

## 名古屋大学タンデトロン2号機の現状と利用

中村俊夫\*、丹生越子、小田寛貴、池田晃子、太田友子、渡邊隆広、西田真砂美  
名古屋大学年代測定総合研究センター 加速器年代測定グループ

(\* 連絡先: e-mail:nakamura@nendai.Nagoya-u.ac.jp; Phone:052-789-3082)

### 1. はじめに

名古屋大学年代測定総合研究センターに、平成9年3月に設置された High Voltage Engineering Europe (HVEE)社製 Tandetron (Model14130-AMS)は、放射性炭素測定専用のシステムである。タンデトロン2号機と呼称しているこのシステムは、マルチカソードの Cs スパッタ負イオン源 (Model 864B)、負イオンの進行方向を180度曲げる間に、質量数12、13そして14の負イオンを選別し、質量数12のイオン強度だけを約100分の一まで減衰させ、さらに質量数で分かれたイオン軌道を再度結合して加速器に導入するリコンビネーターシステム、3MV ベースのタンデム加速器、110度および90度曲げ角度の質量分析電磁石2台、33度曲げ角度の静電デフレクタ、およびイソプタンガスを用いる電離箱検出器からなり、炭素  $^{14}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}$  の同位体比を高精度で測定する (Nakamura et al, 2004)。1999年1月に  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比測定の検収を終了したが、初期故障などのトラブルが続出した。2000年度から学内共同を開始した。その後、2002年に重大な故障をおこした (丹生ほか、2002, 2004)。このタンデトロン2号機については、使用状況、故障状況について、名古屋大学加速器質量分析計シンポジウムで報告を行ってきた。ここでは、2004年1月から2004年12月にかけての1年について報告するが、この間は、大きな故障はなく、順調に  $^{14}\text{C}$  測定を実施する事が出来た。

### 2. 2004年の運転状況

2004年は、 $^{14}\text{C}$  測定システムの利用は順調に進行した。1年間の52週のうち、39週間を運転した。測定手順としては、従来通り、45個のターゲット ( $^{14}\text{C}$  濃度未知の試料32個、 $^{14}\text{C}$  濃度標準体12個、システムバックグラウンド (ブランク試料である  $^{14}\text{C}$  を含まないはずのグラフアイト) 1個) について、1週間で3回繰り返し測定して、再現性のテストを行い、また統計精度をあげることで、高い精度を達成している。Modern~5千年前の試料で  $^{14}\text{C}$  年代測定の誤差は  $\pm 20 \sim \pm 35$  年程度である。表1に年間の測定数と測定時間を示す。

表1 年間の測定数と測定時間

項目 年	測定ターゲット (個)		測定時間 (時間)	
	年間	月平均	年間	月平均
1999	330	28	352	29
2000	1,430	119	2,234	186
2001	2,077	173	3,161	263
2002	1,003	84	1,545	129
2003	1,979	165	3,219	268
2004	1,679	140	2,837	239
合計	8,498			

また、次表に各月あたりの測定数と故障などの状況を示す。次の節で議論するように、タンデトロン2号機には2004年にも不具合の発生があったが、避けられない予定を除くとほぼ順調に稼働した。

表2 2004年における月当たりの測定ターゲット数

月	測定ターゲット数	状 況
1	90	1/13 チラーユニット不調, 1/29-31 チラー交換
2	181	2/2-3 圧縮空気装置不調
3	180	3/19 ターゲット操作腕故障, 交換
4	90	
5	180	5/19-ターゲット操作腕不具合あり
6	180	継続してターゲット操作腕不具合あり
7	135	継続してターゲット操作腕不具合あり, 不慮の全学停電
8	136	8/23- 鉛遮蔽工事
9	46	~9/17 鉛遮蔽工事
10	92	10/7 施設検査
11	185	11/6 イオン源ロータリーポンプ故障により交換
12	184	12/17 イオン源の絶縁体真空漏れの故障

下図に、これまでに測定したターゲットである8500個について種類の内訳を示す。約75%が未知試料である。次に、 $^{14}\text{C}$ 濃度の標準体、 $^{14}\text{C}$ バックグラウンド試料、IAEA標準体となっている。

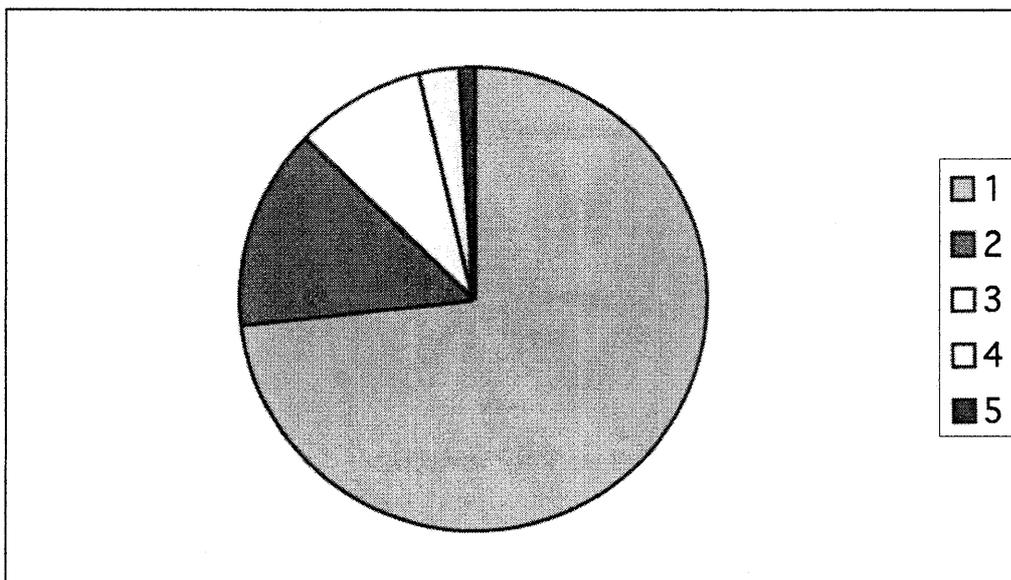


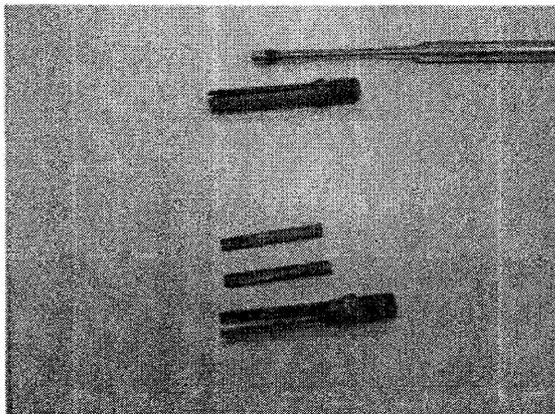
図1 これまでに測定したターゲットの種類の内訳  
領域面積の広い順に, 1:未知試料, 2:NBS-New標準体, 3:NBS-OLD標準体,  
4: $^{14}\text{C}$  Background試料, 5:IAEA標準体

### 3. HVEE タンデトロン加速器質量分析計の故障例

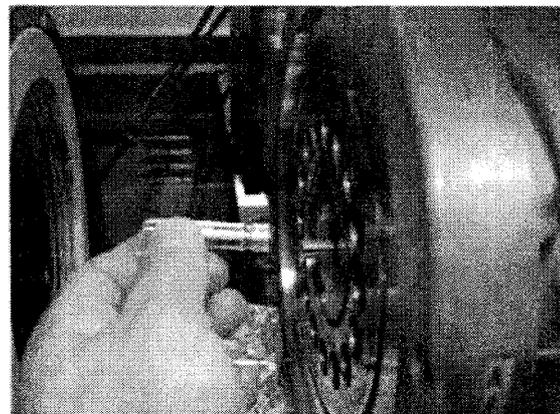
表3に、2004年01月から2004年12月末までのタンデトロン2号機の不具合の状況を示す。主たる不具合は、1) 冷却水循環システムの熱交換能力の低下による冷却水の温度上昇、2) マルチターゲットイオン源で、ターゲット交換におけるターゲットマニピュレーターの破損、3) 真空関連の故障、であった。このうち1) については、昨年の報告書で述べているので、ここでは、2) および3) について以下に詳述する。

表3 不具合の状況 (2004/01～2004/12 まで)

2003/12～ 2004/01	冷却水温の上昇，チラーユニットの能力不足 チラーユニットの取り替えを決断
2004/02	エアコンプレッサー停止，ガスケット不良 修理
2004/03/19	ターゲットのマニピュレータ（プランジャー）の先端が破損 取り替え修理
2004/05/19～ 06/19	ターゲットのマニピュレータ（プランジャー）がターゲットを離さなくなった．調整不良 こまめに調整を繰り返す必要が出てきた。
2004/07/27	測定中に，学内一部の停電に巻き込まれた．緊急対応を行い，測定再開に向けて奮闘． ヤモリの黒焦げが，農学部の変電室で発見された．
2004/08/18 2004/08/23～ 09/17	ターゲットホイール回転駆動モーターのオーバーヒートによる故障．モーターの取替 実験室の鉛遮蔽工事
2004/10/07	放射線施設の法令に基づく施設検査
2004/11/06	ロータリー真空ポンプ故障により予備と交換
2004/12/17	イオン源の絶縁体の真空漏れ．日本原子力研究所むつ事業所の好意により予備品を借用



(1-a)



(1-b)

写真1 グラファイトを充填したターゲットホルダーを掴んだり離したりするためのターゲットマニピュレータ

(1-a) 上の2つは正常な組み合わせ．下は4枚の羽のうち2枚が取れてしまったもので、もはやターゲットを掴むことはできない。

(1-b) 掴んでいたターゲットホルダーをマニピュレータから取り外したところ

### 3. 1 ターゲットマニピュレーターの破損

本 AMS システムに用いられているマルチカソードの Cs スパッタ負イオン源 (Model864B) では、ターゲットマガジン (Wheel) に装填された複数個のターゲットが、交互に Cs スパッタ位置に導入され測定される。測定された後は、Wheel に戻されることにより、順次自動的に測定が進められる。今回破損したターゲットマニピュレーターは、ターゲットを掴んだり離したりする大切な部分である。これが破損したため、ターゲットが掴めなくなり、ターゲット交換ができなくなり、最終的には、自動測定が出来なくなった (写真 1-a, 1-b)。

このターゲットマニピュレーターは真空内にあるため、破損したマニピュレーター部を新品に交換して元通りに組み立てるのに注意を払った。交換は、うまくいったが、マニピュレーター部の 4 個の羽の開閉程度の調整が難しく、測定した後のターゲットを Wheel に戻せないことがある。この原因で、自動測定が止まる故障が、たまに発生する。これは、その都度調整をやり直して様子を見るしかない。

### 3. 2 イオン源の絶縁体の真空漏れ

通常、3 週間測定した後に実施しているイオン源のイオナイザー部の掃除について、いつものように実施した後、真空引きを行ったがイオン源の真空が良くならなかった。つぶさに調べると、イオナイザーとターゲット間のプラスチック製の絶縁フランジにひびが入ってそこから真空漏れが有ることがわかった。幸いに、タンデトロン 2 号機と同機種を所有する日本原子力研究所むつ事業所に在庫があり、同事業所の好意により予備品を借用することができた。タンデトロン 2 号機はオランダ製であるため、部品に一端故障が起こると、交換部品がなかなか手に入らないため、測定を中断せざるを得なくなる。高価な予備品をすべて準備することはできないが、余裕のある限り準備をしておくことが稼働率を上げるためには大切なこととなっている。

### 3. 3 その他の故障

設置してあるエアコンプレッサーは、小型であり、頻繁に真空バルブの開閉やファラデーカップの出し入れをおこなって、圧縮空気を用いると、圧力不足になることがある。2 月に、ガスケット不良によりコンプレッサーが作動しなくなった。ガスケットの交換修理で正常作動へ回復した。

## 4. $^{14}\text{C}$ 測定の応用研究

5 千年前よりも若い試料では、ほぼ定常的に  $\pm 20 \sim \pm 30$  年の誤差 (1 標準偏差) で年代測定が可能である (Nakamura et al, 2004) ため、文化財科学や考古学関連のさまざまな資料の年代測定に利用されている。その一つが、樹木年輪の年輪幅を標準曲線と絵合わせして樹木の年輪年代を決めるように、樹木年輪ごとの  $^{14}\text{C}$  年代を測定して、それらを INTCAL98 データセット (年輪年代と  $^{14}\text{C}$  年代とを関係づけるためのもの) と比較して、樹木試料の年輪年代を高い正確度で決定する方法である。 $^{14}\text{C}$  ウィグルマッチング法と呼ばれる。この方法により、白頭山-苦小牧 (B-Tm) 火山灰から採取した樹木を用いて、その噴出年代は  $\text{AD } 935^{+8}_{-5}$  と、単独の  $^{14}\text{C}$  年代測定よりも正確度の高い結果が得られた。目下、この方法に精力的に取り組んでいるところである。

個々の応用例については、紙面の都合上ここでは論じない。本報告書や、既刊の名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (1988-2004) に掲載されている報文を参考にして頂きたい。

## 謝辞

タンデトロン加速器質量分析計の保守において、全学技術センター 教育・研究技術支援室装置開発技術系 (旧理学部装置開発室) の皆様には大変お世話になった。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 丹生越子、ほか (2002) 名古屋大学タンデトロン2号機の現状。第15回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、2002年6月24-25日、於：サンピア敦賀、(財)若狭湾エネルギー研究センター、p.17-20.
- 丹生越子 (2004) 名古屋大学タンデトロン2号機の現状。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XV, 7-12.
- Toshio Nakamura, Etsuko Niu, Hiroataka Oda, Akiko Ikeda, Masayo Minami, Tomoko Ohta and Takefumi Oda (2004) High precision  $^{14}\text{C}$  measurement with the HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.* B223-224, 124-129.
- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988~2004) (I ~ XV)、名古屋大学年代測定総合センター.

## Status and Applications of Tandetron II at Nagoya University

Toshio NAKAMURA\*, Etsuko NIU, Hiroataka ODA, Akiko IKEDA, Takahiro WATANABE,  
Tomoko OHTA and Masami NISHIDA

Center for Chronological Research, Nagoya University Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan  
(corresponding author: e-mail:nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp, Phone:052-789-3082)

### Abstract

In 1981/82, a Tandetron AMS system manufactured by the General Ionex Corporation (GIC), USA, was installed at Nagoya University, and in autumn 1983,  $^{14}\text{C}$  measurements began. Since then the GIC  $^{14}\text{C}$ -AMS system has been used to measure samples for various research applications.

A second  $^{14}\text{C}$ -AMS system (Model 4130-AMS), built by High Voltage Engineering Europe (HVVEE), B.V., The Netherlands, was delivered to Nagoya University in 1996/97. Acceptance tests were completed in January of 1999, and routine measurements began in mid-2000. Since completion of the acceptance tests in early 1999, we have encountered a lot of trouble with the machine, in particular in 2002. We have replaced a RF-transformer for high voltage generation system, a GVM motor to measure high voltage applied to the terminal of the tandem accelerator, etc, in 2002. After these troubles, the machine is relatively working well, expect for minor problems. However, it should be stressed that even a minor malfunction,  $^{14}\text{C}$  measurements are not possible with the system.

The numbers of targets measured were 330, 1430, 2077, 1003 and 1979 in the years 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 respectively. In 2004, we have measured totally 1679 targets during the machine operations of 39 weeks. We have replaced a chiller unit of the water-cooling system, a plunger unit of target manipulator system in the ion source, a motor to drive the target wheel. These parts are moving steadily while the machine is in operation. Thus, we must maintain and replace them regularly for a routine and smooth operation of the Tandetron AMS system.