

真空管の歴史とアンプ回路の変遷

1. 真空管の発明

遊遊人

真空管のルーツを探ると発明王エジソンにたどりつきます。

1883年（明治16年）エジソンが白熱電球の中に別の電極を設け、フィラメントに対してプラスの電圧を掛けると電流が流れる事を発見しました。これをエジソン効果と云い、電子管発明のスタートとなりました。

しかし、当時はその現象が何故起こるか分ってはいませんでした。

1904年（明治37年）イギリスのフレミングが熱電子放射を利用した2極真空管を発明します。2極真空管はフィラメントとプレートの2つの電極で構成されています。この2極真空管は検波器として使われ、それまでの無線電信用コヒーラ検波器に変わり安定な動作を得る事が出来ました。エジソン効果はフィラメントから出る熱電子が電流を運んでいた訳です。

1906年（明治39年）リー・ド・フォーレが3極真空管を発明します。2極真空管の特性改良に取組んだ結果、フィラメントとプレートの間に第3の電極（コントロール・グリッドと言う）を挿入した3極真空管が発明されます。更に3極真空管の増幅作用が発見され、電子管技術は一段と進歩します。

1912年（大正元年）3極真空管を使い世界初のアンプが実験されました。実用機は1917年に、1919年には2球式アンプが発売されています。この時代は交流を整流して直流を作る技術はありませんでしたから、電池式のアンプでした。電池式アンプでは、フィラメントを点燈する電池をA電池、プレートに掛ける高電圧の電池をB電池、真空管の動作点を設定するバイアス電池をC電池と呼び、その目的を明確にしています。

1915年（大正4年）ドイツのショットキーが4極真空管を発明します。ド・フォーレが3極真空管を発明した後、各国でその研究が進められ問題点も分ってきました。増幅する周波数をオーディオ領域から無線周波数の領域に上げていくと、増幅した信号がプレートとグリッド間の容量を伝わってグリッドの戻り、不安定な動作となり発振を起しました。無線周波数の領域で安定な増幅作用を得るにはプレートとグリッド間の容量をいかに小さくするかが大きな課題となってきました。ドイツのショットキーはプレートとグリッド間にもう一つ別のグリッドを挿入する事でプレートとグリッド間の容量を1/10以下にする事に成功します。

これが4極真空管の発明となり、挿入されたグリッドをスクリーングリッドと言います。

1918年（大正7年）ウエスタン・エレクトリック社から3極真空管VT-1、VT-2が発売されます。

VT-1は受信機の検波・増幅用に、VT-2は送信機用に出力は5Wでした。当然VT-2を使ったオーディオアンプも作られました。1920年代に入るとジェネラル・エレクトリック社、RCA社、ウエスティング・ハウス社から送信用、受信用の真空管が各種発売になります。

1920年（大正9年）アメリカでラジオ放送が開始され、**1925年**（大正14年）には日本でも開始されます。真空管の発明でラジオ放送が始まり、無線電信が実用化される事になります。

1927年（昭和2年）フィリップス社が5極真空管を発明します。ショットキーが発明した4極真空管は大変有用な真空管でしたがプレートから放射する二次電子の影響で、ある領域では不安定な動作をする欠点もありました。フィリップス社の5極真空管はプレートとスクリーン・グリッド間に更にもう一つグリッドを挿入しプレートから放射する二次電子を吸収する事でこの問題を解決しました。3番目のグリッドをサブレッサー・グリッドと呼びます。

1933年（昭和8年）RCAが3極真空管2A3を発売。2A3は現在でも音の良い真空管をして人気があります。当時も高級電蓄用でした。1930年代に入ると電話伝送用、トーカー用の真空管が発売され始めます。

1936年（昭和11年）メタルビーム管6L6が開発されます。ビーム管は4極真空管の二次電子の影響を改善するため、電子レンズ作用をする電極を設けプレートに向う電子ビームの密度を増やし二次電子の放射を抑え5極真空管のサブレッサー・グリッドと同じ効果を得ています。尚、メタル管とは軍用向けにガラス部を金属に置換え信頼性を向上させた真空管です。6L6はGT管もあり、現在でも真空管アンプに使われています。

1937年（昭和12年）GT管発売。GT管は軍用向けに開発されたメタル管をガラス管に変え民生用にした物です。GTはGlass Tubeとされています。

1939年（昭和14年）MT管が発売されます。真空管の動作周波数を高くする為にはプレートとグリッド間の容量を極小値にする。もう一つは真空管の端子から電極までの距離を最短にする事です。MT管は後者を実現しました。太平洋戦争時にアメリカは八木アンテナを使ったレーダーが実用化されており、MT管が活躍していました。MTはMiniature Tubeです。

2. 真空管の構造

第1図は3極真空管の内部構造です。コントロール・グリッドが無ければ2極真空管、コントロール・グリッドの外側に更に一つグリッドを設ける（これはスクリーン・グリッド言います）と4極真空管、その外側にもう一つグリッドを挿入する（これはサブレッサー・グリッド言います）と5極真空管になります。

お気づきでしょうか？前章でフィラメントから出る熱電子が電流を運ぶと説明しましたが、この図にカソードとヒーターが出て来ました。真空管の発展過程で色々な改善が行われ、フィラメントに変わりカソードが考えられ、熱電子を出す為の加熱用にヒーターが設けられました。フィラメント方式のものを直熱管、カソードとヒーターが設けられたものを傍熱管と呼びます。直熱管は電源を入れるとすぐに動作開始になりますが、傍熱管は電源を入れた後にカソードを加熱する時間が必要があり、5-6秒のタイムラグ（遅れ）が生じます。

第2図は各真空管のシンボル・マークで、配線図にはこのシンボル・マークが使われます。ビーム管は4極真空管に電子レンズの作用をする電極を設けプレートに向う電子ビームの密度を増やし二次電子の放射を抑えると前章で説明しました。この図をみて頂くとイメージがお分かり頂けると思います。

第3図は真空管の形状です。初期のナス球、1930年代に入るとST管、軍用のメタル管、メタル管のメタルをガラスに替えたGT管、小型化・高周波化をしたMT管です。

3. 戦前のアンプと真空管

a. トランス結合方式アンプ

1910年代にアンプが作られ始めますが、1918年にウエスタン・エレクトリック社から3極真空管VT-1、VT-2が発売になり本格化します。VT-1/2は50万本作られたと伝わっています。

当時のアンプはトランス結合方式が使われています。第4図は真空管アンプの代表的回路です。V1は初段管、V2が出力管です。T1は入力トランス、T2は結合トランス、T3が出力トランスで、この様に前段と次段の接続にトランスが使われている回路方式をトランス結合方式と言い、戦前のアンプの標準的回路と言えます。特徴は回路構成は簡単だが電氣的性能がトランスの良し悪しで決まりました。当時は現在の様な高性能のトランスがありませんでしたので、現在に比べると性能面で大分差があったと思われます。

b. ロフチン・ホワイトアンプ

1929年にロフチン氏とホワイト氏により考案されました。特徴は初段増幅器の入力トランスを無くし、出力増幅段との間の結合トランスも不要にした直結アンプです。（第5図）入力トランス、結合トランスを不要にした結果周波数特性、歪率特性など大幅に改善され、当然音質向上が実現しました。しかし当時の真空管は開発途上にありましたから安定な動作をさせるには苦労があったと思われます。とは言えロフチン・ホワイトアンプの発明は画期的で後に家庭用アンプも発売され、国内でも1936年にLUX-661Aロフチン・ホワイトアンプが発売されています。更に現在でも真空管アンプマニアによって製作されています。

c. 戦前の真空管

1918年ウエスタン・エレクトリック社から発売された3極真空管VT-1は受信管、VT-2は5Wの送信管です。その後各社から続々と発売になり現在でも語り継がれている真空管が沢山あります。1920年GE社より受信管UV200、UV201が、1925年にはオーディオ出力管UX210が、1928年にはUX210を改良し4.6Wの出力が得られるUX250が発売されました。

1930年代に入ると今でも使われている5極管42、音の良い3極管2A3、5極管6F6、6K6、初めてのビーム管6L6が発売されます。

4. 戦後のアンプと真空管

a. ウィリアムソン アンプ

イギリスの音響学者ウィリアムソン氏が1947年4月、「ワイヤレス・ワールド」誌に新しい考え方のアンプを発表しました。このアンプは出力管"KT-66"を3極管接続でプッシュ・プル動作させ、全段に渡り20デシベルと云う多量の負帰還を掛けました。この結果アンプの物理的特性、特に歪率が大幅に改善され、帯域幅も拡大されました。当然音質も飛躍的に良くなりました。(第6図)

当時はオーディオアンプに20デシベルの負帰還を掛けると動作が不安定になり使い物にならなかった時代で、新しい回路構成、出力トランス等の音響用部品の改良を行い、それを成し遂げた事で世界中から注目を浴びました。1950年代に入るとアメリカ、日本のメーカーが「ウィリアムソン・アンプ」として製品化し、大変な人気になりました。

負帰還についてお話すると、アンプは入力にCDを接ぎ、出力にスピーカーを接ぎ音を出しますが、アンプの内部にはスピーカーの出力の一部を入力に戻す回路(帰還回路)が挿入されています。アンプの帰還回路は負帰還回路と云い、入力に+側の信号が入った時は-側の信号が戻って来る様に設計されています。この回路が働くと、入力信号に含まれた雑音や歪を打消し、アンプの増幅度が一定になり帯域幅も拡大します。ところが、入力に+側の信号が入った時に、何時も-側の信号が戻って来るとは限りません。

音楽信号でベースの音など非常に低い周波数の入力があった時、真夏にアンプの温度が上昇した時などに戻って来る信号が0~+側の信号に変化してしまう事があり、この時にアンプの動作が不安定となり発振を起こす事があります。発振現象を容易に確認するには、カラオケのマイクをスピーカーに近付けると「ピー」と鳴ります。あれです。負帰還技術はアンプの性能を改善させる事が出来ませんが、デメリットもあります。

b. ウルトラリニア アンプ

1951年アメリカのトランスメーカー、アクロ・プロダクツ社がスクリーングリッド端子付出力トランスを発売し、この接続を行ったアンプを「ウルトラリニア・アンプ」と名付けました。(第7図)

スクリーングリッド端子は出力トランスの巻き数比で43%の所にあります。このウルトラリニア接続を行いますと出力は5極管並で、歪は3極管並になります。以後、5極管やビーム管を使ったアンプではかなり採用されています。この動作は出力段のみに負帰還を掛けたと考えられます。

c. オルソン アンプ

1947年アメリカ・マサチューセッツ州でRCAのオーディオ機器のショーが行われました。

この時RCAはボストン交響楽団の生演奏と事前に録音した音とのすり替え実験を行いました。結果は大成功で、何時生演奏から録音の再生に切替わったか誰も判断出来ませんでした。この時使われたアンプがRCAの音響学者Dr オルソンの音響思想に基づき、同社のモルガン氏によって設計された「オルソン・アンプ」です。オルソン・アンプは出力段に5極管“6F6”を3極管接続で使い、パラレル・プッシュ・プルで動作させ、前段もすべて3極管で構成し、負帰還は一切掛けていません。(第8図)

ウィリアムソン・アンプのところで、負帰還はアンプの性能を改善させる事が出来ると書きましたが、負帰還無しでも高忠実度再生のアンプを作る事が出来るとオルソン氏が示しました。

製作されたのは1台だけで市販はされませんでした。その後のアンプ設計に大きな影響を与えました。

d. フッターマン アンプ

スピーカーを鳴らす(駆動する)には電力が必要で、電圧増幅器の真空管アンプでは電圧を電力に変換する出力トランスがどうしても必要です。この出力トランスで帯域幅が決まり、ある条件下では磁気飽和を越し歪が発生します。1950年代中頃にはこの出力トランスを使わないアンプが出現し、これを“OTL: Output Transformer Less”アンプと呼び、主としてアマチュアの間で試作されていました。この時のOTLアンプの出力インピーダンスは数100となり、使用するスピーカーも高インピーダンスの物が必要で一般的ではありませんでした。

1954年にアメリカのジュリアス・フッターマン氏がこれまでのOTLアンプの回路に工夫を加え、8~16のスピーカーが使える「フッターマン・アンプ」を発表しました。(第9図)

1965年に“H-3”型フッターマン・アンプが発売になり、日本にも紹介されました。

e. リニアスタンダード アンプ

「リニアスタンダード・アンプ」は1954年にアメリカのトランスメーカー、UTC社から発表されました。この新しいアンプは3つのループに分け、合計36デシベルと云う多量な負帰還を掛けています。

1つ目は出力管単体で12デシベル、2つ目は出力管と前段のカソードで12デシベル、更に出力端子から初段のカソードで12デシベル、合計で36デシベルです。ウィリアムソン・アンプの負帰還は20デシベルでしたので、6倍の量になります。(第10図)

多量な負帰還を掛けて過渡特性の改善を目指したと云われていますが、36デシベルと云う多量な負帰還はアンプの安定度を悪化させますので、実用的では無かったと思います。

f. 戦後の真空管

ウィリアムソン・アンプにはKT-66が使われ、この真空管は一躍有名になりました。KT-66は1937年にイギリスで開発されたビーム管です。その後パワーアップされたKT-88が発売され、現在でも人気のある真空管です。

オルソン・アンプでは6F6が使われました。6F6は5極管42をベースにしたGT管です。

ウルトラリニア・アンプは世界最初のビーム管 6L6 が使われています。この真空管は 1936 年に開発され、現在でも人気があります。OTL のフッターマン・アンプには 3 極真空管 12B4 が使われています。

リニアスタンダード・アンプでは 6L6 系列の真空管 5881 が使われました。5881 は 1950 年に作られていますので、やっとここで戦後の真空管が取上げられました。

1960 年代は TV 用の真空管が多数開発され、真空管の全盛時代を迎えますが、一方では 1966 年にはトリオ株式会社(現在の株式会社ケンウッド)がソリッドステート宣言を発表し、トランジスター化へ大きく動き始めました。そして 1975~85 年にかけて国内外の真空管メーカーはその製造を全て中止してしまいました。

現在は中国、ロシア、チェコ等の国で一部の真空管が生産され始め、日本にも多数輸入されています。

アメリカではエウスタン・エレクトリック社がオーディオ用の 300B 等、一部の真空管の生産を再開しています。

g. 現在でも人気の真空管

6BQ5 : 代表的 5 極出力管、初めて真空管アンプを作りたいと考えた方がまず目にするのが 6BQ5 のアンプです。シングルアンプで 4.5W、プッシュプルで 10W の出力が得られます。

7189 : 6BQ5 の高電圧型、シングルアンプで 6.6W、プッシュプルで 24W の出力が得られます。

6GW8 : 3 極 5 極複合管、電圧増幅用 3 極管と 5 極出力管で 1 本の真空管を構成しています。簡単なステレオアンプなら 6GW8 を 2 本と整流管 1 本で製作出来ます。シングルアンプで 4W、プッシュプルで 14W の出力が得られます。

2A3 : 初代は 1933 年に発売されていますので一番長寿命のオーディオ用真空管です。戦前は高級電蓄に使用され、戦後は高音質アンプ用としてマニア憧れの貴重品でした。シングルアンプで 3.5W、プッシュプルで 15W の出力が得られます。

300B : 1934 年に開発された三極管。現在エウスタン・エレクトリック社が生産を再開していますが、ペアで 10 万円を超え非常に高価です。(ロシア製でも 5 万円前後します)しかし、真空管アンプマニアにとっては一番人気のある高音質の真空管です。シングルアンプで 10W、プッシュプルで 25W の出力が得られます。

6L6 : 1936 年に発売された初めてのビーム管で、軍用のメタル管でした。その後ガラス管などのビーム管が開発され、6L6G、6L6GB、6L6GC と進化し、送信管になったのが 807 です。シングルアンプで 10W、プッシュプルで 70W の出力が得られます。

845 : 高出力用三極管、300B と同様人気の高い高音質の真空管です。フィラメントにトリウムタングステンが使用されていますので電球のように光り、これも一つの魅力です。シングルアンプで 21W、プッシュプルで 70W の出力が得られます。真空管の性能を最大限発揮させるには B 電圧を 1,000V 近くに上げますので感電事故などが心配され、初心者向けではありません。

211 : ルーツをたどると 1919 年に開発された高出力送信用三極管にたどり着きます。211 も 845 同様トリウムタングステンが使用されていますので電球のように光ります。更に 211 も B 電圧を 1,000V 近くに上げますので初心者向けではありません。シングルアンプで 20W、プッシュプルで 200W の出力が得られます。

KT88 : ヨーロッパの代表的オーディオ用真空管です。シングルアンプで 21W、プッシュプルで 70W の出力が得られます

6C33C-B : ロシア製の安定化電源制御用の 3 極真空管。オーディオ用ではありませんが内部抵抗が 80 と極めて低く設計されていますので、OTL アンプ用として最適な出力管です。OTL アンプ回路は SEPP 方式と言いまして、最大 50W の出力を得られます。

EL34/6CA7 : 1954 年オランダで開発、6CA7 は松下電子でライセンス生産されました。この球が戦後開発されたオーディオ用真空管の代表格です。シングルアンプで 11W、プッシュプルで最大 100W の出力が得られます。

主な参考文献、

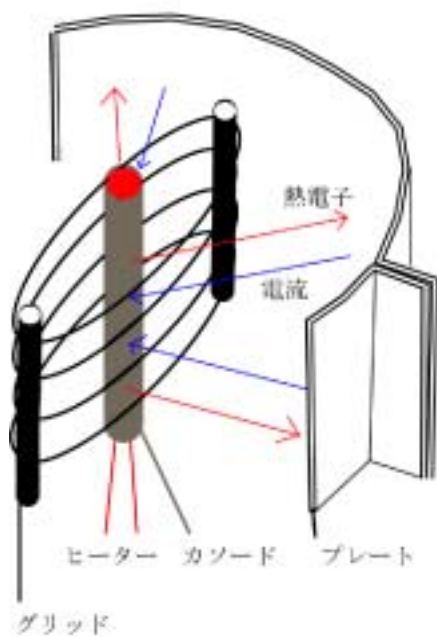
浅野 勇 : 魅惑の真空管アンプ、その歴史・設計・製作、上、下巻、
復刻版、誠文堂新光社刊

山川勝治 : オーディオ 50 年史、日本オーディオ協会刊

上杉佳郎 : Stereo Sound 別冊、上杉佳郎 設計 製作 アンプ集

図面・写真

第 1 図 : 3 極真空管の内部構造



第 12 図 : 代表的出力真空管 (3 300B、6L6A、KT88、 EL34G、77189、6BQ5、)

