

名古屋大学タンデトロン AMS ^{14}C システムの現状と利用 (2008)

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、1997年3月に設置された High Voltage Engineering (HVE)社製 Tandetron (Model 4130-AMS)は、放射性炭素測定専用のシステムである。Cs スパッタ負イオン源 (Model 864B), リコンビネーター, 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る。リコンビネーターシステムにより, まず ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C ビームを分離させ, このときに Chopper を用いて ^{14}C ビーム強度を約百分の一に減衰させ, その後に再集合して加速器に入射する。こうして炭素 ^{14}C , ^{13}C , ^{12}C の同時測定を行い, 炭素の同位体比を高精度に測定できる。1999年1月に $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比測定のパフォーマンスを終了し, 2000年度から学内共同利用を開始した (Nakamura et al. 2000)。

ここでは, 2008年1月から2008年12月末までの1年間の主要な故障例など, 運転の状況をまとめる。また, 2007年11月から2008年4月にかけて行われた AMS 施設建物の耐震工事について報告する。

2. 2008年の一年間の運転状況の概要

2007年の一年間の, 加速器高電圧発生系, 冷却水循環系の不具合については, 今年のこのシンポジウムで報告したとおりである。2006年10月に高電圧発生装置のダイオードを150個交換したが, その後も高電圧のスパークは止まらず, その後の高電圧スパークによるダイオードの破損が蓄積され, 2007年6月20日に, ついに高電圧が不安定になり, 2006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。この修理の際には, 加速器タンク内に残っているスパークの痕跡を徹底的に捜し, サンドペーパー等で完全に磨いて除去した。

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。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, 耐震工事に関連する一連の作業が始まった。最終的に2007年に測定したターゲット数は, 1,339個である。(表1及び図1)。

耐震工事が実質的に終了した2008年4月以降から測定の前準備を進め, 6月23日から試料の年代測定を再開した。6月26日に高電圧のスパークが発生し, 高電圧の制御ボー

ドが破損したため交換した。この後も、次節の表2及び図2に示すように、今までどおりの故障が相変わらず継続したが、測定は順調に進んだ。10月から11月にかけて、約3週間で、HVE社の技師による詳細な点検・修理を実施した。2008年は、前半がほとんど停止したこともあり12月末までに測定されたターゲットの個数は866個である。

表1 年間の測定数と測定時間 (2008/12/31 まで)

年	測定ターゲット (個)			測定時間 (時間)	
	年間	月平均	積算数	年間	月平均
1999	330	28	330	352	29
2000	1,430	119	1,760	2,234	186
2001	2,077	173	3,837	3,161	263
2002	1,003	84	4,840	1,545	129
2003	1,979	165	6,819	3,219	268
2004	1,679	140	8,498	2,837	239
2005	1,771	148	10,269	3,456	288
2006	1,115	159	11,384	1,584	264
2007*	1,339	134	12,724	2,136	214
2008*	866	144	13,590	1,488	248

*) 耐震工事 (実質的には2007/11/1-2008/06/20) の間は、年代測定装置は停止した。

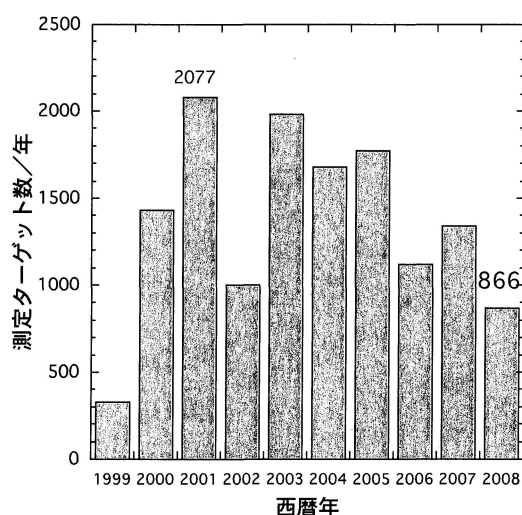


図1 年ごとのターゲット測定数

3. HVE タンデトロン加速器質量分析計の故障の詳細

表2に、2008年における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。

表2 2008年における月あたりの測定ターゲット数

月	測定番号	測定数	batch数	コメント
1	12630	0	0	耐震工事のため完全停止
2	12630	0	0	耐震工事のため完全停止
3	12630	0	0	耐震工事のため完全停止
4	12630	0	0	耐震工事のため完全停止
5	12630	0	0	耐震工事のため停止, 5/15-16,19 クライオポンプ保守 5/19-6/09 SF ₆ 脱水循環システムの設置
6	12746	116	11	6/18 ¹² C chopperの磁気流体軸受の真空漏れ, 磁気流体軸受の交換 6/24 高電圧スパークにより制御ボードの破損 6/30-8/03 イオン源ターゲット交換の誤動作により制御モーターの修理
7	12884	138	10	7/4 冷却水システムのチラーユニットが停止, 送水ポンプの故障, 7/8 電磁石電源冷却水詰まり, ビニールパイプ交換 7/11 冷却水システムのチラーユニットオーバーホール 7/15 加速器室内の空調機を点検
8	13117	233	14	8/3 ターゲット位置制御モーターの交換 8/13 低エネルギー側の電磁石電源冷却水系の洗浄
9	13258	141	10	
10	13396	138	10	10/2 クライオポンプコンプレッサーの交換 10/27 SF ₆ 回収作業 10/28-11/14 オランダHVE社技師による全システムの点検(耐震改修後のチェック) 高電圧発生ダイオード150個を交換, 加速管高電圧分割抵抗27個を交換
11	13396	0	0	
12	13496	100	7	12/8 高電圧スパーク 12/9-12/10 SF ₆ 絶縁ガスの脱水作業 12/22-12/28 高エネルギー側の電磁石電源冷却系の洗浄
		合計 866		

2007年11月始めから2008年6月末までのほとんどは、古川記念館の耐震工事のためにシステム停止を余儀なくされた。停止期間の前後における主たる不具合は、従前から問題になっている、(1)分析電磁石電源の冷却水パイプの詰まり、(2)加速器高電圧スパーク、に対する対策である。冷却水パイプの詰まりについては、不具合の都度、送水パイプの洗浄・交換をおこなった。今後の対策としては、電源内部に組み込まれた金属製の送水パイプの洗浄を行うことを検討している。加速器高電圧スパークについては、SF₆

ガス中の水分を除去することに努め、SF₆のリザーバータンクへの回収、加速器タンクへの充填を内容量 1.5 リットルの脱水フィルター（和光純薬工業（株）の合成ゼオライト A-4、球状、2.36-4.75mm(4-8mesh)を約 1.3kg 使用）を介して 12 回往復して、脱水ほぼ完全に行ったところ、高電圧スパークがほぼ無くなった。その後のスパークとしては、表 2 及び図 2 に示すように、最近では、2008 年 6 月 24 日および 11 月 18 日に 2 回発生しただけである。

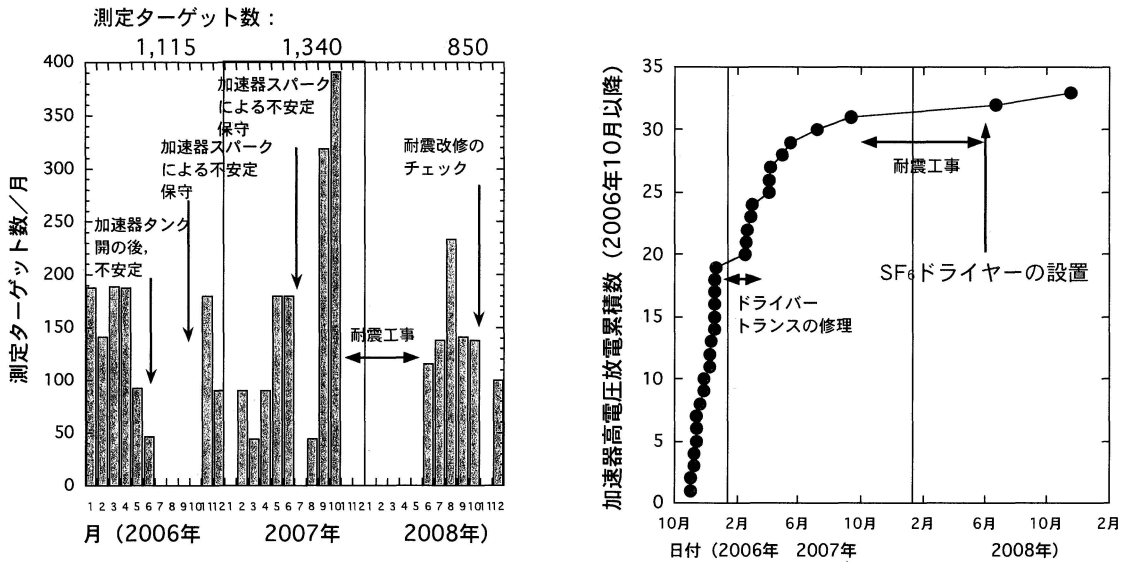


図 2 各月あたりのターゲット測定数と加速器高電圧放電の発生状況
SF₆のドライヤーを設置したあと、放電の頻度が減少し、2008 年 11 月 18 日以降には放電の発生がない。

4. AMS 施設建物の耐震工事

2007 年 11 月から開始された古川記念館の耐震工事に向けて、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。耐震工事の間は、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、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。このホコリ除けは、試料調製装置、定温乾燥機、作業機など、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、鉱物に含まれる U-Th-Pb の量比を測ることにより、岩石、鉱物の年代測定ができる 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。

これらの処置は、耐震工事による年代測定関連設備の被害を少なくするために役立ったと思われる。加速器質量分析計本体については、さらにメーカーである HVE (High Voltage Engineering) 社の技師による詳細な点検・修理を 2008 年 10 月 27 日から 11 月 14 日まで実施した。この際に、高電圧発生ダイオード 150 個及び加速管高電圧分割抵抗 27 個を交換した。また、イオン源の清掃を行った際に絶縁体 2 個を交換した。

5. SF₆ガスの露点改良のための脱水装置の設置

ゼオライト 1.3kg の脱水フィルターでは脱水能力が不十分であり，さらに加速器タンクと室外に設置された SF₆ リザーバータンク間を往復させるだけでは脱水効率が良くないため，大容量の脱水フィルターを介して，加速器タンク内に充填された SF₆ を循環して脱水する装置を，名古屋大学全学技術センター装置開発室と共同で開発した．その概略を図 3 に示す．合成ゼオライト (A-4, 4-8mesh) を 15kg 詰めたフィルタータンク (内径：158.4mm, 内面の長さ：1050mm, 内容積：20.7 リットル) を，加速器タンクおよび既存の SF₆ ガス回収装置と直列に接続し，SF₆ ガス回収装置のコンプレッサーを動力として SF₆ ガスを循環させて水分を除去する．フィルタータンクには，合成ゼオライトを脱水・再生する機能はなく，脱水能力が低下した際には，合成ゼオライトを交換することとした．2008 年 5 月 19 日から 6 月 9 日にかけて，設置および試運転を行ったが，結果は良好である．

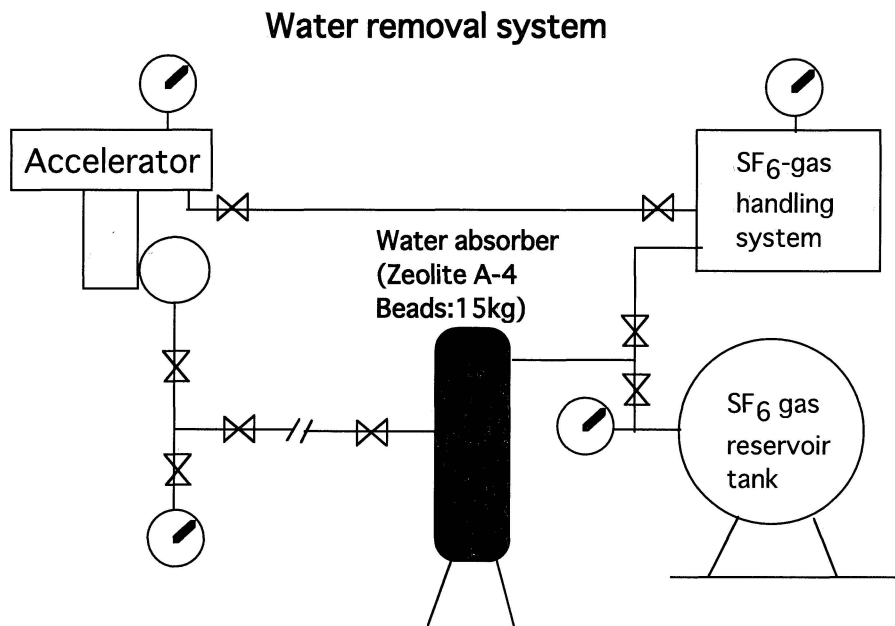


図 3 SF₆ガスの循環・脱水システム

6. ¹⁴C 測定の実用研究

名古屋大学タンデロン加速器年代測定システムによる ¹⁴C 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．シンポジウムにおいて紹介した佐賀県東名貝塚遺跡にて発掘された約 3m 厚の貝層の形成期間（約 7900～7600 cal BP）の解析研究成果については，佐賀市教育委員会で報告書が準備されており，それを参考して頂きたい．個々の応用例については，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（1988～2008）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改造, 保守, 運転のための消耗品類の開発などで, 名古屋大学全学技術支援センターの教育・研究技術支援室の皆様には大変お世話になっています. 特に, 鈴木和司, 鳥居龍晴, 松下幸司の3氏には, 当センターを担当し様々に支援して頂いています. また, 日本原子力研究開発機構むつ事業所の北村敏勝, 天野光, 甲昭二の3氏には, 同事業所で準備されている保守用の部品類をお貸し頂くなど便宜を図って頂いています. さらに, 退職された吉岡茂雄氏にも, ご厚意に甘えて緊急時にはご助力いただいております. ここに, 記して深く感謝致します.

参考文献

- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988～2008) (I ～ XIX)、名古屋大学年代測定総合センター.
- Nakamura, T., E. Niu, H. Oda, A. Ikeda, M. Minami, H. Takahashi, M. Adachi, L. Pals, A. Gottdang, and N. Suya (2000) The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instrum and Methods in Physics Research*, B172, 52-57.
- Nakamura, Toshio, Etsuko Niu, Hirotaka 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.
- Nakamura, T., Miyahara, H., Masuda, K., Menjo, H., Kuwana, K., Kimura, K., Okuno, M., Minami, M., Oda, H., Rakowski, A., Ohta, T., Ikeda, A., and Niu, E. (2007) High precision ^{14}C measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B259, 408-413.

Status and applications of Tandetron ^{14}C AMS system at Nagoya University in 2008

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

An AMS system (Model 4130-AMS) dedicated to ^{14}C measurements, built by High Voltage Engineering (HVE), B.V., The Netherlands, was delivered to Nagoya University in 1996/97. Acceptance tests of its performance on carbon isotope measurements 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, except for minor problems.

The standard deviation (one sigma) of the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio is around $\pm 0.3\%$ to $\pm 0.4\%$ (a bit larger than the uncertainty of about $\pm 0.3\%$ calculated from ^{14}C counting statistics) and that of the corresponding $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio is $\pm 0.03\%$ to $\pm 0.07\%$, as are tested for HOxII targets. The number of targets measured was 330, 1430, 2077, 1003, 1,979, 1679, 1771, 1,115, 1,339, and 866 in each year from 1999 to 2008, respectively, and total number of target measured is 13,590.

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 June of 2008, we started ^{14}C measurements again, encountering also several troubles as we had experienced before. A full overhaul of the AMS system was conducted by a HVE engineer in October of 2008. During the special maintenance, a high-voltage generator, two accelerator tubes and an ion source system were completely tested. 150 diodes of the high-voltage generator, 27 registers for dividing high voltage at the accelerator tubes, and two sets of insulators in the ion source were exchanged with new ones. Thus more than half of 2008 was spent for the improvement of the building and maintenance of the AMS system, and totally 866 targets were analyzed.