

# 「バルボルの発明」

松本栄寿

読者は「バルボル」という名前をご存知だろうか。「バルボル」(真空管電圧計 Valve Voltmeter)、「オスク」(発振器 Oscillator)、「オッシロ」(Oscilloscope)は無線技術者、ラジオアマチュアにとって3種の神器と称された。いずれも真空管が発明されて初めて可能になった測定器であるが、基本的な計器「テスター」に加えて、身の回りになくてはならない道具であった。それまでのメカ構造主体の電気計器から、能動素子の真空管を採用した近代的な電気測定器が出現した。高周波とエレクトロニクス時代の幕開けを告げる測定器でもあった。日本での普及は昭和10年代以降のことであろうか。

## フレミングの2極管

最初の真空管2極管は、エジソン効果を詳細に研究したフレミングの手によって発明された。フレミング(John Ambrose Fleming, 1849-1945)は英国の物理学者で、エジソン社のアドバイザーでもあった。その頃観察されたエジソン効果に興味をもっていた。1888年頃フレミングがさまざまな実験を行っている。また1889年にはマルコーニ電信社のアドバイザーともなった。エジソンは真空管の発明を逃したが、フレミングは無線受信機の検波器の研究をしていた。送信機に火花発振器が使われていた当時、受信機にはコヒ

ラーと呼ばれる検波器が広く使われていた。奇妙に聞こえるが、まだ鉱石検波器はなかった。コヒラーとはガラス管にニッケルのような金属の微粉末をいれる。この粉末を密着させると半導体のような特性を持つようになって、これに高周波を通すと検波作用を示す。ただ長く使っていると電流が流れればなしになるので、ときおりガラス管を外側から叩いて元に戻すような操作が必要であった。要するにコヒラーは、はなはだ扱いにくく不安定な検波装置であった。

フレミングは、このような不安定な装置に代わる検波器を探してきた。最初はコヒラーに代って化学作用を使おうとしたが、かつてエジソンが白熱電球で悩んだときに観察された、エジソン効果を思い出した。奇妙にもその電球をコイルで囲むと電流が流れることを見つけ出した。はじめはフィラメントに対抗しておいた金属棒を金属板に、次に円筒状にしてフィラメントを囲う構造にした。これが2極管として見事な整流作用を見せた。最初の真空管の用途とは、一方向のみに電流が流れる特性を使う、つまり一方向に流す弁 Valve である。これをコヒラーにかわる検波管として使った。1904年 oscillation valve と名付けている。のちに形が電球や球根に似ていることから Bulb の用語も使われるようになった。ちなみに、特許 803,684(1905/11/7)の名称も「交流直流変換装置」である。

## ド・フォレストの3極管から増幅器へ

真のアクティブ素子ともいえる、ド・フォレストの3極管はフレミングの特許を逃れようとした工夫から生まれた。ド・フォレスト(Lee de Forest, 1873-1961)は生涯にわたり300以上の特許をもつ発明家であると同時に、企業家でもあっ

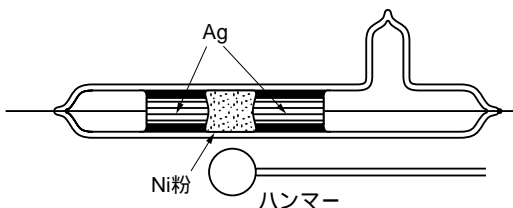


図1 コヒラー検波器

No. 803, 684.

PATENTED NOV. 7, 1905.

J. A. FLEMING.  
INSTRUMENT FOR CONVERTING ALTERNATING ELECTRIC CURRENTS  
INTO CONTINUOUS CURRENTS.  
APPLICATION FILED APR. 19, 1905.

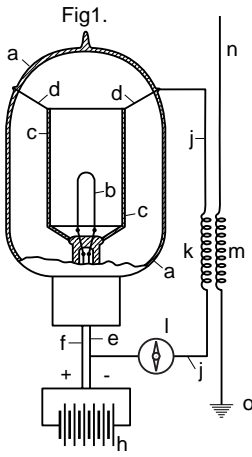


図2  
フレミングの2極管  
米国特許 803,684  
(1905/11/7)「交流  
直流変換装置」より

た。イエール大学卒業後ウエスタンエレクトリックに入社、コヒーラーの代替品を研究した。最初に2電極のオーディオンの特許を申請したのは1906年であった。1906年のAIEEには新無線受信機として発表し、1907年に3電極オーディオンの特許申請している。このときには熱電子を放射する陰極(フィラメント)と電子を捕まえる陽極(プレート)の間に、電子流を制御する格子(グリッド)が挿入された現代の3極管の原型である。

はじめ、ド・フォレストはフレミングの2極管を実験して、少しでも無線の検波器として感度を上げることを研究したようである。2極管の特性をよく調べると、プレート電圧がゼロでも、わずかの電流が流れる。これが検波効率を下げることを、フレミングもド・フォレストも気づいていた。ところが、フレミングが図3の曲率最大の点にバイアスをかけて検波器として使うと検波特性が上がるの特許をとってしまった。これに反発して、それならばプレートとフィラメントの間に、格子状の電極を入れて、同じようにバイアスをかけてやろうと考えたのがキッカケであった。それは、白金線をジグザグに巻いた構造で電子の流れを妨げない構造をとった。

ところが、結果は目標を上回った。プレート電流をある程度流しておいてグリッド電圧を変化しやると、プレート電流に大きな変化がみられる。つまり増幅作用があることが判った。2極管より

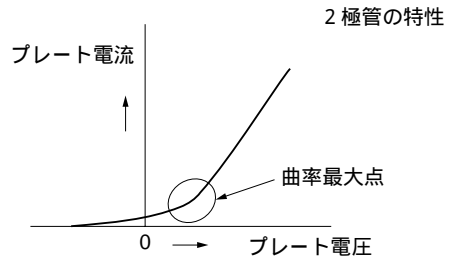
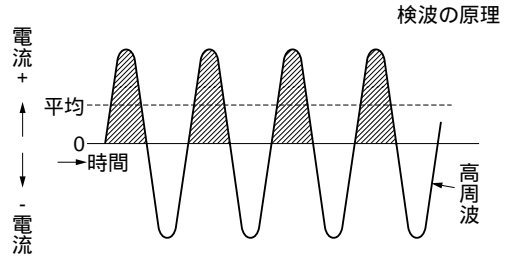


図3 2極管の特性と検波の原理

各段に感度のよい検波器と3極管増幅器の誕生である。フィラメントから出た電子がプレートに引き寄せられるときに、手前にあるグリッドに加わる電圧によって、より引き寄せられたり、反撥したりして動きを制御されて増幅作用が生まれることになる。この高感度の検波器を使った無線機がもう翌年にはアメリカ中の艦船に使われた。

まずコヒーラーがフレミングの2極管に置き変わったように、ド・フォレストの3極管は2極管検波器を駆逐したと言えよう。

### オーディオンから高真空へ

3極管最初の用途はあくまで検波器だった。つぎに増幅器、発振器と広がっていくが、真空管とはいえ、はじめはガラス管内の真空度が上がらずに苦しんだ。それがガスを入れると検波感度が上がるのが分かり、逆にアルゴンやセシウム蒸気を注入して使うようになって、これをオーディオンと名づけた。オーディオンは現在の目で見るとガス入り真空管である。しかし、高電圧をかけると内部放電を起こす現象があって、高い電圧はかけられなかった。これでは高出力の信号が取り扱えないことになる。

増幅器として使われだすと、オーディオンはラジオの信号増幅にはよかったが、1ワット以上の出力が欲しい電話の中継増幅器レピーターなどには不十分であった。当時、ATTはニューヨー

ク・サンフランシスコ間の大陸横断電話の完成をもくろんでいた。そのためには真空管増幅器を途中の中継器に使いたかった。このときはより高出力の増幅器、つまり高出力の真空管が必要となる。オーディオンを使った増幅器からは高出力が得られないのを、はじめ誰もがガスが障害になったとは思わなかった。それを追求したのが、ATTのアーノルド(Harold De Forest Arnold, 1883-1933)、GEのラングミュア(Irving Langmuir, 1881-1951)である。高真空度の真空管を追求し250ボルトまで扱え、キロワット級の真空管まで完成する。これには真空ポンプに進歩と、真空中の電子流の研究成果が役立った。ちなみにオーディオンではプレート電圧は30ボルトほどが限界であったし、ド・フォレストはあまり真空度を追求しなかった。

このような背景のもとで電話中継網は1914年にニューヨークからデンバーまで、ついでサンフランシスコまで完成し、1915年にはバージニア州アーリントンからホノルルまで開通した。また、ド・フォレストはラジオ放送に大変興味をもって、その後も無線機の研究を続けている。1916年には、ニューヨークに設置した250ワットの送信機から毎週5日間、音楽放送を始めて、やがてラジオがニュースと人々の娯楽を独占すると予言していた。さらに1920年代にはトーキー映画の

開発に従事し、テレビにも関心をいただいていた。一生が発明の連続であったが、企業経営者としては必ずしも成功しなかった。

### バルボル(真空管電圧計)

このようにラジオに使われた真空管が、電気測定器に応用されるのは自然の流れである。

また、真空管を応用した測定器は、高周波の測定が必要になる無線の研究や、ラジオの工場生産ラインでも必要になってくる。

電気計測器の歴史をたどると、はじめは電磁作用を利用した機械的構造の電気計器から、ついでアクティブ要素の真空管が組み込まれる。第二次大戦後にはトランジスタが測定器に採用されてくるとより複雑な機能を持たせることが可能になる。1980年代からはデジタル方式が採用とともに、精度の高い計器はアナログ方式からデジタル方式に置き換わって、より使いやすい測定器になってきた。しかし、真空管時代のはじめの頃は、真空管の増幅作用や高インピーダンス特性を利用できるようになるが、精度も決して良くなく、使いがっても悪い計器であった。

真空管電圧計は、1922年にケンブリッジ大学のモーリン(E. B. Moullin)により開発され、ケンブリッジ科学機器社から製品として発売され、高周波と高インピーダンス、つまり測定する対象からパワー、エネルギーを取らない特徴をもった測定器として使われた。高周波の検出方式は3種類

No. 879, 532. PATENTED FEB. 18, 1908.

L. DE FOREST.  
SPACE TELEGRAPHY.  
APPLICATION FILED JAN. 29, 1907

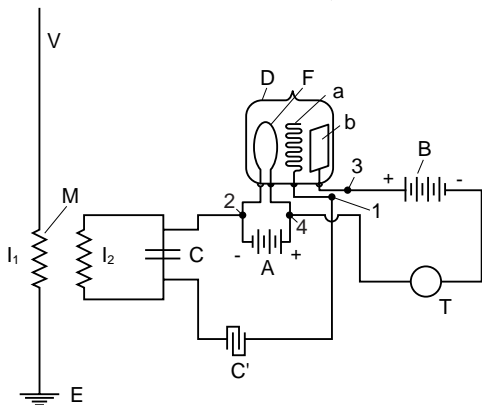


図4 ド・フォレストの3極管  
米国特許 879,532(1908/2/18)「空間電信」より

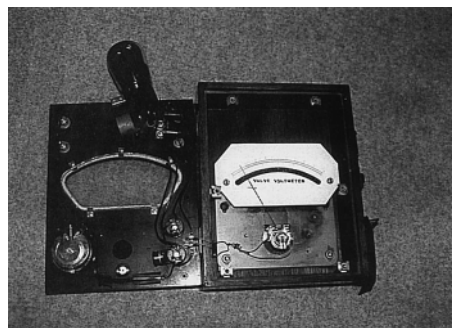


図5 A型真空管電圧計内部と目盛(横河電機製1930年頃 技術館蔵)  
定格: 0 1.5V, DC 数100kHzまで。6V電池使用。真空管はマツダUX 110(ナス管)わずか1本と大型指示計で構成されている。ゼロ点を測定のとど調整した。目盛りも二乗に近くリニアでない。

に大別される。プレート電流とグリッド電圧の非直線性、グリッド電流とグリッド電圧の非直線性、2極真空管またはダイオード、方式である。それらの方式からプレート検波を利用したA型電圧計(交流両用)それにB, D(交流), C(二重レンジ)P(プローブ付き)型が生み出された。

図5はA型であるが当時のカタログには

「此電圧計は三極真空管の整流作用を利用し、Gridに加えられた交流電圧を、其のPlate電流の直流成分の変化によって読むように目盛りされた、一種の直流の計器であってMoullin Thermionic Voltmeterとも言われる。測定電流を殆どとらずに、交流の低圧が測られることが其の特徴であって、適当に使用すれば中々応用の広い測定器であります」

と入力インピーダンスが高く、測定対象からエネルギーをとらないことを強調している。

このバルボルの目盛りをよく見るとニアではない。真空管の非直線性がそのまま現れている。グリッドに加えた電圧の2乗の電流がプレートの流れるのをそのまま使っている。また、バルボルの入力信号がゼロでもメーターが少しふれる。つまりメーター(指示計)のゼロとバルボルのゼロが違っていた。測定する際には、電源スイッチを入れて、まず入力端子をショートして、バルボルのゼロ点を調整する必要があった。

なにしろ真空管は高価な時代である。測定器はこわごわと扱い、使い勝手などは後回しの時代であった。写真で見えるように、このバルボルはナス管と呼ぶ一本の大形真空管と、大形の指示計が主な構成部品である。また大形の乾電池が内部にある。バルボルは、交流電源からの誘導ノイズをきらって乾電池を使っていた。

当時の測定器には、このようにやっかいな調整が必要であったが、それでも、それまで測れなかった、高周波や音声周波数の電圧を測れるメリットは大きかった。電話線の保守、ラジオ設計には欠かせない機器であった。

実は真空管回路、増幅回路でも、安定で長時間使えるようになるまでには、いくつもの変遷があ

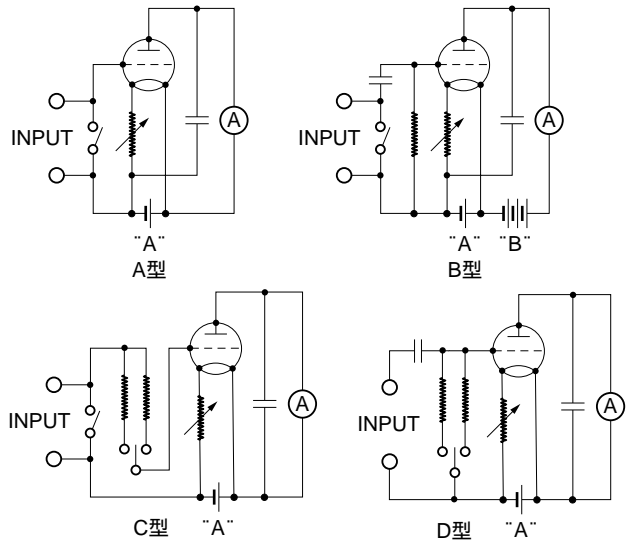


図6 バルボル回路(A、B、C、D型)

る。次回に解説するが、単なる増幅器、正帰還増幅器、超再生回路、それに本当に安定な回路は、ブラックが1927年に発明した負帰還回路によって達成された。真空管の特性が多少変わっても増幅器の特性に影響をおよぼさない回路である。これも電話の増幅器の研究から生まれた。測定器にも採用されるようになると、バルボルも測定した電圧は直線目盛で読みやすく、ゼロ点も安定な計器が生まれてくる。

エジソンが電球の中に一本の針金を入れることから始まったエジソン効果から、フレミングがそれを電極にして初めての真空管2極管となった。ド・フォレストがもう一つ電極をいれて3極管に、3極管の欠点を補うものとしてハル(Hull, 1880-1966)の4極管、つづいてラウンド(Round, 1880-1966)の5極管、まだまだつづいた多極管競争、少なくとも7極管までは広く使われた。

<参考文献>

- 1) P.H.Sydenham, " Measuring instruments : tools of knowledge and control, Peter Peregrinus, 395 / 397, ( 1979 )
- 2) Harold G.Bowen, " The Edison Effect ", Thomas Alva Edison Foundation, ( 1951 )
- 3) 城阪俊吉 『年代別科学技術史』 日刊工業新聞社( 2002 )