

話 題

筑波大学タンデム加速器施設の震災被害と復興計画

笹 公和*

Damage Situation by the Great East Japan Earthquake and Post-quake Reconstruction Project of the Tandem Accelerator Facility at the University of Tsukuba

Kimikazu SASA *

Abstract

The 12UD Pelletron tandem accelerator at the University of Tsukuba suffered serious damage from the Great East Japan Earthquake on 11 March 2011. On the day, the 12UD Pelletron tandem accelerator was in operation at 8 MV. The electricity supply went out during the earthquake. Fortunately, there were no casualties by the earthquake in the facility. However, all high voltage accelerating columns fell down in the accelerator tank. We decided to shut down the 12UD Pelletron tandem accelerator. At present, we have a plan to install a new middle-sized tandem accelerator instead of the broken 12UD Pelletron tandem accelerator at the 2nd target room connecting the beam line to existing facilities at the 1st target room. The construction of the new accelerator system will be completed by spring 2014.

1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門 (UTTAC) では、12UD ペレトロンタンデム加速器 (12UD Pelletron, 12 MV) と 1 MV タンデトロン加速器からなる複合タンデム加速器施設の維持管理と共同研究の利用支援を行っている。12UD ペレトロンタンデム加速器は、1975 年に完成した国内最初のペレトロン型タンデム加速器である¹⁾。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、茨城県つくば市において震度 6 弱の強い揺れを観測した。地震により 12UD ペレトロンタンデム加速器本体及びイオン源等の実験装置類が多数損壊した。また、震災後には短期間で施設の被害状況の把握と加速器の復興計画を立てることが求められた。12UD ペレトロンタンデム加速器のシャットダウンと更新加速器の概要決定までに要した期間は約 5 カ月であった。

本報告では、筑波大学タンデム加速器施設の被災状況の概要及び今後の施設復興計画を紹介する。

2. 東日本大震災での施設対応状況

2.1 タンデム加速器施設の概要

図 1, 2 に施設の概略図を示す。施設建屋は高さ

42.1 m, 1 階の施設全幅は 46.5 m である。12UD ペレトロンタンデム加速器は、施設加速器棟に縦型で設置されている。9 階がイオン源室で、Cs スパッタ負イオン源、AMS 用マルチカソード型 Cs スパッタ負イオン源、ラムシフト型偏極イオン源の 3 台のイオン源があった。加速器本体タンクは直径 4.9 m, 高さ 17.9 m, 総

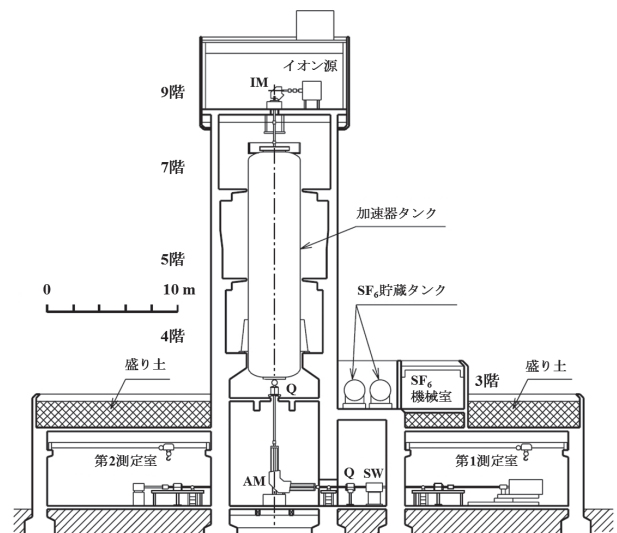


図 1 筑波大学タンデム加速器施設断面図

* 筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門
Applied Accelerator Division, Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba
(E-mail: ksasa@tac.tsukuba.ac.jp)

重量が 120 トンあり、加速器棟 3 階上部から 7 階までの間に床を突き抜いて設置されている。

加速器本体の固定箇所は 4 階と 7 階である。加速器タンクの内部には、直径 1.8 m、全長 17.5 m、重量約 10 トンの加速管コラムがある。震災前の加速器タンク内部の写真を図 3 に示す。ユニット構成で、1 ユニット (UD) は 1 MV の加速電圧分に相当する。高電圧電極ターミナルを中心に加速器入射側及び出射側に各 12 ユニットで構成されている。9 階で生成された負イオンは、 90° 偏向電磁石 (IM) により鉛直下向きに加速器に入射される。高電圧電極ターミナルで荷電変換された正イオンは、加速器を出射後に施設 1 階の 90° 分析電磁石 (AM) で水平方向になり、測定室

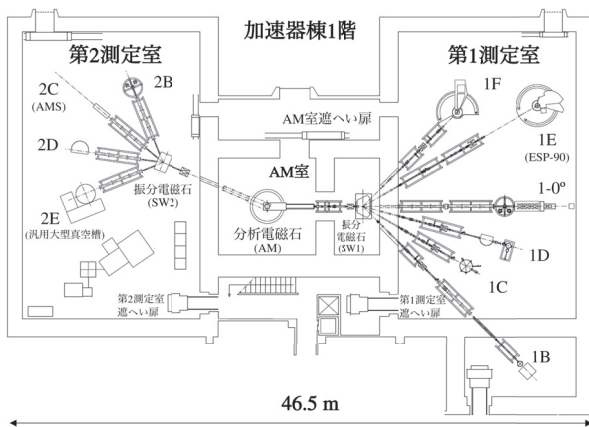


図2 施設1階平面図



図3 震災前の加速器タンク内部の写真。丸で囲った部分にゴンドラ上の作業員が写っている。

に輸送される。測定室は 2 室あり、施設ビームライン高は 1,750 mm である。

2.2 2011 年 3 月 11 日震災時の状況

地震発生当時は、12UD ペレトロンタンデム加速器は ^{41}Ca の AMS 試験測定を実施しており、ターミナル電圧 8 MV で運転中であった。ビームは第 2 測定室側に輸送しており、9 階イオン源室と第 1 測定室は立ち入り可能であったが、他は遮へい扉により閉鎖していた。加速器棟には、2 階の加速器制御室に実験グループが 7 名程度、第 1 測定室に実験準備中のグループが 2 組居た。筆者はこの時、加速器制御室で 9 階イオン源室の監視モニターを見ていた。地震発生から徐々に揺れが大きくなり、モニター画面のイオン源の映像が大きく揺れて乱れた直後に、加速器棟 4、5、7 階の遮へい扉が動いて、加速器が緊急停止した。地震の揺れはその後も徐々に大きくなり、施設は停電となった。暗くなった制御室では、パソコンなどの倒壊や天井からは送風口が落下してきた (図 4)。停電により、施設内の状況把握が困難な状況に陥ったが、無停電電源により放送設備は使用可能であり、総員の退避を呼びかけることが出来た。

地震発生時に危機的な状況にあったのは、第 1 測定室 1F コースで作業中のグループであった。実験準備中の大学院生 2 名の横に 800 kg の β -NMR 用電磁石が倒壊し、脚立を押し潰した (図 5)。また、停電により測定室内が暗闇となり、倒壊した作業棚や高圧ガスボンベなどが通路を塞いだ為、脱出困難な状況となった (図 6)。幸い室内に居た教員が、所持していた携帯電話の明かりで救助に向かい、無事に救出された。地震発生から 1 時間程で、施設内に居た教職員及び学生に人的な被害が無いことを確認できた。停電及び携帯電話

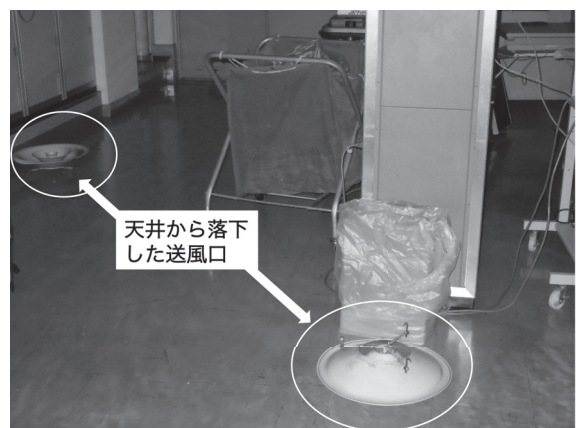


図4 制御室の天井から落下した金属製の送風口。当日は落下する送風口を避けながら退避した。

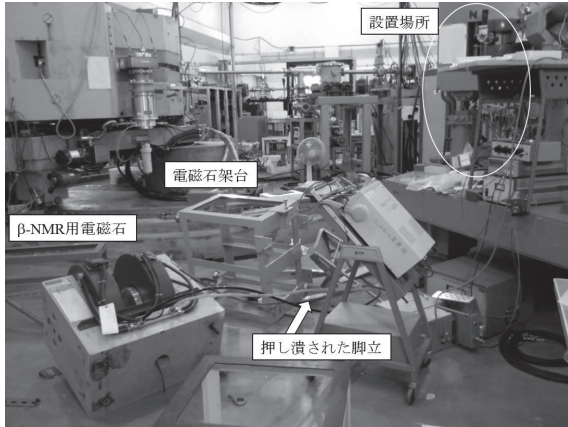


図5 第1測定室1Fコースに設置作業中だったβ-NMR用電磁石(800kg)。1.75mの高さから落下した。作業に使用していた脚立1台が潰れている。

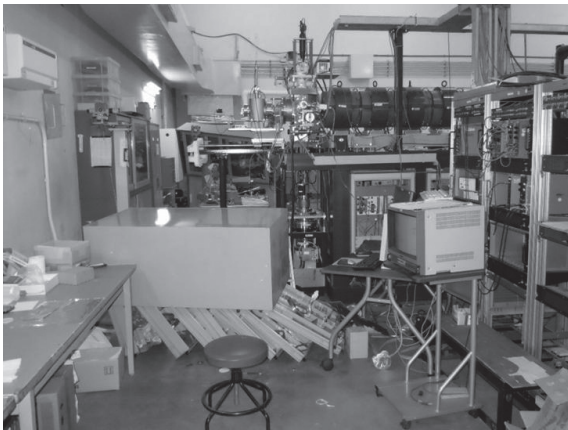


図6 第1測定室1-0°コース後方の倒壊した作業棚。

話の不通などで、この時の情報源は防災ラジオだけであった。3月11日はその後も余震が頻発し、施設内の被害状況の確認は出来ず、17時に職員は解散した。

2.3 震災後の対応状況

3月12, 13日は、施設内部の調査は実施せず、施設外側からの見回り点検のみをおこなった。3月12日(土)に大学施設部に配電停止を依頼して、復電による事故を防ぐ対応をおこなった。また、学内措置として、加速器施設周辺を立ち入り禁止区域に指定した。その他、文部科学省水戸原子力事務所に放射線発生施設の報告及び茨城県庁に高圧ガス関連の施設報告をおこなった。表1に東日本大震災に係る施設の被災対応状況を示す。

施設被災状況の確認は、週明けの3月14日(月)から開始した。学内は停電及び断水が続いており、トイレ使用や電話連絡も支障がある状況であった。2階制御室を復旧対策指揮所にして、施設職員以外の立ち入りを禁止した。復旧作業では、まず施設受電設備の主ブレーカーを切断して、配電盤の確認作業から開始した(図7)。加速器運転中に地震が発生した為、多くの電源及び実験装置類は稼働中であった。その為、遮へい扉を開けて、各実験装置の電源スイッチを切る必要があった(図8)。この作業に2日間を要した。最終的に加速器施設の電力及び上下水道の復旧は、地震発生から6日後の3月17日(木)となった。遮へい扉の駆動部の損壊(図9)や9階イオン源室の冷却水配

表1 東日本大震災に係わる施設の被災対応状況(時系列)

日時	筑波大学 応用加速器部門	その他
発生 3月11日	○地震発生:直ちに屋外避難, 安否確認終了後, 適宜帰宅	
3月12日~13日	○施設外部見回り, 高圧ガス施設報告(茨城県), 放射線発生施設報告(文科省水戸原子力事務所)	3月12日(土)つくば市 電力復旧
3月14日~18日	○ライフラインの復旧, 被害状況確認 加速器棟 状況確認, 建物調査, 放射線環境モニタリング開始, 加速器棟立ち入り制限措置	
3月15日	加速器施設 居住区電力復旧 施設被災状況と実験利用の年度内中止案内を応用加速器部門ホームページに掲載	
3月16日	高圧ガス施設報告(第2報 茨城県), 施設被害状況をホームページに掲載	
3月17日	建物内被害状況報告を大学へ提出 加速器施設 分電盤確認, 施設電力復旧, 上水道復旧	3月16日(水)つくば市 上水道復旧
3月18日	震災復旧に係る所用電力調査報告の提出 ~3/18 施設立ち入り制限	
3月22日~31日	○被害状況確認, 研究設備の復旧	
3月22日	加速器棟電力供給再開	
3月23日	第1次災害復旧費要求書を提出 12UDペレトロン加速器タンク開放による加速管崩落の確認	
3月24日	利用者の実験室立ち入り制限解除, 部門ホームページ上で状況報告	
3月29日	資産(有形固定資産・備品等)の損害状況報告を提出 施設冷却水復帰, クレーン検査	
3月30日	12UDペレトロン加速器タンク固定作業(~4月4日まで)	
3月31日	加速器棟損壊調査・建物診断	~3/31 学生構内立ち入り制限

管破損による水漏れ事故も発生し、施設全体の被害状況の把握には、約2週間を必要とした。加速器棟エレベーターは、カウンターウェイトの損傷の為に、最終的な復旧は地震発生から2か月後の5月11日となった。



図7 3月14日に施設受電設備の主ブレーカーを切断。



図8 各遮へい扉を手動で開けて確認作業を実施。

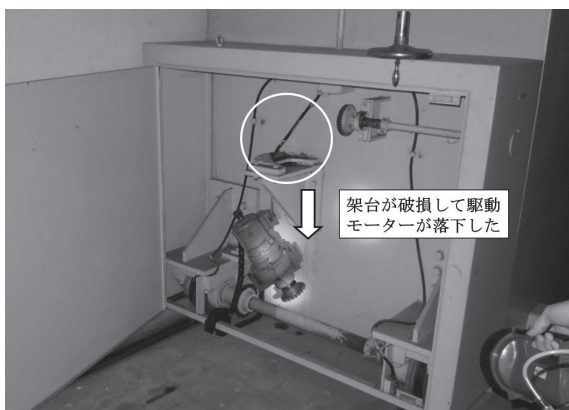


図9 損壊したAM室遮へい扉駆動部。駆動モーター架台が破損している。

3. 施設被災状況の概要

3.1 9階イオン源室

加速器棟最上層の9階では、AMS用負イオン源と偏極イオン源が壊滅的な被害を受けた。9階に設置された3台のクレーン(2トン)は損傷が大きく、直ぐの修復が出来なかった。クレーンの車輪が脱落して、落下の危険性のあるクレーンもあった(図10)。重量4トンのビーム偏向電磁石(IM)は、固定架台上で5cm移動していた(図11)。ビーム真空配管で、電磁石等の重量物間を接続するベローズ配管はほとんど全てが損傷していた。また、冷却水配管の圧力ゲージが破損して、噴出した冷却水により偏極イオン源全体に水がかかった(図12)。偏極イオン源では、ウィンフィルターのアンカーボルトが外れて損傷した(図13)。余震による加速器棟立ち入り制限とクレーン損壊の為に、3月中は9階の復旧作業が出来なかった。約1か月の間に、ウィンフィルターは余震により徐々に移動してビームラインから1mほど外れた。

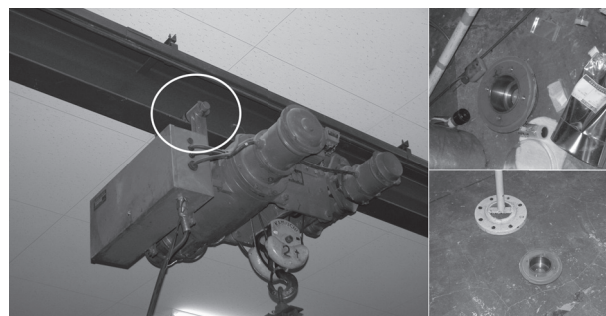


図10 9階の2トンクレーンは車輪が脱落して傾いた。クレーン走行車輪は床に落下(写真右側)。

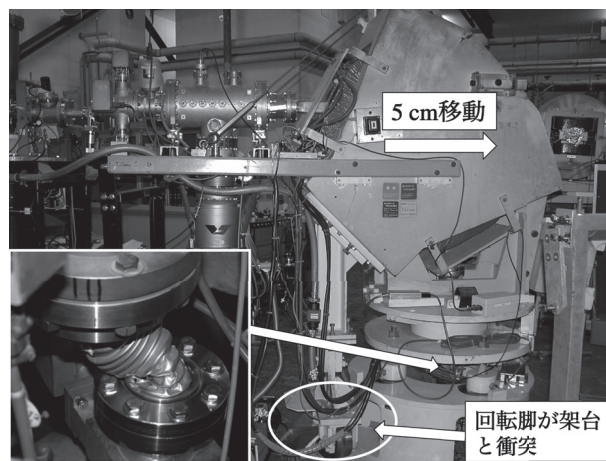


図11 9階偏向電磁石(4トン)。地震により5cm移動した。写真左下は出射側の接続ベローズ配管。

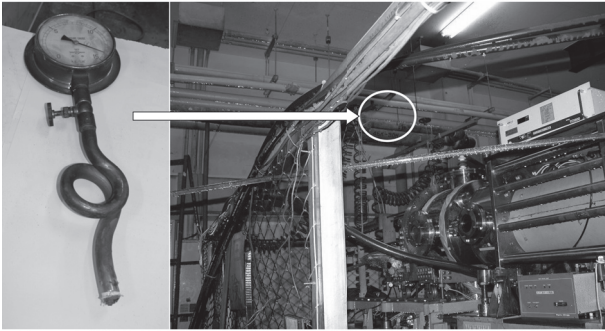


図 12 破損した配管から噴出した冷却水で全体に水がかかった偏極イオン源. 写真左は破損した圧力ゲージ.

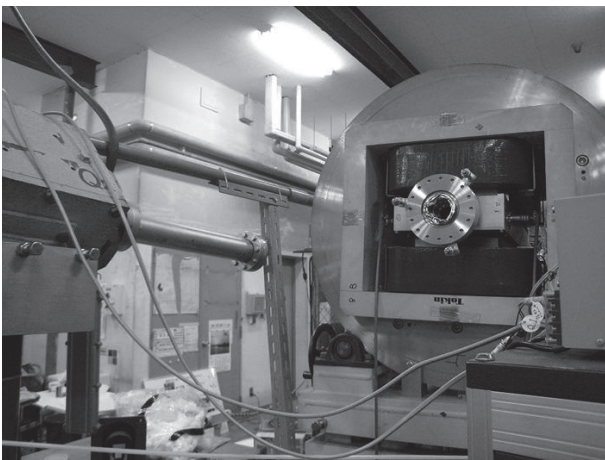


図 13 震災直後の偏極イオン源用ウィンフィルター電磁石. 固定アンカーボルトが切断されて、ビームラインから移動した.

3.2 加速器本体の損壊

加速器本体の総重量は約 120 トンであり、4 階に設置された 3 か所の支持台で支えられている。各支持台は、下側に 100 トンジャッキ、横側に 35 トンジャッキを設置し、2 台の支柱で支える構造である。また、7 階には加速器本体の振動防止の為に、横揺れ防止用の固定具が 3 台設置されている。7 階の固定具は、直径 1 インチの 3 本のアンカーボルトで床に固定されていた。地震は数分間の横揺れが続いた為に、重心が高い位置となる縦型タンデム加速器には影響が大きいものとなった。7 階の固定具は、アンカーボルト 3 本が切断されて、1 m ほど吹き飛ばされたものがあった (図 14)。地震により加速器本体が振動したものと考えられる。4 階では、加速器本体支持台の 100 トンジャッキと 2 台の支柱が加速器より外れかかり、加速器本体が建物下部へ落下する危険性が生じた (図 15)。加速

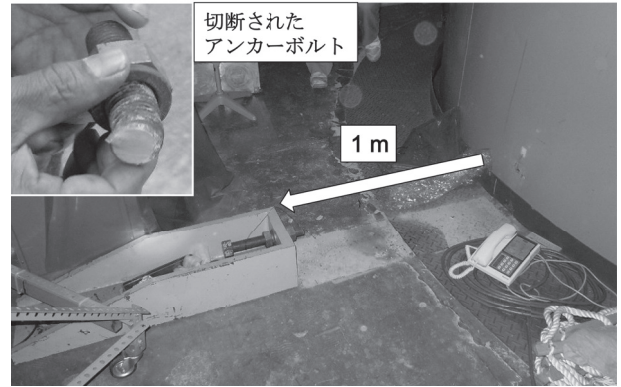


図 14 加速器棟 7 階の加速器本体の横揺れ防止用の固定具. 写真左上は切断された直径 1 インチのアンカーボルト.

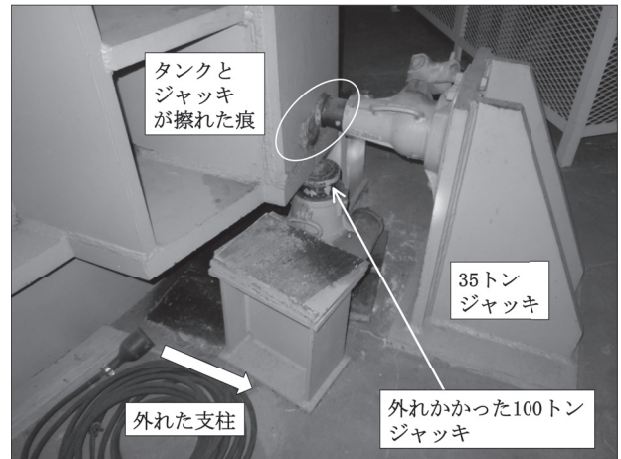


図 15 加速器棟 4 階の加速器本体支持台. 100 トンジャッキと支柱が移動して外れかかっている。横からの押えとなる 35 トンジャッキとタンクが擦れた痕が残る。

器本体の前後の真空ライン系も損壊した。

加速器タンク内部の確認は、3 月 23 日に実施された。残念ながら加速管コラムは、第 1 ユニット以下の全てがタンク底に崩落していた。7 階の加速器マンホールから撮影された、崩落した加速管コラムの写真を図 16 に示す。また、4 階の加速器マンホールから撮影した写真を図 17 に示す。

3.3 接続ベローズ配管の破断

施設内では、電磁石等の重量物が載った架台間の接続ベローズ配管に破損が多く発生した (図 18)。ビームライン高が 1,750 mm と高いこともあり、重心の高い架台が振動して、ベローズ部分に負荷が掛った為と思われる。破断部から大気が真空ラインに流入した為、多くの真空排気装置が破損した。

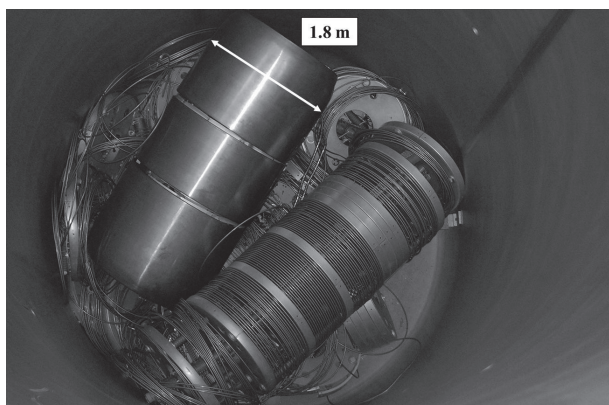


図 16 7 階の加速器マンホールから撮影された崩落した加速管コラム. ターミナルの直径は 1.8 m である.



図 19 加速器棟 4 階の加速器本体支持台の溶接固定作業.



図 17 4 階の加速器マンホールから撮影された崩落した加速管コラム.



図 20 9 階の 2 トンクレーンの修理作業.

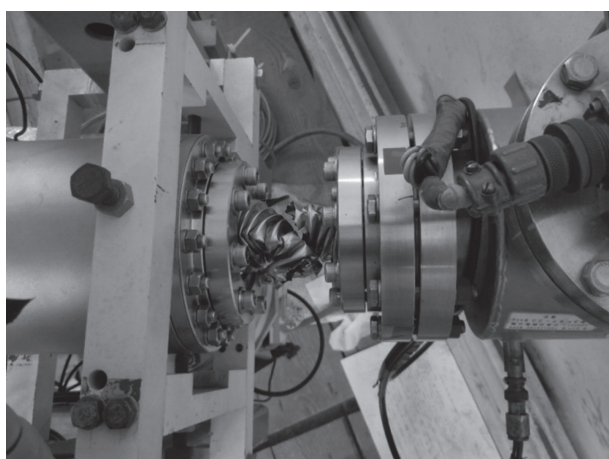


図 18 90° 分析電磁石 (AM) の下流側の破断した接続ベローズ配管.

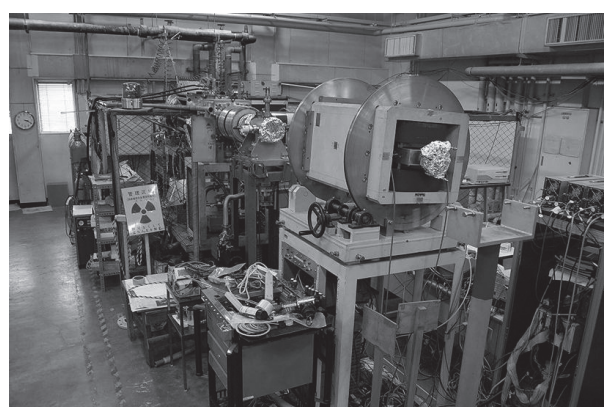


図 21 クレーン復旧後に修復された偏極イオン源.

3.4 施設の復旧対応

加速器棟の上層はエレベーターが使用できず、余震の発生もあって、復旧対応が遅れた。まず、復旧作業の安全を確保する為、3 月末までに応急的に加速器本体支持台の溶接固定作業 (図 19) を実施して、加速器本

体の落下を防いだ。また 9 階イオン源室の復旧作業を進める為に、3 月 29 日にクレーンの修理と点検を実施した (図 20)。建物診断は 3 月 31 日に詳細な調査を実施して、遮へい壁や床等に異常が無いことを確認した。

9階イオン源室では、クレーン復旧後にAMS用負イオン源と偏極イオン源の解体と修復を早急に実施した。偏極イオン源では、ウィンフィルターを元の位置に戻して、床にアンカーボルトで再固定した（図21）。

施設では復旧活動の傍らで、視察に訪れる政府関係者や報道機関の方が多くいた。なるべく積極的に対応して、被害状況を確認いただいた。12UDペレトロンタンデム加速器の被災状況については、新聞及びテレビや雑誌等²⁾で取り上げられた。

4. タンデム加速器施設の復興計画

4.1 復興計画案の作成

1階に設置されていた1MVタンデトロン加速器に関しては、ビームライン等のずれは発生したが、特に大きな問題はなく早期に復旧が可能であった。しかし、12UDペレトロンタンデム加速器は損傷が大きく、復旧の目処は立たなかった。

被災した加速器については、震災後に早急に復興計画を立案する必要があった。筑波大学での第1次災害復旧費要求書の提出は、3月23日であった。この時点

で、まだ加速器本体の損傷の度合いは判明しておらず、損壊したイオン源及び実験装置類の復旧費要求のみを申請した。大学や文部科学省への震災被害報告と施設の震災復旧活動を同時に進めていたが、夏前には12UDペレトロンタンデム加速器を修復するか、またはシャットダウンして加速器の更新を申請するかの判断が必要となった。12UDペレトロンタンデム加速器は、建設時に建屋と同時に組み立てを行っており、加速器修復には建屋構造上の問題が発生した。また同じ縦型のタンデム加速器の復旧には、地震対策上の問題があった。最終的には、震災から約5か月後の8月初旬に加速器の更新を申請して、第3次補正予算で承認された。最終申請時は、筑波大学が共催していた第8回日本加速器学会を開催中であり、筆者はつくば国際会議場と筑波大学を1日に何度も往復することになった。更新する加速器は、耐震性を考慮して横置ききの6MVタンデム加速器とした。図22に筑波大学タンデム加速器施設の復興計画案を示す。最高加速電圧はこれまでの半になるが、測定室に設置できる最大のタンデム加速器として加速電圧6MVを選択した。

加速器配置案であるが、施設1階には $14.6 \times 23.6 \text{ m}^2$

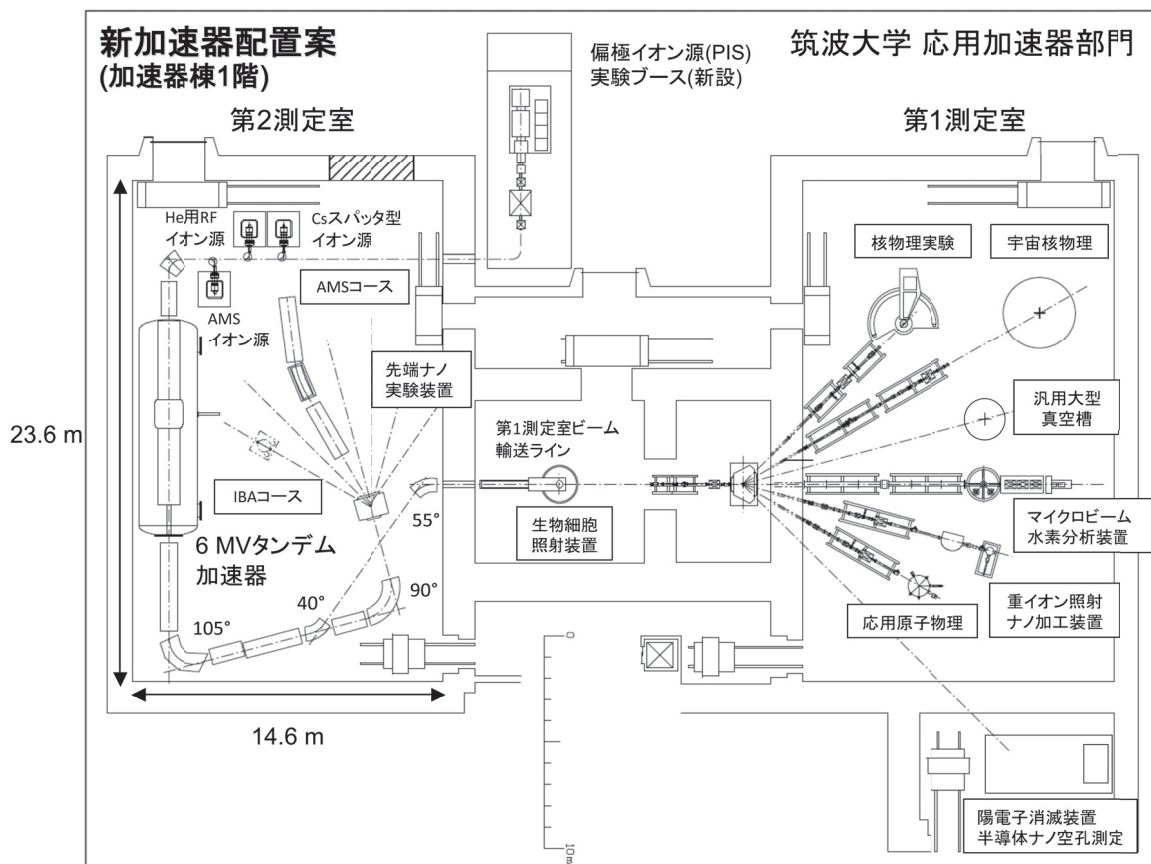


図22 筑波大学タンデム加速器施設の復興計画案（2014年完成予定）。



図 23 第2測定室の現況（2012年2月）。全ビームラインが撤去されて、室内の震災復旧工事を実施中である。

の測定室が2室あり、このうち第2測定室側の既存ビームラインを撤去して、3台のイオン源とタンデム加速器本体、5本のビームラインを新設する（ビームラインは最大7コースまで）。第1測定室は既存実験装置の継続利用を図り、第2測定室の新規タンデム加速器からのビーム輸送ラインを接続する。第1及び第2測定室間にある12UDペレトロンタンデム加速器の90°分析電磁石（200 MeV-amu）は、高精度な上向きのビーム輸送が可能であり、生物細胞照射実験用に残留させる予定である。施設9階の損壊した偏極イオン源は、1階の既存施設の外側に実験ブースを新設して移設する。

施設は現在、地震による亀裂の修理や改修工事を行っている。第2測定室は2012年2月現在、全ビームラインが撤去されて、屋根や内壁の被災箇所の補修工事を実施中である（図23）。

4.2 6 MV タンデム加速器での研究計画

6 MV タンデム加速器はペレトロン型タンデムであり、コンピュータ制御による自動運転が可能となる。高安定加速電圧で陽子・重陽子では3 μA 、重イオンでは50 μA までの直流ビームが提供可能である。原子核実験での用途についてはエネルギー範囲が限られるが、低エネルギー天体核反応実験や偏極陽子・重陽

子による核反応実験に利用される見込みである。また、AMS 専用のマルチカソード型負イオン源と質量分析ビームライン及び核種検出用のガス検出器が設置される。国内最大の最新鋭 AMS システムとして、 ^{10}Be 、 ^{14}C 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 、 ^{41}Ca 、 ^{129}I 等の核種測定が可能となる見込みである。またゴニオメーターを備えた最新鋭イオンビーム分析システムが設置される。その他、つくば地区機関連携における共用施設として、産学連携研究やナノテクノロジー分野での利用が期待されている。6 MV タンデム加速器は、2014 年からの運用開始を予定している。

5. 最後 に

35 年の歴史を持つ12UDペレトロンタンデム加速器は、2012年1月に放射線発生装置としての登録を解除して、正式にシャットダウンとなった。1年前には想像もしていなかった事態であった。しかし、新たなタンデム加速器の導入が決定して、筑波大学タンデム加速器施設は総合的なイオンビーム利用研究施設として再出発できる目処がついた。

最後になりますが、震災直後の対応では、危険な状況下において筑波大学応用加速器部門職員の献身的な努力により被害状況把握が的確におこなわれました。また、震災後に多くの方から温かい励まし及び様々なお気遣いをいただきました。震災後の復旧作業には多くの大学関係者、関連する業者、加速器関連の研究機関からご支援をいただきました。施設復興中の利用者及び学生の研究教育支援については、日本原子力研究開発機構東海タンデム加速器施設、東京大学タンデム加速器研究施設 MALT、理化学研究所 RIBF、大阪大学 RCNP の各機関からご協力を得ています。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) S. Seki et al., Nucl. Instr. and Meth., 184 (1981) 113.
- 2) Science, Vol. 333, 8 July 2011, 154.