

本文

1. 発災時の緊急的対処

発災時に実施すべき4項目は、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③二次災害の防止、④MR装置の保全である。

①患者の安全確保

患者の安全確保は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限り、この発災時4項目の中で最優先の事項である。発災時に検査中であり患者がマグネット内にいる場合には、可能な限り早急に撮影室外に患者を誘導し、避難体制に入れるようにしなければならない。

②職員の安全確保

MR検査室を担当する職員は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限りは、患者の安全だけでなく、応援に駆けついたり患者の避難、誘導にあたる他の職員の安全確保にも可能な限りの注意を払い、必要な措置を講じるべきである。

③二次災害の防止

二次災害は震災後にMR装置が原因となって発生しうる事故であり、磁性体の吸引とクエンチが主な危険要因と考えられる。可能な限り速やかに、二次災害防止のための警告表示とMR検査室への立ち入り禁止措置を取らねばならない。

多数の被災者が運び込まれるような状況下においては、混乱の中でMRの安全に熟知していない関係者がMR検査室に立ち入る可能性があるため、磁性体の吸着事故の発生に注意すること。

④MR装置の保全

停電によりMR装置の冷却装置が停止し冷媒減少が一定以上進むとクエンチを起こす可能性があるため、通電状態だけでなく冷却システム全体の稼働状態を監視する。冷却系の配管や弁等に破損が無いか、室外機も含めて確認を行う。

2. 被災状況の分類

該当施設、あるいはMR検査室から緊急避難をする必要が無い場合は、まず被害程度の概要把握に努める。

(A) MR装置が設置された建物が倒壊・大破し、MR装置が使用不能の場合（建物で管理が不能な場合）

- まず、現場への立ち入りの危険性について検討し、立ち入り可能ならばマグネ

ットが励磁状態を維持しているか、クエンチが生じていないかを確認する。

- 磁場が消失していない場合は絶対にマグネットに近づかないように、周囲への立ち入り禁止措置を取るとともに、警告の表示を行う。
- 磁場が消失していても余震等により建物の損傷が進み液体ヘリウムが残存する重量物であるマグネットが二次的災害の原因になりうるので、立ち入り禁止措置を取る。
- 行政が設置する緊急対策本部等に状況を報告する。

(B) MR装置の設置状況に重大な異常（「4. MR装置の重大な損傷」参照）が認められる場合（建物で管理が可能な場合）

- 該当のMR装置は使用しない。
- 超伝導型のMR装置の場合は、冷却システムの状態を確認し記録をつける。
- 復旧作業が完了するまでの間、立ち入り禁止措置と警告表示を行ない、施設内に周知する。
- 配電盤レベルで冷却系、警報装置以外のMR装置のシステム電源を遮断する。

(C) MR装置が設置された建物が目立った損傷を受けている場合（MR装置の被害の有無を問わない）

- 高圧の電気回路を有する装置であることを念頭におき、津波や降雨等に起因する漏電、回路損傷（警報装置も含む）の危険性に留意すること。
- 損傷の状況からクエンチ、火災リスクの程度を評価すること。
- 撮影室の電磁シールドの損傷を念頭において、その影響に留意すること。

(D) 建物やMR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、MR検査室が震度5弱以上の影響を受けており、MR装置メーカーによる点検が当面期待できない場合

- クエンチや漏電による火災発生、通電による故障箇所の破損拡大の危険性があることを念頭において、緊急性の認められない検査は行わない。
- 人命救助の観点から緊急性の高い検査の要請がある場合は、現場で可能な限りの点検を行ない異常の内容と程度を確認した上で、連絡可能ならばメーカーの意見も参考にし、施設の最高責任者がMR装置使用の可否を最終判断する。
- ファントムを用いたテスト撮影と寝台の動作確認を十分に行ない、装置の動作異常が無いか念入りの確認を行う。
- 不測の事態の発生に備え必要最小限の検査内容とし、十分な人員を充てること。
- 送信機能のあるコイルに損傷が疑われる場合はそのコイルの使用を控えること。

(E) 上記のいずれにも該当しない場合

- 施設で定めた所定の点検手順が完了するまでは MR 装置の使用は控えること。
- 使用前に MR 装置メーカーの点検を受けることが望ましい。
- 状況の変化は常に生じうること、特に余震や降雨の影響を考慮すること。

3. MR 装置の受けた被害状況の点検項目

以下の項目について緊急点検して状況把握し、危険性を予測する。

注1：MR 装置の安全管理に関する十分な知識と経験がある者が監督し、必要に応じて複数名で作業にあたること。

注2：MR 装置再稼働の条件ではない（装置ごとに定められた復帰手順に従うこと）。

注3：装置メーカーとも意思疎通した上で、危険を伴わない可能な範囲で行うこと。

(A) クエンチが発生していないか

- ヘリウムの沸騰による白煙の発生を伴うクエンチが生じた場合
 - ✓ 直ちに排気ファンを作動させた上で撮影室内から患者を避難させること。
 - ✓ 排気ファンが作動しない場合は酸素アラームに注意しながら低姿勢で患者救出にあたること（酸素濃度が 18%まで低下すると危険）。
 - ✓ 撮影室内にヘリウムガスが漏れ出していないか確認すること¹。
 - ✓ 排気経路周辺で冷却されて液化した空気が流れ落ち、凍傷の原因となりえるので注意すること。
 - ✓ 患者退避後は撮影室内に誰もいないことを確認すること。
 - ✓ 火災ではないことを施設の災害対策担当と消防に連絡する。
 - ✓ 低温のヘリウムガスによる怪我人が発生していないか排気経路を点検する。
- 液体ヘリウムの沸騰による白煙発生が確認されていないものの、磁場消失が疑われる場合はガウスメータで磁場の有無を確認する（ガウスメータ本体を MR 装置に近づけすぎないこと）。
- ガウスメータが無い場合は数グラム程度の金属製ゼムクリップを丈夫な紐に結びつけて吸引力を確認する（MR の安全に熟習した者が行うこと）。
 - ✓ 吸引を確認するだけでよく、偏角 45 度程度までにとどめ、あまりゼムクリップを MR 装置に近づけない事（漏洩磁場の分布を確認しておくこと）。
- クエンチ発生サインではないが、以下の注意すべき兆候が見られた場合は監視体制を強化し、担当者以外は MR 検査室への立ち入りを禁止すること。

¹ マグネット周辺で冷却された空気も白く見えるので、特定の場所から漏れ出ているかどうかを確認すること。

- ✓ マグネット上部に白煙が見られないか。
- ✓ マグネットの圧力計がゼロになっていないか²。
- ✓ マグネット付近から異常音がしないか。
- ✓ コールドヘッド付近に氷結がないか。
- ✓ マグネット表面に異常な結露が見られないか³。
- 強制排気ファンの電源やクエンチボタンのバッテリーの状態を確認する。
 - ✓ 設置や装置仕様の違いに注意し、誤って強制クエンチを作動させないこと。
 - ✓ 状況により手動で強制排気装置の動作確認を行う。
- クエンチが発生していない場合でも、当面はヘリウムメータの数字や内圧を定期的に記録し、液体ヘリウムの減少傾向を把握するとよい。
- 停電により冷却装置が停止し、ヘリウムメータが使用不能の場合はマグネットの監視をより慎重に行う。
 - ✓ あらかじめ長期停電時の液体ヘリウム残量監視の方法を MR 装置メーカーと協議の上、検討しておくこと。

(B) 冷却システムが正常に稼働しているか

- 室外設置の冷却装置も含めて冷却システム全体の稼働状態を確認すること。
- マグネットの冷凍機（コンプレッサ）とその冷却装置の両方が動作しているか。
- 冷却装置やその配水管全体に漏水がないか、断水していないか。
- コールドヘッドが動作しているか、コールドヘッド周辺に氷結がないか。
 - ✓ 冷却システムに損傷が見られた場合、装置メーカーと連絡を取り応急的処置について協議すること。
 - ✓ 停電により冷却システムが停止し、非常電源への切り替えが可能な場合、切り替えの手順について複数名で十分な確認を行ってから実施すること。

(C) マグネット（撮影ユニット）が移動していないか

- マグネットや患者用寝台の位置が移動していないか。
- 患者用寝台が正常に動作するか。
 - ✓ 動作確認は非磁性の物体で 30kg 以上の負荷をかけて 2 回以上行うこと⁴。
- エンクロージャ（被い）に患者や職員が受傷する原因となる破損部位がないか。

² 破裂板や配管が損傷を受けている可能性があるが、エンクロージャを開ける必要があり注意すること。

³ 真空層の異常や真空容器のダメージの可能性はあるが、確認にはエンクロージャを開ける必要がある。

⁴ 単独で人体程度の荷重を持つ非磁性の物品を探すことは難しいので、複数のファントムを組み合わせるなどの工夫をする（安全のために、最初から人を載せてテストしないこと）。

- マグネットの移動に伴う配線、配管（特に排気管⁵）の損傷が無いか
 - ✓ 排気管が断裂している場合、クエンチが生じた時に正常に排気されない。
 - ✓ 可能な限り屋外の大気解放口やそこまでの配管の接続を確認する。
- 配線、配管の様子を確認するためにエンクロージャ等を取り外す場合は複数名で作業し十分な注意を払うこと。
 - ✓ 踏み台や梯子は MR 装置の点検用に準備されている専用の非磁性のものを使用すること。

(D) 機械室のユニット群（電源、制御、冷却系等）が移動していないか、移動の形跡がないか

- アンカーボルトの破損がないか、設置が不安定なキャビネットがないか。
- ブレーカーはどのような状態になっているか。
 - ✓ OFF になっている場合、安全が確認されるまで ON にしないこと。
 - ✓ 半落ち（トリップ）の状態になっている場合は対処の方法をメーカーに確認すること。
 - ✓ 通常状態で OFF とすべきブレーカーもあるので注意すること。
- システムキャビネットや撮影装置を結ぶ配線の損傷がないか、断線、短絡、漏電等による異常がみられないか。
- 貫通盤⁶ やマグネットのエンクロージャ内部で高圧系が露出している部分に異変がないか。
 - ✓ 電気系統の異常が疑われる場合は、安全が確認されるまでそのMR装置は使用しない。

(E) 撮影室の出入り扉、天井や床、壁に損傷が無いか

- MR撮影室の扉の取り付けに不具合が生じていないか開閉の動作点検を行う。
 - ✓ 重量が大きいので注意すること。
- 壁、床、天井に亀裂等の損傷がみられる場合には該当部位にマーキングを行う。
 - ✓ 天井は冷却システムの配管が通るマグネット上部の状況に注意する。
 - ✓ 天井のマーキングは該当部分の床等へのマーキングか張り紙等でもよい。
 - ✓ マーキングの材料に注意すること（非磁性、不導体）。
- 建物の損傷が激しい場合、電磁シールドの機能が低下している可能性がある。

⁵ 大量に気化したヘリウムを排気する配管、クエンチダクトとも呼ばれる。

⁶ 電磁シールドを損なわないで撮影室の内外を配線接続するための貫通型配電盤（penetration panel）。

(F) 空調が正常に動作しているか

- ✓ 機械室や撮影室の空調が正常に機能していない状態で MR 装置を稼働させると、加熱による誤動作、停止、さらには故障の可能性があるので、電源投入は MR 装置の要求する温度、湿度環境に到達してから行うこと。

(G) 酸素濃度計等のモニタが正常に動作しているか

- 酸素濃度計は適切な数値を示しているか。
 - ✓ 地震後の停電時には酸素濃度計等のモニタ類も機能を停止しており、警報が発せられない可能性がある。
 - ✓ 復電後であっても何等かの原因でモニタ類が正常に動作していない可能性がある。

(H) MR室に酸素ガス等の配管がなされている場合は、ガスの漏れがないか

- ✓ 状況に応じて元栓を閉めるべきかどうかを検討する。

(I) オープン型MR装置の場合、磁極の支持構造に破損がないか

- ✓ 支持構造の破損は患者や操作者の圧潰につながる危険性を伴うので、その MR 装置は使用しない。

(J) 津波や雨漏り等による浸水の影響をうけていないか

- 特に壁内や床下への影響を見落とさないこと。
- 建物外壁や基礎部分の状態にも注意すること。

4. MR 装置の重大な損傷

以下のような破損が MR 装置に見られる場合は、使用上の危険や破損拡大の可能性があるので、メーカーによる復帰作業が完了し、安全が確認されるまで使用しないこと。

- マグネットの移動
- マグネットの架台破損
- マグネットや冷却機からの異常音発生
- マグネット上部の配管の損傷、異常（特に排気管）
- 冷却システム（室外機も含む）の破損
- 寝台の破損、可動性不良
- 磁性体の吸着⁷

⁷ 磁性体の吸引事故が物損にとどまり、人命への影響が予見できない場合は、原則としてその場での引き剥がしは行わずに MR 装置メーカーと協議のこと。

- MR 装置や配線経路への浸水、または浸水の痕跡
- システムキャビネットやコンソールの移動、転倒、破損
- 撮影室シールドの重大な破損
- 液体ヘリウム残量が限界線以下に低下⁸
- 送受信コイルの落下による破損（破損の疑い）

5. 静磁場発生時の周知とクエンチ対策

超伝導型の MR 装置がクエンチして消磁された場合を除いて、MR 装置（永久磁石型を含む）は停電時でも強力な磁場を発生し続け、そのために吸引事故が発生しうることを周知する。

- 超伝導型装置の場合は液体ヘリウムの残量に注意する
 - ✓ 液体ヘリウムの残量が確認できない場合は目視によるマグネットの観察を続ける。
 - ✓ マグネットの内圧に変化が無いか記録をつける。
 - ✓ 地震による振動で液体ヘリウムの減少が生じる場合がある。
 - ✓ 停電による冷凍機の停止により液体ヘリウムは減少し、液体ヘリウムの充填がないままの状態が続くとクエンチに至る。
- 静磁場が発生している旨を周知するために MR 撮影室や検査室の入口に張り紙等による警告を行なう。
 - ✓ 医療スタッフでも停電時には磁場は発生していないと誤解している可能性がある。
 - ✓ MR 装置や建物がかなりの損傷を受けていても、一定量の冷媒が残っていれば超伝導マグネットは磁場を発生し続ける。
- 激甚災害の発生時にはクエンチ時の対策である排気設備や酸素モニタに異常が生じている可能性があるため、強制排気システムの動作試験や酸素濃度計の動作状況の確認等を行う。

6. 復帰に向けた準備、システム管理全般

- MR 装置の使用を停止すべき該当事項が無いか確認する⁹。
- まず空調と冷却系を復帰させ、室温やマグネット内圧が基準値に復帰し安定す

⁸ 限界線はマグネットの仕様や定義により異なり、何段階かあるので指標とすべき数値を確認のこと。

⁹ MR 装置を停止すべき事項が認められないことが、そのまま装置の再稼働の安全性を保証するわけではないので、メーカーとも協議の上、施設が定める手順に従って再稼働の可否を判断すること。

るまで一定時間の正常動作を確認する。

- MR 装置メーカーの指定する手順に従って再点検を行ない、MR 装置のシステムの立ち上げを行う。
- システムが正常に立ち上がったら、インターフェイスの表示やデータベースの状況に異常が無いかを確認する。
- システムの自己点検ユーティリティが装備されている場合は、それを利用して異常の確認を行う。
- 寝台の動作点検を 2 回以上行う。
- マグネット内の患者と意思疎通するためのインターコムなどが正常動作するかを確認する。
- 通信が確保されている場合は MR 装置メーカーに連絡しオンライン点検等を受けて異常の確認を行う。
- その他、異常動作が無いことを十分確認した上でファントムを使ったテスト撮影を行ない、画像を確認する。

全般的な注意事項

- ✓ MR 装置の復帰手順については、あらかじめメーカーと協議しておくこと。
- ✓ 停電後、空調、冷却、監視システム、ネットワークシステム等が自動復帰していないか、又は適切な復帰を行っていない可能性がある
- ✓ 停電の発生に伴い監視システムの警報音を止める操作がなされていることがある
- ✓ 停電発生の有無が不明の場合は、停電の発生を想定して停電後の点検として定められている内容を行うこと
- ✓ 各 MR 装置メーカーが停電後の復帰手順を定めているが、MR 装置の管理責任者もその内容を把握し、必要に応じて点検が実施できるように普段から備えておくこと、そのためには監視装置が普段示している数値を把握しておくこと（メモを表示装置付近に掲示し、必要な時の確認を容易にする）。
- ✓ あらかじめテスト撮影の画像と比較できる正常画像を準備し、MR 装置のデータベースに保管すること。

資料

1. 震災等における MR 装置のクエンチ分類

- 即時クエンチ：地震による振動や建物の崩壊などの物理的な衝撃が発生している最中や、そのような事象が発生してから 24 時間以内にクエンチが発生し、震災のエネルギーがクエンチの直接の引き金になったと考えられる場合。
- 遅延クエンチ：震災により生じた装置の不具合（マグネットのパーツの損傷を含む）やヘリウム の急激な減少に供給が追いつかず冷媒不足になったなどの間接的（2 次的）な原因によると考えられるクエンチで、おおむね本震や余震の 24 時以降に発生したもの。
 - ✓ 本震や余震から 4 週間以内に発生し、かつその原因が不明な場合は遅延クエンチに分類する。
 - ✓ 本震や余震から 4 週間を過ぎていても震災との関連性が確認できる場合は遅延クエンチに分類する。
- 原因不明のクエンチ：装置にクエンチの原因となる具体的な損傷やトラブルが見あたらず震災やその他の特定原因との関連性が不明であり、本震や余震から 4 週間を過ぎてから発生したクエンチ。

*本分類は災害の影響との関連を基準にした分類であり、物理工学的な分類ではない。

文献

1. 東日本大震災による MR 装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

MR 検査室の防災指針

目次

前文	1
1. MR 装置の設置	2
2. 建物構造	4
3. 防災情報システムの活用（緊急地震速報）	4
4. MR 装置室の防災点検	4
5. 防災訓練	8
6. 防災計画における留意点	11
資料	12
文献	14

前文

MR 装置は通常経験する地震に耐えられるように設計、設置されているが、直下型地震や大震災では MR 装置本体だけでなく、付帯設備やインフラの障害の影響が避けられない。本指針では、東日本大震災による MR 装置の被害状況の調査結果に基づいて、震災による被害を最小化し、震災後の MR 装置の安全管理と復帰の迅速化を計る上で有効と考えられる事前対策を集約した。MR 装置の設置場所、機種や設置状況、診療体制等により最適の選択肢が異なる部分もありうるので、各施設で情報を収集し、十分検討の上、施設としての具体的な防災指針を定めていただきたい。

1 MR 装置の設置

地震による強振動で MR 装置本体ならびに周辺装置が被る損傷を最小限に抑えるための具体的な方策について述べる。

1.1 MR 装置本体ならびに患者用寝台、排気管

1.1.1 設置方式

- ・ 東日本大震災以降に各装置メーカーが採用している MR 装置本体の設置方式は、硬性固定（1. アンカーボルト固定方式）、軟性固定（2. エポキシ樹脂固定方式¹⁾、非固定（3. 鋼板上非固定設置方式、4. 鋼板上非固定制振設置方式、5. 台座配置方式、6. 改良台座配置方式²⁾）に分類される（資料 I 参照）。
- ・ 従来型のアンカー固定しない 3 方式（上記 3-5）はアンカー固定方式よりも装置本体への全般的な被害傾向が見られることが明らかとなった（文献 1）。特に装置本体の移動により気化したヘリウムの排気管（クエンチダクト）が変形・破断する 2 次的損傷を生じる可能性も高まる。
- ・ 震度 5 以下では MR 装置の全般的な被害程度の軽減にはアンカーボルト固定方式が有効である³⁾。
- ・ 復旧の工数については、従来型のアンカー固定しない 3 方式（上記 3-5）は、アンカー固定方式で生じうる床の破損やボルト破断等の結果、重大な損傷による修繕が必要となった場合と比較すれば、少ない期間と費用で修復可能と考えられる。

1.1.2 患者用寝台

- ・ 装置本体と完全に一体型の場合は装置本体とほぼ同一の挙動をする。
- ・ 脱着式の寝台は本体に固定されている限り、装置本体と挙動を同一にすると考えられる。脱着式の寝台は患者を速やかに撮影室外に避難させられる利点があるが、強い軸ずれ等の原因により本体から外せなくなる場合も想定して、脱着式であっても非常時のための非磁性ストレッチャーを常備することを推奨する。
- ・ 昇降機構が装置本体から独立している場合は、強振動により昇降機構のみが移動してマグネット本体と患者寝台の軸にずれが生じ、患者テーブルをボア内から引き出せなくなる場合がある。その防止のために昇降機構の床への十分な固定が望ましい。

¹ エポキシ樹脂固定方式は、阪神淡路大震災以降に採用された方法である。東日本大震災でマグネット本体の移動損傷を経験した施設の中には、復旧に際してこの方式を採用した施設があるが、震災時における評価はまだ定まっていない。

² 改良台座配置方式は、東日本大震災後に採用された方法で、震災時における評価はまだ定まっていない。

³ 震度（気象庁震度階）と設置方式毎の地震被害の状況： 東日本大震災では MR 装置へのなんらかの被害の有無に関して、震度 5 強まで（被害発生率 10～11%）と震度 6 弱以上（36.5%）で有意差が認められた。また、アンカー固定あり（13.0%）とアンカー固定なしの場合（36.4%）でも被害発生率に有意差を認めた。

1.1.3 排気管（クエンチダクト）

- ・ MR 装置本体の移動による排気管の損傷を防止あるいはその程度を軽減するため、装置メーカーと協議の上、十分な強度を持ち、かつフレキシブル機構を有する材料での施行が望まれる。
- ・ 今後の MR 装置本体の設置に際しては、各方式の特徴を十分に理解の上、当該地域で想定される最大の振動を考慮し装置メーカーと十分協議して決定すること。

1.2 機械室に配置される各種キャビネット

- ・ 機械室に配置されるキャビネット類は相当程度の高さを有するものが多く、強振動による移動と共に転倒防止のための対策が必要である。
- ・ 壁際に設置される各種キャビネットは、「医用画像診断装置の耐震指針（JESRA X-00862000）」に則り、キャビネット前下部、キャビネット後下部（壁側）、キャビネット後上部（壁側）の組み合わせにより固定すること。

1.3 操作卓ならびにメインコンピュータ

- ・ メインコンピュータや操作コンソール・各種モニタ等を載せたテーブルは、強振動での移動による壁等への衝突や移動による各種ケーブル・コネクタの破断を防止するために床への固定が望ましい。
- ・ キャスター付きの机脚等は、必ずキャスターを固定しておくこと。
- ・ 操作コンソール・モニタ等は、テーブルの上に防振マット等を敷くことにより振動による滑り・転落を抑制することができる。

1.4 受信コイル等の整理棚

- ・ 棚板に防振マット等を敷くことにより受信コイル等の収納品の滑り・転落を抑制できる。

1.5 前室に配置の備品等

- ・ 通常、前室には点滴スタンド・救急カート・各種廃棄ボックス等の備品が配置されている。強振動あるいは MR 室が高層階に設置されていて長周期振動があらかじめ想定される場合、患者救出等の際に開放状態となった撮影室入口から、これらのキャスター付備品が撮影室内部に進入する可能性がある。その事を念頭において、キャスター付備品については撮影室入口付近への配置を避けると共に、キャスターをロックした状態で配置することにより吸引事故の防止に留意すること。

2 建物構造

2.1 建物の免震化

建物の建築時に建物を免震構造にすることが最大の地震対策と言える⁴。

免震構造で施行されなかった場合は、床免震装置や台座（機器）免震装置等により部分的に免震化する技術・工法も開発されている。なお、採用に際しての留意すべき事項は資料Ⅱを参照されたい。

2.2 長周期振動に対する対策

- ・ 高層建築物の高層階では、地震の発生により建物の固有周期に基づく共振現象により長周期振動に見舞われる場合があるが、このような長周期振動に対して MR 装置がさらにどのような挙動を示すかは不明な部分が多い⁵。現段階では、できるだけ下層階への設置が望まれる。
- ・ 既に高層階に設置されている場合は、「1.5 前室に配置の備品等」に述べた対応が必要である。

3 防災情報システムの活用（緊急地震速報）

先に伝わる地震波である P 波を検知し、地震被害の主因となる S 波が伝わる前に逼迫した危険を知らせる緊急地震速報（予報）⁶は、S 波到達前にガントリー内の患者救出を開始する契機となるので、その受信設備を整備することが望ましい⁷。

- ・ S 波到達予想時刻の情報が提供される緊急地震速報（予報）が推奨される。
- ・ 緊急地震速報（予報）は地震到達までの時間や震度に誤差が含まれることを念頭に置く必要がある。
- ・ 現時点では、直下型の地震に対しては緊急地震速報の恩恵は少ない。

4 MR 装置室の防災点検

災害による被害を最小限に止めるためには、日ごろより防災を意識した点検を行うことが肝要である。以下に地震等の災害に備えて定期的に行うべき点検項目を要約するので、各施設で必要事項を手順書に反映させ、項目のチェックシートを作成されたい。

⁴ 基礎免震の有効性： 東日本大震災において、宮城県北部の震度 7 を記録した地域のある施設は、同一メーカーの MR 装置を 2 台所有し、1 台は基礎免震構造による本館に設置し、もう 1 台は耐震構造の平屋建て別棟に設置していた。免震構造本館の装置には全く被害がなかったが、耐震構造の別棟に設置した装置は本体が台座から外れ大きく移動し、本体カバー下部が破損、上部カバーが脱落する等の大きな被害を被った。別棟も高い耐震性能により、本館同様に建物自体に損傷はなかったが、内部はまさに震度 7 の激震を免れなかったのである。

⁵ 東日本大震災において、東京都内のビルの 9 階に設置された MR 装置が大きく回転・移動した事例が報告されている。

⁶ 緊急地震速報には、警報と予報の 2 種類がある。地震波には P 波（秒速約 7km）と S 波（秒速 4km）があり、P 波による揺れが初期微動、後から伝わる S 波による強い揺れが主要動で、後者が被害をもたらす。緊急地震速報（予報）はマグニチュード 3.5 以上を推定（又は震度 3 以上を予測）した場合に、S 波到達予想時刻や受信地点の予測震度などの情報を提供する。緊急地震速報（警報）は震度 5 弱で警報が発せられるが、具体的な推定震度と猶予時間は発表されない。

⁷ インターネットでも緊急地震速報を受信するシステム（ソフトウェア）も提供されている。

- 4.1 緊急地震速報(警報または予報)による地震発生通報システム(設置のある場合)
- ・ システムの動作原理を理解し、その正常動作を確認する。
- 4.2 停電発生時に動作する自家発電設備等の非常電源設備
- ・ 自施設に設置されている非常電源設備の概要を理解する。
 - ・ 自家発電装置については、運転可能日数の推定のために A 重油等燃料の貯蔵量を確認する。水冷式自家発電装置の場合は、冷却水の供給方法についても確認する。
 - ・ 非常用電源設備からの電源供給範囲を確認する。(MR 装置本体、冷凍機等冷却システム、空調システム、強制排気ファン、酸素濃度計、電灯・コンセント等)
 - ・ 遅延クエンチ発生を防止するために、液体ヘリウムの蒸散を抑制する冷却システムへの非常用電源設備からの電源供給が望まれる。さらに、可能であればクエンチが発生した際の安全対策として強制排気ファンや酸素濃度計への電源供給も望まれる。但し、非常用電源設備からの電源供給の範囲については、容量と施設全体の優先順位により決定すること。
- 4.3 停電発生時の情報収集方法
- ・ 停電発生時には院内電話・PHS 等は使用不能になることを考慮し、院内の災害対策本部等の設置場所・メンバー・連絡体制についてあらかじめ周知しておく。
 - ・ 停電の際の外部との連絡方法として、衛星電話は有効な手段である。衛星電話が配備されている場合はその動作確認を行う。
- 4.4 液体ヘリウムの残量確認方法
- ・ 停電によって冷却システムが長期に停止する場合には、液体ヘリウムの減少量は通常よりも大きくなるため、停電時の液体ヘリウム残量は確認すべき重要な情報である。
 - ・ 液体ヘリウムの残量は、機械室(コンピュータールーム)内のレベルメータに表示されるものと、システムが起動した状態で操作卓画面内に表示させるものがある。残量確認の方法を周知しておくと共に、停電時は液体ヘリウムの残量が通常の方法では確認できない場合がほとんどであることも周知しておく。
 - ・ 停電により冷却システムが停止した際の液体ヘリウムの減少率を事前に MR 装置メーカーから情報入手しておくことが望ましい。尚、残量を推測するためには、通常使用状態での減少推移も参考となるので、日常点検時に液体ヘリウム残量を記録しておくことを推奨する。
 - ・ 液体ヘリウムの減少によりクエンチを生じる限界残量(％、リットル)と、そ

の指標としての意味は、マグネットの仕様により異なるのでMR装置メーカーに確認しておくといよい。

4.5 クライオスタット内圧の確認方法

- ・ ユーザーが簡便にクライオスタット内圧を確認できる装置については、表示装置の位置を確認する。
- ・ クライオスタット内圧の正常範囲を周知しておく。

4.6 酸素濃度計の確認と周知事項

- ・ 撮影室内酸素濃度計の設置場所を確認する。
- ・ クエンチが発生し、撮影室内にヘリウムガスが充満すると酸素濃度が低下する。
- ・ 酸素濃度の正常範囲は 20~21%であり、酸素濃度が 18%以下になった場合は危険なので原則として入室を禁止する。
- ・ 停電の際はバッテリー駆動への自動切り替えが設定されていない限り酸素濃度計が動作しないので、撮影室への入室に際しては十分注意を払うべきである。
- ・ 停電から復電しても直ちにはセンサーが正常に働かない。

4.7 強制排気ファン⁸の確認と周知事項

- ・ 強制排気ファンのスイッチ位置を確認する。
- ・ 強制排気ファンは、クエンチによるヘリウムガスの撮影室内への漏出に際して酸素濃度の低下に連動して自動的に動作するように設計されている。
- ・ 手動スイッチにより強制排気ファンの動作確認をする。(但し、大きな音がするので予め院内や周辺住民に周知するなどの配慮が必要である。)

4.8 緊急電源停止ボタンの確認

- ・ 緊急にシステム電源を停止させるためにボタンの位置を確認する。
- ・ 装置メーカーごとの「緊急電源停止ボタン」の動作内容を確認する。

4.9 緊急消磁ボタン (クエンチボタン) の確認

- ・ 即時に磁場を落とす「緊急消磁ボタン」の位置を確認する。
- ・ 「緊急消磁ボタン」の操作により消磁する際の装置の挙動についてあらかじめ周知しておく。

4.10 磁性体が吸着した場合の対応手順と周知事項

- ・ 磁性体が装置本体に吸着した場合に、「緊急消磁ボタン」を使用して磁場を落

⁸ JIS Z4951:2012「磁気共鳴画像診断装置-基礎安全及び基本性能」では緊急排気システムについては規定されていないが、日本画像医療システム工業会 (JIRA) が作成した「MR装置引き渡しにおけるガイドライン Rev. 1.1」には「MR室内には、緊急排気装置と酸素モニタが備わっていることの確認 (超電導タイプのマグネットの場合)」とあり、災害に備えての日常点検も重要である。

- とすかどうかの判断は、「人身事故であるかどうか」が一つの判断基準である。
- ・ 熟練していない者が吸着した磁性体を引き剥がそうとする行為は、2次災害を引き起こす可能性が高い。物損だけの場合は、装置メーカーのサービスマンに対応を依頼すること。

4.1.1 非常用マニュアルの設置場所の確認（停電下でのマニュアルの参照手段）

- ・ 非常用マニュアルは停電を想定して必ず印刷物を用意し、設置場所を確認する。

4.1.2 現場の立ち入り禁止措置

- ・ 発災後、強磁場の危険性から患者・職員、警官・自衛官等を保護するために撮影室（マグネットルーム）への入室を厳重に制限する必要がある。
- ・ 「立ち入り禁止テープ」による立ち入り制限、開錠が必要となった際の連絡先を記した「MR室施錠中！」の張り紙をしたうえでの施錠等により、立ち入りを禁止することを周知しておく。これらの処置に必要な材料を予め準備し保管しておくことよ。

4.1.3 MR装置破損状況の確認事項の把握

- ・ 装置本体の移動、患者用寝台の移動、支持機構の破損、本体カバー（エンクロージャー）の脱落・破損、各種ケーブルの破損・破断、クエンチパイプの破損・破断、受信コイル等整理棚の移動・転倒
- ・ 操作卓の移動・破損、メインコンピュータの移動・破損、機械室キャビネットの移動・破損・転倒、空調機の破損
- ・ 扉・壁・天井・床・磁気シールド・電磁シールドの破損
- ・ 中央配管設備（酸素・窒素・吸引）の設備の破損・パイプ類の破断（ガス漏れに備えて、遮断栓の位置を確認）
- ・ 冷凍機の破損・パイプ類の破断、空調機室外機の破損・パイプ類の破断（漏水に備えて、止水栓の位置を確認）
- ・ 津波や漏水・雨漏りによる浸水の有無

4.1.4 ヘリウム排気管の室外排気口とその周辺の点検

- ・ クエンチ発生の際に強制排気ファンが作動すると、排気管を通り室外排気口から低温のヘリウムガスが排出される。室外排気口には、ヘリウムガスの排出を妨げる障害物（鳥の巣など）がないか、また、その周辺には柵等で人の立ち入りを制限する対策が施されているか確認する。

4.1.5 応援体制、避難誘導の役割分担

- ・ 必要に応じて応援を得るための体制を確認する。

- ・ 入院患者・外来患者の避難誘導等への人員の派遣について確認する。

4.1.6 主な災害対策用常備品

- ・ 携帯型強磁場警報機、携帯型酸素濃度計、ケミカルライト、非磁性消火器、非磁性体のバール（撮影室ドアが歪んで開かない時に使用）、立入禁止テープ
- ・ 「MR 室施錠中！」と「強磁場発生中！」の張り紙（いずれも連絡先も記載）

5 防災訓練

日ごろから災害が発生した場合に備えて訓練をしておくことは、被害の程度を最小限にとどめ、さらに2次的被害の発生を抑制するために重要である。頻度は、施設全体の防災訓練にあわせて年1回の頻度で行うことを推奨する。以下に、定期的に行うべき防災訓練として必要と考えられる事項を示す。

5.1 初期対応（地震発生からスキャン中の患者の救出まで）

緊急地震速報受信システムの有無、患者用寝台脱着機能の有無により初期対応は異なる。

5.1.1 地震発生、直ちにスキャン停止

a. 緊急地震速報の受信手段を有する場合

緊急地震速報の発令により直ちにスキャンを停止する。

b. 緊急地震速報の受信手段がない場合

初期微動（P波）を感じた時点で直ちにスキャンを停止する。本震（S波）襲来前の可及的早期にスキャンを停止することを強く勧める。

5.1.2 撮影室への入室、患者を前室まで退避

クエンチ発生に備えて、入室前に手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる。（強制排気ファンのスイッチが操作卓から遠く、その起動に時間がかかる場合はクエンチが発生していない限り入室を優先させる）。

①可及的速やかに撮影室に入り、患者に「地震が来ます」と声をかけながら患者をボア内から患者用寝台上に引き出す。次のようなケースを設定して、訓練することが望まれる。

- ・ すでに激しい揺れにより装置本体が移動しており、患者用寝台との間で軸ずれが生じ、途中から患者テーブルを引き出せなくなる。
- ・ 頭頸部用の大型受信コイルが激しい揺れでボア内壁に干渉し、途中から患者テーブルを引き出せなくなる。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者はマジックテープ等を利用した患者固定帯で固定されている。

- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は乳房用受信コイルにうつ伏せの状態固定されている。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は全下肢撮影用の大型受信コイルで固定されている。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は怪我や障害等により自力で動くことが困難である。

② a 脱着式の患者用寝台の場合

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を本体から引き離してそのまま前室まで引き出し、寝台を降下させる。
- ・ 患者用寝台を本体から引き離す前に激しい揺れが襲来した場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に、自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を本体から引き離して前室まで引き出し、寝台を降下させる。

* 強振動による軸ずれ等の物理的被害により脱着式の患者用寝台がマグネット本体から取り外せなくなる場合を想定して⁹、非磁性のストレッチャー等も常備すると有用である。

b 本体と一体型の患者用寝台の場合

i) 独歩患者に対して

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ、引き続き患者を前室まで誘導する。
- ・ 患者用寝台を降下させた時に激しい揺れが襲来してしまった場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に、自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を最低位置まで降下させ、患者を前室まで誘導する。

ii) 独歩以外の患者に対して

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ、そのまま揺れが収まるのを待つ。
- ・ 激しい揺れが襲来してしまった時は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を適宜降下させ、非磁性のストレッチャー等に移送して前室まで誘導する。

⁹ 東日本大震災において報告あり。但し、本体と一体型と同様の状態になるのみで、それ以上のデメリットは無い。

5.1.3 初期対応の留意点

初期対応の最大の目的は患者の安全確保であることは言うまでもない。さらには、スタッフの安全確保も重要である。初期対応の訓練では以下の事項を理解する。

- ・ 激しい揺れと同時に停電が発生し、非常照明の僅かな明かりの中での対処となる可能性がある。
- ・ 激しい揺れのために建物が変形し、撮影室の扉が開閉不能となることもある。撮影室に入る際には扉を開放状態で固定する工夫も必要である。
- ・ 激しい揺れによる装置本体や患者用寝台の移動に起因する身体の挟み込み、ならびに脱落した本体カバーや整理棚から転落した受信コイル等による殴打の危険性がある。
- ・ 即時クエンチが発生する可能性があるが¹⁰、その場合は慌てずに次の対応を行う。
 - ✓ 操作室にいる時点でクエンチが発生した場合は、直ちに手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる。

通常、強制排気ファンは室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作するように設計されているが、自動動作を待たずに手動で動作させる。
 - ✓ 次に、直ちに撮影室に入室し、自らの姿勢を低く保ちつつ可及的速やかに患者を引き出し前室まで退避する。

撮影室内にヘリウムガスが漏出することを想定して、頭の高さを発生した雲状のヘリウムガス¹¹よりも低くするために、姿勢を低く保ちつつ¹²、可及的速やかに患者を引き出し、患者にもできるだけ低姿勢を取らせて前室まで退避する。
 - ✓ 撮影室に入室中にクエンチが発生し、室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作しなかった場合は、手動スイッチで動作させる。
 - ✓ 強制排気ファンが作動しなかったり、マグネットの移動により排気管が断裂して、想定よりも多量のヘリウムが撮影室内に放出される可能性がある。
- ・ MR 装置本体の移動等による各種ケーブルの破損・破断が生じた状態で MR 装置を使用すると、電気火災発生の可能性がある。このような状態で通電してはならない。
- ・ 中央配管による酸素配管の破断による酸素漏出の可能性はある。

¹⁰ 発災直後に地震が原因となって発生するクエンチで、東日本大震災での頻度は約 1%

¹¹ 天井付近から次第に床に向かって充滿し、極低温のために空気中の水蒸気を結露させて白い雲のように見える。

¹² 肺泡毛細血管から肺胞腔に出てくるガスの酸素濃度はおよそ 16%であり、通常は空気中で濃度 21%の酸素と濃度勾配に従って交換される。16%以下の酸素濃度の空気を吸い込むと、通常とは逆の濃度勾配により血中酸素が肺胞腔に引き出され、血中酸素濃度の低下を引き起こす。この状態が呼吸中枢を刺激し、反射的に呼吸を促進することになり、さらに低酸素濃度の空気を吸い込んで悪循環に陥る。このように酸素濃度の低い空気は一度吸い込むだけで死に至る危険がある。

- ・ 沿岸地域においては、津波の襲来にも留意しなければならない。
- ✓ あらかじめ津波被害が想定されている地域では、常に津波到達までの時間を念頭に行動すること。
- ✓ 初期対応に引き続き、上階への避難や指定避難所への避難を一連の行動として訓練することが望ましい。
- ・ ダムの決壊・山崩れ等々、施設の立地条件により起こりうる 2 次的災害についてもあらかじめ検討しておくことを推奨する。

5.2 患者・付添家族・スタッフの安全確認と報告

5.2.1 人的被害状況の確認および応急処置

- ・ 初期対応に引き続き人的被害の状況を確認する。
- ・ 怪我人の発生を想定して、骨折・切創等に対する応急処置の訓練も行うことを推奨する。

5.2.2 人的被害状況を所属長へ報告

人的被害の有無ならびに被害の程度を施設で決められた方法で所属長に報告する。

5.3 施設の災害対策マニュアルに従った対応

上記「5.1」ならびに「5.2」までを MR 検査室での 1 次訓練とし、以降は施設が定めた災害対策マニュアルに従った対応を行う。

5.4 防災点検の実施

上記「4. MR 装置室の防災点検」については、定期的な実施を担保するために、「5.1」、「5.2」、「5.3」に引き続き MR 検査室での 2 次訓練として行うことが望ましい。

6 防災計画における留意点

放射線業務を行う部門や医療施設全体の防災計画の中で MR 検査室の防災計画を位置づけ、優先順位を判断すること。また、時間外、休日等に発災した際には、MR 担当者の登院まで時間を要する可能性があることも想定される。施設の防災マニュアルには、一般職員による貼り紙や立ち入り禁止テープを用いた MR 撮影室への入室制限措置についても記載することを推奨する。

尚、災害時は、通信インフラ障害により装置メーカーのサービス対応コールセンターとの連絡が困難となることが予想される。代替連絡先や代替連絡手段について装置メーカーと協議しておくことが望ましい。