

災害時のMR 検査の安全確保に関する指針

問12では2011年3月15日に日本磁気共鳴医学会が出した「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」⁵⁾の震災地への普及程度を評価した。同提言を読んだとする回答が43.2%であり、震災の急性期でありインフラ障害(電気、水道、通信)の影響が大きい発災後1週間以内に読んだ回答者は16.6%であった(表12-1)。一方で、震災後1年3ヶ月を経過した時点で緊急提言を知らなかったとする回答者も50.4%に達した。緊急提言を読んだとする回答者で、緊急提言が何等かの役に立ったとする回答は78.8%であり(表12-2)、具体的に役に立った項目の記入は89件で(問12-③)、指摘事項は「点検項目が具体的に記載されていた」(34件)、「今後の震災対応や安全管理の参考になる」(18件)、「災害対策マニュアルの作成資料として活用」(11件)、「今回の震災時に行った判断の妥当性を確認できた」(10件)、「緊

急対応マニュアルとして利用した」(9件)、「クエンチに関する情報が役だった」(7件)に分類された。他には「機関内で震災対策のための説明資料として利用できた」「他に情報が無い中でこのような情報があることが心強かった」(3件)、「目立った被害が無い場合はユーザーの自主点検により再稼働させざるをえない」などの意見もあった。「緊急提言」を知った機会は日本磁気共鳴医学会のホームページが最も多かったが(「読んだ」とする回答の38.9%)、それ以外にもさまざまな情報源から緊急提言について情報を得ている(表12-3)。今後このような指針に追加すべき事項の記入は12件で、このような緊急情報の周知の手段は複数必要である、MR検査従事者以外でも理解できる資料の必要性、施設毎に追加情報を整備して実情に合ったマニュアルに直す必要性等の意見がよせられた。

表 12-1 「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」を読んだか(施設単位)

	度数	割合(%)
公表後1週間以内に読んだ	76	16.6
1週間後以降に読んだ	55	12.0
1ヶ月後以降に読んだ	67	14.6
その緊急提言は知らなかった	231	50.4
無回答	29	6.3
合計	458	100.0

回答者が「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」を読んだか、読んだ場合はその時期について。公表(2011年3月15日)は日本磁気共鳴医学会のホームページで行われ、翌16日に厚生労働省から各都道府県に通知された。割合(%)は全回答数に対する提言を読んだとする回答の伝達時期別の比率(施設単位)。

表 12-2 「緊急提言」は役に立ったか
(読んだ回答者のみ)

	度数	割合 (%)
大変役に立った	56	28.3
一部分が役に立った	100	50.5
役に立たなかった	32	16.2
無回答	10	5.1
合計	198	100.0

「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」を読んだとする回答者の提言の有用性に関する印象。割合 (%) は提言を読んだとする 198 件の回答に対するそれぞれの回答区分の比率 (施設単位)。

表 12-3 「緊急提言」を知ったのはどのような機会か (読んだ回答者のみ)

	度数	割合 (%)
日本磁気共鳴医学会のホームページ	77	38.9
その他のインターネット情報	29	14.6
職場での伝達	31	15.7
行政機関からの通知	21	10.6
MR メーカーからの案内	27	13.6
学会や技師会等からの連絡	23	11.6
知人を通して	11	5.6
その他	9	4.5

「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」を読んだとする回答者が緊急提言をどのようなソースから入手したか。度数は重複回答を含む全回答を示し、割合 (%) の母数は回答施設数 (198 件)。

今後の震災への備え

問13：今後このような指針に追加すべき事項の記入は106件で、災害対応マニュアルの整備（33件）、災害対応方針の確認と見直し（17件）、定期的な防災訓練・避難訓練の実施（15件）、MR検査室の再整備（12件）（コイルの落下防止、マグネットの固定、建具の改修等）、非常電源の確保（8件）（MR装置の冷却系等の非常電源への接続、自家発電機の導入など）、懐中電灯やハンマー等の非常用備品の整備（3件）の回答がよせられた。事情によりまだ今後の震災対策への取組みを開始できていないとする回答が9件あった。建物の免震化、津波対策としての防水工事や施設の移転、MR室での地震速報の受信等情報収集体制の強化、職員の安否確認システムの導入などの取組みも報告された。今後のMR装置の機種選定には、震災時の対応も考慮に入れたいとの意見も見られた。

D. 考察

震災にかかわるMR装置の安全対策は大きく分けて、1) 震災を想定した防災対策、2) 発災時の危機管理、3) MR装置の復帰における安全管理、の3点から捉えられる。さらに、発災時の危機管理は、患者や検査担当者の安全確保、MR装置の被害の最小化、二次災害の回避の3要素が含まれる。本調査以前に地域レベルでの調査⁶⁾ や個別の事象⁷⁾ が速報されているが、今後の防災対策を考える上では震度や津波の状況、MR装置が設置されている建物の構造などの要因との関係を明らかにし

た上で定量的に評価しなければならない。また、MR装置に生じた具体的な事象だけでなく、発災時やその後にMR検査担当者が実際にどのような事態に遭遇し判断を迫られたかを明らかにしなければ、解決すべき問題が何であるかが分からず、つまり、防災対策の具体的目標が策定できない。本調査ではこれらの着目点を考慮した設問構成を考えた。

MRの安全のガイドラインはMRの物理量に関する規制値の形でIEC（国際電気標準会議、International Electrotechnical Commission）規格：IEC60601-2-33/JIS-Z4951（第3版）⁸⁾ に集約されている。震災時におけるMR装置の危機管理や安全対策を考える上で、MR装置の安全規格の根拠となっている物工学的な知識は不可欠である。しかし、IEC規格は大震災がほとんど見られない欧米で作成されたものであり、結果として平時におけるMR装置の安全規格になっており、天災に対する対策については記述が無い。今回の調査においても震災時においては平時においては起こりえない事象が確認された。さらには震災時においてはMR装置を保有する施設が自ら危機管理に乗り出さざるをえない実情が明らかになった。今回のような広域の大震災では、通常通りに近いメーカーの即時的な対応が可能であったのは被害が軽微な地域やサービス拠点から近くて交通が遮断されていない地域、あるいはサービスマンがたまたま来院していたなど、限られた条件下にあった施設に限られた。震災後にメーカーのコールセンターに通じず「支障が大きかった」とする回答は14.8%であ

ったが、コールセンターへの不通は実際にはもっと高率であったと推測される。

コールセンターに連絡が通じても被災現場で何が起きているか実情が十分に分からない状態で適切な指示が出ているのかどうか疑問視する意見も見受けられた。MR装置の遠隔モニタシステムも通信障害のために機能しなかった事例も報告されている。このように、被災現場の判断だけで対処しなければならない期間が最大2週間程度は続いていた事が判明した。43.9%の施設で「MR装置メーカーによる点検作業を待てないので、病院（施設）スタッフによる点検で再稼働させた」との認識を示しており、53.0%割の施設が3日以内に装置の再稼働を行っているのに対し、メーカーによる復旧作が被災後3日以内に開始されたのは29.2%の施設に留まっている。今回の調査結果は震災時におけるMR装置の再稼働の要請に対処する指針が不可欠であることを如実に示している。特に、震災時の危機管理に関しては装置メーカーや機種に依存しない汎用性のある（Genericな）ガイドラインであることが重要で、その内容を個々の施設の実情に合わせて運用できるものが望ましい。阪神・淡路大震災の被災調査報告でも、「医療機関のMR担当者からの要望として、メーカー毎ではなく共通の機器の安全基準、機器設置の安全基準、災害対応マニュアルの作成が強く望まれている」と報告されているが、15年経ってもこの課題は未解決のままであった^{9, 10)}。

被害事象の発生傾向

今回の調査対象となった7都県では94.7%の施設が震度5弱以上の地震にみまわれており、日常的に経験する震度1~4程度の震度であった地域から十分な比較対象サンプル数が得られていない。特に震度3以下の施設は皆無であった。従って、震度5弱以上の地震と津波による被害をそれ以下の震度であった地域と厳密に比較して論じることはできない。施設の所在地域の震度は、気象庁が観測地点ごとに計測した値で最も近い地点の数値であり、施設が建築されている地盤や建物の構造によりMR装置が実際に受けた衝撃そのものを正確に反映していない可能性がある点には留意すべきである。地震によるMR装置への影響は、震度だけでなく、その地点に到達した地震波形の物理的な特徴、地質や地形、建築物の状況（構造、施工方法、建築時期）、MR装置の設置状況、津波や火災の影響など多くの因子が関すると考えられるが、施設ごとにこれらの条件が異なるため、実際の影響は極めて複雑と考えられる。特に免震構造の施設ではMR装置が実際にさらされた震度は最寄りの地震計の示した数字とは異なるため、免震構造の施設ではその建物に設置された地震計で測定した値でなければ正確な評価ができない。建築や地震の専門家では無い回答者を対象とした大規模調査でこのような詳細情報について多数の回答を得ることは困難と予測されるため、本調査の対象者が回答可能な範囲である建物の基礎情報とMR装置の設置状況、破壊力の主因などを質問項目とした。

筧・中山らの報告では、医療機関の機器被害としては画像診断部の被害が目立ち、震度

6弱で30%の施設に被害が発生し大破の例が見られ始め、震度5と6の間に被害程度の境界があるとの所見を得ている¹⁾。今回の調査結果では、震度5弱と5強の間に被害程度の差が見られたが、調査対象がMR装置のみであること、MR装置が建物一体型の装置であり装置本体以外の設備部分の被害も含まれること、被害事象の尋ね方がMR装置に固有のより詳細な内容を問うている、などの違いを考慮すれば、ほぼ一致した結果であったと考えられる。

個別の被害事象としては、マグネットの移動(12.4%)、チラーや空調機の故障(9.6%)急激なヘリウム量の減少(8.4%)の頻度が高かった。また、クエンチダクトの損傷(4.5%)や撮影室の電波・磁気シールドの破損、機能低下(6.1%)のような特に深刻な被害事象の発生も少なからず見られた。マグネットの移動は、MR装置の寝台が動作不良になるだけでなく、磁気シールドを施されている撮影室では静磁場のバランス不良を引き起こす可能性がある。架台の破損や架台からの脱落を生じて水平からマグネットが傾いた場合は、問題が深刻であり修復が不可欠になる。これらの被害事象と比べて、コイル等の落下による破損の発生率(3.7%)の方が少なかった。この傾向から震災によるMR装置の被害事象はシステム全体へのダメージという特徴を持っていると言えよう。なお、ユーザーによる目視では気付かないシステムの内部的な損傷や、アンカーの緩み、その他軽微な損傷、ユーザーが気付く前にメーカーの補修により形跡が無くなった軽微な破損などがあったことは当然予測される。本調査で報告された被害事象の

発生率は、最小値の目安と理解すべきであろう。

建物構造との関係

建築構造との関係では、東日本大震災では免震構造の建物ではMR装置の重大な被害が発生していないことが確認された。MR装置の被害が半損(軽度)以上であった29施設には免震構造の建物(MR装置単位で全回答の9%)に設置されていた事例はひとつも無く、1例(制震構造にて軽度半損)を除いて、全てが免震や制震以外(耐震構造、その他、無回答)の構造であった。医療施設に免震構造が有効であることはこれまでも指摘されている。笈・中山らは、耐震建築は画像診断機器の大破の発生率とは関係しなかったが、免震構造は大破のリスクを下げる傾向があったと報告している¹⁾。佐藤らは大規模振動実験設備を使った医療施設の被害発生を模擬する実験を行ない、阪神・淡路大震災をモデルとした短周期波(最大加速度の80%)を加えたところ、耐震構造ではX線CT(1.7トン)が数センチ移動しモニタの落下が見られたが、免震構造ではいずれも見られなかった¹¹⁾。長周期波(三の丸波、想定新東海地震波)では重量物であるX線CTの移動は見られなかったが、短周期地震ではいずれの構造でも60~70センチ程度であったキャスター機器(自由に移動)が、免震構造では最大3メートル程度移動し多数の衝突が見られた。笈・中山らの報告によれば、東日本大震災による施設への被災調査に回答した医療機関のうち、施設全体が免震構造であったのは7%、一部免震を含めても15%であ

った。さらには、免震構造を採用していても2次部材の被害がある例も確認された¹⁾。これらの結果から、免震構造はMR装置の致命的な被害を防止する上での効果が期待できると言え、我々の調査結果とも一致する。ただし、長周期波の影響が強い場合は患者救出のために開けた撮影室のドアからキャスター付きの診療器具が飛び込みマグネットに吸着される、撮影室内で一定距離を置いて使用することになっている周辺器機がマグネットに衝突する、などの事故が起こりうることに注意すべきであろう。

クエンチ

クエンチとは貯留された電磁気的エネルギーが熱に変換される現象である¹³⁾。目に見える現象としては発熱による冷媒(液体ヘリウム)の沸騰、気化に象徴されるが、大規模なヘリウムの気化を伴わないで磁場が消失する場合もある。高温超伝導素材を使用し低温の気体ヘリウムを冷却に使用しているマグネットでは液体ヘリウムの急激な沸騰現象が観察されないため目視ではすぐにクエンチと分からない。MR装置の設置においてはクエンチが生じても気化した液体ヘリウムによるトラブルが起きないように、専用の排気経路だけでなく撮影室の強制排気システムを設けるなどの対策が行われているが、震災時は排気経路や強制排気システムのトラブルが発生する可能性がある。本調査では19件のクエンチ事例が報告されており、そのうち、即時クエンチは5件であった。そのうちの1件は津波による浸水事例(後述)、残りの4例は第一波の地震の発

生をきっかけとして生じたものであった。強制クエンチは2件あり、そのうち1件は浸水被害後の措置である。それ以外は10例が冷媒不足等による遅延クエンチ(地震発生から24時間後かつ一ヶ月以内の全てのクエンチか、一ヶ月以降でかつ震災との関連性が明確なもの)、4件が原因不明のクエンチ(地震発生から一ヶ月以降で震災との直接の関連が不明なもの)であった。東日本大震災において地震そのものをきっかけとして発生した即時クエンチ(5例)の発生率は1.1%(超伝導型472台に占める割合)である。回答が寄せられた施設における過去のクエンチ経験は11.1%であり、クエンチ自体が決して稀な事象では無いが、MR装置の運転日数を考慮すれば1日に5件の発生は高い確率と言える(MR装置の平均運転日数を3年と仮定して試算すると χ^2 testで $p < 0.001$)。低温物理学的には温度・磁場・電流密度のバランスが保たれている限り超伝導は安定であり¹²⁾、地震による震動そのものがこれらの臨界値を越える直接の原因となるとは考えにくい。今回の調査結果からはクエンチは震災において非常に高頻度で発生するわけでは無いが一定の注意を払うべき事象であることが確認された。もともとクエンチの潜在リスクが高まっていた装置に発生しやすいのか、地震波の特徴や建物構造や設置方法による影響があるのか、それ以外の要素が関与するのかなど、今後解明すべき事項が残されている。

震災時においてはクエンチが正常な過程を取らない可能性がある点に注意しなければならない。ひとつは排気経路の異常で、マグネ

ットの移動に伴ってクエンチダクトの破損が少なからず発生することが今回の調査でも明らかになった。さらには、強制換気装置も非常電源に接続されていない場合は停電により動作しなくなるので、そのような状態でクエンチが生じると気化したヘリウムが撮影室内に充満する危険性が高まる。排気経路に破損が生じた場合は建物内の思わぬところにヘリウムが漏出する可能性もあるので、マグネットが移動するような大きな揺れの後には排気経路全体に異常がないか確認すべきであろう。もうひとつのリスクはクエンチによる発熱に対する冷却が不十分になった場合に発生する超電導磁石の焼損で、超伝導線材に用いられているニオブチタン (NbTi) の転移温度である10K以上になるとクエンチによる焼損からの保護は困難とされている。今後は強制クエンチを行う場合の焼損リスクが実際にはどのようなものであるかを明らかにする必要がある。

浸水被害

東日本大震災では三陸海岸を中心として著しい津波の被害が発生し、気象庁の発表ではこの地域ではおおむね7m以上の津波高が観測され、大船渡市では10.7m (浸水高) を、陸前高田市では15.4m (浸水高) を記録している^{14, 15)}。津波による破壊力の影響の目安として、木造の場合は浸水2mで建物の流出が増加し4mで半数が流出するとされ¹⁶⁾、鉄骨構造 (Steel Construction, SC) では枠組みか上層階の一部が残存するのみである¹⁷⁾。鉄筋コンクリート (reinforced concrete, RC) 構造

の建物の場合、建物そのものは残存しうるが特に建物一階部分の内容流出は避けられない。東日本大震災でMR装置の浸水被害は12施設 (超伝導型5台、永久磁石型7台) であった。浸水被害については今回の調査結果に加え、浸水範囲概況図¹⁸⁾ や衛星写真 (Google Earth) などから総合的に被害状況を判定した。建物が完全流出した事例は2施設 (いずれも海岸から1km以内の距離にある診療所で永久磁石型のMR装置を設置) であるが、1施設については現場付近でマグネットが発見されていない。その他の11施設の浸水の程度はさまざまであるが、MR装置は浸水したうえで残存しており、浸水が極めて軽微であった1施設を除いていずれも廃棄処分になっている。これ以外に、MR装置の直接浸水はまぬがれたものの、建物の一部が浸水したり、施設の敷地内まで水が入り込んで来たなど、浸水の一步手前であった施設が7施設あった。いずれも、その後MR装置を再稼働して使用している。浸水した5台の超伝導型のMR装置のうち即時クエンチを起こしたのは1施設であり、他の4施設は冷媒不足による遅延クエンチか強制クエンチのいずれかで磁場を停止しており、浸水そのものがクエンチの直接原因にはなっていない。即時クエンチの事例では浸水は2m程度で、撮影室のドアが外れてキャビネットや椅子などの大型の磁性体が流れ込みマグネット周囲に散乱している様子が確認された。これらの磁性体がマグネットに一旦吸着された可能性が考えられる。クエンチの誘因として大型磁性体の吸着による静磁場の攪乱があげられるが、水没下で起こった事象の確認は困難と言わざ

るを得ず、実際に吸着されていたとしてもそれだけでクエンチの原因になったかどうかは不明と言わざるをえない。サンプル数は限られているが、本調査の結果としては、1) 浸水がクエンチの直接原因になるという明確な証拠は得られなかった、2) しかし冷却システムの破壊による遅延クエンチはほとんど不可避である、と言える。

傷害の発生と発災直後の緊急行動

発災直後の緊急行動で最も重要な事項は患者の安全確保であることは言うまでもない。本調査で得られた回答を1) 行動開始のタイミング、2) MR装置までのアプローチの状況、3) 寝台の操作、4) 患者の誘導、5) 地震が収まるまでの待機場所の5段階に分けて分類した。全ての回答でこの5段階がどのようなであったかが記述されていないために定量的な分類は出来ないが、大きく分けると本震が収束してから誘導を開始する考え方と、本震中であっても可能なところまで救出活動を進めようとする考え方に分けられる。どのような救出行動が適切であるかは、現場の状況や救助活動を行う職員の体力、防災訓練等により培われた行動スキルにもよるので本調査の結果からはそれぞれの手順の妥当性を直接比較できないが、判断のポイントは1) 寝台が正常に引き出せるか、2) 引き出した寝台から患者が転落する危険性が無いか、の2点であろう。特に寝台からの転落するリスクは患者の運動能力や全身状態、寝台への拘束ベルト使用の有無や寝台の構造などとも関係するので、これらの条件を勘案した総合的な判断が

必要である。体重の軽い小児の場合は抱きかかえて移動させることができるが、救出に向かう者にとって患者の体重が支えきれないと予測される場合は慎重に行動する必要がある。今後はこのような状況判断の考え方を整理してゆく必要がある。なお、今回の調査でマグネットの移動は多数見られたが、マグネット本体の支持構造が破壊され内部に患者がいたとすれば危険な状態となったであろうと推定される事例は報告されていない。しかし、現状としては重量物の落下や地震波などによる衝撃等、外力による破壊を想定したマグネットの構造的な強度に関する共通の規格は無いため、地震が発生した時に患者がマグネット内に留まるリスクを評価できる客観的な証拠となる情報が明らかにされているとは言えず、この点についても今後の検討が必要である。今回の震災においてMR装置に関連した受傷発生例で内容が判明しているものは軽傷者2名のみであった。今回確認された被害事象全体をさらに分析して、震災時にMR装置周辺で起こりうる傷害の可能性を予測し対策を立てる必要がある。MR装置の安全確保については、電源の遮断とMR室への立入禁止措置、MR装置の緊急点検の3項目が主たる実施項目であり、極めて妥当な判断が下されている。地震速報や津波警報をMR検査室でも受信し、一定震度以上の場合にはMR装置の自動停止を行うなどの対策も有効と考えられる。MR装置は電源を遮断しても静磁場は発生し続けることを知らない医療施設の職員も少なからずいるので¹⁹⁾、外部から支援者や捜索者が立ち入る場合も想定して、立入禁止措置を行うための表示や機

材等を普段から準備しておくとう用であろう。想定外の事態への対応も含めて適切な対処能力を高めるためにも普段からMRの安全全般に関する基礎知識²⁰⁾を十分に習得することが不可欠である。

復旧の状況

当初から予想された通り、東日本大震災のような広範囲に渡る大震災では普段のようなMR装置のメーカーによるサポートを受けられる保証は無く、病院のスタッフで待った無しの復旧作業が必要とされていた様子が明らかになった。通信障害によるメーカーのコールセンターへの不通について「支障が大きかった」とする指摘は14.8%であったが、この数字にも現場主導で復帰作業が進めざるを得なかった状況が反映されている。なお、自由記述の内容を見ると通信障害は問4-④で尋ねた「復旧の障害」というよりも、問4-②で尋ねた「判断で困ったこと」として捉えられているが、停電は「復旧の障害」として認識されている。

今回の大震災をきっかけとして発生した新たなインフラ問題は「計画停電」である²¹⁾。経済産業省や医療機器センターの調査によれば、多くの医療施設が自家発電装置を持っているにもかかわらず、災害拠点病院や救急救命センターを除けば多くの医療機関が施設全体を補える容量の自家発電装置をもっておらず、MRIを含む画像診断機器は診療上の必要性が高いにもかかわらず稼働できなかったと報告されている^{3, 22)}。今回の調査でも自由記述にその状況を裏付ける回答が見られた。今後は、

超伝導型MR装置の冷却システムや永久磁石型装置の磁石保温システムなどの運転を維持する最低限の電力だけでも非常用電源から供給できるよう、MR装置の設置段階で対策を考えて行くべきであろう。

過去の震災等によるMR装置の被害との比較

MR装置が本格的に普及し始めてから最初の大規模震災は平成7年に発生した阪神淡路大震災であった。亀井・野口らが行った調査（一部NMR保有施設を含む116施設を対象とし43施設から回答、回答率37%）では、マグネットの移動や冷凍機の停止などの被害が報告されたが、クエンチ、吸引事故や全損の報告は無く、火災による損害も無かったものと推定された^{9, 23)}。また、発災当日中に77%のMR装置が運転を再開している。阪神淡路大震災では家具等の転倒による圧死事例が死亡者の87.8%を占めたため²⁴⁾、その後の地震対策では全般的に器物の転倒防止が中心課題となり、放射線機器についてもその観点からの対策が考えられた²⁵⁾。

その後、目立った被害を及ぼした地震は数回発生しているが、MR装置の被災に関する資料は限られている。滝口らは平成13年の芸予地震において即時クエンチが発生した事例を報告しており²⁶⁾、引地は予測される宮城沖地震を念頭において患者の救出訓練の重要性を指摘している²⁷⁾。平成16年の新潟県中越地震に関しては事例報告としてマグネットの移動や架台の損傷の報告があり²⁸⁾、豪雨による水没被害の例としては平成21年の台風9号によ

る全損事例が報告されている²⁹⁾。今回の被災調査では阪神・淡路大震災の10倍以上のサンプルが集まったが、これまで断片的に報告されてきた事象の全てが確認されている。しかし、今回の調査結果も含めて、火災によるMR装置への影響についてはまだ詳細な情報は無いので、今後の検討が必要であろう。

MR装置が導入されるようになった当初は十分な面積を有する専用の建物が設けられることが多かった。その後MR装置が普及するにつれ、装置の小型化やマグネットの自己磁気シールドの性能、あるいは撮影室のシールド技術の向上に伴ってより狭い面積での設置が可能になった。同時に使用される静磁場強度も上昇した。狭いスペースへの設置は経済的である反面、単位スペース当たりの蓄積エネルギー量の増加、マグネット周辺での緊急作業スペースや退避スペースの相対的減少、室内にヘリウムが漏れた場合の濃度上昇速度の上昇も意味する。本調査でも事例が報告されたように、震災時にはクエンチ時のヘリウムガス排気設備も損傷を受けるため、防災対策を十分考慮したMR装置の設置計画を考えるべきであろう。

E. 結論

これまでの地震対策は建物の耐震化と画像診断装置を設置する時の固定方法が議論の中心であったが、今回の東日本大震災では従来の想定を越えた被害が発生した。特に震災後のインフラ障害がMR装置の稼働復帰の妨げになるだけでなく新たなリスク要因となりうること、外部からの支援が無い状態で施設の

タッフによる安全点検、復帰作業の試みが不可避となった点が注目される。しかし、診療再開の前に、マグネットが発生する静磁場の状態だけでなく電気系統や機械部分（冷却システムの動作、漏電の有無、寝台の動作）、撮影室のガス配管なども含めて総合的な点検が必要である。今回のように震度5以上の激震が広範囲で発生する大震災では安全確保の考え方を変えねばならない。特に、地震の第一波が到来した時にどのように患者を避難誘導すべきかは今後の重要な検討課題である。

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、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装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

・中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災における津波によるMR装置の被害に関する調査研究、日本医学放射線学会第153回中部地方会、豊明、2013.2.2

・安達 廣司郎 (震災調査) 岩手沿岸地区施設訪問調査の経過報告 第21回 岩手 MRI 研究会 釜石 2012.12.2

・前谷津 文雄、丹治 一、清野真也、武蔵安徳、安達廣司郎、土橋俊男、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、第二回 東北放射線医療技術学術大会 抄録集 #38、仙台、2012. 11. 4

・中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災によりMR装置に見られた被害事象の概況報告、日本生体医工学会・東海地方会 抄録集34 2012

・中井敏晴、震災報告 東日本大震災によるMR装置の被災調査報告 被災状況調査の概況報告、日本磁気共鳴医学会第40回大会、京都、2012年9月8日

・中井敏晴 東日本大震災によるMR装置の被災状況 施設調査による傾向分析 第28回日本医学放射線学会秋季臨床大会 特別企画、長崎 2012年9月28日

・前谷津 文雄、引地 健生、菱沼 誠、阿部 喜弘、梁川 功、町田 好男 被災地におけるMR装置実態調査アンケートのお願い 第45回宮城MR技術研究会、仙台、2012. 8. 25

・前谷津文雄 東日本大震災から学ぶMR装置のリスク管理の課題、第10回東北MR技術研究会、新潟、2012. 7. 14

・引地健生 東日本大震災におけるMRI装置の被災状況および震災から学ぶ安全管理 第12回福島県MRI技術研究会、福島、2012. 5. 26

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

3. その他

なし

引用文献

(1) 筧 淳夫 大規模災害に対応した保健・医療・福祉サービスの構造、設備、管理運営体制等に関する研究 平成23年度厚生労働科学研究費補助金報告書、2012

(2) 宮城県放射線技師会 東日本大震災での宮城県内医療施設における放射線機器関連被害レベル状況 平成23年7月26日、

<http://www.radtech-miyagi.or.jp/>

(3) 経済産業省商務情報政策局 ヘルスケア産業課 医療・福祉機器産業室 平成23年度医療機器等の開発・実用化推進のためのガイドライン策定事業（医療機器の安定供給に関する調査事業）報告書 平成24年3月、

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/iryuu_antei/report_001_01.pdf

(4) 土木学会地震工学委員会 東日本大震災におけるライフライン復旧概況（時系列編）2011年、

<http://committees.jsce.or.jp/2011quake/>

(5) 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/>

(6) 清野真也、高済英彰、樵勝幸、武藤憲司、久原重英、松本沙絵里、矢部重英、長澤陽介、石川寛延、金澤崇史、遊佐烈、防振材設置前後における撮像時の騒音と振動の測定、日本磁気共鳴医学会雑誌 31、S449、2011

- (7) 石森文朗、砂森秀明、高倉有、本元強、佐藤雅之、東日本大震災発生時の茨城県内MRI稼働施設の実態調査報告、日本磁気共鳴医学会雑誌 31、S228、2011
- (8) IEC60601-2-33 <http://www.iec.ch/>
(JISZ4951 磁気共鳴画像診断装置 - 基礎安全及び基本性能 <http://www.jisc.go.jp/>)
- (9) 亀井裕孟、阪神・淡路大震災におけるMR装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第15巻、S141-142、1995
- (10) 社団法人 日本放射線機器工業会 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（平成9～11年度）
http://www.jira-net.or.jp/commission/hyoujunksa/fr_information_01.html
- (11) 佐藤栄児 震災時における建物の機能保持に関する研究開発 文部科学省委託研究首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書 46-59、2012
- (12) 仁田 且三、超電導エネルギー工学 9-13頁、オーム社 2006年 ISBN978-4274202810
- (13) Wilson MN, Superconducting Magnets, Oxford Science Publications, 1983, ISBN 0198548109
- (14) 地震火山部地震津波監視課 現地調査による津波観測点付近の津波の高さについて報道発表資料 平成23年4月5日：
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/05a/20110405.html>
- (15) 中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会、資料 今回の津波被害の概要 平成23年5月28日
- (16) 気象庁 東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善 平成24年3月：
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tsunami_keihou_kaizen/
- (17) 日本建築学会鋼構造運営委員会 東日本大震災鉄骨造建物被害調査報告書 平成23年6月9日：
http://news-sv.ajj.or.jp/kouzou/s3/AIJREPORT/CYOSA_REPORT.htm
- (18) 国土地理院、2万5千分1 浸水範囲概況図：
<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku40014.html>
- (19) 山口さち子、中井敏晴 磁気共鳴画像装置 (MRI) の安全に関する意識調査 日本磁気共鳴医学会雑誌 32、S306、2012
- (20) 中井敏晴、上野照剛：MRIの安全性（総論）. 日本磁気共鳴医学会 安全性評価委員会・他監修、MRI 安全性の考え方、第一版、東京、日本、学研メディカル秀潤社；2010、14-22.
- (21) 社) 日本医療画像システム工業会、MR装置の停電時の対処方法について、平成23年3月18日：
<http://www.jira-net.or.jp/ankenkanri/top/index.html>
- (22) 財団法人医療機器センター附属医療産業研究所 計画停電（発容量不足）に伴う医療機器等の使用状況に関する緊急調査、リサーチペーパーNo. 4、2011年、
http://www.jaame.or.jp/mdsi/mdsirp004_summary.pdf

(23) 社) 低温工学協会 平成7 年度 被災調査
臨時委員会、阪神・淡路大震災における低温・
超電導機器被災調査報告、社) 低温工学協会、
1996

(24) 警察庁編 平成7年警察白書 第1 章 サ
リン・銃・大震災に対峙した警察 第3 節
阪神・淡路大震災と警察活動 表1-11「死亡者
の死因」、2005、

<http://www.npa.go.jp/hakusyo/index.htm>

(25) 宮本唯男 放射線部門の地震対策ハンド
ブック 医療科学社 ISBN4-900770-41-8

C3047 1995

(26) 滝口裕章 学術フォーラムMRI 検査にお
けるリスク管理 ―地震によるクエンチの経
験、労働福祉事業団放射線技師会雑誌 22、
69-73、2003

(27) 引地健生 MRI検査における安全管理 そ
の2 - 地震によるクエンチに備えて -、宮城
MR技術研究会誌 5、37-42、2005

(28) 佐藤栄児 首都直下地震防災・減災特別
プロジェクト ②都市施設の耐振性評価・機能
保全に関する研究 平成19年度報告書 9-21、
2008

(29) 中野 晋，宇野 宏司，高西 春二，騎馬
貴子、平成21年台風9号の豪雨災害による事業
所等の被災と対応、安全問題研究論文集 5、
論文番号17 1-6、2010

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）

阿部喜弘（独立行政法人 国立病院機構 仙
台医療センター）

石森文朗（医療法人 聖麗会 聖麗メモリア
ル病院）

栗田幸喜（社会福祉法人 恩賜財団 済生会
支部 埼玉県済生会栗橋病院）

砂森秀昭（社会福祉法人 恩賜財団 済生会
水戸済生会総合病院）

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）

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）

藤田 功（さいたま市立病院）

前谷津文雄（財団法人 宮城厚生協会 泉病
院）

榊田喜正（千葉大学医学部附属病院）

松本浩史（千葉大学医学部附属病院）

武蔵安徳（岩手県立中央病院）

梁川 功（東北大学病院）

吉岡邦浩（岩手医科大学）

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、

茨城県技師会 MRI 研究会、

千葉撮影技術研究会MR I 基礎勉強会、

東京 MR 励起会、

SAITAMA MRI Conference

資料 1 MR装置の被災調査アンケート

MR装置は、過去20年の間に急速に普及し、その間に阪神淡路大震災などの震災が何度か発生しています。しかし、MR装置の被災により発生する問題に関しては、不明な点が少なくありません。震災における巨大震動、建物崩壊、火災、津波などにより誘発される事象を予測し、その対策に資する情報を提供したいと考えています。

そこで今回、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、『大震災におけるMR装置に起因する2次災害防止と被害最小化のための防災基準の策定』の一環としまして、岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京などを対象としたアンケートを実施することになりました。本調査は、震災発生からできるだけ早い時期に、MR装置に関する安全情報を被災地に提供し、MR装置に起因する2次災害の防止に役立つことを目的にしています。

お忙しい中とは存じますが是非とも、本アンケートにご協力をお願い致します。

- この調査は、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、『大震災におけるMR装置に起因する2次災害防止と被害最小化のための防災基準の策定』の一環として実施するものです。
- この調査の目的は、MR装置の被災により発生する問題に関して、震災における巨大震動、建物崩壊、火災、津波などにより誘発される事象を予測し、その対策に資する情報提供のデータとするものです。
- 本調査にご同意頂ける場合はご回答ください。調査に参加しないことで不利益を受けることはありません。
- 調査参加後にも、不利益なく参加を撤回することができます。
- 回答者が分かる形で回答内容を公表することはありません。また、事業主や上長に個別の回答を通知することはありません。

<問い合わせ先>

国立長寿医療センター研究所 長寿医療工学研究部

神経情報能画像開発研究室

室長 中井敏晴

〒474-8522

愛知県大府市森岡町源吾36-3

TEL : 0562-44-5651 (内) 5633

FAX : 0562-46-7827

アンケートは次頁より始まります

MR 装置の被災調査アンケート

回答日 平成24年__月__日(回答の送付日を記入)

- * 各設問の該当する□に☑をいれてください(複数回答の指定が無い限りは1個のみ)
- * 電子ファイルで回答いただく場合は□を■に置き換えてください

1 基本情報

1-① 施設規模

:入院設備なし :100床以下 :101~300床 :301~500床 501床以上

1-② 種類

:クリニック(診療所) :民間病院 :国公立病院(独立行政法人を含む)
:私立大学病院 :国公立大学病院 :大学病院以外の大学施設・研究機関
:その他(具体的に)

1-③ MRI 装置の設置台数

:1台 :2台 :3台 :4台 :5台以上

1-④ 磁場強度

:0.5T以下(台) :1T(台) :1.5T(台) :3T(台) :4T以上(台)

1-⑤ 磁場システム

1. 永久磁石(台) 2. 常伝導磁石(台) 3. 超伝導磁石(台)

1-⑥ 建屋の構造 (分類は別紙注1を参照、複数の場合は主要な建屋について回答)

:耐震構造 :免震構造 :制振構造 :その他

1-⑦ 建屋の建築年月

_____年(____月)

不明の場合 昭和56年(1981年)以前の建築である(該当の場合チェック)

1-⑧ 当該地域の震度

:1 :2 :3 :4 :5弱 :5強 :6弱 :6強 :7

* 震度に関する気象庁の情報は以下のリンクで確認できます

http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/0311_shindo.pdf

1-⑨ 複数の建屋に MR 装置が設置されている場合は設置状況を記載してください

(例 ○○年に建築された耐震構造の建物に 1.5T(超伝導)の装置が 2 台、○○年に建築された免震構造の建物に 3T(超伝導)の装置が 1 台、1981 年以前築と思われるが正確な築年が不明な建物に 0.5T(永久磁石)が 1 台)

2 被害状況

①～③の項目について該当する番号を MR 装置ごとに回答票 1 に記入してください。
電子ファイルで回答される場合は、別添のエクセルファイルにご記入下さい。

2-① MR 装置（分類は別紙注 2 を参照）

磁場強度・磁場システム： 装置ごとに回答票の指定する数字で記入

装置本体の据え付け方法： 1.アンカー固定あり-アンカー破損なし

2.アンカー固定あり-アンカー破損なし 3. アンカー固定なし 4. その他

被害の程度： 1.影響なし 2.軽微 3.半損(軽) 4.半損(重) 5.全損

2-② MR 室（分類は別表注 3 を参照し、MR 室の部分だけでの評価をお願いします）

被害の程度： 1.影響なし 2.一部損壊 3.半壊 4.全壊

2-③ 設置建屋（分類は別表注 3 を参照）

建物の構造： 1.耐震構造 2. 制振構造 3. 免震構造 4.その他

被害の程度： 1.影響なし 2.一部損壊 3.半壊 4.全壊

2-④ 建屋、MR 室の破損状況に関して特記事項があれば記入してください

2-⑤ MR 装置の破損状況について下記の事象の有無（発生件数によらない）を回答してください（「おそらく有り」は「有」に、「おそらく無し」は「無」に分類する）

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2-⑤-1 マグネットの架台破損 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-2 マグネットの移動 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-3 磁性体の吸着 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-4 架台以外のマグネット装備品(*)の損壊 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-5 チラー(冷却系)や空調機の故障 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-6 クエンチダクトの損傷 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-7 急激なヘリウム量の減少 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-8 システムキャビネット等のアンカーの破損 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-9 撮影室の電波・磁気シールドの破損、機能低下 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-10 屋外機の設置状態の異常(地盤の変動) | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-11 浸水による電気、電子システムの故障 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-12 床下、ピット内、壁内の配線の切断、損傷 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |
| 2-⑤-13 受信コイル等の整理棚からの落下による破損 | <input type="checkbox"/> :有 | <input type="checkbox"/> :無 |

*架台以外のマグネット装備品とは寝台やその駆動システム、寝台に取り付けられているコイル類、マグネットのエンクロージャ、操作パネルや生体モニタシステム等、マグネット表面や周囲に実装されていて一体となっているものを指します。

回答票 1 (問 2-①~③)

MR 装置	MR 装置				MR 室	設置建屋		備考
	磁場強度	磁場システム	本体の据付	被害状況	被害状況	構造	被害状況	
	1:0.5T 以下 2:1.0T 3:1.5T 4:3T 5:4T 以上	1:永久磁石 2:常電導 3:超電導	1:アンカー固定あり アンカー破損無し 2:アンカー固定あり アンカー破損あり 3:アンカー固定なし 4:その他	1:影響なし 2:軽微 3:半損(軽) 4:半損(重) 5:全損 (別紙注 2 参照)	1:影響なし 2:一部損壊 3:半壊 4:全壊 (別紙注 3 参照)	1:耐震 2:免震 3:制振 4:その他 (別紙注 1 参照)	1:影響なし 2:一部損壊 3:半壊 4:全壊 (別紙注 3 参照)	
MRI 1								
MRI 2								
MRI 3								
MRI 4								
MRI 5								
MRI 6								
記入例	3	3	1	3	3	1	2	1, 2 は同じ建屋

* 電子ファイルで回答される場合は別添のエクセルファイルにもご記入ください。

2-⑥ 問 2-⑤-3 で磁性体吸着が「有」の場合は、具体的に何が吸着されたか、どこにあった物品と思われるかを記載してください

2-⑦ その他、MR 装置の破損状況について特記すること（例：特に危険を感じた事象、上記の選択肢には記載されていない事象等）があれば記入してください

3 被害原因

今回の被害の主な原因はどれですか

- :強い揺れ :津波 :揺れと津波の両方 :インフラの復旧遅延(停電・断水)

4 復旧の状況

4-① 復旧作業は病院（施設）スタッフか MR 装置メーカーのいずれが中心でしたか

- :病院(施設)スタッフによる点検のみで再稼働させた ()台
:MR 装置メーカーによる点検のみで再稼働させた ()台
:両者が関与したが、MR 装置メーカー主導で再稼働させた ()台
:両者が関与したが、病院(施設)スタッフ主導で再稼働させた ()台
:特に復旧作業、あるいは点検は行わずそのまま MR 装置を使用した ()台
:復旧が不可能であった ()台

4-② 復旧の際に判断に迷ったり特に困ったりした事項があれば記入してください

4-③ 復旧作業の状況について該当するもの全てに印をしてください（複数台の装置がある場合、1台でも該当事項があれば印をつけてください）

- :MR 装置メーカーによる点検作業を待てないので、病院(施設)スタッフによる点検で再稼働させた
- :震災後に MR 装置メーカーのコールセンター等が不通になり支障が大きかった
- :装置の復旧費用を誰が負担するかが問題になった(なっている)
- :装置の費用負担の問題が原因で復旧が進まなかった(進んでいない)
- :建物被害が著しいため普及が進まなかった(進んでいない)
- :費用や建物被害以外の原因で復旧が進まなかった(具体的原因を下記に記入)

4-④ 復旧の障害となった事項について特記すべきことがあれば記入してください

4-⑤ 具体的な復旧状況を記載してください

5 復旧の時期、震災時の状況

以下の事項について該当する番号を MR 装置ごとに回答票 2 に記入してください

5-① メーカーによる復旧作業（修理）開始までの期間（発災から）

1. 当日 2. 翌日 3. 三日以内 4. 一週間以内 5. 二週間以内 6. 二週間以上

5-② 機器が使用可能となるまでの復旧期間（発災から）

1. 当日 2. 翌日 3. 三日以内 4. 一週間以内 5. 二週間以内 6. 二週間以上

5-③ 検査を再開するまでの期間（発災から）

1. 当日 2. 翌日 3. 三日以内 4. 一週間以内 5. 二週間以内 6. 二週間以上

5-④ 震災時の状況（分類は別紙注 4 を参照）

1. スキャン中 2. 検査中 3. 始業前・終業後 4. 実験中 5. 点検中 6. 非稼働状態