

# 商品のライフサイクル

— オーディオ用真空管の技術史を事例として —

岩城良次郎

## まえがき

英国のフレミングによる2極真空管の発明(1902年)、つづいてド・フォレによる3極真空管の発明(1906年)以来、高性能管、多極管、複合管、小型管など世界各国で開発された品種は数えきれないほど多い。しかし、1955年ごろからダイオードやトランジスターなどの半導体素子の工業生産が真空管に代るものとして開始され、これらの素子が小型で長寿命であるうえ、消費電力が少ないなどの優れた特性をもつため真空管は衰退の一途を辿るようになった。

オーディオ真空管こそ、そのライフサイクルにおける導入期から衰退期までの期間がわずか50年程であり、その間、高性能化、多様化、複合化、小型化、省資源化、省エネルギー化などの諸現象を示し、商品の品質を技術や世相の関連から研究するうえに好適の事例と考えた。

本論文では、オーディオ真空管の技術史上、重要と思われる下記の諸点を設定して考察を進める。

1. 導入期における万能型から専用型への傾向
2. 直流管から交流管へ
3. 消費電力の少ない経済管の開発
4. 性能の向上と多極管の開発
5. 電力増幅管と整流管との補完関係
6. 戦時体制下における省資源化と耐震性の向上
7. 混合管と複合管の開発
8. 半導体素子との競合と代替

9. 衰退期における嗜好的・魅惑的要素

1. 導入期における万能型から専用型への傾向

商品が開発された当初は、一般に種類が少ないうえに類似の用途に幅広く用いようとするために万能型になる傾向が大きい。その後、種類の用途に応じた品質の向上が要求されると技術改良がなされ専用型のものへと次第に品種が増えるのが常である。これらの現象は多くの商品に見られるが、真空管の変遷においても顕著に現われている。

真空管のうちで、最初に発明されたものももっとも簡単な構造をした2極真空管(ダイオードと名付けられた)であり、1902年イギリスのフレミングによってなされた。続いて1906年リー・ド・フォレは3極真空管を発明し、それによる検波・増幅・発振の代表動作回路を示した。3極真空管の生産はアメリカのウェスタン・エレクトリック社(WE社)によって1910年頃からはじめられた。1918年にWE社は、受信用万能検波増幅管VT-1と送信用の5W型発振・変調管VT-2を発売した。このVT-1を原型として、RCA社は翌1919年、類似の規格をもった検波専用のソフトチューブUV-200及び検波・増幅兼用の万能型ハードチューブUV-201を発売した。ハードとソフトの違いは、真空度の差から来ており、ハードの方は高真空、ソフトの方は低真空またはガス入りを指している。他方VT-2はオーディオアンプのパワーステジにも利用され、パワー管の発祥とみることができる。WE社は1919年、更に大出力の50Wの大型送信管WE-211と乾電池を電源とする受信機用経済管WE-215(大きさはGT管とMT管との中間)を開発し、1920年から量産を開始した。WE-205Dはトーカー装置のパワー管や海底電線の中継増幅機に使用された。

世界最初のラジオ放送は1920年11月2日、アメリカ・ピッツバーグのKDKA局の開局ではじめられた。これに伴って家庭用ラジオ受信機の売上が急に活発となった。GE社からはラジオトロンUV-202(15W定格送信管)、UV-203(約50W定格送信管)、UV-204(約250W定格送信管)が発表された。UV-202は1年後に改良されて202A

と名付けられ、また UX-210, CA-10 などとも呼ばれた。

一橋大学東校舎にある商品陳列室に展示されている電池式拡声機は、大正 14 年 7 月 31 日、934 円で購入されたもので、2 本の BA-202A を用いたアンプ（真空管と増幅機ともに日本無線電信電話株式会社製）（図 1 参照）、マイク（WE 社製）およびスピーカー（テレフンケン社製）から成っている。

大正末期に、わが国では東京無線電機株式会社から TV-4, TV-8 が、東京真空管製造株式会社から TVV-201, 日本無線電信電話株式会社から TCIV, C4C, C4D などの 3 極管が製造され発売された。一橋大学商品陳列室には、これらの真空管を用いた無線電話送信機や拡声機が展示されている（図 2 参照）。



図 1 電池式拡声機（上部に見える 2 本の真空管はいずれも BA-202A である）



図 2 無線電信送信機（管球はいずれも TV8）

## 2. 直流管から交流管へ

大正末期から昭和初期にかけて開発された真空管はすべて直流管であり、一般にその供給電源は大型の蓄電池や乾電池に依存していた。このため、家庭では充電のできる蓄電池が用いられたが、その保守に煩わしい手間を要した。1922年ハル社はこの不便を解消するため、供給電源を家庭用電燈線から仰ぐ交流電源方式（エリミネーター化とかAC化という）を予見して、傍熱型3極管を發明した。また、レイセオン社はBH管なる名称のコールド・カソードのガス入両波整流管を開発し、続いてマックコルへ、アードン、ケログの3社は、低電圧高電流の熱慣性の大きな交流用フィラメントをもった専用の交流管を発表した。

1927年RCA社は直熱交流管UX-226 (1.5V, 1.05A) および傍熱型交流管UY-227 (2.5V, 1.75A) を発売した。これに伴いアメリカでは家庭用受信機のエリミネーター化が始められた。エリミネーター化という語は、電池をエリミネートして、これに代って電燈線からの電源の供給をうける装置を指したことから由来している。

わが国でも1928年ごろから交流受信機が普及しはじめた。UY-227は、27A→56→76と進歩し、家庭用受信機の検波管や電圧増幅管として広く利用され、今でも真空管アンプ・ファンの間で人気が続いている。一方、UX-226は26Bに改良され、低周波増幅管として、なじみの深いものであったが、戦後はHi-Fi (high fidelity) の対象にはハムの障害で適さないため、ほとんど使われなくなってしまった。このようにAC化の進展と共に、真空管も直流直熱管→交流直熱管→交流傍熱管へと移行していった。

他方、エリミネーターの主役としての整流用真空管はAC化の初期には、まだ専用の2極真空管が製品化されていなかったため、WE-205DやUX-201Aのような3極管のプレートと陰極とを接続（2極管接続）して代用していた。

一橋大学東校舎にある商品陳列室に展示されている真空管式整流器

(備品番号イ-H-88)は東京無線電気株式会社製のものであり、帝国無線電機製作所ケノトロン(2極管)2本が平行接続で使用されている。この整流器は、大正11年5月13日、49円で購入されている。このケノトロンは当時としては珍しいものであり、貴重な存在である(図3参照)。

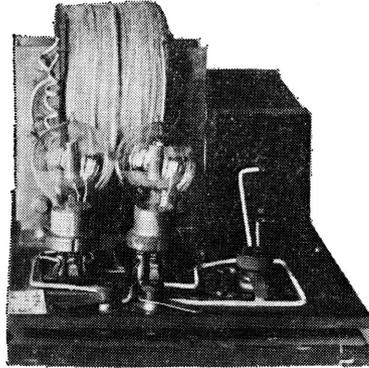


図3 ケノトロンを使用した  
真空管式整流器

わが国で一般家庭用受信機の整流管として量産された最初の整流専用管は半波整流小型2極管 KX-112A であった。半波整流管の他に両波整流管が登場し、直熱型から傍熱型へと移行していった。また、ハイパワー管の出現に伴って、それに応じた直流出力電流の整流管が開発され(詳細は後述する)、整流管はシリコンダイオードの時代を迎えるまでは受信機の直流電源供給の心臓部として重要な役割を果たした。

### 3. 消費電力の少ない経済管の開発

家庭用受信機が登場した大正末期から昭和初期にかけては、その供給電源が大型の蓄電池に依存していたので、真空管の消費電力の節減は大きな問題であった。当時 RCA が発売した真空管 UV-201 のフィラメント規格は 5V, 1A であり、消費電力が 5W という大きなものであった。これらを3本も使った受信機では、20~30AH の大型蓄電池でも、数時間しか使用できず、悩みのたねであった。これを解決するため、フィラメント規格が 5V, 0.5A と改良され、さらに2~3年後 5V, 0.25A の UX-201A 型が誕生した。この経済管開発の背後には、フィラメントの材料を純タングステンからトリイテッドタングステンに代える技術開発があったことを忘れてはならない。

一方、ウェスチングハウス社では、より経済性の高い乾電池用真空管 WD-11 及び WD-12 を開発し、RCA 社から発売させた。これらの球はソケットの接続が異なるだけで、電気規格は全く同じものであり、そのフィラメント規格は 1.1V, 0.25A であり、消費電力は 0.28W にすぎなかった。また、GE 社はフィラメント規格 3.3V, 0.063A, 消費電力 0.20W の経済管 UV (UX)-199 を開発した。フィラメント電圧の 3.3V は 1.5V の乾電池 2 本分の電圧に依拠している。この球は RCA 社の初期の電蓄の電圧増幅管をはじめ、戦前のポータブルラジオに用いられた。

一橋大学商品陳列室には、昭和 5 年 12 月 1 日購入の日本電気株式会社製の 8003-B 型の交直両用オーディオアンプ (備品番号イ-M-5-3) が保存されている。このアンプは直流用アンプと交流用アンプとから成り、直流用アンプは UX-199 の 2 本を低周波トランスで結合させた回路になっている。一方、交流用アンプは WESTERN ELECTRIC 25-B 型アンプであり、R-205D (カナダの Northern Electric 社製) の 2 段増幅回路になっている。当時わが国の交流用アンプの製造技術はかなり遅れていたことが伺われる。このアンプには日本電気製のホーン型スピーカー 4 台とアメリカの WE 社製マイクロホンとが付属しており、備品台帳によると、その購入金額は、マイクロホン 400 円、アンプ 494 円 80 銭、スピーカー (4 台) 360 円、予備真空管 80 円 10 銭、合計 1334 円 90 銭と相当に高価なものであった。とくにここで付記しておきたいことは、この付属のマイクロホンがきわめて貴重なものであるということである。これは東京放送所 JOAK で放送が開始された際に用いられたマイクロホンと同一機種のものである。当時放送に用いられたものは東京の愛宕山にある NHK 放送博物館に展示されているが、これと同一機種のもものが一橋大学に現存することは特筆に値するものと考えられる。図 4 はアンプの外観、図 5 はアンプの内部、図 6 は使用真空管 (UX-199 及び R-205D)、図 7 は WE 社製マイクロホンを示す。

戦前のポータブルラジオ用真空管としては UX-199 に続いてフィ

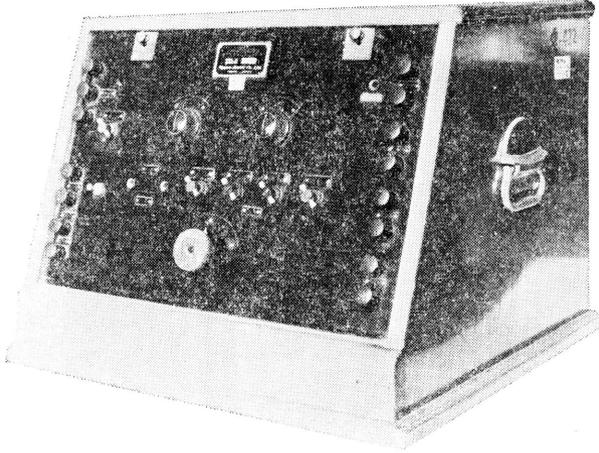


図 4 交直両用オーディオアンプ  
(日本電気株式会社製 8003-B 型)

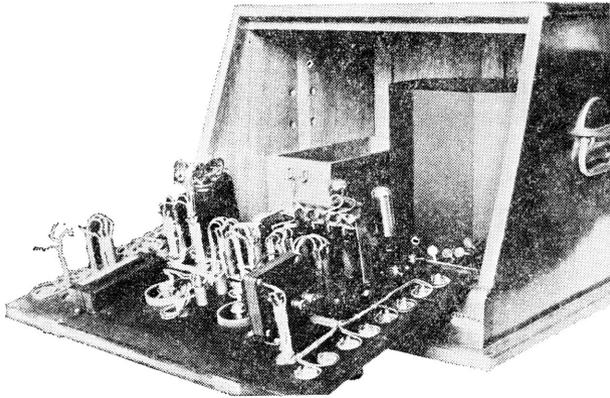


図 5 上記アンプの内部  
(パネルの裏面の部分が直流用アンプ,  
奥の金属箱の部分が交流用アンプである)

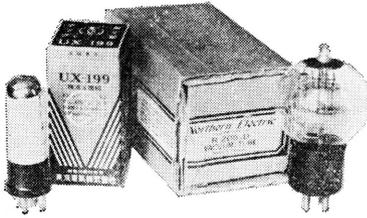


図 6 前記アンプに使用されている真空管  
(左: UX-199, 右: R-205D)

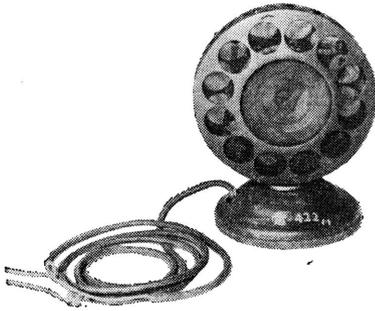


図 7 前記アンプに付属している WE 社製ダブルボタンマイクロホン (放送開始当時のマイクとして NHK 放送博物館に展示されているものと同一機種のもの)

ラメント規格が 1.3V, 0.08A の UX-109A (直流用万能 3 極管) や UX-111B (直流用空間電荷格子 4 極管) が開発された。これらの球の消費電力は 0.10W であり, UX-199 のその更に半分になっている。とくに UX-111B はプレート電圧が最大 20V で働く点で, ポータブルラジオの高周波, 増幅, 低周波増幅の何れにも適したものとして愛用された。しかし, ソケットもベースも大きく, 他の部品も小型のものができなかったため, ポータブルといってもかなり大型で感度も低く不便なものであった。

戦後は, さらに高性能で小型の経済管が登場し, トランジスタラジオが普及するまで広く用いられた。1R5—1T4—1S5—

1S4 の 4 球スーパーなどはその代表的なものであり, 各球ともフィラメント規格が 1.4V, 0.05A, 消費電力が 0.07W であり, 戦前のものに比較して性能面でも消費電力面でも格段の進歩が見られた。

#### 4. 性能の向上と多極管の開発

より性能の高い真空管の開発といった努力が絶えず行われ, 1926 年以降とくに 1933 年から 1935 年にかけて多極管や複合管などの新型管の発表が相次いだ。多極管の開発はアメリカよりもヨーロッパ諸国で先に行われた。すでに 1926 年に, フィリップ社は最初の 5 極管

(ベントード)を開発し、ヨーロッパの家庭用受信機の主流は5極管になろうとしていた。ヨーロッパの管球のヒーター規格は4Vであり、ソケットもUF型(O型ともいう)であり、アメリカとは異なっていた。わが国ではアメリカ系の球を輸入し使用したため規格の異なったヨーロッパ系の真空管は普及しなかった。

アメリカではヨーロッパより少し遅れて1928年にスクリーングリッドをもった直流用4極管UX-222(24A又は24Bの前身)が最初の多極管として開発され、翌1929年には直流型5極管UY-247が登場し、家庭用高級ラジオや電蓄の電力増幅管として使用されはじめた。

真空管の発達の一つの特徴として、直熱型から傍熱型への傾向のあることは前述したが、当然多極管の発展もその方向に進んだ。

1932年には247の傍熱型であるUZ-2A5が発表された。この球はモダンなドームトップST管の形の良さと、交流音のない澄んだ音色のため人気があり、民生用受信管として戦前・戦中を通して広く使われた。管球製造技術の向上から真空管の真空度が一桁上昇したのもこの頃からである。1935年にはビーム管6L6が発表され、大セッションを巻き起こした。かくして交流真空管は整流管や一部のトライオードパワーチューブを除いて全部傍熱型となり、次第に直熱型は姿を消していった。

スーパーヘテロダイン受信機の普及とともに第一検波専用としての混合管である7極管Ut-2A7(混合管と複合管の開発の節参照)が登場した。他方、真空管のヒーター電圧は2.5V→6.3V→12Vのように移行した。53,55,56,57,58,59,2A5,2A6,2A7,2B7などの2.5V級の球も次第に36,37,38,77,89などのAC/DC両用の6.3V級の球へと移行した。例えば2A5のヒーター規格は2.5V,1.75Aであったが、これが6.3V,0.7Aの42や6F6へと移った。2.5V→6.3Vの移行の原因は自動車用ラジオやAC/DCのいわゆるトランスレスラジオの出現に適合させるためであり、バッテリー・チャージ・アップとアレージのポルテージから換算して6.3Vとなったのである。

他方、真空管の小型化はST管からGT管、メタル管、さらに

MT 管へと進められた。アメリカではすでに 1935 年にメタル管が発表された。わが国では ST 管から GT 管への移行は戦後になってからであり、さらに続いて小型でしかも高性能な各種の MT 管が開発された。メタル管や GT 管の開発を可能にさせた主要技術の一つは、ガラスと等しい体膨張係数をもったニッケルと銅の合金であるデュメット線の発明であり、これがガラス容器を通過する電極部分に用いられたのである。

### 5. 電力増幅管と整流管との補完関係

電力増幅管のパワーアップとともに、プレート電流は大きくなり、従来の整流管ではパワー不足となって使用できず、新たにパワー管に適した直流出力をもった整流管が必要とされた。事実、新パワー管の発表と同時に、それに適した新整流管が発表されることがしばしばであった。たとえば、1921 年頃ハイパワー管として RCA とカニングムの 2 社から売り出された 15W 定格の送信管 UV-202 は家庭用電蓄や初期のオーディオアンプの終段管として活用され、これがさらに '10, '10A 等へと進歩した。この球のために発表された整流管が 216B である。UX-210 さらにグレードアップして UX-250 になると共に、整流管 281 ('81) が発表された。この球は戦前の受信管中では最も耐圧の高い整流管であった。

一方電池式時代の最大パワー管であった UX-171A が家庭用交流ラジオやアンプに盛んに用いられるのに伴って、開発された全波整流管が UX-220 (国産化されたときは KX-280 といい、これが '80 となった) であり、 $E_{pmax}$  は 300V であった。この整流管は 1928 年 RCA が電蓄専用パワー管 UX-245 ('45) を発表したとき、これに適用する整流管として  $E_{pmax}$  を格上げして 400V としたが、この規格は今日にまで及んでいる。また、1932 年 B 級大出力パワー管デュアル・グリッド・トライオード UY-46 が開発されたときにも、これに併用する水銀蒸気入整流管 HX-82, HX-83 が発表された。

2A3 は 1933 年から 34 年にかけて RCA 社が開発したパワー・

トライオード管であり、それに適合する整流管として '80 の 2 倍の容量をもつ 5Z3 を製作した。

上述の事例からもわかるように、新種のパワー管が発表される時には、必ずといってよいくらい併用すべき整流管が発表されてきている。このような現象は商品間の補完関係における一つの事例と考えることができよう。

## 6. 戦時体制下における省資源化と耐震性の向上

アメリカではすでに戦前において 2.5V 級の真空管に代って自動車用ラジオの普及のため AC/DC 両用の 6.3V 級真空管を用いたトランスレス方式の回路が開発されていた。

わが国では戦時中の物資不足を克服するため、電源トランスを用いないトランスレス方式の受信機が使われるようになった。このようにトランスレス方式の採用の原因はアメリカの場合とわが国の場合とは大きく異なっていた。トランスレス専用管には、12Y-V1 (高周波可変増幅用 5 極管), 12Y-R1 (高周波増幅兼検波用 5 極管), 12Z-P1 (出力用 5 極管), 12X-K1 (半波整流管), 24Z-K2 (倍電圧用整流管), 12W-C1 (周波数変換用 7 極管), 12Z-DH1 (検波増幅自動音量調節用双 2 極 3 極管), 12Y-L1 (低周波増幅管) などがある。トランスレス受信機では使用真空管の各ヒーターを直列に接続し、さらにバラスト管 (安定管) とパイロットランプを通して全ヒーター電圧を 100V に等しくさせるのである。バラスト管にはヒーター電圧の異なる B-37, B-49, B-61 などが発売された。電源トランスで高電圧の B 電源を発生させることができないため、傍熱型双 2 極管による倍電圧整流回路によって AC 100 V から DC200 V を発生させるのもトランスレス受信機回路の特異な点であった。

一方、戦時中ニッケルが不足し、リード線やベースのピンなどは鉄でつくられたため、ハンダ付けがとれたり、ソケットとの接触不良による故障が多発した。また、航空機用の真空管には 12.6V 級の管が用いられた。これは短時間で強制充電した蓄電池を使えるようにする

ためであった。

飛行機の振動に耐えるために耐震性の大きい GT 型のソラヤ RH 管 (RH-2, RH-4, RH-8 など) が開発され、わが国における戦後の GT 管の発達の源となった。

## 7. 混合管と複合管の開発

構造、使用場所、用途などにおいて近縁関係にある 2 種以上の商品が 1 種の商品に統合され、新商品として開発されることは、しばしばみられるところである。真空管においても、2 種または 3 種の単一真空管が混合あるいは複合されて 1 本の真空管として開発された例はきわめて多い。

### 1) 混合管

混合管の古い代表例としては、すでに戦前から開発されていた Ut-2A7 を挙げることができよう。この球はスーパーヘテロダイナ受信機の周波数変換用に考案されたもので、この球が登場する以前は第 1 検波管と局部発振管をそれぞれ必要とした。Ut-2A7 は 7 極管であり、5 極管と 3 極管が陰極を共通として混合された構造になっている。Ut-6A7 はヒーター電圧と電流が異なるだけで他の規格は 2A7 と同様である。

戦後はこれに類似する球が続々と開発された。6WC5, 6L7G, 6SA7, 6BE6, 1R5 などはその代表的な例である。

### 2) 複合管

2 種以上の単一管を 1 本の管の中に封入したものが複合管である。各単一管の電子回路が接近している場合には、複合管を用いることによって両回路の配線を短かくし、回路の動作を安定にさせることができる。

複合管のはじまりは 2 本の半波整流管を 1 本にまとめた全波整流管 KX-280 ('80) であり、双 2 極複合管に相当するものである。この球は電池式時代の最大パワー管であった UX-171A が家庭用交流ラジオやアンプに盛んに用いられるのに伴って開発されたことは前述した

通りである。その後 80 に類似の直熱型全波整流管や 80K に類似の傍熱型全波整流管が、ST 管、金属管、GT 管、MT 管のそれぞれにおいて、次々と発表されていった。これらのうちには陰極まで独立になった 25Z5 や 24ZK2 など倍電圧用整流管（前述）も含まれている。

他方、複合管の発達には 2 極管の組み合わせだけでなく、2 極管 2 本と 3 極管を複合した UZ-2A6 (75)、2 極管 2 本と 5 極管を複合した Ut-2B7 (6B7)、3 極管と 5 極管を複合した Ut-6F7 などが、すでに戦前において開発され、スーパーヘテロダイナ回路に用いられた。

戦後は、6ZDH3A (2 極・3 極)、6H6 (双 2 極)、12AU7 (双 3 極)、6SQ7 (双 2 極・3 極)、1S5 (2 極・5 極)、6BU8 (双 5 極)、6BM8 (3 極・5 極) など ST 管、金属管、GT 管、MT 管の各タイプに各種各様の複合管が開発され、電子回路はより簡素化され、小型でかつ安定に動作できるものとなった。昔は球の数が高級の程度を示したが、複合管や混合管が出てからは、機器の性能は球の数だけでは示されなくなった。

## 8. 半導体素子との競合と代替

アメリカのベル電話研究所の J. パーディーン、W. H. ブラッティン、ショックレーによって、トランジスターは 1948 年ごろ発明された。

これは真空管に代るものとして開発され、3 極の半導体素子で、真空管と違って高温に加熱するカソードを持たず、小型で軽く、消費電力も少なく、寿命は長いといった特徴をもっている。トランジスターや半導体ダイオードさらに IC や LSI とその特徴は真空管にとっては致命的であり、これらの素子は次第に真空管にとって代り、電子機器の立役者となるに至ったことは多言を要しない。

## 9. 衰退期における嗜好的・魅惑的要素

真空管時代が去った現今においても、趣味性の強いオーディオの世界では、真空管に対する愛着と感触が捨てられず、一部のマニアの間

では管球アンプが今だに珍重されている。

一般に、商品が衰退し需要量が減少すると逆に市場での希少価値が増大する可能性がある。とくにその商品が嗜好的・魅惑的要素の強いときには、このような現象が顕著に現われてくる。真空管もその好例に当たるものといえよう。

### あ と が き

商品のライフサイクルの要因を解明する一つの事例として、真空管の変遷を技術的側面から概観したが、主要因として、技術革新、市場条件の変化、企業のマーケティング活動、魅惑性を上げることができよう。真空管の生産は平時には平時なりに、また戦時には戦時なりに、社会の諸条件に応じて、材料や機構を変え、時代の欲求に答えてきた。

新商品は、需要者の欲求に応じて開発されるものであり、その欲求に応じるためには、どのような材料が必要であり、その材料はまたどのような資源や技術によってつくりうるかを考えるといった思考の方向性が重要であろう。このような考え方に立つならば、わが国は市場条件として資源小国であるといわれていても、何を作るかによって資源小国にもなれば、資源大国にもなることを念頭におくべきである。

### 参 考 文 献

- 浅野勇著 無線と実験編「魅惑の真空管アンプ」(昭和47年7月)、「統  
魅惑の真空管アンプ」(昭和51年11月) 誠文堂新光社。  
「無線と実験」各年各月号 誠文堂新光社。  
初歩のラジオ編「実用真空管ハンドブック」 誠文堂新光社。  
苦米地貢著「標準ラジオ技術講義録、上巻、中巻、下巻」 誠文堂新光社。  
「ラジオ技術」各年各月号 科学社。

(1978年2月6日)