955年版 ラジオ科学社(P42・P43)