

話 題

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 加速器施設の震災被害と復旧状況

涌井 崇志*・伊藤 正俊*・島田 健司*・吉田 英智*・篠塚 勉*・酒見 泰寛*

Damage by the Great East Japan Earthquake and Current Status of the Sendai Cyclotron

Takashi WAKUI*, Masatoshi ITOH*, Kenzi SHIMADA*, Hidetomo YOSHIDA*, Tsutomu SHINOZUKA* and Yasuhiro SAKEMI*

Abstract

The Great East Japan Earthquake has inflicted damages on the accelerator facility of the Cyclotron and Radioisotope Center (CYRIC), Tohoku University. The K=110 MeV cyclotron was slanted due to the damage of props supporting the cyclotron. The cyclotron building has also been slightly inclined. This situation requires the re-alignment of all the beam transport line and the cyclotron. Some of the shield doors at experimental rooms were broken and blocked the entrance. The earthquake caused also a lot of damages to some components of the cyclotron as well as the beam transport lines, such as beam ducts, magnets, vacuum pumps and power supplies. Fortunately, no one was injured at CYRIC. The restoration work was started on July 2011 and will be completed by July 2012. This report describes the situation of damages and the current status of the restoration work.

1. はじめに

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (CYRIC) は、K 値が 110 MeV の 930 型サイクロトロンと、RI 製造用の HM12 型サイクロトロンを有する学内共同利用施設である。これら 2 台のサイクロトロンは理学、工学から薬学、医学にわたる広い分野において、研究や教育、臨床、民間企業の開発研究など多目的に利用されている。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、CYRIC が位置する仙台市は震度 6 弱から 6 強の強い揺れに見舞われた。幸いなことに人的な被害はなかったものの、加速器本体やビーム輸送系、電源、各実験室のシールド扉などが被害を受けた。これらの修理事業を現在進めている。

本稿では、震災発生時の対応や加速器施設の被害状況、そして復旧作業の現状について紹介する。

2. 東日本大震災における施設の状況

2.1 加速器施設の概要

CYRIC の加速器施設の概略図を図 1 に示す。930 型サイクロトロンでは、陽子・重陽子や、ヘリウムから

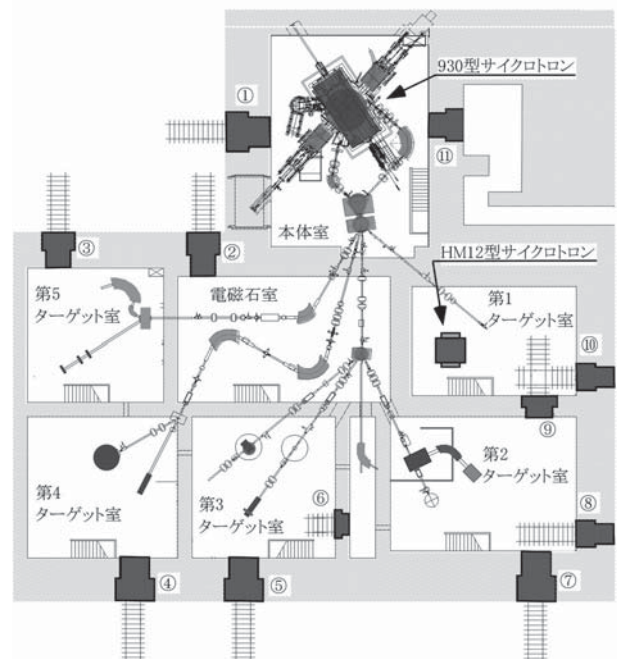


図 1 サイクロトロン実験棟 1 階平面図

アルゴンまでの重イオンを加速・供給している。これらのイオンは、地下 1 階に設置されている 3 台のイオ

* 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University (E-mail: wakui@cyric.tohoku.ac.jp)

ン源で生成され、1階に据え付けられている930型サイクロトロンに真下から垂直に入射される。930型サイクロトロンで加速されたイオンビームは、5つのターゲット室に設けられた合計9本のビームライン（実験ポート）へと導かれる。

HM12型サイクロトロンは、ポジトロン断層撮影用のポジトロン放出核種（PE）を製造する小型サイクロトロンであり、第1ターゲット室に設置されている。加速可能なビームは、12 MeVの陽子と、6 MeVの重陽子である。これらのビームはHM12型サイクロトロンに付設されているターゲットに照射され、PEが生成される。そこで生成されたPEは、第1ターゲット室外にある薬剤合成装置へと輸送される。

2.2 震災当日の状況

地震発生当日、HM12型サイクロトロンは平成22年度の共同利用をすでに終了しており、停止中であった。一方、930型サイクロトロンは朝までの共同利用を予定通り終了し、地震発生時はメインコイルの通電試験とECRイオン源の試験運転を実施していた。試験運転要員は加速器オペレータや学生を含め、全員が加速器制御室に居た。サイクロトロン実験棟の管理区域には2名が入域中であった。

14時46分、微かな揺れを感じ始めた頃に緊急地震速報の音が鳴った。次第に揺れが大きくなり、制御室に居た全員が机の下にもぐった。長い揺れの間に施設は停電となった。管理区域に入域していた2名は入退域ゲートに近いところに居り、大きな揺れの比較的早い段階で自主的に避難してきた。

揺れが収まった後、周囲の人と声を掛け合いながら皆外へ避難した。制御室や居室では耐震対策のおかげで棚などの転倒や天井からの落下物もなく、スムーズに避難することができた。大きな余震が断続的に続く中、CYRICの緊急時対応マニュアルに従い避難場所へ移動した。避難場所では時折強い雪が吹き付ける中、ラジオを聞き状況の把握に努めた。そして点呼を取り、CYRICに当日居た全員の無事を確認した。

通常の共同利用日であれば、外部からの利用者や、管理区域内で作業をする学生達、あるいはPETの臨床検査を受ける一般の患者さんやその家族らが訪れる。だが、地震発生当日は2台のサイクロトロンともに共同利用の予定が無く、当日の朝まで実験を行っていたグループも午前中のうちに撤収が完了しており、避難誘導を必要とするCYRICの建屋に不慣れな方々が居なかったことは幸いであった。

全員の無事を確認後、学生は解散、帰宅とした。放射線管理を担当する職員は規定にもとづき、放射性物

質等の漏えいにつながる被害が貯蔵庫や建屋に発生していないか点検を行い、無事を確認した。加速器グループは火災等の二次災害を予防するために、ガスの閉栓確認や可燃性ガスを中心にガスボンベのバルブ閉栓確認などを行った。余震が断続的に起こり、管理区域内は停電で暗いため、これらの点検作業は複数人数のグループで行った。また、点検作業を短時間で終えるために、分電盤の遮断器はそのままとした。これらの点検の後、点検者の点呼を再度取り、CYRICを旋錠・閉鎖して解散した。職員の再集合は週が明けた3月14日（月）とした。

2.3 震災後の対応

3月14日には、まず、施設部によるCYRIC建屋の状況調査が行われた。その結果、建屋そのものには問題が無く、建屋内部への立ち入りが可能となった。そこで懐中電灯を片手にCYRIC全体の点検と加速器施設の状況調査を行った。その際、管理区域内の一部危険箇所については立ち入り禁止の措置を取り、加速器グループが立ち入る際も複数人で行動することとした。また、施設の変電設備の主遮断器を開放した。この日の時点ではライフラインの復旧率も低く、日没も早い時期であったため、点検作業終了後の午後の早い時間帯に解散とした。公共交通機関は地下鉄の一部区間を除いてバスを含めて全て不通であり、ガソリンも極めて入手困難であったため、3月17日まで原則自宅待機となり、翌日以降は通勤可能な職員だけが集まることとなった。

3月15日にはCYRICの変電設備に特高を受電した。施設内の復電作業に先立ち、全ての分電盤で遮断器を一旦開放した。CYRIC内に「東北大学福島第一原子力発電所事故対策本部」が設置されることとなり、これに対応するため、また、事務機能を回復するために、サイクロトロン実験棟の居室区域を復電した。これを含めて全ての復電作業では、末端の機器が地震で大きく揺さぶられていることを考慮し、系統ごとに絶縁試験を実施するなど慎重に作業を進めた。また、CYRICのメールやwebサーバーの復旧にも着手した。

翌3月16日の時点ではCYRICが位置する青葉山キャンパスの水道は復旧していなかったが、出勤者がトイレを利用できるように受水槽ポンプを復旧した。その前後には上下水道配管の漏水点検を行った。水道が復旧したのは3月17日であった。この時点でも通勤事情は改善せず、回復の見込みもなかったため、自宅待機は3月23日まで延長となった。そんな中、3月22日には大学本部より物品についての第1回災害報告書を提出するよう依頼があり、暗闇の中を懐中電灯片手に

目視点検した結果を急遽まとめて提出した。

3月24日の時点でも通勤事情は相変わらず厳しい状況であったが、自宅待機が解除となり出勤者も増えたことから、崩れた物品の整理や管理区域の復電作業に着手した。4月に入る頃には市バスが青葉山キャンパスまで開通し、ガソリンも入手できるようになった。復電作業が一段落したこの頃から、ビームライン等の通電試験や駆動系、真空系の動作試験など、各機器の状況確認と被害状況の詳細な調査を開始した。

3. 加速器施設の被災状況

宮城県周辺では、M7.4程度の宮城県沖地震がおおよそ37年周期で発生している。前回の地震は、CYRICが設置された翌年の1978年であり、地震調査研究推進本部の長期評価によると、2010年1月から30年以内に起きる確率は99%であった。こうした状況の中、サイクロトロン実験棟の耐震補強を中心とした改修工事が2009年に行われており、今回の地震で建屋に大きな被害がでなかったのは幸いであった。居室や管理区域についても「産業医ならびに安全・衛生管理者による巡視」が定期的実施されており、棚等の転倒防止や棚の上に物をのせないこと、避難路の幅を確保することなどが徹底されていた。一部で書籍の落下やパソコンの転倒はあったものの、こうした日頃の備えが人的被害を出さず、スムーズな避難につながったと考えられる。一方で大きな揺れが長く続いたことで加速器施設には被害が生じた。加速器施設の被災概要を以下にまとめる。

3.1 930型サイクロトロン

930型サイクロトロンは、**図2**に示すように太さ 1.7×0.8 m、高さ4 mの2本の鉄筋コンクリート製の支柱にのっている。この支柱は、重さ250 tのサイクロトロン本体を支えるために、サイクロトロン実験棟の基礎とは別に、青葉山の岩盤深くまで打ち込まれている。また、1999年に930型サイクロトロンに更新された際には、次の宮城県沖地震に備え、支柱上部に横揺れを抑える梁が追加された。今回の地震では、**図3**に示すように支柱は梁よりも上部で大きく損傷した。損傷は、支柱表面のモルタルだけでなく、内部のコンクリートに達し、鉄筋が見えるほどになっている。これによりサイクロトロン本体は5 mm程度傾いた状態となった。

サイクロトロン本体では、メインコイルの一部で焼け焦げた跡が見つかったほか、加速箱をヨークに固定するためのボルトが破断し、ボルト取り付け座の溶接部に亀裂も生じていた。加速箱ではさらに、ノックピ

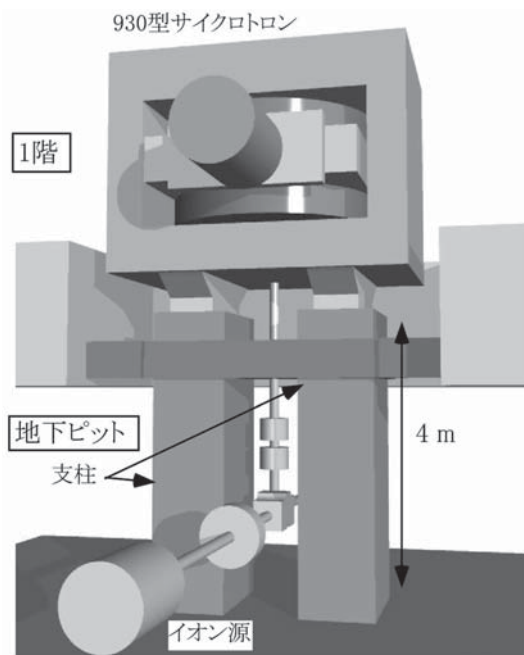


図2 930型サイクロトロンと支柱



図3 損傷したサイクロトロンの支柱

ンが大きな力を受け変形していた。しかし幸いなことに、ディー電極やアース板そのものに大きな損傷はなかった。

サイクロトロン本体周辺の被害状況を**図4**に示す。本体周辺では、プラー引抜装置やデフレクタ支持台、RF共振器などの本体と本体室床面の双方に固定されている物品の被害が目立った。プラー引抜装置では真空接続部分が外れ、ロック機構が破損した。支持台取り付け部のモルタルも崩れ、駆動装置も脱輪していた。デフレクタでは支持台を固定している床部分が破損し、デフレクタ引抜用のレールも歪んでいた。RF関連では、共振器が乗っているレールの取り付け部品が破断したほか、共振器架台の車軸にゆがみも生じていた。RFアンプではアンプの筐体を共振器の上に乗せる接続部分でボルトの大部分が破損して抜けており、筐体内部で

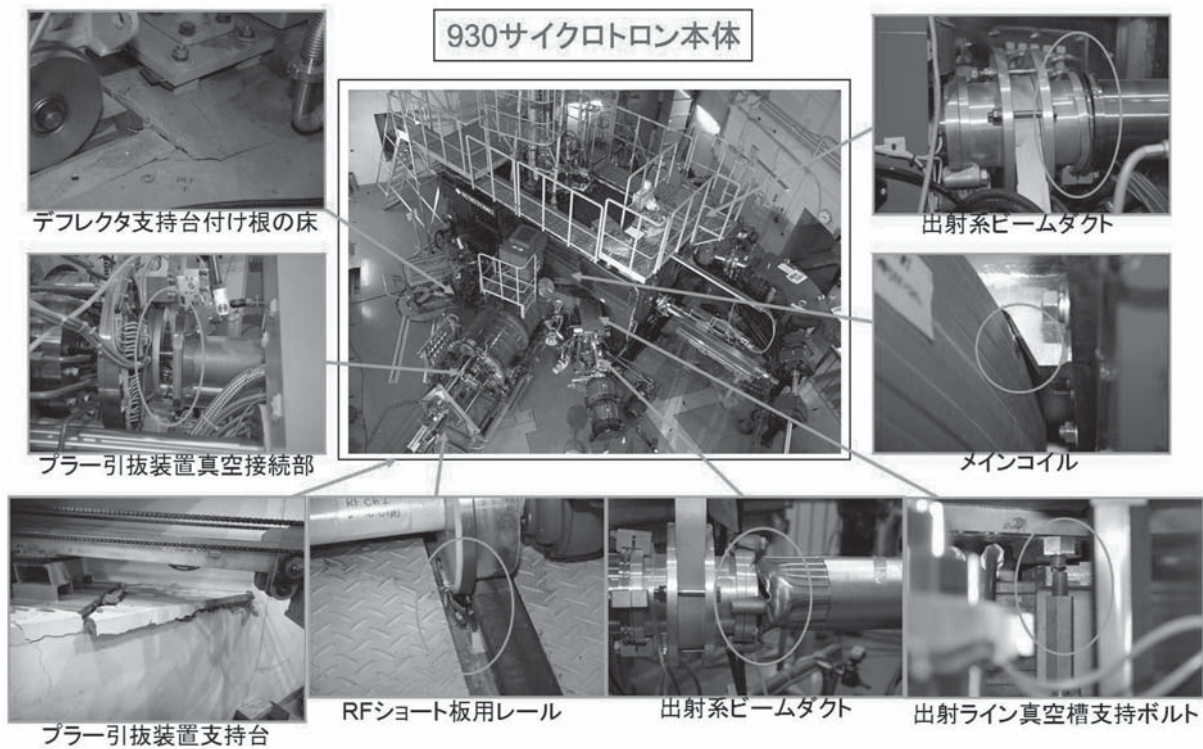


図4 930型サイクロトロン本体周辺の被害状況

も配線用銅板が引きちぎれていた。これらの破損状況から、支柱にのったサイクロトロン本体と本体室床面に固定されている周辺機器とでは異なる揺れ方をしたと考えられる。

3.2 ビーム輸送系と実験室

サイクロトロン本体が周辺機器と異なる揺れ方をした影響は、本体とビームラインとの接続部分にも現れていた。正イオン出射系ではビームダクトのクローランプが破断し、ゲートバルブのフランジが歪んだ。負イオン出射系ではビームダクトが抜け、さらに長い揺れで抜けたダクトがゲートバルブのフランジをたたき、フランジとビームダクトの双方が破損した。

ビーム輸送系では、本体出射系と同様にビームダクトが外れ、破損しているものが7か所あった。このダクトの外れにより、ビームラインに大気が一気に流入し、真空排気装置の一部が破損した。電磁石の一部では、ビームダクトを接続しているクローランプが地震の揺れでコイルに当たり破損しているものや、落下物が当たり部分的に破損しているものがあった。

ビームラインのアライメントに関しては、四重極電磁石や偏向電磁石が±1 mm程度ずれていた。また、建屋レベルに関してもサイクロトロン実験棟の南側が1 mm程度沈んだようである。サイクロトロン本体の位置を再調整する必要があることと合わせて、全ての

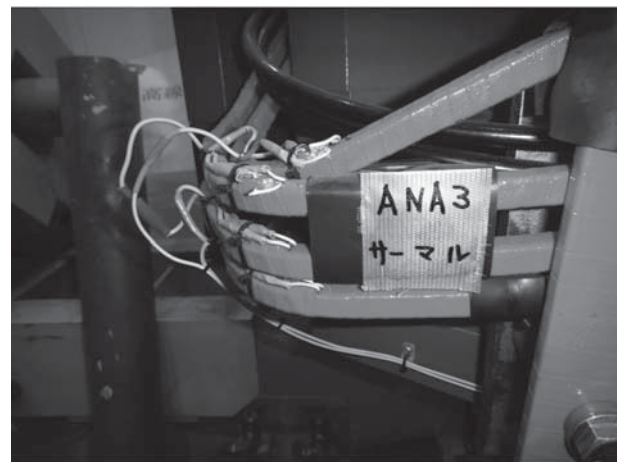


図5 落下物が当たり部分的に破損した電磁石

ビームラインでアライメントやレベルを調整する必要が生じた。

各実験室にビームを分配する電磁石室では、送風用ダクトの吊下支柱が抜け落ち、ダクトが落下した。幸いなことに天井クレーンの桁に乗る形で止まり、ビームコース上に落下して被害を与えることは無かった。

各実験室で最も被害が大きかったのは、遮蔽屏である。地震発生時には図1の⑧、⑩、⑪の3か所の遮蔽屏が開けられていた。これら開いていた3か所の遮蔽屏のうち第1ターゲット室と第2ターゲット室の2か

所の遮蔽扉は、扉に対し横方向の揺れの影響で駆動部分が大破し、15～20トンの扉が台車から外れて床に落ちた状態となった(図7)。この2か所の扉は、ターゲット室の開口部をふさいでおり、復旧工事用の大型機材を搬入できない状況となった。これらとは別な2か所の遮蔽扉では駆動用のチェーンが破断しており、地震の大きな揺れで遮蔽扉がレール上を揺さぶられたことが窺えた。室外へ通じる①～⑤と⑦の6か所の遮蔽扉ではレールが扉の開閉方向に傾斜して、扉を閉めても開側に動いてしまう状態になった。この傾斜はとくに南側の3か所の遮蔽扉で顕著であり、上述のサイクロ

トロン実験棟の沈み込みと傾向が一致している。これらの遮蔽扉ではレールの水平を調整しなおす必要が生じた。また、ほとんどの遮蔽扉は、レールにたいして横方向にずれが生じ、壁の開口部とこすれる状態になった。特に⑩の遮蔽扉では、地震発生から数日後の開閉試験の際に開けることは出来たものの、壁の開口部と干渉し閉められない状態となった(4月7日の最大余震で閉められるようになった)。この扉は実験室内であったため問題は生じなかったが、室外に通じる遮蔽扉の場合には、実験室内への雨滴や埃の侵入や、放射線管理区域が開放された状態になってしまうなどの心配がある。そのため、室外に通じる遮蔽扉については短いストロークでの駆動試験にとどめ、開閉試験は修繕工事まで見合わせるようになった。

各実験室には遮蔽を強化するためのコンクリート製ブロック(100×50×50cm)を組み合わせて積んである箇所がある。これらの遮蔽ブロックには、予測されていた宮城県沖地震に備え、はめ込み型のロッドを設けたり、ある一定の集団ごとに枠を取り付けて一体化したりするなどの耐震対策が取られていた。これらの対策のおかげで落下したブロックは無かったものの、枠を取り付けていない10か所以上のブロックでずれが生じていた(図8)。このずれの原因は、ロッドをはめ込む穴の遊びによるものと思われる。



図6 落下して天井クレーンに乗った状態となった送風用ダクト

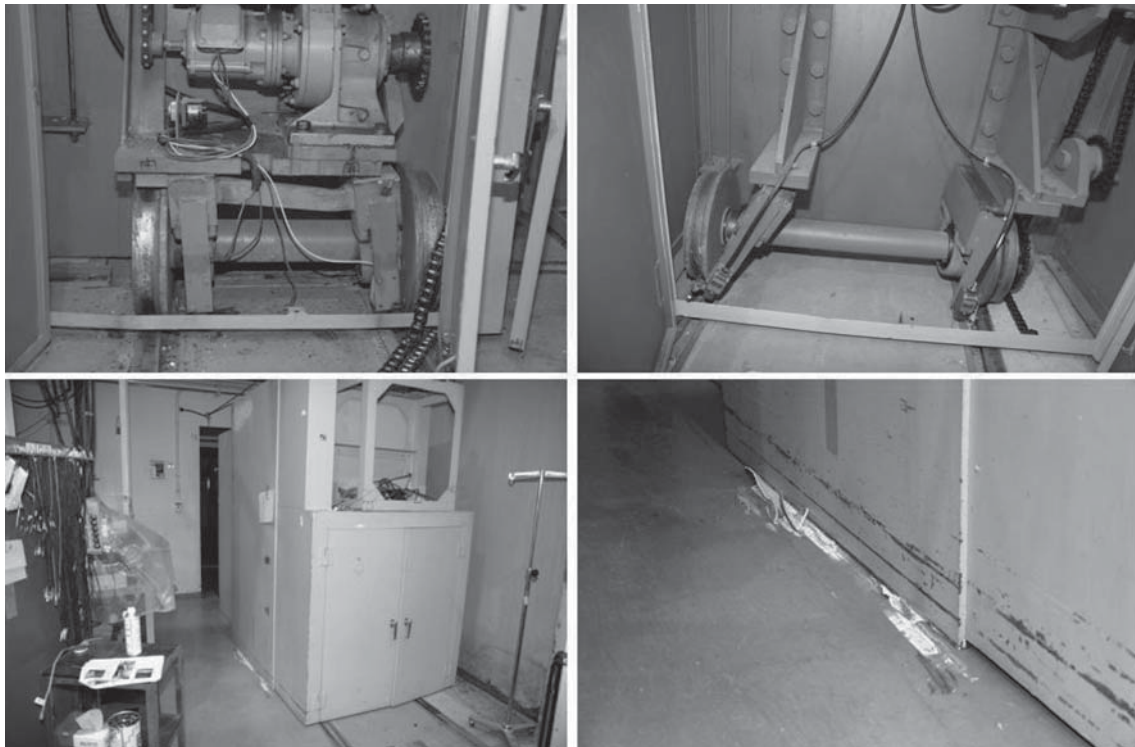


図7 遮蔽扉の被害状況。駆動部分が大破し、扉本体が床に落ちている。

これらの他に、ビーム輸送系の電源がラックごと傾倒し破損した例や、共同利用ユーザーの真空槽が真空ポンプごと架台から脱落した事例があった。また、工作室の旋盤が転倒するなどした。

3.3 HM12型サイクロトロン

HM12型サイクロトロンは、省スペース化のために

ヨークが縦置きとなっている。ヨーク全体はレールに乗せられており、ヨークの分割が容易で、加速箱内部のメンテナンスが行いやすい構造になっている。

今回の震災では、大きな揺れが長く続いたことで、ヨーク全体がレール上を揺さぶられ、ヨークを固定しているロックピンおよびその取り付け部が破損した。また、ロックピンの破損によりサイクロトロン本体がレール上を揺れ動いたため、床に固定されている周辺機器との接続部が破損した。具体的には、冷却水配管は変形したうえでヘッダーから抜けており、配管固定用のサポートが破断した。RFは導波管の一部が損傷を受け、また、配管・配線用のケーブルベアも破損した。その他、 ^{18}F 用の水供給装置が架台から脱落し、駆動系や電磁弁などが破損した。また、コンペンセータ駆動系にも不具合があった。

4. 加速器施設の復旧作業と今後の計画

4.1 復旧作業手順の作成

前章までに述べた被害状況の調査結果は、第2回から第4回の災害報告書として提出した。5月末頃には第一次補正予算承認分の執行が可能となった。

復旧工事において最大の鍵は、930型サイクロトロンを乗せている支柱をどのような方法で修繕するかであった。修繕方法によっては、最悪の場合、サイクロトロン本体を解体・撤去する可能性が考えられた。建屋の構造上、解体したヨークなどを本体室内に置くことはできず、一方で遮蔽扉の開口部に十分な大きさが無く搬出できない。サイクロトロンを解体・撤去となると本体室の搬入口（搬入後は厚さ5mのコンクリー



図8 ずれが生じた遮蔽ブロック

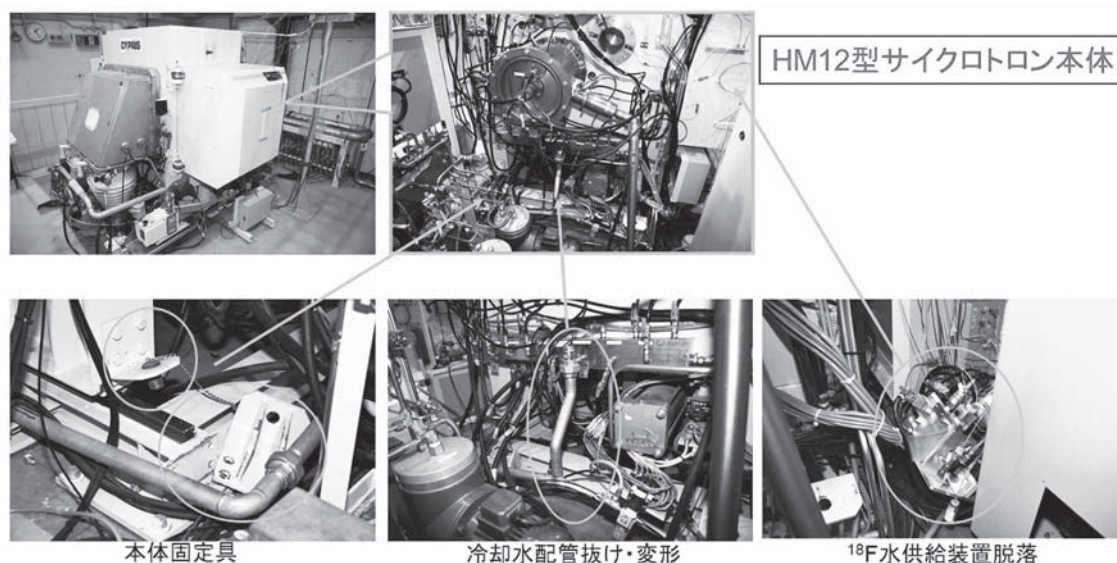


図9 HM12型サイクロトロンの被害状況

トで埋められた)を再び開ける必要がある。これには放射線管理区域の一時的な変更も伴う。そこで復旧工事に先立ち、支柱の強度調査を行った。その結果、幸いなことに支柱の強度に問題が無く、また支柱の修繕工事ではサイクロトロン本体を現状以上に大きく持ち上げる必要は無い、との見解が得られた。

930型サイクロトロン本体を解体せずに済むことが分かった段階で、大略工程を作成した。まず、本体室内の入出射系ビームラインや関連機器の撤去から着手し、次いで930型サイクロトロンを固定する山留を設置する。そして支柱を修繕する、という手順を進める方針とした。

930型サイクロトロン本体は、支柱の修繕の後に、位置や水平を調整したうえで、RF共振器などの周辺機器を撤去し、位置や水平を調整する。そして撤去した周辺機器を再組立てし、通水や通電、真空試験を行って、加速試験へと進めることにした。この時点では930型サイクロトロン内部の破損状況が不明であったため、本体内部に漏水や絶縁不良などが無いという前提で、2012年3月には本体のみでの加速試験を実施することを目標とした。

また、支柱の修繕と並行して、各室の遮蔽扉の復旧を優先的に進めることにした。震災後、多くの遮蔽扉は開閉に難があり、復旧用機材などの搬出入に支障があったほか、特にHM12型サイクロトロンが設置されている第1ターゲット室の遮蔽扉は駆動部分が大破しており、開閉が不可能な状態であった。そのためHM12型サイクロトロンの修繕は、第1ターゲット室の遮蔽扉が復旧した後に着手することにした。各ターゲット室のビーム輸送系は、930型サイクロトロン本体の位置やレベルが調整されたのちに、それを基準にアライメントを取り直すことにした。

加速器施設全体としては、2012年7月までに復旧を完了し、2012年9月からの共同利用再開を目指す計画とした。

4.2 遮蔽扉の修繕

遮蔽扉の修繕工事は2011年7月下旬から始めた。各室の遮蔽扉を修繕する際の懸念は、駆動部分が大破し床に落ちた2か所の遮蔽扉の修繕方法であった。この遮蔽扉は実験室の開口部に、長さ2m、重さ15tのコンクリート製扉を壁に対して垂直に出し入れするタイプのもので、壁と扉の間には5mm前後の隙間しかない。つまり、壁の開口部と扉の中心軸を合わせないと開閉が不可能になる恐れがある。一方で、実験室内のクレーンは2.8tの能力しかないうえに、遮蔽扉は開口部を塞いだ状態になっており、入室路は狭い階段通路



図10 遮蔽扉の修繕工事。開口部側にレールを再設置したところ。扉は写真の手前側に引き出されている。

だけで、大型機材の搬入は不可能な状況であった。こうした事情から当初は、遮蔽扉を現場で解体・撤去し、新規に製作することが検討された。しかしこの方法では、大量の廃棄物と粉塵が発生する。そこで、遮蔽扉は解体せず、現場でなんとか持ち上げ、大破した駆動部分を入れ換えたうえで、位置を微調整する方法を試みた。扉の持ち上げには、チェーンブロックやジャッキを駆使し、時にはクレーンの桁も利用した。図1の⑧、⑩の遮蔽扉についてはこの方法で修繕され、扉位置も1mm単位で調整された。

室外へ通じる遮蔽扉は、前述のようにレールの水平を調整し直す必要があった。調整ではレールが埋められているコンクリートを一部砕いて、レールを一度取り外した。その際、遮蔽扉をレール上に残したまま作業ができるよう、開口部と外側部分に分ける工程とした(図10)。また、開口部は放射線管理区域であるため、粉塵の飛散防止措置を講じたり、廃棄物の汚染検査体制を確立したりするなど、慎重に作業を進めた。レールを外した後は、ベースプレートの高さを調整して水平を出し、レールを敷設して、あらためてコンクリートを打設した。全ての遮蔽扉の修繕が完了したのは、2011年11月であった。

4.3 930型サイクロトロンの復旧作業

930型サイクロトロンの復旧工事は、2011年6月下旬に、本体室内の入出射系ビームラインや関連機器の撤去から開始した。撤去完了後に、200tのジャッキ4台を使った山留(図11)を設置し、支柱に荷重がかからない程度にサイクロトロン本体を持ち上げた。そして支柱の上部全体に鉄板を巻いたうえでグラウトを注入し、支柱を修繕した。この状態でサイクロトロンの荷重を支柱にかけたところ、支柱の最上部に設置されている基板がたわみ、基板の両端部で支柱との間に隙

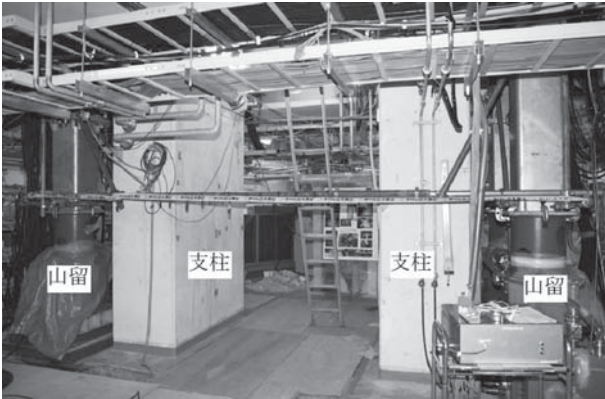


図 11 930 型サイクロトロン支柱と仮支えする山留。

間が生じた。たわみの程度は荷重をかけ直すたびに変わり、その影響でサイクロトン本体の水平レベルも変化した。そこでたわみを無くすために、サイクロトン本体の荷重を抜いた状態で、支柱の基板周辺部に 20 cm 程度の間隔で 5 mm 程度の穴を開け、エポキシ樹脂を注入し、基板と支柱とを接着・固定した。また、並行してプラー引抜装置固定部やデフレクタ取り付け部の床面補修などを実施した。

支柱の修繕後、サイクロトン本体の仮の水平出しを行い、RF 共振器やデフレクタ、メインプローブなどを慎重に取り外した。また、本番の芯出しは、頻発する余震の中で行わなければならない事から、サイクロトン本体に二つの地震対策を施した。一つ目は、サイクロトン本体の横ぶれを抑制する 50 t ジャッキである。このジャッキをサイクロトン本体と本体室の床との間 6 か所に入れて突っ張ることで、サイクロトン本体が建屋と一緒に揺れるようにし、支柱への負担を減らしている。このジャッキは、サイクロトン本体の位置調整にも使用された。二つ目は、上ヨーク上昇時にヨークの落下を防止するブラケットである。このブラケットも 50 t ジャッキと同様に 6 か所に設け、上ヨーク上昇時に上下のヨークを固定することで上ヨークの横ずれを抑えている。

サイクロトン本体（ヨーク）の位置や水平レベル、水平の調整は、加速箱を取り出して行った。目標とした精度はそれぞれ 0.2 mm とし、ほぼその範囲内に調整された。そしてアース板とポールとの間の低真空領域の真空漏れ調査と補修を行い、加速箱を再設置・芯出しをして 2011 年の作業を終了した。

年が明け、撤去していた RF 共振器やデフレクタなどの周辺機器を再組み上げ・復旧を開始した。ここまでの作業で、プラー電極のゆがみやディー電極先端のキズ、デフレクタ駆動系の動作不良など新たな不具合

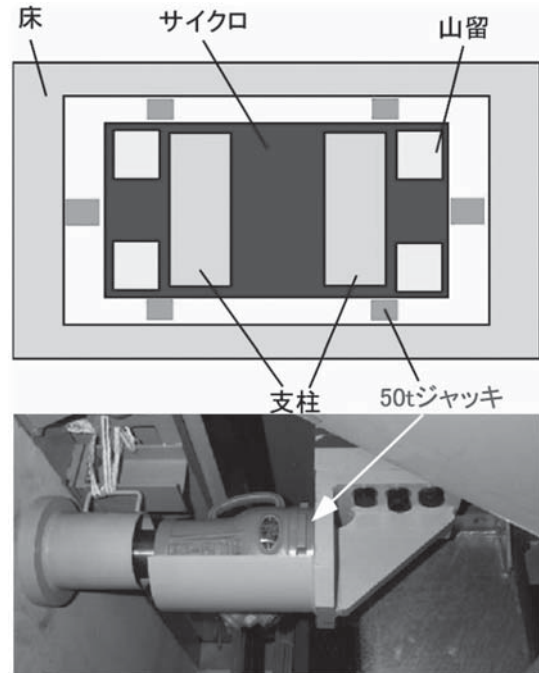


図 12 横ぶれ防止用ジャッキ

が判明した。

2012 年 1 月の段階では多少の遅れがあったものの、ほぼ工程表の通りに進行していた。しかし、この後、冷却水配管継手からの漏れに悩まされることになった。漏れはグラディエント・コレクターやマグネチックチャンネルと呼ばれるサイクロトン真空内に置かれるビーム調整機器のほか、バルブスタンドや各コイルで見つかり、最終的には 500 箇所近くにおよんだ。これらの直接的な原因は、配管の微妙な変形や O リングの硬化であった。これらの漏れ箇所の特定制や補修作業に時間がかかり、当初の目標であった 2012 年 3 月中の本体加速試験は不可能となった。

5 月下旬の時点で当初予定から 3 か月ほど遅れている。真空試験やコイルへの通電試験、駆動系の試験はほぼ終了しており、今後、インフレクタやデフレクタへの高圧印加試験と RF 試験を行い、順調にいけば 6 月下旬頃には本体加速試験が実施できる見込みである。

4.4 ビーム輸送系と実験室の復旧作業

ビーム輸送系では、全てのビームラインで水平レベルを 930 型サイクロトンに合わせる調整やアライメントの取り直しを要する。これに伴い、各室で床面のビーム軸のケガキ直しやベンチマークの再設置することになった。これらの作業のために、ビームダクトや電磁石、冷却水配管、ケーブル類を一旦撤去することにした。

ビームラインの撤去作業と並行して、当初から破損が判明していたビームダクトの製作や電磁石の補修作業を進めた。また、撤去作業の際には各電磁石の絶縁試験など、健全性の確認を実施した。その結果、分析電磁石の一部で絶縁不良が新たに判明した。絶縁不良箇所はヨークとコイルの間であり、目視では場所を特定できなかったものの、絶縁に使用している PET フィルムが疑われた。このフィルムを交換したところ、絶縁が回復した。コイルが地震で揺さぶられ、ヨークに当たったことが原因と考えられたことから、フィルムの交換に際し、厚さ 25 μm から 125 μm に変更している。また、同様な構造をもつ他の分析電磁石でも、念のため厚さ 125 μm のフィルムに交換した。

930 型サイクロトロンの位置や水平レベルが確定した段階で入射系ビームラインから測量を開始した。そして測量が完了したところからビームラインの再設置と、冷却水や圧空配管、電気系ケーブル類の再構築を進め、ゲートバルブで仕切れる一定範囲ごとに圧空や真空の漏れ試験、電気系統の確認作業を順次行っている。

各実験室では、地震の揺れでずれが生じた遮蔽用のコンクリート製ブロックについて、耐震対策の強化を進めている。今回の地震では、柱や梁を設けて一体化して積んであるブロックではずれが生じなかったことから、各室の全てのブロックについて柱や梁を取り付けることにした。

ビーム輸送系のアライメント作業は 5 月下旬の時点で全体の 50% 程度が終了しており、7 月の完了を目指して進めている。

4.5 HM12 型サイクロトロンの復旧

HM12 型サイクロロンが設置されている第 1 ターゲット室は、前述のように遮蔽屏が大きな被害を受けた。その修繕では難工事が予想されたため、HM12 型サイクロトロンの復旧工事は遮蔽屏の修繕完了後の 2011 年 12 月に開始した。それまでの間に当初から判明していた破損物品の修理や代替部品の製作は終えており、修理・交換後に加速試験が可能となった。しかし、第 1 ターゲット室には 930 型サイクロロンからのビームラインもあり、この時点では遮蔽用のロータリーシャッターが未設置であったため第 1 ターゲット室単

独での放管条件を満たせず、他の作業が行われていない夜の時間帯に各室全てを閉鎖して加速試験を実施した。この試験ではビーム量などは追求せず、加速が可能であることだけを確認した。

本格的な加速試験はロータリーシャッターの設置後に実施した。この段階で補正コイルの絶縁不良やビーム電流読み出し回路の不具合が新たに見つかった。補正コイルの絶縁不良箇所は、幸いヨークの外側であり、補修作業は容易であった。ビーム電流読み出し回路は予備のポートに切り替えることで解決した。

5 月下旬の時点で運転は順調であり、PET 用薬剤の合成試験にビームを提供している。

5. おわりに

今回の震災では日頃の備えが大切であることを痛感した。棚やガスボンベ、遮蔽ブロックなどで転倒防止を行っていたものに被害はほとんど出しておらず、迅速な避難にもつながった。しかし、仮置きされていたものでは転倒したものがあつたことは反省すべき点である。また、緊急時対応マニュアルを作成していたことも一定の効果があつた。しかし、今回の震災ではいくつかの幸運が重なり、人的被害が無かつたとも言える。今回の経験を踏まえ、今後のマニュアル改訂や緊急体制作りに生かして行きたい。

震災後では、最初の被害報告の重要性を認識した。生活するのがやっとの状況で提出した第 1 回の被害報告書の内容が、第 1 次補正予算で執行可能となつた一方で、第 2 回以降で新たに報告した部分については後回しとなり着手が遅れた。

震災直後には、研究室メンバーが大阪大学核物理研究センターにお世話になつたことをここに記しつつ、感謝申し上げます。研究と生活の両面でコミュニティの繋がりが重要であることを改めて感じました。

最後に、今回の東日本大震災で亡くなられた方々のご冥福をお祈りします。

追記；本稿校正中の 7 月 2 日から 930 型サイクロロン単独でのビーム加速試験（陽子 30 MeV）を開始し、7 月 3 日 20 時 25 分に震災以降初めてのビーム加速と取り出しに成功した。