

歴史シリーズ

理研の加速器 —1930～1940 年代の実験技術 (その 4)

上坪 宏道*

Accelerators in RIKEN—Vacuum Technology and Electronics in 1930s—(Part Four)

Hiromichi KAMITSUBO*

本シリーズでは、これまで旧理研（財団法人理化学研究所）時代の加速器について、論文・報告や回顧録などの資料を参照して、その実像をできるだけ忠実に再現するように努めてきた。幸いなことに理研には創立時（1917）からの主要学術雑誌が揃っており、資料を探すのには比較的恵まれている。また、「Scientific Papers, I.P.C.R.」や「理化学研究所彙報」が毎月発行されており、とくに後者には毎年5月と12月に開かれる理研学術講演会のプログラムが、講演題目、発表者と講演概要を含めて記載されていて、当時の理研の研究活動を知ることができる。さらに理研学術講演会では阪大の菊池グループも毎回発表していて、理研・阪大の競演になっている。なお、これ等以外にも「日本数学・物理学会誌」には論文だけでなく数物学会の常会と年会の記録が載っていて、台北帝大を含めたわが国の主要な加速器研究グループの研究活動の状況を垣間見ることができる。また、日本学士院紀要や日本学術協会報告にも論文や報告が掲載されている。

当時の研究者は、多くの場合、加速器の建設に加えて実験装置も自作して実験していた。発表論文では実験装置に関する記述は極めて少ないが、わずかな記録から実験装置についての概要がわかる場合がある。それらを通して、私たちの大先輩がどのような工夫を凝らしてこれらの装置を作り、欧米諸国の研究者と研究を競ったかを窺い知ることができる。そこで加速器学会誌の性格からは外れるかもしれないが、このシリーズの番外編として、加速器と実験装置に共通する技術である真空技術とエレクトロニクスを取り上げ、昭和初期（1930～1945）の加速器研究の概要を述べることにした。

加速器の建設とその運転・利用には、設計・建設・

運転・利用に当る研究者の知識や能力に加えて、中心装置を作る素材とその加工や性能の良い部品を供給する工業力が必要である。本稿では、加速器建設や運転・利用を支えた背景に焦点を当てて、戦前の理研加速器を見ることを試みた。

本シリーズで取り上げた理研の「加速器」は、菊池正士の90 kV 電子回折実験装置¹⁾ (1928)、仁科研究室の100 kV 直流加速器²⁾ (1934)、西川研究室の200 kV グライナッヘル加速器²⁾ (1935)、杉浦義勝の600 kV コッククロフト・ウォルトン (CW) 加速器²⁾ (1936) と原子核実験室の1 MV CW 加速器²⁾ (1939)のほか、26"小サイクロトロン³⁾ (1937) と60"大サイクロトロン³⁾ (1942)である。これらの加速器は、主要部分の大半を理研工作部と国内企業で製作し組み立てているが、発表されている論文で加速器に関する記述を見ると、直流加速器では放電に悩まされていて、とくに加速管の構造と真空に問題があったようである。一方、26"サイクロトロンは順調に完成し多くの実験に使われていたが、60"サイクロトロンでは磁場、真空と高周波加速電圧に問題が生じて大改造を行っている。このように、わが国で建設された初期の加速器に共通していた問題は真空技術と高周波技術であり、また、社会で急速に発展していたレトロニクスである。そこで、まず初めにこれらの技術がどのように発展してきたかを述べ、ついでこれらの技術がどのようにわが国に伝えられ、理研加速器の生まれる1930年代後半にはどのような状態であったのかを振り返ってみることにする。

10. 真空技術

近代物理の研究に真空技術を用いる道を拓いたのは J. H. Geissler である。ボン大学のガラス工であった

* 旧理化学研究所 RIKEN
(E-mail: hkamitsubo@riken.jp)

Geissler は、物理学者 J. Plucker の求めに応じてガラス製の水銀サイホンポンプを開発して 0.1 Torr の真空度を実現し (1855), さらに白金線をガラスに封入したガイスラー管を製作した。Plucker はこの装置を用いてガイスラー管に電流を流し、ガラス壁から出る蛍光を観測している。ガイスラー管はその後数十年に亘って陰極線の実験に用いられ、X 線や電子の発見など近代物理の基礎となる成果をもたらした。

一方、1870 年代から白熱電灯 (電球) や真空管の発明が続いて、エレクトロニクス工業が発展してきた。大量に生産される電球や真空管の製造には性能の良い真空ポンプが不可欠である。こうして 20 世紀になると新しいタイプの真空ポンプが次々に開発され、到達真空度が飛躍的に高くなってきた。このシリーズでも菊池の電子線回折実験や 100 kV 直流加速器には陰極線管が用いられていたことを述べたが、わが国における加速器の進歩を真空技術/エレクトロニクス工業の発展⁴⁾との関係から見てみようというのが本稿の狙いである。

1) エレクトロニクス時代の幕を開けた真空技術 (1870~1900)

1865 年に H. T. P. Sprengel がガラス管に水銀を一滴ずつ落として空気を下に押し出す方式のピストンポンプを発明したが、W. Chrookes はこのポンプと McLeod 真空計とを組み合わせた排気装置を実用化した (1876)。その頃、炭素フィラメント電球を発明した T. Edison が Chrookes の装置を用いて電球の真空を改良し工業化したので、Chrookes の排気装置は一躍電球工業になくてはならない装置になった。

さらに白熱電球の研究を進めていた Edison は、真空中に熱したフィラメントから離して金属を封入するとそれらの間に電流が流れる現象 (エジソン効果) を発見した (1883)。一方、フランスの物理学者 J.-B. Perrin は陰極線が負に帯電した粒子であることを実験的に確かめ (1895), 続いて J. J. Thomson がこの粒子の電荷と質量の比を測定して、この粒子を電子と名付けた (1897)。また、ドイツ人 K. F. Brown が陰極線管 (CRT) を発明した。

1904 年、エジソン効果を研究していた J. A. Fleming はフィラメント (カソード) と対向電極 (アノード) に交流の電圧をかけると、対向電極が正のときのみ電流が流れる「整流作用」があることを確かめた。2 極管の発明である。続いてアメリカの De Forest はアノードとカソードの間に網目状電極 (グリッド) を入れた 3 極管を製作 (1906) して、増幅器を開発した (1912)。真空管時代の幕開けである。なお、1909

年に von Baeyer が 3 極管を使って電離真空計をつくっているが、広く用いられるようになったのは 1921 年の S. Dushman and C. G. Found による研究以後である⁵⁾。

わが国で初めて白熱電灯が点灯されたのは明治 19 年 (1886 年) である。同年開業した東京電燈 (東京電力の前身) がエジソン式直流発電機を用いて点灯したが、1890 年頃には高圧交流式の発電機が普及して電灯需要は年を追うごとに増加した。一方、わが国では白熱電灯の国産化が 1890 年に始まり、6 年後にはわが国初の電灯製造会社である東京電気で日産 280 個まで生産できるようになった。東京電気は Edison の会社 GE 社と技術提携 (1905) して品質の向上を図り、1911 年にはタングステンフィラメント電球「マツダランプ」を発売している。

全国の電灯需要数をみると、1897 年の 14 万灯から、1902 年の 32 万灯と増加を続け、1911 年には 410 万灯に達している。電力需要も 1903 年の約 3,000 kW から 1907 年には 8,000 kW、明治末の 1911 年には 85,000 kW と急増している。

このような電灯工業の発展に呼応して、1905 年には W. Gaede がモーター駆動の水銀回転ポンプを発明した⁴⁾。この装置は単独で 10^{-6} Torr まで到達可能であり、大量に製造されて高真空が必要になった電灯工業、真空管工業で利用された。さらに Gaede は、水銀回転ポンプに続いて油回転ポンプを発明したが (1907), これは標準的な粗引ポンプとして今日まで広く利用されてきた。

2) 真空技術の進歩とエレクトロニクス工業の発展 (1910~1940)

20 世紀に入ってすぐに 2 極管や 3 極管が発明され 3 極管を用いた増幅器や発信器が開発されると、真空管を用いた通信や放送がにわかに注目されてきた。新しい真空管が次々に開発され真空管の需要が急増して真空管工業が発展し始めると、それに応えて真空技術が急速に進歩した。

1913 年に Gaede は分子ポンプ⁶⁾ (molecular drag pump) を発表している。このポンプはその後 1920 年代に改良されたが、本格的に使われるようになったのは 1970 年代になってからである。引き続いて Gaede は 1915 年にノズルから水銀蒸気が拡散する際に気体分子を押し出すポンプ (水銀蒸気拡散ポンプ) を考案した⁷⁾。これは機械的な稼動部分がない最初の真空ポンプである。翌 1916 年には Gaede とは独立に、I. Langmuir がノズルを広くした排気速度が高い水銀拡散ポンプを発表⁸⁾したが、これ以後、彼の水銀蒸気

拡散ポンプは工業用として急速に普及した。この頃は真空管工業の勃興期であり、比較的小型で排気速度の低い水銀拡散ポンプで十分であったが、水銀の問題点は蒸気圧が高いことで必ず水冷トラップを用いていた。

1928年にMetropolitan-Vickers社のC. R. Burchが沸点が高く蒸気圧の低い石油精製化合物を使った油拡散ポンプを考案して⁹⁾、水銀拡散ポンプの数十倍の排気速度を持つことを示すと、油拡散ポンプが急速に普及し始めた。なお、使用されたポンプ油はMetropolitan-Vickers社のApiezon oilである。これ以後は油拡散ポンプが高真空ポンプの主流になったが、使用する油についても1930年代にEastman-KodakのHickmanとSanfordが詳細な研究¹⁰⁾を行い、また、分溜型油拡散ポンプを開発している。なお、当初はガラス製の油拡散ポンプが用いられていたが、その後金属製が作られて大型化が可能になり、分溜型油拡散ポンプの開発と相俟って、高真空・大容量排気が可能になった。こうして油拡散ポンプはイオンポンプが出現する1950年代まで高真空排気装置の主流であった。

わが国においても真空技術発展の推進力になったのは真空管工業である。19世紀後半の電話の発明、無線電信の成功の後、2極真空管、3極真空管の発明と発振器・増幅器の開発が続いて、無線通信技術が急速に発展した。白熱電灯の工業化でGE（後にRCAと改名）と技術提携していた東京電気は、RCAの持つハードバルブ（高真空対応型の真空管）特許の日本独占行使権を取得（1915）し、白熱電球製造で習得した真空工学の技術と設備を基に真空管の研究に着手した。1917年にはわが国最初の真空管を完成し、さらに1922年にRCAが発表した受信用真空管UV200、UV201を国産化した。その後、ヨーロッパで受信用交流真空管が作られるようになると東京電気でも研究に着手し、1928年発売のUX112Aに続いてUX226などの真空管を製造・発売した。一方、1919年は入力30Wの送信管を完成して電気試験所に納入したが、1925年にラジオ放送が始まると日本各地に放送局が開設されたので、10kW水冷3極管UV-207を開発した。さらに国際通信用には20kW水冷送信管SN-167を使った大型短波送信機を開発して国際通信の小山送信所に納入した（1935）。理研の小サイクロトロンにはこの最新鋭の送信管が発振管として用いられたのである。なお、この間に第一次世界大戦があり軍事的な真空管も開発されている。

一方、1914年にアメリカで酸化物陰極を使用したWE社の送信管101-D型が実用化されて、通信用に

大量に使用された。我が国では、1925年、東京―岡山間の長距離ケーブルの中継所が三重県亀山に設けられたとき、WE社から真空管を輸入して中継装置を納入したのが住友であった。住友は1932年にWE101D相当管を国産化し、以後、WEの通信管を国産化して独占的に供給した。この会社が住友通信工業（後の日本電気）である。理研大サイクロトロンの加速高周波系の発振管にはこの会社の送信管TW530Bが用いられた。

1935年にGEの特許権が切れると、国内他社も本格的に真空管の製造を開始した。

3) 真空技術の発展と加速器の誕生（1930～ ）

19世紀後半から20世紀前半にかけては近代科学が急速に発展した時代であるが、それを支えた技術が電磁気学を基礎とした電磁気工学と真空技術であった。本稿でも述べたように、量子論を生み出した主要な実験には静電誘導/電磁誘導による高電圧の発生と真空技術が不可欠であった。その後、加速器が発明されて自然科学の研究対象が原子核・素粒子に移ると、電磁気工学と真空工学の重要性がますます高まった。1920年代の後半から加速器が建設され始めているが、技術的には油拡散ポンプの実現が契機になっているというのが筆者の見解である。

Cockcroft & Waltonの論文¹¹⁾によると、4本のガラス管を塔のように積み上げて整流管（図1）を作り、その真空ポンプにBurchの設計した3段式の油拡散ポンプを使ったが、排気速度が毎秒20リットルで、液体空気のトラップが必要ないことが利点であると記している。なお、ポンプについては「We are indebted to Metropolitan-Vickers Electrical Company for supplying us several of these pumps before they had been put on the market」と書いているので、Burchのポンプは1930年ごろに市販されたのであろう。

同じ頃、BerkeleyでもH. Sloanらが10kWと30kWの大出力送信管の開発を行っていた¹²⁾。油拡散ポンプで常時排気する方式である。図2にSloanらが開発した金属製油拡散ポンプの概念図を示した。その後アメリカで広く使われたデザインで、オイルはMetropolitan-Vickers社のApiezonオイルを用いているが、この発振管の場合、沸点の低い（200度以下）Apiezon Bオイルを用いている。排気速度は毎秒5リットルであるが、Berkeleyではこれと同じ構造で直径が4インチ、6インチのものも作ってサイクロトロンの排気に用いた。図3は発振管との接続を示したもので、油拡散ポンプを2基に直列に接続して使用

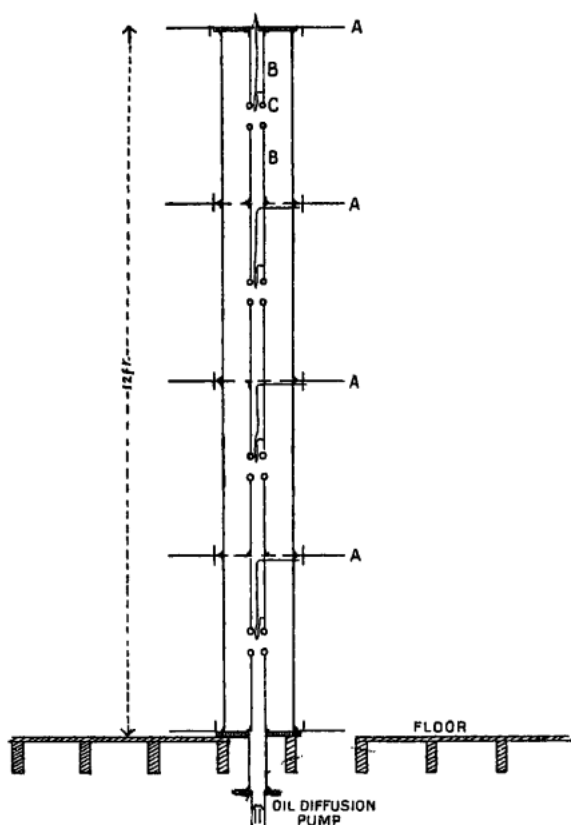


図1 Cockcroft-Walton の整流器. 4 本のガラス管を塔のように積み上げて, その間に 13 フィート角のメッキ鉄板 A を入れている. 薄い金属パイプでできた電極 B はこの鉄板で固定され, 両端には太いリング C を取りつけて放電を防いでいる. 塔の上下は厚い金属板で封じているが, ガラス管と金属板の接点は全て “plasticene” で気密にし, さらにコンパウンドも用いている. なお, B の下部 (内部) にはフィラメントがあり熱電子を放射する陰極になっていて, 一段下の B 上部との間で 2 極管になっている.

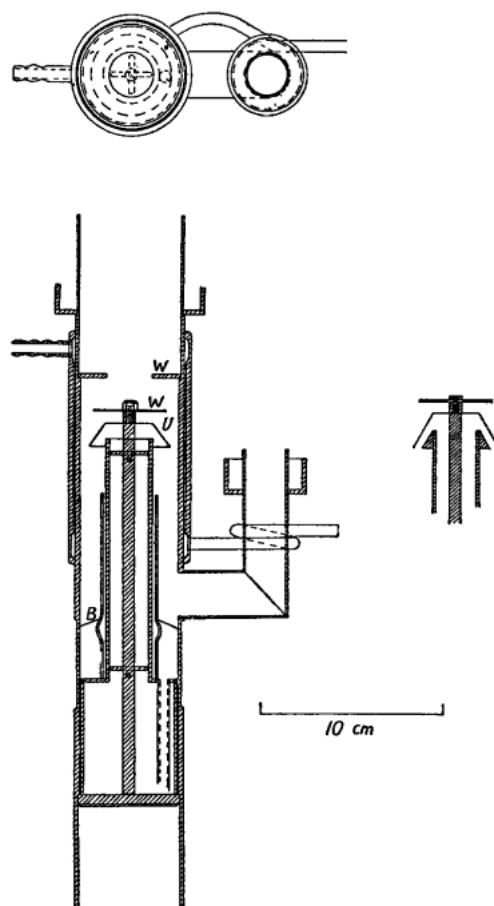


図2 Sloan らの開発した Apiezon oil diffusion pump. 外筒は直径 2 インチの真鍮製で上部は水冷のために 2 重になっている. 図の U は銅製の傘 (umbrella) で, 中筒 (チムニー) を下から上に通ってきたポンプ油の蒸気を下向きに流すために取り付けられている. 中筒の下は油のボイラーで, その下にヒーターが取り付けられている. B と W は油が上に抜けるのを防ぐ金属製のパッフルである. 右図は傘の部分の概念図である.

しているが, 発振管にこのポンプを直接取り付けで常時排気している.

Berkeley では, 開発した加速器に一貫して油拡散ポンプを使用している. 1931 年の Phys. Rev.¹³⁾に報告されている重イオン線型加速器の場合は, 排気には 2 基の液体空気トラップ付 condensation pump を用いて 10^{-5} mmHg の真空度を得ている. 因みに condensation pump は拡散ポンプのことで, Hickman の論文¹⁰⁾に用いられているが, ガラス製あるいは部分的金属製の可能性が高い. ところが理研小サイクロトロン^{14,15)}のモデルになった 5 MeV 陽子サイクロトロン^{14,15)}では, 文献 12) と同じタイプの Apiezon B を使った真空ポンプを用いて, 直径は 4 インチ, 排気速度は毎秒 80 リットルであり, 直径 4 インチ, 長さ 4

フィートの真鍮ダクトでサイクロトロンに直結されていた. 液体空気のトラップは用いていなかったが, 加速箱に液体空気のトラップを置いて, 排気し始めには炭酸ガスなどをトラップしていたが, 数日後には液体空気なしで 10^{-6} mmHg の真空度を保っていたという. また, このサイクロトロンの高周波系には文献 12) の高出力送信管が使われた. その後 Berkeley では陽子エネルギー 10 MeV を目指したサイクロトロンの建設が始まるが, そのために大型の油拡散ポンプが開発された¹⁶⁾.

4) 理研の加速器と真空技術

菊池正士の最初の電子回折実験は 1928 年に行われている. 最初の論文は Nishikawa & Kikuchi の連名で Nature **122** (1928) に発表され, Kikuchi 単独の論

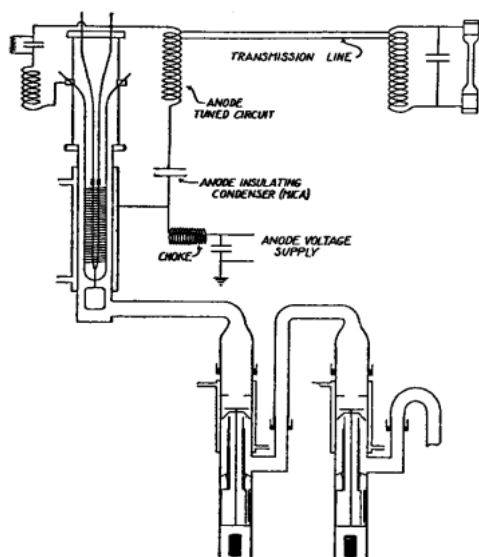


図3 送信管とポンプの接続。ポンプは2基をシリーズにつないで使用している。

文は Jap. J. of Phys. 5 (1928) に発表された。その中の実験装置図には真空ポンプとだけしか書かれていないが、油拡散ポンプはまだ発表されていないので、既に普及していた水銀拡散ポンプが用いられたことは明らかである。

1934 年から 35 年にかけて仁科らが建設した 100 kV 直流加速器には油拡散ポンプが使われている。これに関して仁科は 1933 年 1 月に Metropolitan-Vickers の Fleming に手紙を書いて、Cockcroft らの用いた真空ポンプが既に市販されているかどうか、また、図1に示した真空容器の接合部に用いた密閉用パテがどこで手に入るのか問い合わせしている¹⁷⁾。この手紙を書いた直後には Cockcroft にも手紙を書いて、気密用に使った plasticene の入手先を尋ねている。

その後、1934 年度に仁科研究室が購入した物品のリスト¹⁸⁾の中に、オイルデフュージョンポンプ (1370.24 円)、ロータリーポンプ 日立 1/4 馬力モーター付、千野センコハイパーバックポンプ移動台付、千野ロータリーポンプ日立モーター (150 円) などがリストアップされているが、購入したオイル拡散ポンプの製品名は明らかでない。

小サイクロトロン建設と運転は、全体として Berkeley で建設されたサイクロトロン¹⁵⁾の方法に沿って行なわれた¹⁹⁾が、かなりの独自性も盛り込んでいる。真空チェンバーは圧延した厚み 12 mm の真鍮板 (Berkeley では青銅製) を捲いてロウ付けし直径 67 cm、高さ 10 cm の円筒を作っている。円筒の蓋と底は円形の鉄板 (磁石のポールチップを兼ねる) で、

底板は円筒にロウ付けしてあるが、上蓋は蜜蝋や樹脂で封じて必要に応じて開封することができるようにした。このような大容量真空函の真空ポンプはわが国では初めてであり、文献 12) に類似したシステムを採用した。直径 15 cm と直径 7.5 cm の金属製油拡散ポンプを直列に接続し最後段に回転ポンプ Cenco Hyper-vac 100 型を用いて、 10^{-5} mmHg で毎秒 200 リットルの排気速度を実現している。この論文の終わりに「真空チェンバーと総ての付属品の建設」に対して理研工作部への感謝を述べているので、かなりの部分を理研工作部が製作したものと考えてよい。

仁科研の嵯峨根遼吉は 1835 年 9 月から 38 年 2 月まで Berkeley に滞在してサイクロトロンで実験している。嵯峨根は真空技術やエレクトロニクスなど Berkeley で最新の技術を学んで帰国したので、帰国後に小サイクロトロン改良を始めた。当時の真空技術を語る座談会²⁰⁾で、参加者が仁科は水銀のマクレオドゲージを愛用していたが、嵯峨根がわが国で初めて電離真空計を自作し使用したこと、随所に使われていたガラス管を排して金属管に置き換えを試みたこと、金属製油拡散ポンプの製作やポンプ油の国産化を行なったことなどを述べている。また、別に砲金鋳物の板をつくってゴムパッキングを使って蓋にしている。わが国最初のゴムパッキング使用例であろう。

前号³⁾で述べたように 1939 年に完成した 60 インチサイクロトロンは、電磁石の磁極間隙が広すぎて一様磁場の部分の半径が小さすぎたこと、加速函の排気ポンプの排気速度が不足して真空度が低かったこと、高周波電圧が十分上がらなかったことが原因で十分加速することができなかった。そこで矢崎為一と渡辺扶生、飯盛武夫の 3 名が Berkeley の大サイクロトロンの設計を調査するために渡米した (1940 年 8 月)。この訪米の様子は矢崎が仁科に送った手紙に詳しく記されている²¹⁾。それによると、期待したサイクロトロンの設計図を手に入れることはできなかったが、Cooksey らから詳細な説明を聞き、真空ポンプの青図をもらって帰国した。また、アメリカで排気速度が毎分 600 リットルの Kinney ポンプを購入している²¹⁾。帰国の翌年、理研では 60 インチサイクロトロンの大改造を行ったが、既に主な金属は統制されていたので、大サイクロロン改造用金属材料配給御願²²⁾を商工省に提出して、青銅、真鍮、伸銅や鋼材の配給を受けている。砲金鋳物製の加速函は扁平の多角形で上下の蓋には鉄円板 (磁極) を用いている。鋳物からの放出ガスを少なくするため、側面には広い窓を開けて鋳物の壁面をできるだけ少なくし、窓には銅

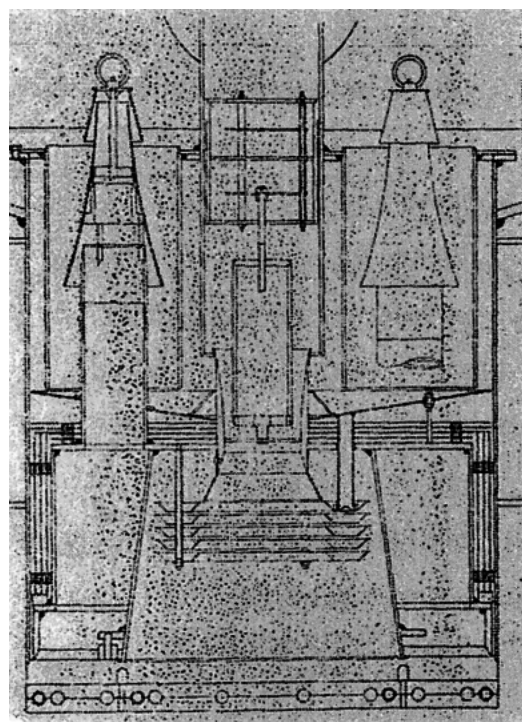


図 4 60 インチサイクロトロン的大型真空ポンプ。外側にある 6 基の油拡散ポンプの上部が高真空側，中央の大型拡散ポンプは後段の油拡散ポンプでジェットは上向きになっている。

板とゴムガスケットを使って蓋にした。

図 4 は真空ポンプの組立図である。真空ポンプ本体には直径 18 インチの金属円筒の中央に低真空用ジェットが設置され，その周囲に 6 本の 2 段式高真空用ジェットを配列してある。2 段式ジェットは分溜式で，上にある小ジェットからは蒸気圧の低い油が拡散し，その下にあるジェットからは蒸気圧のやや高い油が拡散する仕組みになっている。全体として 5 インチ高真空ポンプが 6 本並列に作動しているのと同等で，圧縮された気体は中央に置かれた大きいジェットを通して直結した回転ポンプで排気される。中央のジェットは下から上にジェットが流れる型で，Berkeley の McMillan が開発した。なお，回転ポンプは Cenco の Hypervac 100 型と Kinney pump を交代で使用した。

このポンプの排気速度は水素ガスで測って， 10^{-4} ~ 10^{-5} mmHg において毎秒 200 リットルであった。なお，このころには外国からポンプ油が輸入できなくなり，国産ポンプ油の理研 B-オイル，後に大日本油脂の No. 2 オイルを使用した。また，真空度測定器は電離真空計を使用している。この装置は理研工作部が製作したものと考えられるが，わが国における戦前の

真空技術の到達点を示していると言えよう。

11. エレクトロニクス

これまで述べてきたように，1920 年代後半から 30 年初めにかけて発明された加速器は，真空技術，電磁気工学やエレクトロニクスなどの進歩に支えられて急激にその性能を高めていった。一方，加速器を用いる研究領域も急速に拡大して，新しい実験手法の開拓や装置の開発が進められてきた。そこで本稿の主題からは横道に逸れるが，加速器利用研究には不可欠の検出器とエレクトロニクスの状況を見てみよう。

アルファ崩壊の発見以後，長い間アルファ粒子の計測には蛍光物質が使われていたが，マンチェスター大学で E. Rutherford の助手であった H. Geiger が 1908 年にガイガー計数管を発明すると標準的な放射線計数管として広く使われるようになった。ところがこれは放射線の気体電離作用を利用して電氣的に粒子の数を数える計測装置であり，気体の増幅率が印加電圧に依存していて種類の異なる放射線の識別が難しく，バックグラウンドとくに β 線や γ 線が多い場合の放射線計測には使えなかった。この欠点を克服したのが H. Greinacher で，アルファ粒子の精度良い検出を行なうために，一個のアルファ粒子によるイオン化で生じる電流を三極管で増幅する新しい計数法を開発した²³⁾ (1926)。この方法により β 線や γ 線のイオン化電流はアルファ粒子よりはるかに少なくなり，識別が可能になる。キャベンディッシュ研究所では早速この方法を採用してアルファ粒子の新しい計測装置を開発し，ラジウム C，トリウム C，アクチニウム C から出るアルファ粒子のスペクトルを決めている²⁴⁾ が，実験装置の詳細も報告されている²⁵⁾。その後この計測法は陽子の計測にも利用され，Cockcroft-Walton や Rutherford らが行った CW 加速器を用いた実験に使われた。

仁科研究室が発足したのは 1931 年 7 月である。仁科はすぐに採用した嵯峨根遼吉，竹内 桓と宇宙線の研究を開始して大きな霧箱を製作している。その後，加速器を用いて原子核変換の実験も始めたので，検出器，増幅器，計数器の開発が必須であった。嵯峨根は仁科で実験装置の開発に従事し，ガイガー計数管や増幅器を製作している。なお，文献 19) や書簡集によると，仁科は計数器を外国から導入したらしく，W. Voss に手紙を書いて彼の会社で作っている計数器について問い合わせている。

わが国で直流加速器を用いた原子核変換の実験が始まると²⁷⁾，ウィルソン霧函（理研²⁸⁾）や Wynn-Wil-

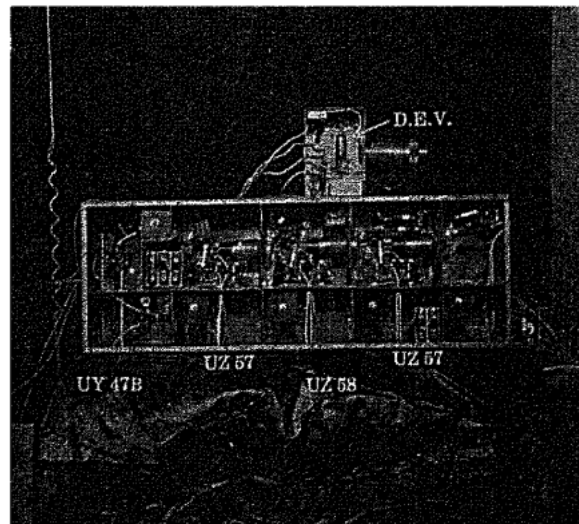
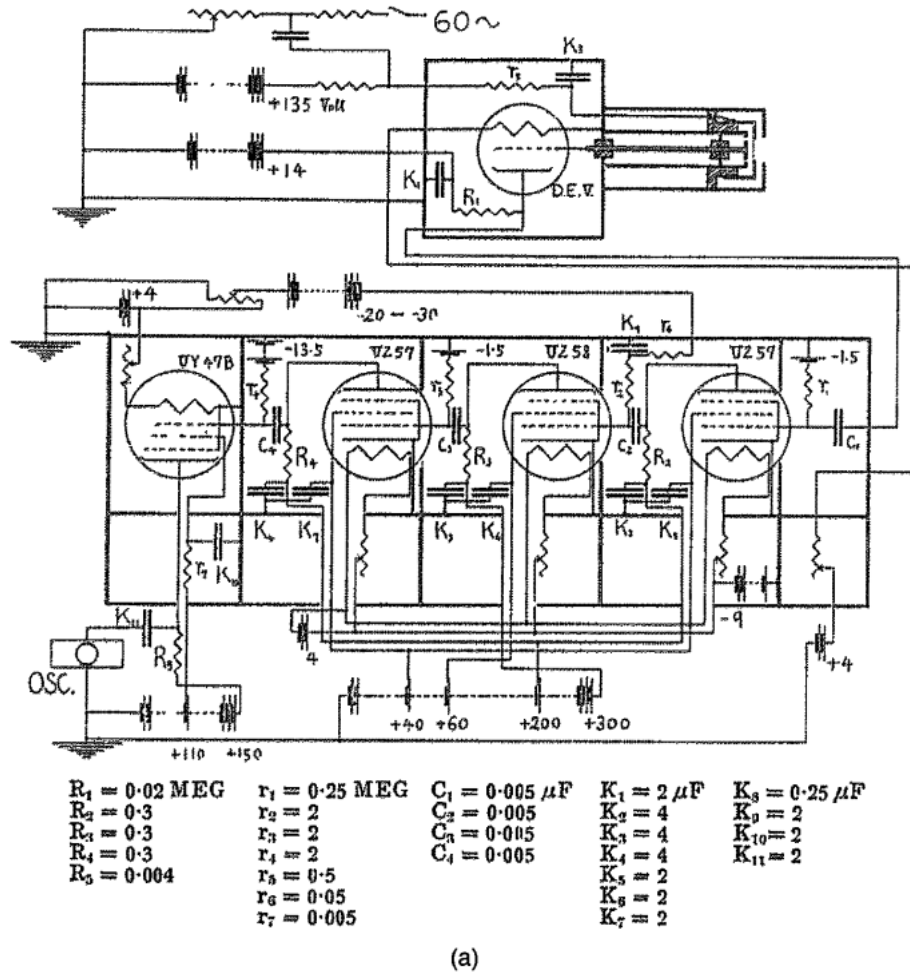


図5 菊池らが製作した Wynn-Williams 型増幅器(a)とその写真(b).

liams 型計測装置 (阪大²⁶⁾, 台北²⁹⁾) を用いた計測が行われるようになった. 検出器の出力は Wynn-Williams 型増幅器²⁷⁾で増幅し計数器で記録した. 図5に菊池らが製作した増幅器の回路図(a)と写真(b)を示

した. 図の上部が検出部で, 検出器の電極が真空管 (valve) 1 のグリッドに直結していて, その陽極出力を valve 2, 3, 4 で増幅している. 細かい説明は一切省略して主要な点だけを記すと, valve 2, 3, 4 にはそ

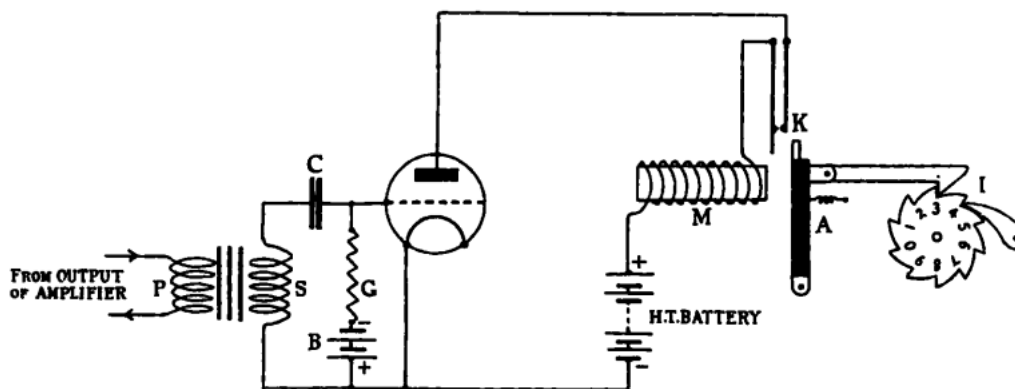


図6 サイラトロンを用いた機械的計数器の駆動回路。サイラトロンをリレーとして使っている。

の頃受信管に広く用いられていた真空管（UZ57, UZ85, UY47B）が使われているが、初段の真空管にはグリッドの絶縁抵抗が高く浮遊容量が小さい D.E.V. valve を用いていて、電極に集まったイオンが少なくても比較的高い入力信号が得られるようにしている。なお、当時の真空管は機械的振動や電磁ノイズに弱かったので、その対策に細心の注意を払っている。とくに、D.E.V. はバックグラウンドノイズが低いので採用したが、機械的振動には国産の UZ57 や UX540 が優れていて、もしノイズ除去ができればこれ等の真空管が初段には適していると書いている。

一方理研の嵯峨根は、外国製の真空管は手に入りにくいので、国産の真空管を利用して Wynn-Williams 型増幅器を開発することにしたという³⁰⁾。初段の真空管には UM193A を採用したが、その理由としてノイズレベル、浮遊容量、グリッド電流が低いことを挙げている。難点は増幅率が低くグリッド絶縁が不十分で機械的振動に敏感なことであり、製作に当たってはいろいろ対策を工夫している。2, 3, 4 段の真空管は UX232 でその後に UY247B を用いているが、嵯峨根の回路の特徴は、最終段にバックグラウンド（ β 線や γ 線）を除去する回路を取り付けていることである。バックグラウンドはパルスが低いので、低パルスに対する増幅度が急に低くなる回路を開発して最終段に入れてある²⁵⁾。

Wynn-Williams はサイラトロンを用いた計数回路を開発しているので、最も簡単な例を図6に示しておく。グリッド電圧が一定の電圧より低いと電流が流れないというサイラトロンの特性を利用して、電氣的リレーの働きをさせている²⁵⁾。

12. 終わりに

本稿では 20 世紀前半における真空技術・電子技術

の発展とそれに平行して展開された加速器の誕生と進歩を概観し、併せてわが国の歴史を述べてきた。驚くべきことに当時の日本では、ヨーロッパやアメリカとほぼ平行して世界最先端の研究を進めていた。しかし第二次世界大戦が始まるころから真空やエレクトロニクスに代表されるような近代的な工業力に差が付き始め、大きな遅れをとるようになったことがわかる。この時期に理研・阪大で原子核実験に従事し、その後、東京大学理学部でバンデグラフを建設していた熊谷（青木）寛夫は、戦後、東大理工学研究所に移って真空の基礎研究を開始し、日本の真空工学の基礎を作るとともに多くの専門家を育成した。また、計測用エレクトロニクスの開発や電子スピン共鳴の研究にも従事している。原子核研究所の計画が始まったとき、7 人のサムライと呼ばれた熊谷グループが理工学研究所で可変周波数サイクロトロンの準備研究や設計を進めることができた背景には、このような物語があったことを述べてこのシリーズを終わりにする。

参考文献

- 1) 上坪宏道, 加速器学会誌 **2** (2005) 233
- 2) 上坪宏道, 加速器学会誌 **2** (2005) 370
- 3) 上坪宏道, 加速器学会誌 **3** (2005) 60
- 4) 真空技術, 日本電子機械工業会電子管史研究会編「電子管の歴史—エレクトロニクスの生い立ち」12 章, オーム社 (1987) 491, なおこの文献のことは東芝電子管デバイス株式会社電力管技術部の矢野充教氏に教えていただいた。感謝します。
- 5) O. von Baeyer, Phys. Zeit. **10** (1909) 498; S. Dushman and G. C. Found, Phys. Rev. **17** (1921) 7
- 6) W. Gaede, Ann. Physik **41** (1913) 337
- 7) W. Gaede, Ann. Physik **46** (1915) 357
- 8) I. Langmuir, J. Franklin Inst. **182** (1916) 719
- 9) C. R. Burch, Nature **122** (1928) 729. C. R. Burch, Roy. Soc. Proc. **123** (1929) 271
- 10) K. C. D. Hickman and C. R. Sanford, Rev. Sci. Instru.

- 1 (1930) 140; K. D. C. Hickman, Franklin Inst. J. **221** (1936) 215
- 11) J. D. Cockcroft and E. T. S. Walton, Proc. Roy. Soc. London A127 (1930) 477; J. D. Cockcroft and E. T. S. Walton, Proc. Roy. Soc. London A129 (1932) 619
- 12) H. Sloan, R. L. Thornton and F. A. Jenkins, Rev. Sci. Instru. **6** (1935) 75
- 13) D. H. Sloan and E. O. Lawrence, Phys. Rev. **38** (1931) 2021
- 14) D. E. O. Lawrence and M. S. Livingston, Phys. Rev. **45** (1934) 608; E. O. Lawrence
- 15) D. Cooksey, Phys. Rev. **50** (1936) 1131
- 16) 仁科芳雄往復書簡集, 中根良平, 仁科雄一郎, 仁科浩二郎, 矢崎裕二, 江沢 洋 編, みすず書房 (2007) 書簡 1013
- 17) 同上 書簡 281, 282
- 18) 文献 2) の表 3
- 19) Y. Nishina, T. Yasaki and S. Watanabe, Sc. Papers I.P.C.R. **34** (1938) 1658
- 20) 嵯峨根遼吉記念文集, 嵯峨根遼吉記念文集出版会 (1981), 172 ページ～177 ページ
- 21) 仁科芳雄往復書簡集, 中根良平, 仁科雄一郎, 仁科浩二郎, 矢崎裕二, 江沢 洋 編, みすず書房 (2007) 書簡 1000, 1002, 1009, 1013, 1021, 1066, 1076. なお, このポンプのデッドコピーがすぐ作られてその後広く使われたという
- 22) 同上 書簡 1040
- 23) H. Greinacher, Z. Physik **36** (1926) 364, **44** (1927) 319
- 24) E. Rutherford, F. A. B. Ward, B. A. Goldsmiths and C. E. Wynn-Williams, Proc. Roy. Soc. **A129** (1930) 211
- 25) C. E. Wynn-Williams and F. A. B. Ward, Proc. Roy. Soc. **A131** (1931) 391
- 26) Seishi Kikuchi and Hiroo Aoki; Sci. Pap. I.P.C.R. **26** (1935) 36
- 27) 1935 年 4 月に大阪大学理学部で開催された日本数学物理学会の昭和 10 年度年会で荒勝文策, 仁科, 菊地がそれぞれ独立に加速器を建設して行った「Li+d による原子核の人工壊変」について報告している. 日本数物学会誌 **17** (1935) XXII
- 28) 仁科芳雄, 嵯峨根亮吉, 新聞啓三, 皆川 理; 日本学術協会報告 **10** (1935) 169
- 29) 木村毅一; 日本数学・物理学会 昭和 11 年度年会記録 (1936) XXVI
- 30) R. Sagane, Sc. Pap. I.P.C.R. **27** (1935) 93