サイクロトロンと元素の變換

理化學研究所　理學博士　仁　科　芳　雄

サイクロトロンと元素の變換

（昭和13年11月4日　東京石川島造船所通俗講演會講演）

理化學研究所
理學博士　仁科芳雄

1. 緒　　言

私は「石川島技報」の10月號に，「故澁澤子爵の談」として次のことが載つて居たのを拜見しました。「自分が石川島造船所に關係し始めた動機は，毛頭これを利殖の一事業としやうといふやうな考へからではなく，造船所が海國日本の進運上から見て一日も等閑に附すべからざるもので，今にして是が振作を圖らずんば將來悔ゆるも及ばずと考へたからである」といふのであります。

石川島の此傳統的精神は，今日益々旺んであつて，それは造船，造機の專門の方面だけではなく，苟も事國家的の事業である以上は，犧牲的精神を以て臨まれるといふ事を私は體驗致したのであります。

それは當所で御世話になりまして，今年の6月に出來上りました理研にある210瓲の大マグネツトに關することであります。これは目下建設中の大サイクロトロンに使ふものでありまして，材料は米國から輸入することに致しました。そこでこれに工作を加へ吾々の實驗室內に据付けなくてはならぬといふ問題が起りました際に，日本學術振興會の波多野さんに御相談致しました處，それは石川島に賴んだが好からうといふことで，先づ村田常務，それから松村社長に御目に掛つて御願ひしました。處がこれは國家的の仕事であるからといふので快く引き受けて下さいまして，爾來村田さんには何度となく面倒なことを依賴に參りましたが，忙しい中をいつも氣持よく事を運んで頂きました。今日の時局多事の際にも拘らず，此大サイクロトロンが現在の所迄進んで來ましたのは，石川島造船所に於ける前述の傳統的精神に基づいて，皆樣が快く御盡力下さつた爲でありまして，これに對しては私は衷心から厚く御禮申述べる次第で御座います。

先般黑住さんから通俗講演會で，私達のやつて居ります研究について話をせよといふ事でありましたが，こんな事情から喜んで御引き受け致しました。それで掲げました題の下にサイクロトロンに關係ある事柄をなるべく平易に御話したいと考へます。

2. 元　素　の　變　換

元素の變換といふのは，一つの元素を他の元素に變へることであります。元來元素とはどんな操作を施しても，これを他に變へることが出來ないものと定義せられたものであります。例へば酸素はどこ迄も酸素であつて，これを窒素や水素に變へることは出來ないといふことになつて居りました。處が今日の技術の進步は，遂に此不可能と考へられた元素の變換を，ある程度迄可能としたのであります。

昔から此元素の變換といふことは，多くの人々によつて試みられたものなのであります。それはエジプトや支那の太古から，銅や鐵など卑近な金屬を變へて，金とか銀とかの貴金屬にしやうとする試みでありました。これは所謂鍊金術でありまして，隨分問題を起したこともありましたが，結局一として成功したものはなく，悉く失敗を繰り返したのであります。

然るに今日の科學はこれを實現させたのであります。と云つても鍊金術師の考へたやうに，多量の鐵を金にするといふやうなことはやはり不可能でありまして，變換して出來るものも到底目で見えるやうな量ではないのであります。又鐵から一足飛びに金を作るといふやうなことも出來ません。今日出來ますのは原子量の近い元素の間の變換に過ぎないのであります。從つてこれ等の點から云へば，鍊金術師の夢は今日でもやはり夢として殘つて居る譯であります。然し變換して出來たものには，此地上に現存しないやうなものがあります。それは不安定で自然に崩壞する人工放射性元素，所謂人工ラヂウムであります。これはラヂウムに似た性質を持つて居り，目に見えない微量でも學術的又は實用的に色々の應用がありますから，或は將來或る意味では鍊金術の夢を異る方面で實現するやうになるかも知れません。それは今後此技術がどこ迄進むかといふ事で定まる問題であります。

3. 原子の構造

それでは以前不可能とせられた元素の變換が，今日では何故可能となつたか。これをお話するには先づ原子の構造を話す必要があります。原子とは各元素を構成する窮極の單位でありまして，各元素はそれぞれ異つた原子をもつて居ります。原子は小さなもので，其直徑は1mmの1千万分の1(10^{-7}) 乃至1百万分の1(10^{-6})の程度で，其重さは10^{-24}～10^{-22}グラム位のものであります。これがどんなに小さなものであるかといふ概念を述べますと，1グラムの水の中にある水素原子の數は約7×10^{22}でありますが，これは富士山が直徑1mmの砂ばかりで出來て居るとしますと，此富士山を數個集めた時の砂の數と大體等しいのであります。ですから「濱の眞砂」などに比べては問題なく多いわけで，原子が如何に小さいかといふ事が想像出來ると思ひます。

此原子がどんな構造をして居るものかといふことは，今世紀の初から多くの物理學者によつて研究せられたのでありますが，其結果此構造は第1圖に示すやうなものであることが判つて來ました。即ち原子には中心に原子核がありまして，これは陽電氣を帶びて居ります。そして其周圍に陰電氣を帶びた電子が運動して居るのであります。此電子の數は原子によつて異りまして，例へば水素原子では1個，ヘリウム原子では2個，リチウム原子では3個といふやうに原子量の多い程數が增し，最も多いのはウラン原子の92個であります。そしてこれ等電子のもつて居る陰電氣の總和と，原子核のもつて居る陽電氣とが，其絕對値が等しいので，從つて原子全體としては電氣的に中性になつて居るわけであります。原子の質量の殆ど全部は原子核がもつて居りまして，電子の質量はこれに比べれば無視される程小さなものです。從つて物の重さといふのは原子核の性質なのであります。

第1圖
原子模型

4. 化學變化と元素の變換

原子核の周圍にある電子の數と其狀態とが，各元素の特性を決定するものであります。然し其數や狀態を定めるものは何かと云ひますと，それは原子核の持つて居る電氣の量でありますから，結局物性の根源は原子核にありといふことが出來ます。これは後に述べる事柄からも解ることであります。

核の外側の電子の數並に狀態は，比較的容易に變化させることが出來ます。例へば水素原子と酸素原子とを近づけると，各原子の外側電子の狀態に變化を來して水の分子を形成します。それを化學記號で表はしますと

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

であります。此場合各原子の外側電子の狀態は變化しましたから，其の性質は異つたものとなります。即ち水の性質は水素や酸素と全く異つた特性を示します。然しこれは化學變化でありまして，決して元素そのものの變換ではありません。只元素の結合狀態の變化に過ぎないのであります。だから水を分解すると水素と酸素とに還元し，各原子は元の狀態に戻るのであります。此事は(1)なる化學方程式に明示されて居りまして，方程式の左邊と右邊とにある各元素の原子數は相等しく，元素は不變であることを示して居ります。

夫故化學操作を如何に行つても，到底元素の變換は行はれるものではありません。古來の錬金術の失敗は之を知らずにやつた事で，從來の物理，化學的方法を用ひても元素はどこ迄もその個性を失はないものであります。

それでは元素の變換を行ふにはどうすれば好いかと申しますと，これは先程も申したやうに物性の根源である原子核を變へる必要があるので御座います。核を變換しますと，永久にその原子を變へて了つた事になりまして，元の狀態に還つて來ることはありません。

處で此核を變化させるために必要なエネルギーは，外側電子に變化を及ぼすに要するエネルギー即ち化學變化を起すに要するエネルギーに比べて，一般に云つて10万倍乃至100万倍であります。そんな大きなエネルギーを核に與へる方法が從來は得られなかつたのでありますから，錬金術の失敗は當然であります。處が今日は技術の進歩によりまして，こんな大きなエネルギーを核に與へることが可能となりました。これが今日元素の變換を實現せしめたのであります。それではその技術とは何かと云ひますと，その一は電氣工學の進歩であり，他は眞空技術の發達であります。

5. 元素の自然變換

只今申した通り原子核を變化させることは非常に困難なことでありますが，自然は妙なもので元素によつては其原子核が不安定で，その爲に自然に崩壞して他の元素に變換して居るものがあります。それは所謂放射性元素と呼ばれるもので，ラヂウム，トリウム，アクチニウムの系統に屬する諸元素であります。

これ等の原子核は或は α-線 卽ちヘリウムの原子核，或は β-線 卽ち電子，又は γ-線 卽ち波長の極めて短いX-線を出して，順次に他の元素の原子核に移つて行き，最後には鉛となるものであります。そして此時放出されるα-線，β-線 等のエネルギーは非常に大きなものであります。かやうに一つの元素の原子核が自然に崩壞して他の元素の原子核になるといふ現象の存在が，人をして人工的に原子核を變化させるといふ事を企圖せしめた原因となつたのであります。卽ち自然に變化する原子核がある以上は，人工的にも左樣な變化を起し得るであらうとの想像を起させたのであります。

6. α-線による元素の人工變換

それでは元素の人工變換を實施するにはどうすれば好いかと云ひますと，それは誰でも想像するやうに，大きなエネルギーを有する粒子を，變換しやうといふ元素の原子核に衝突させてこれを變化させるのであります。恰度砲彈によつて敵の城壁を貫いてこれを破壞すると同樣であります。これにはその砲彈として適當のものを使ふといふことが最も大切なことであります。

此元素の人工變換を最初に行つたのは，昨年物故した英國の大物理學者 Rutherford で，1919年の事でありました。Rutherford は放射性現象の研究でノーベル賞を受けた人であります。其當時放射性物質から放射する α-線は，1 個の粒子として最も大きなエネルギーを持つた實在である事が判つて居りました。そこで Rutherford は之を原子核破壞用の砲彈として用ひました。卽ちラヂウム C′ から出る α-線 を色色の元素にブツケました所が，果してそのある物を變換させ，その破壞の破片として水素原子核が飛び出して來ることが解りました。之が有史以來元素の人工變換を確かに行つた始めであります。

今その中の二三の例を示せば次式の通りであります。

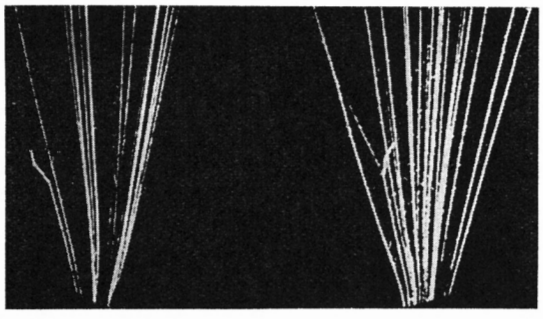
$$\left.\begin{array}{l} N^{14} + He^{4} \rightarrow O^{17} + H^{1} \\ Al^{27} + He^{1} \rightarrow Si^{30} + H^{1} \\ Mg^{24} + He^{4} \rightarrow Al^{27} + H^{1} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

例へば最初の式によれば，窒素 (N^{14}) に α-線 卽ちヘリウム (He^{4}) 原子核を衝突させると，水素 (H^{1}) を生じ殘りは酸素 (O^{17}) となるのであります。但し此酸素は普通の酸素と異り，原子量は16でなく17であります。他の式も同樣に明でありませう。

これ等の式で解りますやうに，化學記號の右肩につけた數字は原子量を表はすものであります。否嚴密に云へば原子量その物ではなく，これに最も近い整數でありましてこれを質量番號と呼んで居ります。尤も此處に云ふ原子量は，化學の方で測定する原子量ではありません。化學の方で求めるのは，色色の原子量を有し，化學的には區別出來ないものの混合物の平均原子量であります。例へば鹽素の原子量 35.46 は，原子量 34.983 と 36.980 との二種類の鹽素の適當な割合の混合の結果でありまして，純粹なものではありません。純粹なものの原子量は常に整數に近いものであります。之は原子構造の方から云ひますと，原子核のもつて居る電氣量が等しく，外側の電子の數も同じく，從つて化學的性質は變らないが，核の質量が違つて居る爲に，原子量は異つて居るものであります。かやうな元素を同位元素と云つて居ります。

上の (2) 式を前の (1) 式に比べてすぐ目につく事は，(2) では式の左邊にある元素と右邊にある元素とが全く違つたものでありまして，これが元素の變換を示して居るのであります。此やうな元素の變換を取扱ふのを原子核化學といふことがあります。核化學が普通の化學と著しく異る點は，その反應の起る確率が極めて小さい事であります。これは原子核の大さは原子の全體に比べて又非常に小さなものである爲に，ヘリウム原子核をブツケてもそれが命中する確率が原子間の衝突の場合に比べて極めて小さいことによるものであります。

第2圖は (2) の最初の式で表はした變換を目に見えるやうにしたものであります。これは Wilson 霧函と唱へる裝置によつたもので，此裝置は高速度の帶電粒子，例へば原子核や電子の通過した跡を目に見えるやうにするものであります。小さな原子核や電子の足跡を目擊し得



第 2 圖 Wilson 霧函により $N^{14} + He^4 \rightarrow O^{17} + H^1$ なる原子核反應の跡を示す。

るやうにしたといふ事は，實に驚くべき技術の進歩といふべきであります。此原理が何によるものであるかといふ事は省きますが，ともかく第2圖の白い直線は，ラヂウムから出る α-線 の空氣中を通つた跡を示すものであります。寫眞に左右二つあるのは，同じものを二つのカメラで異つた方向から撮つた双眼寫眞であります。右の圖の中に一つの直線が二つに分岐して居るのが見えます。これはヘリウムの原子核が飛んで來て窒素の原子核に衝突し，それが上式の示す通り酸素と水素とに分れたことを示すものであります。即ち細い方が水素 (H^1) で太い方が酸素 (O^{17}) の通つた跡であります。

7. 高電壓による元素の變換

上に述べた元素の變換に於ては，變換用の砲彈は天然に存在する α-粒子 を使つたのでありますが，これにはラヂウムなどの放射性元素を必要とします。然しこのものの量には制限があつて多量を得ることは困難であります。その爲に起す變換の量も僅かに過ぎません。そこで此砲彈をも人工的に多量に作らうといふ試みが，各國の物理學者によつて行はれました。

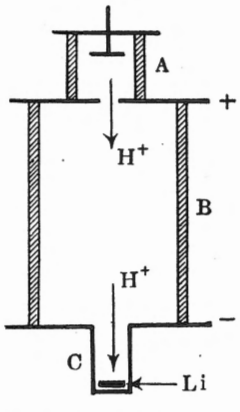
それはどうすれば好いかと云ひますと，輕い元素例へば水素やヘリウムのイオン（即ち原子核）を加速して大きな速度を與へ，之を變換しやうといふ元素にブツケれば好いわけであります。ではどうして此加速を行ふかと云へば，前にも申した通りに，原子核は陽電氣を帶びて居りますから，電極間にこれを入れると，陽極からは反撥され陰極の方には吸引せられ，之によつて加速せられます。原子核變換用の砲彈として用ひるには，どの位の電壓によつて加速する必要があるかと云ひますと，α-粒子の變換の場合から推して，大體10万ヴォルト乃至100万ヴォルトの電壓を必要とします。勿論これは高ければ高い程好い譯です。そこで各國の物理學者は，大體100万ヴォルトの直流の電源の建設を企て，夫を用ひて水素やヘリウムの原子核を加速し樣と試みたのであります。

此方法によつて元素の人工變換に最初に成功したのは1932年で，やはり Rutherford の實驗室の Cockcroft と Walton とでありました。此人達は水素の原子核即ち陽子を約12.5万ヴォルトで加速し，之をリチウムに當てた所が，次の式で示す樣にそれがヘリウムとなりました。

$$Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

これは眞の意味に於ける人工變換でありまして，砲彈も人工で作つたのであります。Cockcroft と Walton とは更に高い電壓を使つて色色の元素を同樣に變換しました。例へば

$$\left.\begin{array}{l} B^{11} + H^1 \rightarrow 3He^4 \\ F^{19} + H^1 \rightarrow O^{16} + He^4 \end{array}\right\} \cdots (4)$$

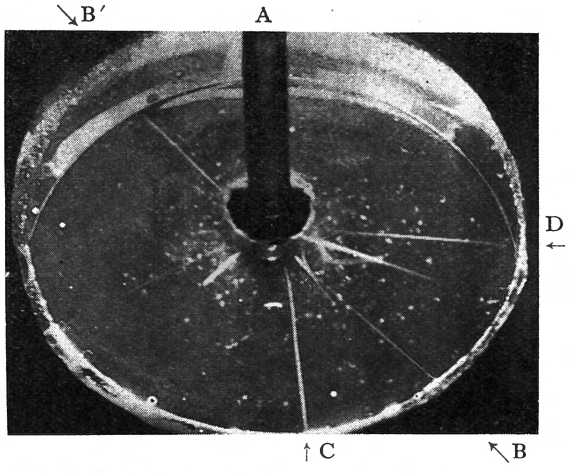


第 3 圖 高電壓による元素變換裝置の圖解

第3圖は此裝置の原理を圖解したものであります。Aは放電管で此中で水素イオン即ち陽子を發生させ，之をBなる絶緣物で出來た加速管に導入する。Bの上下には上端を陽極として高い電壓が加へられ，之によつて陽子は加速せられ，Cに置いてある種種の元素に衝突してこれを變換するのであります。

第4圖は理研の吾吾の實驗室に於て，(3) の變換を目に見えるやうにしこれを寫眞に撮つたものであります。陽子はAなる管の中を下に向つて走り，管の下端にある Li に衝突して (3) の反應を起す。そして出來たヘリウム原子核は非常な高速度で薄い箔の管壁を通して外に出て來ます。それが白い線として見えて居るものであります。圖のBとB′とは同じ反應で出來た二つのヘリウム原子核で，互に反對の方向に飛び出して來ます。C，Dなども夫々相手がある筈ですが，管壁の厚い箇所に遮られて外に出て來ない爲に見えません。

以上は原子量1の普通の水素の原子核即ち陽子による變化でありますが，水素には原子量2の重いものがあります。その原子核も元素變換用の砲彈として極めて有效



第 4 圖 Wilson 霧函により $Li^7+H^1\rightarrow 2He^4$ なる原子核反應の跡を示す

なものでありまして，今日では缺くべからざるものとなつて居ます。例へば最も簡單な變換を述べれば，重水素核に重水素核を衝突させる反應でありまして，これは次式で示すやうに二種の變換を起します

$$H^2 + H^2 \left\langle \begin{array}{l} H^3 + H^1 \\ He^3 + n^1 \end{array} \right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

即ち一方では更に重い原子量の水素と普通の水素とが出來，他方では原子量3のヘリウムと中性子とが出來ます。此中性子といふのは，重さは大體普通の輕い水素原子と等しい（極少し重い）のですが，全然電氣を帶びて居ない粒子であります。前にも述べたやうに原子は全體としては中性でありますが，これを構成する粒子は電氣をもつて居ます。處が中性子は初めから電氣を帶びて居ないものでありまして，其結果物質を透過する力が強く，生物に對してはX-線に似た作用を生ずるものであります。これについては後に述べることにします。

以上述べた變換に於きましては，出來た元素は此地上に現存する安定なものであります。處が前にも述べたやうに，場合によつては，地上にない元素も出來ます。即ちその原子核が不安定で，放射線を出して崩壞し他の元素に變るものであります。これは既述の通り人工放射性元素俗にいふ人工ラヂウムであります。人工ラヂウムといふのは，人工によつて作つたラヂウムといふのではなく，ラヂウムに似た性質を有つ元素の意味であります。人工ラヂウムの種類は非常に多く，今日では200近くも知られて居ります。そして壽命も短いものは1秒の何分の1といふ間に無くなつて了ひ，長いものは何個月又は何個年といふやうなのもあります。今一例を云へば普通の燐（P^{31}）に重水素核をブツケると，次の反應を起して放射性の燐（P^{32}）が出來ます。

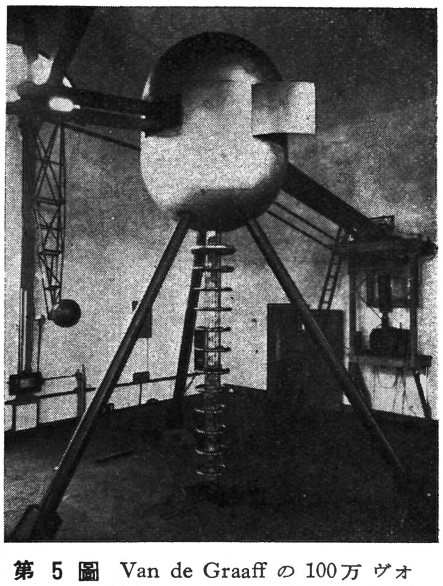
$$P^{31} + H^2 \rightarrow P^{32} + H^1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

此 P^{32} は電子を出して S^{32} になります。

$$P^{32} \rightarrow S^{32} + e^- \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

そしてその壽命は14.5日で其强度が半減するやうなものであります。前に述べたCockcroftとWaltonとは，高電壓を得るに變壓器と整流器並に蓄電器を特別の接續にして用ひたのでありますが，此方法で得られる最高の電壓は約200～300万ヴォルトであります。

米國ではVan de Graaffの方法によつて高電壓を得て居ります。これはWimshurstの感應起電機と同じ原理により，靜電的に電氣を集め高電壓を得るものであります。第5圖は米國Washingtonにある Carnegie Institutionの Tuve博士の處で使つて居る Van de Graaff式の電源と元素變換の裝置とであります。二つの調帶によつて中央の球に電氣を集め，これを高電壓にして水素核やヘリウム核を加速する電源とするのであります。これにより約100万ヴォルトの加速を行つて居ます。



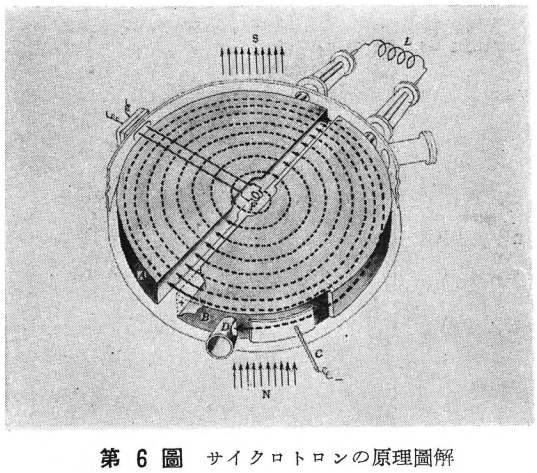
第 5 圖 Van de Graaff の100万ヴォルト電源による元素の變換裝置（米國 Washington にある Carnegie Institution の Tuve博士の實驗室），中央に多くの輪を付けた硝子管が加速裝置

此方法で電壓が制限されるのは空中放電を起して電氣が逃げるためであります。そこで最近では此裝置を高い氣壓の鐵製タンクの中に入れ，空中放電を無くして電壓の低下することを防いで居ります。これによつて500～1000万ヴォルトを得る計畫が進められて居ります。

孰れにしましても，これ等の高電壓による方法は高壓の絶縁が大問題となり，その爲に上述のやうに最高電壓が制限を受けます。即ち變壓器を用ふる方法で200～300万ヴォルト，Van de Graaff の方法で500～1000万ヴォルト以上を出すことは困難でありませう。そこで此絶縁の困難を避けて更に高い電壓に相當する加速を行ふ次の方法が考案せられました。

8. サイクロトロンによる元素の變換

それは米國加州大學の E. O. Lawrence 教授の着想であります。此原理は100万とか200万ヴォルトとかいふ高い電壓を加へて，イオンを一度に加速することをやめて，10万ヴォルト以下の電壓をイオンの走る路に沿つて，何度も反覆して與へ，これによつて高壓によつて一度に加速したと同等の速度を得るものであります。第6圖及び第7圖に其原理を圖解してあります。

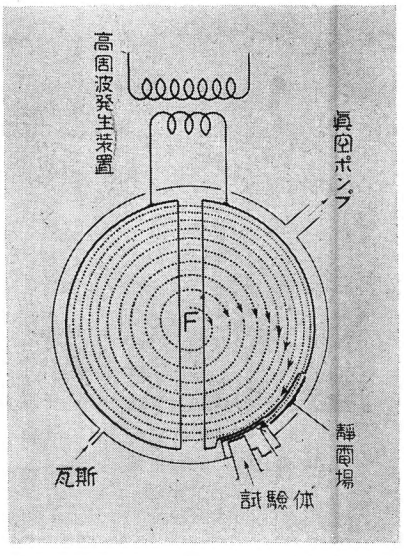


第 6 圖　サイクロトロンの原理圖解

A, B, 加速電極；　C, 引出し電極；
D, 元素の變換を行ふ場所；　F, 白熱纖條

第6圖はサイクロトロンの蓋及び外側のタンクの壁を取り除いて内部を示したもので，豆太鼓を半分に切つたやうな，半圓形で中空の A, B なる銅の加速電極がその大部分を占めて居ります。此ものの直徑は大抵數十糎であります。

使用する時にはこれがタンクの中に氣密に封じ込まれ，先づ速い油擴散ポンプにより高度の眞空（水銀柱 10^{-6} ～ 10^{-7}mm）にします。それから加速しやうとする元素，例へば水素又はヘリウムなどの稀薄な瓦斯を，水銀柱 10^{-4} ～ 10^{-3}mm 程度の氣壓に流してやります。（第7圖參照）そして中央にある F なる タングステンの纖條に電流を通じてこれを白熱し電子を飛び出させ，此電子によつて水素又はヘリウムを電離して，其イオン即ち裸の原子核を作ります。一方ラヂオの放送局にあるやうな高周波の發振器を用ひて，波長20～30 m（周波數 10^7 サイクルの程度）の電氣振動を起させ，これをLなるコイルを通して，A，Bなる加速電極に加へてやります。その電壓は5～10万ヴォルトであります。



第 7 圖　サイクロトロンの原理圖解

上述の通りサイクロトロンの中央近くに，陽電氣をもつた裸の原子核が出來て居る處に，此高周波が加へられると，例へばAが陰極，Bが陽極となつた瞬間には，此イオンはBからAに向つて5～10万ヴォルトの加速を受けて，Aの電極の中に入つて行きます。Aの電極内には電位差はないから，此イオンは直線的に進む筈ですが，此タンクは全體として大きなマグネットの極の間に入れてありまして，第6圖に示すやうにNSの方向に磁場が加へられて居りますから，イオンは其作用を受けて圓形の路を描いて走り，反對側の A, B の間隙に出て來ます。處が磁場の强さと，高周波電壓の周波數とが適當に調整せられて居りまして，イオンが A, B の間隙に出て來る迄には電壓の位相が移つて，前と恰度反對にAの方が陽極，Bの方が陰極になつて居ります。從つてイオンは此間隙に出て來ると再び其走る方向に向つて 5～10万ヴォルトの加速を受けます。そしてその走路の半徑を增してBに入り，此内で半圓を描いて又 A, B の間隙に出て來，ここで走る方向に又加速されて半徑を增しAの電極内に入つて行きます。これを反覆して走路の半徑は次第に增して來ます。此半徑とイオンの速度とは比例しますから，間隙に至る迄の時間は，どの半徑を走るものに

ついても皆同じであります。かやうにしてイオンは一回轉毎に2度卽ち10～20万ヴォルトの加速を受けることになります。從つて20回轉したとすると200～400万ヴォルトで加速せられたと同じ速度を得ます。

半徑が充分增して來ますと，Cなる引出し電極の右側に見える間隙に達し，之を通過してBなる電極の外に出て來ます。さうするとCには約5万ヴォルトの陰電壓が加へてありますから，此靜電場に引つ張られて少し外方に出て來ます。そこで之に種種の元素をブツケて變換を行はせるのであります。場合に依てはイオンを更に引き出して遠くの方へ持て行き實驗をする樣にも出來ます。

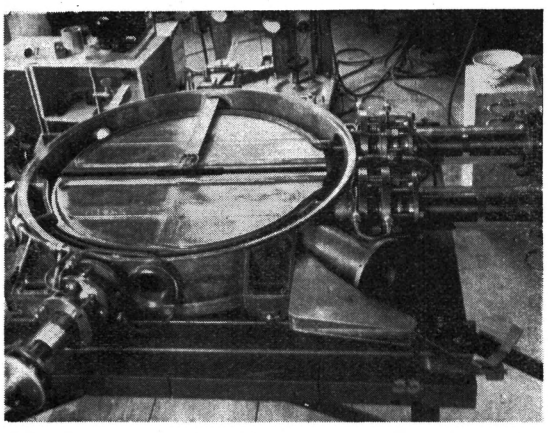
これで解るやうに此裝置の絕緣は高周波電壓10万ヴォルトに對するものさへあれば充分で，しかも數百万ヴォルトで加速されたと同じ速度のイオンが得られるのであります。これは有利な點でありますが，只高周波の發振器と大きなマグネツトとが必要です。前者は今日のラヂオの放送局に使つて居るものと同程度であつて，これを使へば好いわけであります。マグネツトの方は隨分大きなものを必要とします。今日一般に使はれて居るのは，重さ數十瓲，磁極の直徑數十糎乃至1米といふやうなものであります。これは此方法の一つの缺點と云へば云へるかも知れません。

9. 理化學研究所に於けるサイクロトロン

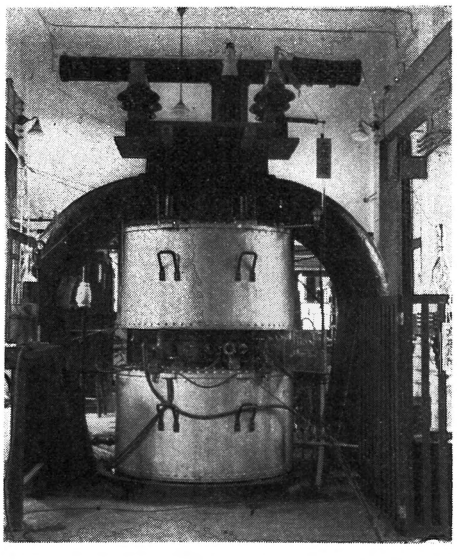
理化學研究所の原子核實驗室に於ては，原子核の研究並に其應用を企圖し，これに必要な設備を具へて居りますが，其中に目下操作して居る小さいサイクロトロンと，建設中の大サイクロトロンとがあります。

前者は重量23瓲のマグネツトを用ひ，現在約300万ヴォルトで加速したと同等の速度をもつ重水素核を得，これによつて色色の研究を行つて居ります。此マグネツトは元日本無線電信株式會社の原町出張所に於て，米國への無線電信の通信に使つたものでありますが，今日は方式が全く變つて不用となつたので，これを寄贈して貰ひ改造してサイクロトロンを作つたのであります。

第8圖は此サイクロトロンの蓋を取つて內部を示したものであり，第9圖はこれを23瓲のマグネツトの間に入れて操作して居る所であります。目下重水素核の電流約50マイクロアンペアーを得て居ります。



第8圖　理研小サイクロトロンの內部



第9圖　操作中の理研小サイクロトロン

吾吾は最初からもつと大きなサイクロトロンの建設を企てて居たのでありまして，上述の小サイクロトロンは經驗を得る爲準備として作つたのでありました。然し大きなサイクロトロンを作ると云ふことは，相當經費の掛ることで，之が問題となつて居たのでありましたが，幸にして日本學術振興會に於きましては，其積立金11万圓を支出しまして，此計畫の實現に乘出す事と決りましたので，吾吾は愈愈その設計に着手する事になりました。

恰度その時サイクロトロンの考案者 Lawrence 教授の方でも，約200瓲のマグネツトを有するサイクロトロンの建設を計畫して居るといふことを聞きましたので，同教授に手紙を出して先方の作つて居るのと全く同じマグネツトを購入することに助力を依賴しました處が，これを快諾して呉れましたので非常に安く材料を手に入れることが出來，三井物產會社の盡力によつてこれを輸入したのであります。

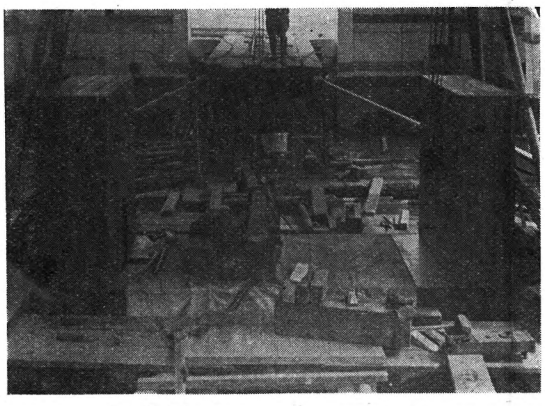
此マグネツトの鋼の部は重量約180瓲で，厚さ2吋重量約2瓲の板を重ねて作ることになりました。又コイルは總重量約24瓲で，油に浸してこれを入れる鐵のタンクと共に米國で作つてこちらへ送ることになりました。

さて此鋼の部分並にコイルの部分の工作及び組立をどうするかが問題でありましたが，最初申述べましたやうに當造船所に御願ひする事になりました。鋼の材料は本年1月末に横濱に到着しました。そして此時局多事の際にも拘らず，皆様の特別な御盡力によりまして，豫定通に本年6月に組立が終了しました。これは吾吾としては洵に感謝に堪へぬ所でありまして，之によつて此大サイクロトロン建設もその半ばを完成した事になりました。

第10圖は此大マグネツトの鋼の部の組立て工事を示して居ます。第11圖はコイルの組立試驗を行つて居る所であり，第12圖は此コイルを入れるタンクの修繕工事であります。そして第13圖は組立の濟んだ大マグネツトを示して居ります。

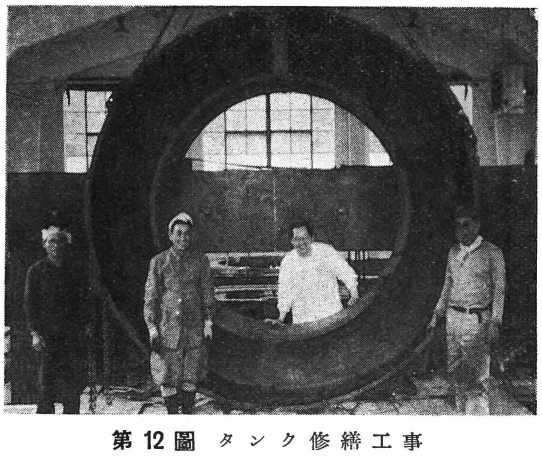
此マグネツトは高さ3.5m，幅4.85m，奥行1.8mでありまして，磁極の直徑は根元が1.8m，尖端が1.5mに絞つてあります。兩磁極の間の間隙は約550mmで，その並行度が $\frac{5}{100}$ mmの精確度をもつて居ります。此並行の精確度はサイクロトロンの方からは $\frac{1}{10}$ mmを要求したのでありますが，それ以上に好結果を得たわけであります。而かもこれは何の調整も行はず，只一度締めると出來上つて了つたので，吾吾は驚嘆した次第でありました。私は參觀人の來る毎に此事を話して，これは一つの大きな精密機械であることを强調して居ります。

これでマグネツトは出來上つたのでありますが，此中に入れるサイクロトロンが又大切な問題であります。これは砲金の鑄物でありまして，これも設計の修正から鑄造，工作に至る迄全部當所の御世話になりまして，最近實驗室の方へ搬入になりました。そして目下その眞空試驗に着手して居ります。第14圖は此サイクロトロン胴體の寫眞でありまして，その内徑約1.5m，高さ約30cm，重量約500瓩の鑄物であります。そしてこれに厚さ10cm重さ1.5瓲の鋼の蓋が上下に附いて居ります。これを前述の通り水銀柱 10^{-6}～10^{-7}mmの高眞空にする必要があります。これは中中骨の折れる仕事でありまして，目

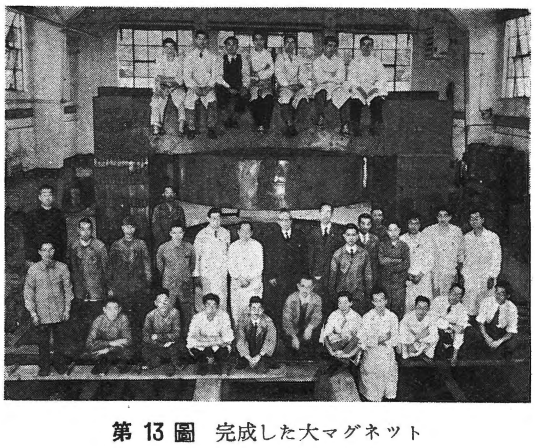


第10圖　大マグネツトの組立工事

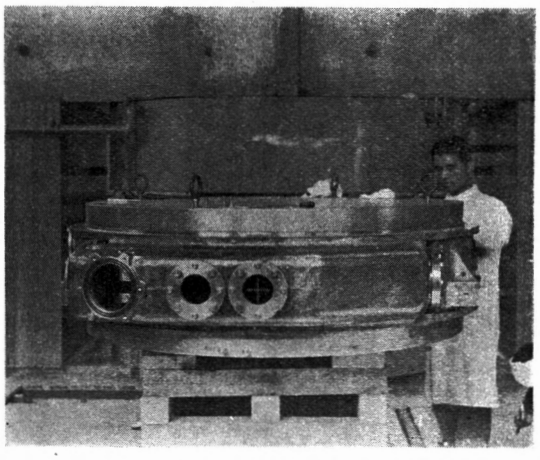
第11圖　大マグネツトのコイル組立試驗



第12圖　タンク修繕工事



第13圖　完成した大マグネツト



第 14 圖 大サイクロトロンの胴體

下これに努力を集中して居ります。

此中に入れる電極その他も現在理研の工作係で製作中でありまして，これが出來上り，その上に東京電氣無線會社に依頼してあります發振器が完成して參り，それから愈愈運轉を開始するのは，まだ 3～4 個月先の事と思はれます。

これと全く同じ大さのものが，目下米國の Lawrence 教授の所でも出來かけて居るわけでありまして，此二つは實際世界最大のものであります。此サイクロトロンを使ひますと，2,000 万ヴォルトで加速したと同等の速度をもつ重水素核が得られます。これをブツケますと，恐らく變換し得ない元素はないであらうと期待して居ります。

10. サイクロトロンによる研究

現在理研で操作して居るサイクロトロンを使つて，どんな研究を行つて居るかと申しますと，それは物理學の方面と生物學の方面とであります。先づ物理學の方では所謂人工ラヂウムの研究を行つて居ります。即ち得られる重水素核を用ひて直接色色の元素を變換させたり，又は重水素核で Be, Li などの元素を衝擊して中性子を發生させ，これによつて元素の變換を行はせて居ります。そして其際出來る諸種の人工放射性元素の特性を研究して居ります。これには強いもの弱いもの，又壽命の長いもの短いものがあります。その強いものはラヂウム數十瓩に相當する强度のものが得られるやうであります。

又上述のやうにして得られる中性子が，生物にどんな影響を及ぼすものであるかを中泉博士その他の人人が研究して居ります。例へば廿日鼠に中性子を當てるとその臟器が破壞されるとか，又ソラ豆に當てると其發育が遲れるとかいふ事が明になりました。Lawrence 及びその共同研究者は，中性子が癌の細胞を弑す作用は，X-線よりも有利であるといふ結果を發表して居ります。吾吾の方でも此研究を行つて見ることになつて居ります。又中性子を動植物に當てると，色色の變種を作るといふ事も興味ある問題でありまして，中泉博士その他の人人は，蠶の卵に中性子を當てて生ずる變種を研究して居ります

又前述の人工ラヂウムを用ひると，色色の元素が動植物にどんなに吸收せられ，それがどんなに體內に分布循環するかといふ事が，極めて具體的に解つて來ます。その原理は，人工ラヂウムは普通の元素の同位元素でありまして，化學的性質は少しも變りありません。例へば前に述べました放射性の燐も普通の燐も，その化學的性質は全く同じでありますから，動植物がこれを攝取循環する狀況は兩者差異はありません。それで放射性燐を動植物に攝取せしめ，ある時間を經過してその各臟器又は部分を切り取つてこれを燒き，其放射性の强度を測定することによつて，攝取した燐のどれだけが何處の部分に行つたかといふ事が明瞭に知れます。これは放射性能の測定は，化學方法では到底行はれないやうな微量に對しても可能である事を利用したのであります。此方法によつて今後動植物の生活機能の研究が非常に進むであらうと考へられます。

次に人工ラヂウムを治療に用ひることでありますが，これも米國などでは始められて居るやうであります。然しこれは結局どれだけ多量に人工ラヂウムを作り得るかといふ事で決定される問題であります。此意味に於きましても，建設中の大サイクロトロンの將來は注目すべきであります。かやうに考へて見ますと，此大サイクロトロンは，我國學術の進步途上に於ける一つの記念塔とも云ふべきものと思つて居ります。（終）