

JAERI - M  
85-164

重イオン照射化学反応測定装置

—JAERIタンデム加速器実験計画—

1985年11月

イオンビーム化学反応検討グループ

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 山 田 軽 印 刷 所

重イオン照射化学反応測定装置  
—JAERIタンデム加速器実験計画—

日本原子力研究所東海研究所化学部  
イオンビーム化学反応検討グループ<sup>+</sup>)

(1985年10月1日受理)

JAERIタンデム加速器を用いてイオンビームによる化学反応を研究するために、研究計画の基本的な考え、照射同時測定を主体とする実験内容、必要な装置の仕様を検討し、その概要を関連研究者の参考に資するためにまとめた。

---

+ ) イオンビーム化学反応検討グループ

(代表；化学部) 大野 新一

(化学部) 出井 数彦, 佐々木貞吉, 古野 茂実, 古牧 睦英, 北条 喜一,

曾我 猛, 古川 勝敏, 馬場 祐治

(物理部) 小沢 国夫, 中井 洋太, 川面 澄, 左高 正雄

(高崎研究所) 鈴木 伸武, 池添 康正, 徳永 興公, 新井 英彦, 瀬口 忠男

永井 士郎

JAERI-M 85-164

A Proposal for Study of Ion-beam Induced Chemical  
Reactions using JAERI Tandem Accelerator

Study Group for Ion-beam Induced Chemical Reactions<sup>+) )</sup>

Department of Chemistry, Tokai Research Establishment, JAERI

( Received October 1, 1985 )

Problems in ion-beam induced chemical reactions using JAERI Tandem Accelerator were discussed. Research philosophy, some proposed experiments which are based on measurements during ion-beam bombardment, and main features of the experimental apparatus are briefly described in this report.

Keywords: Heavy Ion, Tandem Accelerator, Chemical Reaction,  
Radiation Chemistry, Particle Track, W-value  
Research Programs

---

+ ) S. Ohno (chairman; Dept. Chem.)

K. Izui, T. Sasaki, S. Furuno, Y. Komaki, K. Hojo, T. Soga,  
K. Furukawa, and Y. Baba (Dept. Chem.)

K. Ozawa, Y. Nakai, K. Kawatsura, and M. Satoka (Dept. Phys.)

N. Suzuki, Y. Ikezoe, O. Tokunaga, H. Arai, T. Seguchi, and  
S. Nagai (Takasaki Res. Estab)

## 目 次

1. 概 要 .....	1
1.1 目的及び必要理由 .....	1
1.2 仕様・性能等 .....	2
2. 基本的な考え方 .....	3
3. 実験計画 .....	5
3.1 固体からの放出電子の測定 .....	5
3.2 気体イオン化量の測定 (W値の測定).....	6
3.3 イオン化量の分布と Degradation Spectrumの測定 .....	6
3.4 分解生成物の質量分析 .....	6
3.5 高分子多孔性膜の作製 .....	7
3.6 画像処理 .....	7
4. 装置組立にさいしての検討項目 .....	7
5. 終 章 .....	9
引用文献 .....	10
付録 (重イオン照射化学反応測定装置製作仕様書) .....	23

## CONTENTS

1. Summary .....	1
1. 1 Objectives of the Research .....	1
1. 2 Main Features of the Apparatus .....	2
2. Philosophy for Studying Ion-beam Induced Chemical Reactions .....	3
3. Proposed Experiments .....	5
3. 1 Electron Emission from Solid Targets .....	5
3. 2 Ionization Measurements in Gases (W-value Measurements) .....	6
3. 3 Spatial Distribution of Energy Deposition and Degradation Spectrum .....	6
3. 4 Mass Spectrometric Measurements for Chemical Reaction Products .....	6
3. 5 Etched Particle Tracks .....	7
3. 6 Image Analysis .....	7
4. Design Considerations .....	7
5. Conclusions .....	9
References .....	10
APPENDIX (Specifications for the Experimental Set-ups) .....	23

# 1. 概 要

## 1.1 目的及び必要理由

重イオン照射によって化学系が吸収するエネルギー密度（単位体積あたりの吸収エネルギー量、ひいては化学系の1個の分子の受けとるエネルギー）は、ガンマ線・電子線照射の場合に比して桁違いに大きい。そのために新しい化学反応が予想される。

たとえばMeVエネルギー領域のガンマ線・電子線が物質中を走るときには、飛び飛びに少しづつ（10—30 eV）エネルギーを物質に付与するので、エネルギー吸収密度は小さく、また1個の分子の受けとるエネルギーも10—30 eVにとどまる。<sup>1)</sup>（この値は光化学では5—10 eV、電気化学では1—5 eVであり、熱化学ではさらに小さい）。ところが重イオン線の場合では<sup>2)</sup>、核種及びエネルギーに応じて阻止能は $10-10^3 \text{ eV}/\text{\AA}$ と変化し、<sup>3)</sup>（表1）この値から予想されるように、エネルギー吸収密度は大きく（図1）、また1個の分子の受けとるエネルギーは1000 eVにも達する。このような高い励起をうけた分子、及びエネルギー吸収密度の大きい分子集団はどのような化学反応をひき起こすのか？この問題は基礎化学の立場から関心が深いだけでなく、最近注目されているガン治療における重イオン線の効果<sup>4)</sup>や化合物材料の放射線損傷における化学反応の効果<sup>5)</sup>など、実用面からも、解明されることが強く望まれている。

本装置は、この問題の解明を目指して、まずエネルギー密度の空間分布の測定（マイクロドシメトリー）技術を確立し、エネルギー密度に対応する化学反応を究明する目的をもって設置し、またその応用として同位体分離などに期待される高分子多孔性膜の作製のための基礎データを得るために使用する。

### (i) マイクロドシメトリー

重イオンの物質へのエネルギー付与は、重イオン飛跡を中心に数nmの高密度のコア部（重イオンにより直接に電離・励起をうける部分）、さらに数 $10 \mu\text{m}$ のペナンプラ部（重イオン衝突により発生した $\delta$ 線、Auger電子により間接的に電離・励起をうける部分）にわたって不均一に分布する（図1, 2, 3；表2）。われわれは1本の入射イオン飛跡の周辺におけるエネルギー付与の空間的分布を知りたい。そのために固体内の1nmの大きさを10mm程度の希薄気体でシミュレートし、気体に対するエネルギー付与量に比例して気体の電離が起こるとの仮定から、気体電離測定により重イオン飛跡周辺部のマイクロドシメトリーを行う。現在、この分野の研究は米国Brookhaven研究所で進められている<sup>6)</sup>。われわれは重イオンの電荷と速度をパラメータとしてエネルギー吸収密度に関する一般的経験則を得ることを目標とする。

### (ii) 化学反応生成物の同定：

重イオン衝突により大きなエネルギーを吸収した分子は、ばらばらに分解してそのフラグメントが周囲に飛散する。固体試料の表面から真空中に飛び出すフラグメントの電荷、質量、及び運動エネルギーをタンデム加速器からのパルス化ビームと同期させて測定し、反応生成物を同定する。

(iii) 多孔性高分子膜作製<sup>9)</sup>

タンデム加速器の単一核種、均一エネルギー、方向一定の照射の特徴を活かし、精度の高いデータを得ることができる。本装置では、各種高分子材料を種々の条件下で重イオンビームの照射を行い、飛跡周辺に生成した活性種を反応性気体あるいは液体との反応を調べ、多孔性膜作製の基礎的データを求める。

なお、核分裂片を用いたこの種の多孔性膜は米国 Nuclearpore 社より市販されており、主として赤血球分離などの医療診断用に使用されている。また重イオンビームを使っての研究は西ドイツ GSI - Darmstadt で進められている。<sup>10)</sup>

## 1.2 仕様・性能等

本装置は、照射系、線量測定系、化学反応測定系の3部から成り、操作及び測定は遠隔より行う。

## (i) 照射系

照射終了後、試料を直ちに任意の気体雰囲気にならすことができる。照射時間可変用ビームチョッパー ( $10^{-3}$  - 1 秒)、ビームモニター、試料交換装置、精密気体圧力計付

## (ii) 線量測定系：

(イ) 大型電離箱：内径約30 cm、長さ100 cmのシリンダー容器から成り、円筒軸に沿って細くしぼられた重イオンビームが走る。容器に高圧 (+200 V程度) が印加され、電離により発生した電子及び負イオンは中央部にある電極に集められる。円筒容器を満たす気体圧を  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  Torr に変化させることにより、密度  $1 \text{ g/cm}^3$  の固体のイオン飛跡中心から 1 - 1000  $\mu\text{m}$  の大きさの部分のマイクロシメトリが可能となる。

(ロ) 窓なし電離箱 (6個)：大型電離箱のビームの通る線からほぼ 3 cm の距離をおいて平行に 6 個のメッシュ電極による窓なしの電離箱を並べる。重イオンビームのエネルギー付与量の深さ方向の分布を知ることができる。1 個の窓なし電離箱の寸法は直径 1.5 cm、長さ 15 cm のメッシュ電極と電離電流収集電極から成る。

(ハ) プローブ電離箱：直径 1.5 cm、長さ 12 cm 程度のメッシュ電極と電離電流測定電極から成る電離箱である。装置の外部からの操作で、回転及び平行移動させることが可能で、大型電離箱中のいろいろな位置を占めることができる。

## (iii) 化学反応測定系：

(イ) 四重極質量フィルター：チャンネルトロン検出器、パルス計数方式；半球型静電エネルギー分析器付

(ロ) 飛行時間測定装置：マイクロプレート検出器、時間-パルス高変換器、多重パルス高分析器付。質量分解能 2000。

## (iv) 排気系

ターボ分子ポンプ (300  $\ell/\text{s}$ ) 2 台



## 2. 基本的な考え方

研究計画をすすめるにあたり、以下のことを念頭におく。

(1) 誘起される化学反応の種類は1回の衝突により決定される。

分子が受けとるエネルギーは、1回の衝突あたりでは小さくても、次つぎに入射イオンがやってくるので、照射を続けるならばいくらでも大きくなるように思われるかも知れない。しかし誘起される化学反応の種類を決めるのは1回の衝突である。このことを以下に説明する(図4)。

いま $1\mu\text{A}/\text{cm}$ のイオン電流密度である試料が照射されているとする。試料中の分子の衝突断面積が $10^{-15}\text{cm}^2$ とするとき、この分子の平均の衝突頻度は $(10^{-6}/1.6 \times 10^{-19}) \times 10^{-15} \approx 10^{-2}\text{ s}^{-1}$ である。さて、最初1個のイオンがこの分子の近くを素速く( $10^{-17}\text{ s}$ )通り過ぎ、これに刺激されて分子が電子励起をうける( $10^{-15}\text{ s}$ )。つぎに電子配置が変化するため電氣的安定な場を求めて分子内の原子核(つまり原子)が動きだす( $10^{-13}\text{ s}$ )。励起エネルギーを光の形で放出( $10^{-9}\text{ s}$ )したりして、重イオン通過後 $10^{-6}\text{ s}$ にはすっかり落ち着いた状態になってしまい、やがて $10^2\text{ s}$ 後にまたつぎのイオンの衝撃をうける。この衝突のくり返しがぼう大な回数(たとえば $10^4$ )続けられる。

放射線損傷や放射線化学の通常の研究では、このぼう大な回数の照射の残存している効果をそれまでに系が受けとったエネルギー総量と対比させて調べるのである。時には、試料の深さ方向の吸収エネルギー分布をパラメータにとるが、やはり多数回の衝突の積算であることには変りない。

これに対してわれわれの目指すことは、1本1本の重イオン通過により生じる現象を可能な限りはっきりさせること、この時点で、電子線と重イオンの違い、及び重イオンの中でも電荷や速度の違いによる物質の側の状況の違いを放射線1本についてはっきりさせることである。より具体的には、エネルギー付与状況をはっきりさせることであり、いわゆるマイクロドシメトリーを行うことである。1本の放射線についての結果が得られたら、これを単純に加算することにより実際の照射効果の解析が可能となる。

(2) 重イオン衝突では1個の分子の受けとるエネルギー量が大きい。

ガンマ線・電子線が物質中を走るときには、飛び飛びに少しずつ(10-30 eV)エネルギーを物質に付与するので、エネルギー吸収密度は小さく、また1個の分子の受けとるエネルギーも10-30 eVにとどまる。このエネルギーは主として分子の外殻軌道電子の中の1個を励起するのに消費される。

これに対して重イオン線衝撃の場合では、入射イオン自身が原子核と多数の電子をもつため、標的分子の内殻軌道の励起及び複数個の電子の同時励起、さらにはイオンのもつ大きな運動量による分子内原子のはじき出しなどが頻ぱんに発生する。このため1個の分子の受けとるエネルギーは大きくなり、ある場合には、1000 eVにも達するものと考えられる。

重イオンに対する物質の大きな阻止能の値、すなわち $10-10^3\text{ eV}/\text{\AA}$ の範囲にある(表1)こと

は、重イオンから物質へのエネルギー移行の頻度が高いことないしは1回あたりのエネルギー移行量が大きいことの2つに起因する。エネルギー移行の頻度が高いときは、イオン飛跡に沿って近接して生成物ができるので、生成物同士の相互作用が発生する。これは通常の化学反応であるので何が起こるかを予想することができる。これに対して、1回あたりのエネルギー移行量の大きいときには、そのエネルギーを受けとった分子はどのような反応を起こすのかについての知見がほとんどない。エネルギー移行量が大きいときは、内殻電子の励起または多電子励起が起こる<sup>11)</sup>。内殻励起の場合でも、続いてオーグメント電子放出が起こるので、いずれの場合も分子の多価イオン状態ができる。つぎにクーロン反発力により分子はばらばらに解裂するものと考えられている。

(3) 阻止能でなく、エネルギー吸収密度が重要なパラメータである。

運動エネルギー  $T$  をもった入射イオンと物質を考える。両者の相互作用により入射イオンの運動エネルギーの一部  $E$  が物質に移行されたとして、エネルギー移行前後の両者の状態を記述することを考える。

入射イオンに注目する限りでは、運動エネルギーが  $T$  から  $T-E$  に変化したというだけで充分である<sup>注)</sup>。これに反して、物質の状態変化に注目するとき、エネルギー  $E$  の吸収というだけでは不充分である。何故ならば、まずこの  $E$  がどれだけの範囲の分子（何個の分子）に吸収されたか、1個あたりの分子の受けとったエネルギー量の分布はどうか、などの情報に欠けるからである。この事情は図5で模式的に説明される。すなわち阻止能としては同じ値であっても、物質の側からみたエネルギー吸収密度は差違があり得ることになる。この差違によって、①生成物同士の相互作用の有無、②1個の分子の受けとるエネルギー量の大きさが異なるので、以降の様相に違いが生じる。(図6, 7, 8)

(4) パルス化ビームの利用

いま密度  $10^{22}$  A原子/cm<sup>3</sup> の物質を考え、これに対して飛程が  $100 \mu\text{m}$  であるような重イオン B ( $100 \text{ MeV}$  としよう) を  $10 \text{ nA/cm}^2 (= 6 \times 10^{10} \text{ 個/s})$  の電流密度で照射したとする。注入される B の A に対する濃度は毎秒およそ  $10^{-7}$  の割合で増加する。1時間照射しても B は  $0.02\%$  に過ぎない。したがって照射前後の物質の巨視的性質の変化を測定することから、入射イオンの挙動や性質を探る試みはかなりの困難が伴うことになる。通常は長時間照射によって困難を乗り越えているようである。

幸いにしてわれわれの目指す測定は、このような物質の巨視的性質ではない。(1)で述べたように、1回の衝突により起こる現象をみようというものである。このために用いる入射ビームとしては、2つの場合がある。1つは、入射ビームの強度を十分に低くして2個以上の入射イオンが空間的に重なり合わないように照射し、それらを空間的に分離したまま測定する場合である。他は、入射イオンが時間的に重なり合わないように照射し、その効果を時間的に分離された状態（時間分離）で測定する場合である。

前者は、入射イオン強度を小さくするかあるいは短時間照射で達成できる。後者は、イオン強

注) 入射イオンが構造をもつ粒子の場合には、運動エネルギーだけでなく、粒子の内部エネルギーの変化も考慮しなければならない。

度を低くして1個の入射イオンによる現象の測定が終わってから次の入射イオンがくるようにするか、あるいはパルス化ビームを用いて同期測定を行うことにより達成できる。

### 3. 実験計画

多価荷電の高速イオンが固体(凝縮相)を走るとき、そのイオン飛跡の周辺に電子励起・イオン化の領域を形成する。この領域は飛跡中心からの距離に応じて大きく2つに分けられる。重イオンにより直接形成される数nmの高密度のコア部と重イオン衝突により発生した高エネルギー電子により間接的に形成される数10 $\mu$ mのペナンプラ部である。図2にコア部の1部とここから発生した高エネルギー電子の飛跡を示す。高エネルギー電子はさらにイオン化を起し、2次・3次電子を発生する。またコア部からも低速電子が発生する。そのため重イオン飛跡周辺では、あらゆる方向にいろんなエネルギーの電子が走っている(図9, 10, 11)。これら電子の運動エネルギーの総和は重イオンからのエネルギー付与量の50%になるという<sup>13)</sup>。このエネルギースペクトルをとくに Degradation spectrum と呼ぶ。またコア部からは、種々な機構により原子・イオンやクラスターの放出、光・X線の放出も起こっている。われわれの目標は、1本の入射イオン飛跡の周辺におけるエネルギー付与密度の空間分布を知り、これに対応した化学的効果(これの1つの応用として高分子多孔性膜作製を研究する)を知ることである。

そのために以下の実験を計画する。なお対象とする試料は、高分子及び無機化合物の薄膜である。さらに測定技術上の理由から、これら固体をシミュレートできるような気体を測定対象とする。

#### 3.1 固体からの放出電子の測定

##### ①電流計を用いる測定(図12, 13)

円筒状容器をファラデーカップとし、ここを流れる電荷 $Q_F$  ( $< 0$ )と容器中央に位置する試料ホイルを流れる電荷 $Q_T$  ( $> 0$ )を同時に測定する。重イオンは数mmにしばった比較的強度の高いビームを用いる。試料ホイル通過前後の重イオンの平均電荷をそれぞれ $\bar{q}_i$  及び $\bar{q}_f$  とすれば、放出電子収量 $\gamma$ は、

$$\gamma = \bar{q}_f - \frac{Q_F \bar{q}_i}{Q_F + Q_T}$$

である<sup>14)</sup>。この測定には、デジタル電流積算計2台、バイアス用電源(DC 300V)2台、追い返し用電源(10kV)1台を必要とする。問題点は、ホイル通過後の重イオン荷電数の見積り(実測または計算による)が必要なことである。

また図13の配置は、マルチアノードを用いて、2次電子の放出角度分布を測定するためのものである。やはりグリッドを用いてバイアスをかけエネルギー測定を行うことができる。電子電流はエレクトロメータ、AD変換、計数量、及びデータ記憶系を必要とする。

度を低くして1個の入射イオンによる現象の測定が終ってから次の入射イオンがくるようにするか、あるいはパルス化ビームを用いて同期測定を行うことにより達成できる。

### 3. 実験計画

多価荷電の高速イオンが固体(凝縮相)を走るとき、そのイオン飛跡の周辺に電子励起・イオン化の領域を形成する。この領域は飛跡中心からの距離に応じて大きく2つに分けられる。重イオンにより直接形成される数nmの高密度のコア部と重イオン衝突により発生した高エネルギー電子により間接的に形成される数10 $\mu$ mのペナンプラ部である。図2にコア部の1部とここから発生した高エネルギー電子の飛跡を示す。高エネルギー電子はさらにイオン化を起し、2次・3次電子を発生する。またコア部からも低速電子が発生する。そのため重イオン飛跡周辺では、あらゆる方向にいろんなエネルギーの電子が走っている(図9, 10, 11)。これら電子の運動エネルギーの総和は重イオンからのエネルギー付与量の50%になるという<sup>13)</sup>。このエネルギースペクトルをとくに Degradation spectrum と呼ぶ。またコア部からは、種々な機構により原子・イオンやクラスターの放出、光・X線の放出も起こっている。われわれの目標は、1本の入射イオン飛跡の周辺におけるエネルギー付与密度の空間分布を知り、これに対応した化学的効果(これの1つの応用として高分子多孔性膜作製を研究する)を知ることである。

そのために以下の実験を計画する。なお対象とする試料は、高分子及び無機化合物の薄膜である。さらに測定技術上の理由から、これら固体をシミュレートできるような気体を測定対象とする。

#### 3.1 固体からの放出電子の測定

##### ①電流計を用いる測定(図12, 13)

円筒状容器をファラデーカップとし、ここを流れる電荷 $Q_F (< 0)$ と容器中央に位置する試料ホイルを流れる電荷 $Q_T (> 0)$ を同時に測定する。重イオンは数mmにしぼった比較的強度の高いビームを用いる。試料ホイル通過前後の重イオンの平均電荷をそれぞれ $\bar{q}_i$ 及び $\bar{q}_f$ とすれば、放出電子収量 $r$ は、

$$r = \bar{q}_f - \frac{Q_F \bar{q}_i}{Q_F + Q_T}$$

である<sup>14)</sup>。この測定には、デジタル電流積算計2台、バイアス用電源(DC 300V)2台、追い返し用電源(10kV)1台を必要とする。問題点は、ホイル通過後の重イオン荷電数の見積り(実測または計算による)が必要なことである。

また図13の配置は、マルチアノードを用いて、2次電子の放出角度分布を測定するためのものである。やはりグリッドを用いてバイアスをかけエネルギー測定を行うことができる。電子電流はエレクトロメータ、AD変換、計数量、及びデータ記憶系を必要とする。

## ②パルス計測を用いる測定 (図 14)

静電レンズ内におかれた試料ホイルから重イオン通過により放出された2次電子を10-20 kVに加速してSSDで検出する。ホイルを通過した重イオンの検出との同時計測により、電子検出のパルス波高分析を行う。パルス高から検出電子の個数がわかる<sup>15)</sup>。必要なモジュールとしては、SSD、プリアンプ、20 kV電源、10 kV電源、アンプ、コインシデンス、MCAなど。このうち重イオン検出用SSDは、場合によってはPSDに置きかえて荷電数の測定を行う。

また図 15 に示す小型の電子エネルギー分析器<sup>16)</sup>がうまく作動すれば、固体からの2次電子の放出角度とエネルギー分布の測定ができる。

## 3.2 気体イオン化量の測定(W値の測定)<sup>17)</sup>

細くしぼった重イオンビーム (たとえば 0.1 mm,  $10^{-10}$  A) を気体に導き、この気体内で完全にストップさせる。図 16, 17 に示すようなロッド検出器に気体中で発生した電子を集め、パルス波高分析を行うと同時にエレクトロメータにより電気量Qの測定を行う。パルス計数により入射イオン数Nがわかるので気体W値は

$$W = eNE/Q$$

で求めることができる。Eは入射イオンのエネルギーである。この測定が可能となる条件は、低ノイズプリアンプを用いて気体増幅なしで入射イオンを計数できることである。またパルス波高からは入射イオンの荷電数の情報が得られる。

## 3.3 イオン化量の分布と Degradation spectrum 測定

気体に対するエネルギー付与量に比例して気体の電離が生じるとの仮定に基いて、気体イオン化量測定によるマイクロドシメトリーを行う。<sup>8)</sup> 装置の模式図を図 18, 19 に示す。大型電離箱はアルミニウム製シリンダー容器 (内径 30 cm, 長さ 100 cm)。気体圧は  $10^{-4} \sim 10^2$  Torr。印加電圧 200 V, 中央の入射イオンビームに沿って電離電流測定電極が走っている。またこれとは別に、駆動型の2重メッシュ電離箱 (直径 1.5 cm, 長さ 15 cm) があり、回転及び平行移動により大型電離箱中の各位置を占めることができる (図 20)。

気体試料容器内に小さいスリットから重イオンビームを通すために差動排気を必要とする。電離電流はエレクトロメータを用いて測定する。またプローブ電離箱を駆動させる機構を必要とする。

また図 15 に示した電子エネルギー分析器の内部を高真空に保ちつつ、気体を含む大型容器内を駆動させることによって、その位置と方向における Degradation spectrum を得ることができる。

## 3.4 分解生成物の質量分析

①固体ホイルから照射によって飛び出すイオン生成物の質量及び運動エネルギーを市販の静電

エネルギー分析器付四重極質量分析計を用いて測定する。

②また質量数の高い成分の測定には図 21 に示すような飛行時間測定法を採用する。<sup>18)</sup> 時間波高変換器と MCA を用いるが、さらに加速用電源、スタート及びストップ検出器とアンプが必要である。

### 3.5 高分子多孔性膜の作製

この実験については既に古牧らによって述べられている<sup>9)</sup>。50×50 mm<sup>2</sup> の試料ホイルを  $1-10^{12}$  粒子/cm<sup>2</sup> の密度で照射し、照射終了後に次の試料が遠隔操作により導入される機構をもつ。重イオンは試料面に均一に分散照射されること。照射量のモニタリングがあること、照射終了後にある特定の気体を試料面上に導入できることを要する。

重イオンビームを広げること、密度を著しく低くすること ( $1 \text{ イオン cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  まで) が必要である。また入射粒子個数を計数できることが望ましい。

### 3.6 画像処理

3.5 の高分子多孔膜の研究では、照射後の試料及び照射後にさらに化学エッチング処理を行った試料の電子顕微鏡観察を行う。膜上に形成された孔の面積、周囲長、最大及び最小径、孔間距離、個数分布の測定が必要である。これをビデオカメラ入力、デジタル画像メモリ、画像処理、計算、解析、出力の順で処理する。

## 4. 装置組立にさいしての検討項目

3 の実験を行うに必要な装置の設計にさいし、留意すべきことを項目別にまとめる。

#### (1) 入射ビーム

① 細くしぼられた (0.1 mm  $\phi$  以下) ビームで強度は大きい方が望ましい実験：

3.1 ①, 3.3, 3.4 ①

② 細くしぼられたビームで強度が低いことが必要な実験：

3.1 ②, 3.2, 3.4 ②

③ 広い面積 (50 × 50 mm<sup>2</sup>) に対して均一に広がった強度の低いビームを必要とする実験：

3.5

これについては、加速器運転サイドで条件を満たしてもらうことを考える。いわゆる Faint beam の発生である。

#### (2) 真空排気系

① 加速器側からの要請：クリーン真空、 $10^{-8}$  Torr

② 気体試料の実験：3.3

エネルギー分析器付四重極質量分析計を用いて測定する。

②また質量数の高い成分の測定には図 21 に示すような飛行時間測定法を採用する。<sup>18)</sup> 時間波高変換器と MCA を用いるが、さらに加速用電源、スタート及びストップ検出器とアンプが必要である。

### 3.5 高分子多孔性膜の作製

この実験については既に古牧らによって述べられている<sup>9)</sup>。50×50 mm<sup>2</sup> の試料ホイルを  $1-10^{12}$  粒子/cm<sup>2</sup> の密度で照射し、照射終了後に次の試料が遠隔操作により導入される機構をもつ。重イオンは試料面に均一に分散照射されること。照射量のモニタリングがあること、照射終了後にある特定の気体を試料面上に導入できることを要する。

重イオンビームを広げること、密度を著しく低くすること (1 イオン cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> まで) が必要である。また入射粒子個数を計数できることが望ましい。

### 3.6 画像処理

3.5 の高分子多孔膜の研究では、照射後の試料及び照射後にさらに化学エッチング処理を行った試料の電子顕微鏡観察を行う。膜上に形成された孔の面積、周囲長、最大及び最小径、孔間距離、個数分布の測定が必要である。これをビデオカメラ入力、デジタル画像メモリ、画像処理、計算、解析、出力の順で処理する。

## 4. 装置組立にさいしての検討項目

3 の実験を行うに必要な装置の設計にさいし、留意すべきことを項目別にまとめる。

#### (1) 入射ビーム

① 細くしぼられた (0.1 mm φ 以下) ビームで強度は大きい方が望ましい実験 :

3.1 ①, 3.3, 3.4 ①

② 細くしぼられたビームで強度が低いことが必要な実験 :

3.1 ②, 3.2, 3.4 ②

③ 広い面積 (50 × 50 mm<sup>2</sup>) に対して均一に広がった強度の低いビームを必要とする実験 :

3.5

これについては、加速器運転サイドで条件を満たしてもらうことを考える。いわゆる Faint beam の発生である。

#### (2) 真空排気系

① 加速器側からの要請 : クリーン真空,  $10^{-6}$  Torr

② 気体試料の実験 : 3.3

試料気体圧が1気圧以下であれば加速器側の真空度に影響しないような差動排気系を考える。  
絶対圧力計, 気体循環装置が必要である。

## (3) 試料

## ① 試料からの生成物放出を伴う実験:

全イオン照射量が低い場合は問題にならない。そうでないときは, (2)②の気体試料照射と同じ差動排気を行う。

## ② 多数個の試料を同時にセットしたい実験:

3.1, 3.4, 3.5

## (4) 検出器

## ① 入射重イオン検出 (SSDまたはPSD)

- 検出有効面積の小さいもの: 3.1 ②, 3.3
- 検出有効面積の大きいもの: 3.1 ②, 3.4 ②, 3.5

## ② 二次粒子検出

- SSD: 3.1 ②
- Channeltron: 3.1 ②, 3.3, 3.4 ①
- CEMA: 3.4 ②
- Rod-counter: 3.2 (電離電子をRodに集め, それによるパルスの波高分析を行う)

## (5) 計測機器

## ① 電流測定 (エレクトロメータ2台; 測定切換機構付): 3.1 ①, 3.2, 3.3

## ② 1024 ch MCA, TAC, CFデスクリ, プリアンプ, アンプ, コインシデンス

## (6) 電源

## ① バイアス用DC 300V 2台:

3.1 ①, 3.1 ②, 3.2, 3.3

## ② 二次粒子加速または減速用 (10kV及び20kV)

3.1 ①, 3.1 ②, 3.4 ②

## ③ 粒子検出用HV (3kV 3台)

3.1 ②, 3.2, 3.3, 3.4 ②

## (7) 気体実験用機器

① 電離真空計  $10^{-4}$  -  $10^{-8}$  Torr ; 3台:② 絶対圧力計  $10^{-4}$  -  $10^3$  Torr ; 3.3

## ③ 気体導入系: 3.3, 3.5

## (8) 真空内駆動機構

## ① 試料交換: 3.1 - 3.4 最大3個, 3.5 5個

## ② 測定子駆動 (回転及び平行移動): 3.1 ①, 3.1 ②, 3.3

## (9) その他

イオンビームを用いた測定結果と比較するために, 電子線ビームを用いた各種の測定を行う。  
そのため電子銃を付置する。



## 5. 終 章

これまでの各章において、20 MVタンデム加速器からの重イオンビームを用いる実験に関して、われわれが現在考えている実験内容及びそのための装置（重イオン照射化学反応測定装置）のあらましを説明してきた。

基本的な考えは、大量の重イオン照射を行った後の試料と照射前の試料のある性質の違いから照射効果を議論する方法ではなく、1個1個の入射重イオンにより起こる反応の生成物（二次電子、二次イオン、分子のフラグメント、飛跡など）を検知し、その計数を入射イオンの計数と同時に行う方法を選らぶことである。また、重イオン衝撃による個々の分子の受けとるエネルギー量の大きいことに着目すること、重イオン飛跡周辺のエネルギー付与分布の測定を行い、重イオン放射線化学反応を解析するにさいしては阻止能よりもエネルギー吸収密度が重要なパラメータであることを立証することである。

## 引用文献

- 1) R. L. Platzman, "Radiation Research," G. Silini 編, North-Holland, Amsterdam (1967), p. 20
- 2) A. Mozumder, A. Chatterjee, J. L. Magee, Adv. Chem. Ser., 81, 27 (1968).
- 3) 田畑米穂, 「放射線化学」, 東大出版会 (1978), 3章, 表 3.3
- 4) 原 治, 「科学」, 47, 322 (1977); S. B. Curtis, in Ref. 6, p. 780.
- 5) D. A. Thompson, Radiat. Effects, 56, 105 (1981).
- 6) J. L. Magee, A. Chatterjee, "Radiation Research," S. Okada 編, Jpn. Associat. Radiat. Res., Tokyo (1979), p. 166.
- 7) J. L. Magee, "Radiation Research," J. J. Broerse 編, Martinus Nijhoff Pub., Amsterdam (1983), p. 43.
- 8) C. L. Wingate, J. W. Baum, Radiat. Res., 65, 1 (1976).
- 9) 古牧睦英, ニュクリアトラック・フィルター製法: 性質: 応用 (1983).
- 10) B. E. Fischer, R. Spohr, Rev. Modern Phys., 55, 907 (1983).
- 11) M. E. Rudd, Radiat. Res., 64, 153 (1975); Q. C. Kessel, B. Fastrup, "Case Studies in Atomic Physics III," E. W. McDaniel 編, North-Holland, Amsterdam (1974), p. 140.
- 12) A. Chatterjee, J. L. Magee, "6th Symposium on Microdosimetry," J. Booz, H. G. Ebert 編, Harwood Academic Pub., (1978), p. 283.
- 13) L. H. Toburen, W. E. Wilson, in Ref. 6, p. 80.
- 14) H. P. Garnir, P. D. Dumont, Y. Baudinet-Robinet, Nucl. Instr. Methods, 187, 625 (1981).
- 15) H. G. Clerc, H. J. Gehrhardt, L. Richter, K. H. Schmidt, *ibid.*, 113, 325 (1973).
- 16) D. Combecher, J. Kollerbauer, G. Leuthold, H. G. Paretzke, G. Burger, in Ref. 12, p. 295.
- 17) N. Rohrig, R. D. Colvett, Radiat. Res., 76, 225 (1978).
- 18) P. Dück, H. Fröhlich, W. Treu, H. Voit, Nucl. Instr. Methods, 189, 615 (1981).
- 19) M. N. Varma, H. G. Paretzke, J. W. Baum, J. T. Lyman, J. Howard, "4th Symposium on Microdosimetry," J. Booz 編, Euratom, Italy (1976), p. 75.

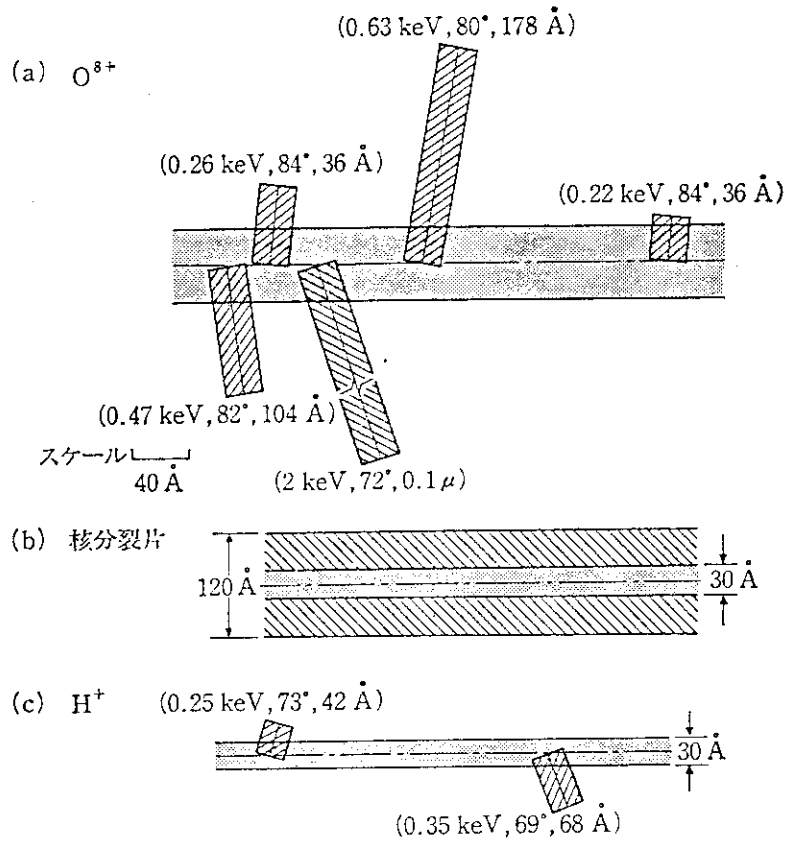
第1表 水中におけるいくつかの放射線の平均阻止能<sup>3)</sup>

放射線	平均阻止能 (eV/Å)
Co <sup>60</sup> - r線, 1~2 MeV 電子	0.02 ~ 0.03
250 kVp X線	0.10
10 kVp X線	0.20
2 MeV H <sup>+</sup>	1.7
トリチウム β線	0.4
ポロニウム α線	9
Li 反跳粒子	10 ~ 17
核分裂片	700

第2表 重イオン飛跡構造のパラメータ<sup>12)</sup>

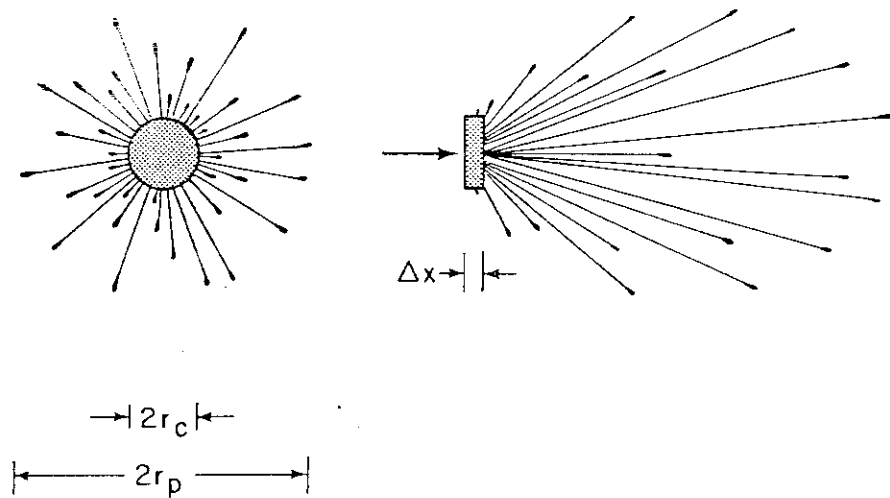
Beta は高速度を単位とした粒子の速度。r<sub>c</sub> は入射イオンの直接励起の及ぶ半径, r'<sub>c</sub> は励起分子が化学反応をするために広がったコア半径, r<sub>p</sub> は二次電子の作用の及ぶペナンブラ半径。

Energy (MeV/amu)	Beta	r <sub>c</sub> (Å)	r' <sub>c</sub> (Å)	r <sub>p</sub> (Å)	F <sub>c</sub>
1000	0.873	89.9	89.9	2.68 × 10 <sup>6</sup>	0.524
500	0.755	77.8	77.8	1.81 × 10 <sup>6</sup>	0.524
200	0.568	58.4	58.4	8.36 × 10 <sup>5</sup>	0.525
100	0.429	44.2	44.2	3.94 × 10 <sup>5</sup>	0.526
50	0.315	32.4	40	1.71 × 10 <sup>5</sup>	0.540
20	0.202	20.8	40	5.15 × 10 <sup>4</sup>	0.569
10	0.145	15.0	40	2.11 × 10 <sup>4</sup>	0.596
5	0.103	10.6	40	8.38 × 10 <sup>3</sup>	0.629
2	0.065	6.7	40	2.45 × 10 <sup>3</sup>	0.678
1	0.046	4.7	40	9.62 × 10 <sup>2</sup>	0.726
0.5	0.033	3.4	40	3.78 × 10 <sup>2</sup>	0.785
0.2	0.021	2.1	40	1.14 × 10 <sup>2</sup>	0.886
0.1	0.015	1.5	40	0.46 × 10 <sup>2</sup>	0.990



第1図 重イオンのトラック構造<sup>2,3)</sup>

- a)  $O^{8+}$  イオンの水中におけるトラックと2次電子の飛跡。叩きだされた電子のエネルギーとトラック軸となす角  $\theta$  およびその飛程。
- b) 核分裂片の水中におけるトラック構造。2次電子の飛跡が重なって同心円状のシース構造をとっている。
- c) 1 ~ 2 MeV/amu の  $H^+$  のトラック構造。トラック軸上約 300 Å の間隔で、2次電子の飛跡ができる。

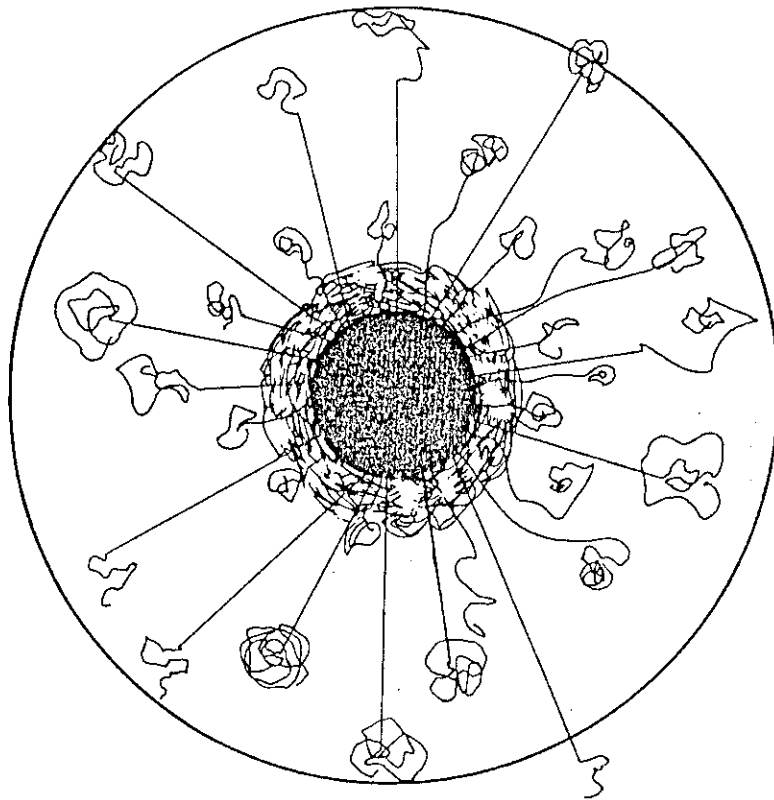


(a) Schematic representation of initial condition (before radical diffusion starts) for heavy particle track going into the page; the radius of the core,  $r_c$ , is typically 10-80 Å; the radius of the penumbra,  $r_p$ , is typically 1-100 microns. The knock-on electron tracks are indicated by lines, although they actually are composed of strings of spurs which are as large in diameter as the core; the track ends are indicated; branch tracks occur too, but they are not shown.

(b) Schematic representation of initial condition for the same heavy particle track going parallel to page; the locus of the transients created in a section of track  $\Delta X$  in length is given. The core energy is located in a region shaped like a pill box of radius,  $r_c$ , and height,  $\Delta X$ ; the locus of knock-on electrons which form the penumbra is shown. The actual amount of energy (and also the number of electrons) depends upon the LET ( $v$  and  $Z$  of the particle). Most segments of track of a few Å length would have one or no knock-on electrons.

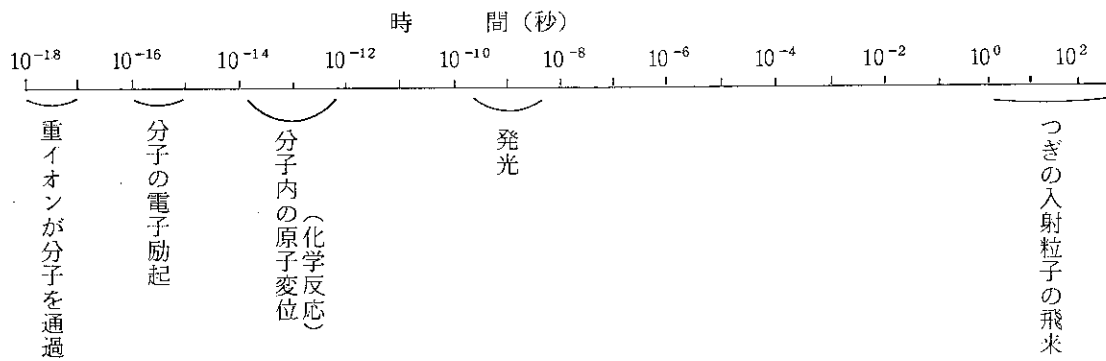
第2図 重イオン飛跡の構造<sup>6)</sup>

- (a) 紙面垂直方向に重イオンが入射したときのコア部（斜線部分）と2次電子の飛跡。コア半径  $r_c \approx \text{nm}$ 、ペナンブラ半径  $r_p \approx \text{数}10\mu\text{m}$ 。
- (b) 重イオントラックの一部。コア部の一部とそこから発生した高エネルギー電子の飛跡を示す。

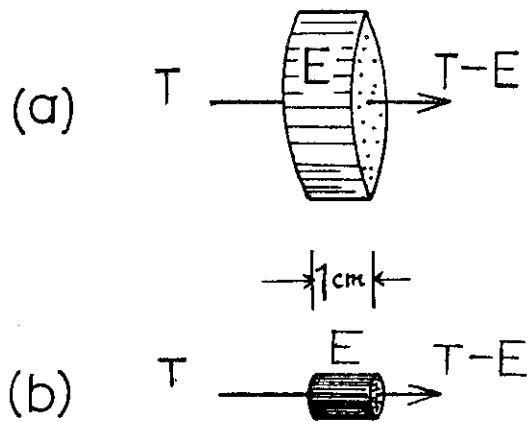


Schematic model of track (cross-sectional view). The radii  $r_c$  and  $r_p$  are shown; the lines in the penumbra indicate individual electron tracks. The energy deposition at the boundary separating the core and the penumbra is not as dense as it is in the core, but in this region the tracks of electrons do overlap. In the present model this region has not been treated explicitly.

第3図 重イオン飛跡断面模式図<sup>12)</sup>

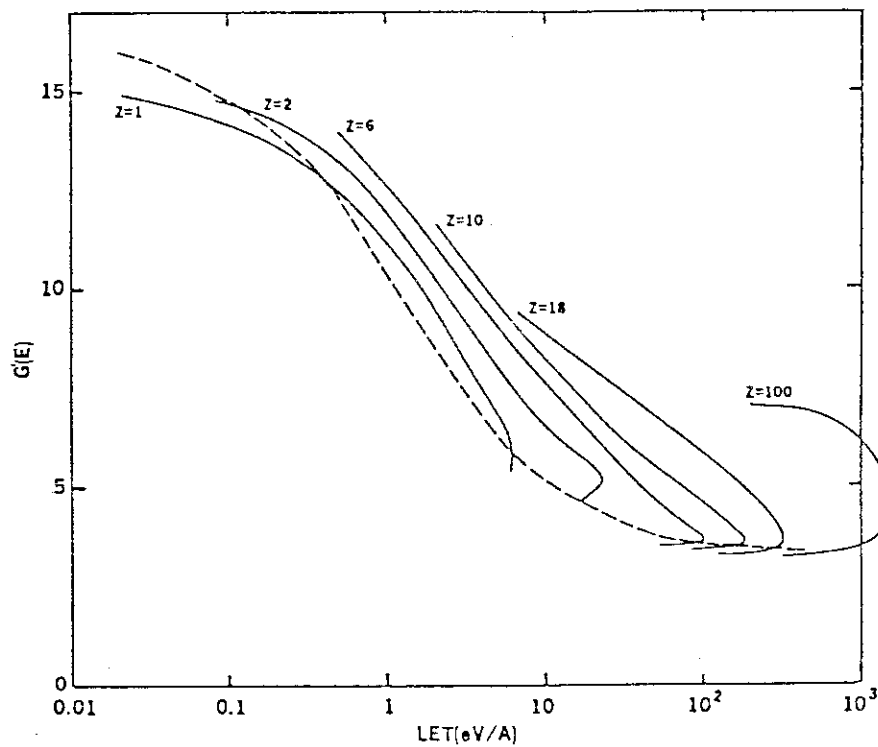


第4図  $10^{-6} \text{ A/cm}^2$  のイオン電流密度で照射中の物質内分子における種々の事象の時間関係。

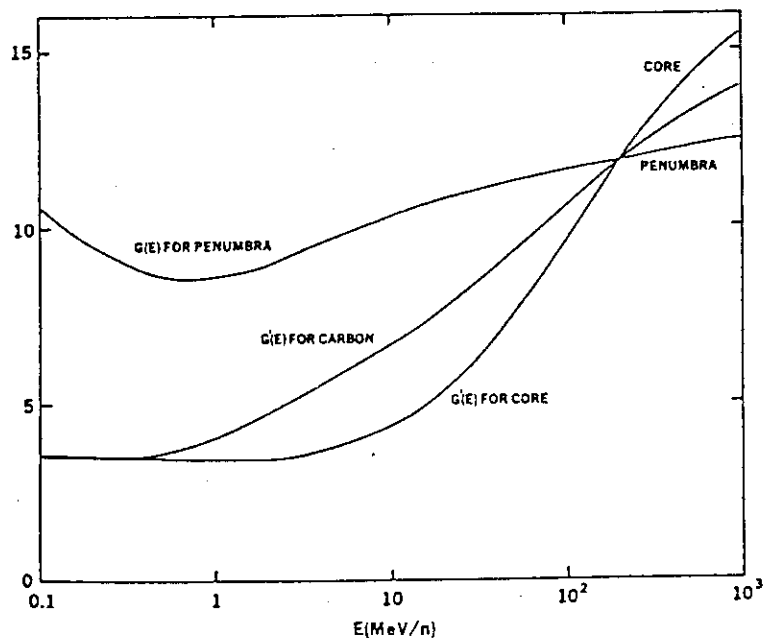


第5図 阻止能とエネルギー吸収密度の違いの説明。

(a), (b)とも $T$ なる運動エネルギーの入射粒子が1 cmの距離を走って $T-E$ に減少する。いずれの場合も、阻止能は $E/cm$ で表わされる。しかしながら物質の側では $E$ を受けとる容積は両者で異なる。

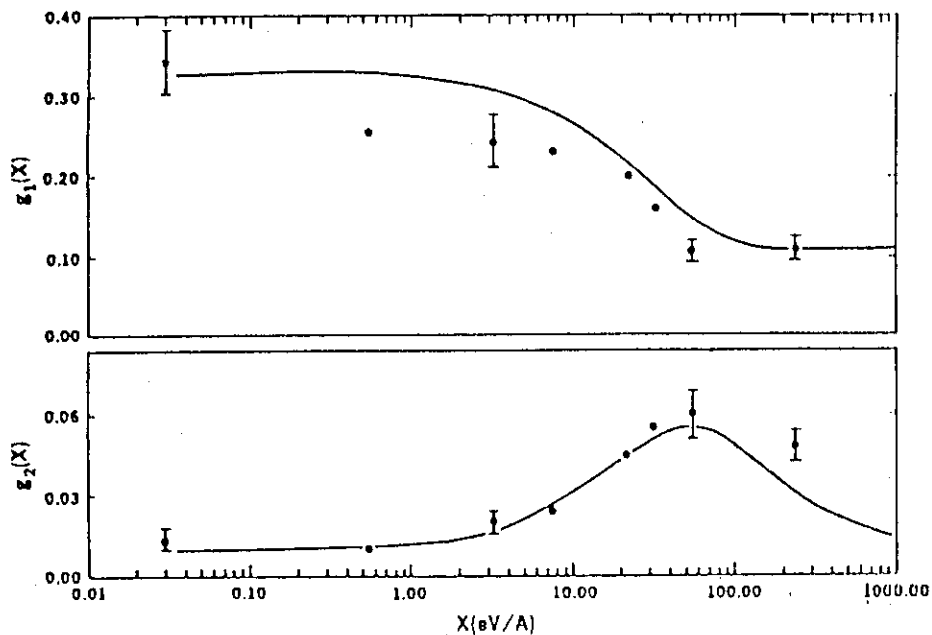


第6図 原子番号  $Z = 1, 2, 6, 10, 18, 100$  の粒子照射の硫酸酸性第1鉄塩における第2鉄イオン収率 (100 eVあたりの生成数) を入射粒子の LET 値 (=阻止能) に対してプロットしたもの<sup>12)</sup>。



$G'(E)$  for carbon ( $Z = 6$ ) vs  $E$  (MeV/amu) along with  $G'(E)$  values for core and  $G$  (total) for the penumbra. The penumbra yield depends only on the velocity of the particles (not on their charge) at a given  $E$  (MeV/amu). At the low energy end, the importance of the penumbra decreases as it is engulfed by the core,

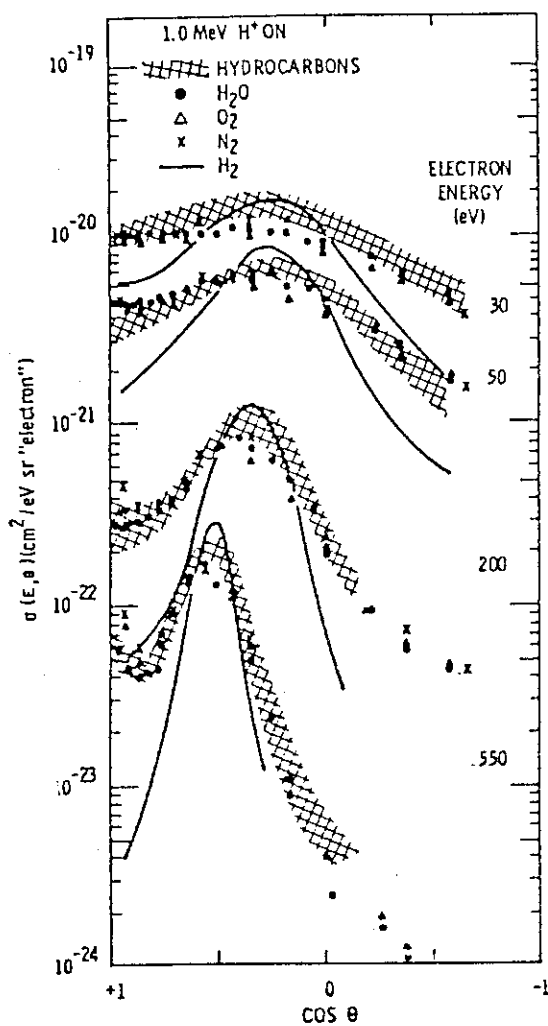
第7図 炭素原子入射による第2鉄イオン収率 (第6図の説明を参照) の $E$  (MeV/amu) 依存<sup>12)</sup>。コア収率とペナumbra収率も図示されている。



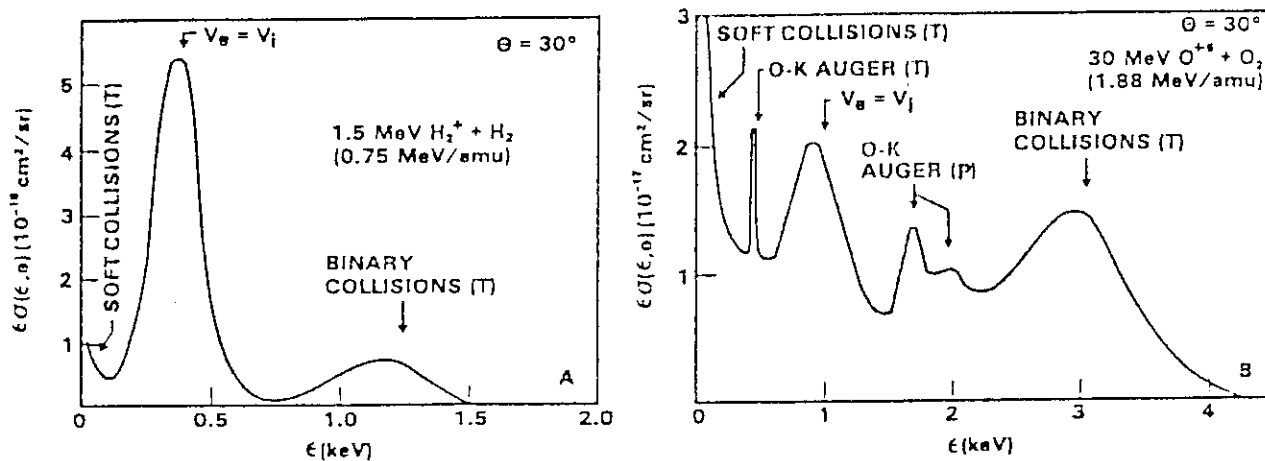
$g_1(X)$  and  $g_2(X)$  for single- and double-strand breaks in  $\phi$ X 174 DNA arising from direct absorption of energy. The experimental points are taken from Christensen et al.

第8図 放射線の直接作用によるDNA ( $\phi$ X174) の一重鎖切断 ( $g_1(X)$ ) および二重鎖切断の収率。<sup>6)</sup> ( $g_2(X)$ )。



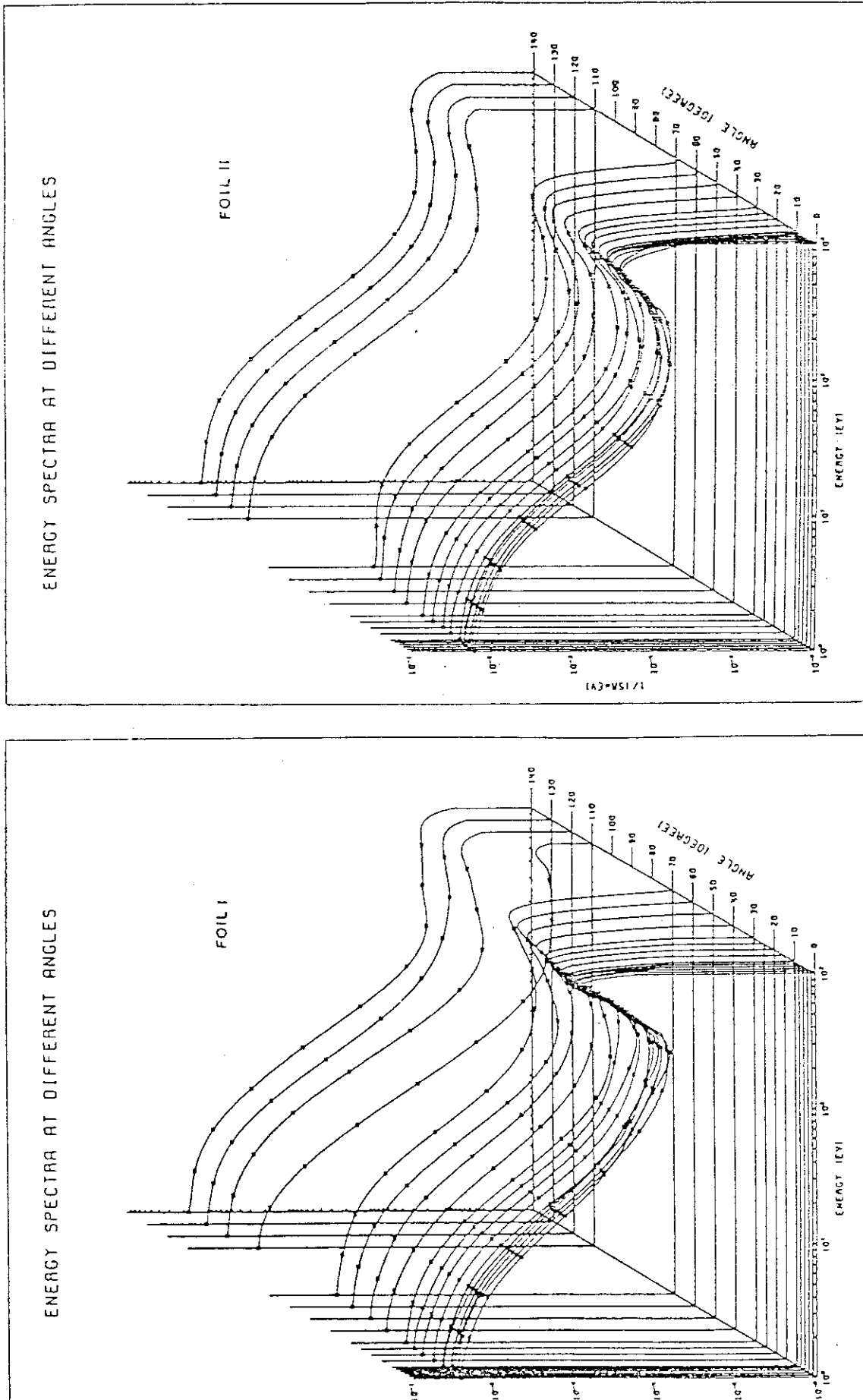


第9図 プロトン照射による種々の分子からの放出電子の角度分布。<sup>13)</sup>



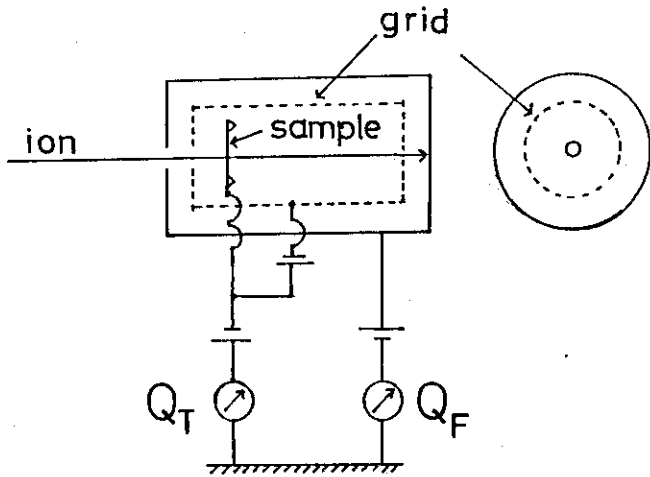
Probability of energy transfer to electrons ejected at  $20^\circ$  by ions carrying bound electrons.

第10図 イオン衝突による  $30^\circ$  方向放出電子へのエネルギー移行確率。<sup>13)</sup>

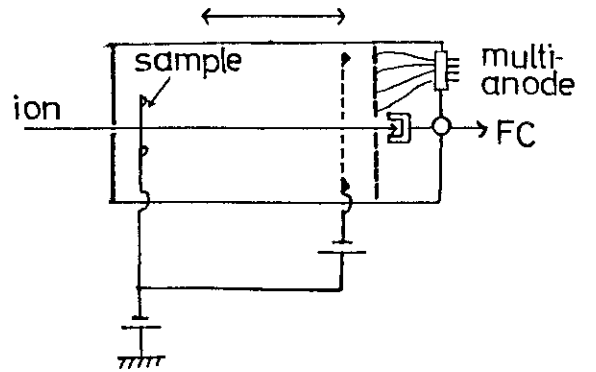


Measured electron spectra leaving carbon foils

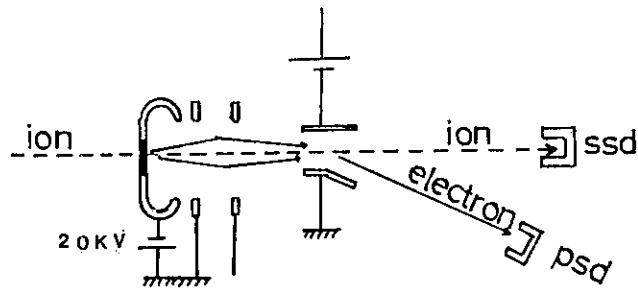
第11図 炭素ホイルから放出される電子の角度とエネルギー分布。<sup>16)</sup>



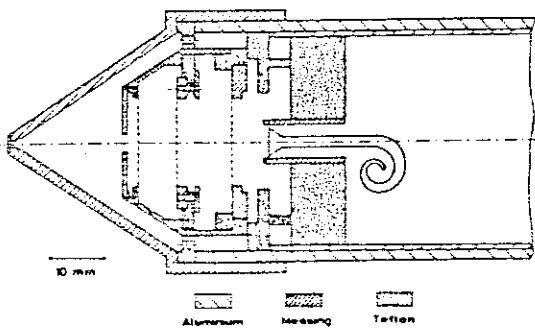
第12図 試料ホールからの放出電子の測定。  
放出率測定と電子エネルギーの測定。



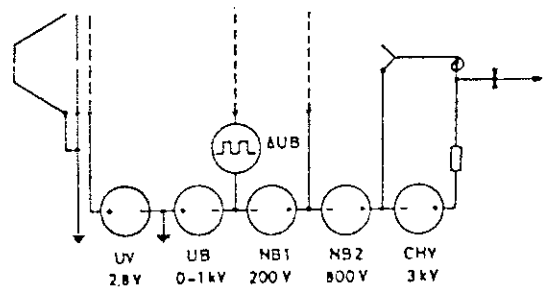
第13図 試料ホールからの放出電子の測定。  
電子放出角度と電子エネルギーの測定。



第14図 固体ホール通過の重イオンと放出電子数の同時測定。

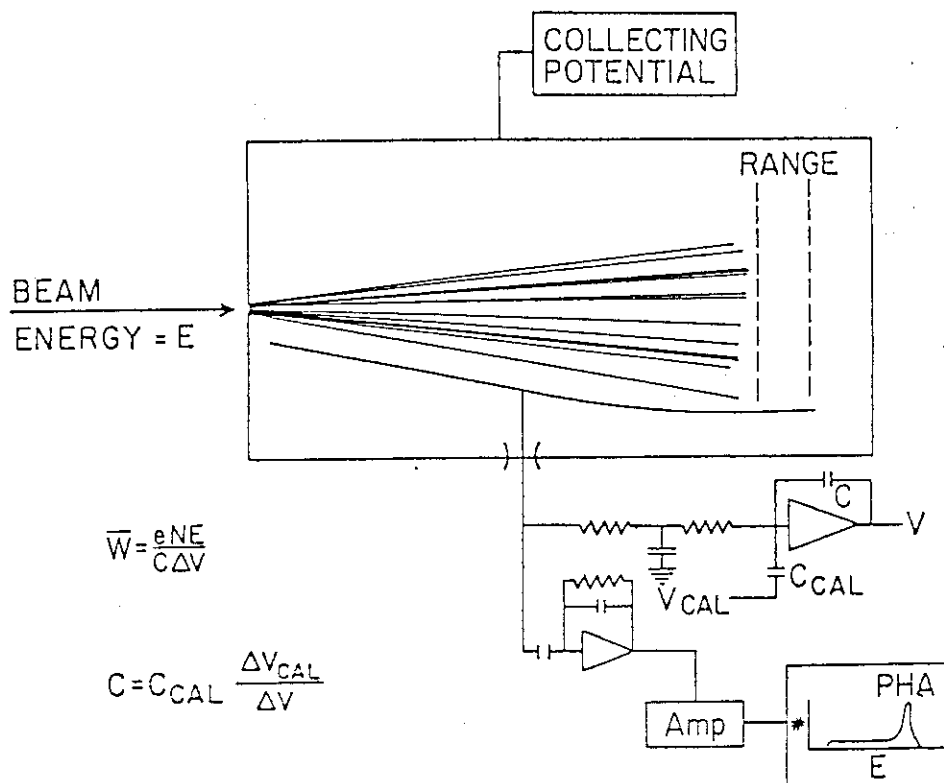


Analyzer

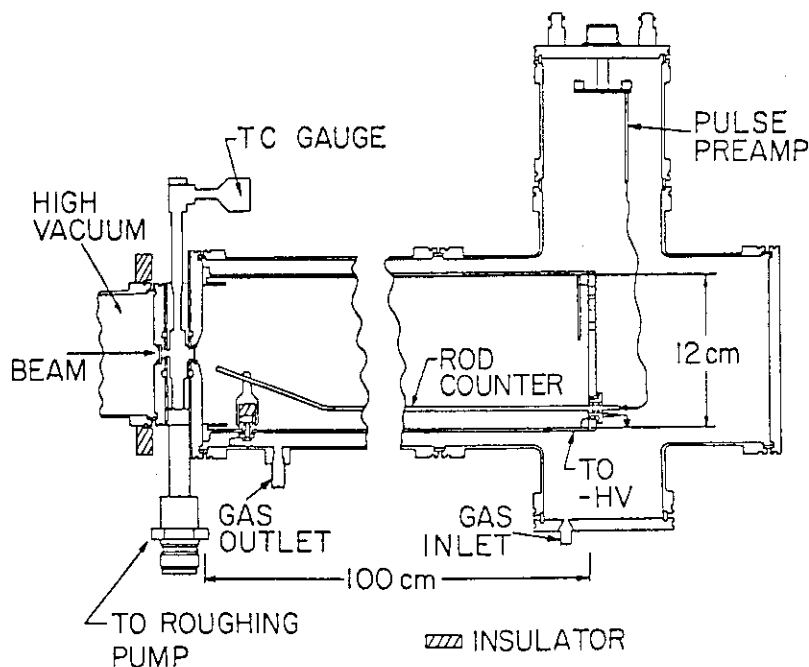


Electronic supply

第15図 電子エネルギー分析器<sup>16)</sup>

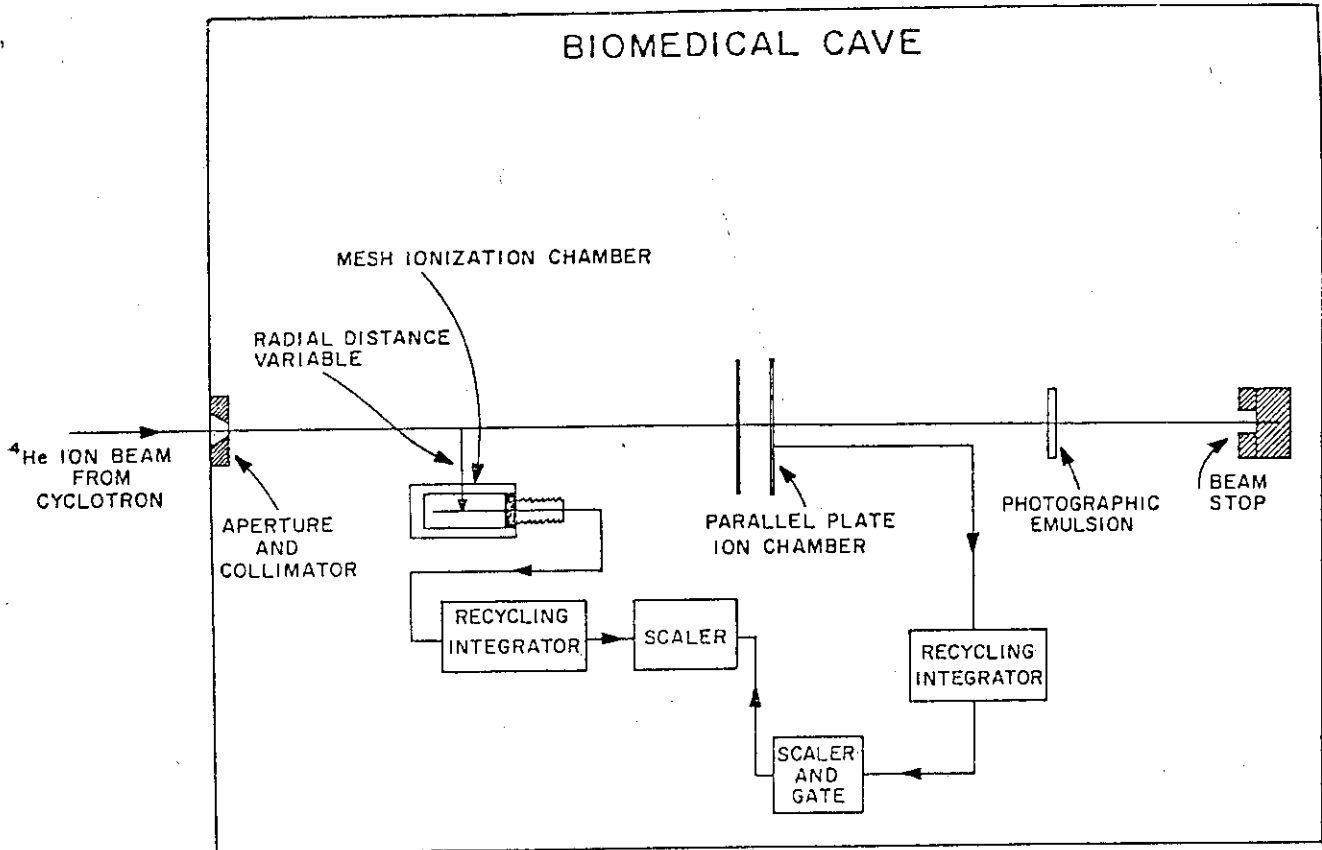


第 16 図 W 値測定<sup>17)</sup>の概念図。エネルギー E のビームが気体中に入射して停止する。気体中に生成した電子はロッド電極に集められてパルスが発生，入射粒子数が計数される。同時に全電気量の測定がコンデンサーを介する電圧変化により行われる。



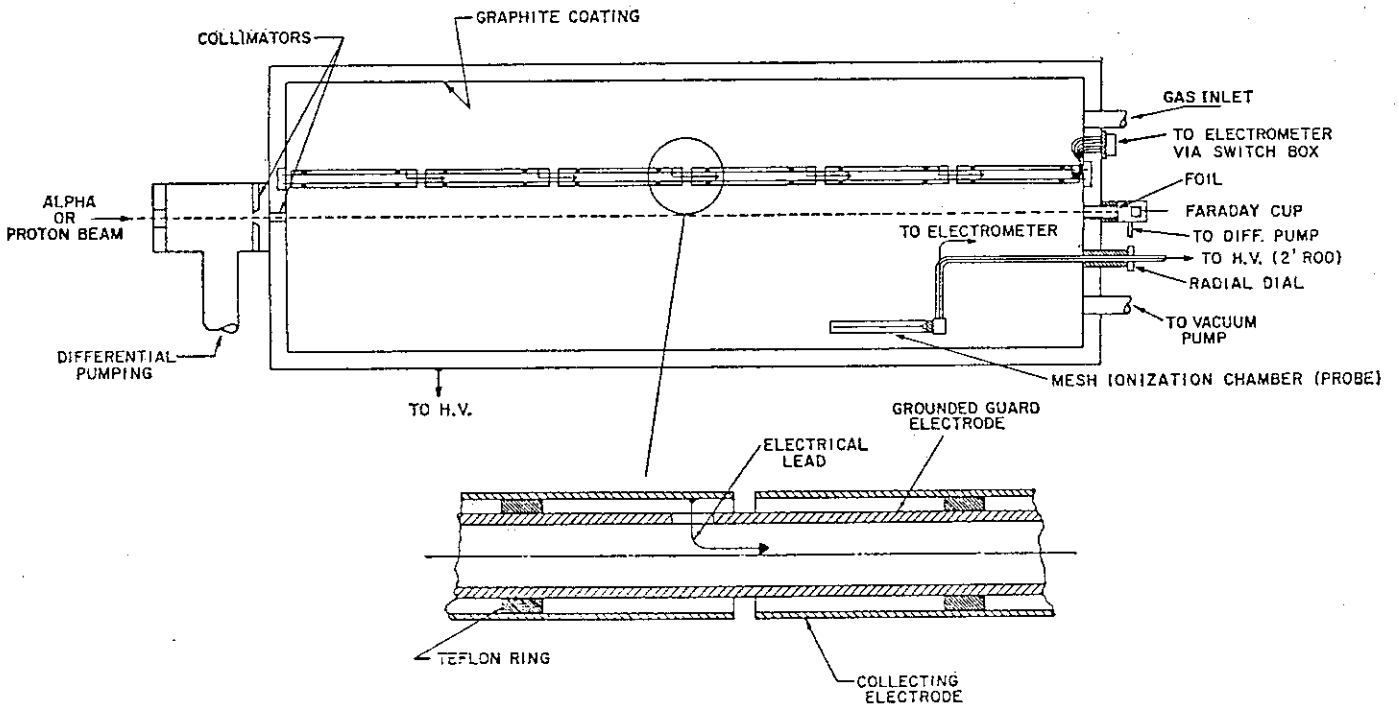
Scale drawing of chamber. Beam enters through differential pumping chamber. Collecting rod (3 mm diameter) is mounted on guarded insulators. Preamplifier is inside chamber to reduce noise. Gas-flow system is operated at various pressures (3-300 Torr) established primarily by consideration of the particle range.

第 17 図 W 値測定用容器<sup>17)</sup>。(第 16 図参照)



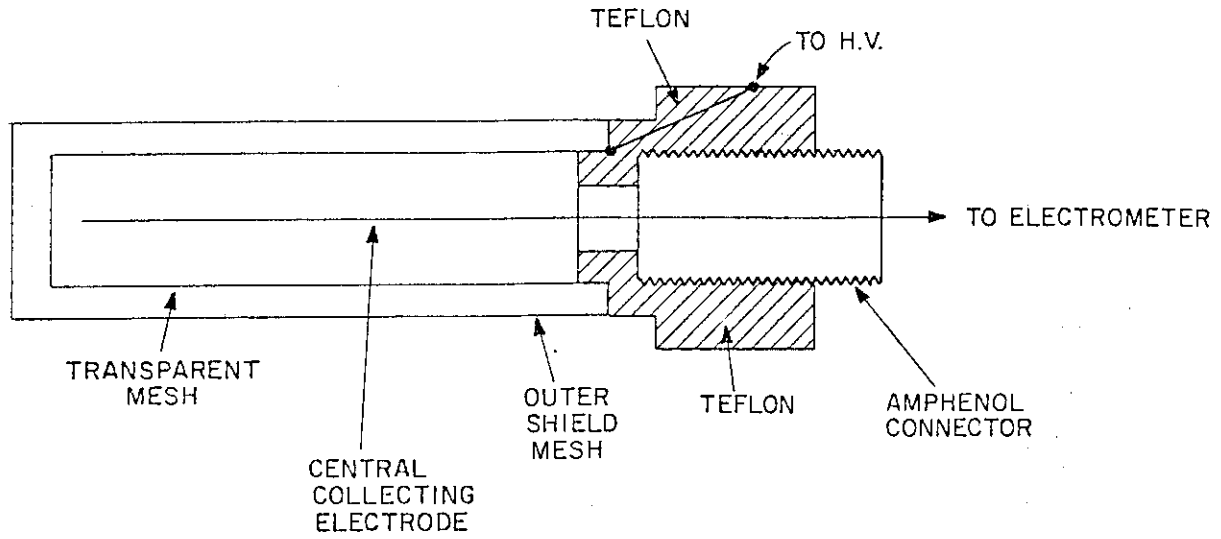
Schematic drawing of experimental arrangement for radial dose measurement (not to scale).

第18図 マイクロドシメトリー用測定装置配置図。<sup>19)</sup>



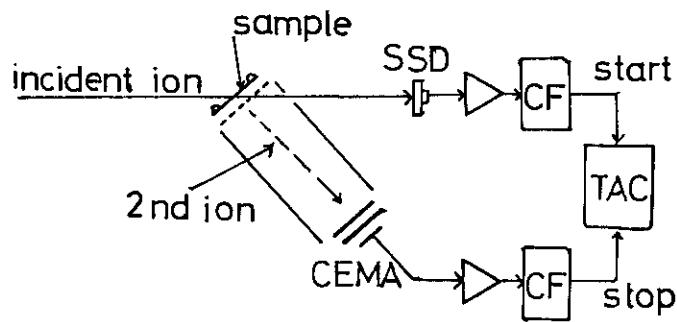
Schematic diagram of the ionization chambers used.

第19図 マイクロドシメトリー用大型電離箱。<sup>8)</sup>



Sketch of "wall-less" ionization chamber.

第20図 マイクロドシメトリー用プローブ電離箱<sup>19)</sup>。



第21図 二次イオンの飛行時間測定。

付 録

重イオン照射化学反応測定装置製作仕様書

- I. 照射・排気系
- II. 化学反応測定系
- III. 計測系 (省略)

## I. 照射・排気系

### 1. 概要

本装置は、多価・高質量イオンの衝撃により生成される高電離・高励起状態の分子の化学反応過程を研究するために設置する。

主な研究内容は、

- (i) 0.1 mm径の細いイオンビームを気体中に走らせ、その周辺の気体電離量の分布を測定する。(マイクロドジメトリー)。
- (ii) 固体薄膜試料から飛び出す反応生成物の質量、電荷、飛行エネルギーを測定する。
- (iii) 広い面積(～25 mm径)の高分子多孔膜作成の基礎研究を行う。
- (iv) 本装置は、ターボ分子ポンプとイオンポンプで排気される超高真空容器( $10^{-9}$  Torr台)から成り、3種類のイオンビーム径(25 mm, 1 mm, 0.1 mm)をつくるスリット系の軸合わせ機構、それに必要なビーム電流測定機構を含むものとする。また制御室(約100 mの位置にある)からの指令信号による遠隔駆動および制御室における遠隔測定(読みとり)を行う。

### 2. 契約範囲, その他

#### (i) 契約範囲

本仕様書に記載される装置の製作, 据付調整, 設置に必要な電気工事, 水道工事はもとより, 設置後の排気試験および各種の機能試験も含まれる。

#### (ii) その他

4, 5で述べる性能, 製作仕様を満足するための機構およびそれによって決定される寸法等は原研側と担当業者間の打合わせによるものとする。

### 3. 構成

本装置を照射系, 排気系および電気系に分ける。装置の駆動機構, 寸法等は原研側と打合わせにより決めるものとする。

#### A 照射系および排気系

- |                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| (1) ファーストアクチングバルブ系                             | 1式 |
| (2) 標準排気系用架台                                   | 1式 |
| (3) 第Iチェンバー(約200φ×300)                         |    |
| i) アクチュエータ(ビームモニター)                            | 1式 |
| ii) 試料交換機構(試料ホルダー10個を含む)                       | 1式 |
| iii) 電離真空計                                     | 1式 |
| iv) 4極スリット                                     | 1式 |
| v) TVカメラおよびスタンド                                | 1式 |
| vi) ICF 203×2, ICF 152×2, ICF 70×10, ICF 114×2 |    |



- vii) 覗き窓 (70φフランジ用) × 2
- viii) ベローズ (回転) 114 ; 114 - 203 交換クランジ 1式
- (4) 第Ⅱチェンバー (600φ × 400)
- i) ターボ分子ポンプ排気系 1式
- ii) イオンポンプ 1式
- iii) 1mmスリット (可動型) 1式  
(交換用スリット 1mmφ × 1, 2mmφ × 2を含む)
- iv) アクチュエーター (ファラデーゲージ) 1式
- v) 試料交換機構  
(試料ホルダー10個含む) 1式
- vi) Qマス用回転機構 1式
- vii) 電離真空計 1式
- viii) 絶縁フランジ (203, 152, 114) 3個
- ix) ICF 203 フランジ付ゲートバルブ 2個
- x) ICF 203 × 4, ICF 152 × 8, ICF 70φ × 18, 覗き窓 (ICF 152) × 2  
内径 600 シリンダー用フランジ × 2
- xi) ベローズ (ICF 152, 203, 203) 3箇所
- xii) 架台 (第Ⅰ, Ⅱ, Ⅲチェンバー共用) 1式 排気系架台を含む。
- xiii) チェンバー蓋部の昇降およびスライド機 1式
- (5) 第Ⅲチェンバー (200φ × 200)
- i) ターボ分子ポンプ 1式
- ii) 絶縁フランジおよびベローズ 1式
- iii) ゲートバルブ 1箇
- iv) 4極ビームモニター 1式
- v) スリット (0.1mm + 0.3mm) 系 1式  
交換用スリット 0.2mm + 0.4mmを含む
- vi) 電離真空計 1式
- vii) 覗き窓 (ICF 152) 1個
- viii) ICF フランジ類  
300 × 2 (うち1枚は 300 - 203 変換)  
203 × 1, 152 × 3, 70 × 2
- (6) 第Ⅳチェンバー (300φ × 200 および A1 製 300φ × 800)
- i) ICF 152 フランジ付ゲートバルブおよびベローズ 1式
- ii) 大型電離箱 1式
- iii) 全圧分圧計 1式
- iv) 絶対圧力計
- v) 自動圧力調整付ガス導入機構 1式
- vi) 直線 (1m) 導入および回転機構 1式

(プローブ電離箱付)

- |                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VII) 検出器支持台およびレール                                                                 | 1 式 |
| VIII) 覗き窓 (ICF 114 フランジ)                                                          | 2 個 |
| IX) フランジ類                                                                         |     |
| 300 $\phi$ $\times$ 3, ICF 114 $\times$ 3, ICF 70 $\times$ 14, ICF 152 $\times$ 3 |     |
| X) 検出器ボックス                                                                        | 1 式 |
| (ICF 70, ICF 114 フランジ各 1 枚付)                                                      |     |
| XI) 一部分 (300 $\phi$ $\times$ 800) 取はずし用移動式架台                                      | 1 式 |
| XII) ターボ分子ポンプおよびフレシブル排気管                                                          | 1 式 |
| (検出器ボックスおよびガス導入機構排気用)                                                             |     |

#### B 電気系

電気系は次の部分から構成される。

- i) 電流測定制御パネル (真空計監視メータ付)
  - ii) エレクトロメータ
  - iii) アクチュエータ制御パネル
  - iv) 試料交換パネル
  - v) Q マス用回転制御パネル
  - vi) 直線回転制御パネル
- (但し, 数個まとめてもよい)

### 4. 性能

#### A 照射系

- (1) 超高真空 ( $\leq 1 \times 10^{-8}$  Torr) を保てる容器であること。
- (2) イオンビームに対して, 上下方向に微調できること。
- (3) スリット系 (25 mm, 5 mm, 1 mm, 0.1 mm, 0.3 mm) をビームが通過できるように軸合わせ機能があること。
- (4) アクチュエータ ( $\times 2$ ), 試料 (10 個) 交換機構 ( $\times 2$ ), プローブ電離箱用直線 (1 m) および回転, Q マス用回転機構の駆動機能を有すること。
- (5) 容器の一部 (第 IV チェンバーの一部) が容易に接続, 取りはずし, 運搬ができること。  
このさいスリット系に変動が生じないこと。
- (6) ファーストアクチングバルブ系は容器内の真空劣化がタンデム加速器ビームダクトの真空劣化を生じさせないように, 高速度に応答してバルブを閉めるもの。

#### B 排気系

- (1) ターボ分子ポンプと油回転ポンプを用いて, 照射系各部において大気圧から排気を開始して, 超高真空 ( $\leq 1 \times 10^{-8}$  Torr) が到達されること。真空もれ等によるインターロック機構を有すること。真空ホールディングをイオンポンプで行う。
- (2) 第 IV チェンバーを 760 Torr  $N_2$  ガスに保つときに, スリット系を用いて 3 台のターボ分子ポンプおよび必要な場合にはルーツポンプにより, 第 I チェンバー内真空度  $10^{-8}$  Torr 台

が得られること。

- (3) 容器、排気系は有機物、高分子材料、油、グリース等を使用しない。300°Cのベーキングが可能であるように製作すること。

### C 電気系

- (1) 容器(第Ⅱ,Ⅲ,Ⅳチェンバー)は、アース、架台、各種の駆動用電源、ポンプ用電源から完全に浮いていること(100 M $\Omega$ 以上)。
- (2) 各電気系統は相互に完全に浮いていること。
- (3) 電源系統と信号系統は完全に切り離れていること。
- (4) 信号系統にはなるべくフォトカプラーを使用すること。
- (5) 照射系の各駆動機構(A. A.(4))は制御室からの手動操作による電気信号によって作動すること。また駆動位置の確認が制御室において可能であり、位置を読みとり記録が可能であること。
- (6) 2つのアクチュエータ、2組のスリットにおけるビーム電流値が制御室において測定できること。
- (7) 真空計(絶対圧力計)は1つのRangeで制御室において監視できること。

## 5. 製作仕様

照射系において、イオンビームは約1400 mmの高さを通り、イオン軸に沿った長さは3155 ± 100 mm、各部分の中で、仕様を満足するに必要とされる真空用フィードスル、電流導入端子、配線類はそれぞれの箇所に含まれているものとする。運動導入端子、電流導入端子等はすべてICF(コンフラット)規格フランジ(必要な場合には、絶縁もしくはベローズニップル付フランジとする)を用い、容器本体に設けられるポートにとりつけるものとする。使用しないポートにはそれぞれICFメクラフランジをつける。また固定用ボルトナット類を含む。

### A 照射系

- (1) ファーストアクチングバルブ系
- i) 既設T<sub>0</sub>ダクトは加速器側ゲートバルブ(クランジNEC規格152)で終わっているので、ここからが製作範囲である。
- ii) ファーストアクチングバルブ  
NEC社 VS 2 F 9 相当品  
センサー(ICF 70付) CPS 2-6 相当品  
(第Ⅱチェンバーに付ける)  
コントローラ PS-4 相当品
- iii) イ. 絶縁フランジ(100 M $\Omega$ 以上)  
ロ. ベローズニップル(片端回転フランジ)  
ハ. 変換フランジ  
を経て既設標準排気系(両端ICF 203 $\phi$ フランジ付VATゲートバルブ、全長490)に接続させる。
- (2) 標準排気系用架台

- i) 現在標準排気系は、Balzers ターボ分子ポンプ 500ℓ/s, 油回転ポンプ, コントロールゲートバルブ (ICF 203) 2個, T管から成り, 専用架台に全体が組込まれているが, 本装置に付置させるにあたり, 専用架台が, 信号ケーブル用コネクターボックス, および電源ボックス (既設) にぶつかり, そのままの形で使用できないので新しく製作もしくは改造する。
- ii) ビーム中心線に対して位置調整ができること。
- iii) ターボ分子ポンプ (オーバホール, メンテナンスのさい) の着脱が容易なこと。
- (3) 第 I, II, III, IV チェンバー共通の製作仕様超高真空容器で  $10^{-9}$  Torr 台を目標とする。

i) フランジ

超高真空用金属シールフランジ。

外径 252φ 以下のものについてはコンフラット規格とする。それ以上の径のフランジは, アルフォイルフランジおよびバイトン Oリングシールのどちらでも使用できるように製作する。

ii) 電離真空計 (第 I, II, III 各チェンバーに一台)

測定子ヌードイオンゲージ取付フランジ ICF 70,

測定範囲  $10^{-4}$  —  $10^{-10}$  Torr

表示 デジタル

iii) 覗き窓

数量 第 I チェンバー ICF 70 フランジ用 2個

第 II チェンバー ICF 152 フランジ用 2個

第 III チェンバー ICF 152 フランジ用 1個

第 IV チェンバー ICF 114 フランジ用 2個

リーク量  $1 \times 10^{-10}$  Torr ℓ S<sup>-1</sup> 以下

ベーク温度 300°C 以上

保護カバー付

IV) 絶縁フランジ, ベローズ等

絶縁抵抗

ベローズ

取付けフランジ ICF

ビームライン上のベローズはできるだけ短く, 溶接ベローズ\*を用い, 位置固定用の絶縁性スタックボルト\*をつける (\*但し必要な箇所のみ)。

第 I チェンバーと第 II チェンバー間の絶縁は計測上の理由から。また第 II チェンバーの 2箇所 (252φ または 152φ フランジ), 第 III チェンバーの 1箇所 (252φ または 152φ), 第 IV チェンバーの検出器ボックスの 1箇所 (70φ フランジ) はポンプと容器を電気的に切離す理由からである。その他アクチュエーター, 試料交換機構, 真線回転, Qマス用回転, 真空計, 全圧分圧計, バラトロン, センサーなど必要な場所に絶縁フランジ (70φ) を用いる。

## (4) 第 I チェンバー

- i) 入射ビーム径を 25 mm  $\phi$  とする。
- ii) アクチュエーターは、制御室からの ON-OFF 指令により、ON のときに入射ビームの電流が読みとれることとする。OFF のときに入射ビームから離れる。
- iii) 試料交換機構

径 25  $\phi$  の穴が 10 個等間隔に円周に沿ってあけられた直径約 150 の円板を第 I チェンバー内で制御室からの信号により回転させる。各穴には試料ホルダー (25  $\phi$  のホイル試料をとりつけたもの) をセットし円板にネジ止めする。制御室からの信号により円板を回転させ順次試料を 1 個ずつビームに照射させるものである。正確な位置に確実に円板が固定、停止すること。円板円周上の停止位置精度は  $\pm 1$  mm 以下。

照射中試料入射の電流を測定できること。

- iv) 試料 (ビーム位置における) を覗るための覗きポートを 2 箇所設ける。(ICF 70  $\phi$  フランジ用)。
- v) ICF 70  $\phi$  フランジ用ポート 8 個をつける。これらは電流導入端子 (70  $\phi$  フランジ付) を使って第 I チェンバーにかかわる電流測定のために使用するが、残りは予備用としてメクラフランジをつける。
- vi) 4 極スリット
 

4 極 4 枚の Ta 板から成りそれぞれの板に流れるビーム電流の測定により、ビーム中心位置と第 II チェンバー 1 mm スリット位置のずれを知るためのものである。同時に第 II チェンバー 1 mm スリットおよびスリット駆動部を (絶縁部やベローズ部分) イオンビームから保護するためのものである。

(5) 第 II チェンバー (本体 600  $\phi$   $\times$  400)

蓋は、中央部に ICF 203 フランジ付。中央部シリンダーにはビームライン接続用のポートの他に ICF 152 フランジが 6 個。底部には周囲に ICF 70  $\phi$  フランジが 18 個、さらに底部に排気用ポートが 4 個 (フランジ ICF 152  $\times$  2, ICF 203  $\times$  2) ついている。2 つの 600  $\phi$  フランジは金属シールとバイトン O-リングシール兼用。蓋は昇降機で昇降およびスライドないし回転する。昇降距離は 500 mm。

## i) 1 mm スリット (可動型)

差動排気と 1 mm  $\phi$  ビーム取出をかねたスリットで第 I チェンバーの 0.1 mm スリット (位置固定) に 1 mm  $\phi$  のビームを通すためのものである。真空を破ることなく外部から手動でこの 1 mm スリットを上下、左右に微調できるように製作する。

またスリット板は交換できるものとし、予備あるいは交換用として、全部で

1 mm  $\phi$   $\times$  2

2 mm  $\phi$   $\times$  2

とする。なおスリットに入射する電流は測定できるようにチェンバーから浮かす。

## ii) アクチュエータ (ファラデーゲージ)

1 mm スリット通過後のビーム電流を測定するためのファラデーゲージであり、そのほかは 5 A (4 ii) の第 I チェンバーのアクチュエーターに同じ。

## iii) 試料交換機構

第 I チェンバーのものと同じ。(5.A (4) iii)

## iv) Q マス用回転機構

制御室からの信号により、チェンバー中心を軸として  $180^\circ$  回転する Q マス取付け用支柱もしくはターンテーブルでもよい。

回転精度  $\pm 0.5^\circ$

荷重 1 kg

回転は  $70 \phi$  ポートを利用してパルスモータ、回転導入端子、ギア等の組合わせによる。

回転位置を制御室で知ることができること。

## v) ICF 203 フランジ取付ゲートバルブ (2 個)

1 つは第 III チェンバーとの真空シャ断用。

他はイオンポンプとの間に使用。

VAT 社相当品。厚さ 800 mm 以下。

最大リーク量 : 本体  $1.5 \times 10^{-10}$  Torr  $\ell$  S $^{-1}$

シート部  $8 \times 10^{-10}$  Torr  $\ell$  S $^{-1}$ 。

## vi) 容器内底部分に、将来検出器、測定器の組立てが容易なように小さなネジ穴を規則的に 10~20 箇所あける。

## vii) 架台

チェンバーとは絶縁され、かつ第 I, II, III チェンバーおよび排気系も含めた架台で上下方向に  $\pm 50$  mm にわたって微調整ができる。

(イオンビームは床面上 1400 mm の高さを水平に走る)。

## (6) 第 III チェンバー

本体両端  $300 \phi$  フランジのついた長さ 200 のシリンダーで測面に ICF  $152 \times 3$ , ICF  $70 \times 2$  および排気用ポート (フランジは 203 ないし 152 で使用するポンプのフランジに合わせる) がつく。

## i) 4 極ビームモニター

ii) で述べるスリット ( $0.1 + 0.3$  mm) 系に対して第 II チェンバーの 1 mm スリットからのビームの入射位置を制御室において知るために設ける。1 mm の間隔のある 2 枚ずつ合計 4 枚の金属板に入射する電流を測定する。

ii) スリット ( $0.1 + 0.3$  mm) 系

差動排気と散乱線を含まない  $0.1$  mm  $\phi$  の細いビームを第 IV チェンバーに通すためのものである。

$0.1$  と  $0.3$  のスリットは交換できるものとする。交換用に  $0.2$  mm と  $0.4$  mm もつくる。

スリット部分は Ta (タンタル) 製。  $0.1$  と  $0.3$  スリットのホルダー自体は 1 体として製作する。片側 ( $0.3$  mm 側) は絶縁を通して第 IV チェンバーのフランジ面にしっかりと固定される。他方の側 ( $0.1$  mm 側) は短管を径で (取付けに都合の良いように、例えばベローズ等を径で) やはり絶縁を径で第 II チェンバー側フランジに取りつけられる。

取りつけた状態で両スリット ( $0.1$  と  $0.3$  mm) の軸がビーム軸と一致している必要が

ある。

スリットの形状については打合わせの上決定する。

(7) 第IVチェンバー

固定される  $300\phi \times 200$  の部分と取りはずしを行う  $300\phi \times 800$  および検出器ボックスから成る。 $300\phi$  フランジが3箇所。取りはずし部分の架台は移動用(車つき, ストッパー付き)とする。

i) 大型電離箱

直径150長さ900のAl製シリンダー。両端Al蓋付。絶縁(テフロン)されて第IVチェンバーのビーム入射側フランジにネジで固定される。大型電離箱(Alシリンダー)自体は外部から高電圧が印加される。最大印加電圧は1kV。さらに2箇所に2重シールド(電氣的絶縁 $10^8\Omega$ 以上;真空タイトではない)のCu線(3mm)を通す細孔があげられている。

ii) 全圧分圧計

全圧( $10^{-4}$ — $10^{-10}$ Torr)を測定するとともに分圧(質量範囲1—50以上)を測定する。ICF 70 $\phi$ フランジ取付け。

残留ガス分析用およびHeによる容器のリークテストとして使用する。(Balzers QMG 064またはVG Gas Analysts社 MASSTOR相当品)

iii) 絶対圧力計

$10^{-4}$ — $10^{-3}$ Torrの範囲の絶対圧力を測定するもの, ICF 70 $\phi$ フランジ取付け。

(MKS Baratron 310 CA相当品)

○フルスケール 10 Torr 用×1

○フルスケール 1 Torr 用×1

○エレクトロニクス/ディスプレイ(270 A相当品)

iv) 自動圧力調整付ガス導入機構

高圧ポンベに取りつける減圧弁(Labo 1300 CTまたは1300 2CT相当品;二次側圧力—760mmHg—3kg/cm<sup>2</sup>真空に排気できるもの)を含む。小型ポンプで排気後第IVチェンバーに試料気体を導入する。

気体の種類: Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

第IVチェンバー気体圧力; 1 Torr および 760 Torr

iii)の絶対圧力計の測定値により設定圧力の±0.5%の精度で圧力を自動制御する。

MKS圧力/流量コントローラ 250 B相当品(バルブコントローラを行うもの)。

コントロールバルブ 248 A—(100および1000 SCCM)の2個

ガスポンベを除いて, ガス導入系(配管, ケーブル, バルブ)のすべてを含む。第IVチェンバーのガス導入はICF 70 $\phi$ フランジを径で行う。

vi) 直線(1m)導入および回転機構(プローブ電離箱付)

これを使用するときはi)の大型電離箱は取りはずされた状態のときである。プローブ電離箱を先端にとりつけた本直線導入および回転機構により, イオンビーム周辺の気体電離の相対分布を測定する。

## プローブ電離箱：

2重メッシュシリンダー，テフロン，アンフェノール製

①内シリンダー：15mm直径， $\sim 12\mu\text{m}$  Ni線，80%以上の透過率をもつ。

②外シリンダー：直径32mm長さ100mm， $\sim 250\mu\text{m}$ 線(SUS製)，透過率70%以上

③中心線：Cu，1mm径線

外シリンダーは電氣的シールド；アースに落とす。

内シリンダーは200VDC印加する。中心線は電離電流を測定するためのエレクトロメータにつなぐ。200V印加と中心線はいずれも同軸ケーブルを用いて接続すること(BNCコネクター)

## 直線導入回転機構：

直線距離 約1m 精度 $\pm 0.5\text{mm}$

回転角度 精度 $\pm 0.5^\circ$

制御室からの信号により駆動すること。またその直線位置および回転角度を制御室において読みとること。

## vii) 検出器支持台およびレール

第IVチェンバーの内側，底にビーム方向に約 $10 \times 20 \times 800$ のレール(50mm間隔ごとにネジ穴をつける)をネジで固定する。

## viii) 検出器ボックス

第IVチェンバーのフランジに取付けられるニップルであるが，第IVチェンバーとは直線的に $10 \sim 20\mu\text{m}$ 程度の金属ホイルでへだてられる。この部分にはSSD検出器を入れるためにICF70 $\phi$ ポートをつけて小型(例えば50 $\ell/\text{s}$ ターボポンプ)ポンプで独立に真空にすることができる。

ICFフランジ 114

ICFフランジ70 $\phi$ 用ポート付

40 $\sim$ 50 $\phi$ の金属ホイル着脱ができるように製作する。

## ix) 一部分取はずし用移動式架台

スリット系はそのまま動かさないで，フランジ(Oーリング)をはずして容易に移動できる。車，ストッパー付き，かつできるだけ軽量であることが望ましい。

(8) 各チェンバー間のフランジ接合部にビームラインに沿った垂直および水平のケ書き線を入れる。

## B 排気系

排気系としては

(第Iチェンバーは既設500 $\ell/\text{s}$ ターボ分子ポンプより排気する。)

## i) 第IIチェンバー

500 $\ell/\text{s}$ 以上のターボ分子ポンプと後段ポンプにより，また真空保持の目的でゲートバルブ付きイオンポンプにより，排気とホールディングを行う。

ターボ分子ポンプ；500 $\ell/\text{s}$ 以上，空冷式(Balzers相当品)，直結型回転ポンプ



(300 ℓ/min 以上), ベロージョイント, リークバルブ, 絶縁フランジ, コントローラ, 接続パイプ, ケーブル等を含む。また小さな物体の落下によりターボポンプの故障にならないような構造にする。架台等を含む。排気ガスはターゲット室排気孔に接続する。

イオンポンプ: 250 ℓ/s 以上, 動作弁  $10^{-4}$  Torr, 真空劣化のさいインターロック機構がある。

ゲートバルブ: VAT 社相当品

## ii) 第Ⅲ, IV チェンバー

低真空 ( $\sim 10^{-2}$  Torr) でも長時間安定に作動する高排気速度のクリーンポンプ (ターボ分子ポンプまたはターボ分子ポンプとルーツポンプの組合わせ) を用いる。ターボポンプは空冷式。止むを得ず水冷式にするときはクローズド循環型にする。

スリット系 (0.1mm + 0.3mm  $\phi$ ) のスリット長さ とポンプ有効排気速度を考慮し, 第IV チェンバーを  $N_2$  (760 Torr) としたときに第Ⅲチェンバー  $1 \times 10^{-2}$  Torr 以下, 第I チェンバー  $10^{-8}$  Torr 台が得られるように原研側と協議, 打合わせの上設計するものとする。このさいポンプの耐久性, メンテナンスの難易も考慮する。第Ⅲチェンバー, および第IV チェンバーの排気を一式の排気系で行うため, それぞれゲートバルブ (VAT 相当品), また必要なベローズ, 絶縁フランジ, 支持または架台, ケーブル類, コントロール, インターロック, Backing ポンプ, 排気孔までの排気ホース等を含む。

## iii) ガス導入系および検出器ボックス用排気

50 ℓ/s 以上のターボ分子ポンプ

ICF 70  $\phi$  フランジ使用

## C 電気系

結線の基準は JAERI-M 8142 に従うものとする。

### i) 電流測定

電流測定すべき線 (14箇所) はターゲット室でまとめてC1 コネクターにつなぐ。ここから制御室までは配線済みである。制御室においては切換スイッチおよび表示ランプのついた制御パネルをおき, 選定箇所の電流値をエレクトロメーターで読む。

エレクトロメーター:  $10^{-3} - 10^{-14}$  A

(タケダ理研相当品)

### ii) 駆動機構

アクチュエータ (×2)  
試料交換機構 (×2) }

の駆動および位置を制御室において行う。II 試料駆動中は, I 試料位置は必ず一定の位置 (たとえば Na 12) にくること。

### iii) Q マス用回転機構

直線および回転機構 }

いずれも駆動および位置読みとりを制御室において行う。各ケーブルはまとめて既設のC<sub>2</sub> (26 p) を利用する。第Ⅱ, Ⅲ, IV チェンバーは駆動用電源と完全に浮いていること。

### iv) 真空計 (×3), 絶対圧力計の読みとりは, いずれもある1つの Range 内の真空度が

制御室で可能のこと。

電気系に使用する機器類、測定器類は制御室とターゲット室それぞれについてまとめてラックに収納すること。

床をわす配線類は保護カバーをつけること。

#### V) 注

電流導入および駆動信号用の配線については、チェンバー内部ではすべて超高真空用の被覆配線とする。チェンバー外部への取出しには、各チェンバーについている70φポートを利用し、またできるだけBNCコネクタを用いるものとする。

配線方法および電気工事にさいしては、東海研究所電気工作物保安規定に従うものとする。

#### A 工場立合試験

##### (1) 真空試験

排気後30分で $10^{-6}$ Torr 台の真空に入ることを確認する。24時間後 $2 \times 10^{-6}$ Torr に入ることのテストデータを提出すること。

##### (2) 第IVチェンバーに760 Torrの気体を入れ、差動排気系が正常に作動することを確認する。

##### (3) スリット系軸合わせ

レーザービームを通してスリット系(5mm, 1mm, 0.1mm, 0.3mm)と照射系中心軸および2つのアクチュエーター、試料位置との軸が一致することを確認する。また1mmスリット位置の外部からの微調を確認する。

##### (4) ファーストアクチングバルブ系作動試験

##### (5) 電気系統の絶縁テスト

各電気系統間およびアースとの各配線間の絶縁抵抗が100 MΩ以上あることを確認する。

##### (6) 各制御系の動作確認

仕様にもとづく全ての機能について動作試験を行う。とくにアクチュエータ、試料交換機構については確実に所定の位置に駆動できることを数回にわたって確認する。また直線(1m)と回転およびQマス用回転機構については、精度 $\pm 0.5$ mm、角度 $\pm 0.5^\circ$ 以内であることを確認する。

#### B 現地試験

工場立合試験合格後に搬入すること。上記(A)工場立合試験の項目すべてについて現地据付調整後試験を行う。

とくにA.(2)については、第IVチェンバーを760 Torrに保ち(N<sub>2</sub>ガス)ながら、標準排気(500 l/sターボ)内真空度( $10^{-6}$ Torr)が標準排気と本装置間のバルブを開けることにより劣化しないことを確認する。

またA.(6)については、制御室からの信号を用いて駆動テストおよび測定(読みとり)テストを行う。

## 7. 設置場所

東海研究所タンデム加速器棟第1重イオンターゲット室T<sub>8</sub>ビームライン。

## 8. 設置工事

- (1) 据付場所は原研側と打合わせる。
- (2) 配線方法および電気工事にさいしては、東海研究所電気工作物保安規定および「タンデム加速器棟における実験装置用ケーブル類（JAERI-M 8142）」の基準に基づくこと。
- (3) 設置工事に必要な電気，圧空，クレーン，水は無償で供与。次のものが使用可能である。  
 電源 3φ 3W 200V 100A×1 30A×2  
 1φ 3W 200V/100V 100A×1 30A×2  
 クリーン電源 1φ 2W 100V 20A×4  
 1φ 115V 20A×4  
 圧空 5.6 kg/cm<sup>2</sup>  
 クレーン 旋回型ローヘッドホイスト付 5.t  
 揚程 4.5m
- (4) 真空ポンプからの排気はターゲット室内の排気口と接続する。接続にはフレキシブルホースを使用のこと。
- (5) 信号用配線，電源配線等床面をはわす場合には保護カバーをつける。
- (6) 機器類はすべてラックまたは架台内にまとめて収納すること。

## 9. 提出書類

- (1) 承認および各部詳細性能説明書 製作前 5部
- (2) 作業工程表 製作前 5部
- (3) 装置の完成図 納入時 5部
- (4) 電気回路図 納入時 5部
- (5) 取扱い説明書 納入時 5部
- (6) 工場試験要領書 試験時 5部
- (7) 工場試験成績書 納入時 3部
- (8) 現地試験要領書 納入時 3部
- (9) 現地試験成績書 納入時 3部
- (10) 打合わせ議事録 納入時 3部

## Ⅱ. 化学反応測定系

### 1. 使用目的

多価重イオン衝撃に特異な化学反応の解明を目的として、照射中の物質から放出される化学反応生成物を測定するために使用する。

### 2. 実験の概要

本装置は、タンデム加速器棟第1重イオンターゲット室に設置される重イオン照射化学反応測定装置(I)照射排気系に付置される。

照射中の物質から放出される化学反応生成物としては、正及び負イオン性ならびに中性の分解フラグメントが考えられる。さらに正イオン性フラグメントの電荷は1～10に分布し、各フラグメントは0～50 eVにわたる飛行エネルギーをもち、また収率は衝撃イオンあたり0～1個である(衝撃イオン数は毎秒 $10^{10}$ 程度)。これらの値は、衝撃イオン種や試料物質によって大きく変化することが予想される。

本装置を用いて、これらの化学反応生成物の質量/電荷比、飛行エネルギー、及び中性種の質量を測定する。

### 3. 装置に要求される性能

衝撃イオン種、試料物質、測定対象とする反応生成物の違いに応じて、次の(i)～(iv)の性能が要求される。

#### (i) 高感度である：

チャンネルترون検出器と高効率アイオナイザーが必要となる。

#### (ii) 飛行エネルギー測定ができる：

エネルギーアナライザーが必要である。

#### (iii) 高分解能である：

電荷数1～10に分布する質量数の異なる数種類のイオン生成物が相互に分離検出されるために必要。たとえば $N^+$ と $Fe^{2+}$ 、 $Si^{4+}$ と $N^{2+}$ 、 $C_2H_4^+$ と $CO^+$ 、 $Al^+$ と $CN^+$ などが分解できるためには分解能( $M/\Delta M$ )1000が、また $Fe^{2+}$ と $Si^+$ 、 $N^+$ と $CO^{2+}$ などが分解できるためには分解能( $M/\Delta M$ )3000が必要である。

#### (iv) イオン化効率の大きいアイオナイザーがある：

中性の生成物をイオン化して検出するため必要。

実際にタンデム加速器を用いての実験を進めるに際しては、さらに(v)、(vi)の要請が必須となる。

#### (v) モジュール性(互換性)：

上記(i)～(iv)のいずれか1つの性能を最高条件にするため、一般には、装置の構成部品を交換あるいは附加して調整を行う。この際には他の性能は犠牲にされる。最高条件にすべき

性能はそれぞれの実験により変るが、その変換（装置の組立、調整）が、測定者が現場でできる程度に容易でなければならない。

(vi) 遠隔操作・測定ができる：

装置が設定されるターゲット室と実験者のいる制御室は約100米隔てられている。信頼性ある測定・操作ができなければならない。

4. 装置の構成；仕様

Extranuclear Laboratories 社（米国）製：

- (i) アクシャルアイオナイザー（MS） 41 - 1  
検出効率： $10^{-3}$ （4 - 324 - 9 ポール，3 MHz，Res. 56， $N_2$ ），感度： $10^{-2}$  A / torr  $N_2$ ，エミッション電流：50 mA（36 W）
- (ii) クロスビームアイオナイザー 41 - 3  
被検粒子流に対してQポールが垂直の配置となる。
- (iii) アイオナイザーコントロール 20 - 2
- (iv) ELFSカドラポール 7 - 324 - 9  
粒子導入側スリット及び四重極ポールが容器と絶縁される。分解能（保証値）：300（ $M=10$ ），900（ $M=120$ ）。
- (v) カドラポールパワーサプライ 11 - 1  
2.2 MHz 高Q付（11 - 13）。
- (vi) チャンネルトロン4816 51 - 72  
Gain： $10^8$ （3 kV印加）。
- (vii) エネルギーアナライザー 616 - 1  
通過エネルギー（Center-point-energy）0 - 50 eV  
エネルギーバンド幅（1%レベル）：2.8 - 4.5 eV
- (viii) 同上コントロール 275 - E55
- (ix) カウンティングプリアンプ 32 - 3  
アナログ両用，パルス（2 V， $10^{-7}$  S 幅）
- (x) エレクトロメータ /  $\pm 5$  kV 31 - 3
- (xi) オシロスコープ 92 - 1
- (xii) ベローズニップル

ICF 152 フランジ付・全長約130mm。質量分析計を既設の照射排気系に取付けるために必要。イオンビームに対する質量分析計の位置及び角度が微調整できるものとする。

(xii) その他の仕様

本装置は、タンデム加速器棟第1重イオンターゲット室に設置予定の重イオン照射化学測定装置(I)照射排気系に設置する。

装置の制御（操作）及びデータ読取りは制御室において行う。装置を作動させるに必要なコネクター，コード類一式を含むものとする。遠隔測定・遠隔駆動に際しては、タンデム加速器棟第1重イオンターゲット室と制御室間に固定配線されている実験装置用ケーブルを使用

するものとする。この際配線方法その他に関して JAERI-M 8142「タンデム加速器棟における実験装置用ケーブル系」のマニュアルに従うこととする。

#### 5. 検査（検収条件）

- (i) 質量スペクトル：M=1-120 にわたって残留ガス成分の質量スペクトルを測定し、正常に作動することを確認する。
- (ii) 感度：分圧計 Balzers QMG 064（または相当品）による  $N_2$  分圧と M=28 ピーク電流値を用いて  $10^{-2}$  A/torr  $N_2$  以上を確認する。
- (iii) 分解能：M=16 ( $O^+$ ,  $CH_4^+$ ) 及び M=28 ( $CO^+$ ,  $N_2^+$ ,  $C_2H_4^+$ ) のピーク微細構造に基いて分解能 900 以上 (M=120) であることを確認する。
- (iv) エネルギーアナライザー： $N_2$  の電子線衝撃により解離する  $N^+$ ，または keV  $Ar^+$  衝撃による放出二次イオンのエネルギースペクトルを 0-50 eV 範囲にわたって測定し、エネルギーアナライザーが正常に作動することを確認する。
- (v) タンデム加速器棟における実験装置用ケーブル系を用いて遠隔操作と遠隔測定が十分な信頼性をもってできることを確認する。

#### 6. 提出書類

- |                   |     |    |
|-------------------|-----|----|
| (i) 取扱い説明書        | 納入時 | 2部 |
| (ii) 試験成績書        | 納入時 | 2部 |
| (iii) ベローズニップル製作図 | 製作前 | 2部 |

(以上)