

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。冷却系が停止した状態で冷媒が減少し、その状態でクエンチを生じると、発生する熱に対する冷却が働かないため、焼損を生じる場合が考えられるが、どのような設計のマグネットでもどの程度のリスクであるかを今後明らかにしておく必要がある。

検討すべき第二の課題は、マグネット表面における気体の液化現象である。分担研究「被災時の超伝導型 MR 装置の不安要因解消のための工学的知見と提言」において明らかにされたように、正常なクエンチにおいても、空気（酸素、窒素）が液化し床まで流れ落ちる現象が生じる。排気管が損傷し外れた、マグネットを覆う筐体が破損した、あるいは外れ落ちた、などの状態でこのような現象が発生すると、思わぬ経路で液化した酸素や窒素が流れて来て受傷する危険性があるため、MR 検査担当者はこの現象の本質をよく理解しておくべきであろう。クエンチが発生した場合、患者の救出は急務であるが、排気経路が破損し、強制排気システムも動作せず、室内に極低温のヘリウムが充満しはじめた最悪の状態を想定して、患者救出にあたる職員がどのような体制で作業にあたるべきか、改めて検討する必要がある。

マグネットの移動により排気系に損傷が発生し、直後に酸素濃度計の警告音が鳴って撮影室内の酸素濃度が一時的に低下した事例があったことは注目される。クエンチは発生していないが、地震による液体ヘリウムの気化亢進により排出されたヘリウムが漏出したものと推定され、注意を要する。

冷却系に関係する被害事象は、MR 装置の再稼働を控える場合でも注意を要する。チラーや空調機の故障の発生率は 9.6%であったが、建物は免震されているにもかかわらず、多くの場合建物の外に設置されてい

る室外機までは免震されていないため、地盤の変動が大きければ容易に破損しうる点には注意しておくべきであろう。今後は、冷却系の配管にも振動を吸収しうるフレキシブルな構造が必要であろう。急激な液体ヘリウムの減少（8.4%）も頻度の高い現象であった。停電を伴えば液体ヘリウムの減少が加速されることは間違いないが、停電が起きなくても地震の後に液体ヘリウムの減少が観察されることがある。その原因はマグネットの設計や液体ヘリウムの残量などとも関連すると考えられるが、本調査結果から特定の機序を推定することは困難である。問題は、停電により液体ヘリウムメーターが動作しなくなり、状態が確認できなくなることである。最低、2週間以上ヘリウムメーターが駆動できるようなバッテリーを装備するか、あるいは非常用電源への切り替えがスムーズにできるように、設置段階で考慮しておくことが望ましいと考えられる。そのような備えの全てが機能しなくなった場合を想定して、目視による点検が必要になることを考えねばならないが、停電下で非常照明を使ってどのようにして確認するか、あらかじめ方法を考えておかねばならない。

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。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。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、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。今回の調査結果から、

岩手、宮城の2県において海岸から2.5km以内、標高12メートル以下が浸水被害のリスク因子であったことが分かった。特に岩手県では、今回の震災前から公立病院等の高台への移転が進められており、道路網の整備とともに震災対策として効果をあげていた。しかし、実際に人が住んでいる利便性の高い地区は海岸沿いにあるため、そのようなところで地域医療が必要とされ、診療に用いられるMR装置が設置されることについては、町全体が高台移転するなどの対応を取らない限り、直接の対処が難しい面がある。これは、MR装置に限らず、津波リスクの高い地域において高度医療器機の配置をどのように考えるとよいかという課題であり、地域医療のあり方の中で包括的に解決してゆくべきであろう。

現状を前提として考える場合、特に傾斜地にある施設では、津波による浸水を想定してMR装置等をできるだけ標高が高い位置に設置し、さらに床を高くすることは、本質的解決では無いにしても、ひとつの対症的方法と言える。今回、ぎりぎり浸水を免れた7施設の中では、そのような条件が関係していた事例が確認されている。

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。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い、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り、3) 電子機器としての性質上、永久磁石型装置も含め、浸水があれば再使用は困難と言える。

傷害の発生と発災直後の緊急行動

MR装置そのものが人に対する身体的危害の原因となった傷害事例の報告は少なく、かつ重症事例の報告は無かった。しかし、偶発的な吸引事故などの潜在的な危険性については今後も考えておく必要がある。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。本調査で得られた救出回答を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(分担研究「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」参照)。回答を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ど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り、状況に合わせてリスク対効果で判断しなければならない。現場判断のポイントとしては以下の要素が考えられる。

患者状況

- 1) 患者の容態、体重、可動性
- 2) 点滴等持ち込まれている医療器具の有無
- 3) 使用中のコイル、拘束帯使用の有無

現場状況

- 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(マニュアルで寝台が下げられるか)
- 3) 救出の支障となる被害事象が発生していないか

特に寝台からの転落リスクへの対策は重要であり、介助の方法についてあらかじめ検討しておく

必要であろう。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場合もありうる。MR装置に限らず寝台の上に患者を寝かせて行う検査では共通の課題であり、発災直後に応援人員を再配置する訓練も有用と考えられる、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、現状で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判断の材料は不明であり、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、回答内容全般に極めて妥当な判断が下されている。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（山口ら 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誌 32 S306）、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。

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、実際にその成果をあげ

た報告もなされている（分担研究「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）」参照）。一方で、MR検査室において、津波の到来に気がつくのが遅れた事例が複数報告された。停電の発生前に津波の到来を建物内部に周知する必要がある。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。

復旧過程において問題となるのは、メーカー保証との関係で、メーカーの点検無しに検査を再開した場合、システムに不具合が発生した時の修復費用が保守点検の範囲に含まれるかどうか微妙な問題になる。震災という状況下で医療上の要請のためMR装置を一刻も早く復帰させなければいけないのは、単に個々の医療施設の都合によるものではなく社会的な要請と言える。

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。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関わらず稼働できなかつたと報告されている（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）。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 本磁気共鳴医学会雑誌15、S141-142、1995）。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つたものと推定された（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、1996）。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（警察庁編 平成7年警察白書第1章第3節 阪神・淡路大震災と警察活動 表1-11「死亡者の死

因」、2005）、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。

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。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が報告されており（滝口裕章 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）、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（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）。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（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）、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（中野他、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）。今回の被災調査では、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検査室の防災基準

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。MR 装置納入（引き渡し）においては、装置メーカーは使用者に対する製品説明義務があり、現状では業界団体が「MR 装置引渡しにおけるガイドライン」を定めている。装置の仕様説明や添付文書の配布等について定めているが、MR 装置の設置基準に関しては統一かつ具体的な仕様としての定めはない。さらには、今回の震災において現場のMR 検査担当者にとって重大な関心事項であったマグネットの性能に関する具体的な情報も、明示的に開示事項とはされていない。

今回の被災調査では、災害時にMR 検査担当者が抱えた不安内容の背景にあるものは超伝導マグネットに関する情報不足であったと考えられる。アンケート調査の回答内容からは、回避すべき危険の具体的な現象やその危険兆候が必ずしも十分に知らされていないこと、具体的な回避方法や取るべき行動が不明なこと、危険事象が発生した場合の被害が想定できないことなどが不安を増大させているものと推測された。停電が続く状態で、非常電源やバッテリーでヘリウムメーターを作動させる方法、設置されたマグネットの特性としてどの程度のヘリウムレベル低下でどのようなリスクを念頭におかなければならないか、注目すべき危険兆候を発見するためにはそのマグネットではどの部分の点検が必要か、などの情報はマグネットメーカー側から開示されるべきであろう。

平成 24 年度の調査では撤去される MR 装置における強制クエンチ作業を調査対象としたため、被

災時の具体的なクエンチ原因、有効なクエンチの回避策、前処理のないクエンチ事例などは直接検証できていない。被災時の危険事象予測には、例えば階下へマグネットが落下した場合、大型磁性体の吸引による影響などの実際の知見を得る必要があるが、その実証試験には多大な費用がかかることが予想される。今回は実施できなかったが、液体ヘリウム液位低下時のクエンチ、真空漏洩発生によるクエンチなどは、現調査の延長で計画可能であるものの、実施には多くの関係機関の了解と協力が必要になる。

今回の調査を通してMR 装置に装備されている緊急停止ボタンの仕様や実際の用法がメーカー毎に異なる事が分かった。MR 装置には大別して3種類の緊急停止ボタンがある。

- 1) クエンチボタン（緊急磁場停止ボタン） 超伝導型のMR 装置では、人身事故が発生し磁場を停止させないと生命に危険が及ぶと予測される場合に強制クエンチを生じさせて磁場を停止させるシステムが装備されている。超伝導マグネットと一体のシステムであるため、その基本仕様はMR 装置メーカーではなく、マグネットのメーカーが作成している。撮影室内には必ず設置されており、操作室にも設置されている例も多い。
- 2) 緊急電源遮断ボタン MR 装置全体（冷却系や強制排気を除く）への電源供給を全て遮断するブレーカーの役割を持つボタンであり、火災や電気系統の重大な障害が発生した場合を想定している。MR 装置メーカーにより装備の有無は分かれている。また、撮影室内の電源だけを落とすなど、部分的な電源遮断を行うものもある。設置される場合は、操作室が多いが、撮影室内にも設置される。

3) 撮影停止ボタン (アボートボタン) MR の撮影を停止する。患者の状態確認や、何等かの不具合がスキャン中に発生した場合に撮影を停止する。ボタンの形状や設置場所、具体的な影響の範囲、付随した作動内容などはメーカーにより異なり、統一した仕様は無い。

上記の3種類の緊急停止ボタン以外に、MR装置の寝台の作動のみを止めるもの、制御システムの電源を強制的に落とすものなどが見られる。

まず、これらの緊急停止ボタンの名称がメーカーによって異なり(取り扱い説明書の中でも名称が未統一の例もある)、表示も統一されておらず、マグネットメーカーが作成したものをそのまま利用しているのが現状である。MRの安全表示に関しては、JIS-4950が定められているが、その内容はMR検査室におけるリスクの存在を表示するものである。具体的には、高磁場の存在、高周波の使用を告知し、MR撮影室に持ち込むべきではない主要な物品を知らせている。このMR適合性については近年、ASTM F2503-05 (Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment)で、より詳細な内容が定められており、MR装置の安全基準であるIEC60601-2-33でもMR適合性に関する記述が拡張されつつある。しかし、MR装置が装備すべき緊急停止ボタンの仕様や表示については公的な規格は存在しないのが現状であり、標準化が必要と考えられる。

訪問調査の結果で特に注目すべき事項は、緊急地震速報の活用であった。本震が到達する前のわずかな時間であっても、患者救出のための最初のアクションを起こすことができれば患者救出がより容易かつ安全に実施できる可能性が高くなる。今回も、本震到達前の救出に成功した事例が報告

されているが、MR検査室だけの取り組みではなく病院全体のインフラとしての検討する事項であろう。それでも、テーブルを引き出した瞬間に本震が到達するなどの事態もありうるため、寝台からの転落を防止するための動作を工夫するなど、普段からの訓練が何よりも重要と考えられる。また、発災時の緊急対応は患者への対応が優先されるため、MR装置の処置に十分な時間が割けないことも予想される。深夜等に震災が発生した場合への対応も考えて、緊急地震速報をもとにしたMR装置の自動シャットダウンシステムの開発も有用と考えられる。

その他の事項としては、MR室への立ち入り禁止措置を取るための掲示やロープ、撮影室に持ち込み可能な懐中電灯、窓を割るためのハンマーや安全手袋の準備など、いざという時に実行しなければならない処置を可能な限り安全に行うための対策が必要と思われる。

E. 結論

放射線部における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ス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。

MR 検査室における減災を考える上では、1) 建屋の免震構造化、2) 緊急地震速報の活用、3) 患者救出を含めた実地訓練、4) 設置されているマグネットに関する正確な情報収集、5) 非常電源、非常照明の確認、6) 停電も含めた非常時における電子マニュアル等の利用方法の確認、7) 立ち入り禁止等、現場の安全確保処置の準備、8) MR 装置の再稼働前の十分な点検、などが重要であり、これらの事項を体系的な防災基準として策定する必要がある。

F. 健康危険情報

①東日本大震災においては、MR 装置そのものが重大な危害原因となり、死者や重傷者が出た事例は確認されなかった。

②震災発生下における MR 装置に起因する潜在的な危険要因としては、クエンチの発生率が平時より高くなる (1%)、マグネットの移動により寝台の引き出しが困難になる、引き出しの際に受傷する、吸引事故の発生などがある。

③MR 装置の移動によりヘリウムガスの排気系や冷却システムに障害が生じる被害が発生する可能性が高くなる。

④MR 装置の被害事象は震度 5 弱以上で見られ始め、震度 6 弱以上で重大な被害の発生が多くなる。

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

野口隆志 MRI装置の被災状況と今後の課題、FSST (Forum of Superconductivity Science and Technology News) NEWS 135、10-13、2012

中井敏晴、山口さち子 東日本大震災におけるMR装置の被災とMRの安全管理 社団法人日本工学アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集 1-18、東京、2012年2月28日

野口隆志 MRI/NMRI の強磁場とクエンチ後の振る舞い、社団法人日本工学アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集 23-34、東京、2012年2月28日

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

前谷津文雄 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69回日本放射線技術学会総会学術大会

土橋俊男 首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向 第69回日本放射線技術学会総会学術大会

引地健生 東日本大震災の地震動によるMRI装置本体への影響 —アンカー止めしていない装置の移動の有無とその要因— 第69回日本放射線技術学会総会学術大会

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、横浜、2013. 4. 14

中井敏晴、丹治一、清野真也、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、土橋俊男 MR装置に見られる東日本大震災の影響に関する調査研究 第72回日本医学放射線学会総会、横浜、2013. 4. 14

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

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第
40回大会 日本磁気共鳴医学会誌 32 S306、
京都、2012. 9. 26

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

野口隆志 MRIの被災状況とそこから見えてきた
課題、第79回超伝導科学技術研究会ワークショップ
「3. 11震災を乗り越えて」、東京、2012. 7. 19

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 (予定を含む。)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

表1 東日本大震災から2週間の動き

-
- 3.11 東日本大震災発生
 - 3.12 JSMRM安全性評価委員会において震災時におけるMR装置の安全対策について検討開始
 - 3.14 「災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言」原案策定
 - 3.15 JSMRMホームページにて「災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言」を公表、内容を厚生労働省に報告
 - 3.15 「震災により使用不可能となったMRI装置設置室への立ち入り禁止措置のお願い」
「MRI装置 計画停電時の対応について」東芝メディカルシステムズ
 - 3.16 厚生労働省より「災害時におけるMR装置の安全管理について」が通知される
 - 3.17 「災害時のエックス線撮影装置及びMRの安全なご使用について」GEヘルスケア・ジャパン
 - 3.18 「被災地で救援活動をされている方々への重要な情報提供」日本医療画像システム工業会
 - 3.18 「MR装置の停電時の対処方法について（暫定版）」日本医療画像システム工業会
 - 3.18 日本学術会議幹事会声明「東北・関東大震災とその後の原子力発電所事故について」
 - 3.20 JSMRMにてMR装置の被災調査の計画開始
 - 3.22 日本学術会議幹事会声明「東日本大震災からの復興と日本学術会議の責務」
-

東日本大震災の発生から2週間以内に公表されたMRの安全に関わる情報の一覧。メーカーについては一般国民向けの情報提供のみとし、顧客を対象として配布された情報は含まない。

災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言

(2011/03/15 PM5:10 暫定版)

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想定外の事態が生じうる。本文書ではMR装置の専門家や実際にMRの点検業務に従事する方々から得た情報を集約し、震災後のMR装置の安全管理として重要と考えられるものをまとめた。本文書はあらゆる場合を想定し網羅するものではないが、少しでも安全確保に寄与する提言として作成した。MR装置設置場所の被災状況、機種や設置状況により、特に何に注意を払うべきかは異なるであろう。常に「想定外」の問題が存在すると考えて、各施設の責任者の判断の基で細心の注意を払って事態に対処していただきたい。

(1) 被災状況の分類

- 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
- 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クエンチが生じマグネットが消磁されているかどうかを確認する
 - 消磁され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
 - 消磁が確認されても余震等により建物の損傷が進み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。
- B) MR装置の設置状況に重大な異常が認められる場合（設置状況の異常確認を参照）
- 該当のMR装置は使用しない
- C) MR装置の設置状況に異常が認められるが、緊急に検査の要請がある場合
- 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医療機関の最高責任者がMR装置の使用の可否を判断する
 - クエンチや火災発生の危険性があることを念頭において、不要不急の検査は行わない
 - やむをえず検査を行う場合は、ファントムを用いたテストスキャン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
- D) MR装置が設置された建物が損傷を受けている場合
- 損傷の状況からクエンチおよび火災リスクの程度を評価すること
 - 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
- E) 状況の変化は常に生じうることを忘れない
- 余震の影響を考慮すること

(2) 設置状況の点検項目(*は一般的な停電後の点検項目と共通)

以下の項目について点検し、検査の施行に伴う危険性を判断する

- A) クエンチが発生していないか*
- 停電時にはクエンチ発生の有無を警報装置の情報から読み取れない
 - クエンチが発生していない場合でもヘリウムメータの数字を定期的に記録すること
- B) マグネット（撮影ユニット）が移動していないか
- 患者を載せる寝台（クレイドル）が正常に動作しない可能性がある
 - エンクロージャーに生じた割れや生じた隙間による怪我の可能性がある
- C) 機械室のユニット群（電源、制御、冷却等）が移動していないか、移動の形跡が無いのか
- システムキャビネットや撮影装置を結ぶ電気系統の損傷により、断線、短絡、漏電等による異常が生じうる
 - 撮影室への配電盤（penetration panel）やマグネットのエンクロージャー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、そのMR装置は使用しない
- D) 撮影室の出入り扉、天井や壁に損傷が無いのか
- 重量が大きいMR撮影室の扉の取り付けに不具合が生じて事故の原因となりうる
 - 壁に穴が空いている場合は応急措置で塞ぐこと、そこから静磁場が漏洩している可能性を考慮して侵入禁止の措置をとる
 - 特に建物の損傷が激しい場合に電波シールドの機能が低下し周辺の医療器機が影響を受ける可能性について留意する
- E) 冷却システムが正常に動作しているか*
- 室外機用チラー、冷凍機のコンプレッサの両方が動作しているか、漏水がないか
 - コールドヘッドが動作しているか
- F) マグネット上部にある冷凍機からの配管やクエンチ時の排気管に異常がないか
- クエンチが生じた時に正常に排気されない可能性がある
- G) 空調が正常に動作しているか*
- 機械室、撮影室の空調が正常に機能していない場合、加熱によりシステムが誤動作、停止、さらには故障する可能性がある
- H) 酸素濃度計等のモニタが正常に動作しているか*
- 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
 - 復電後であっても何等かの原因でモニタ類が故障している可能性がある
- I) 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、ガスが供給されているかを確認する
- 状況に応じて元栓を閉めるべきかどうかを検討する
- J) 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
- K) 津波や雨漏り等による浸水の影響をうけていないか
- 特に壁内や床下の配線への影響を見落とさないこと

(3) 静磁場発生のお知らせとクエンチ対策

MR装置はクエンチして消磁されていない限り、停電時でも強力な磁場を発生していること、そのために吸引事故が発生しうることを周知する。

- 停電による冷凍機の停止により液体ヘリウムは減少する
- MR撮影室や検査室の入口に張り紙等により磁場が発生している旨の警告を行なう（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）
- 建物がかなりの損傷を受けていても冷媒が残っていればクエンチしないで磁場を発生し続ける
- 停電が続いた場合は冷媒の不足が生じ、最終的にはクエンチに至る
- 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ことを念頭におく（可能な場合は排気システムの動作試験を行う）

(4) システム管理全般（特に停電との関連）

- 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可能性があることに注意
- 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、停電後の点検として定められている内容を行うこと
- 各製造メーカーが停電後の復帰作業の手順を定めているが、装置管理の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
- まず空調と冷却系を復帰させ、正常動作を確認した上で、MR装置のシステムの立ち上げを行う

(5) 震災時における留意点

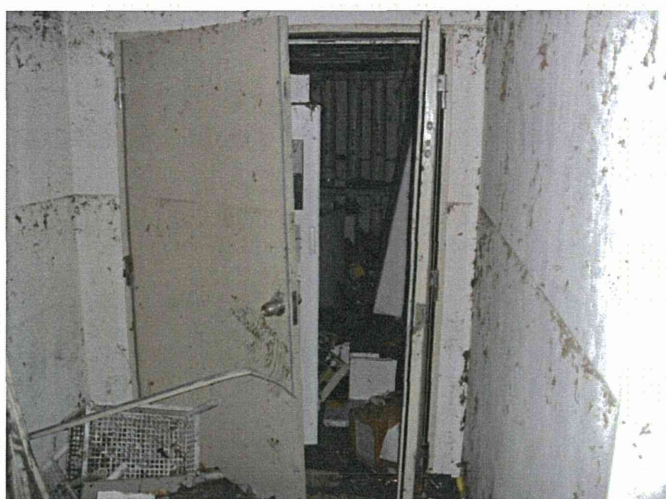
- 多数の被災者が運び込まれるような震災時には、混乱の中でMRの安全に熟知していない関係者により患者が搬送されてくることがあるので、**静磁場による磁性体の吸着事故の発生に注意**すること。

日本磁気共鳴医学会
安全性評価委員会

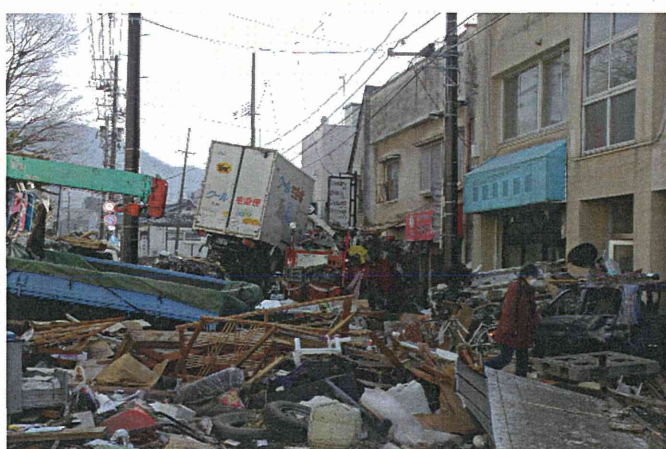
資料2 被害事象の具体例 (各医療施設の御承諾を得て掲載)



三陸海岸沿岸部の病院
津波により MR 装置は完全に浸水した。撮影室にはヘドロや流入した段ボール等が残っているが、破壊的变化は目立たない(低圧型)。同じ建物のフロアでもその位置により激しい水圧により破壊が著しかったところと、そうでなかったところがあったとの証言が得られている。発災 1 週間後にボーンという音がして白煙が発生したので、MR 装置はその時にクエンチを起こしたと推定される。



機械室の状況
大掛かりな流出や流入は無かったが、システムキャビネットが倒れたり、位置がずれている様子が分かる。



震災直後の病院前の状態
瓦礫が散乱し職員にとっては病院の外に出る自体が危険であった。車両が通れるスペースが無く、歩行も困難な状態が一週間程度続いた。



三陸海岸沿岸部の病院

津波により MR 装置は完全に浸水した。撮影室の破壊が著しく、扉がはずれ、マグネットの周辺に流入した什器類が散乱しているが(高圧型)、一時的にマグネットに吸着されていたものと推定される。



三陸海岸沿岸部の病院

津波により診療施設は浸水したが、鉄筋であったため、建物構造は残存している(左図)。永久磁石型のマグネットが建物 1F の中に残っている様子が分かる(下図)。





宮城県医療施設

チラー設置場所の地盤沈下により室外の冷却系配管の破損が生じた事例。このままでは復電しても冷却系の運転には支障がある。該当場所の震度は震度6強であった。今後はMR本体の設置されている建物だけでなく、室外機の設置についても検討してゆく必要がある。



宮城県医療施設

マグネットが5cm移動し排気管が曲がり接続部で隙間が生じた。写真は接続部のネジを外してずれの状態が分かりやすく見えるようにした状態。発災直後に酸素濃度モニタのアラームが鳴り、2%程度酸素濃度が低下した様子が目視で確認されている。マグネットカバーの脱落、システムキャビネットのアンカー破損等も見られた。該当地域の震度は6強。



宮城県北部基幹病院

地域の防災拠点病院として免震構造の施設を建築した。免震構造の本館にある MR 室の装置は完全に無傷であったが、耐震構造で本館竣工後に増築された MR 室の装置はマグネットの移動やカバーの脱落等の被害が発生した。該当地域の震度は7であった。免震構造の有用性が如実に示された事例であった。

II. 分担研究報告

東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告

研究分担者 中井 敏晴

独立行政法人国立長寿医療研究センター 神経情報画像開発研究室長

研究要旨

東日本大震災により MR 装置に発生した被害事象を明らかにし震災時の緊急対処や防災対策に活かすための調査研究を行なった。岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京、埼玉の7都県でMR装置を保有する983施設を対象として、MR装置に発生した破損の種別、患者救出の状況、再稼働における問題点などについて調べる無記名調査を実施し458件の回答を得た。19%のMR装置に何らかの被害事象が見られ、震度5以下と6以上で発生率に有意の差があった(χ^2 test, $p < 0.001$)。マグネットの移動(12.4%)、チラーや空調の故障(9.6%)、急激なヘリウム量の減少(8.4%)、マグネット装備品の破損(7.6%)などが代表的な被害事象である。クエンチは19件確認され、即時クエンチは5件であった。津波による浸水被害は12件で、うち11件でMR装置は廃棄処分となっている。今後は特に患者の救出手順を検討してゆく必要がある。

A. 研究目的

平成23年3月11日に発生した東日本大震災（東北地方太平洋沖地震、気象庁発表データ：平成23年3月11日14時46分発生、モーメントマグニチュード9.0、最大震度7）では多数の医療機関も被災し、設置されている医療機器に大きな被害が発生した。震災により多くの人命が危機に瀕し震災発生直後から医療機関には多くの重症患者が集中するため、種々の医療機器の使用ニーズは一気に増えるしかし、そのような状況では医療機器が外見上明らかに破損していなくても想定外の故障が発生していたり、すぐには異常が明らか

にならなかつたりする可能性は念頭に置いておかなければならない。東日本大震災により医療機関に発生した被害については、平成23年に筧・山中らによる大規模調査¹⁾が既に行われており、画像診断機器は医療機関内でも被害が目立つことが指摘されている。また、宮城県放射線技師会の調査によれば、MR装置は画像診断機器の中でも1件あたりの被害額が大きい傾向にあることが報告されている²⁾。医療機器の中でもMR装置をはじめとする画像診断装置は医療機関に搬送された重症患者の治療方針の決定に不可欠であり、早期の再稼働と検査再開が望まれる。中野らに

よる調査ではMR装置は「後から診療上の必要性が高いと判明」した装置（必要性が高いに関わらず優先的に使用出来なかった）としてX線撮影装置やCTと並んで必要性が報告されている³⁾。従って、震災により可能な限り影響を受けない様に普段から防災対策を講じるとともに、本震が収まった後でもMR装置を安全に再稼働させるための慎重な点検が緊急に必要な。さらには、余震等に注意しながらMR装置を安全に使用する体制を早急に確立しなければならない。そのような有事の対処法を含めた総合的な防災対策を策定するためには、東日本大震災でMR装置に発生した被害の実情、現場で試みられた対策や、そこから出て来た課題を調査し分析する必要がある。画像診断装置の中でもシステムの総重量が大きく、高磁場、低温冷媒、高電圧という取り扱いに注意を要する物理量を有するMR装置が今回の震災により受けた影響を明らかにするために本調査を実施した。

大震災直後に必ず生じる大きな問題は停電をはじめとするインフラ障害である。医療機関に普及しているMR装置の多くは超伝導システムであるため冷却システムが不可欠であり運転時に使用する電力も大きいため、他のX線機器と比較してより電源、給水、空調等のインフラへの依存度が高い。今回のような大震災においては本震による破壊的な被害を免れたとしても停電による影響は不可避と考えるべきで、特に冷却系の機能停止によるクエンチのリスクが懸念される。また、永久磁石型のMR装置でも数日にわたる停電によりマグネットの保温機構が停止すると、再稼働させ

てから静磁場が安定し装置が使用可能になるまで一定の時間を要する。土木学会の調査によれば、阪神・淡路大震災では発災後1週間でほぼ100%の復電率であったのに対し、東日本大震災では発災後1週間で95%程度の復電率に達した後はなかなか回復が進まず1月後でも98%であった。水道の復旧は電気より遅く、東日本大震災では一週間後で50%程度、1月後で80%程度である⁴⁾。医療機関の施設被害を調査した報告（サンプル数545）でも、ほぼ同様の結果が報告されている¹⁾。需要電力の全体を補える自家発電装置を持っている医療機関は現状で25%と報告されており³⁾、多くの施設では電力を要するMR装置の運転再開は自家発電のみでは困難と推定される。一方、大震災により通信インフラにも障害が発生するだけでなく非常時の通信規制を受けるため、発災後10日間は著しい通信障害が生じており、通信インフラが回復するまで1月以上を要している⁴⁾。その結果、MR装置メーカーへの問い合わせが困難になる、リモートメンテナンスも受けられない等の状況が発生するためMR検査現場での危機管理が必要となる。東日本大震災をきっかけとして発生した電力不足による計画停電は、震災による直接被害が大きくなかった地域にも深刻な影響を及ぼした。特に医療施設が準備していた防災マニュアルで計画停電が想定されていなかったために、防災マニュアルそのものが機能しなかった例が少なくないと報告されている³⁾。超伝導型MR装置の冷却システム維持は不可欠であり計画停電への対応は重要な課題である。さらには、MR装置は常時強力な静磁場を発生

しており検査室への立ち入りが普段から厳重に管理されているが、震災等の非常時においてはそのような平時の安全管理体制が機能しなくなる可能性がある。MR装置の厳重な安全管理は装置を扱う者や検査室に出入りする者が特定されることにより成り立っているので、震災時においては応援の医療スタッフや外部から訪れたさまざまな関係者が施設に出入りする点には注意すべきで、そのような状況下での不測の事態（二次災害）の発生リスクを下げるための手順を施設の防災マニュアルに盛り込むべきであろう。

本調査では、MR装置に発生した被害を定量的に評価するだけでなく、発災時に安全確保のために取るべき行動や遭遇した問題点を抽出し、震災後におけるMR装置の再稼働の判断に関わる事項についての分析を行なうために実施した。本実施報告は今回の大規模調査の内容とその集計結果の概要を可能な限り速く報告することが目的であり、集計結果から直接読み取れる傾向と関連する事項を総説的に記述する。

B. 研究方法

調査対象施設

今回の東日本大震災により特に大きな被害を受けた岩手（85施設）、宮城（105施設）、福島（74施設）、茨城（124施設）、千葉（214施設）の5県に加え、対照比較群として、MR装置の設置台数が多くかつ震災の影響が強かった東京（231施設）、埼玉（151施設）の2都県も対象とし、合計984施設に調査票を発送した。各県ごとに地元で組織されているMR技術研究会

等の組織（協力組織）の協力を得て調査員を配置し、東北厚生局、関東甲信越厚生局で保健医療機関として登録されている施設から、協力組織が把握している施設、商業誌で公表されているMR装置の設置状況等の情報を元にMR装置を保有する施設を確認の上、調査票の送付対象を確認した。今回は、施設単位の調査であり、同一施設からの重複回答は含まれない。

調査票

使用した調査票は資料として添付した。調査票は14項目から構成される（資料1）。

(1) 施設の基本情報：1-1 施設規模 [1. 入院設備無し 2. 100床以下 3. 101～300床 4. 301～500床 5. 501床以上]；1-2 法人としての施設の種類 [1. クリニック 2. 民間病院 3. 国公立病院 4. 私立大学病院 5. 国立大学病院 6. 大学病院以外の大学施設・研究機関 7. その他]；1-3. MRI装置の設置台数 [1. 1台 2. 2台 3. 3台 4. 4台 5. 5台以上]；1-4. 磁場強度 [1. 0.5T以下 2. 1T 3. 1.5T 4. 3T 5. 4T以上]；1-5. 磁場システム [1. 永久磁石 2. 常伝導磁石 3. 超伝導磁石]；1-6 建屋の構造 [1. 耐震構造 2. 免震構造 3. 制振構造 4. その他]；1-7 建屋の築年月日（1981年以前かどうか）；1-8複数の建屋にMR装置が設置されている場合の状況説明（自由記述）

(2) 被害状況：2-1 MR装置 2-1-1 磁場強度・磁場システム [1. 0.5T以下 2. 1.0T 3. 1.5T 4. 3T 5. 4T以上] 2-1-2 装置本体の据え付け方法 [1. アンカー固定あり-アンカ