

受信真空管の寿命に就いて

高 田 昇 平*

Life of Receiving Tubes

By Shohei Takada

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The article relates first of the relation between the rating values and actual service life of receiving tubes with some descriptions on the definition of their life and reliability. Then the writer discusses the problem as to how to determine or calculate the life of tubes in such cases that probability density distribution is unknown, that the same distribution appears to be of exponential type, and that its early presumption is desired. He further analyses factors which determine the tube life thus trying to clarify the intrinsic problem concerning the life of receiving tubes.

〔I〕 真空管の寿命とは

真空管の「寿命が来た」というのはどういう意味であろうか。繊維が切れて点火しなくなつたとか、ガラス球が割れたとかいう場合はハッキリしているが、ラジオ受信機などでだんだん声が小さくなつてゆく場合には何時迄を寿命としたらよいか。こゝに何等かの寿命の約束が必要となつて来る。

真空管には色々の特性値がある。即ち陽極電流、相互コンダクタンス、増巾率、格子電流、歪率等々。厳密に言えばその各々に就いて約束を決める必要がある。これ等の特性値が一定の規格の範囲内にあるものが発売（購入）される訳であるが、この範囲を少しでも外れたら廃棄されねばならぬかという点必ずしもそうではない。廃棄すべき規格値は実際使用に不都合となる値、或は近く不都合となるべき値を以てすべきであろう。この二つの規格即ち購入規格と保守規格との間には若干の差を与えるのが常識であろう。若しもその差が無ければ規格ギリギリで合格した真空管の中には翌日寿命が来るというものもあるかも知れない。これは亦真空管の各特性値が時間と共にどういふ風に変化してゆくかということにも関連がある。

実際の使用状態に於ては特定の二三の値が特に寿命にひつかゝり、他は殆どその間に変化しないという場合も

あり得る。かゝる場合には特定のものの以外の特性は購入規格と保守規格とを等しくとつても大勢に影響を与えないであろう。一般に製造業者は購入規格よりも更に若干厳重な社内規格を設けて、自己製品の信用に対する安全をとつていたので、両規格が一致している場合でも、特性の初期値の限度と寿命を規定する値との間に自ら差を生ずるのが普通である。

真空管は色々の用途に使われるが、ある電子装置のある回路で使えなくなつた真空管を他の回路に使えば結構役立ち、又、別の電子装置では全然別の特性値が問題になることもある。これ等の使用不能となる特性値の限度は回路の設計如何によつても影響される。

そこで上述の如き特性値の保守規格を使用する装置、回路に無関係に決めて置こうという場合には、最も厳格な使用状況に合せることになる。そのためにある目的には相当余裕をもつたものとなる。そこで違つた目的に用いる真空管の寿命の比較の際にはこれ等の点に余程気をつける必要がある。

又、ある装置に真空管を用いた場合、真空管の故障によつてその装置が機能を失つた時、若しくはその機能がある約束の程度に迄低下した時に、その真空管の寿命が来たというような決め方をすることがある。こういう場合にはその寿命なるものを理解するのに、使用回路を余程熟知する必要がある。非常に多量の真空管を比較的限定された装置に使用する需要家はそれぞれかゝる寿命の

* 日立製作所中央研究所

定義をするのが便利なることもあると思う。然し一般性を与えるためには最も重要な二三の特性値に就いての約束を決めることが望ましい。

かゝる箇々の真空管の寿命が定義されたとしても、需要家がこれを如何に利用出来るであろうか。寿命試験は所詮破壊試験であつて、全製品の寿命を保証するために全数試験を行えば使う真空管が無くなつてしまうことになる。そこで抜取試験を行つて統計的な考察によつて全体を推定せざるを得ない。

かゝる抜取試験のデータを有効に統計的に処理するには真空管寿命が如何なる分布型に属するかを知る必要がある。そのためにはかゝる試験のデータが蒐積されなければならない。夥しい真空管の種類、使用される条件が多様を極めてること等のため、その箇々に就いてデータを集めることは容易な業ではない。中継局で用いられる場合には現在では一応指数函数分布をなしていることが認められているが、真空管は年々質的に向上しており、その寿命分布も変化してゆくに違いない。これ等データの蒐積を図り、その動向を絶えず注視することは真空管の製造者としても使用者としても重要な仕事の一つである。又、上述の購入規格と保守規格との間に十分な差をとつて置けば指数函数的な変化を始める迄にある期間の余裕が生ずる筈である。即ちこの場合にはむしろ所謂ガンマ函数に近くなる筈である。

寿命に関連して信頼度 (reliability) という概念が最近欧米に於て論ぜられている。真空管を用いた装置が急激に各分野に使用されるようになり、全系統運転の成否が、電子管装置の動作の良否如何にかゝるものも出て来る状態となつて来た。特に軍関係、民間航空等に於ける「信頼出来る真空管」(reliable tube) に対する要求は著しいものがある。然し信頼出来るか否かはその用途によつても非常に異つて来る。例えば、中継所又は計算機等で用いられる場合には、ある特性値寿命が長いことが本質的となるであろうが、航空機、船舶、自動車等に積込んで用いる場合には、所期の期間中満足に動作するためには寧ろ耐振、耐衝撃の性能を十分に備えているか否かゝ重要な問題となろう。又、用途によつては極めて高温、高湿の下で動作する必要があるかも知れない。このような場合には、かゝる悪条件に十分耐える真空管こそ信頼すべき真空管ということが出来る。即ち、中継所では信頼出来る真空管であつても航空機には信頼出来ない場合があり得るのである。

次に寿命及び信頼度の尺度として提案されている二三の定義に就いて述べる。

(1) 寿命

i) 平均寿命 (Average Life)

これは同種類の真空管のロットに就いてそのロット全体の寿命の総和を真空管の数で割つたものとして定義される。

ii) 平均寿命百分率 (Average Life Percentage)

これは使用開始時より特定の時間経つた時、それ迄に真空管が動作した正味の延べ時間と、不良が1本も出なかつたとした時の延べ時間との比を百分率で表わしたものである。例えば使用時間を X 時間、真空管の総数を N 、更に X 時間迄に不良となつた真空管の寿命を $X_1, X_2, \dots, X_n$ とした場合、

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i + (N-n)X}{XN}$$

によつて定義される量をいう。この値は又「真空管を X 時間まで使うとした場合、真空管1箇当り平均として X 時間の何%使えるか」を示している。明かにこの量は X によつて変る量であり、それを明確にするために X 時間に於ける平均寿命百分率と断るべきである。この表わし方は米国の JAN 規格にも採り上げられ相当広く用いられている模様である。

(2) 信頼度 (Reliability)

信頼出来る真空管とは如何なるものであろうか。これは使用場所、機器の種類によつて異なるが E. G. Rowe の与えた次の定義によつて簡潔に表わされていると思う⁽¹⁾。即ち「信頼出来る真空管とは、在荷の中からとり出し使用せんとする装置にとりつけた場合に、その真空管が満足に動作する確率が高く、更にある一定の期間その真空管がその装置内で不良となる確率が極めて小さいような真空管のことである」かゝる一般的な表現の他に次の具体的な数値が信頼度の尺度として提案されている。

i) 信頼度因子 (Reliability Factor)

G. H. Metson は信頼度の測度として次の値を提案している⁽²⁾。即ち 1,000 本の試験真空管に就いて 1,000 時間の試験を行い、不良になつた真空管の数 P を信頼因子と呼び、 P の大小を信頼度の目安とせんとするものである。

ii) 不良当真空管寿命 (Average Tube Life per Failure)

次に米国 Aeronautical Radio Inc. に於て信頼度を評価する為に用いている尺度について述べる⁽³⁾。

こゝでは、

$$\text{不良当真空管寿命} = \frac{\text{真空管数} \times \text{時間}}{\text{不良数(重みをつける)}}$$

を以て、その尺度としている。右辺分母の重みのつけ方は次の如くする。

- (a) 動作せぬ——100%
- (b) 雑音と間歇動作——飛行中では 100%, 地上では 50%
- (c) 低感度、低出力及びその他のすべての原因——100% (装置を不動作にする如何なる故障も 100% にとる。)

この尺度は不良真空管の数が非常に少ないから真空管の平均寿命に近いものであると述べられている。

その他、大量需要家はそれぞれ、その目的に応じた厳格な試験規格を作り、それに合格したものを信頼出来る真空管と見做して最も重要な箇所に使用するようになっている。

(3) 平均消耗率

これは、使用開始後規定する時間 X 迄の単位時間当りの消耗率の平均として定義される。即ち時間 t に於ける残存率を $S(t)$ にて表わせば、平均消耗率 α は

$$\alpha = \int_0^X \frac{-\frac{d}{dt}S(t)}{S(t)} dt / X \dots \dots \dots (1)$$

にて表わされる。 N 箇の真空管に就いて試験を行い、時間 X 迄に、その内の n 箇が不良となりその寿命値を $X_1, X_2, \dots, X_n$ とすれば、 α の推定量 $\hat{\alpha}$ は次式によつて与えられる。

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^n \frac{1}{N-i} \dots \dots \dots (2)$$

平均寿命なる表現法は、寿命の分布がはつきり判つている場合には、合理的なものであり、且分布が指数型の場合には、平均寿命が得られれば、それで分布に関する総ての知識が得られた事になる。然し、現在求められている残存率曲線のデータに就いては、その初期は、大略指数型であると認められるが、終末まで指数型であるという確証がない。このような場合には、平均寿命なる表現は、その信頼性に疑いがもたれて来る。

又、平均寿命率は、ある期間迄の寿命値に就いての表現法であつて、測定範囲以後の分布に就いて、疑いがもたれる場合にも安全であるが、現在の普通受信管の現状に於ける如き指数函数的な寿命分布を有する場合に於てさえも、規定する時間によつて違つた表現をしなければならぬ事は不便である。然し、こゝに定義した平均消耗率 α は、この場合時間に関係なく一定の値を有する。

又、この値は、規定する時間以後の分布型には関係しないから、残存率の終末の分布型の如何によつて影響を受けない利点がある。

〔II〕 寿命の決め方

寿命試験は破壊試験である為、箇々の真空管全体に就いて行うわけにゆかない。そこで真空管のロットから何

箇かを抜取つて寿命試験を行い、ロット全体の寿命を推定することとなる。場合によつては新しい設計の下に数箇の真空管を製作し、これ等全体を寿命試験にかけることもあると思われるが、この場合でも試験の結果を同一製作仕様によつて作られる更に多くの真空管の集団に適用せん事を意図して行われるのである。即ちこの被試験真空管はやはりもつと大きな真空管群から抜取られたものと見るのが妥当である。かゝる推定は当然統計学的考察に従うべきである。統計的な処理を行う為には寿命の確率密度分布がわかつている場合には試験時間以上の時間に対しても或程度の推定が出来るが、その分布が未知なる場合は試験時間の範囲内に於てしか推定出来ない。

(1) 寿命の確率密度分布未知の場合

過去に於て未だ十分なデータが得られていない種類の真空管或は新しく設計されたもの等に就いては寿命の確率密度分布未知なる場合を取扱わねばならない。かゝる場合には先づその真空管ロットから N 箇の真空管を無作為に抽出し、同時に寿命試験を開始し、予め定めた時間 X 時間に於て試験を打切る。この時迄に不良となつた管球の数を r とすると、「そのロットの内に寿命が X 時間以上のものが少くとも $b\%$ は含まれている」と 95% の信頼係数でいうことが出来る。 b の値は第 1 表から求め

第 1 表 b の 値 (95% の信頼係数にて)

Table 2. Value of b (At the Coefficient of Confidence of 95%)

n or $r+1$	N	10	20	30	40	50
1		74.11	86.1	90.5	92.8	94.2
2		60.58	78.4	85.1	88.7	90.9
3		49.32	71.7	80.5	85.1	87.9
4		39.32	65.6	76.1	81.7	85.2
5		30.36	60.0	72.0	78.6	82.6
6		22.24	54.1	68.1	75.5	80.1
8		—	—	60.6	69.6	75.3
10		—	—	53.5	64.0	70.7
12		—	—	—	58.6	66.2
15		—	—	—	50.8	59.7
n or $r+1$	N	70	100	300	500	1,000
1		95.8	97.1	99.0	99.4	99.7
2		93.4	96.1	98.4	99.1	99.5
3		91.3	93.8	97.9	98.8	99.4
4		89.3	92.4	97.4	98.5	99.2
5		87.4	91.1	97.0	98.2	99.1
6		85.6	89.8	96.5	97.9	99.0
8		82.0	87.3	95.7	97.4	98.7
10		78.6	84.8	94.8	96.9	98.4
12		75.3	82.5	94.0	96.4	98.2
15		70.5	79.0	92.8	95.7	97.8
20		62.8	73.4	90.9	94.5	97.2
30		48.1	62.6	87.1	92.2	96.1
60		—	—	76.2	85.6	93.2
(11)		—	—	—	—	(98.3)

られる。例えば今ある種の真空管に就いて 1,000 時間の寿命が要求されているとする。ロットの内より 30 本の真空管に就いて寿命試験を行い、1,000 時間迄に 2 本不良になつたとする。表より $N=30$, $r+1=3$ の所を見ると $b=80.5$ が得られる。そこで「そのロットの少くとも 8 割は 1,000 時間以上の寿命を有する」ということが 95% の確実さで云い得る。

前述の Metson 提唱の信頼因子は $N=1,000$, $X=1,000$ に於ける不良箇數として定義しているが N 或は X の異なる場合には比例的に考えてよいであろうか。勿論不可である。例えば 1,000 本 1,000 時間で 30 本の不良が出たとすれば「そのロットの少くとも 96% は 1,000 時間以上もつ」ということが出来るが、100 本 1,000 時間で 3 本不良が出たとすれば「そのロットの少くとも 92.4% が 1,000 時間以上もつ」といふ得るに過ぎない。又、1,000 本 100 時間の試験で 3 本の不良が出た場合には、寿命の分布に就いて何等かの知識がある場合を除いてはこの結果を 1,000 時間に拡張することは不可能である。後に述べる指数型分布を仮定して 1,000 時間以上もつ割合を推定すれば、わづかに 45.5% が保証されるに過ぎない。

(2) 寿命の確率分布がわかっている場合

i) 指数型分布を有する場合

米国の中継局に於けるデータより Gannet は真空管の残存率は指数函数的に減少することを見出した⁽⁴⁾。残存率とは試験中不良となつた真空管を差引いたものゝ全数に対する割合である。残存率が指数型ならば寿命の確率密度分布もやはり指数型となり、残存率曲線が $\frac{1}{e} = 0.367$ に達した時間が平均寿命を与えると述べられた。我国の電通省に於ける実用寿命試験に於てもその残存率は略々指数型であることが認められており、現状ではこの分布を仮定することは有効だと思われる。然し上述の如き平均寿命の決定法は得られた結果に対する信頼性が全く不明である。かゝる場合の寿命推定並びに検定に就いては詳細を別に報告したが、⁽⁵⁾⁽⁶⁾ その手段を簡単に紹介する。

ロットから N 箇の真空管を抽出し、同時に寿命試験を開始し、順次不良となつて脱落してゆく真空管の寿命がそれぞれ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ であつたとする。次式

$$y = \sum_{i=1}^n x_i + (N-n)x_n$$

で与えられる統計量 y を計算する。第 2 表より不良箇數 n に対する μ_1, μ_2 の値を求め $\mu_1 \frac{y}{n}, \mu_2 \frac{y}{n}$ を計算すればこれが寿命の信頼限界の上限と下限を与える。この方法は必ずしも全数が不良になつてしまうのを待たずに推定出来る。つまり試験の中途打ち切りによつて或る程度の結論が出せる。然し不良の數 n が現われる迄の時間は当然

第 2 表 μ_1, μ_2 の 値Table 2. Values of μ_1, μ_2

n	μ_1	μ_2	n	μ_1	μ_2
1	39.50	0.27	36	1.43	0.74
2	8.26	0.36	38	1.41	0.75
3	4.85	0.42	40	1.40	0.75
4	3.67	0.46	45	1.37	0.76
5	3.08	0.49	50	1.35	0.77
6	2.72	0.51	55	1.33	0.78
7	2.49	0.54	60	1.31	0.79
8	2.32	0.56	65	1.30	0.80
9	2.19	0.57	70	1.28	0.80
10	2.09	0.59	75	1.27	0.81
11	2.00	0.60	80	1.26	0.81
12	1.94	0.61	85	1.25	0.82
13	1.88	0.62	90	1.24	0.82
14	1.83	0.63	95	1.24	0.83
15	1.79	0.64	100	1.23	0.83
16	1.75	0.65			
18	1.69	0.66	150	1.18	0.86
20	1.64	0.67	200	1.16	0.87
22	1.60	0.69	300	1.12	0.90
24	1.56	0.69	400	1.11	0.91
26	1.53	0.70	500	1.09	0.92
28	1.51	0.71	1,000	1.07	0.94
30	1.48	0.72			
32	1.46	0.73			
34	1.44	0.73			

最初にはわからない。実際には試験時間を 500 時間とか 1,000 時間とかに決めたい場合が多い。

かゝる場合には予め決めた試験時間 X 時間迄に不良となつた真空管の寿命値 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ より

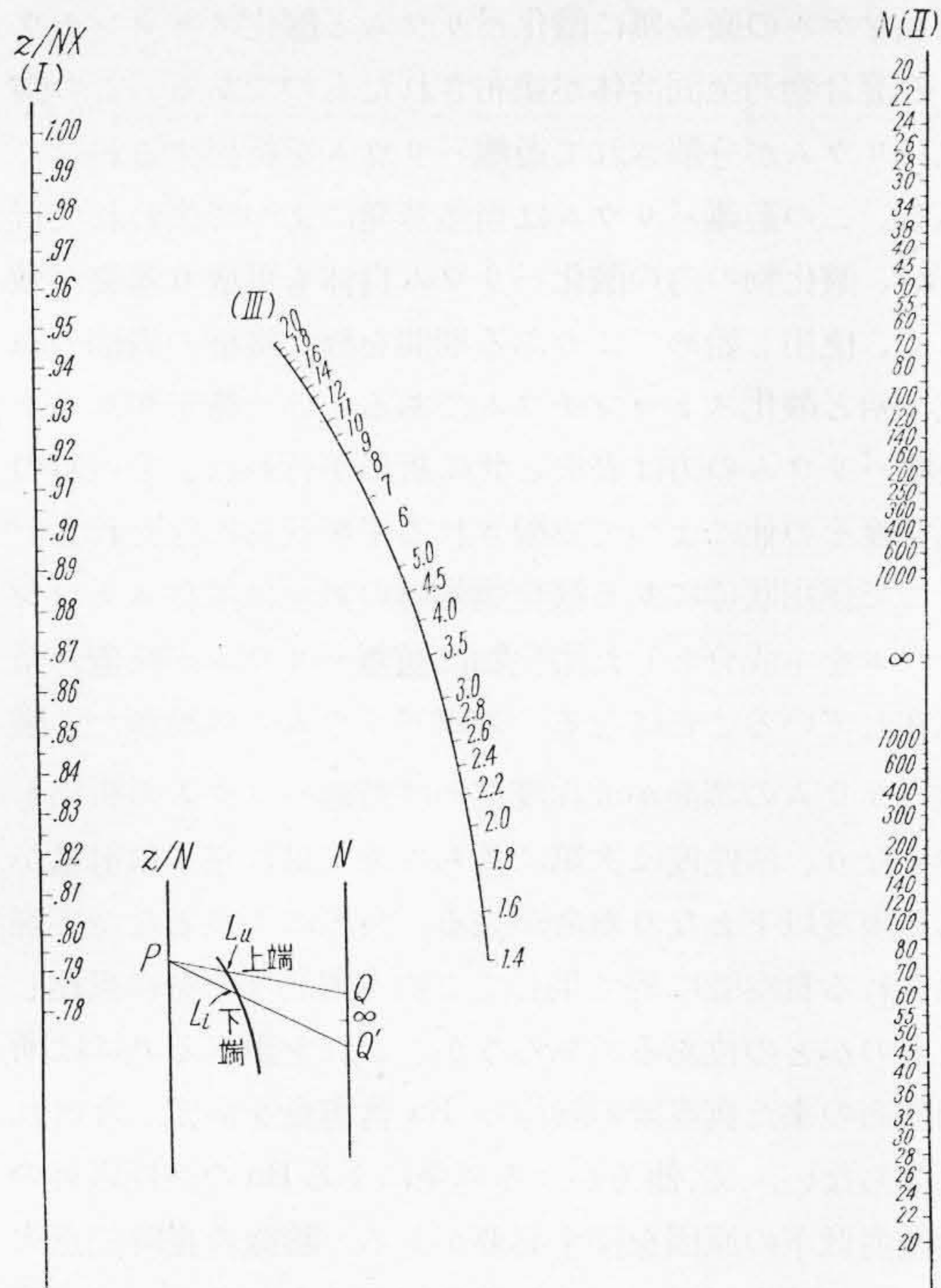
$$z = \sum_{i=1}^n x_i + (N-n)X$$

を計算する。第 1 図のノモグラフに於て z/NX を (I) 尺度上に求め、 N を (II) 尺度上に上下二点求め、これを直線で結んで (III) 尺度との交点の目盛りを読んで L_u, L_e とする。 $L_u X, L_e X$ が信頼係数 95% の平均寿命の信頼限界のそれぞれ上限及び下限を与える。(検定法については原論文⁽⁶⁾を参照され度い。)

Sylvania 会社の McElwee は平均寿命率が指数函数的であるという仮定を置いてそのデータを処理している⁽⁷⁾。然し同会社の試験結果はむしろ残存率を指数函数的であるとした方がよく合っている。

ii) 指数型以外の分布を有する場合

指数分布をなす場合にはパラメーターが一つである為に著しく取扱いが簡単になり上記の如き処理が出来るが



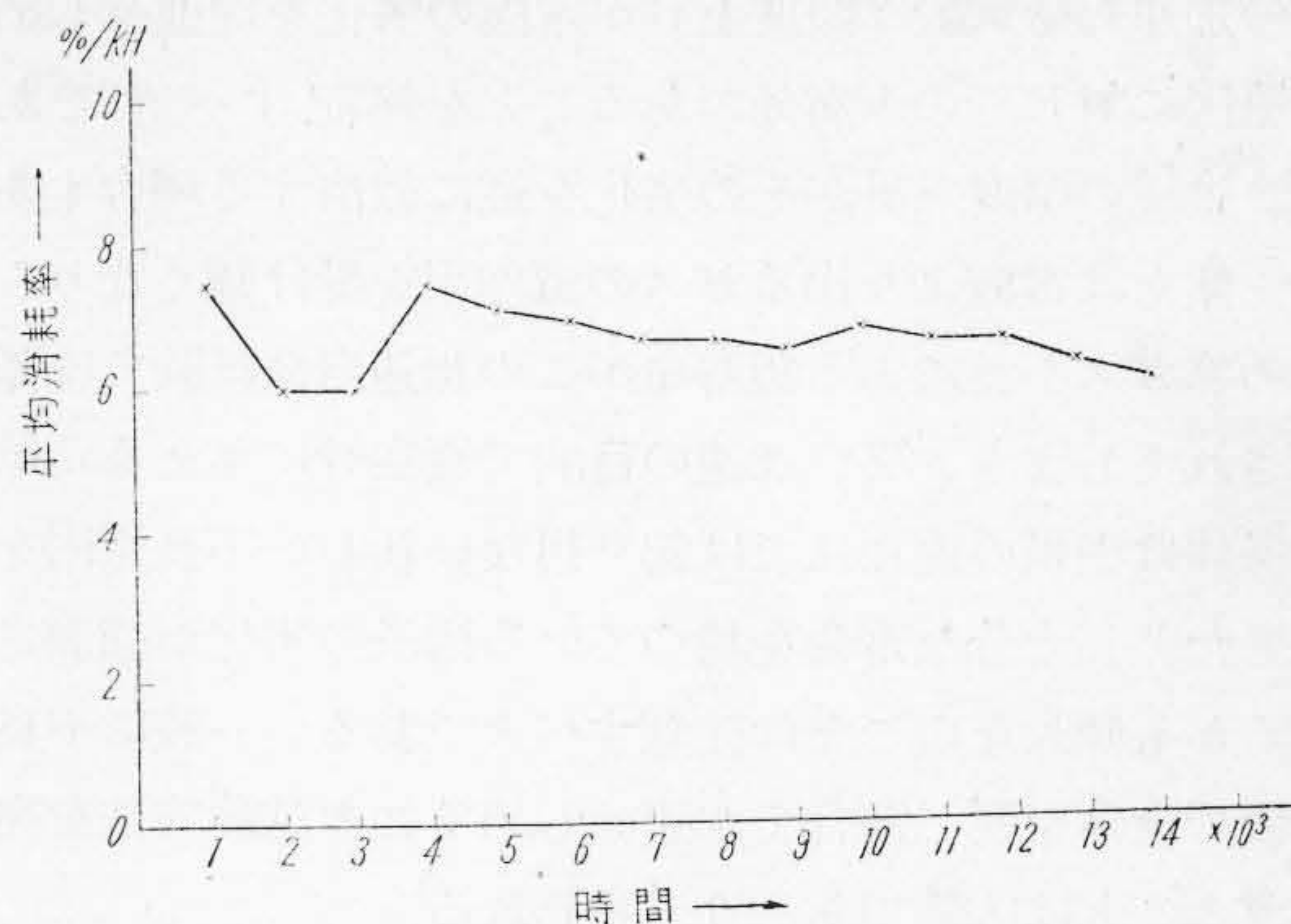
第1図 信頼限界を与えるノモグラフ
Fig. 1. Nomograph which Determines the Limit of Reliability

これがガンマ函数分布、正規分布となると可成り複雑となつて来る。正規分布は統計の方では詳しく取扱われており、その中途打切りに就いては文献を参照され度い⁽⁸⁾⁽⁹⁾。然し当然少数例による推定では到底十分な精度を期待し得ない。又、ガンマ函数分布の場合にはそのパラメータの相当の範囲で残存率が30%の時の時間が平均寿命の1.2倍であることが計算の結果判つた。然しその統計的取扱いは未だ行われていない。

又、大体は指数分布であるが長寿命範囲ではその分布が疑わしいという場合がある。かゝる場合には前述の平均消耗率を以て論ずるのが便利であろう。一例を示せば第2図の如くである。然しこれは筆者の試案で未だ広く用いられていない。

(3) JAN規格

JAN-1Aに於ては大多数の真空管に就いて500時間に於て平均寿命率80%以上たると規定している。そして真空管の種類によつて定められた数(N)の真空管について試験すべきことが述べられている。そして寿命を規定する特性値は主として相互コンダクタンスをとっているが公称規格と違つた最終寿命値を規定している。勿論相当の根拠の下にかゝる規格が設けられていると思うが軍用なる為試験時間を500時間として短時間に関する



第2図 平均消耗率の一例

Fig. 2. An Example of Average Deterioration Percentage

る規格に止めたものか、或は何等かの寿命分布を想定して更に長時間迄の保証をせんとするものか明かでない。

(4) 加速寿命試験 (早期寿命推定に就いて)

寿命試験は本来非常に時間がかかる仕事であり、真空管が改善されその寿命が増せば増す程寿命試験には長時日を要し、従つて多くの費用と困難を伴う。事実10年、20年更にそれ以上に及ぶ寿命試験に至つては殆ど実行不可能に近い。用途に応じ、又、それぞれの型毎に行うとすれば猶更のことである。費用並びに困難の点を克服したとしても寿命試験の結果が判明する迄に長時日を要しては折角得られた結果もその時は既に用を為さず唯単に記録を止めるに終るかも知れない。出来得べくんば作業工程、或は使用材料その他に変化が加えられた時寿命に如何なる影響を与えるかを出来る丈早急に知ることが望ましい。かゝる早期の寿命推定には三つの方法がある。即ち

(i) 推計学による途中打ち切りの方法

(ii) 加速寿命試験法

(iii) ある特性値の初期値より推定する方法

である。(i)に就いては(2)に述べた。(ii)の方法は真空管を究極に於て駄目にすると考えられる不良原因を促進する方法である。有線用真空管のステム障害に対する加速寿命に就いてはこの方法が有効に用いられた。即ち動作雰囲気の温度を若干高くして正常動作の場合を推定したのである。又酸化物陰極に対する過熱寿命試験も実用になつている。この方法は陰極加熱電力(即ち温度)を規格値より上昇せしめて寿命を故意に短縮せしめる。実験の結果によれば寿命の対数と加熱電力の対数は直線的となるので外挿により正規の使用状態の寿命を推定するのである。然しこの方法は規格電力の場合がこの直線の範囲内に存在していることが必要で、同種の真空管に就いてこれを確かめておかねばならない。又、この陰極加

熱の加速寿命試験は温度上昇が陰極の劣化を促進せしめる原因に対してのみ有効であることを銘記すべきである。陰極の温度上昇がその劣化を逆に救済する場合もある。例えば電極より出るガスの毒作用を受け難くなり、その為ガス不良による短寿命がこの加速寿命試験では隠蔽されてしまう。又、加速の目的で真空管に与える苛酷な条件は正規の使用法では起り得ない新しい不良原因を生じたり、十分な寿命を持つている因子の劣化が強調されるかも知れないことに注意すべきである。一般に不良原因の全体を同じ割合で加速せしめる如き試験方法を発見することは困難であろうと思われる。

(iii)の方法は初期に於ける測定によつて究極の寿命を推定せんとするものであるから、若しこれが鑑定出来れば甚だ重宝なものである。従来提唱されている方法は陰極温度を低下せしめて陽極電流或は相互コンダクタンス或はこれ等の温度に対する変化分を目安とするのである⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。然し真空管製造直後は所謂エージング不足による不安定性もあつて今少し色々の角度から検討を加えなければ一般に適用することは出来ない。然し、真空度不良その他製造時の事故に基く原因の或るものを摘発するには或程度有効と考えられる。

又、初期値ではないが所謂陰極効率(A.K.)と称して加熱電力を若干低下せしめた時の利得の変化を監視することが行われている。これは利得の変化そのものが不都合であるというよりも、むしろ障害の予報として重視されている。

〔III〕 真空管の寿命は何故来るか

真空管寿命の実体を把握する為には、実用寿命試験のデータを原因別に整理し、更にその物理・化学的な意義を明かにする必要がある。電通省、放送協会等に於ける実用寿命試験の結果によれば、エミッション減少、真空不良、ヒーター断線、絶縁不良、雑音発生、ガラス破損等が主なものである。これ等の内にはお互に関連したものもある。又、寿命が来たといわれるものには設計製作上の事故或は技術レベルの低い為生ずる不良と、合理的な設計がなされ製作技術も最高級であつたとしても本質的に或る期間を経た後には特性値の低下を来すものがある。両者とも画一的に寿命なる語で表現しているが、事故と寿命とを区別することは出来ないであろうか。製造技術の進歩と共に今日の合理的な設計はやがて設計不良と見做される時も来ると思われる。然し現在の常識として寿命の本質は陰極の問題の中に含まれると考えられる。陰極が十分なる電子放射を出す為には、酸化物陰極の活性化を行う必要がある。この活性化の本質は遊離バリウムの生成にあると見られる。酸化物陰極の組成は普

通ニッケルの底金属に酸化バリウムと酸化ストロンチウムの混合物乃至固溶体が塗布されたものである。この酸化バリウムが分解されて遊離バリウムを析出するわけである。この遊離バリウムは当然蒸発によつて失われて行くが、酸化物の内の酸化バリウム自体も可成り蒸発が激しく、使用し始めてよりある期間を経た陰極の表面の組成は殆ど酸化ストロンチウムであるという報告がある。遊離バリウムの方は喪失と共に析出が行われ、その時の真空度その他によつて支配される平衡状態に保たれる。そこで使用状態にある酸化物陰極の表面は酸化ストロンチウムを主成分とした酸化物に遊離バリウムが吸着乃至点在していることになる。遊離バリウムの供給源たる酸化バリウムの蒸発が或程度進めば遊離バリウムの析出も少くなり、活性度は次第に落ちて来て茲に電子放射量がある限度以下となり寿命が来る。実際に不良となつて廃棄される真空管に於て果してこの本質的な寿命に到達したものがどの位あるであろうか。これを調べる為には所謂寿命の来た真空管の陰極のBa含有量を測定しなければならない。又、他方から蒸発によるBaの減耗以外の活性度低下の原因を探す必要がある。陰極の長時間点火によつて蒸発以外のどんな劣化が考えられるか。先づ酸化物結晶の粗大化である。陰極温度を上昇せしむれば結晶は粗大化するという報告がある⁽¹³⁾。然し、粗大化に要する時間は比較的短かく、結晶の大きさを決定するものは時間よりも寧ろその陰極が経験した最高の温度であると見做される。而して陰極の活性化時の温度を種々変化しても、電子放射に大した差異が生じないことが報告されている⁽¹⁴⁾。このことは物理的な意味での結晶寸法の増大はそれ程寿命に利かぬものゝ如くである。真空度不良による有毒ガスの作用によつて酸化物が変質し、酸化物の外観までも変つたものに就いてはこの限りではない。

次に底金属と酸化物との間の中間層の生成によつて電子放射が減衰しないか。酸化バリウム或はバリウムと底金属或はその中に含まれる不純物とが化学的生成物を作る。この中間層は特にパルス特性に害を与えるということが報告されている。これは確かに時間と共に成長して行く可能性がある。(厚さは変化てないという報告もあるし、⁽¹⁵⁾抵抗値は確かに増してゆくという報告もある。⁽¹⁶⁾その為にある特性値が寿命限度以下となるおそれがある。

寿命の末期には真空管の電流電圧特性が衰へて来る。これは、陰極を通しての抵抗増大か表面の部分飽和によるものと考えられる。実験結果は後者を支持しているように思える。部分飽和だとすると、それは、ガスによる毒作用か、前述のバリウムの消耗かということになる。真空管内の真空度はゲッターによつて高度に保たれている。

然し、製作時に真空がよくてもガラス壁、電極等より排気し切れなかつたガスが出て来るおそれがあり、又、ステム部、封じ部からの漏洩も絶無ではない。その時はゲッターの消耗によつてこれを固定するのであるが、吸収し切れなかつた場合には勿論寿命が来る。直接イオン電流の増大として出て来る場合もあるし、エミッション不良、 I_p 小、 g_m 小として現われる場合もある。然しかゝる真空管は本質的な寿命を全うしたといふ得るであらうか。これは作業方法のミスと見做すべきではあるまいか。これはゲッターの消耗の状況を調査してこの原因を確認する必要がある。

かつて我国電通省の中継用真空管の故障が甚だしかつた時があり、症状としてはエミッション不良、その他陰極の劣化を示すものであつたが、その原因は真空度低下であり、更にその原因はステム・ガラスの電解による鉛樹の析出によつてスローリーク乃至ステム破損を起した為であるとわかつた。勿論ゲッターは殆ど若しくは全部消耗し尽していたのである⁽¹⁷⁾。

この他電極の彎曲、変形による諸常数の変化、陰極よりの蒸発物による絶縁低下、或は格子、陽極等にこれが附着する為の諸常数の変化等によつて特性値の寿命限度を越す場合がある。又、加熱線切断、加熱・陰極間の絶縁不良も出て来る。これ等の原因によつて寿命が来たものを事故と見做すべきか、本質的な寿命と見做すべきか、難しい問題である。電極の材質がわるくて彎曲してくるのは明かに事故であらうが、止むを得ないわづかのクリープが電極間距離の非常にやかましい真空管に於て生じた場合は如何。振動衝撃等の特に激しい場所で使うことを常とする使用目的に対しては本質的な寿命なるものゝ影が甚だうすくなると思われる。陰極の蒸発物による絶縁低下は本質的な寿命とも考えられるが、もつと良い設計によつて逃げられるのではないかと考えられる。加熱線の切断はタングステンの蒸発による場合は宿命的なものと思ふが、これに塗布したアルミナ中の不純物或はタングステン線中の不純物によつて絶縁不良を起したり、変質して切れることもある。又、ガラスの歪の残っている為の破損、或はベース或は接着剤の収縮による所謂締め割れによつてあたら高級真空管を夭折せしめることがある。これ等は明かに事故というべきであらう。

真空管寿命の本質の解明に就いては勿論今後の問題に属し、茲には単に問題の所在を暗示したに過ぎない。

〔IV〕 結 言

真空管の寿命は使用される側にとつては勿論のこと、

製造者側としても最も重点を置くべき事項の一つであつて、当研究所に於ては日立製作所茂原工場と協力して長年月研究を続けて来た。何分真空管の使用条件が非常に多岐に渉つていたので、その処理は可成り面倒なものであつて、本文中に縷々述べた如く未だ解決されない点を多く残している。今後特に使用者の方面からの御援助を御願ひする。

本研究の内容の一部は文部省試験研究費による超短波研究委員会の真空管分科会の委員諸氏の討論を頂いた。そして詳細なる報告が「超短波通信の研究」(コロナ社発行)中に納められている。⁽¹⁸⁾ 茲に委員各位に厚く感謝する次第である。又、本研究の遂行に際しては日立製作所茂原工場武内工場長、久保副工場長、宮城技術部長その他各位並びに中央研究所菊田所長、浜田部長の御懇篤なる御指導御鞭撻を感謝する。又、協同研究者藤野清一郎、島田正三、二木久夫各氏その他所内各位の御協力を感謝する。

参 考 文 献

- (1) E. G. Rowe: Elec. Comm. Dec., 1951
- (2) Radio Section Discussion Meeting: P. I. E. E. Part 3, May, 1951
- (3) E. K. Morse: J. Radio Comm. Dec., 1950
- (4) D. G. Gannet: Bell Lab. Rec. Aug., 1940
- (5) 高田・島田: 電気通信学会誌 昭和26年6月
- (6) 高田・島田: 電気通信学会誌 昭和27年12月
- (7) E. M. McElwee: I. R. E., Feb., 1951
- (8) 田口玄一: 推計学による寿命実験と推定法・科学新興社 1951
- (9) A. C. Cohen: Amer. Math. Soc., 21, 4, 1950
- (10) 中村・常木・小松: 有線用真空管技術連絡会資料 165号、昭和27年1月
- (11) 北川: 連合大会講演論文集 昭和27年5月
- (12) R. Brewer: P. I. E. E., Vol. 98, Part 3, July, 1951
- (13) Yamaka (山香): J. App. Phys., April, 1952
- (14) 坂山・佐藤: 連合大会講演要旨 (No. 25), 昭和26年5月
- (15) A. Eisenstein: Advances in Electronics 1 Academic Press, 1948
- (16) J. F. Waymouth: J. App. Phys., Vol. 22, Jan., 1951
- (17) 中村: 通研月報 No. 8, 9, 1949
- (18) 超短波通信研究委員会編: 超短波通信の研究、コロナ社 1953

第 20 頁より続く

(その三)

U.D.C. 621.38 (048.1)

創刊号(大正7年1月)～第35巻第6号(昭和28年6月)

621.396.6 無線の機器

- 1) 発信真空管回路の検波領域に於ける一二の実験
高木堅秀、儘田信五郎：日立評論 25 7 (昭 17. 7) 352～355
- 2) 無線用固定抵抗体の寸法と熱収支
高橋治男：日立評論論文集 1 1 (昭 23) 15～19
- 3) 周波数変調送信機の周波数偏移測定法
叶屋復雄、長浜良三：日立評論 31 4 (昭 24. 9) 151～155
- 5) 通信機器の MFP 処置と防湿包装
池田恭：日立評論 35 5 (昭 28. 5) 827～836
- 5) 八木空中線
斎藤五一、古谷勝美：日立評論 35 5 (昭 28. 5) 837～845

621.396.8 受信電界強度

150 MC-FM 伝播試験

長浜良三：日立評論 34 8 (昭 27. 8) 971～982

621.396.9 無線の応用

- 1) GT-50 型 50 W 漁業用陸上無線電話装置
三木正一：日立評論 30 6 (昭 24. 3) 222～227
- 2) PX-21 型 VHF-FM 警察無線電話
北条徳、長浜良三、今西久弥：日立評論 32 9 (昭 25. 9) 797～814
- 3) PM-111 型、PF-111 型 150 MC-FM 無線電話装置 (その一)
北条徳、長浜良三、今西久弥：日立評論 33 11 (昭 26. 11) 927～934
- 4) PM-111 型、PF-111 型 150 MC-FM 無線電話装置 (その二)
北条徳、長浜良三、今西久弥：日立評論 33 12 (昭 26. 12) 1051～1060
- 5) 50 W 漁船用無線電信電話装置
東長年：日立評論 35 2 (昭 28. 2) 405～420
- 6) PM-121 型 150 MC-FM ウォークーキー
東長年：日立評論 35 4 (昭 28. 4) 705～710

