

名古屋大学タンデトロン2号機の現状と利用 (2007年)

中村俊夫^{a*}、南 雅代^a、小田寛貴^a、工藤雄一郎^a、池田晃子^a、
大森貴之^a、西本 寛^a、林 和樹^a、太田友子^a、西田真砂美^a
酢屋徳啓^b、関野達也^c

^a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

^b放射線医学総合研究所基盤技術センター研究基盤技術部、^c株式会社エリコンシステム部

(* 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(1997)年3月に設置された High Voltage Engineering Europe (HVVE)社製 Tandetron (Model4130-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 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、さらに質量数に依存して分かれたイオン軌道を再度結合して同時に加速器に導入するリコンビネーターシステム、加速電圧が 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、 $^{12}\text{C}^{3+}$ 、 $^{13}\text{C}^{3+}$ イオン強度を測定するための 2 台のファラディカップ、33 度曲げ角度の静電デフレクタ、およびイソブタンガスを用いる電離箱検出器 (^{14}C 計数用) からなり、試料中の ^{14}C 、 ^{13}C 、 ^{12}C の同位体比を高精度で測定できる (Nakamura et al, 2004; 2007)。このタンデトロン2号機については、2000 年度から学内共同利用を開始し、使用状況、故障状況について、毎年このシンポジウムで報告してきた (丹生, 2002; 2004)。2005 年 11 月に、測定ターゲット数が 1 万個を超えたあと、2006 年 5 月末までの前半部は順調に稼働したが、後半部は残念ながら故障が続出し、2006 年末には測定が全くできず、共同利用者に多大なご迷惑をおかけした。

表1 年ごとの測定数と測定時間 (2007 年末までの集計)

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	2,867	239
2005	1,772	148	3,456	288
2006	1,115	159*	2,136	305*
2007	1,339	134**	2,136	214**
合計	12,724		21,106	

*1-5 月, 11-12 月の 7 ヶ月の稼働として。

**2-6 月, 9-10 月の 10 ヶ月の稼働として

その後、2007年に入っても高電圧スパークの問題は解決されず、網渡り的な ^{14}C 測定を継続した。2007年7月に、再度、加速器タンクを開けて内部の点検を実施し、スパーク跡を磨き上げて、スムーズな表面に処理し直した。その後、高電圧スパークの状況は改善され、試料の ^{14}C 測定は順調に進んだ。しかし、11月初頭から古川記念館の耐震工事が開始され、2008年3月末の予定で、年代測定システムは全面停止状態となっている。ここでは、2007年の1月から12月にかけての1年間の運転・保守並びに利用状況について報告する。

2. 2007年の運転保守状況

2006年末に高電圧のスパークにより、高電圧発生用のドライバートランスが発熱し断線した。日本国内でトランスコイルの巻き直しを検討したが、トランスの規格に関するデータが不十分なため代替えができるものを作製することは不可能であるとの結論となり、新品をメーカーから購入することにした。2007年2月に新品が届き、交換して運転を再開したものの、高電圧のスパークは以前と同様に発生した。4月には、高電圧スパークによる電圧コントロールボードの破損、ターゲット制御回路の故障、等が相次いだ。しかし、この間、 ^{14}C 測定を継続し2月から6月までの測定数は629個となった。この間の高電圧スパークによるダイオードの破損が蓄積され、6月20日に、ついに高電圧が不安定になり、昨年10月に引き続き加速器タンクをオープンし、点検を実施した。この点検修理では、ダイオードを230個、抵抗器を2個交換した。

この点検修理のあと、高電圧絶縁ガスとして用いている六フッ化イオウ (SF_6) の脱水を徹底的に行ったところ、高電圧のスパークが治まり、以後、比較的スムーズな測定を継続することができた。8月の終わりに45個、9月に319個、10月に391個のターゲットを測定することができた。古川記念館耐震工事のために、11月3-4日にシステムの完全停止作業を実施した。その後は、耐震工事に関連する一連の作業が始まった。運転状況を、表1及び表2に示す。最終的に、2007年に測定したターゲット数は、1384個である。2006年の個数より上回る結果となった。

下図に、これまでに測定したターゲットである12,724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}C 濃度の標準体、 ^{14}C バックグラウンド試料、IAEA標準体となっている。

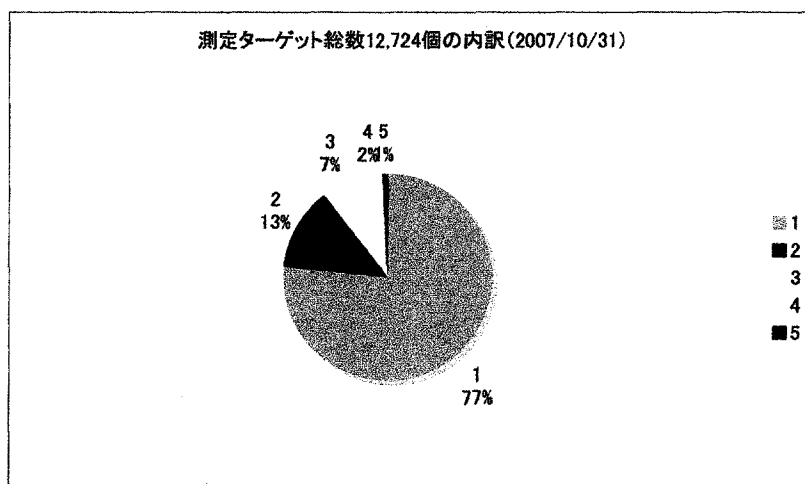


図1 これまでに測定したターゲットの種類の内訳
測定数の多い順に、1：未知試料、2：NBS-New標準体、3：NBS-OLD標準体、
4： ^{14}C Background試料、5：IAEA標準体

^{14}C 測定の手順としては、従来通り、45 個のターゲット (^{14}C 濃度未知の試料 31 個、 ^{14}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}C を含まないはずの市販のグラファイト) 1 個、試料調製の ^{14}C 汚染を調べるシュウ酸ブランク試料 (キシダ化学 (株) 製の特級シュウ酸 (2 水和物) 試薬 (#57952)) 1 個を標準的な組み合わせとする) について、3 日間で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}C 年代測定の誤差は ± 20 ~ ± 35 年程度である (Nakamura et al. 2004; 2007)。表 1 に年間の測定数と測定時間を示す。表 2 に各月あたりの測定数と故障など不具合の状況を示す。これらの状況を、次の節で議論する。

3. HVEE タンデトロン加速器質量分析計の故障の詳細

表 2 に、2007 年 01 月から 2007 年 12 月末までの各月あたりのターゲット測定数及びタンデトロン 2 号機の不具合の状況を示す。主たる不具合は、

表 2 2007 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/月	不具合などの状況
1	0	1/1 ドライバートランス故障中
2	134	2/16 ドライバートランスの取替 2/19 高電圧スパーク多発 2/26 電磁石電源冷却水詰まり
3	45	3/4 全学停電. 3/23 クライオポンプの冷却水パイプ取替
4	90	4/5 高電圧スパークによる電圧コントロールボードの破損 4/7-4/24 ターゲット回転系誤動作、制御回路の修理
5	180	
6	180	6/20 加速器高電圧が不安定、加速器タンク内の保守が不可欠
7	0	7/7 高電圧スパークにより高電圧不安定、電磁石電源冷却水詰まり 7/19-7/25 加速器タンク開、高電圧電源部の修理
8	45	8/6-8/22 絶縁ガスの脱水、イオン源掃除、加速器テストラン
9	319	
10	391	
11	0	11/1 耐震工事のため停止
12	0	耐震工事のため停止中
	合計 1384	

- 1) 加速器高電圧スパークによる高電圧制御モジュールの破損、
- 2) 高エネルギー分析電磁石電源の冷却水パイプの目詰まりによる冷却能力不足のため電磁石電源の停止、

3) 加速器高電圧スパークの繰り返しによる電源部のダイオード、抵抗器の劣化、であった。これらの3点は、2006年同様の不具合であり、問題を解決できなかったことになる。1)、2)については昨年の報告(中村ほか2007)を参照して頂きたい。ここでは、3)に関して、修理の状況を以下に詳述する。

3. 1 加速器高電圧の放電の繰り返しによる電源部のダイオード、抵抗器の劣化

2006年10月4日から、高電圧電源の整流・昇圧回路を点検するために、再度加速器タンクをオープンした。点検の結果、154個のダイオード(全部で1422個を使用)、および5個の抵抗器(全部で158個を使用)を交換した。この大修理のあと高電圧の安定化を期待したが、相変わらず不安定で、2006年11月から2007年7月7日までの高電圧放電の回数は30回に及んでいる。図1にその状況を示す。

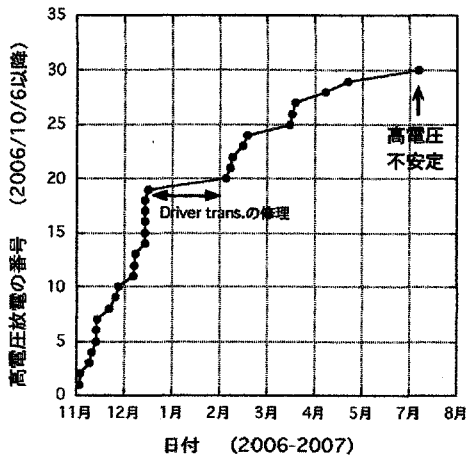


図2 2006/11~2007/7/7の間の高電圧スパーク発生の経年変化

2007年7月の始め頃から、加速器高電圧出力が不安定になり、7月7日に、ついに加速器タンクを再度開けて高電圧発生回路を点検することにした。

昨年にも同様な症状が発生し、

2007年7月19日から25日にかけての修理で、昨年に引き続き、230個のダイオード(全部で1422個を使用)と2個の抵抗器(全部で158個を使用)を交換した。

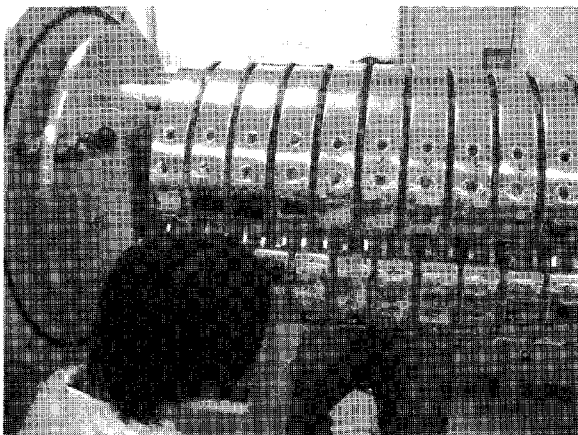


写真 1a 高電圧の整流・昇圧装置の点検(I)

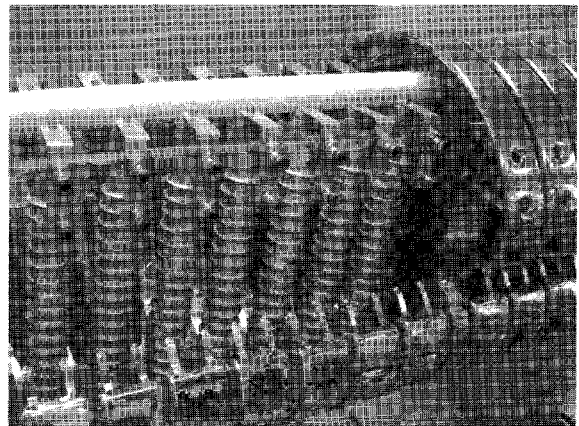


写真 1b 高電圧の整流・昇圧装置の点検(II)

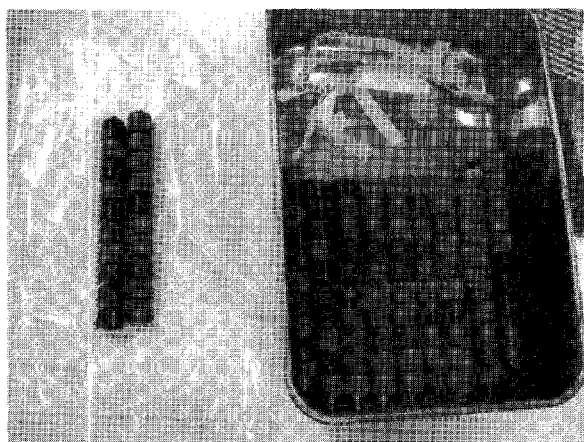


写真2 高電圧整流回路に使われるダイオードおよび抵抗器。それぞれ230個、2個を交換

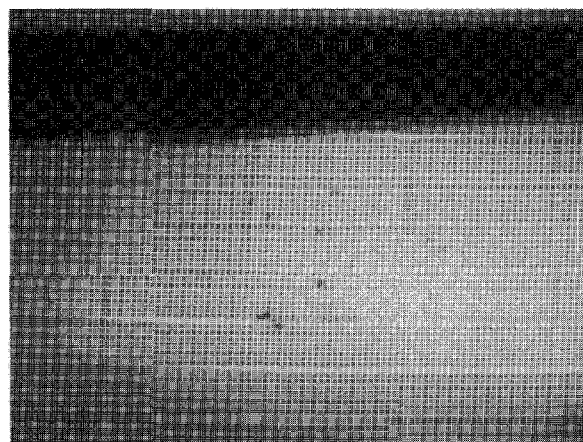


写真3 高電圧スパークの痕跡

4. 耐震工事の現状

2007年11月から開始された古川記念館の耐震工事に関連して、11月3-4日に、タンデトロン年代測定システムを完全に停止した。その後、数日をかけて、ホコリ除けのビニールシートを用いて装置全体の覆いを行った。耐震工事に伴って発生するホコリにより、装置が汚れないようにするためである。このホコリ除けは、試料調製装置、定温乾燥機、作業机など、年代測定室にあるすべてのものについて実施した。

さらに、耐震工事中には、CHIME年代測定装置2台と共に、タンデトロン年代測定システムについて、近傍に振動計（加速度計）を設置し、振動状況のモニターを実施した。モニターを用いて振動の強度を監視し、一定レベル以上の振動がある場合には、振動が発生する工事、すなわち、壁面の孔開けやハツリ工事を一時中断し、場合によっては、発生振動が弱い別の工法に切り替えてもらうことを行った。工事関係者には、多々迷惑をかけたものと思うが、工事後に、年代測定装置の速やかな立ち上げを実施するためには不可欠なことでありと確信する。この、耐震工事中の振動モニターについては、別途に報告（池田ほか, 2008）される予定である。

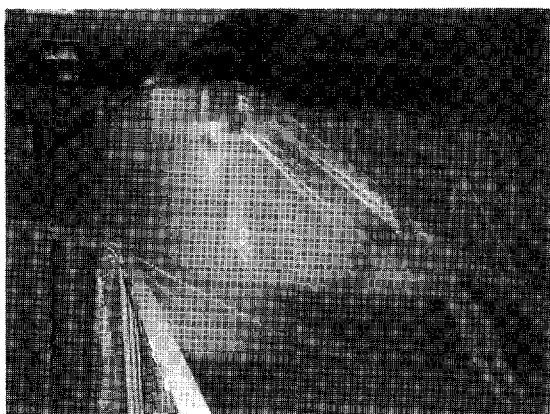


写真4 ホコリ対策用のシール。
タンデトロン年代測定システム全体を完全に覆ってある。

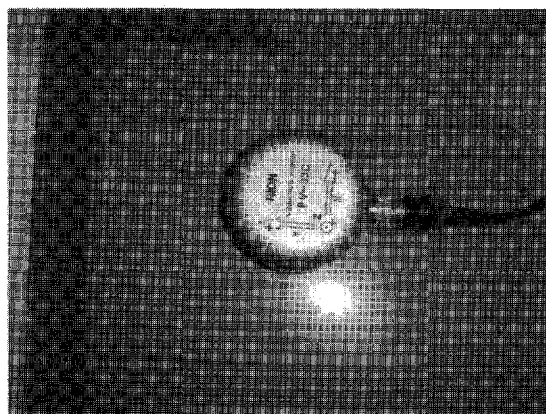


写真5 3方向の振動が読める加速度センサー
写真のように、床の上に設置した

5. ^{14}C 測定の応用研究

名古屋大学タンデトロン加速器年代測定システムによる ^{14}C 年代測定では、5 千年前よりも若い試料について、ほぼ定常的に ± 20 – ± 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 ; 2007) 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が期待されている。また、年代測定に限らず、環境研究などにも幅広く利用されている。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 (1988–2007) 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修理、保守において、全学技術センターの教育・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ている。記して感謝の意を表します。

最後に、この報文に述べたように、昨年に引き続き、本年の前半期においても、装置の不調で ^{14}C 測定が進まず、修士論文、卒業論文、科研費などの研究報告の作成に多大な支障を及ぼした。常々、分析装置に何のトラブルが発生するか予測できず、ご迷惑をおかけすることもあり得ると、利用者には注意を喚起しているところであるが、実際に、このような決定的な支障を経験したのは初めての事である。文末にあたり、支障のあった利用者の皆様には、改めて遺憾の意を表します。また、11月1日からは、タンデトロン分析計が設置されている古川記念館の耐震工事が 2008 年 3 月末の予定で開始された。昨年度、そして本年度と共同利用者の皆様には、ご迷惑をおかけしている。耐震工事を終えた後は、安全な状態で、 ^{14}C 測定利用がスムーズに実施できることを期待している。

参考文献

- 池田 晃子ほか (2008) 名古屋大学古川記念館耐震工事に伴う振動発生モニタリングについて (予報) . 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XIX, **-**.
- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988–2007) (I – XVIII), 名古屋大学年代測定総合センター.
- Nakamura, Toshio, Etsuko Niu, Hiroataka Oda, Akiko Ikeda, Masayo Minami, Tomoko Ohta and Takefumi Oda (2004) High precision ^{14}C measurement with the HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res. B*223-224, 124-129.
- Nakamura, Toshio, Iwao Nishida, Hideki Takada, Okuno, Mitsuru, Minami, Masayo, and Oda, Hiroataka (2007) Marine reservoir effect deduced from ^{14}C dates on marine shells and terrestrial remains at archeological sites in Japan, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B259, 453-459.
- 中村俊夫, 南 雅代, 小田寛貴, 池田晃子, 渡邊隆広, 宮原ひろ子, 太田友子, 吉岡茂雄, 西田真砂美(2007) 名古屋大学タンデトロン 2 号機の現状と利用 (2006 年) . 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XVIII, 91-97.
- 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, 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.

Status and applications of Tandetron AMS system-II at Nagoya University in 2007

Toshio NAKAMURA^{*a}, Masayo MINAMI^a, Hirotaka ODA^a, Yuichiro KUDO^a, Akiko IKEDA^a,
Takayuki OMORI^a, Hiroshi NISHIMOTO^a, Kazuki HAYASHI^a, Tomoko OHTA^a, Masami NISHIDA^a,
Tokunori SUYA^b and Tatsuya SEKINO^c

^a 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)

^b National Institute for Radiological Sciences, Inage, Chiba 263-8555 Japan

^c Elicon. co. Ltd., Japan

A second ¹⁴C-AMS system (Model 4130-AMS), built by High Voltage Engineering Europe (HVEE), 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 troubles with the machine, particularly in 2002. Since the end of 2002, the machine has relatively worked well, expect for minor problems.

However, since June in 2006, we had a serious problem with the high voltage generation system. We opened the accelerator tank twice, in October of 2006 and July of 2007, and replaced each time totally 154 diodes and 5 resistors, 230 diodes and 5 resistors, respectively, for the high-voltage generator system used to rectify the AC power source and stabilize the DC current. Thus the number of targets measured was 1384 in 2007, which was almost the two-third of that in normal year. We also encountered troubles with (1) spark-oriented damage of a high voltage controller module, (2) a cooling system of the power generator for the analyzing magnets both for high energy and low energy beams. The cooling-water flow for the power generator was disturbed by chemical deposits in water tubes, and was not plenty enough to cool down the generator. A thermo-switch stopped the generator for safety and thus we could not operate the analyzing magnets. We replaced the damaged tubes to new ones. This trouble also limited the number of targets measured.

Since November 1st, 2007, we had a scheduled shutdown of the AMS system, owing to the improvements of the building, Furukawa Memorial Hall, against earthquake invasion expected in near future around Tokai area, central Japan. In April of 2008, we will start ¹⁴C measurements again, possibly in a new good condition of the building.