

名古屋大学タンデトロン2号機の現状と利用（2006年）

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

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(1997)年3月に設置された High Voltage Engineering Europe (HVEE)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、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)。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。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。ここでは、2006年の1月から12月にかけての1年間の出来事について報告する。

表1 年ごとの測定数と測定時間（2006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	2,837	239
2005	1,771	148	3,456	288
2006	1,115	159*	1,584	264
合計	11,384		168,040	

*1-5月、11-12月の7ヶ月の稼働として。

2. 2006年の運転状況

2006年前半の1月から5月までは、 ^{14}C 測定システムの利用は順調に進行した。しかし、中盤の6月20日に、突如、加速器高電圧が不安定になり、昨年末に引き続き加速器タンクをオープンし、点検を実施した。原因不明のまま、タンクを閉じて、運転を再開したが、高電圧のスパークが頻発して、測定が全く進まなかった。その後、再度、加速器タンクを開けて高電圧電源部の点検、パーツ取替を行った。最終的に、2006年には、1年間の52週のうち24週を運転し、標準体を含めて1115個のターゲットを測定することができた。運転状況を、表1及び表2に示す。

下図に、これまでに測定したターゲットである11,384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。

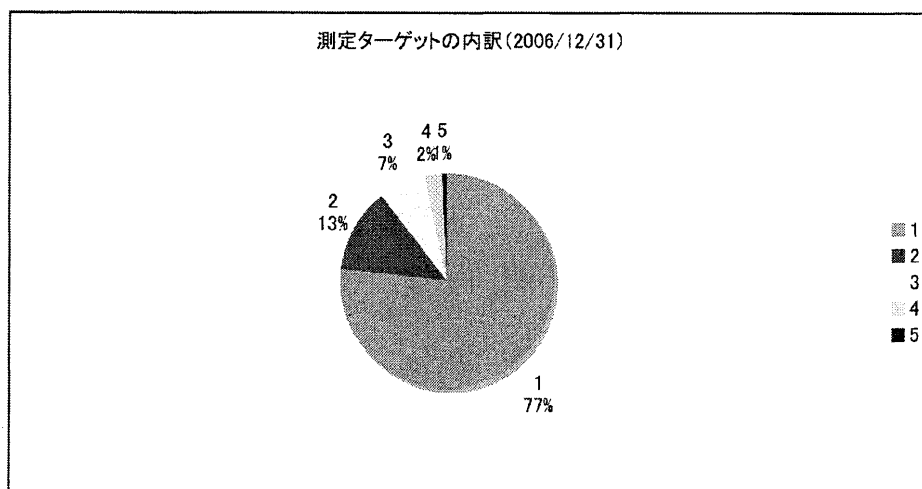


図1 これまでに測定したターゲットの種類の内訳

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

また、測定手順としては、従来通り、45個のターゲット（ ^{14}C 濃度未知の試料32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 を含まないはずのグラフアイト)1個を標準的な組み合わせとする)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}C 年代測定の誤差は ± 20 〜 ± 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2に各月あたりの測定数と故障などの状況を示す。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、2006年01月から2006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、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、4) 加速器高電圧電源部の出力トランスの破損事故、であった。ここでは、これらの4点について以下に詳述する。

表2 2006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	不具合などの状況
1	188	
2	141	2/14 加速器高電圧スパークにより高電圧制御モジュール破損
3	189	
4	188	
5	92	
6	47	6/20 加速器高電圧が不安定、放射線レベルが増加、加速器タンク内の点検・保守。 6/26 ターミナルポンプ駆動系を改良型に交換
7	0	7/23 Q-snout バイアス電圧電源の取替
8	0	
9	0	9/17 分析電磁石電源の冷却水パイプの目詰まりの洗浄
10	0	10/4-6 高電圧電源部ダイオード 154 個、抵抗 5 個を交換
11	180	11/26 高電圧制御モジュールの破損による取替
12	90	12/27 高電圧出力側のトランスの断線

3. 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

加速器高電圧のスパークにより高電圧制御モジュールが破損し、高電圧の制御が効かなくなった。手動モードでは高電圧を制御できるため、高電圧電源部の故障ではない。交換用のモジュールの予備を持っていなかったため、原子力研究開発機構むつ事業所から借用した。これを取り替えると正常に作動した。

3. 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

高エネルギー分析電磁石電源は、水冷で作動している。室外にラジエーターと冷却装置があり冷却水を循環させている。電源には加熱防止のために温度スイッチが設置されているが、高電圧電源のトラブルで¹⁴C測定が進まなかった間の6月～8月にかけて、電磁石の使用中に、温度スイッチが作動して電磁石電源が停止する事故が頻発した。温度計を設置して、温度センサーの温度を調べたところ、温度センサーは規格通りに80℃以上になると接点が切れるという正常な動作をしていることが判明した。そこで、電源の冷却パイプを調べたところ、ビニールパイプの内部に緑青が付着し、パイプが目詰まりを起こし(写真1a, b)、冷却能力が著しく低下している事が判明した。さらに、冷却水の汚染が進み、冷却水循環装置(チラーユニット)の水タンクの底に緑青の粒子が溜まっており、冷却水循環装置から冷却水を送るビニールパイプの内部に緑青が付着していた。緑青の発生は、電磁石の冷却が銅パイプを用いており、冷却水に溶け出したわずかな銅イオンが二酸化炭素と反応して形成されたものと思われる。交換可能なパイプをすべて交換して、冷却水の循環を

良くするように努めた。リコンビネーターの電磁石電源の冷却水パイプについても、目詰まりがあったため洗浄しパイプの一部を交換した。高エネルギー分析電磁石電源については、扇風機による空冷を行い、また、定期的に温度センサー付近の温度を監視している。

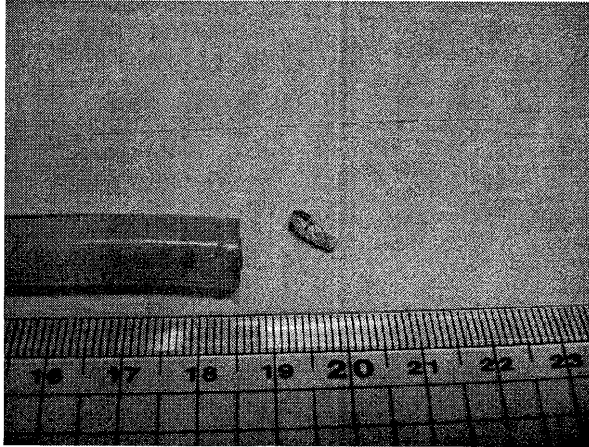


写真1 a. 電磁石電源の冷却水パイプに詰まった青緑色の固形物



写真1 b. 電磁石電源の冷却水パイプに詰まった黒色の固形物

3. 3 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6月20日に、高電圧の conditioning (馴らし運転) 中に、放射線レベルが増加して、高電圧が上げられない状況になった。そこで、加速器タンクを開けて、内部を点検した。

この際に、ターミナルポンプ駆動系に不具合が見つかった。一昨年、2005年11月14日(月)にタンクを開いて、ターミナルポンプを駆動させるための発電機に動力を伝えるシャフトの歯車の歯先が摩耗して空回りをしていることを認め、これを予備品と交換し、タンク内部を清掃したのち、タンクを閉じて、炭素同位体比測定を再開することが出来た。今回、この修理箇所に関し再び不具合が起こっていることが事前に判明したのである。これについては、加速器メーカーの HVEE 社から、部品の改良があり、動力を伝えるシャフトの歯車をプラスチック製から金属製に変更された部品を購入していたため、それに取り替えることで対処する事ができた。但し、加速器高電圧の不安定は、これが原因とは考えられない。



写真2 高電圧の整流・昇圧装置の点検

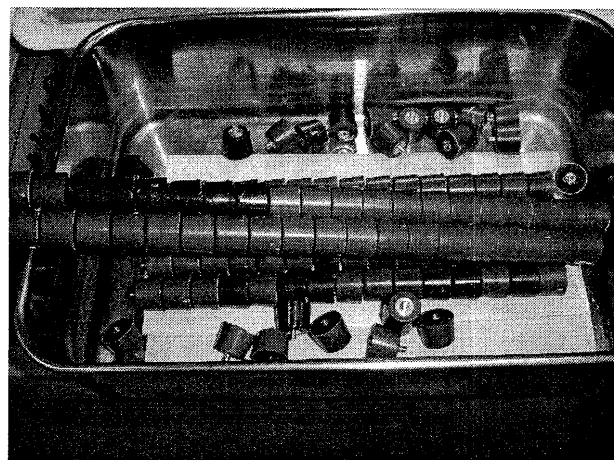


写真3 高電圧整流回路に使われるダイオード

6月の点検では、加速器高電圧不安定の究極の原因がつかめずに、加速管などを清掃したのち、加速器運転を試みることにした。しかし、その後にも、放電を繰り返したため、益々、高電圧が不安定になった。そこで、2002年に行った際と同様にして（丹生、2002；2004）、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。整流昇圧回路を点検した。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。高電圧が放電する度に破損して、数が増えたものと考えられる（写真2，3）。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、10月からの高電圧放電の回数は19回に及んでいる。

3.4 加速器高電圧電源部の出力トランスの破損事故

10月の大修理のあとから数えて、19回目の放電（2006年12月27日（水））において、加速器高電圧電源部の出力トランスが焼けて、断線し（写真4a, b）、ついに高電圧が付加できなくなった。トランスの周囲は、ススで真っ黒になっていた。早速、HVEE社、および代理店に連絡したが、クリスマス休暇、及び年末の業務休みのため、トランスの発注が正式にできたのは、2007年1月9日（火）であった。

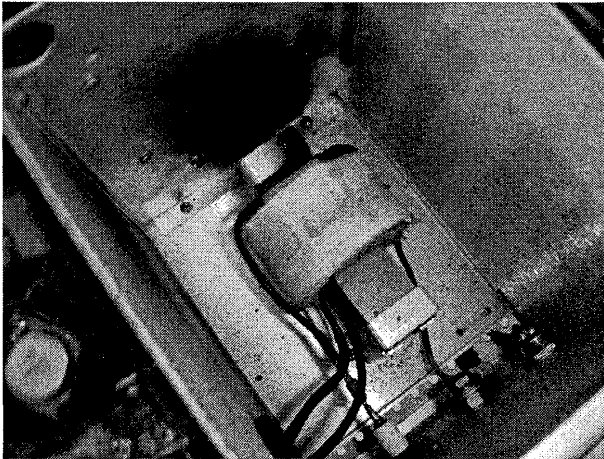


写真4a 電源ボックス内で焼けたトランス

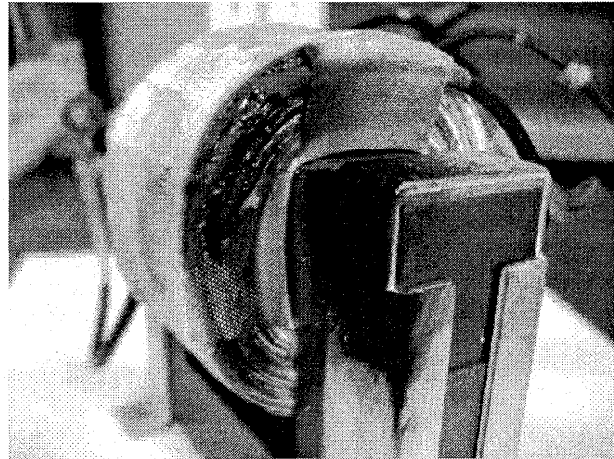


写真4b 取り出したトランス
巻線の焼けた痕跡がよくわかる

4. 元素分析計を用いた試料燃料の効率化にむけて

^{14}C 測定のための試料調製において、試料を閉鎖系で燃焼して試料起源の CO_2 のみを選択的に回収する必要がある。元素分析計（NC 2500 series Element Analyzer, ThermoQuest, Italia, S.p.A.製造）を用いて、試料を燃焼して二酸化炭素に変換する部分を、半自動的に行うことを計画している。現状では、試料を酸化銅と共に、バイコール管、あるいは石英管に真空封入して、加熱することで二酸化炭素を生成する。様々な理由からこの危険な作業を止めて、元素分析計による方法に切り換えたい。当センターでは、大学院学生を主とする一般ユーザーに試料調製を実施してもらうために、安全な操作を心がけている。安全面、効率面を考えて、元素分析計による試料燃焼、二酸化炭素生成回収を実現するために、準備を進めている。不本意なことであるが、この準備を進めている過程で、部品の紛失があった。紛失した部品は、他所では使い道のないものであり、持ち去っても仕方な

い代物であるが、未だに発見されていない。部品の再入手に手間取っている。

5. ^{14}C 測定の実用研究

5千年前よりも若い試料では、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)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（1988–2006）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。また、高電圧制御用のモジュールを、原子力研究開発機構むつ事業所からお貸し頂いた。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、本年の後半期は、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、利用者各位には注意を喚起しているが、実際に、このような決定的な支障が発生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。

参考文献

- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988–2006) (I – XVII)、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.* B223-224, 124-129.
- 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 Tandatron AMS system-II at Nagoya University in 2006

Toshio NAKAMURA*, Masayo MINAMI, Hirotaka ODA, Akiko IKEDA,

Takahiro WATANABE, Hiroko MIYAHARA, Tomoko OHTA, Shigeo YOSHIOKA 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)

A second ^{14}C -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, in particular in 2002 (see Fig.1). Since 2002, the machine has relatively worked well, expect for minor problems. However, it should be stressed that even a minor malfunction, ^{14}C measurements are not possible with the system. In fact, the AMS machine was in good condition in the early half of 2006. However, since June in 2006, we had a serious problem with the high voltage generation system. We opened the accelerator tank in October and replaced totally 154 diodes and 5 resistors 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 1115 in 2006, which is almost the half of that in normal year. We also encountered a trouble with 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 the water tube, and was not enough to cool down the generator. 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.