

# 縦型タンデム加速器の 5UD 加速管の真空漏れ

中野 忠一郎

東京大学原子力研究総合センター

## 1 はじめに

東京大学原子力研究総合センターに設置されるタンデム型ヴァンデグラフ加速器は、タンデム加速器から発生する高エネルギーのイオンビームを用いて種々の精密微量分析や基礎科学の研究を行う目的で、NEC 社製（米国、National Electrostatic Corporation）のペレトロン 5UD へと平成 3 年度より 3 年間の建設期間を経て更新された。ペレトロン 5UD 加速器は縦型で、最大発生電圧 5MV を有している。

2001 年 12 月 3 日 23 時頃、加速管の入り口及び出口近傍の真空度をモニターする真空計（IGC02-1 及び IGC03-1）が  $10^{-7}$ Torr オーダーになっているのを発見した。通常この真空度は  $10^{-8}$ Torr オーダーである。加速管出口に設置された Q-mass にて加速管内のガス成分（主に  $H_2O$  と  $SF_5$ ）を測定したところ  $H_2O$   $1.3 \times 10^{-8}$ A、 $SF_5$   $2.5 \times 10^{-8}$ A で、通常値よりもおおよそ  $H_2O$  で 1 桁、 $SF_5$  で 2 桁大きい値となっていた。加速器タンク内のどこかで真空漏れが発生し、約 5 気圧で充填された  $SF_6$  が加速管内に漏れていると判断した。リークハンティングを行った結果、高エネルギー側加速管の 3 ユニット目にリーク箇所を発見した。加速管の交換を行い、その後のベーキング、コンディショニング等の実施で、発生電圧は現在 4.8MV まで回復した。

本報では、加速管からの真空漏れと加速管の交換作業を通して得られたいくつかの知見について報告する。

## 2 MALT の縦型タンデム加速器及び加速管

ペレトロン 5UD タンデム加速器を中心として種々のイオンビーム分析を行う実験施設は通称 MALT (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator)と呼ばれている。MALT の縦型タンデム加速器の概観を図 1 に示す。

加速器の圧力タンク（ACT, Accelerator Tank）は直径 2.5m、高さ 10.65m で、その中に加速管をはじめコラム、ターミナル等が納められており、更に絶縁ガスである  $SF_6$  が  $5 \sim 6\text{kg}/\text{cm}^2$  で詰まっている。加速管は低エネルギー側及び高エネルギー側それぞれ 5 ユニットで構成され、1 ユニットは 2 本の加速管よりなる。電荷の搬送はペレットチェーンで行い、MALT では 2 本使用している。加速管が 5 ユニットで構成されていること、及びペレットチェーンを用いていることから“ペレトロン 5UD”とも呼ばれている。

圧力タンク内の加速管部分（1 ユニット分）を図 2 に示す。加速管及びコラムにはそれぞれに異なる電位勾配を作る目的で抵抗体がシリーズに取り付けられている。MALT の加速管は 21 ギャップ有り、1 ユニットあたり 42 本の抵抗体に取り付けられている。He を用いたリークハンティング時はこれら抵抗体を取り外して作業を行う。

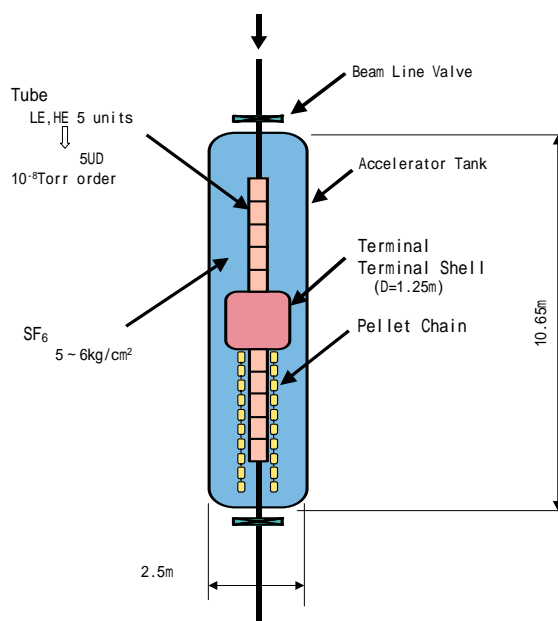


図 1 タンデム加速器の概観

加速管などが納められている圧力タンクは、高さ 10.65m、直径 2.5m の大きなものである。 $SF_6$  ガスが  $5 \sim 6\text{kg}/\text{cm}^2$  で詰まっている。

### 3 リークハンティング、加速管交換と回復作業

MALT は縦型加速器なので加速器タンク内にゴンドラが設置されている。加速器のメンテナンスはこのゴンドラに乗り、直径 2.5m 高さ 10.65m のほぼ密閉された空間内を上下に移動しながら行う。

真空漏れが発生している加速管内の真空度は、 $SF_6$  が約 5 気圧で充填されている状態では  $10^{-7}$ Torr オーダーであるが、 $SF_6$  を抜き加速器タンク内が大気圧になると  $2.2 \times 10^{-8}$ Torr の超高真空状態を示している。リークハンティングは He を用いた方法で実施した。MALT では、万が一真空漏れが発生し  $SF_6$  が加速管内に漏れ込んだ場合を想定し、その検出手段として Q-mass が設置されている。Q-mass は加速器タンク直下のビームダクトの途中に設置してある。この Q-mass は Bilzers 製 Prisma QMS2000 で、PC の Windows OS 上で取り扱える簡便な装置である。図 3 に Q-mass の取付位置とリーク箇所を示す。今回、この Q-mass を He リークディテクターとして使用した。

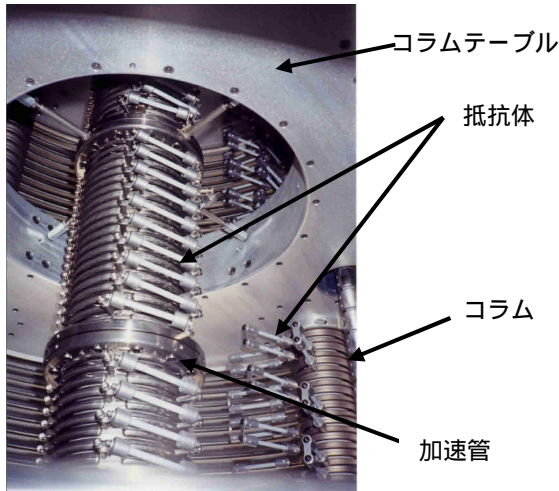


図 2 加速管

写真は 1 ユニット分の加速管。加速器タンク内には、これが合計で 10 ユニットある。加速管及びコラムに取り付けられた抵抗体は、ビーム入射側初段ユニットを除き、1 本 1.1G の金属被膜抵抗である。

リークハンティングの結果、リーク箇所は高エネルギー加速管第 3 ユニットの側加速管のフランジとセラミックスとの溶着部分と判明した（加速管取り外し後、更にベンチテストによるリーク箇所の再確認も実施した）。NEC 製加速管は、絶縁物はアルミナ・セラミック、金属である電極板とフランジはチタン (Ti) を使用し、その間をアルミニウムを使った拡散ボンディング技術により接合している<sup>[1][2]</sup>。この方式は、強度があり、また有機接着と異なり 300 以上の高温ベーキングが可能、ガス放出が少ない等の特徴を有している。現在、この高度な溶着技術を用いて加速管を製造している会社は NEC 社のみである。リークが加速管の溶着部分なので、MALT 側による加速管の修理を諦め、加速管を 1 ユニット購入することとした。1 ユニットの内の 1 本を交換に使用し、残りの 1 本はスペアとした。

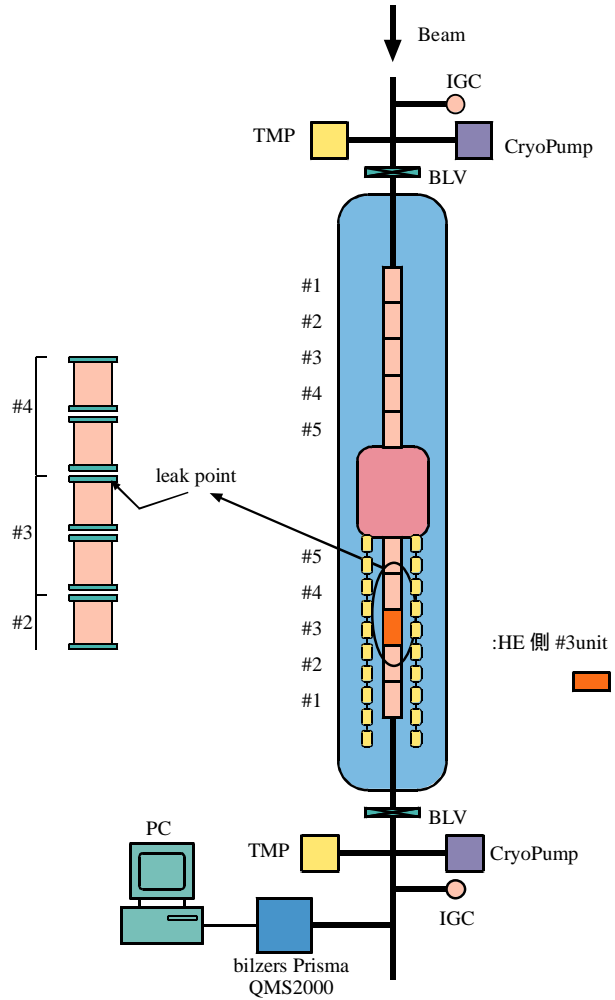


図 3 Q-mass 位置とリーク箇所

Q-mass ( Bilzers 製 Prisma QMS2000 ) は加速器タンク下に設置されている。Q-mass をヘリウムリークディテクターとして使用。リーク箇所は高エネルギー側第 3 ユニットの上部加速管と判明した。

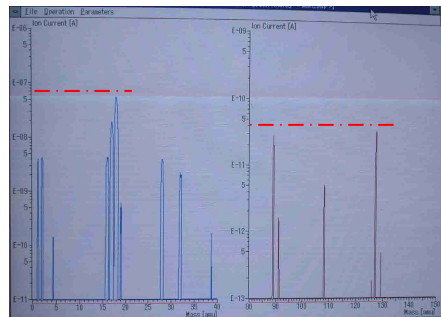
新しい加速管は NEC 社において最高電圧をかけてのテスト済みとのことから、ベンチテストによるリークチェックを行った後、交換作業を実施した。なお、加速管のフランジは“ NEC フランジ ”と呼ばれるもので、ガスケットとして直径 0.5mm 程度のアルミ線を輪にしたものを使用している。ICF フランジと異なり、より均一な締め付けトルクが要求される。トルクレンチを使用し、締め付けトルクは 70in-lb とした。加速管交換後、ヘリウムを用いてリークチェックを実施しリークのないことを確認した。

コンディショニングを開始したが、新加速管が十分に枯れておらず、また長時間加速管内を大気に曝していたことから、全電圧効果や大型化効果の影響もあり最大ターミナル電圧は 3.26MV 迄しか上げることができない<sup>[3]</sup>。そこで、2 ユニットずつ 2MV を若干超えるまでのコンディショニングを行っ

た。その結果、ターミナル電圧は 4.6MV まで到達した。しかし、加速管内の真空度は新加速管のガス放出により低エネルギー側及び高エネルギー側それぞれ  $2 \times 10^{-8}$ Torr、 $5 \times 10^{-8}$ Torr オーダーであり、真空漏れ以前の状態には回復していない。そこで更に、加速管のベーキングを実施した。ベーキングは新加速管およびその上下の加速管、計 3 本を一緒に 90 で 21 時間、100 で 31 時間、120 で 6 時間実施した。加速管のベーキング前とベーキング中（終了間際）の加速管内のガス成分を図 4 に示す。ベーキングの実施により水分量は  $6 \times 10^{-8}$ A から  $3 \times 10^{-8}$ A へと効果的に減少し半分になっていることが理解される。また  $SF_5$  は  $3.5 \times 10^{-11}$ A から  $2.5 \times 10^{-11}$ A へと減少している。加速管真空漏れにより加速管内へ入り込み加速管内壁に吸着した  $SF_6$  が、ベーキングにより壁面より離脱し減少していることがわかる。

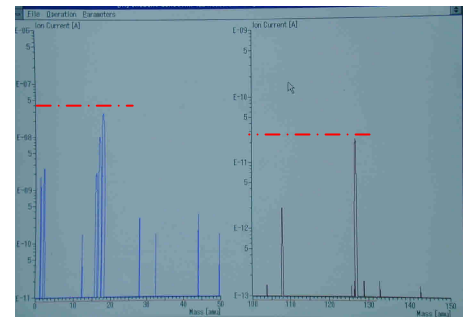
コンディショニング中に加速管内の真空度を観測すると、約 1.5 時間の周期で真空が悪化するピークが現れる。図 5 にそのチャート記録を示す。ピーク出現時の加速管内ガス成分を Q-mass で測定すると、水分と  $SF_5$  以外に Ar が検出された。Ar は、

負イオンを正イオンに変換するストリッパガスとして使用している。図 6 にストリッパチャンネル部の構造を示す。ストリッパチャンネル部はガスリサーキュレーションシステム構造で、チャンネル内やチャンネルハウジング内に拡散した Ar ガスをターボ分子ポンプ (TMP) により集め、フィルターをとおして再度ストリッパチャンネルに戻している。ガス成分から、瞬時の真空度悪化の原因はフィルターに吸着されたそれらガス



(a)新加速管ベーキング前

$H_2O$   $6 \times 10^{-8}A$   
 $SF_5$   $3.5 \times 10^{-11}A$



(b)新加速管ベーキング中

$H_2O$   $3 \times 10^{-8}A$   
 $SF_5$   $2.5 \times 10^{-11}A$

図 4 加速管内のガス成分

(a),(b)の写真のグラフで、左側は Mass No.0 ~ 40 を示し主に水分を、また右側は Mass No.80 ~ 150 を示し主に  $SF_5$  をモニターしている。

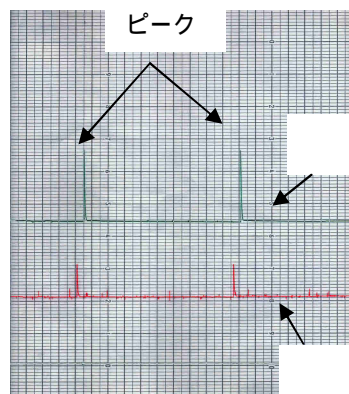


図 5 周期的に現れる真空度悪化のピーク  
 チャート速度 6cm/h  
 加速管出口  $4.5 \times 10^{-8}$ Torr  
 加速管入口  $2.1 \times 10^{-8}$ Torr

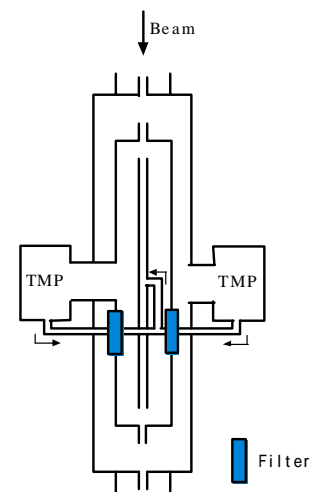
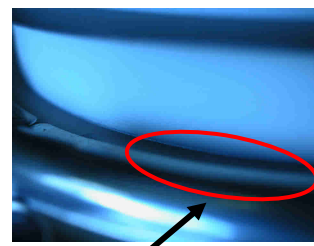


図 6 ストリッパチャンネル部の構造

成分の離脱と考えられる。そこでフィルターのベーキングを実施した。ベーキングはメンテナンス時間の関係もあり 50V で 2 時間、35V で 13.5 時間実施した。その結果、ベーキングはまだ不十分と考えられるが、真空度悪化のピークは現れなくなった。

図 8 に NEC 社で修復された加速管を示す。リーク部分の修復はグリプターール(Glydtral)で補修されている<sup>[4]</sup>。グリプターールは、バックシール(Vacseal)やトルシール(Torrseal)などと異なり、ガス放出が大きく温度上昇で軟化するなどの欠点を有し、現在ではほとんど使用されていない。グリプターールはアセトンで溶いて使用するので浸透性があり、また上記 2 点と異なりシール後の取り除きが可能という利点もある。金属とセラミック溶着部分での小さなリークでは、その浸透性を利用してシールするには適していると判断したと思われる。また修理した部分の 1 ギャップ分は金属バンドを巻き、電氣的に短絡している。修理した加速管のベーキングはシール材により不可能であるが、緊急時のスペアとして使用する予定である。



修理したと思われる箇所

図 8 修理された加速管

#### 4 おわりに

加速管の真空漏れは、総計 10 ユニットある加速管の高エネルギー側第 3 ユニットで発生しており、発生箇所はセラミックスと金属部の溶着部と判明した。そこで加速管 1 ユニットを購入し、加速管の交換を実施した。なお、加速管フランジは均等な締め付け力が要求される NEC ガasket を使用しており、トルクレンチを用いて 70in-lb で締め付けた。加速管のベーキング、リサーキュレーションフィルターのベーキングを行い、加速管内真空度は真空漏れ以前の状態 ( $2 \times 10^{-8}$ Torr) に復帰している。またマシンタイムの空いた時間を加速管のコンディショニングにあて、現在ターミナル電圧 4.8MV まで到達している。

リークハンティングや加速管交換、ベーキング、コンディショニングなど一連の作業は、タンデム加速器研究部門の松崎浩之氏、山下博氏と行った。大学院工学系研究科システム量子工学専攻の米岡俊明氏に金線ガasketの製作器具の借用と He を用いたリークハンティングについて有益な助言をいただいた。また日本原子力研究所東海研究所の加速器管理室より加速管用トルクレンチを借用した。ここに感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 田岸義弘、他：静電加速器用高性能加速管の開発（昭和 62 年度科学研究費補助金（試験研究 B）研究成果報告書(1988.3),pp.3-5
- [2] 関 整爾：加速器科学第 2 巻第 1 号(1987)、pp30-31
- [3] 田岸義弘、他：静電加速器用高性能加速管の開発（昭和 62 年度科学研究費補助金（試験研究 B）研究成果報告書(1988.3),pp.7-10
- [4] 中山勝矢：真空技術実務読本（オーム社,1971）p.57