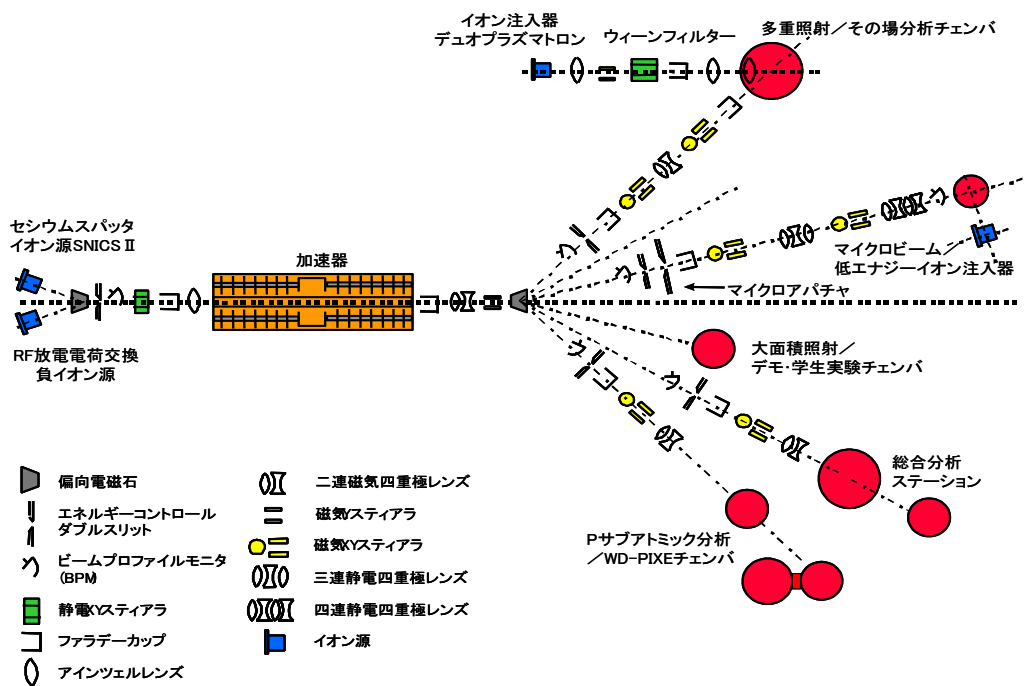


2. 静電加速器システムの概要

静電加速器は米国National Electrostatics Corporationの製品で、高電圧ターミナルと加速管を内蔵するタンデム型加速器タンク、イオン源、低エネルギービーム輸送部、高エネルギービーム輸送部、そして5本のビームライン、及び制御コンソールから構成される。各ビームライン末端にはターゲット容器並びに放射線測定機器類が用意されている。イオン源では、各種原子核の負イオンビームが生成され、低エネルギービーム輸送部でこの負イオンビームの核種選択、収束、軌道修正が行われる。タンデム型加速管の低エネルギー側に入射されたこの負イオンは、最高+170万ボルトに保持された中央部のターミナルに向かって加速された後、ターミナルで負イオンから正イオンに変換される。この正イオンは加速管の高エネルギー側でさらに加速される。



高エネルギービーム輸送部では、この正イオンビームの収束、偏向が行われ、各ビームラインに配分される。各ビームライン先端には、高真空もしくは超高真空ターゲット容器が設置されており、ターゲットにビームを照射して種々の実験に利用される。

1). イオン源

RFイオン源とセシウムスパッタイオン源を常備し、ほとんど全ての安定原子核の負イオンビームを迅速に生成することができる。大地電位に置かれるため、保守、操作性に優れている。

<RF放電-電荷交換負イオン源>

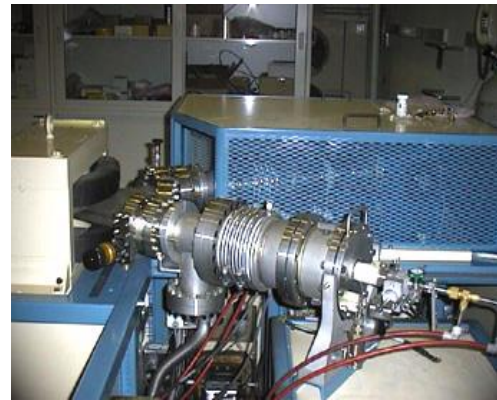
主としてヘリウム(^3He , ^4He)の負イオン生成に用いる。石英放電管中で高周波(RF)電磁場によりガスを電離し、放電プラズマ中の正イオンを5keV程度で引き出す。ルビジウム蒸気中にこの正イオンを通すと、共鳴電荷交換反応により、最大約2%が負イオンに変換さ

れる。負イオンは、ダブルギャップレンズにより30keVに加速、収束される。4 μ Aの $^4\text{He}^-$ イオンが1000時間以上連続して発生できる。残留ガスとの電荷ストリッピング反応による負イオンの損失を最小限に抑えるため、150 l/s のターボ分子ポンプがこのイオン源直後に取り付けられている。



<セシウムスパッタ負イオン源 (SNICS II) >

希ガス以外のほとんど全ての安定原子核の負イオン生成ができる。セシウム蒸気中で生成したい元素を含む物質を陰極とし、タンタルフィラメントを陽極として、表面電離によりセシウムプラズマをつくる。セシウム正イオンが陰極を衝撃するとき、陰極構成原子がスパッタリングにより負イオンとして陰極表面から多量に放出される。5keV程度で引き出された負イオンは、ダブルギャップレンズにより32keVに加速、収束される。



エミッタンスは $6-8\pi \text{ mm}\cdot\text{mrad}\cdot(\text{MeV})^{1/2}$ 程度である。

主要負イオンの電流値 (SNICS II)

イオン種	電流(μA)	イオン種	電流(μA)	イオン種	電流(μA)	イオン種	電流(μA)
$^1\text{H}^-$	40	$^{13}\text{C}^-$	2	Al_2^-	10	As^-	30
$^7\text{Li}^-$	2	$^{28}\text{Si}^-$	150	VH^-	25	Au^-	150
$^{11}\text{B}^-$	56	Ta^-	6	Ni^-	40		
$^{12}\text{C}^-$	260	P^-	155	Cu^-	40		

2). 低エネルギービーム輸送部

イオン源では多様な負イオンが生成される。この質量選別のためと、二種類のイオン源の切り替えのために $\pm 30^\circ$ 偏向電磁石が用いられる。偏向能力 ME/z^2 は $4.8 \text{ amu}\cdot\text{MeV}/z^2$ 、分解能 M/DMI は20である。ビーム調整のために、ファラデーカップ、アインツェルレンズ、静電XYスティアラが用意されている。輸送管は330 l/s のターボ分子ポンプにより、 10^{-6}Pa 台の到達圧力に排気されており、イオン源および加速器作動中でも $1 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 台に保たれる。



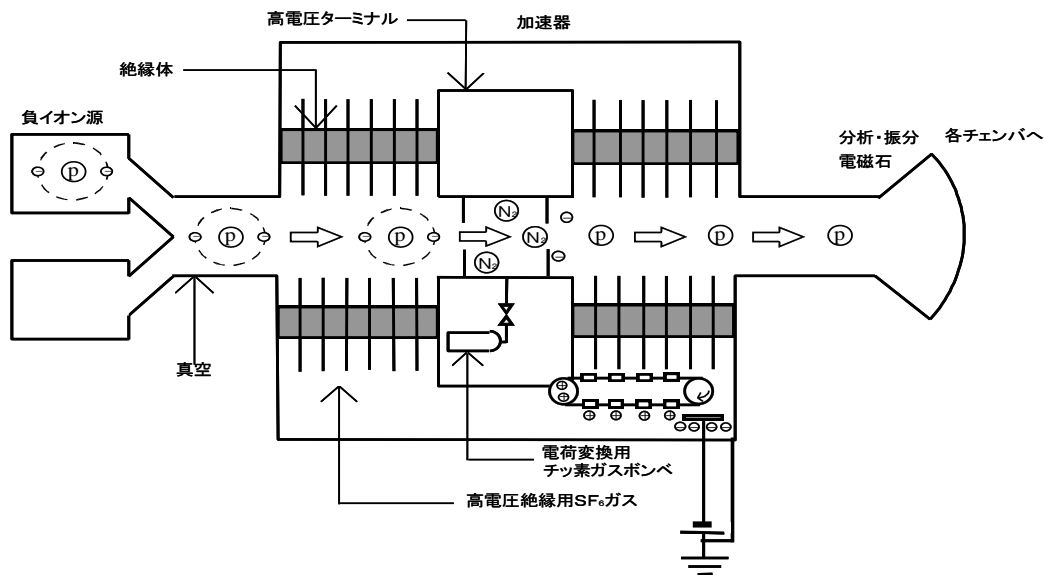
3). 加速器本体

直径1.07m、長さ3.94mのタンク内に同軸状に、直径610mmの2本の加速管を両端にもった高電圧ターミナルが納められている。

低エネルギービーム輸送部から入射された30keVの負イオンは、 10^{-5} Pa台の高真空に保たれた低エネルギー側加速管中で、電圧 V_t に保持されたターミナルに向かって加速され、ターミナルでエネルギー eVt を得る。負イオンはターミナル内で窒素ガス分子との電荷ストリッピング衝突によりz価の正イオンに変換される。正イオンはさらに高エネルギー側加速管中で大地電位に向かって加速され、全エネルギー $(z+1)eVt$ を得る。重イオンの場合、5価程度までは比較的容易に生成されるので、最大10MeV程度まで重イオンが加速できる。

負イオンから正イオンへの変換には窒素ガスが用いられている。ターミナルのビーム通過部(カナル)は内径7.9mm、長さ610mmのパイプになっており、1Pa程度に窒素ガスが微量導入される。窒素ガスが加速管に流出すると、加速を終了する前に電荷変換されてしまうイオンが増加し損失となる。

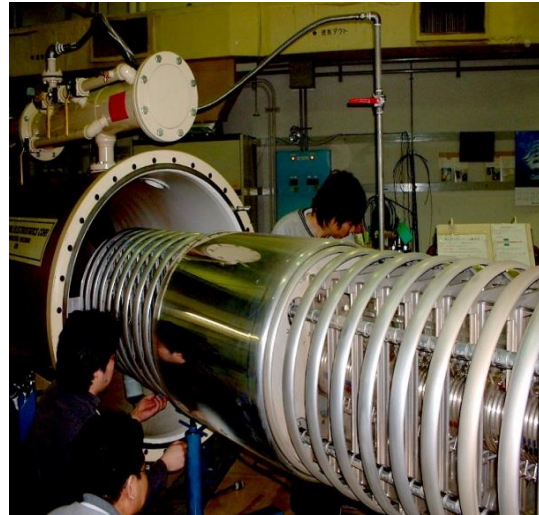
負イオンの生成	負イオンの加速	電荷の変換	正イオンの加速	振分け
---------	---------	-------	---------	-----



このガス流出を最小限に抑えるために、カナル出口にバイパス管を設けターミナルに内蔵されたターボ分子ポンプで排気、カナルに循環させている。

高電圧の発生は、2本のペレットチェーンでターミナルに電荷搬送して行う。ダウンチャージングの追加等の機能向上により、1本当り150 μ Aが搬送できる。電圧安定性は、コロナ放電電流制御により、1kV以下の変動に抑えられている。コロナ放電電流へのフィードバック信号には2種類が用意されている。スリットコントロールと、GVMコントロールである。前者は、振り分け後の各ビームラインに置かれた2枚の平行電極(エネルギーコントロールスリット)へのビーム電流のアンバランスをフィードバックする。一方後者は、ターミナル電圧測定のために用意された容量分圧型電位計(GVM)の変動をフィードバックする。

加速管の電位分配方式は抵抗分割である。ターミナル付近の電極からは、加速された迷走電子による制動放射X線が放出される。迷走電子が高エネルギーに加速されにくいように加速管随所に永久磁石がはり付けられている。更にX線バックグラウンドを下げる工夫が施されている。タンク外周にX線遮蔽のための最大25mmの鉛板が巻かれ、タンク外表面で $25 \mu \text{ Sv/h}$ 以下に抑えられている。高電圧の絶縁のためには5.6気圧の SF_6 ガスが用いられている。運転中はタンク上部に取り付けられた精製器中を循環させ、放電生成物を取り除いている。



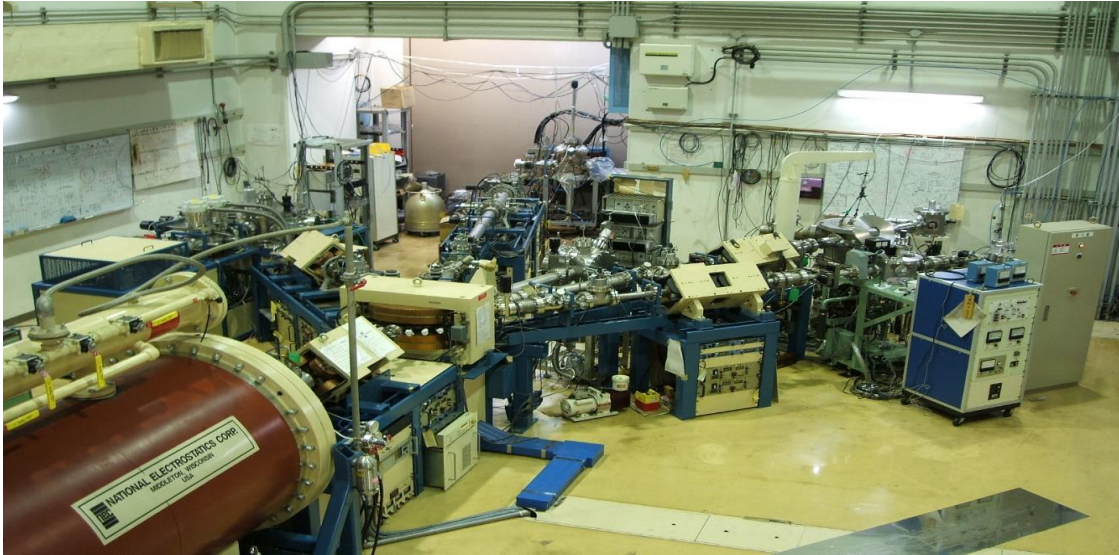
4). 高エネルギービーム輸送部

330ℓ/sのターボ分子ポンプが、輸送管を到達圧力 10^{-6} Pa台に保ち、加速器作動中でも 1×10^{-4} Pa程度に保っている。加速管を出たビームの収束を行うために二連磁気四重極レンズ、及び各ビームラインに偏向するための分析・振分電磁石が配置されている。

-45° (M45)、-30° (M30)、及び+45° (P45)の各ビームラインには、ビームプロファイルモニタ、エネルギーコントロールスリット(シングル)、ファラデーカップ、磁気XYステアアラ、及び二連磁気四重極レンズが適所に配置され、ターゲット容器への効率的な輸送を図っている。+15° (P15)ラインはマイクロビーム仕様になっている。ビームプロファイルモニタ、エネルギーコントロールダブルスリット、ファラデーカップに続き、三連静電四重極レンズ、及び四連静電四重極レンズが配置され、長さ約6mである。



二連磁気四重極レンズは ME/z^2 が $150 \text{ amu} \cdot \text{MeV}/z^2$ までの粒子を各ビームラインのエネルギーコントロールスリットに収束させ得るものである。分析・振分電磁石の能力は $\pm 15^\circ$ $\pm 30^\circ$ 及び $\pm 45^\circ$ の偏向に対してそれぞれ $72 \text{ amu} \cdot \text{MeV}/z^2$ 、 $18 \text{ amu} \cdot \text{MeV}/z^2$ 及び $8.6 \text{ amu} \cdot \text{MeV}/z^2$ で、安定度は0.0003%である。四連静電四重極レンズは、2mm間隔で配置された長さ43mmないし77mmの電極を用い、最大5kVが印可される。レンズ出口から150mmの距離に10:1の縮小が可能で、ターゲット上で直径 $20 \mu \text{ m}$ のビーム径を得るために、レンズから4.2m上流の位置で直径 $200 \mu \text{ m}$ から6mmのアーチャーを選択できる。P15ラインは330ℓ/sのターボ分子ポンプで輸送管を到達圧力 10^{-6} Pa台に保っている。



5). ビームライン (BL) とターゲットチェンバ (TC)

(1) M30BL ; 総合分析ステーション

内径600mmの真空容器M30TC内に、2軸動作(回転360°、上下39mm)の可能なターゲットホルダ、及びそのターゲット周りを回転移動できる検出器とその駆動機構をもっている。

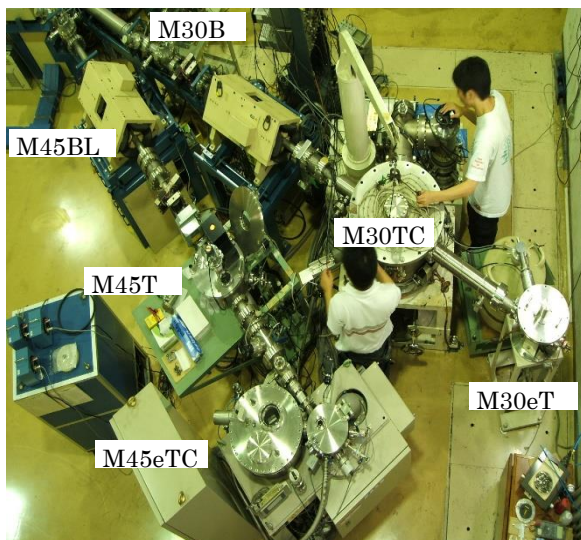
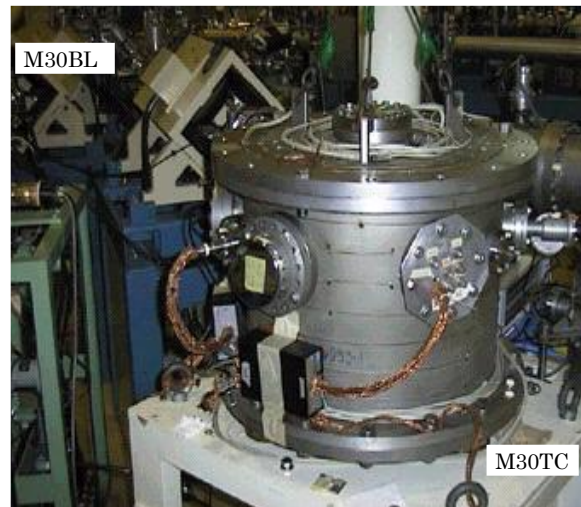
真空排気は500L/sのターボ分子ポンプで行われ、到達圧力は 10^{-6} Paである。

目的に応じた種々の大きさの荷電粒子用半導体検出器が常備されており、ラザフォード後方散乱分光(RBS)、弾性反跳粒子検出法(ERDA)、並びに核反応分析(NRA)が随時行える。

さらに、延長管先端のM30eTCにはSi(Li)又はPIN-Si X線検出器を装備し、粒子励起X線放出(PIXE)分析が行える。通常の真空内照射に加えて大気照射PIXE分析が随時行えるようになっている。真空照射の場合、試料可動範囲は上下180mmである。

(2) M45BL ; サブアトムック相互作用と波長分散PIXE

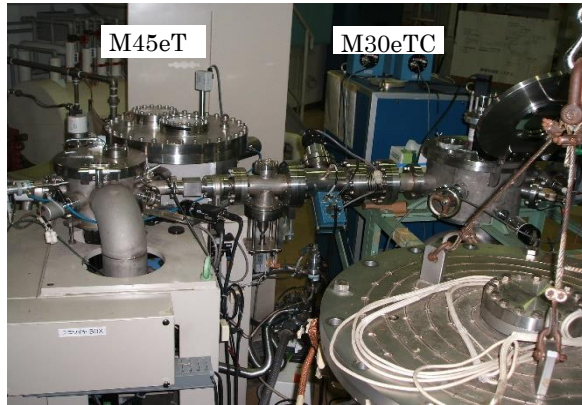
M45TCは内径300mmの半円筒状真空容器で、6個の試料を同時装着できる回転ターゲットホルダをもっている。



また、ターゲット試料のその場・同時 FTIR分析が可能で、イオン飛跡形成機構などサブアトム相互作用の研究に利用されている。

M45eTCには、波長分散型X線分光器 (KOBELCO製) が装備され、特性 X線エネルギーの化学シフトを利用した化合物同定を目指した研究が可能である。検出器は位置敏感型MCP、分光結晶にはPETとSiが常備され、そ

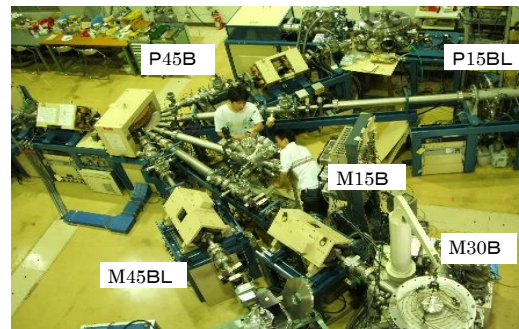
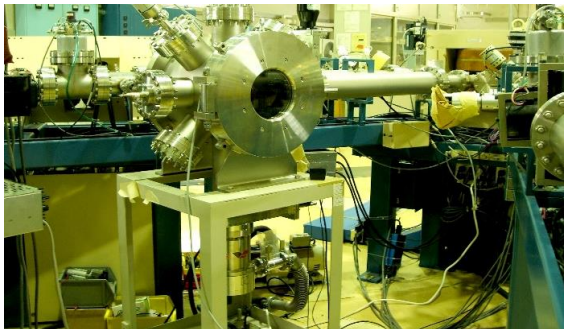
の交換使用により硫黄(2.3keV)から鉄(6.4keV)までの K_{α} -X線測定が2eVから22eVの分解能で可能である。試料室と分光器室の真空排気はそれぞれ300l/s、150l/sのターボ分子ポンプで行われ、到達圧力はそれぞれ 1×10^{-5} Pa、 3×10^{-6} Paである。



M45e

(3) M15BL ; 大面積照射と公開デモ・学生実験

連続回転ターゲットホルダを有し、30×600mm程度の大幅面積試料への照射が可能である。排気装置は250l/sのターボ分子ポンプである。大きなビューポートから真空槽内を観察でき、見学するには最適な構造になっているので、公開デモ実験や、学生実験に利用されている。前者では、ビームの可視化と磁場によるビーム偏向のデモンストレーションなど、後者の学生実験では原子核衝突(Rutherford散乱)における散乱断面積の散乱角依存性を調べさせている。なお、公開デモ実験としてはM30eTCでの大気照射PIXEも行っている。



(4) P15BL ; マイクロビームと低エネルギーイオンビーム

直径20 μ mに収束できるマイクロビームラインの先端に位置し、内径280mmの球形真空容器内に、ターゲットホルダとなる5軸ゴニオメータ、試料加熱装置をもっている。超高真空仕様になっており、 10^{-5} Pa程度までの真空排気は250l/sのターボ分子ポンプを用い、それ以下、到達圧力 10^{-8} Paまでの排気は、スパッタイオンポンプとチタンサブレーションポンプを併用して行う。ターゲット試料の取替はバルブで隔離



できる真空側室で行えるよう、試料搬送機を備えている。また、その場で低エネルギーイオン注入を行うためのマイクロ波放電(ECR)型イオン源(日新電機製)に接続できる。

P15ライン低エネルギーイオン源仕様
 プラズマ生成方マイクロ波放電, 2.45GHz, 200W
 ビームエネルギー 50eV - 25keV
 ビーム電流, 安定性; 最大100 μ A, \pm 15%以下
 質量選別, 中性粒子除去; 90° 偏向分析電磁石方式,
 0.7amu \cdot MeV/z²

5軸マニピュレータ仕様
 移動距離/角度, 精度
 x (水平方向); \pm 12.5mm, 5 μ m
 y (垂直方向); \pm 12.5mm, 5 μ m
 z (ビーム軸方向); \pm 50mm,
 5 μ m

(5) P45BL; 注入・その場分析チェンバ

内径600mmの真空容器内に、2種類のターゲットホルダ、及び4系統の検出器ホルダをもっている。真空排気は500 ℓ /sのターボ分子ポンプで行われるが、補助ポンプにはスクロールポンプが用いられている。油蒸気の逆流によるビーム照射試料表面への炭化水素堆積を防ぐためである。到達圧力は10⁻⁶Paである。



2軸マニピュレータ仕様
 y (垂直方向); \pm 50mm, 分解能
 5mm
 θ (y軸回転); \pm 180°, 分解能
 0.01°

5軸マニピュレータ仕様
 x (水平方向); \pm 8mm, 分解能
 5 μ m

イオン注入器仕様
 (デュオプラズマトロン)
 プラズマ生成方式; アーク放電, 600W
 ビームエネルギー; 最大30keV
 電流; 2mA
 イオン種; H⁺, He⁺, O⁺, Ar⁺他
 質量選別; E \times Bフィルタ方式



6). コンピュータ制御

全システムはコンピュータにより制御測定室から遠隔制御される。

