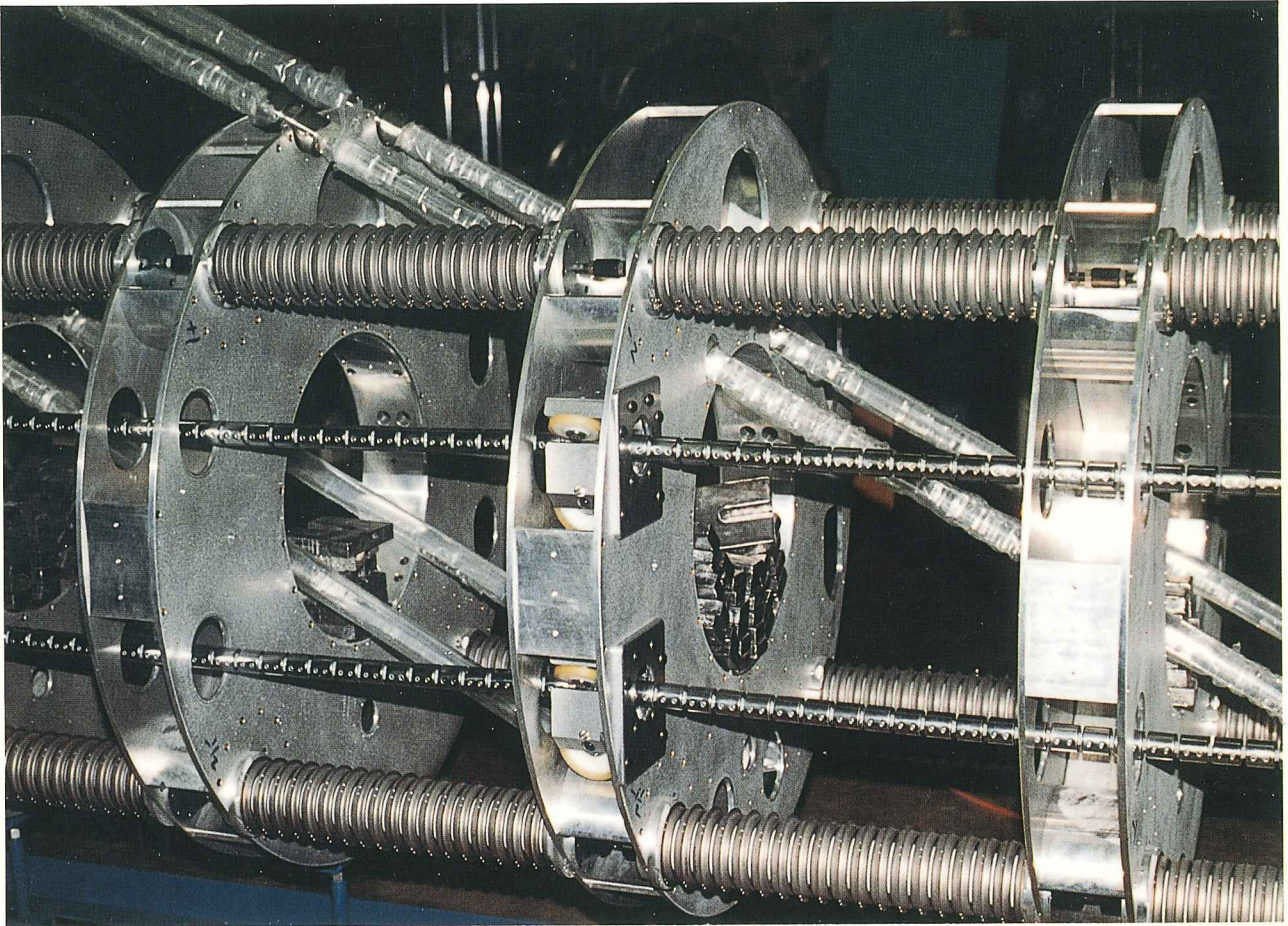


# タンデム加速器実験棟

1990



京都大学理学部物理学第二教室

## はじめに

京大理学部タンデム・バンデグラーフは1987年度より更新プロジェクト(総額8.3億円、米国NEC社8UDHペレットロン)が始まり、米国NEC社の技術者による建設、組立、調整が順調に進み、この3月で完成いたしました。8月には法令に基づく原子力安全技術センターによる施設検査に合格し、本実験開始に向けて現在各コースの整備・調整のテスト実験を行っています。

建物は古いままですが、一度中に入るとVAXを中心とする最新式のデータ処理装置やコンパクトな計算法制御のコントロールデスクなどが目にはいります。また加速器室ではすっかり更新された負イオン入射系が見え、タンクは古いままですが、中身は全部新品で旧型の電荷搬送絶縁ベルトに代わって軽快な二連のペレットチェーンの回転音が聞こえてきます。また昔懐かしい油拡散ポンプの姿は全く消え、イオンポンプ、ターボ分子ポンプが並んでいて旧型を知る人にとっては20年間の技術革新の速さを実感されるでしょう。本年のはじめまでに行われた性能試験の結果は以下のごとくです。

高電圧発生試験：カラム単独 9.8MV

加速管組込 8.7MV

ビーム加速試験：

分析イオン	電荷	エネルギー	分析後電流	負イオン電流	入射電圧
-------	----	-------	-------	--------	------

陽子	1 <sup>+</sup>	5.17MeV	5.5 $\mu$ A	16.7 $\mu$ A	170kV
----	----------------	---------	-------------	--------------	-------

陽子	1 <sup>+</sup>	16.18MeV	5.5 $\mu$ A	7.5 $\mu$ A	180kV
----	----------------	----------	-------------	-------------	-------

シリコン	7 <sup>+</sup>	64. MeV	5.2 $\mu$ A	3.7 $\mu$ A	180kV
------	----------------	---------	-------------	-------------	-------

端的に言ってビームエネルギーで約2倍、ビーム強度で約10倍となっています。その他、安定性やビームの質において格段の進歩が見られます。

## 目次

### I タンデム加速器概要

- 1 タンデム加速器実験棟装置概要
- 2 イオンビーム加速
- 3 タンデム加速器装置
- 4 測定装置等

### II タンデム加速器の利用

- 1 核物理
- 2 学際
- 3 教育

### III 安全対策

### IV その他

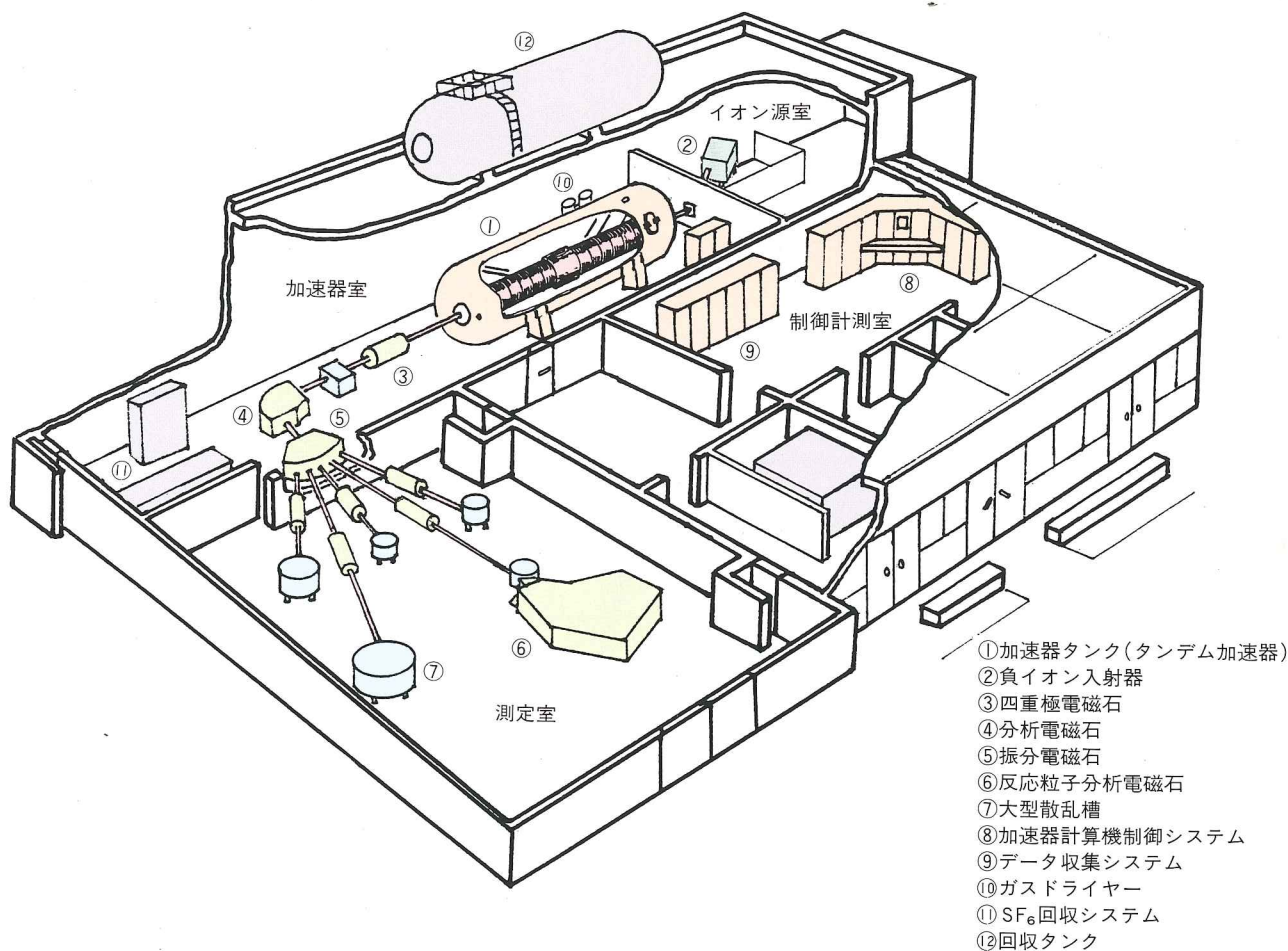
- 1 沿革
- 2 運営
- 3 加速器諸元

## 表紙の説明

更新された加速器のカラム構造の一部。高電圧ターミナル部の両側のカラムはそれぞれ1MVに相当するユニットが8個から出来ています。1つのカラムユニットの両側はアルミの箱であり、その間は4本の絶縁ポストで連結されています。4本斜めに見えるロッドはアクリル製でカラムの垂直荷重を支えています。手前に電荷搬送用のペレットチェーンが見えます。

# I タンデム加速器概要

## 1. タンデム加速器実験棟装置概要



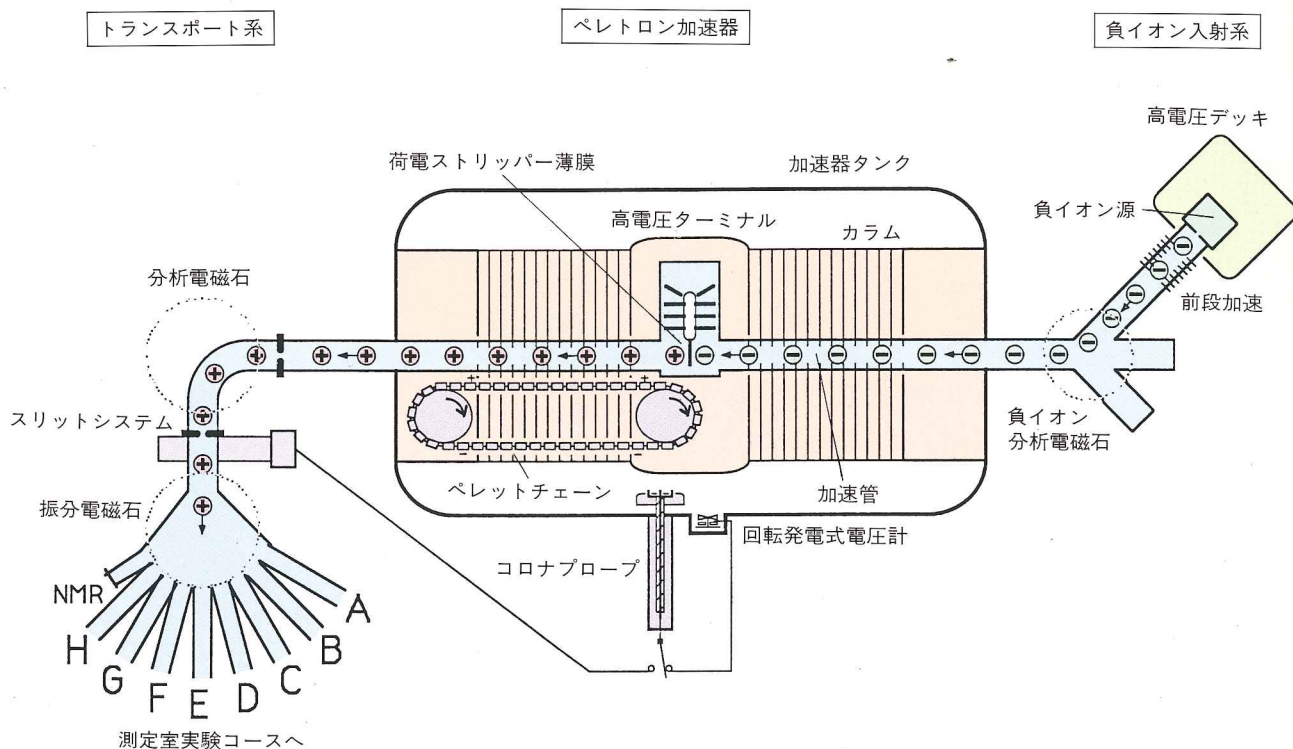
米国NEC社製8UDHベレトロン加速器は加速器室の既存のタンクに納められています。更新された負イオン入射系でほぼ全ての元素イオンを効率よく加速することが可能となりました。加速管はタンク両側のイオンポンプにより真空排気されています。タンク内の絶縁ガスにはSF<sub>6</sub>を用いています。タンクの横にはガスドライヤーが設置され加速器運転中は常時ガスを循環して水分や分解生成物を除去しています。回収システムを更新し、加速器タンクの残圧を数ツールまで屋上の既設タンクに回収できます。ビームトランスポートはすべて既存の分析電磁石・振分電磁石及び四重極電磁石を利用しています。しかし真空ダクトやファラディカップ等のコンポーネントは更新されて、金属ガasketを用いてペーキング可能であり、イオンポンプとターボ分子ポンプを用いて清浄な高真空を達成しています。

測定室には8本の実験コースが計画されています。既存の反応粒子分析電磁石は四重極電磁石の追加等の改造がなされて立体角が大きく(明るく)一度に測定出来るエネルギー範囲も広くなりました。またその散乱槽等も更新されて使いやすくなっています。その他の実験コースは基本的には既存の散乱槽を分解・清掃して使用しています。

制御計数室の南側にはNEC社製の加速器計算機制御システムとパソコンを用いた自家製のトランスポート制御システムとが並んでいます。反対側にはデータ収集用電子回路カマック等の入ったラックやデータ処理用計算機VAXが並んでいます。

その他、加速器の性能向上にともない加速器室の加速器本体と入射システムとの間に放射線遮蔽の壁を設けて遮蔽を強化しました。又実験準備室と加速器室との間に遮蔽扉を追加し、加速器の保守・運転の効率化を図りました。

## 2. イオンビーム加速



負イオン入射系の高電圧デッキ内の負イオン源で発生された負イオンはまず前段加速されて負イオン分析電磁石により目的の原子（分子）の負イオンが選り出されます。分析された負イオンビームはタンデム加速器に入射され高電圧ターミナル部まで加速されます。負イオンはターミナル部の炭素薄膜の荷電ストリッパを通過して電子をはぎ取られ正イオンとなります。この薄膜は寿命が長くないので遠隔で交換できます。また窒素ガスを用いたストリッパも用意されています。重い元素では原子の電子がすべてはぎ取られるのではなくていくつかの異なる荷電を持った正イオンとなります。この正イオンは再びアース端まで加速されます。正イオンの荷電を $ze$ 、ターミナル電圧を $V_T$  (MV)、入射系デッキの電圧を $-V_I$  (MV) とすると、正イオンの最終加速エネルギー $E$  (MeV) は次の式となります。

$$E = [(z+1) \times V_T + V_I] e$$

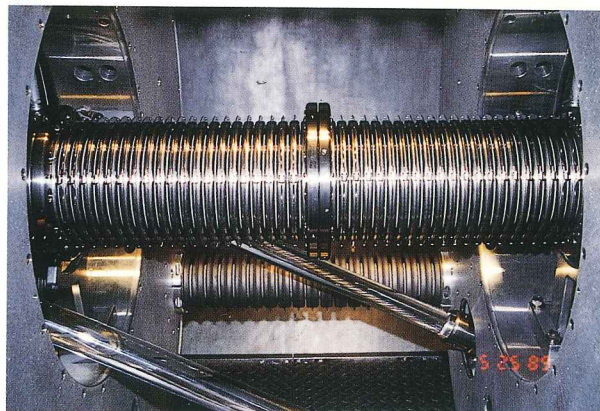
本加速器では高電圧を発生するのにペレットチェーン式電荷搬送システムを用いています。これは金属製のペレットに正の電荷を乗せてアース端からターミナル部に運び、逆にターミナル部では負の電荷を乗せてアース端に運ぶことによりターミナル部に正の高電圧を発生させる方式です。金属に静電誘導で電荷を乗せるので安定度が良くなり、ターミナル電圧の変動（リップル）が小さく、又放電の原因となるゴミなどの発生も少ない特徴を持っています。

加速器の高電圧の補正はターミナル部に面してタンク壁から突き出したコロナプローブ（先端が針になっている）から微少電流をターミナルに直接コロナ放電で流して行います。この電圧補正の検出には2つのモードが用意されていて適したモードが選べます。1つは回転発電式電圧計(GVM)で測定されるターミナル電圧 $V_T$ を用います。もう1つは加速されたビームを用いるものでビーム分析電磁石の像点スリット電流を比較し、このスリット電流が均衡する（エネルギー $E$ が安定する）ように補正します。

### 3. タンデム加速器装置

#### A. 加速管

306mmの長さを持ち2本で1ユニット(1MV)になる新型加速管を採用しました。これは、“compressed geometry”等のNEC社の最近の開発の成果を踏まえたもので従来の標準加速管より27%有効セラミック絶縁部が多く、又1ユニット当りの加速ギャップ数も33から42に増加しています。ここで10または11ギャップ毎にV形の電極が取り付けられ、特にフランジ部の電極はイオンのトラップとして働くように工夫されています。



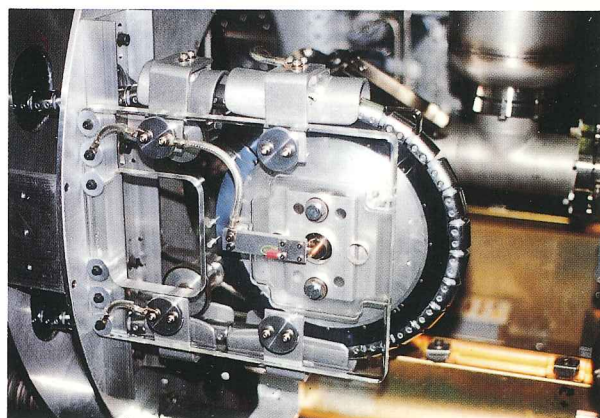
#### B. 横型カラム

カラムのポスト等のユニット構造は従来のNEC社の縦型モデルと同じです。高電圧ターミナル部の両側のカラムはそれぞれ1MVに相当するユニットが8個から出来ています。1つのカラムユニットの両側はアルミの箱であり、その間は4本の絶縁ポスト(チタンとアルミナセラミックの積層構造)で連結されています。主な違いは荷重を支えるためにアクリル製ロッド6本×2で斜めに引っ張り上げていることです。各々のロッドは直径38mmで550kgfの引っ張りに耐えます。これらのロッドには最大230kgfの垂直荷重が配分されています。アクリルロッドの塑性変形やタンクの膨張等による張力の変化を小さくするために長いスプリングを介して取り付けられています。テストの結果ロッド保護のためにロッドがカラムから外に出るところの局所電場の最適化(電極の追加等)がなされ現在に至っています。



#### C. 電荷搬送システム

電荷搬送にはNEC社の直径31.8mmのペレットチェーンを用いています。独立な2系統のシステムからなりそれぞれが150 $\mu$ A、合計で300 $\mu$ A高電圧部に搬送出来ます。各チェーンは18m/sの早さで駆動され、駆動滑車は導電性を持ち直径305mmで長寿命化を図っています。ターミナル電圧の安定性は、キャパシティブ ピックオフ(CPO:容量結合式電圧計)での測定では、リップルは500Vp-pの小さな値が得られています。



#### D. 負イオン入射系

200kV重イオン入射器を装備しています。水素から重元素までの多くの負のイオンを引き出せる汎用のセシウムスパッターイオン源 (SNICS II) が取り付けられています。ヘリウム用のRF型荷電変換イオン源も用意されていてSNICSと交換して取り付けられます。イオン源からの負イオンビームは150~200keVのエネルギーで加速器に入射されます。途中アインツェルレンズと三連静電四重極レンズによりビームの集束が調節され、静電偏向板によりビームの方向が調節されます。又負イオン分析電磁石は35MeV・amuの偏向能力があり質量分解能 $M/\Delta M$ は~45です。

##### • セシウムスパッターイオン源 (SNICS II)

SNICSはセシウムのスパッターを利用したものです。セシウムオープンにより発生したセシウム蒸気はフィラメントに接触しイオンとなります。このセシウムイオンはカソードへ加速され、衝突します。このスパッターの結果カソードの試料の原子は負イオンとなります。

代表的負イオン電流

${}^1\text{H}^-$  200 $\mu\text{A}$

${}^7\text{Li}^-$  1 $\mu\text{A}$

${}^{12}\text{C}^-$  90 $\mu\text{A}$

$\text{Si}^-$  500 $\mu\text{A}$

$\text{Cu}^-$  30 $\mu\text{A}$

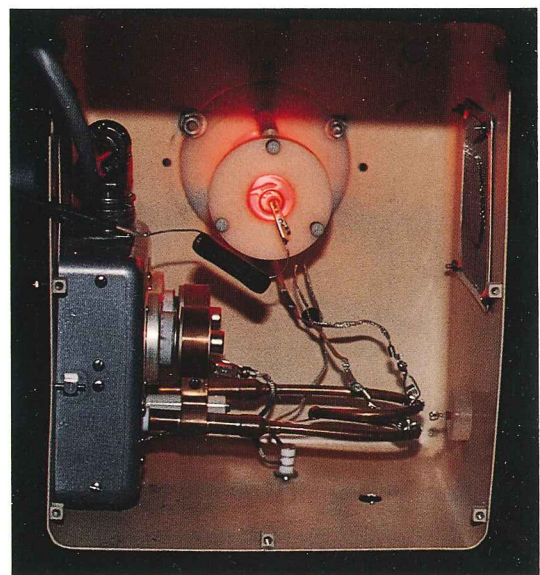
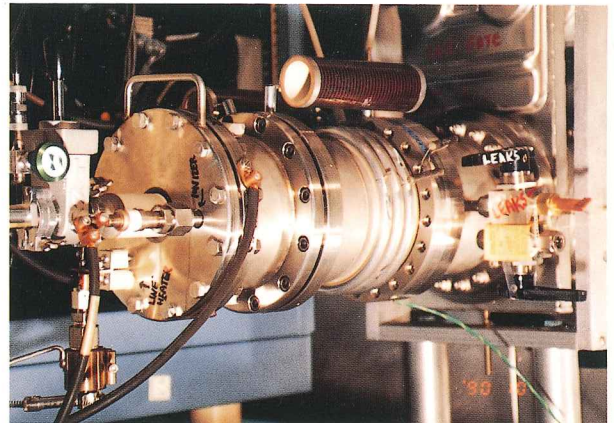
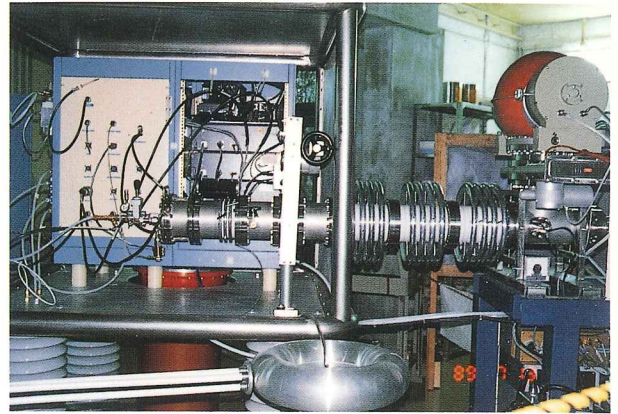
$\text{Au}^-$  100 $\mu\text{A}$

エミッタンス (電流の70%)

2 ~ 4  $\pi\text{mm mrad (MeV)}^{1/2}$

##### • RF型荷電変換イオン源 (アルファトロス)

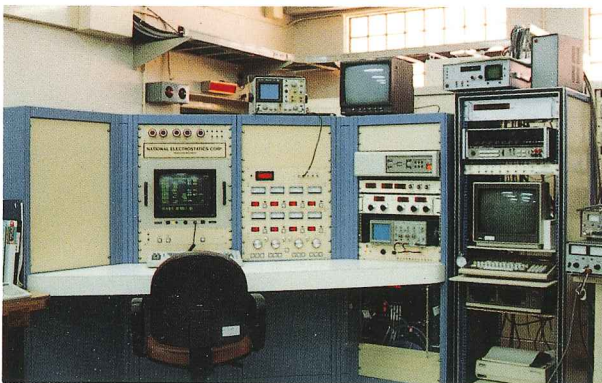
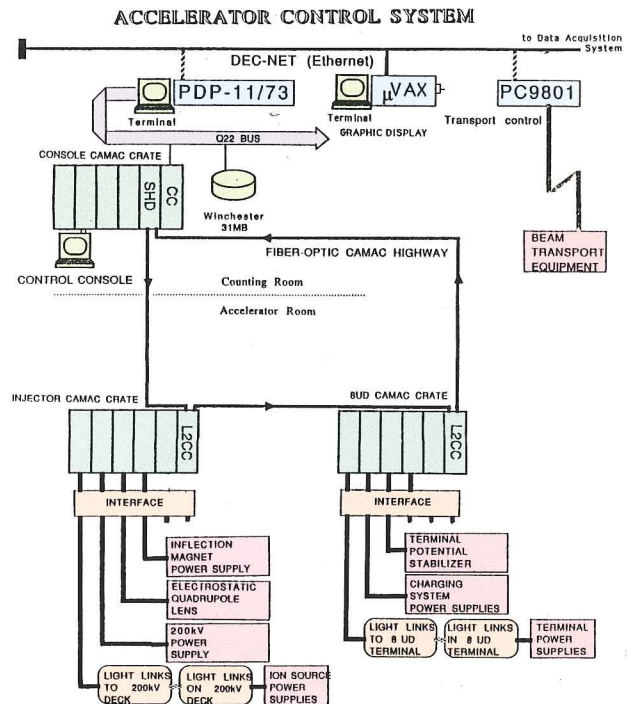
ヘリウムなどの気体元素はSNICSでは負イオンを作ることが出来ません。RF加熱によりヘリウムなどの正イオンを発生させ、ルビジウム蒸気との荷電変換により負イオンとなります。 $\text{He}^-$ を2~4 $\mu\text{A}$ 引き出せます。ガスの形態で試料として用いることの出来る元素のほとんどの負イオンは原理的にこのイオン源で発生できます。



## F. 加速器計算機制御

加速器及び負イオン入射系はマイクロコンピュータPDP11/73を主制御に用いたカムマックシステムにより制御計測されます。オペレーターはコンソールのディスプレイとアナログメーター及びコントロールノブ等を用いて1人で簡単に加速器が操作できます。コンソールのカムマックはシリアルハイウェイを通じて負イオン入射器と加速器本体横にあって装置の制御計測を行う各々のカムマックに接続されています。加速器及び入射器の高電圧部の機器はアナログの光ファイバーリンクによりこの装置側カムマックに接続されています。

人または装置保護のためのインターロックは、計算機を介してではなく、それぞれの装置に直接接続されています。



## G. ガスハンドリング

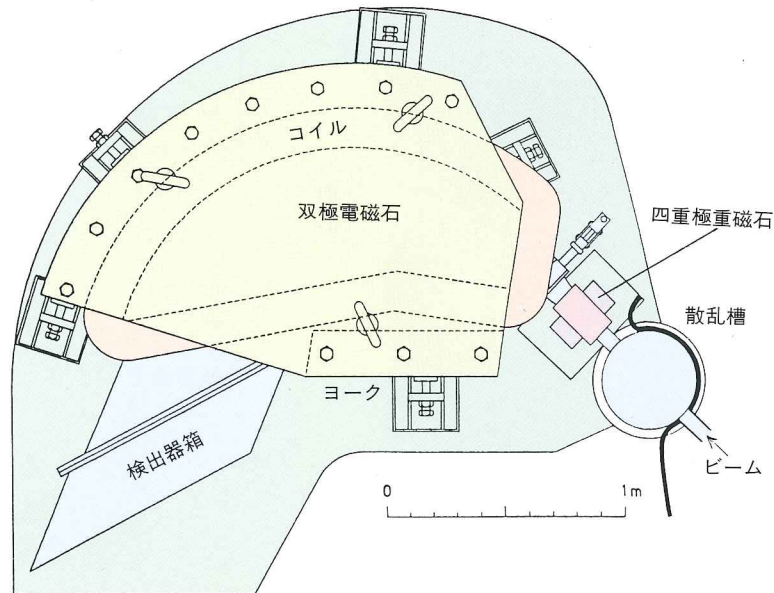
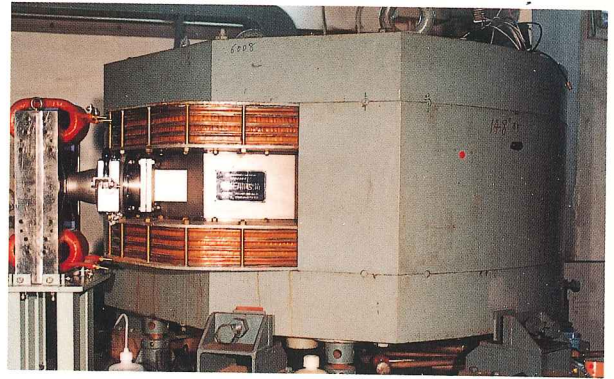
絶縁ガスを純SF<sub>6</sub>ガスに代えました。それにもない、SF<sub>6</sub>絶縁ガス中の水分や分解生成物を吸着して取り除くためのガスの循環精製システム（ドライヤー）およびガス冷却用のクーラーが更新されました。これらは加速器運転中は常時運転されます。又SF<sub>6</sub>の消費を減らすために回収システムを更新し、既存の回収タンクを利用した液化精製気化回収の方式としました。加速器タンクのSF<sub>6</sub>は6 kgf/cm<sup>2</sup>Gから両タンクの平衡までバルブ操作のみで回収し、その後約13時間（合計約14時間）で数Torr（残圧）まで回収できます。



## 4. 測定装置

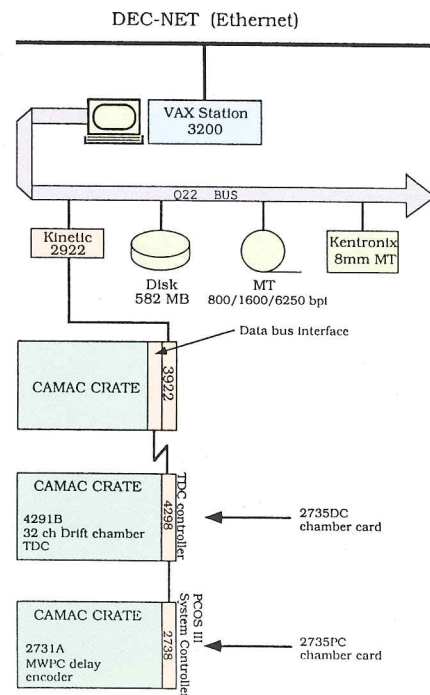
### A. 反応粒子分析電磁石

タンデムの更新にともない、既存のエルベック型の高分解能電磁石では性能不足になったので、双極電磁石の変更を行い、その前に新たにホロー電導線のコイルを持つ小型の四重極電磁石も付け加えて、立体角約 5 msr、運動量分散約 3000mm、一度に測定可能なエネルギー範囲  $E_{max}/E_{min}=2.35$  となるように改造を行いました。同時に、散乱槽と検出器箱も使いやすい物に作り替えました。この反応粒子分析電磁石はDコースに設置されています。



### B. データ収集システム

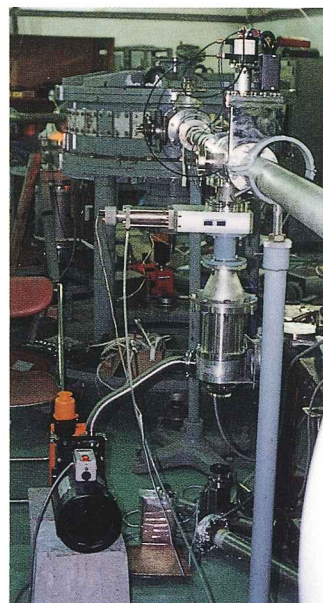
データ収集システムは米国DEC製のVAX Station 3200を主体としたもので、データ記憶装置としては582MBのハードディスク、800/1600/6250bpiのテープドライブ、それに8mmテープドライブが備えられています。データの収集はカムックレートを経由して行われ、パラレルクレーンコントローラ3922とVAX3000シリーズ用インターフェイス2922を通じてVAXのQ22バスにデータが転送されます。データ収集用のソフトウェアとしては高エネルギー物理学研究所で開発されたKEKCAMAC V4.3とKEKVとを使用する予定です。なおVAX Stationは internetとHepnetによって世界各国のコンピューターとつながっています。





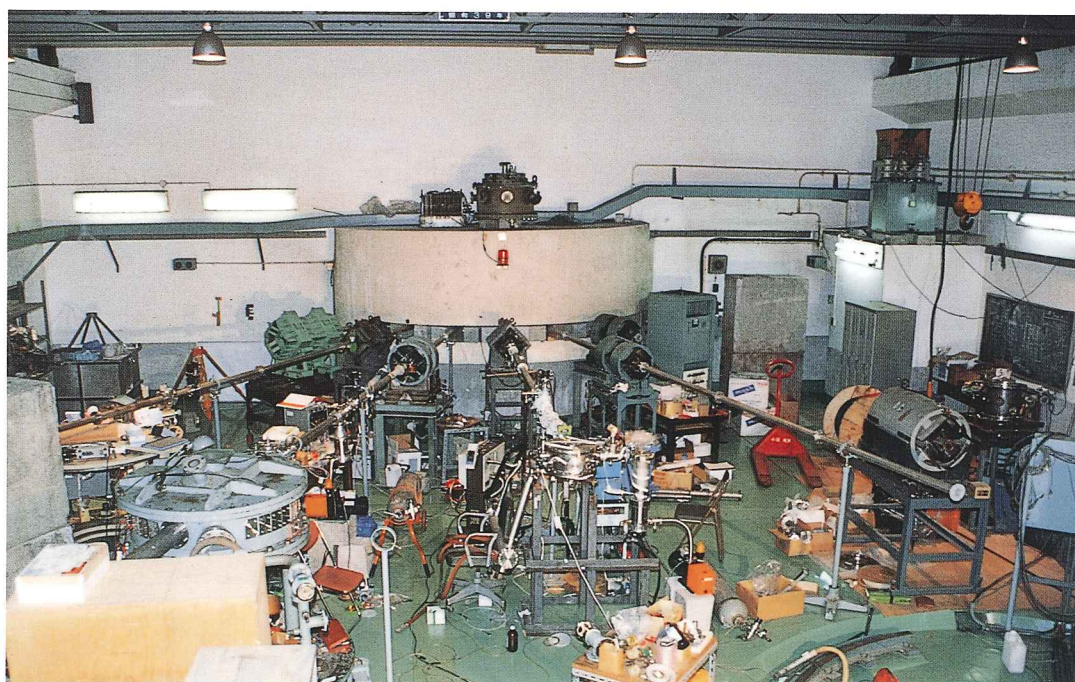
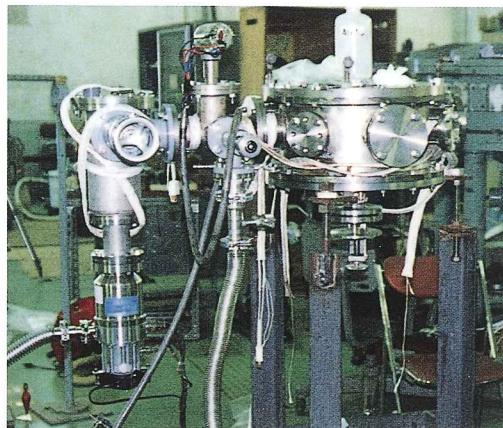
### C. 大型散乱層

独立に動くターンテーブルとアームを持つ内径1 mの汎用大型散乱槽がFコースに設置されています。1500 l/sのターボ分子ポンプで排気することにより散乱槽の真空度を $1 \times 10^{-6}$  Torr以下にすることが出来ます。



### D. その他のコース

現在コース整備が進んでいるのは前述のD、Fコースの他にC、E、G、Hコースがあります。Cコースは加速器質量分析 (AMS) コースとして静電ディフレクター等を設置する予定です。Eコースは学際コースとしてテスト実験等もやりやすいコースとして整備しています。現在本学工学部原子核工学教室と奈良女子大学のグループが各自の専用散乱槽を持ち込んで準備をしています。Gコースは学生コースとして学部学生もかなり自由に使えるように整備しています。又HコースはPIXE用散乱槽を置くように準備しています。

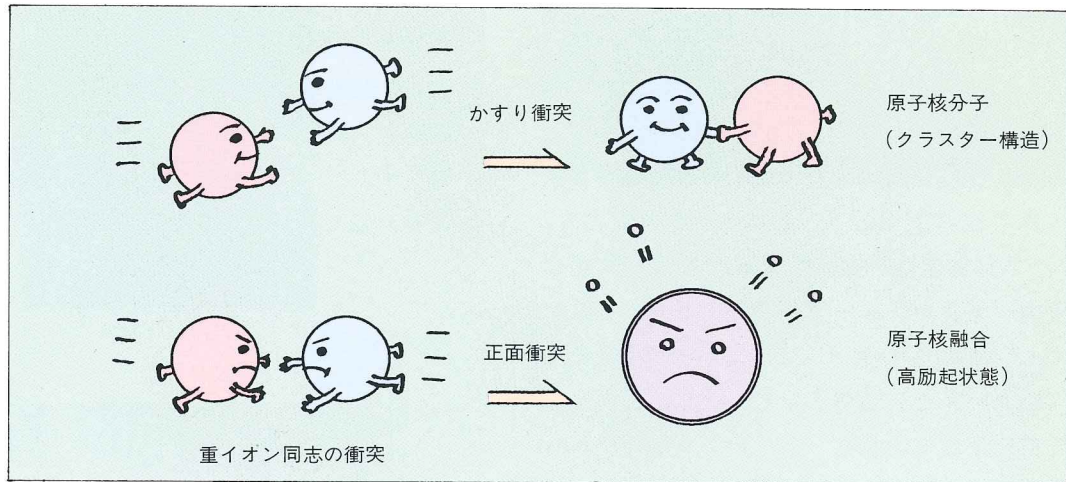


## II タンデム加速器の利用

### 1. 核物理

#### A. 核構造の研究

クラスター構造、高励起状態

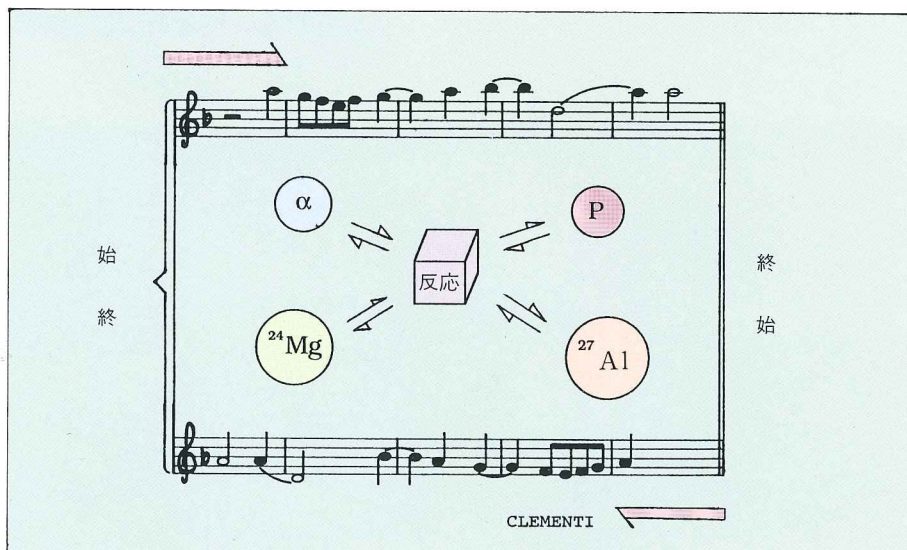


原子核をバラバラにしない程度の、低エネルギーの重イオン反応では、二個の原子核が結合し、衝突の仕方によって、特徴的な構造を持つ

た種々の状態が作られます。こういった状態のできかたや特徴を詳しく調べます。

#### B. 相互作用における対称性の破れ

時間反転不変性：時間の向きを変えても同じ確率（旋律）？



相互作用は一般にその種類に応じてきれいな対称性を持っているとされ、対称性の破れを調べる実験は物理学の根底を揺るがしかねない問題を秘めています。それには特別に精密な実験を必要とし、じっくり装置に工夫を凝らして初

めて可能になります。装置を改良し、実験技術に磨きをかけて物理学の基本法則に迫ります。現在準備中の偏極イオン源はこのための重要な武器になるでしょう。

### C. 天体核現象

地球や太陽、あるいは星の中の元素の組成分布はビッグバン以降宇宙の進化の過程で起きた低エネルギーの核反応で決まるとされています。宇宙の進化の過程、あるいは星の起源を調べるために必要な低エネルギー核反応を調べます。

太陽ニュートリノなどの謎も低エネルギー核反応の精密測定で解決の糸口が見つかるかもしれません。

写真は、大マゼラン星雲に出現した超新星SN1987A (右下)



### D. 少数多体

核反応に関与する核子の数が3-7といった比較的少数の核反応はコンピューターの能力が飛躍的に向上した現在、我々にとって取り組める課題になりつつあります。新しい視点でこの

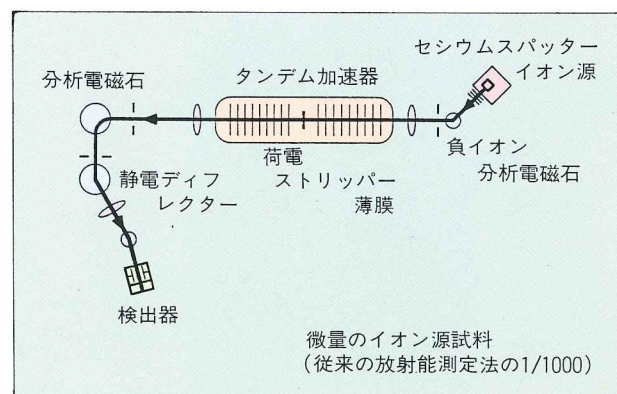
古くて新しい課題に挑戦します。スピンというトレーサーは反応のダイナミクスを調べるのにここでも大いに役立つでしょう。

## 2. 学際

### A. 加速器質量分析 (AMS)

加速器を利用して、 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{26}\text{Al}$ などの長半減期核種の超微量分析を行います。僅かの試料でも分析ができるので多方面への応用が可能です。

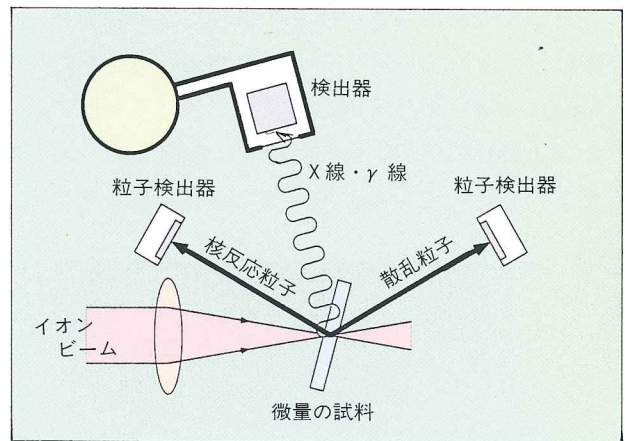
- \* 考古学 ( $^{14}\text{C}$ などを利用)
- \* 宇宙物理 ( $^{26}\text{Al}$ 、 $^{59}\text{Ni}$ などを利用)
- \* 地質・地震工学 ( $^{10}\text{Be}$ 、 $^{14}\text{C}$ などを利用)
- \* 環境科学 ( $^{14}\text{C}$ 、 $^{129}\text{I}$ などを利用)



## B. 元素分析

軽・重イオンを照射し、X線・ $\gamma$ 線や散乱(核反応)粒子を検出して元素分析を行います。特に、陽子や $\alpha$ 粒子などの重荷電粒子を標的に当て、放出される特性X線を分析する方法はPIXE法、放出される $\gamma$ 線を分析する方法はPIGE法と呼ばれます。エネルギーを大幅に変えることが可能なので、最適条件での元素分析を行うことができます。

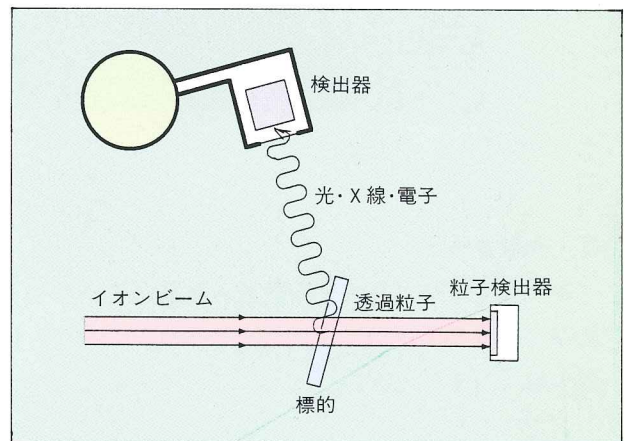
- \* 材料科学 (PIXE、核反応など)
- \* 環境科学 (PIXE、PIGEなど)
- \* 生物科学 (PIXE、PIGEなど)
- \* 宇宙物理・地球物理学 (PIXEなど)
- \* 考古学 (PIXE、PIGEなど)



## C. イオンと物質との相互作用

裸のイオンはもちろんのこと二次粒子を含め色々なイオンを加速して、エネルギー損失・荷電変換・電離効果・放射線損傷・光やX線や電子の放出などイオンと物質との相互作用の研究を行います。

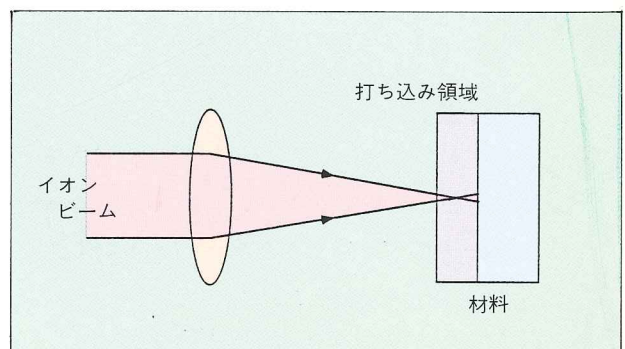
- \* 原子(放射線)物理学
- \* 機械工学
- \* 結晶(材料)工学
- \* 放射線生物学
- \* 核融合工学



## D. 材料の改良・改質

色々なイオンを高速で打ち込む事が出来るので、物質の表面だけでなく内部深くまでの改質が可能であり、新機能材料開発や物質内部の研究などを行います。

- \* 材料科学
- \* 半導体工学
- \* 電気工学
- \* 物性物理学



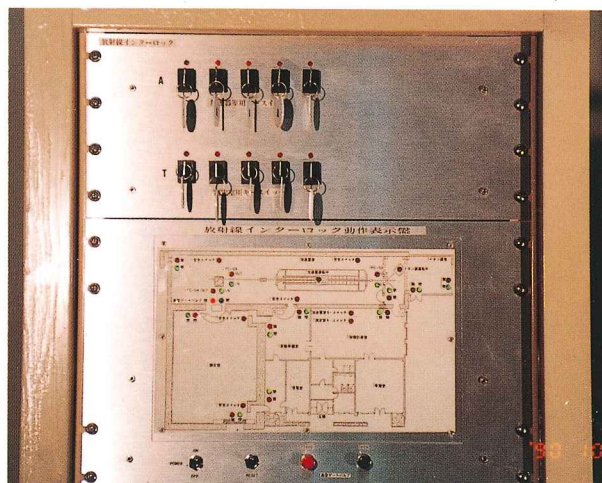
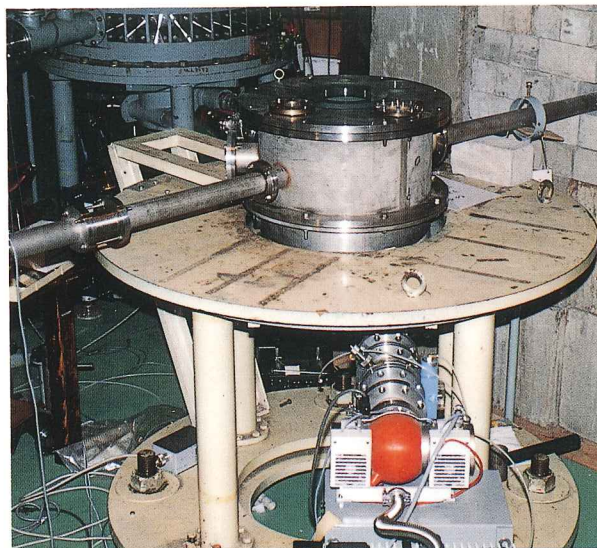
### 3. 教育

教育的見地からみますと共同利用研究所の大型マシンのみでは、大学院（特に修士課程）及び学部学生の教育には不十分であり、十分な運転時間を持ち、自ら失敗しつつ学ぶことが実力ある研究者の養成に欠くことができません。

旧タンDEM・バンテグラフは、終わりの5年ほど専ら学部学生の教育、学際領域の研究に用いられていましたが、その頃実験に参加した学生から、このマシンはいつできたのかと聞かれ、昭和37年と答えると、「ええっ、それじゃ僕より年寄りなんだ」といわれたのは、さすがにショックでした。核反応という未知との遭遇に好奇心に目を輝かして入ってくる新しい学生達に、規模は小さくても、それなりに新鋭のマシンを使わせてやりたいというのは私達だけの希望ではないと思います。

国家的大型プロジェクトが進行するとき若手後継者の養成が伴わねばならないことがようやく認識され、本プロジェクトに対する教育面での期待は誠に大きいといえます。

写真はGコースに設置された主に学生実験用の散乱槽



### Ⅲ 安全対策

最大電圧、最大強度でビームが加速された場合でも外部の放射線強度が基準値以下になるように厳重に遮蔽されています。加速器室と測定室に誤って入室しようとした時には即刻ビームを停止させるインターロックが設置されています。これらの部屋へ入室する際の安全キーも完備されています。放射線量は3点で常時モニターされています。

負イオン源部は、150~200kVの高電圧になっています。感電を防止するためにイオン源部は金網で囲われており、入口には高圧電源を切るためのインターロックが設置されています。

タンク内には絶縁ガスとして6 kgf/cm<sup>2</sup>GのSF<sub>6</sub>が充填されています。加速管などの損傷により、ガスの突出事故が起きた時には即時にバルブが作動しタンク外への漏れを防ぎます。



## IV その他

### 1. 沿革

京都大学理学部物理学第二教室のタンデム・バングラデーフ加速器は昭和37年に予算が認められて以来、世界では極めて数少ないホームメイドマシンとして、多くの技術的困難を克服し、昭和45年頃からは連続運転に対して効率よく稼働して10数年経過しました。その間多くの類似マシンの中で特徴をもたせるべく重イオンと偏極イオンの加速に重点がおかれ、原子核反応と構造に関する数十編の論文が欧文雑誌に公表され、それによって理学博士の学位を得た者は10名を越え、またマシンタイムの一部を学内学外の研究者との共同研究にも開放するなど核物理の研究と教育に多くの寄与をしてきました。京都大学理学部のタンデム・バングラデーフは建設後20年を経過して装置として老朽化しましたが、この規模のタンデム・バングラデーフそのものは核物理研究用としてエネルギー可変性、ビーム特性において（エネルギーの一樣性、向きの揃った空間的構造、時間的に一樣な強度等）精密測定に最も適した加速器であり、核構造の解明にとって欠かせない存在価値を持っています。また、1970年代に入っていわゆる学際領域における新技術（チャネリング、ピクシー、質量分析等）の発展が目覚しく宇宙・地球科学、考古学、物質科学あるいは生物学、医学など多方面での利用の必要性が急速に高まっています。このような学際領域においては、常に新しい問題に遭遇し、技術と経験を蓄積していかなねばならないので、フレキシブルな利用のできるマシンを身近に持つことが本質的に重要です。

又、近年我が国においては広い意味の原子核物理学の大型プロジェクトが進行しつつありますが、優秀な若手研究者の養成の拠点としての京都大学理学部の役割と期待は大きいといえます。（教育の項参照）

かくして、旧タンデムの改修にとらわれず、構想を新たにタンデム・バングラデーフの更新が計画されたのであります。

### 2. 運営

この新タンデムのマシンタイムは、核物理(40%)、学際(40%)、教育(20%)の各分野に割り当てられます。

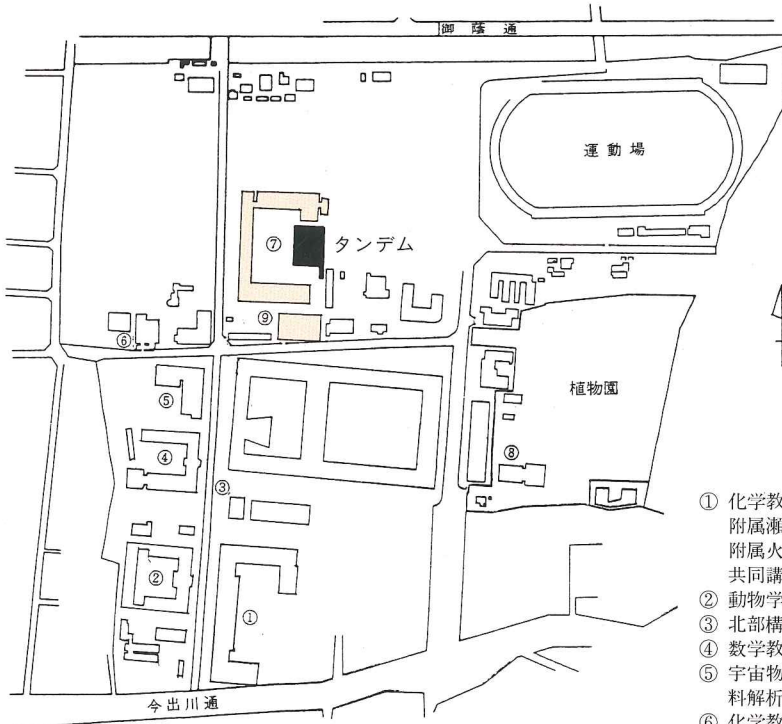
広範な利用に備えて3月よりユーザーズ・ミーティングが月1回行われ、その都度タンデム・ニュースが発行されています。ビームコースの整備は理学部物理学教室のみならず、工学部原子核工学教室、放射線同位元素総合センター、奈良女子大学、京都薬科大学、京都府立大学などの研究者が協力してあたっています。

最近の諸科学での加速器利用の多様化に伴い、この加速器の利用価値を一層高めるために、高エネルギー物理研究所(KEK)の協力を得て偏極イオン源の増設が進み、また加速器質量分析(AMS)専用イオン源の新設も進んでいます。

### 3. 加速器諸元

<b>加速器性能定格</b>	
カラム最大定格	8.25MV
加速管最大定格	8.0 MV
電圧安定性	±2 kV
陽子加速エネルギー	5.0~16.0MeV
陽子加速電流(分析後)	3.0 $\mu$ A 5 MeV
	5.0 $\mu$ A 16MeV
シリコン加速電流(分析後)	5.0e $\mu$ A 8 MV
<b>負イオン入射系</b>	
最大入射器電圧	-200kV
高電圧部供給電力	3 kVA
負イオン源	セシウムスパッターイオン源 (SNICSII)
	代表的負イオン電流
	<sup>1</sup> H <sup>-</sup> 200 $\mu$ A
	<sup>12</sup> C <sup>-</sup> 90 $\mu$ A
	Si <sup>-</sup> 500 $\mu$ A
	荷電変換型高周波イオン源 (アルファトロス)
	He <sup>-</sup> 2~4 $\mu$ A
負イオン分析電磁石	±45°偏向、質量エネルギー積 35MeV $\cdot$ amu
	質量分解能M/ $\Delta$ M 45
<b>高電圧系</b>	
加速器タンク	直径 3 m、長さ 13.6m、容積 98m <sup>3</sup> 、重量 40000kg
	絶縁ガス SF <sub>6</sub> 6 kgf/cm <sup>2</sup> G
カラム	直径 1.19m、8ユニット $\times$ 2
高電圧ターミナル	直径 1.36m、長さ 1.68m
カラムサポートロッド	直径 38mm、6本 $\times$ 2
加速管	長さ 306mm、16本 $\times$ 2、加速段数 21ギャップ/本
電荷搬送システム	ペレットチェーン式、独立2系統
	チェーン直径 31.8mm、速度 18m/s
	搬送電流 150 $\mu$ A $\times$ 2
荷電ストリッパ	フォイルストリッパ 炭素薄膜 200枚取付可能
	ガスストリッパ 窒素ガス 排気用ポンプ付き
<b>ガスハンドリング</b>	
循環システム	クーラー (絶縁ガス冷却) $\cdot$ ドライヤー (吸着乾燥)
SF <sub>6</sub> 回収システム	液化精製酸化回収方式
	回収時間 約14時間 (5 kgf/cm <sup>2</sup> $\rightarrow$ <数Torr)
回収タンク	直径 3 m、長さ 14.7m、容積 100m <sup>3</sup>
<b>真空排気系</b>	
負イオン入射系	ターボ分子ポンプ 2200 l/s 1台、到達真空度 <1 $\times$ 10 <sup>-8</sup> Torr
加速管	イオンポンプ 440 l/s 2台、到達真空度 <1 $\times$ 10 <sup>-8</sup> Torr
ビームトランスポート	イオンポンプ 220 l/s 1台、
	ターボ分子ポンプ 520 l/s 1台、到達真空度 <5 $\times$ 10 <sup>-8</sup> Torr
	330 l/s 1台、
<b>ビームトランスポート</b>	
三連四重極電磁石	重量 400kg
分析電磁石	重量 5000kg、曲率半径 800mm、偏向角 90°
	最高磁場 13000ガウス、質量エネルギー積 54MeV $\cdot$ amu
振分電磁石	重量 5000kg、最大偏向角 60°、最高磁場 12000ガウス
	質量エネルギー積 290MeV $\cdot$ amu (15°)、77MeV $\cdot$ amu (30°)
	34MeV $\cdot$ amu (45°)、20MeV $\cdot$ amu (60°)
<b>冷却水系</b>	
7°C冷却水循環系	水量 4.8m <sup>3</sup> /h、水圧 4 kgf/cm <sup>2</sup> 、冷却能力 24000kcal/h
25°C冷却水循環系	水量 6.6m <sup>3</sup> /h、水圧 4 kgf/cm <sup>2</sup> 、冷却能力 33000kcal/h

## 北部構内



- ① 化学教室、地質学鉱物学教室、生物物理学教室、附属瀬戸臨海実験所分室、附属大津臨湖実験所分室、附属火山研究施設分室、附属機器分析センター分室、共同講義室、中央図書室及び事務部
- ② 動物学教室及び植物学教室
- ③ 北部構内実験排水系集中管理施設
- ④ 数学教室
- ⑤ 宇宙物理学教室、地球物理学教室、附属地磁気世界資料解析センター及び附属天文台分室
- ⑥ 化学教室極低温研究室及び極低温高分解能電子顕微鏡実験室
- ⑦ 物理学第一教室、物理学第二教室及びタンデム加速器実験棟
- ⑧ 附属植物生態研究施設
- ⑨ トーラス型プラズマ波動加熱実験棟

- ① 本部構内
- ② 北部構内
- ③ 教養部構内
- ④ 西部構内
- ⑤ 医学部構内
- ⑥ 病院
- ⑦ 病院・薬学部構内

### 京都大学への経路(市バス)

1. 京都駅から206 (東山通・高野・北大路駅行)  
河原町四条から201 (百万遍行)  
東一条下車 (本部、西部、教養部構内)  
近衛通下車 (医学部、薬学部構内)  
熊野神社前下車 (病院構内)
2. 京都駅八条口 } から17 (河原町通・錦林車庫行)  
河原町四条 }  
百万遍下車 (本部構内)  
農学部前下車 (北部構内)

## 京都市

