

名古屋大学タンデトロン2号機の現状

丹生越子

名古屋大学 年代測定総合研究センター

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

TEL: 052-789-2728

FAX: 052-789-3092

E-MAIL: eniu@nendai.nagoya-u.ac.jp

1. タンデトロン2号機

名古屋大学年代測定総合研究センター・タンデトロン2号機は、オランダにあるHVEE (High Voltage Engineering Europe) 社製 Model 4130-AMS の加速器質量分析計で、特に炭素同位体比測定専用の機種である。1995-1996年度に本センターに導入され、1999年1月に分析機としての性能検査を修了した。しかしながら、その前後に渡り、初期不良と高電圧発生装置の大規模な故障に悩まされ続け、本格的な測定を行えるようになったのは、1999年11月から、定常測定の手順が確立したのは、2000年4月に入ってからであった。以下に、2000年の運転状況、問題点等について報告する。

2. 2000年の運転実績および測定状況

2000年(1月~12月)の運転状況について、表1に示す。いくつかの故障はあったものの、5月以降は定常測定の手法も確立し、無駄な時間を押さえて試料測定に専念することができたと言える。

2000年に測定された標的数は1610個/年、134個/月であった。これは、45個のターゲット(試料32個、標準体他13個)を一週間かけて測定し、一ヶ月のうち3週間で測定に当てていたことに相当する。測定時間としては、同期間に、2233時間/年、186時間/月であった。月別測定標的数とその内訳を図1・図2に示す。

表1:タンデトロン2号機運転状況

	運転内容	保守/故障/停止			
2000年1月	↑ 試料測定(3週間) ↓	・ ターゲット電流制御不良	停電	SF6	
2000年2月	・ 試料測定(1週間)				↑ ターゲット操作不良 ↓
2000年3月	↑ 試料測定(3週間) ↓	↓ 新型カルーセル導入		SF6	
2000年4月	・ 試料測定(2週間)	↑ スリットスタビライザ不良 ↓ スリットスタビライザ調整			
2000年5月	↑ 試料測定(4週間) ↓			SF6	
2000年6月	・ 試料測定(2週間)				
2000年7月	↑ 試料測定(4週間) ↓			sc	
2000年8月	・ 試料測定(2週間)			・ 丸文技術者による点検 ・ 運転者不在(丹生:出張)	停電
2000年9月	・ HVEE技術者による調整 ・ 試料測定(2週間)	・ 静電デフレクタ光ケーブル交換 ・ エアコン湿度センサ点検		SF6	sc
2000年10月	↑ 試料測定(3週間) ↓				
2000年11月	↑ 試料測定(3週間) ↓	・ ロータリーポンプ故障	停電	SF6	sc
2000年12月	↑ 試料測定(3週間) ↓				

↑ ↑
 加速部タンク内SF6ガスの乾燥: SF6 |
 イオンソースクリーニング: sc

図1: タンデトロン2号機による測定標的数

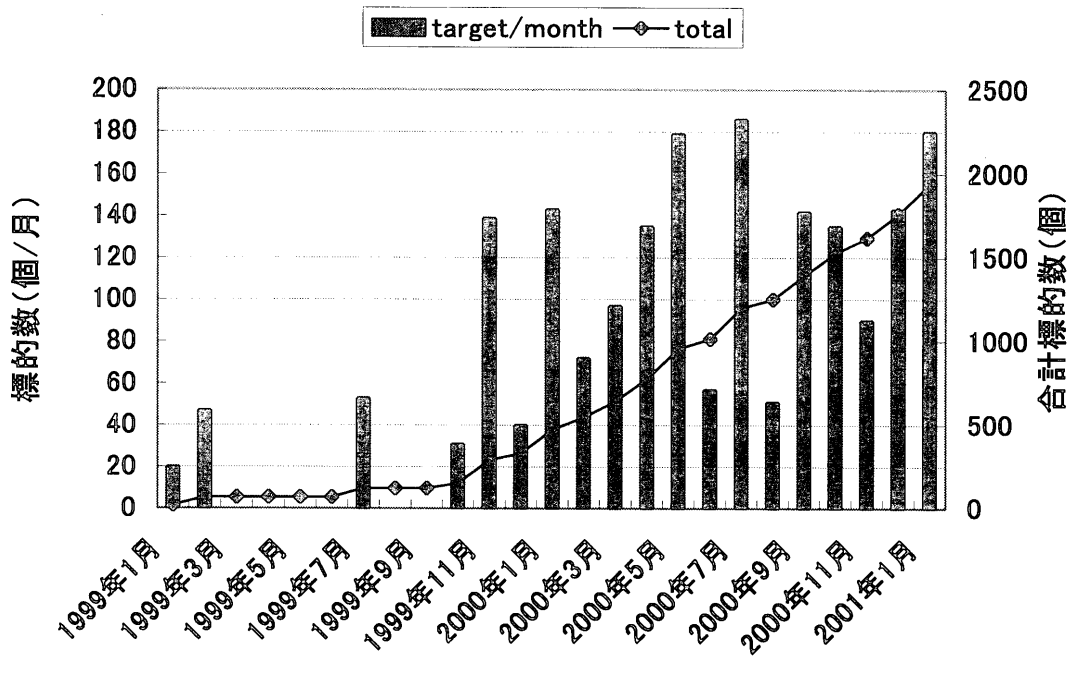
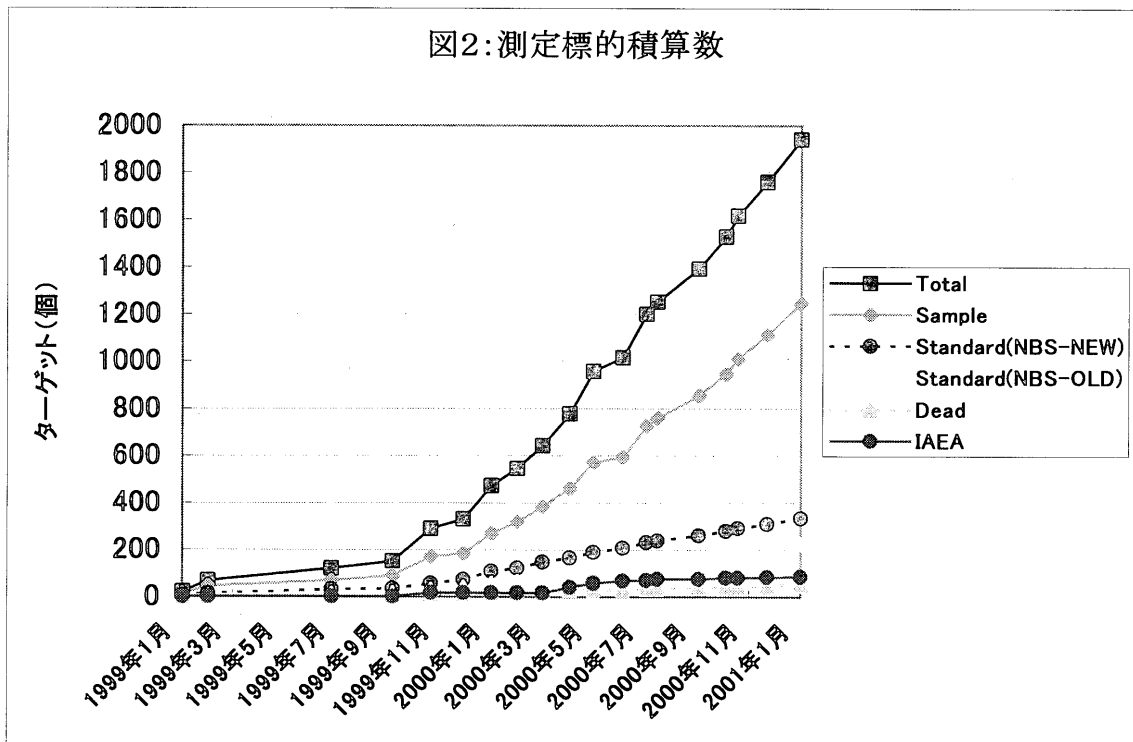


図2: 測定標的積算数



3. 故障状況

個々の故障について、発見された順に説明する。

・ ターゲット・カルーセル(2000/2~3)

測定時、ターゲットの自動交換の際に、ターゲット装填の失敗のため、測定自体が中断されるという症状が相次いだ。原因は、ターゲット・カルーセルの、ターゲットを保持しているばねの役目をしている金属のツメ状の部分が広がったため、ターゲットを正しい位置で保持できなくなり、装填時にアームがターゲットをつかむことができなくなった。このカルーセルのばね部分の再調整を試みたが、ばねを適性に調節することは難しかった。この問題点は、過去に他のユーザーからも指摘を受け、メーカーは既に新型のものしか生産していなかったことから、本研究室に用意されていた新型カルーセルに交換したところ、問題は無く装填ができた。

新型のカルーセルは、ボールベアリングでターゲットを保持する形式である。ツメ型の際には、ターゲット側面をつかんでいたところが削れる問題があり、その削り屑がカルーセルのツメに溜まる問題や、イオン源を真空引きした後に、削り屑がショートの原因になったりしていた。新型に交換した後は、これらの問題点も解消された。一方、ツメ型のカルーセルでは使用できた単純な形のターゲットは、ボールベアリング型には使用できず、変更を余儀なくされた。

・ スリット・スタビライザ(2000/3~4)

測定時には、スリット・スタビライザを作動させ、 $^{13}\text{C}^{3+}$ の軌道を読み、それを適正な位置にするよう高電圧を操作して、安定な測定を行うようになっている。このスリット・スタビライザが、作動時にも効力を発揮しなくなったため、回路を点検したところ、2つある0Pアンプの両方が壊れているのが確認された。これを交換し、調整を行った。

・ ロータリーポンプ(2000/8, 11)

8月上旬の丸文技術者による点検の際に、ロータリーポンプのオイル漏れが発見され、オーバーホールに出したが、同じ機体が、11月に異常な騒音を立てるようになり、修理に出したところ、モータベアリングホルダの磨耗が見つかり、モータを交換した。

・ イオン源アイオナイザー(2000/11)

イオン源クリーニングの際、アイオナイザーを外して清掃しようとしたところ、脚部が熱で劣化し、折れてしまった。新品に交換した。

- ・ パソコン・ディスプレイ(2000/11)

停電後にタンデトロンコントロール用のパソコンを立ち上げようとしたところ、ディスプレイが作動しなかった。新品に交換した。

4. HVEE技術者による点検

2000年9月4日から9日まで、HVEE社の Dr. Andreas GOTTDANG が滞在し、タンデトロン2号機の点検と調査を行った。

4-1) アクセプタンス・テスト以降の故障箇所点検

高電圧発生装置：

スパークは1999年11月以降発生していない。

指標となる Q-factor, RF current, DC current は、2～3ヶ月に一度測定されているが、それらの値に変化は見られない。

→動作は安定している。

電源配電盤・圧縮空気系統・冷却水系統：

2000年8月に、丸文技術者により実施済。

→電源配電盤の配線等に緩みが見られたが、すべて締め直した。

33° デフレクタ電源の制御不良：

電源電圧が設定値と異なる箇所が、2箇所ほど確認された。今回の点検の後、電源コントロールの信号を伝える、光ファイバーケーブルの劣化が原因と判り、直ちにHVEEから代替品を取り寄せ、交換した。(掛かった日数は、約10日間。)

未解決の問題：

- ・ Q-Snout ファラディ・カップでの、電流読み出し不良。測定には支障なし。
→HVEEにて原因究明中。
- ・ イオン源インシュレータの一部にひび割れ有り。動作に直接問題は無い様子。
→HVEEにて対応検討中。

4-2) 調整

低エネルギー部アラインメント：

ターゲット電圧、エクストラクション電圧のスキャン結果から、低エネルギー部におけるビームの X 方向の軌跡が最適化されていない兆候が見られていた。そこで、今回の点検時に、HVEE 技師の提案により、リコンビネータマグネット電流および

リコンビネータスティラ部のコレクションマグネットの微調整を行い、最適化を行った。

バックグラウンド：

今回の調整では、まず 33° デフレクタの上流側スリットを狭めることで、散乱粒子の影響を減らした。また、¹⁴C 検出器の検出ウィンドウを約 20% 狭めることにより、バックグラウンド粒子を出来るだけ排除した。その結果、タンデトロン 2 号機での測定バックグラウンドは、約 55000BP と見積もられた。

4-3) 測定精度の評価

測定精度・再現性の評価には、アクセプタンス・テストと同様、6 個の NBS-NEW 試料を用いて、テスト測定を行った。時間制限より、4 バッチしか行えなかったが、統計精度と比較しても充分精度の良い結果が得られた (表 2)。

表 2: アクセプタンス・テストと 2000 年 9 月のテストの比較

	条件	アクセプタンス・テスト結果		標準試料 テスト測定結果 (2000/09/09)
		1日目の結果 (1999/01/22)	2日目の結果 (1999/01/23)	
バッチ測定回数		5 回	9 回	4 回
測定時間		6 時間	11 時間	4.5 時間
¹⁴ C 計数合計		1.3×10^6	2.4×10^6	7.9×10^5
¹⁴ C 計数/標的	$> 1.6 \times 10^5$	2.2×10^5	3.9×10^5	1.3×10^5
統計誤差	$< 0.25\%$	0.21%	0.16%	0.27%
¹³ C/ ¹² C		1.15707×10^{-2}	1.15701×10^{-2}	1.14846×10^{-2}
1 標準偏差	$< 0.30\%$	0.03%	0.03%	0.09%
¹⁴ C/ ¹² C		1.51631×10^{-12}	1.51605×10^{-12}	1.49673×10^{-12}
1 標準偏差	$< 0.50\%$	0.17%	0.16%	0.25%
誤差(年代値)	40.2 年	13.7 年	13.0 年	20.1 年

5. 今後の測定の方向性

ようやく定常測定が軌道に乗ったタンデトロン2号機であるが、現在の測定方法は、45個のターゲットに対し、同じ条件で測定を繰り返すものである。また、現在の方法では、2000年の実績どおり、1600個程度が年間の測定限度になっている。

もっと測定数を増やすことは可能なのか、あるいは条件を変えた測定についての可能性について検討してみた。

5-1) 現在の測定ペース

現在の測定方法は、1個のターゲット当たり約30分（試料表面9点×6周×30秒＋ターゲット交換の時間）単位で、45個（試料32個、標準体13個）のターゲットに対して順々に測定する。これを1バッチと呼んでいるが、24時間弱で終了する。統計精度を上げるため、また時間経過による変動を見るため、バッチを3回繰り返している。ターゲット交換及び立ち上げと安定化に1日掛け、また終了手続きにも数時間掛かるため、1セットの測定は合計5日間の作業になり、ちょうど週日の月～金に適合している。週末は、不意の事故等に対する緩衝として機能している。

一方、月に一度はイオン源のクリーニング、SF6の乾燥等、メンテナンスに1週間弱の時間を割く必要があり、一ヶ月あたり3週間の測定が見込まれる。

これらの作業は、専任オペレータ1人（雇用契約では週4日出勤×3時間＝12時間労働）によって行われている。

上記の条件より、測定方法を変えない限り、

$$45 \text{ 個} / \text{週} \times 3 \text{ 週} / 4 \text{ 週} \times 52 \text{ 週間} = \underline{1755 \text{ 個} / \text{年}}$$

という見積もりになり、これは2000年の測定実績1610個にほぼ近い数字である。

5-2) 測定試料数増加？

一回バッチでの測定試料数を45個→50個に増加した場合、

$$50 \text{ 個} / \text{週} \times 3 \text{ 週} / 4 \text{ 週} \times 52 \text{ 週間} = \underline{1950 \text{ 個} / \text{年}}$$

となり、数としては年間で約1.1倍にしかならないが、一回の測定が24時間以内に終わらないため、最終日の測定終了は夜間に及ぶことになる。

一方、一回の測定試料数は変えずに、測定の頻度を密にする方法として、5週間の

内、週末を無視して5日間を1セットとして6セット測定を続け、最後の5日間をメンテナンスに費やす場合が考えられる。その際に見込まれる測定試料数は、

$$45 \text{ 個} / \text{週} \times 6 \text{ セット} / 5 \text{ 週} \times 52 \text{ 週間} = \underline{2790 \text{ 個} / \text{年}}$$

この場合、確かに測定数は約1.6倍に増えるが、現状の雇用体系のオペレータ1人では到底賄い切れず、休日出勤可能な人材が、最低でも2~3人必要になってくる。また、ターゲット交換前の冷却時間が十分取れないため、バックグラウンド増加の可能性も出てくる。最大の問題は、事故が発生した場合に、メンテナンスの期間が5週に一度しか用意されていないため、測定のリズムは狂いやすいことである。以上のような問題点から、この案は現実的でない。

5-3) 試料条件に合わせた測定？

現在は、標準体1~2個を使って調整を行い、その条件で45個全てのターゲットに関して測定を行っている。年代の大きく異なる試料（例えば、極めて古い(^{14}C の少ない)試料等)、また元の試料、あるいは得られたグラフィットが微量である場合には、決して適当な方法とは言えない。しかし、こうした条件の異なる試料に対応することができれば、年代測定の可能性を少しでも広げることが可能である。

年代がある程度予想できる場合、特に古い試料だけを集めて測定を行った方が、他の試料からの汚染を押さえるには有効である。

また、微量試料の測定については、同じビームの強度で測定を続けると、それらのターゲットだけ早くグラフィットが尽きてしまうため、やはり選別して測定することが望ましい。微量試料の比較的長時間・高統計の測定を可能にするため、現在2mm径のターゲットを使用しているが、他の研究機関で行われているような1.5mm径のターゲットを用意する必要があるかもしれない。また、微量試料については、測定以前に、試料調整法についても研究開発の余地がある。

当然、こうした選別のためには、共同研究者からの詳しい情報が不可欠なことは明らかである。

以上より、データの濫造より、各試料の条件に合わせた緻密な測定を目指す方が年代測定センターとしての存在意義は確保されるように思われる。

参考文献

- (1) 中村俊夫、ルディ・パルス ” 名古屋大学に設置されている GIC 社および HVEE 社製の 2 台のタンデトロン加速器分析計の現状” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (IX) 27-43, (1998).
- (2) 中村俊夫他、 ” 名古屋大学加速器年代測定システム I、II 号機の現状” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (X) 5-17, (1999).
- (3) 丹生越子、 ” 名古屋大学タンデトロン 2 号機のアクセプタンス・テスト結果” 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (X) 18-23, (1999).
- (4) 丹生越子、 ” 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 (XI) 51-62, (2000).

Current Status on Tandetron II in Nagoya University

Etsuko NIU

Center for Chronological Research, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602 JAPAN

TEL: +81-52-789-2728

FAX: +81-52-789-3092

E-MAIL: eniu@nendai.nagoya-u.ac.jp

ABSTRACT

TANDETRON II (Model-4130 AMS, HVEE) in Nagoya University is an accelerator mass spectrometer for the ^{14}C dating. Getting over numbers of troubles, the performance test was finished on January 1999. However, because of successive big troubles especially on the high voltage control, we could not put it to practical use. We restarted the measurement from the beginning of November 1999, and the procedure of the routine measurement was established in May 2000.

The operation status in 2000 is shown in Table 1. The numbers of targets measured in 2000 were 1610 targets/year and 134 targets/month. In our routine procedure, it takes one week to measure 45 targets (32 samples and 13 standards). Total measurement time was 2233 hours/year and 186 hours/month in that period. The number of measured targets and their items are shown in Fig. 1 and Fig. 2.

In September 2000, an engineer from HVEE visited us to check TANDETRON II. The main points of the investigation were taking alignment of the low energy part and optimization on background of ^{14}C counting. A test measurement similar to the "Acceptance Test" was performed after all tuning up, and we got enough precision on the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ as the reproducibility of the machine (Table 2).

We should aim to measuring the target by target carefully as possible to fit the condition (age or amount of carbon) of each sample, not increasing the number of measured targets even in the daily routine measurements.