

資料

I 現行の MR 装置の設置方法の分類

1 アンカーボルト固定方式

アンカーボルトにより直接床に固定する方式、現在設置されている装置の多くがこの方式を採用している。

2 鋼板上非固定設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、鋼板上にそのまま据え置く方式。

3 鋼板上非固定制振設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、その上にアブソープションコイルを介してそのまま据え置く方式。

4 エポキシ樹脂固定方式

マグネットの脚部を床にエポキシ樹脂により固定する方式。

* 阪神・淡路大震災後に採用された方式で、1日で施行可能である。

5 台座配置方式

アンカー固定することなく、床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに脚を載せ置く方式。

6 改良台座配置方式

床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに配置し、本体にはキャスター付き脚を台座周囲に追加装備する¹³。

II 建物構造の分類と部分免震

MR 装置の設置されている建物構造の分類を以下に要約する。免震構造については、その種類と各々の特徴を整理し、耐震構造や制振構造に対する優位性についてまとめる。なお、建築基準法施行令改正による新耐震基準施行（1981年6月1日）前の建物は、下記の分類に該当しない。

1 建物全体構造の違いと揺れに対する応答性能

a. 耐震構造

- ・ 建物の骨組みなどを強化し、地震の揺れに対し建物の崩壊を防ぐ。

¹³ 台座に隣接するように、本体側にキャスター付きの脚を追加装備することにより、強振動により本体が台座から転落・移動しても本体カバー裾部の損傷程度を軽減し、復旧作業を簡素化することを図っている。東日本大震災を経験し、台座配置方式の改良型として考案された。

- ・ 柱を強化したり、耐力壁を増やしたり、接合部を固めて耐震性を高める。
- ・ 建物ならびに内部の揺れを減衰することはできない。

b. 制振構造

- ・ 建物に組み込んだ制振部材・装置が地震による揺れを吸収し、建物に地震エネルギーが伝わりにくくする。
- ・ オイルダンパー・鋼材ダンパー・粘弾性壁により地震エネルギーを吸収する。
- ・ 建物の揺れを減衰して損壊を防ぐと共に内部の揺れもある程度低減する。

c. 免震構造（基礎免震）

- ・ 建物の基礎部分に設置された免震装置が建物と地盤を絶縁することにより地震の揺れを吸収、建物への地震エネルギーを大幅に低減する。
- ・ 積層ゴム・すべり支承・転がり支承等で地震エネルギーを吸収し、地震動を長くゆっくりとした揺れに変換する。オイルダンパー等を併用して長く続く揺れを抑制する。条件によって、地震の加速度を数分の1（～9分の1）程度まで、気象庁震度階を2～3段階小さく、それぞれ低減させる効果がある。
- ・ 建物の固有周期を長くしてゆっくりと揺れることで建物の損壊を防ぎ、内部の揺れも大幅に低減する。建物内の人々の安全を確保するだけでなく、設備機器・什器への影響も大幅に低減されるため、地震後の施設の機能維持をはかることが可能となる。
- ・ 但し、高層建築物が長周期振動地震に対して共振する問題があるように、免震構造も建物の固有周期を長くするため、長周期振動地震との共振が問題になる。また、従来型の二次元免震では、鉛直方向の揺れに対しては免震の効果は期待できない。

d. その他（杭頭免震、中間階免震）

- ・ 「杭頭免震」は、免震装置を直接杭の上に設置することで、基礎免震に必要なだった「免震基礎」部分の大幅削減を可能とした。基礎部分の掘削も浅くなり、ローコスト化と工期短縮がはかれる。
- ・ 「中間階免震」は、建物の中間階に免震装置を設置する。基礎部分の深い掘削を必要としない。敷地境界にクリアランスがない、傾斜地である等の条件下で基礎免震よりも有利になる場合がある。

2 部分的な免震構造の種類と特徴

以下の方法は、精密機械や測定装置等に用いられてきた方法であるが、MRI装置への応用は検討が始まったばかりであり、評価はまだ定まっていない。

- a. 床免震
 - ・ 装置を設置する床の一部、あるいは特定の部屋やフロアにのみ免震装置を設置する方法で、必要な装置あるいは部屋全体に後付けが可能。
 - ・ 例えば、セルシートと呼ばれるベースの上に特殊樹脂コーティングの滑走プレートを敷いて免震機構を実現する。
- b. 台座（機器）免震
 - ・ 免震を必要とする装置の下に設置する装置で、必要な装置に後付けが可能。
 - ・ 例えば、直交する2方向のそれぞれ独立した傾斜ルール上を、装置を載せるテーブルが滑走する。
- e. 床免震・台座（機器）免震を設置する際の留意事項
 - ・ 床免震装置に関しては集中荷重の制限があり、10数トンのマグネット本体を4脚で支えるMR装置に応用するには技術的工夫が求められる。
 - ・ 床免震装置ならびに台座（機器）免震装置には可動範囲に制限がある。また、台座（機器）免震装置では装置設置面と床の間に10数センチ程度の段差を生じる。
 - ・ いずれの装置も排気管にはクエンチにより生じる内圧の上昇に耐えられる強度と一定の可動性を必要とする。
 - ・ 装置を設置する範囲での床免震や台座（機器）免震では、強振動や長周期振動の際は人が立つ床に対してMR装置が数10センチの幅で滑ることになり、患者救出の際にスタッフに危険が及ぶ可能性がある。
 - ・ 付加工事による免震化を施行する場合は、壁や天井に接続されている固定物と免震構造上のユニット（マグネット本体や患者寝台等）の移動幅を考慮して、詳細に技術的な設置計画を策定することが求められる。

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
- 2 医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究報告書：日本画像医療システム工業会 1998年3月
- 3 医用画像診断装置の耐震指針（JESRA X-00862000）：日本画像医療システム工業会 2000年
- 4 MR装置引き渡しにおけるガイドライン Rev.1.1：日本画像医療システム工業会 2006年
- 5 病院スタッフのための地震対策ハンドブック -あなたの病院機能を守るための身近な対策- 防災科学技術研究所 2012

MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する調査報告

1 はじめに

震災などの非常時において、MR 検査中の患者を安全に避難させるためには緊急用の非常停止ボタンや操作ボタンを的確に操作しなければならない。MR 装置には他の医用機器に比べ非常用の緊急停止ボタンや緊急操作ボタンの種類が多く、複数の箇所に配置されている。超伝導磁石を用いた MR 装置には必ずクエンチボタンが設置されている。それ以外に、緊急電源遮断ボタン、緊急撮像停止ボタン、緊急排気ファン動作ボタン等もある。これらの仕様や設置場所は装置メーカーにより異なっており、東日本大震災の調査結果¹⁾からその標準化が必要であると考えられた。その主な理由は、1) 大震災のような非常事態において MR 装置の操作者は強度の緊張下に置かれており、MR 装置以外の事項にも注意を分散させなければならないため、平時とは異なるミスを引き起こしやすい心理状態に置かれている、2) 異なったメーカーの MR 装置が設置されている場合や、異なったメーカーの装置に交換された直後などは、メーカーによる仕様の違いが逼迫した状態に置かれた操作者に混乱を引き起こす可能性がある、3) 非常時には、該当の MR 装置を担当していない者が緊急ボタンの操作を行わなければならない状況が生じる状況が発生しうる、などである。本調査研究では主な MR 装置メーカー5社の代表的仕様を確認し、標準化に向けた考察を行った。

2 緊急用非常停止ボタンの分類

マグネット製造メーカーの仕様に基づき、MR 装置製造各社で仕様や設置場所は異なるものの、基本的には以下の緊急用のボタンが存在する。

2-1 クエンチ(消磁)ボタン

クエンチボタンは大型の強磁性体の吸着事故時などの非常時に、強制的に消磁するためのボタンである(図 1)。超伝導コイルの一部の温度を上昇させる操作により超伝導磁石の発生する磁場を消失させるが、その過程で放出されるエネルギーにより超伝導線材を冷却している液体ヘリウムが沸騰し気化するので注意が必要とされている。クエンチボタンは MRI 検査室内には必ず設置されるが、操作室にもう一カ所設置されるかどうかはメーカーの仕様によるところが大きい。停電時でも動作するように内部にバッテリーが装備されており、定期点検や決められた期間でバッテリーのチェックや交換が実施される。



図 1 各社のクエンチボタン

メーカーにより形状が全く異なり、設置場所も施設により異なる。

2-2 緊急電源遮断ボタン・緊急撮影停止ボタン

これらのボタンは、操作卓もしくはその近傍に設置されていることが多いが、デザインや位置はメーカーにより異なる(図2)。また、類似の用途に見えても、実際にどこまでの停止や遮断が行われるかは異なる(表1, 2)。緊急撮影停止ボタンの主用途は撮影を即時に止めることであるが、その後の作業を念頭においてシステムをどのような状態でスタンバイさせるかはMR装置メーカーによって異なる。さらに、これらのボタンを使用いた時に、患者が寝ている寝台がロックされるメーカーとフリーになるメーカーがある点は注意を要する。一方、緊急電源遮断ボタンは冷却系を除くMR装置の全ての電源を即時に遮断するものであり(但し、強制クエンチは行わない)、火災の発生等の事態を想定している。但し、マグネットの冷凍機が停止する装置もある。それぞれの施設で緊急時の対処手順を作成する時に、個々の装置の仕様を十分確認するべきである。



図2 緊急撮影停止ボタンの例
デザインは似ているが、配置されている場所はメーカーにより異なる。

表1 緊急電源遮断ボタンの仕様比較

メーカー	電源の遮断状況	寝台の状態
A社	MR装置に供給されている全ての電源が遮断される。チラーなどは遮断されない	フリーになる 上下動不可
B社	分電盤の主ブレーカーが落ちる。MRIシステム全体の電源が落ちる。冷凍機のコンプレッサー、酸素濃度計、クエンチボタンの電源は落ちない。	ロックされる
C社	MR装置に供給される全ての電源が落ちる。マグネットの冷凍機も停止する。	フリーになる

表2 緊急撮影停止ボタンの仕様比較

メーカー	電源の遮断状況	寝台の状態
A社	機械室キャビネット内の傾斜磁場系、RFアンプ系、撮影室マグネット機器への電源供給が停止	ロックされる
B社	撮影が停止する。機器への電源は投入されたまま	フリーになる
C社	電源の遮断は行わない。撮影停止するだけ	フリーになる

2-3 強制排気スイッチ

強制排気スイッチは撮影室内の空気を強力に排気する換気装置であり、主にクエンチにより発生したヘリウムガスが本来の排気経路から撮影室内にも漏洩した場合を想定した設備である。酸素濃度計(酸素モニター)と連動しているため、クエンチ発生時には自動で作動するが、手動で作動させなければならない場合も想定して操作室内の壁面に強制排気スイッチが設置されることが多い(図3)。震災時に停電が発生し、強制排気装置が非常電源に接続されていない場合には作動しない可能性があるため注意が必要である。



図3 緊急排気ボタン(スイッチ)

操作室内に設置されることが多い。表示はあるが何のボタン(スイッチ)かが分かりにくい。通常、酸素濃度計と連動して自動で作動する。

2-4 検査寝台ロック解除ボタン

震災による停電や非常電源遮断ボタン、緊急撮影低ボタンを使用し、寝台がロックされた状態になる場合にロックを解除するボタンである。メーカーにより設置されている位置が異なる(図4)。逆に寝台のフリーボタンを操作した後は、ロックさせる操作を行わないと撮影が始められないように設計されている装置もある。



図4 寝台ロック解除ボタン

メーカーにより設置場所や仕様が異なる。

3 現行の工業規格との関係

現在、緊急停止ボタンとしてよく見られる赤色のボタンに描かれている逆三角形又は二重の逆三角形の表示は JIS Z 4004 01-10/11 (IEC417-5110/5178) に規定されているが、それぞれ「停止」または「緊急停止」を意味する。しかし、何が停止されるかまでは規格として規定されていない。図3の緊急排気ボタンに見られる矢印もしばしば見受けられるが、この矢印はラッチ解除のための操作の方向を示すのみである。

MR装置の安全規格である JIS-Z4951 (IEC60601-2-33)では、主としてMR装置の出力に関する規制が記述されており、JIS-Z4952 (IEC62464-1)ではMR撮影における基本画質パラメータの決定方法を規格化している。JIS-Z4950では吸引事故や電磁適合性に起因するトラブルを防止するための警告マークについて規定されているが、MR装置の緊急停止ボタンについての記載はない。その他、関連のあるJIS規格としてはJIS T 0307 (医療機器—医療機器のラベル、ラベリング及び供給される情報に用いる図記号、ISO15223)、JIS B9703 (機械類の安全性—非常停止—設計原則、ISO 13850) などがあるが、いずれもMR装置に見られる各種の緊急停止操作と直接関連する規定は見られない。

4 提言

非常用の緊急停止ボタンや緊急操作ボタンの仕様や設置場所が装置メーカーによって異なっているが、安全管理面から標準化が求められる。東日本大震災で

は、停電により、架台が動かずに患者の退避に手間取った事例や、緊急時などのボタンを押すべきか迷った事象が報告されている。緊急時に、このようなことがないように標準化が望まれる。しかしながら、医療機器の入れ替え時期は10年以上であり、MRI装置に関しては15年以上稼働する装置も少なくない。また、各社の装置のハード面をいきなり変更するのは難しいと思われる。そこで、日本語で分かりやすい表記を決めて表示するルール作りを提案する。具体的には、各緊急ボタンに対して国内共通のシールを作成し、ボタンの横に掲示して誰が見ても分かるような形式にしたいと考えている。いずれは、ハードウェアに反映させていくように業界に提案したい。

5 共通シールについて

図5、6に国内共通シールの案を示す(千葉大学 松本浩史、梶田善正 考案)。誰が見てもそのボタンを押した結果が視覚的に分かるような図柄であることが望ましい。しかしながら、前述したように緊急電源遮断ボタンや緊急撮影停止ボタンは、電源が遮断される範囲、患者が寝ている寝台がどのような状態になるかも異なっている。共通のシールと伴に、装置個別の情報も合わせて表示しておくことも必要と思われる。

6 実際の使用例

クエンチボタンの横に、シールを掲示した例を示す(図7)。クエンチボタン使用時の注意事項を記載したシールになっている。メーカーにより設置場所や形状が異なっても、共通のシールにより

クエンチボタンであることが明確になっていると考えられる。



図5 クエンチボタンの統一シールのデザイン案



図6 緊急電源遮断ボタン、緊急撮影停止ボタンの統一シールのデザイン案



図7 実際の使用例
異なるデザインのクエンチボタンであるが、統一シールを掲示することによりボタンの機能が明確になる。

7 まとめ

発災時に行うべき患者救出に関係する緊急的対応としては、緊急用の非常停止ボタンや操作ボタンを的確に操作する必要がある。MR装置に装備されている各種の緊急停止スイッチは操作の結果に重大な違いが見られるため、逼迫した状況の中で確実な操作を行うためにも、その仕様が標準化され、ハードウェアレベルで統一される意義は大きいと考えられる。その実現を念頭に置いて、仕様の異なる緊急停止ボタンに共通の表示を補助的に付加する取り組みは短期的な対策として有用であろう。

文献

中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、他
東日本大震災によるMR装置602台の
被害状況報告 日本磁気共鳴医学会
誌 33、92-119、2013

警告・緊急ボタン等の仕様比較

メーカー Magnet	操作室 掲示物	マニュアルへの記 載	注意文書 安全教材	クエンチボタン (操作室)	クエンチボタン (撮影室)	緊急電源遮断ボタン (シ ステム全体)	緊急撮影停止ボタン (撮影室)
東芝 Oxford	なし	操作ボタ ンの説明、ク エンチの現象説 明、安全機 構、クエンチが発 生した場合	あり	なし		なし * (メインブレーカー) 機械室 CPUはUPSにより通電継続	
日立 Oxford	なし	操作ボタ ンの説明、ク エンチが発生した 場合	あり				 
GE GE Magnex	なし	操作ボタ ンの説明	あり	なし (オプション)			 
シーメンス Oxford		操作ボタ ンの説明	あり				 
フィリップス IGC		操作ボタ ンの説明	あり				

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）

分担研究報告書

東日本大震災によるMR装置の被害状況からみた発災後のMR装置の復帰手順に関する検討

研究分担者 町田 好男 東北大学 大学院医学系研究科 画像情報学分野

研究協力者

前谷津文雄 宮城厚生協会泉病院

引地健生 栗原市立栗原中央病院

研究要旨

平成24年度の本研究により東日本大震災によるMRIの被災の概要が把握できた。本分担研究では、これを、発災後のMR装置の復帰手順に結び付けるべく以下の検討を行った。はじめに、被災施設からのアンケート/訪問調査結果およびその分析結果を復帰の立場からあらためて見直した。さらに、ヒアリングなどを通してメーカー側の震災への対応状況や立場を調査し、両者をあわせた被災の実情の把握を行った。その結果、早期の復旧のためには施設側の自主的な立ち上げも必要であったという現場の声がある一方で、自らの責任で立ち上げたいとするメーカーの声もあった。今後、各施設においては施設の実情に合った復帰手順の策定が求められるところであるが、本報告書では、上記の実情を踏まえながら手順策定の参考になるようなチェック項目の抽出を行った。

A. 研究目的

MRI装置は国内で5000台以上が稼働し日常診療でも重要な役割を果たしている。ところが、低温冷媒、高磁場、高電圧を用いることから、震災時には、医療機関が自ら、緊急的に適切な手順にしたがって、2次災害の発生を防止し、安全の確保を行う必要がある。これまでの被災調査から、特に現場担当者が被害リスクの評価から復帰、再稼働まで安全確保のために積極的に行動せざるをえない状況であったこと、さらに、被災後にMR装置を安全かつ可能な限り速やかに復帰させ医療の一端を担うことが求められたことなどが分かっ

た。したがって、発災後のMR装置の復帰手順が求められるところである。

こうした背景から本研究では、東日本大震災によるMR装置の被害調査結果およびその分析結果を復帰の立場からあらためて見直し、さらにメーカーへのヒアリング等の結果から、被災の実情を把握することを第一の目的とした。また、発災後のMR装置の安全管理、復帰手順の作成に関して必要な情報を抽出、整理し、実際に役立つように、具体的なチェック項目のリストを含む形で提案を行うことを第二の目的とした。

B. 研究方法

厚生労働科学研究として実施された東日本大震災でのMR被害のアンケート調査報告^{1, 2)}とその後実施した宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査（聞き取り調査）結果³⁾から、震度と復旧復帰に関する検討、および復帰や機器装置の安全な保全管理上で注目される診療への影響、検査の休止期間や復帰、安全維持に関する被害施設からの自由意見をまとめ分析した。

また、本年度の本厚生労働科学研究の活動の一環として行った、国内の主なMR装置販売メーカー5社からのヒアリング調査を行い、各メーカーのユーザーに対する防災情報発信状況や復帰に対する立場等について確認を行った。これらの調査結果から、特に復帰手順の作成指針に有用と思われる事項を抽出した。

以上の調査結果をもとに、復帰手順作成に関するチェック項目のリストを作成した。

C. 研究結果

以下の結果まとめには考察部分も含まれるが、本報告書では、厳格さにはこだわらずに、経緯がわかるように記載する。なお、参考資料として表／付録を添付するのであわせて参照されたい。

アンケート調査結果より

アンケート調査結果の分析結果から、復帰にかかわる重要なポイントをピックアップした。特に、震度と復帰の関係に関連したことについて以下に記す。

はじめに、震度と復旧状況との関係について分析した。分析結果によれば、当日復帰は、震度6で10.4%、震度5で32.5%、震度5未満で45.5%、復旧1週間以上は、震度6以上36.8%、震度5未満9.1%であった（有効回答数371）。メーカーによる復旧作業開始期間、また機

器が使用可能となる復旧期間（有効回答479）では、いずれも震度上昇と関連し有意な復帰遅延が認められた（ χ 二乗検定 $p < 0.001$ ）（表1）。

次に、復旧の担い手と震度との関係では、有効回答440件のうち、復旧再稼働の担い手が病院スタッフのみとした回答数は178件で、震度5および震度5未満でその割合が高かった。MR装置メーカーによる再稼働あるいは再稼働不能は、いずれも震度6以上で有意に増加であった（ χ 二乗検定 $p < 0.001$ ）。内容として「MR装置メーカーによる再稼働」（31件）、「両者関与するもメーカー主導の再稼働」（82件）、「再稼働不能」（20件）の報告がされた（表1）。

復帰に関する自由記載

次に、アンケート調査における「復旧に関して困ったこと」への自由記載では、「メーカー関与の不在、不通」が最多で22件であった。福島県では原発事故、岩手県では停電やインフラ障害などを理由とした割合が高かった。（表2）

復帰手順に関する意見では、「停電時も磁場があること、MR従事者以外でもわかる管理手順、クエンチへの外部関係者への説明」など、当事者以外にむけた外部に対する情報発信に関した内容についての記載があった。また、「強制クエンチのタイミング、テストスキャンの評価」など、判断や行動指針に関するもの、また、「わかりやすいマニュアル、フローチャートでの図式化や暗闇を前提にした判読できるマニュアル、など専門担当以外でもわかりやすいマニュアル作成様式への意見が寄せられた。

聞き取り調査から抽出した論点

アンケート調査後に行った宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査（聞き取り調査）から得られた、今後の様々な災害、被害を想定した自己復帰

および安全維持管理から再稼働にむけた復帰手順の作成につながる論点についての抽出を行った。その結果は以下のとおりである。

- ・震度を反映した復帰手順を作る必要があるのではないか？
 - ・ユーザーが確認できる震度、酸素濃度計の値、ヘリウム残量、マグネットの内圧など被害時の指標を復帰手順フローにどう活かしていくか？
 - ・クエンチ発生のリスク指標とするために必要なことは何か？また、恐れがある場合の優先チェック項目とその後の対応方法は？
 - ・MR装置の重大被害、稼働してはいけない禁忌項目は具体的に何か？
 - ・自己復帰対応、サービス関与までの安全装置維持管理の手順としてサービスとユーザーの対応、分担をどのように区別していくか？
 - ・津波、洪水、高潮、施設配管破断含め防水対策、安全管理として共通する項目はあるか？
 - ・マニュアル周知と徹底をどうすべきか？
- 等である。

メーカー各社からのヒアリング結果について

メーカー各社からは、復帰に関連した資料がユーザー向けに発信（配布）されていた。これらの資料は、概ね、日本磁気共鳴医学会から公表された緊急提言⁴⁾に沿っており、これを各社の実情に合わせて改定したものが多かった。また、メーカー側の立場からは、災害時という特殊な環境であっても再稼働については、ユーザーによる自己点検判断の復帰はすすめられないとしていた。聞き取り調査において、特に不安であるとの意見が多かったヘリウム残量管理に関する情報提供についても、各社とも、ユーザーとの個別的情報であり普遍的な対応は難しいという立場であった。装置の点検は、サービスマンが行うというのが原則であるという前提に立った回答となっていた。実際

の災害においては、サービスマンとの連絡の遅れが深刻な問題の一つとなっていたことを考えると、このような前提のもとで、何らかの有効な提案をする必要があると考えられた。

なお、ユーザーへの発信、広報の形式は、ワークフローによる実務的なものから文書のみのものであり、各社さまざまで統一されたものではなかった。

復帰手順作成に関するチェックリスト

以上の結果をもとに、復帰手順に関するチェック項目のリストを作成した。このリストは、既に震災時の安全確保として引地らによりまとめられた報告書⁵⁾の中の図「災害時におけるMR装置の安全管理の流れ」を全体の基本フローとして、その中の「2. 被災状況分類」における5つの分類の下位に位置づける形で作成した（付録1）。さらに、同図における「3～6」の各項目の下位に位置づける形でもチェック項目のリストを作成した（付録2～4）。特に、MR検査室の立ち入り禁止措置については例を提示した（付録5）。なお、上記の図は、本報告書の中では「発災時における緊急的対処」としている。

（D. 考察であらためて述べる。）

D. 考察

ここまでの結果を踏まえ、全体を通じたまとめを行う。

甚大な広域災害時の復帰手順作成策定に必要な点は、あくまでサービスマンが来られない状況での二次災害防止にむけた保全管理の手順と検査が必要な場合の再稼働の復帰手順を明らかにすることといえる。

今回の震度分析では震度上昇において有意に復帰遅延が観察されたことから、震度による指標を被害分類とすることは有効な今後の手順指針等の

作成といえる。こうしたことから、MR 装置の甚大な災害時の安全管理における復帰手順、または廃棄手順では、初期判断として震度や建物に及ぶ被害状況からの分類による点検チェックがなされ、その後患者に関する動作機構の点検、テストストロスキャンによる画像チェック、または、必要となれば廃棄に関する安全確保の手順が重要といえる。

また、同時にこの時の、緊急時の責任者、指揮命令系など評価判断をあきらかにしておくことが重要であるといえる（付録 4）。

災害時における MR 装置の安全管理の流れ

今回の分担研究報告の目的は、復帰に関する調査結果報告から災害時に欲している安全管理・復帰に関する情報の内容などについて、おおよその震度による傾向に基づいた対応、また実際の被害状況把握によるその後の対応など、震災発生初期に MR 検査室において安全確保のためになすべき作業の流れを示すことでもある。よって、災害時における MR 装置の安全管理の流れの中での復帰手順を提案する意図があった。この流れは、結果の最後までも触れたことであるが、2013 年 9 月に開催された日本磁気共鳴医学会大会のワークショップで討議された内容で、流れは文献 5) の図 1 に示されている。本報告における図 1 も同じものを用いている（付録 1～4）。

作業の流れの基本

患者と職員の安全確保は最優先事項である。以後の具体的な作業は被害状況によるが、MR 検査室における不測の事故を避け MR 装置の復帰を果すためには施設全体の被害や電源、水道、通信等のインフラ障害の状況を把握し必要な対策を講じなければならない。

発災時にとるべき緊急的な対処としては、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③2 次災害の防

止、④MR 装置の保全措置の 4 項目が挙げられる。次に、MR 装置と検査室建屋の被災程度の把握が重要である。被災の程度によって、復帰に向けて緊急点検による重大障害の確認作業を行うのか、MR 装置の本格的な修理を行うまでの間は装置の使用を完全に停止して 2 次災害防止のための静磁場発生周知やクエンチ対策等を中心に行うかの判断が必要となる。その後、通常は復帰に向けた計画を考える事になるが、場合によっては MR 装置の廃棄を前提とした管理になる場合もある。

被災状況の分類

MR 装置と建物の被害状況は次のように大別される（付録 1）。A. MR 装置が設置されている建物が倒壊、大破し MR 装置が使用不能、B. MR 装置の設置状況に重大な異常が認められる、C. MR 装置の建屋が一部損傷を受けている、D. MR 装置に重大な異常は認められないが、人命救助の必要等の理由により緊急に検査の要請がある、E. 上記のいずれにも該当しない。建物で管理ができない A. の場合は、マグネットに人が近づかない処置を行うことが最も重要である。建物で管理が可能な B. の場合は、復帰をスムーズに行うためのマグネットやシステムの保全、特にクエンチの防止対策が目標となる。C. と D. については、不要不急の検査は行わないが、やむをえず検査を行う場合は施設として最終判断することが求められる。そして、稼働させる際には、MR 装置の状況を十分に把握しリスクを十分に説明できるよう準備することが肝要である。

なお、本来はチェック項目の提示だけでなく、復帰手順を一般化したフローチャートの提案が望ましいであろう。より、安全管理・保安全管理の汎用手順書に近いものが提示できれば理想的である。しかしながら、メーカー側の立場と広域災害の実情との乖離からも、一般化するのはなかなか困難

であると考え、今回の検討では、文献5)において策定した、復旧の流れ図の中で位置付けを行いながら、チェック項目のリスト化までを行うこととした(付録2～5)。上記のような一般化を目指すことも重要であるが、より実的な次のステップとして、メーカーとも十分な打合せを行った上で、各施設において施設の実情を考慮した実践的なフローチャートを作成することも重要であると考えられた。本リストは、その際に参考になるであろうと考えている。

E. 結論

東日本大震災におけるMR装置被害の復旧に関する調査結果と震度分析から、震度の上昇にともなって復旧が遅延する傾向があり、復旧ではメーカー関与が高くなる傾向が認められた。しかしながら、復旧に関して困ったとした自由意見としては「メーカー関与の不在、不通」が最多であり、今後予想される大地震に対しては、メーカー関与が困難なケースも想定が必要である。その場合、被害状況分類による個々の点検チェックに基づく自己復旧、二次災害防止にむけた保全管理の汎用手順書、あるいは各施設の実情を反映した手順書が求められる。

本分担研究では、東日本大震災におけるMR装置の被災調査結果およびその分析結果、およびメーカーへのヒアリング等の結果をもとに、発災後のMR装置の安全管理、復旧手順の作成に関して必要な情報を抽出し整理した。その結果を、チェック項目のリストを含む具体的な形で提示した。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、

梶田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田功、磯田治夫、野口隆志、梁川功、町田好男、東日本大震災によるMR装置602台の被災状況報告、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33, No. 2, p. 92-119, 2013/05

・前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、引地健生、丹治一、清野真也、安達廣司郎、武蔵安徳、土橋俊男、町田好男、中井敏晴、東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告、日本放射線技術学会雑誌, *accepted*, 2013/12

2. 学会発表

・Hikichi T, Maeyatsu F, Abe Y, Hishinuma M, Machida Y, Nakai T, The influence of seismic vibration on MR scanners observed in the Great East Japan Earthquake: The factors related to slipping off of non-anchored MR scanners, The 69th Scientific Assembly of the JSRT, p. 203, 2013/4/13, Yokohama

・中井敏晴、前谷津文雄、安達廣司郎、武蔵安徳、引地健生、阿部喜弘、菱沼誠、吉岡邦浩、町田好男、東日本大震災での津波によるMR装置の被害に関する調査研究、第72回日本医学放射線学会総会予稿集, #373, 2013/4/13、横浜

・山口さち子、町田好男、土橋俊夫、磯田治夫、野口隆志、中井敏晴、東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p. 419 (P-2-173), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/20)、徳島

・引地健生、山口さち子、中井敏晴、土橋俊男、前谷津文雄、町田好男、東日本大震災の地震動によるMR装置被害の要因解析 —アンカー固定の有無と震度について—、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p. 328 (0-3-309), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島

・磯田治夫、市川和茂、小山修司、中井敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち子、野口隆志、東日

本大震災における「MR検査の患者の安全確保」と「MR装置の安全確保」について、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p. 329 (0-3-311), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島・町田好男、引地健生、前谷津文雄、阿部 喜弘、菱沼 誠、安達 廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、中井敏晴、東日本大震災での津波によるMR装置の被害に関する調査研究、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p. 329 (0-3-312), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島・清野真也 丹治一 町田好男 山口さち子 中井敏晴、東日本大震災におけるMR装置被害の実態調査 ～福島県調査報告～、p. 40、2013/11/3、福島

・引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、町田好男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災におけるマグネット移動損傷について ～宮城県内84MRI装置の設置方式の違いと強振動による影響～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p. 41、2013/11/3、福島

・阿部喜弘、前谷津文雄、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、MR検査における発災時の患者救出について、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p. 41、2013/11/3、福島

・前谷津文雄、阿部喜弘、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、東日本大震災によるMR装置の被害からみた震災後のMR装置の復帰手順、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p. 41、2013/11/3、福島

3. その他

なし

引用文献

- 1) 中井敏晴、東日本大震災によるMR I 装置被災調査の実施報告、平成24年度厚生労働科学研究費補助金 分担研究報告書、2013
- 2) 中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
- 3) 町田好男、岩手・宮城・福島の東北3県のMRI被災調査（アンケートおよび聞き取り調査）、平成24年度厚生労働科学研究費補助金 分担研究報告書、2013
- 4) 日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会、災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言 2011年3月15日、<http://www.jsmrm.jp/>
- 5) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保 日本磁気共鳴医学会雑誌、投稿中

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

研究協力者一覧

安達廣司郎（日本赤十字社 盛岡赤十字病院）
武蔵安徳（岩手県立中央病院）
阿部喜弘（独立行政法人国立病院機構盛岡病院）
引地健生（栗原市立栗原中央病院）
菱沼 誠（一般財団法人厚生会仙台厚生病院）
前谷津文雄（財団法人宮城厚生協会泉病院）
清野真也（福島県立医科大学附属病院）
丹治 一（公益財団法人仁泉会 北福島医療センター）

協力組織

岩手MRI 研究会、
宮城MR 技術研究会、
福島県MRI 技術研究会、

以上

表1 震度別に見た復旧の状況、および、MRの復旧の担い手と震度との関係(全体)

MR装置の安全指針作成の要素抽出のために、結果を分析した。

震度別に見た復旧の状況:

メーカーによる復旧作業開始までの期間、また機器が使用可能となるまでの復旧期間のいずれにおいても、震度上昇と関連した有意な復帰遅延が認められた(p<0.001)

メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から) n371 調査報告解析						
	当日 (度数)	一週間以内 (度数)	それ以上 (度数)	なし (度数)	有意確率	
震度5未満	45.5% (5 / 11)	36.4% (4 / 11)	9.1% (1 / 11)	9.1% (1 / 11)	p<0.001	
震度5	32.5% (64 / 197)	46.2% (91 / 197)	17.3% (34 / 197)	4.1% (8 / 197)		
震度6以上	10.4% (17 / 163)	49.1% (80 / 163)	36.8% (60 / 163)	3.7% (6 / 163)		

機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から) n479						
	当日 (度数)	一週間以内 (度数)	それ以上 (度数)	有意確率		
震度5未満	80.0% (16 / 20)	15.0% (3 / 20)	5.0% (1 / 20)	p<0.001		
震度5	60.5% (170 / 281)	33.8% (95 / 281)	5.7% (16 / 281)			
震度6以上	15.2% (27 / 178)	55.6% (99 / 178)	29.2% (52 / 178)			

MRの復旧の担い手と震度との関係:

「病院(施設スタッフ)による点検のみによる再稼働(178件)」は震度5以下で上昇した。

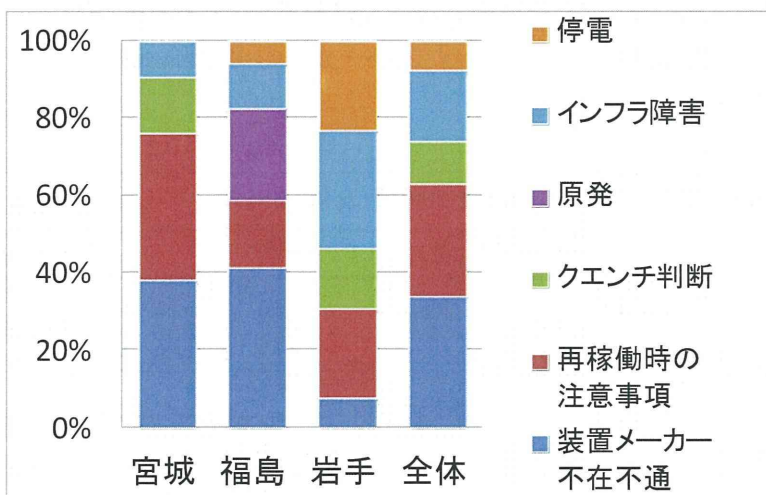
「MR装置メーカーによる再稼働(31件)」、「両者関与するもメーカー主導の再稼働(82件)」、「再稼働不能(20件)」は震度6以上で増加を示した。

MRの復旧の担い手と震度との関係(全体) n:440						調査報告解析
病院(施設スタッフ)による点検のみで再稼働させた						カイ二乗検定 有意確率 p<0.001
	該当 (度数)	非該当 (度数)				
震度5未満	41.7% (10 / 24)	58.3% (14 / 24)				
震度5	49.2% (127 / 258)	50.8% (131 / 258)				
震度6以上	25.9% (41 / 158)	74.1% (117 / 158)				
MR装置メーカーによる点検のみで再稼働させた						有意確率 p<0.001
	該当 (度数)	非該当 (度数)				
震度5未満	4.2% (1 / 24)	95.8% (23 / 24)				
震度5	2.3% (6 / 258)	97.7% (252 / 258)				
震度6以上	15.2% (24 / 158)	84.8% (134 / 158)				
両者が関与したが、MR装置メーカー主導で再稼働させた						有意確率 p<0.001
	該当 (度数)	非該当 (度数)				
震度5未満	4.2% (1 / 24)	95.8% (23 / 24)				
震度5	10.9% (28 / 258)	89.1% (230 / 258)				
震度6以上	33.5% (53 / 158)	66.5% (105 / 158)				
復旧が困難であった						有意確率 p<0.01
	該当 (度数)	非該当 (度数)				
震度5未満	.0% (0 / 24)	100.0% (24 / 24)				
震度5	2.3% (6 / 258)	97.7% (252 / 258)				
震度6以上	8.9% (14 / 158)	91.1% (144 / 158)				

表2 「復旧判断上で最も困ったこと」の自由記載

「復旧判断上で最も困ったこと」の自由記載で、もっとも回答の多かったのは装置メーカーへの不在不通であった(全体22件、宮城8件)。また、福島では原発 4件、岩手はで停電、交通インフラ障害が7件あったのが特徴的であった。表は件数、グラフは割合で示したもの。

	宮城	福島	岩手	全体
装置メーカー不在不通	8	7	1	22
再稼働時の注意	8	3	3	19
クエンチ判断	3		2	7
原発		4		
インフラ障害	2	2	4	12
停電		1	3	5

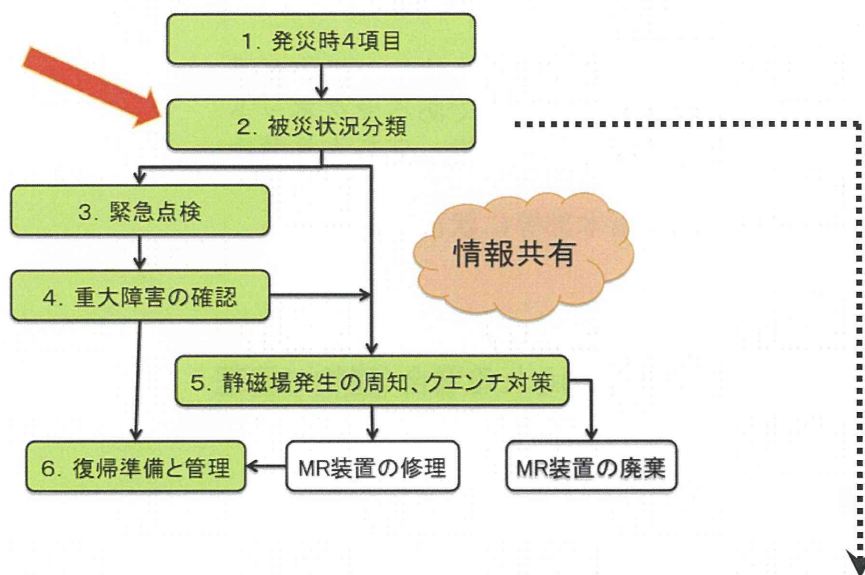


<付録1> 発災時における緊急対処（2. 被災状況の5分類とチェック項目）

「2. 被災状況分類」の5つの分類の下位に位置づける形で、チェック項目のリスト化を行った。AからEに対応するチェック項目は、次ページ以降に示す。

発災時における緊急的対処

災害時におけるMR装置の安全管理の流れ



被災状況の5分類とチェック項目

- 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）
- B** ・ MR装置の設置状況に重大な異常（「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）
- C** ・ MR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、人命救助の必要等の理由により緊急に検査の要請がある場合
- 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、震度5弱以上の影響を受けており、かつメーカーによる点検が当面期待できない場合
- E** ・ 上記のいずれにも該当しない場合

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)

チェック項目

- 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)

チェック項目

- 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損傷を受けている場合(MR装置の被害の有無を問わない)

チェック項目

- 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、その影響を評価すること