

名古屋大学タンデトロンAMS  $^{14}\text{C}$ システムの現状と利用 (2018)  
Status and Applications of a Tandetron AMS System at Nagoya University in 2018

中村俊夫<sup>1\*</sup>・南 雅代<sup>1</sup>・増田公明<sup>1</sup>・小田寛貴<sup>1</sup>・三宅美紗<sup>1</sup>・池田晃子<sup>1</sup>・  
栗田直幸<sup>1</sup>・山根雅子<sup>1</sup>・西田真砂美<sup>1</sup>・佐藤里名<sup>2</sup>・酢屋徳啓<sup>3</sup>・北川浩之<sup>1</sup>  
Toshio Nakamura<sup>1\*</sup>, Masayo Minami<sup>1</sup>, Kimiaki Masuda<sup>1</sup>, Hiroataka Oda<sup>1</sup>, Fusa Miyake<sup>1</sup>, Akiko Ikeda<sup>1</sup>,  
Naoyuki Kurita<sup>1</sup>, Masako Yamane<sup>1</sup>, Masami Nishida<sup>1</sup>, Rina Sato<sup>2</sup>, Tokunori Suya<sup>3</sup>, and Hiroyuki Kitagawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学宇宙地球環境研究所, <sup>2</sup>名古屋大学理学部, <sup>3</sup>放射線医学総合研究所

<sup>1</sup> Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

<sup>2</sup> School of Science, Nagoya University

<sup>3</sup> National Institute for Radiological Sciences

\*Correspondence to: Toshio Nakamura; E-mail:nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

An AMS system (Model 4130-AMS) dedicated to  $^{14}\text{C}$  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-ratio measurements were completed in January of 1999, and a routine measurement started in mid-2000. The number of targets measured was 330, 1430, 2077, 1003, 1979, 1679, 1772, 1115, 1339, 866, 1300, 1701, 1449, 1634, 1351, 1741, 1156, 466, 900, and 1345 in each year from 1999 to 2018, respectively, and total number of targets measured by the end of December 2018 is 26,632. We briefly describe the maintenance processes of the Nagoya AMS system in the year of 2018.

After suffering from severe machine problems in the last two years, the Tandetron AMS system at Nagoya University has also encountered a few problems in 2018. They are; (1) During the usual measurement of a graphite target,  $^{12}\text{C}^{3+}$ ,  $^{13}\text{C}^{3+}$  and  $^{14}\text{C}^{3+}$  decreased gradually in the last half of its measurement time of 30 minutes. The plus-ion-beam intensity of  $^{13}\text{C}^{3+}$  decreased from 200 nA to 5 nA in ten minutes, without any changes on its target current (corresponding to  $^{13}\text{C}^-$  injection current). We first checked all the parameter values of the power supplies to the AMS system, but we could not find any suspicious changes from their normal values. We finally concluded that something wrong has happened inside the accelerator tank, and decided to open the tank in 5 years after previously opening the tank. A timing belt to drive the power generator that supplies power to a turbo-molecular pump was completely broken, and was dropped down to the bottom. The turbo molecular pump is important to keep good transmission from  $\text{C}^-$  to  $\text{C}^{3+}$ . We replaced the broken belt to a new one, and recovered a good transmission; (2) After a high-voltage spark, we could not apply high voltage to the accelerator. A control circuit board of supplying high voltage was checked and it was found out that the IC (IC3-AD669-BN) mounted on the electrical board B-5-41-205-0001 was out of work. We replace the board to a new one; (3) Carbon-ion current decreased as the result of full exhaustion of Cs in the ionizer system. Cleaning of whole ion source parts, and 1 g of Cs was filled to the reservoir tank of Cs sputtering ion source; (4) An air compressor was damaged after a long-term usage. We replace it to a new one; (5) A Faraday cup in front of the heavy ion detector was out of order and cannot be controlled to load in and put out from the beam line. We have checked the Faraday cup system and found out that the cup was disconnected from the pneumatic cylinder for controlling the cup position. We tighten the screw connecting the cup and air cylinder; (6) A computer system for controlling the AMS apparatus cannot work well, maybe by a heat problem. We re-greased the connecting area of CPU and the heat-

sink unit for a better thermal conduction. We also replaced the hard disk presently used to the one of heavy-duty option. In spite of these problems, we can process totally 1345 graphite targets in 2018.

**Keywords:** *accelerator mass spectrometry; radiocarbon, high-voltage spark; high-voltage control system; beam transmission of tandem accelerator; ion source cleaning; TMP system at the accelerator terminal, detector Faraday-cup, a personal computer to control the accelerator*

## 1. はじめに

名古屋大学内のタンデム加速器質量分析装置は、1996/97年に設置されたHigh Voltage Engineering (HVE)社製Tandetron (Model 4130-AMS)で、放射性炭素測定専用のシステムである。1999年1月に $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比測定の性能検収を終了し、2000年度から学内共同利用を開始したもので、導入後20年近くを経過し、老朽化が目立つ。しかし、 $^{14}\text{C}$ 測定の精度はそのまま維持されている。AMS装置の状況は、2015年に入って加速器高電圧が不安定になり、 $^{14}\text{C}$ 測定実験が滞りがちになり、その後も故障が発生する頻度が高くなっていった。しかし、2018年の後半からは順調に稼働している。ここでは、2018年1月から12月にかけての装置の運転概況を報告する。

表1 年間のターゲット測定数と測定時間 (1999年の測定開始から2018/12/31まで)

年	項目	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 <sup>1)</sup>	12,723	2,136	214 <sup>1)</sup>
2008*		866	144 <sup>2)</sup>	13,589	1,488	248 <sup>2)</sup>
2009		1,300	186 <sup>3)</sup>	14,889	2,470	350 <sup>3)</sup>
2010		1,701	155 <sup>4)</sup>	16,590	3,027	279 <sup>4)</sup>
2011		1,449	140 <sup>5)</sup>	18,039	2,856	286 <sup>5)</sup>
2012		1,634	163 <sup>5)</sup>	19,673	3,204	320 <sup>5)</sup>
2013		1,351	169 <sup>6)</sup>	21,024	2,795	349 <sup>6)</sup>
2014		1,741	145 <sup>7)</sup>	22,765	3,571	298 <sup>7)</sup>
2015		1,156	101 <sup>5)</sup>	23,921	2,468	247 <sup>5)</sup>
2016		466	93 <sup>8)</sup>	24387	974	195 <sup>8)</sup>
2017		900	100	25287	2169	241 <sup>9)</sup>
2018		1345	149	26632	2728	303 <sup>9)</sup>

\*, 1) 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。

2) 有効使用月: 6ヶ月 3) 有効使用月: 7ヶ月 4) 有効使用月: 11ヶ月 5) 有効使用月: 10ヶ月

6) 有効使用月: 8ヶ月 7) 有効使用月: 12ヶ月 8) 有効使用月: 5ヶ月 9) 有効使用月: 9ヶ月



図1 年ごとのターゲット測定数(1999-2018)

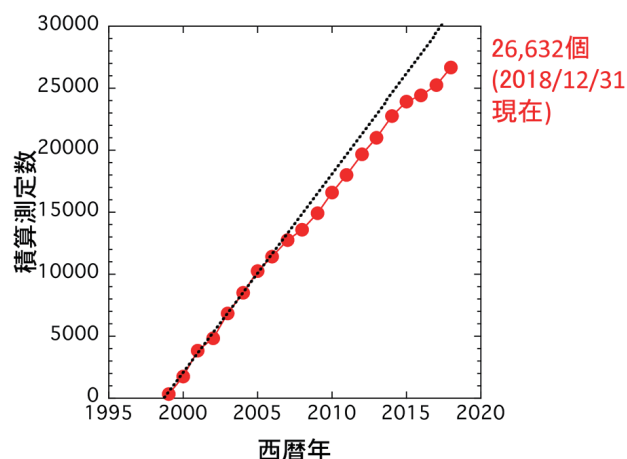


図2 測定したターゲットの積算数  
(2018年12月末までで26,632個)

## 2. 2018年の装置の運転状況の概要

1999年から始まった $^{14}\text{C}$ 測定につき、測定数などの経年変化を表1、図1及び図2に示す。これまでに報告してきたように(中村ほか, 2016, 2017, 2018), 2015年から2017年にかけては、大きなトラブルが発生し、測定数が限られてきた。しかし、2018年の1年は、もちろん装置のトラブルはあったものの、比較的順調に稼働したといえる。

2018年の1年間に発生したタンデトロン分析計の主な不具合を以下に列挙する。

- (1) 1月のWheel180117の測定中に、 $^{12}\text{C}^{3+}$ ,  $^{13}\text{C}^{3+}$ イオンビーム強度、そして $^{14}\text{C}^{3+}$ の計数が約10分かけてゆっくりと、それまでの1/100程度に減少した。点検の結果、AMSシステムの諸パラメータには異常が見つからず、加速器のタンクを開けることとなった。加速器のターミナル部に設置されているターボ分子真空ポンプを駆動する発電機にメカニカルに動力を伝えるタイミングベルトが破断しているのが確認された。ベルト交換して再稼働を進めた。(2018年1~2月)
- (2) 大音響の高電圧スパークが発生し、加速器の高電圧が全く付加できなくなった。点検の結果、高電圧の制御回路(Board:B-5-41-205-0001)にマウントされているIC(IC3-AD669-BN)が茶色に焦げていた。制御回路を予備品と交換して復旧した。(2018年3月)
- (3) 炭素負イオンの出力が弱くなり、グラファイトのイオン化に用いられるCsが枯渇したと考えられ、イオン源を完全清掃することにした。Csの1gを充填し、新しいアイオナイザーを取り付けて、 $^{14}\text{C}$ 測定を再開した。(2018年6~7月)
- (4) エアコンプレッサーの故障があり、交換した。(2018年7月末)
- (5)  $^{14}\text{C}$ 測定のルーティンの立ち上げにおいて、 $^{12}\text{C}^{3+}$ ,  $^{13}\text{C}^{3+}$ は通常通りの電流値を示すが、重イオン検出器での $^{14}\text{C}^{3+}$ の計数が全く無く、また、 $^{14}\text{C}^{3+}$ 以外のノイズイオンの信号も見られなくなった。エアシリンダーとファラディ・カップを接続するネジが外れて、ファラディ・カップが動かなくなっていた。真空を破ってネジを締めて両パーツを固定した。(2018年8月初旬)
- (6) 装置制御用のプログラムがときおり停止し、またパソコンがフリーズするようになった。CPUの冷却を強化して、さらに、ハードディスクを安定性の高いサーバー用の製品に交換した。(2018年8月末)

これらの不具合により、2018年の前半には、タンデトロンAMSシステムを十分に稼働させることができなかった。表2に、名古屋大学タンデトロン加速器質量分析装置について、2018年の一年間の運転中に発生したさまざまな不具合の状況を示す。また、図3に直近の5年間のターゲット測定数と様々な故障の発生を示す。

表2 2018年における月別のターゲット測定数と不具合の状況 (2018/01/01~2018/12/31まで)

月	測定番号 (NUTA2- 25194~	測定数	batch数	発生した不具合, 及びコメント
2018 1	~25273	79	9	1/22(月)年代測定運転の途中, 早朝に, 負イオンビーム強度は元のままであるが, 正イオンビーム出力が約 10 分かけて 1/100 程度に低下した. 測定を停止して原因究明. メーカーである HVE に意見を求めたが, 返信なし. 1/31 (水) 加速器タンク内を点検するためにタンクオープンを決意. SF <sub>6</sub> ガスの回収開始.
2	~25273	0	0	2/7(水) SF <sub>6</sub> ガス回収装置のロータリーポンプのオイル交換. 2/9(金) SF <sub>6</sub> ガス回収装置のコンプレッサーのオイル補充. 2/14(火) SF <sub>6</sub> ガス回収完了. 加速器タンクのオープン. 2/15(水)ターミナル TMP 電源の発電機駆動用タイミングベルトの破断を発見. 2/19(月)タイミングベルトの交換. 2/20(火)加速器タンク閉. 排気, CO <sub>2</sub> 充填, 排気. 2/28(水)SF <sub>6</sub> ガスの充填完了.
3	~25301	28	5	3/1(木)SF <sub>6</sub> ガスの脱水作業の継続. 3/9(金)「HV spark 発生」. この後, HV の制御ができなくなった. 3/18(日)高電圧制御回路の点検. 高電圧制御ボードに配置されている IC3-AD669-BN の大型集積回路 (端子数: 28 本) の表面が茶色に変色していた. このボードを修理済みのボード (Data Receiver B-5-205-0001) に取り換えたところ, 高電圧は, 正常に制御できるようになった.
4	~25429	128	15	4/25(水)イオン源を立ち上げていくとき, [Ionizer current], と [target current] が, 時間と共に振動する.
5	~25570	141	11	5/18(金)Extraction Voltage がやたらと, 小さな放電を繰り返した.
6	~25619	49	6	6/28(木)-7/6(金)イオン源の洗浄開始. アイオナイザーの組立 (新品のアイオナイザー) を使用
7	~25677	58	10	7/06 (金) テスト測定再開の準備を進める. 7/17 (火) Batch180717a1 の測定を再開 7/29 (日) Batch180729a1 を開始するために, 装置の調整を行った. <sup>14</sup> C <sup>3+</sup> の信号が, 読み出せない.
8	~25888	211	14	8/02(木)重イオン検出器直前のファラディカップの点検. ファラディカップの出し入れを制御するエアシリンダーとファラディカップを接続するネジが外れていた. 接続して修理完了. 8/04 (土) 不良なエアコンプレッサーを別のものに交換. 8/23(水) 装置制御用のプログラムがときおり停止し, またパソコンがフリーズするようになった. ハードディスクをサーバー用の製品に交換した.
9	~26043	155	21	9/24 (月) ターゲット交換の際にターゲットをグリップする爪の 4 本のうち, 一本が欠けて, 3 本になっていることを確認した. 欠けた, 部品の回収もできた. 3 本でターゲットを掴むことになるが, 取りあえずは, 資料交換には支障が無い様子なので, 様子を見て, 必要になったときに, 新品と取り換えることにした.
10	~26260	217	24	
11	~26414	154	7	11/01 (木) 最近の測定で, $\delta^{13}\text{C}$ の batch ごとのふらつきが以前よりかなり大きくなっていることが, 解析の結果判明した. 2018/06/28~07/09 あたりで, イオン源を掃除した後, $\delta^{13}\text{C}$ の標準偏差が大きくなっている. 2018/11/18 (日) 名古屋大学の全学停電・断水があった. このため, タンデトロンを完全停止した. 11/20 (火) ~11/26 (月) SF <sub>6</sub> の露点の値がよくなかったため, SF <sub>6</sub> 絶縁ガスの脱水作業を行った. SF <sub>6</sub> の脱水時間は, 全体で 148.54[hr] 行った. SF <sub>6</sub> の露点の測定結果は, -50.1°C, -71.8°C であった. (2台の露点計の表示)
12	~26539	125	15	
		小計 1345	小計 137	2018 年 1 月~12 月末までの小計
2019 1	~26683	144	18	1/13 (日) 久しぶりに, 高電圧 HV がダウン. 通常のリセットを行うことで, 高電圧を付加することができた. 問題点は発生なし. 1/24 (木) エアコン「パッケージ故障」ランプが点灯, 後日, 冷媒ガス漏れと判明. 1/28 (月) 21:00 ころ, 冷却水チラーユニットが「C034 (冷水圧高圧注意)」のエラーが発生.

## 月ごとのターゲット測定数と様々な故障の発生

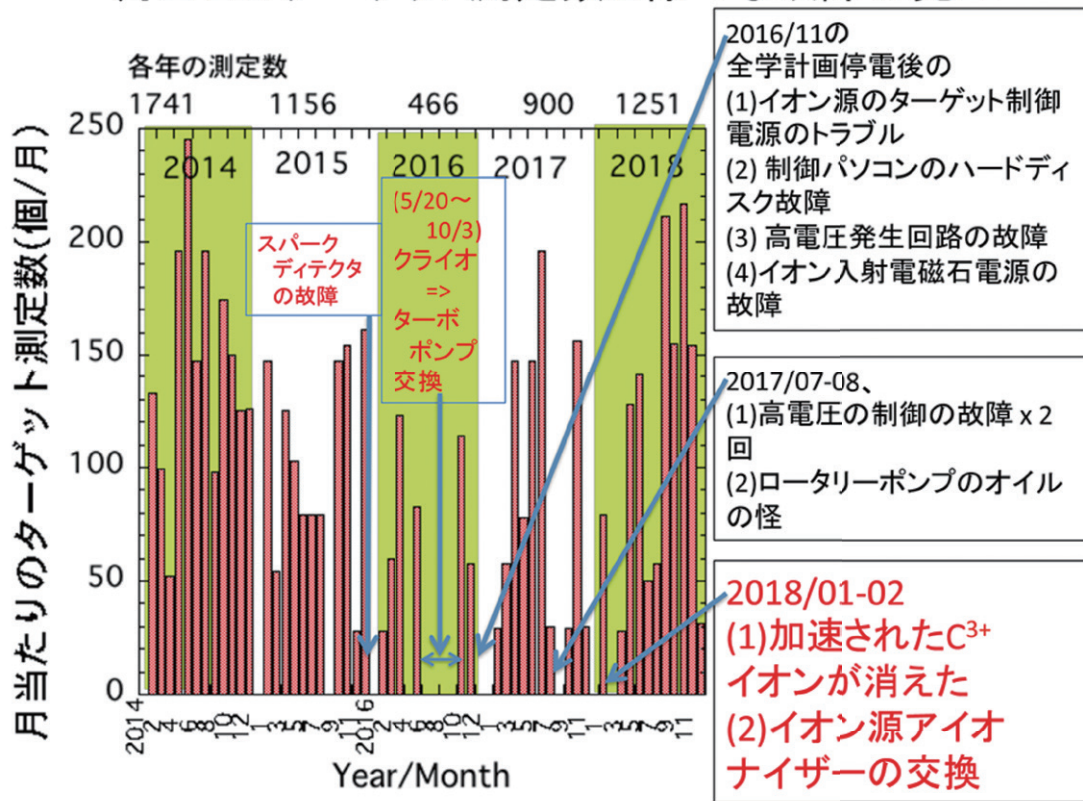


図3 2014～2018年間のさまざまな故障の発生による測定ターゲット数の変動

### 3. HVEタンデトロロン加速器質量分析計の故障の詳細

以下に、2018年における6件の比較的重大な故障について、個別に事項を解説する。

#### 3.1 加速器ターミナルにおけるイオンビームの損失

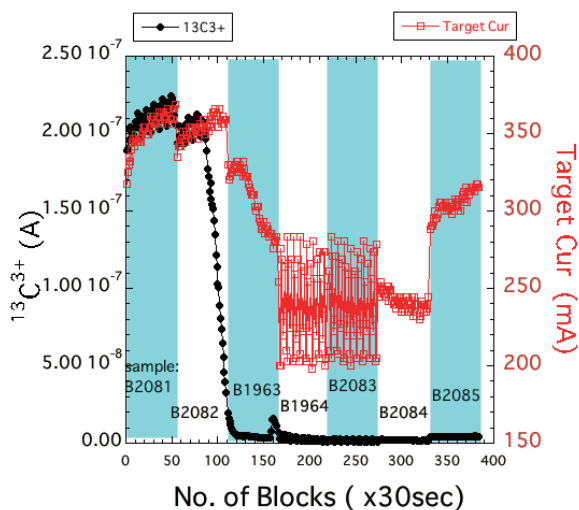


図4 加速された炭素ビームの喪失

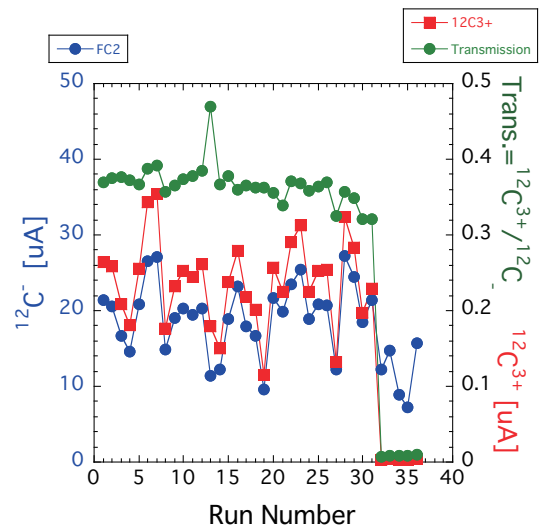


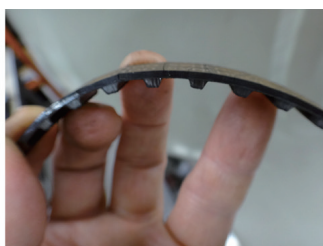
図5 タンデム加速器の荷電変換効率

Wheel-180117につき、2018年1月22日に測定しているときに、試料番号B2082の測定中に(図4)、 $^{12}\text{C}^{3+}$ 、 $^{13}\text{C}^{3+}$ イオンビーム強度、そして $^{14}\text{C}^{3+}$ の計数が、約10分かけて徐々に、それぞれ元々の値から1/100程度にまで減少した。図4には、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}$ の測定中は負イオン強度は測定できないため、負イオンビーム強度に比例するパラメータとして、イオン源の「target current」を、 $^{13}\text{C}^{3+}$ イオンビーム強度と比較して示した。試料番号B2082の測定中には、負イオン出力の強度(target current)にはほとんど変化がなかった(むしろ若干上昇している)ため、 $^{13}\text{C}^{3+}$ ビーム強度の減少は、負イオンから正イオンへの加速器の荷電変換効率が低下したと考えられる。

タンデム加速器では、2組の加速管が、長さ1.2 m、内径が12 mmのターミナルと呼ばれるパイプで直線状に接続され、イオンビームはそのパイプの中を通過して加速される。ターミナルにはプラスの高電圧が付加される。まず負イオンが前段の加速管に入射しターミナルのプラスの電圧に引っ張られて加速される。加速された負イオンは、ターミナルにわずかに満たされるアルゴンガスと衝突して、電子をはぎ取られ陽イオンに変換される。陽イオンは、ターミナルのプラスの電圧から斥力を受け後段の加速管でさらに加速される。こうして、タンデム加速器に入射する負イオンは陽イオンに変換されると共に大きな運動エネルギーを持つまでに加速される。ところで、負イオンから正イオンへの荷電変換効率(beam transmission)は、1個の負イオン(例えば $^{12}\text{C}$ )から、どの程度の割合で陽イオン( $^{12}\text{C}^{3+}$ )が作られるかの比率を表す。図5に、これまでに測定した際に得られている、加速器に入射する $^{12}\text{C}$ イオンビーム強度に対する $^{12}\text{C}^{3+}$ の出力ビーム強度の割合を示す。図5に示されるように、 $^{12}\text{C}$ イオンビーム強度が変動しても、transmissionはほとんど変化せず、その割合はほぼ37%であった。たまたま、 $^{12}\text{C}$ イオンビーム強度が弱いときには、ずれた数値が得られることもある。この度の故障では、このtransmissionの値が、B2082の測定の最中に37%からほぼ0%に減少したことになる。さまざまな点検を行った結果、AMSシステムの諸パラメータには異常が見つからず、加速器タンクの中の問題としか考えられない。そこで、5年ぶりになるが、加速器タンクを開ける決断を下した。加速器タンクを開けて内部を点検したところ、ターミナルに設置してあるターボ分子真空ポンプを駆動する発電機に動力を伝えるタイミングベルトが破断しているのが確認された。写真1に示されるように、タイミングベルトには、亀裂が、輪に直角な方向に至る所に入っていた。1本わずか1890円のベルトを交換して再稼働を開始できた。



DSC01220.JPG  
2018年2月15日 17:39:37  
DSC01220.JPG  
DSC-TX30



DSC01221.JPG  
2018年2月15日 17:39:45  
DSC01221.JPG  
DSC-TX30

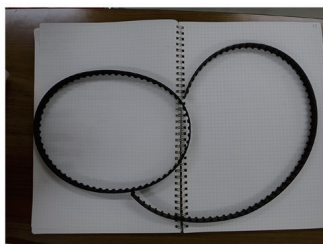
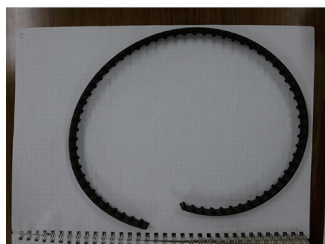


写真1 切断したタイミングベルト



写真2 高電圧制御ボードの一部と茶色に焦げたIC(IC3-AD669-BN)

### 3.2 高電圧スパークによるICの破損

2018年3月に、大音響の高電圧スパークが発生し、加速器の高電圧が全く付加できなくなった。点検の結果、高電圧の制御回路ボード (Board:B-5-41-205-0001) にマウントされているIC (IC3-AD669-BN, 端子数28ピン)の表面が茶色に焦げていた (写真2)。制御回路ボードを予備品と交換することにより復旧することができた。

### 3.3 イオン源の定期保守

炭素負イオンの出力が弱くなり、グラファイトのイオン化に用いられるCsが枯渇したと考えられた。また、イオン源の汚れが元で、ターゲットに付加される高電圧に過剰な暗電流が流れるようになり、ターゲット電圧 (図6) が安定せず、イオン源からの負イオン出力がふらつくようになった。そこで、イオン源の全パーツを完全清掃することにした。Csの1gを充填し、新しいアイオナイザーを取り付けて、 $^{14}\text{C}$ 測定を再開した。

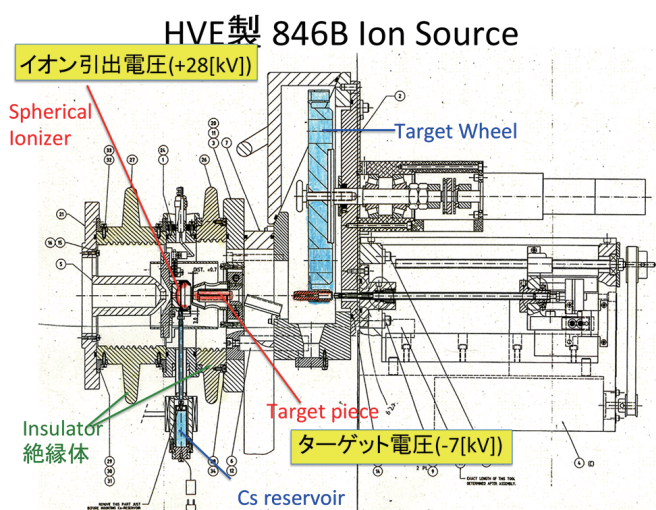


図6 HVE製の846Bイオン源の構造

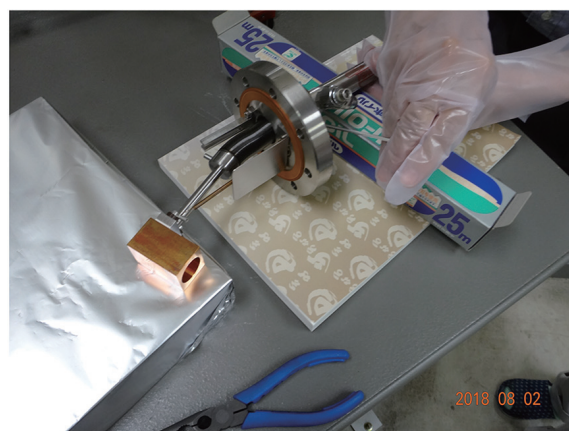


写真3 重イオン検出器直前に設置されているFaraday Cup.手元にある圧縮空気による制御装置により、Cupが前後に移動する

### 3.4 エア・コンプレッサーの交換

エア・コンプレッサー (日立オイルフリーベビコン 0.75 kw 単相) が故障により完全停止した。圧縮空気が供給されないと、真空バルブの開閉ができないほか、イオン源でのターゲットの交換ができないため、測定が止まってしまう。そこで、予備のエア・コンプレッサーに交換した。

### 3.5 検出器直前のファラディ・カップの保守

$^{14}\text{C}$ 測定のルーティンの立ち上げにおいて、 $^{12}\text{C}^{3+}$ 、 $^{13}\text{C}^{3+}$ は通常通りの電流値を示すが、重イオン検出器での $^{14}\text{C}^{3+}$ の計数が全く無く、また、 $^{14}\text{C}^{3+}$ 以外のノイズイオンの信号も見られなくなった。まず、検出器のエレクトロニクス部品の動作不良を疑ったが、特段の問題点は見つからなかった。そこで、ビームラインの真空を大気に戻してファラディ・カップ本体を点検することにした。すると、ファラディ・カップの出し入れを圧縮空気で制御するエアシリンダーの稼働軸とファラディカップ本体とを接続するネジが緩み、両者の接続が外れていた (写真3)。これを再接続し、しっかりと固定して、修理を完了した。

### 3.6 制御パソコンの周辺機器の保守

装置制御用のプログラムがときおり停止し、またパソコンがフリーズするようになった。パソコンのCPU (Pentium-4) の加熱が原因とされていたため、パソコンボックスの上部に空冷ファンを別途に付加していたが、これでも不十分と判断された。これについて、CPUに接着されている冷却フィンの接着が不良になり、熱伝導による冷却が不十分であると判断して、両者間のグリースを熱伝導特性がさらに良いものに塗り替えた(写真4)。また、ハードディスクを、連続運転で3年間保証の、通常サーバー用として用いられる製品に交換した。

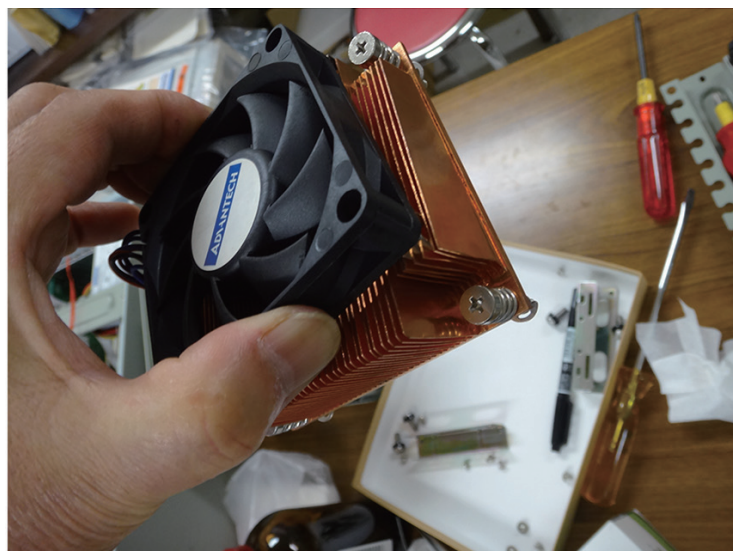


写真4 パソコンのCPU (Pentium-4) の冷却に用いられる空冷ファンとヒートシンク

## 4. おわりに

タンデトロン加速器質量分析装置は、導入後20年以上を経過して、本報告にもあるように、さまざまな故障、トラブルが目立ってきている。しかし、名古屋大学タンデトロンAMS システムによる $^{14}\text{C}$ 年代測定では、約5千年前よりも若い試料について、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; 2007)ことから、一方では、ますますもって文化財科学や考古学関連のさまざまな資料の高精度年代測定への利用が期待されている。また、試料調製を含めたAMS  $^{14}\text{C}$ 年代測定のバックグラウンドは、45,000~50,000 BPに相当しており、一般の試料では、4万年前の前半程度までは測定が可能である。また、本システムは、年代測定に限らず、環境研究において、炭素循環の解明などにも幅広く利用されている。これらの応用研究の一部は、名古屋大学年代研究(2017, 2018)、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988~2016)に纏められ、ウェブによる閲覧、ダウンロードができるようになっている。是非、参照して頂きたい。

## 謝辞

タンデトロン加速器質量分析計の改造や保守、さらに運転のための消耗品類の開発などにおいて、松下幸司氏を始めとする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(旧理学部 装置開発室)の皆様には大変お世話になっています。また、日本原子力研究開発機構むつ事務所の木下尚喜・甲 昭二の両氏には、名古屋大学と同型のAMSシステムを使用していることから、さまざまな情報を互いに交換するなどして便宜を図って頂いています。さらに、近年に発生したさまざまな電気回路の故障の際には、株式会社エリコンのシステム部所属の菊池幸彦氏に多大なご支援を頂いています。ここに、記して関係者の皆様に深く感謝致します。なお、本研究は、文科省の共同利用・共同研究拠点プログラムの一部として行われたものである。



## 引用文献

- 中村俊夫・年代測定研究部AMS  $^{14}\text{C}$ 測定研究グループ (2016) 名古屋大学タンデトロンAMS  $^{14}\text{C}$ システムの現状 (2015). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXVII. 28-33.
- 中村俊夫・年代測定研究部AMS  $^{14}\text{C}$ 測定研究グループ (2017) 名古屋大学タンデトロンAMS  $^{14}\text{C}$ システムの現状 (2016). 名古屋大学年代測定研究, vol. 1, 141-148.
- 中村俊夫・年代測定研究部AMS  $^{14}\text{C}$ 測定研究グループ (2018) 名古屋大学タンデトロンAMS  $^{14}\text{C}$ システムの現状 (2017). 名古屋大学年代測定研究, vol. 2, 79-87.
- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988~2016)名古屋大学年代測定総合センター, (I ~ XXVII).
- 名古屋大学年代測定研究 (2017) 名古屋大学宇宙地球環境研究所, vol. 1, 196p.
- 名古屋大学年代測定研究 (2018) 名古屋大学宇宙地球環境研究所, vol. 2, 117p.
- Nakamura, T., E. Niu, H. Oda, A. Ikeda, M. Minami, H. Takahashi, M. Adachi, L. Pals, A. Gott dang, and N. Suya (2000) The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.*, B172, 52-57.
- Nakamura, Toshio, 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.
- 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  $^{14}\text{C}$  measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University, *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.*, B259, 408-413.

## 日本語要旨

名古屋大学宇宙地球環境研究所では、1997年3月に完置されたHigh Voltage Engineering (HVE)社製 Tandetron (Model 4130-AMS)が放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 測定に運用されている。イオン入射部にリコンビネーターを備えて、炭素の3種の同位体が同時に測定でき、導入された当時は $^{14}\text{C}$ 測定において高性能を誇っていた。しかし、今になると $^{14}\text{C}$ しか測定できない事が利用拡張の妨げになっている。同研究所は、2016年度から、「全国共同利用・共同研究拠点」に認定されており、「拠点」の重責を担っていくうえで、本装置は、特色のある、非常に重要な装置の一つと位置付けられている。

2015年10月に年代測定総合研究センターから宇宙地球環境研究所へと組織改編された後、この装置のさまざまな故障が一挙に吹き出したが、これらの問題は、新研究所の理解と支援によりほぼ解決できた。2018年の1年間に発生した主な故障や保守作業を以下に示す。(1) 試料の測定中に加速器から出力される炭素正イオン強度が次第に低くなった。5年ぶりに加速器タンクをオープンして点検したところ、加速器のターミナル部に設置されているターボ分子真空ポンプを駆動する発電機にメカニカルに動力を伝えるタイミングベルトが破断しているのが確認された(2018年1-2月)。(2) イオン源の分解洗浄、アイオナイザーの交換、Cs 1 gを充填(2018年6月末)。(3) エアコンプレッサーの故障と交換(2018年7月末)。(4)  $^{14}\text{C}$ 測定のルーティンの立ち上げにおいて、 $^{12}\text{C}^{3+}$ ,  $^{13}\text{C}^{3+}$ は通常どおりの電流値を示すが、重イオン検出器での $^{14}\text{C}^{3+}$ の計数が全く無くなった。その原因として、検出器の直前にあるファラディ・カップをビームラインに出し入れするエアシリンダーの軸とファラディ・カップの軸受けのネジが緩んでおり、ファラディ・カップがビームラインに挿入されたままになっていた。(2018年8月初旬)。(5) 装置制御用のプログラムがときおり停止し、またパソコンがフリーズするようになった。ハードディスクをサーバー用の製品に交換した(2018年8月末)。このような故障にもかかわらず、2018年には1345個のターゲットの測定を実施できた。