

- 18) 厚生労働省. 平成 17 年医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告の概要.

<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/>

Survey on Safety Awareness of Medical Personnel Regarding Use of MRI Technology

by

Sachiko YAMAGUCHI-SEKINO^{*1} and Toshiharu NAKAI^{*2}

In this study, we conducted a questionnaire survey on the level of safety awareness regarding the operation of magnetic resonance imaging (MRI) systems in order to identify a means of risk communication for the safe utilization of MRI systems among medical staffs. The subjects were 246 participants and the level of awareness was assessed on a four-point scale. For all 20 questions, the radiological technologists (N=51) scored significantly higher ($p<0.001$, t -test) than those in other medical occupations (N=190). A factor analysis of the results yielded the following three factors: Factor 1, safety awareness related to MRI examinations; Factor 2, safety awareness related to magnetic fields; and Factor 3, safety awareness related to MRI equipment. In a comparison of subscale scores for each factor by occupation and by presence or absence of experience in MRI examinations, Factor 2 scored highest (Tukey-kramer, $p<0.001$) in all cases. For the other factors, the level of awareness among respondents in occupations other than radiological technologist was low. The results also indicated that the effect of experience in MRI examinations on the level of awareness is limited. Since problems in operating MRI systems can lead to serious personal injury, it is advisable to provide safety training and other measures in view of these results.

Key Words: Magnetic Resonance Imaging, MRI, Safety awareness survey

^{*1} Health Effects Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

^{*2} Functional Brain Imaging Lab, National Center for Geriatrics and Gerontology

MRI装置の被害状況から考察する
機器管理対策と二次被害防止策

土橋 俊男 日本医科大学付属病院放射線科(技術)

現在、国内には6000台以上のMRI装置が稼働している。MRI装置が震災時にどのような影響(被害)を受けるかに関する調査は、1995年1月17日午前5時46分に発生した阪神淡路大震災で実施されている。この調査結果は、デジタル公開されている¹⁾。本稿では、2011年3月11日に発生した東日本大震災での被害状況を調査したアンケート結果と阪神淡路大震災の報告を比較しながら、震災時のMRI装置に発生する被害と、MRI装置に起因する二次被害の防止について記載する。

阪神淡路大震災の被害状況

兵庫県放射線技師会会員の勤務する兵庫県下の451施設に対して、調査票を郵送し、MRI装置の被害状況に関する調査が実施されている。

MRI装置の制御器やMRI操作卓の被害状況は、震度6以上で装置の移動が多かった。特に、機器を固定していない場合は顕著であった(表1)。操作卓の転倒はなかったものの、操作卓が破損し

た施設があった。たとえMRI装置本体に異常がなくても、操作卓や制御器に異常が発生すると、長期間稼働できなくなる可能性もある。

MRI装置本体および寝台に関しても同様な傾向であった。特に、本体と寝台を固定していない場合は、調査対象のすべての施設で移動が認められた(表2)。震度6以上では修理が不可能となった装置もあった。具体的な被害としては、本体が5cm移動し磁場が不均一になる、静磁場の調整が必要になる、静磁場の均一度が元に戻らない、マグネットが長軸方向に4mm移動する、マグネットカバーに歪みが発生、マグネットの移動により壁の一部が破損、寝台の移動、などが報告されている¹⁾。

東日本大震災での被害状況

東日本大震災により、特に大きな被害を受けた岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、およびMRI装置の設置台数が多く震災の影響が強かった東京

都と埼玉県の7都県の984施設に調査票を送付し、被害状況をアンケート調査した(回収率46.6%:458施設602台)。調査内容および調査結果の詳細は参考文献2)に掲載されている。

今回のアンケート調査によるMRI装置の被害状況を図1に示す。建屋内だけでなく、液状化による地盤沈下等で屋外の室外機にも被害が発生していた。100台以上のMRI装置に、全損あるいは半損の被害が発生していた。被害の内容は、マグネット装備品の破損、マグネットの移動、磁性体の吸着、マグネットの架台破損、チラーや空調の故障、クエンチダクトの損傷、急激なヘリウム量の減少、シールドの破損、機能低下、システムキャビネット等のアンカー破損、受信コイル等の落下による破損、屋外機の設置状態の異常(地盤の変動)、浸水による電気、電子システムの故障および床下、ピット内、壁内の配線の切断、損傷等であった。

MRI装置本体の固定に関して分類すると、アンカー固定を実施している装置が65%以上であったが、アンカー固定を

表1 阪神淡路大震災の被害状況(MRI操作卓)
MRI操作卓の固定と移動の有無(施設単位)
(参考文献1)より引用改変)

		震度4 以下	震度5	震度6 以上	合 計
固定あり	移動あり	0	0	0	0
	移動なし	2	1	2	5
固定なし	移動あり	2	2	13	17
	移動なし	14	6	6	26

表2 阪神淡路大震災の被害状況(MRI装置本体)
MRI撮像装置(寝台および本体)の固定と移動の有無(施設単位)
(参考文献1)より引用改変)

		震度4 以下	震度5	震度6 以上	合 計
固定あり	移動あり	0	1	6	7
	移動なし	11	6	6	23
固定なし	移動あり	1	0	8	9
	移動なし	7	2	0	9

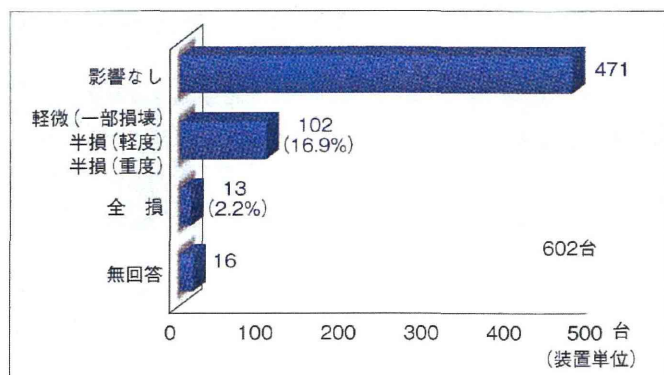


図1 MRI装置の被害状況
13台のMRI装置が全損している。

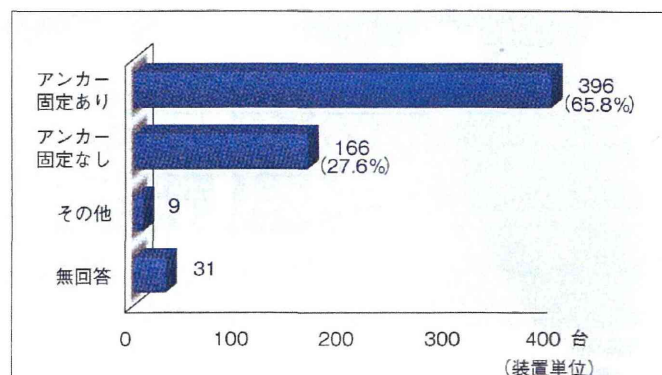


図2 MRI装置の据付方法 (アンカーの有無)

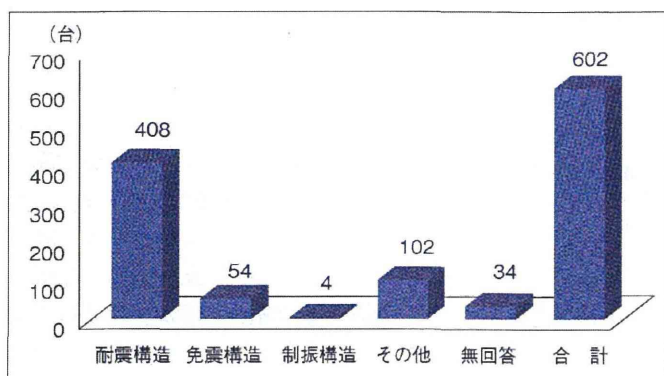


図3 建屋の構造 (装置単位)

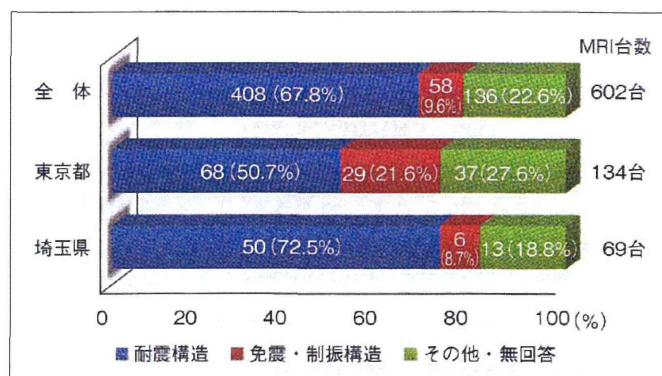


図4 建屋の構造 (装置単位)
全体と東京都および埼玉県の比較。東京都で免震化率が高いが、それでも21%程度である。

していない装置も27%程度あった(図2)。

阪神淡路大震災の報告書では、「震度6以上では固定の有無により、移動・破損に顕著な差が生じている。移動したと回答した群の中では、70%前後で装置固定がなされていなかった。画像に対し致命的な影響を与える本体の移動・破損は震度6にのみ認められた。固定ありでも50%の装置が移動した。固定なしでは、100%移動しそのうち40%が破損した。固定の有用性が認められ、ユニット、ガントリーのいずれにも固定が必要と考えられる。震度5以下では、MR本体および周辺機器で固定による被害の差が顕著であった。固定なしでは移動・転倒が多く、固定ありでは一部において移動が認められる程度となっている。固定は震度5までの地震に対して有用と考えられる¹⁾」とまとめられている。

アンカー固定はガントリーの移動防止に効果的であるが、装置メーカーによって考え方が異なっていた。アンカー固定した場合、強い揺れによる震動を装置本体が受けることになり、ガントリー内のRF

コイル、傾斜磁場コイル等の破損につながるため、あえて固定を行わないという考え方もある。今回の震災の被害状況を受け、さらに検討しなければならない点である。

建屋の構造を見ると、免震構造および制振構造の建屋に設置されていたMRI装置は58台であり、多くの装置は耐震構造の建屋に設置されていた(図3)。東京都と埼玉県の建屋の構造を全体と比較したデータを図4に示す。東京都で免震化率が高いことがわかるが、それでも21.6%程度である。東京都と埼玉県の被害は、マグネットの移動が6件と最も多く、急激なヘリウム量の減少、クエンチダクトの破損、架台以外のマグネット装備品の破損などが発生していた。建屋の構造との関係を見ると、免震構造では1件の被害も発生していなかった。震災による大きな揺れに伴う被害の抑制には、免震構造が有用と考えられる。宮城県内における同じ敷地内に建つ免震構造の建屋のMRI装置と、耐震構造の建屋のMRI装置の被害の状況を図5に示す。

明らかに被害状況が異なることがわかる。しかしながら、現状の免震構造は横揺れに対しては効果があるが、縦揺れに対してはその効果がほとんどないようである。したがって、免震構造だからと言って安全が確実に保証されるものではない。さらに、今回の調査では、設置階については調査に含まれていない。首都圏のビルの9階に設置してあったMRI装置が、ヘリウムの排気ダクトを中心に50cm程度回転した事象も発生している³⁾。今後、高層ビルの長周期振動の影響についても検討する必要があると思われる。

地震等の災害時に備えるMRIの機器管理対策

阪神淡路大震災は早朝の発生であったが、東日本大震災は午後2時46分の発生であった。今回の調査では、46.3%(278台)のMRI装置でスキャン中であり、59.5%(357台)の装置で患者が撮像室内にいた²⁾。

阪神淡路大震災の報告書には、「今回



a: 免震構造



b: 耐震構造

図5 震度7における被害状況

免震構造と耐震構造の比較

(画像ご提供: 栗原市立栗原中央病院・引地健生先生)

【MRI装置設置室(MRI検査室)】

消防、警察、救助関係者の方々へ
この扉の先のMRI室は非常に強力な磁場が発生しています。

絶対に入室しないでください。

停電していても強力な磁場は発生したままです。また、ヘリウムガスが漏れている場合もあり、入室すると酸欠など危険な状況になる可能性があります。MRI検査室内に入室する必要がある場合は、必ず下記までご連絡願います。

連絡先: MRI担当者 ○○ 000-000-0000
MRI担当者 ○○ 000-000-0000
放射線科 技師長 ○○ 000-000-0000 院内PHS: 0000

図6 二次被害防止用の掲示物

の震災では、MRI装置のクエンチという最悪の事態は免れている。しかしながら、地震が検査中に発生していれば技術者が緊急措置として減磁装置を稼働させる可能性は高く、クエンチになる可能性は高いと考えられる。クエンチが発生していれば検査室は瞬時にガスで充満され、それに伴う酸素不足が発生する。続いて停電が起こったならば排気ダクトも作動せず患者の危険性は高くなる。急速なクエンチは電気的な抵抗が大きくなり、コイルの破損は避けられない¹⁾と報告されている。

東日本大震災は、その発生時間帯にもかかわらず、患者への被害が報告されたのは全体で9施設と少なかった。強い揺れの中で患者の救出を行ったものと思われる。MRI装置は重量があり、非常に頑丈に作られているため、慌ててガントリから出さないほうが良いのではないかとの考えもある。しかしながら、クエンチによるヘリウムガスの発生などもあるため、まずは検査室から出し、安全な場所に救助することを優先するべきと考える。震災発生時にクエンチボタンを押した施設は1施設(超伝導磁石MRI装置

設置施設は全体で332施設)のみであった。非常に難しい点であるが、判断しなければならぬ状況になる可能性はある。どのような基準でクエンチボタンを使用するかも、検討しておく必要がある。

震災により、停電あるいは装置の不具合が発生し、電動で寝台を引き出すことができなくなる可能性がある。この場合、非常用の緊急スイッチを利用し、寝台をフリーにして患者を救出することになる。停電により、寝台が動かずに患者の退避に手間取った事象や、緊急時にどのボタンを押すべきか迷った事象も報告されている。緊急時に使用するスイッチ類は、各社で設置位置や仕様が異なる。緊急時にも適切に対処できるように、各種緊急スイッチの機能と設置場所を、あらかじめスタッフ全員が把握しておくことが重要である。

震災後のクエンチは、今回の調査結果から頻度は高くなく²⁾、多くの装置で磁場は残った状態であった。架台の破損、マグネットの移動などの被害は多く発生していたが、全体でも96%以上の装置で静磁場が維持された状態であった。被災後にMRI装置の静磁場が維持され

ている場合、MRI検査担当者の避難後に、救助などで医療関係者以外がMRI室に近づいた時に非常に危険な状態になると思われる。警察、消防等の救助者が、誤って高磁場が発生しているMRI検査室に入室してしまうことも考えられる。このような事象を防止する観点から、図6に示したような注意書きの掲示と施錠を行った上で避難することが重要と思われる。また、津波で建屋がすべて流され、永久磁石のMRI装置だけが残った事象もあった。このような場合の安全対策も検討しておかなければならない。

◎

東日本大震災により、MRI装置にも今まで考えられなかったような被害が発生していた。マグネットの移動が一番多く、マグネット装備品の破損、チラーや空調機の故障、シールドの破損・機能低下等がそれに続き多かった。全損した装置は13台あり、11台は津波被害であった。その一方で、全体でも96%以上の装置で高磁場が維持されていたことがわかった。この点は非常に重要であり、避難するときの高磁場による二次被害の防止策の重要性が明らかになった。

阪神淡路大震災から東日本大震災の16年の間に、建築技術、特に免震技術が進み、免震化された施設では被害が軽減されていることが判明した。しかしながら、免震化率は10%以下にとどまっている²⁾。

阪神淡路大震災および東日本大震災で得られた教訓を生かし、震災時の患者の救助方法の策定、高磁場による二次被害防止方法の策定など、対応策の準備を進めておく必要がある。

●参考文献

- 1) 兵庫県南部地震記録誌 1995年1月17日午前5時46分M7.2 ―この経験を今後に生かすために―
<http://www.lib.kobe-u.ac.jp/directory/eqb/book/10-103/index.htm>.
- 2) 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, 日本磁気共鳴医学会誌, 33・2, 92~118, 2013.
- 3) 土橋俊男: 首都圏における大震災によるMRI装置の被害状況(東日本大震災における被害状況, 東京都・埼玉県を中心に), 大震災におけるMRI装置に起因する2次被害防止と被害最小化のための防災基準の策定, 平成24年総括・分担研究報告書, 135~144, 2012.

東日本大震災による MR 装置 602 台の被害状況報告

中井 敏 晴¹, 山口さち子², 土 橋 俊 男³, 前谷津文雄⁴,
引地 健 生⁵, 清 野 真 也⁶, 丹 治 一⁷, 安達廣司郎⁸,
武 蔵 安 徳⁹, 菱 沼 誠¹⁰, 阿 部 喜 弘¹¹, 石 森 文 朗¹²,
砂 森 秀 昭¹³, 榊 田 喜 正¹⁴, 松 本 浩 史¹⁴, 栗 田 幸 喜¹⁵,
藤 田 功¹⁶, 磯 田 治 夫¹⁷, 野 口 隆 志¹⁸, 梁 川 功¹⁹,
町 田 好 男²⁰

¹鶴国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室

²労働安全衛生総合研究所健康障害予防研究グループ

³日本医科大学付属病院放射線科 ⁴財宮城厚生協会泉病院放射線室 ⁵栗原市立栗原中央病院放射線科

⁶福島県立医科大学附属病院放射線部 ⁷財仁泉会北福島医療センター放射線技術科

⁸日本赤十字社盛岡赤十字病院医療技術部 ⁹岩手県立中央病院中央放射線部

¹⁰財厚生会仙台厚生病院放射線部 ¹¹鶴国立病院機構仙台医療センター放射線科

¹²医聖麗会聖麗メモリアル病院放射線科 ¹³鶴恩賜財団済生会水戸済生会総合病院放射線科

¹⁴千葉大学医学部附属病院放射線部 ¹⁵鶴恩賜財団済生会支部埼玉県済生会栗橋病院放射線科

¹⁶さいたま市立病院中央放射線部 ¹⁷名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻

¹⁸物質・材料研究機構超伝導線材ユニットマグネット開発グループ ¹⁹東北大学病院診療技術部放射線部門

²⁰東北大学大学院医学系研究科保健学専攻画像情報学分野

諸 言

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っ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 年に箕・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（必要性が高いにもかかわらず優先的に使用できなかった）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⁾。したがって，震災により可能な限り影響を受けないように普段から防災対

キーワード MRI, safety, earthquake, quanti, disaster prevention

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ことになる。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。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 週間ではほぼ 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も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ため、震災時に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

2012 年 12 月 26 日受理 2013 年 2 月 20 日改訂

別刷請求先 〒474-8522 愛知県大府市森岡町源吾 36-3
室 中井敏晴

鶴国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究

にかかわる事項についての分析を行うために実施した。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。

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; 謝辞参照) 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。

本研究は個人情報や人・動物を調査対象とする研究ではなく、また、何等かの介入を行うこともない匿名調査である。また、人の疾病の成因および病態の解明並びに予防および治療の方法の確立を目的とする研究にも相当しない。しかし、調査票に調査の主旨説明と同意確認を行うための文書を添付し、回答票の返信をもって同意を確認した。

調査票

使用した調査票は付録として添付した。調査票は以下に示す 14 項目から構成される。

(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-アンカー破損なし 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]; 2-1-3 被害の程度 [1. 影響なし 2. 軽微 3. 半損 (軽) 4 半損 (重) 5 全損] (MR 装置被害の分類は付録参照); 2-2 MR 室 2-2-1 被害の程度 [1. 影響なし 2. 一部損壊 3. 半壊 4. 全壊] (MR 室の部分だけでの評価、建物被害の分類は付録を参照); 2-3 設置建屋 2-3-1 建物の構造 [1. 耐震構造 2. 制振構造 3. 免震構造 4. その他] 2-3-2 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 (自由記述); 2-5 MR 装置の破損状況について個別の事象の有無 (発生件数によらない) 2-5-1 マグネットの架台破損 [有無] (以下同様) 2-5-2 マグネットの移動 2-5-3 磁性体の吸着 2-5-4 架台以外のマグネット装備品の損壊 2-5-5 チラー (冷却系) や空調機の故障 2-5-6 クエンチダクトの損傷 2-5-7 急激なヘリウム量の減少 2-5-8 システムキャビネット等のアンカーの破損 2-5-9 撮影室の電波・磁気シールドの破損, 機能低下 2-5-10 屋外機の設置状態の異常 (地盤

の変動) 2-5-11 浸水による電気, 電子システムの故障 2-5-12 床下, ピット内, 壁内の配線の切断, 損傷 2-5-13 受信コイル等の整理棚からの落下による破損; 2-6 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(自由記述); 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(自由記述)

(3) 被害原因 今回の被害の主な原因は何か [1. 強い揺れ, 2. 津波, 3. 揺れと津波の両方, 4. 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あったか [1. 病院(施設)スタッフによる点検のみで再稼働させた 2. MR装置メーカーによる点検のみで再稼働させた 3. 両者が関与したがMR装置メーカー主導で再稼働させた 4. 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 5. 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 6. 復旧が不可能であった]; 4-2 復旧の際に判断に迷ったり特に困ったりした事項(自由記述); 4-3 復旧作業の状況について [1. 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 2. 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 3. 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), 4. 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) 5. 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) 6. 費用や建物被害以外の原因で復旧が進まなかった(具体的原因を自由記述)]; 4-4 復旧の障害となった事項について(自由記述); 4-5 具体的な復旧状況(自由記述)

(5) 復旧の時期, 震災時の状況(MR装置ごとに回答) 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 [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]

(6) 検査中の場合, 患者の被害状況(MR検査に関係ある事項のみ) 6-1 震災時発生時にMR装置と関連して患者に被害が発生したか [有, 無]; 6-2 具体的な被害状況(自由記述)

(7) 検査担当者の被害状況(MR検査に関係ある事項のみ) 7-1 震災時発生時にMR装置と関連して検査担当者に被害が発生したか [有, 無]; 7-2 具体的な被害状況(自由記述)

(8) 発災直後に取った措置 8-1 患者の安全確保(自由記述), 8-2 MR装置の安全確保(自由記述)

(9) 復旧費用(MR装置に関連する費用のみ) [1. 保守契約内で無償 2. 100万円未満 3. 100万円以上 500万円未満 4. 500万円以上 1000万円未満 5. 1000万円以上 6. 現時点で不明]

(10) 磁場停止措置 10-1 震災直後にクエンチボタン(消磁ボタン)を押したか [1. 押した 2. 押さなかった]; 10-2 押した場合は, その理由(自由記述)

(11) クエンチの発生 11-1 今回の震災時やそれ以降にクエンチが起きたか(クエンチの分類は付録を参照) [1. 即時クエンチ 2. 遅延クエンチ 3. 原因不明のクエンチ 4. 無]; 11-2 クエンチ発生の場合, のべ何回のクエンチが発生したか(回数を回答); 11-3 上記①で該当の場合, クエンチが起きた装置に磁性体の吸着はありましたか [有 無]; 11-4 上記③で「有」の場合, 吸着された具体的な物品や

状況を教えてください；11-5 今回の震災以前にクエンチの発生はあったか〔有（回数を回答）無〕；11-6 11-5 で該当（有）の場合の分類（複数回答可）〔1. 設置時に発生 2. 通常の運転時に発生 3. 施設のトラブルに関連して発生（1. メンテ作業時に発生 2. 天変地異に関連して発生 3. 原因不明）；11-7 クエンチに関して特記すべき事項があれば記載してください（クエンチの原因と考えられる事象、クエンチに関する疑問点など）

(2) 災害時の MR 検査の安全確保に関する指針 12-1 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」を読んだか〔1. 公表後 1 週間以内に読んだ 2. 1 週間後以降に読んだ 3. 1 ヶ月後以降に読んだ 4. その緊急提言は知らなかった〕；12-2「緊急提言」は役に立ったか〔1. 大変役に立った 2. 一部分が役に立った 3. 役に立たなかった〕；12-3「役に立った」と回答の方へ、具体的にどの部分が役立ちましたか（自由記述）；12-4「緊急提言」を知った機会〔1. 日本磁気共鳴医学会のホームページ 2. その他のインターネット情報 3. 職場での伝達 4. 行政機関からの通知 5. MR メーカーからの案内 6. 学会や技師会等からの連絡 7. 知人を通して 8. その他〕；12-5 今後このような指針に追加すべき事項（自由記述）

(3) 今後の震災への対応策（自由記述）

(4) 聞き取り調査への対応 〔はい いいえ〕

調査票の回収方法と集計

調査票の送付と回収は国立長寿医療研究センターを最終的な発着点とした郵送調査により行い、対象者が調査票を受け取ってから約 2 か月後となる 2012 年 8 月 31 日（火）を投函期限とし返送するよう調査票用紙に添付した説明文に記載して指示した。回答票には聞き取り調査を受託する場合以外は回答者個人や施設を特定できる情報は含まれない。

調査票の記入内容はエクセルを用いた集計表

に入力作業を行い、2 名が独立に読み込みエラーの確認を行い修正し最終データとした。集計票には調査票が回収された順に割り振られた ID 番号のみを付し、施設や回答者が判明している調査票についても集計ではそれらの情報を除いて作業を行った。集計表から算出された合計等のデータについては、2 名でチェックを行った。装置について、常電導磁石という回答については、マーケティング状況を鑑みるにはほぼすべて永久磁石型 MR 装置と考えられたため、永久磁石に集約した。

結 果

回収率

984 通の調査票投函は 2012 年 6 月 15 日から 7 月 4 日の間に実施された。一斉に投函できなかったのは発送作業上の制約による。調査票に提示した回収期限は 8 月 31 日であったが 10 月 31 日まで回収を続けた結果、当初配布した 984 通のうち 456 通が回収された（単純回収率 46.1%）。震災後に MR 装置が導入されていたことが判明した施設から得られた回答が 4 件あったため、調査対象としての母集団から外した。また、調査期間中に MR 装置を震災当時に導入していたことが新たに判明した施設が 3 施設あったため、追加して調査票 3 通を送付し、最終的には調査対象を 983 施設、回収数を 458 件と修正した（最終回答率 46.6%）。

施設の基本情報

施設情報を表 1-1～1-7 に回答を寄せた施設の基本情報を、表 1-8 にその所在地となる当該地域の震度を示す。施設規模としては 101～300 床規模の病院が最も多かったが（29.9%）、全体的に極端な偏りはないものと考えられる（表 1-1）。法人としての施設の種類の民間病院（39.1%）が最も多く、ついでクリニック（診療所）、国公立病院であった（表 1-2）。MRI 装置の設置台数は 1 台が（79.5%）（表 1-3）、磁場強度は 1.5T が（61.6%）最も多く、つい

東日本大震災による MR 装置の被害

表 1-1. 施設規模（施設単位）

	度数	割合（％）
入院設備なし	95	20.7
100 床以下	88	19.2
101～300 床	137	29.9
301～500 床	82	17.9
501 床以上	55	12.0
無回答	1	0.2
合計	458	100.0

回答を得た施設の病床数規模。割合（％）は回収された調査票の総数に対するそれぞれの病床規模分類の比率を示す（施設単位）。

表 1-2. 施設の種類（施設単位）

種 類	度数	割合（％）
クリニック（診療所）	106	23.1
民間病院	179	39.1
国公立病院（独立行政法人を含む）	101	22.1
私立大学病院	26	5.7
国公立大学病院	8	1.7
大学病院以外の大学施設・研究機関	8	1.7
その他	27	5.9
無回答	3	0.7
合計	458	100.0

回答を得た施設の種別分類。割合（％）は総回答数に対するそれぞれの施設分類の比率を示す（施設単位）。

表 1-3. MRI 装置の設置台数（施設単位）

	度数	割合（％）
1 台	364	79.5
2 台	63	13.8
3 台	16	3.5
4 台	11	2.4
5 台以上	4	0.9
無回答	0	0.0
合計	458	100.0

回答を得た施設が保有する MR 装置の台数。割合（％）は総回答数に対するそれぞれの台数分類の比率を示す（施設単位）。

表 1-4. MR 装置の静磁場強度（装置単位）

磁場強度	度数	割合（％）
0.5T 以下	144	23.9
1T	31	5.1
1.5T	371	61.6
3T	54	9.0
4T 以上	2	0.3
無回答	0	0.0
合計	602	100.0

回答を得た施設が保有する MR 装置の静磁場強度の内訳。超伝導型装置と永久磁石型装置の両方を含む。割合（％）は総装置数に対するそれぞれの静磁場強度分類の比率を示す（装置単位）。

表 1-5. MR 装置の磁場システム（装置単位）

	度数	割合（％）
永久磁石	129	21.4
超伝導磁石	472	78.4
無回答	1	0.2
合計	602	100.0

回答を得た施設が保有する MR 装置の静磁場を発生させているシステムの内訳。割合（％）は総装置数に対するそれぞれの静磁場強度分離の比率を示す（装置単位）。永久磁石型装置を常伝導型と誤認している例については永久磁石型に分類した。

表 1-6. 建屋の構造（施設単位、重複あり）

	度数	割合（％）
耐震構造	313	68.0
免震構造	36*	7.8
制振構造	2	0.4
その他	71*	15.4
無回答	38	8.3
合計	460	100.0

回答を得た施設が MR 装置を設置している建屋構造の分類。*は重複回答（各 1）。割合（％）は重複回答を含むそれぞれの回答の全回答に対する比率を示す。

表 1-7. 建屋の建築年 (施設単位)

	度数	割合 (%)
1981 年以前	22	4.8
1982～1989 年	65	14.2
1990～1999 年	131	28.6
2000～2009 年	151	33.0
2010 年以後	13	2.8
不明：1981 年以前の建築	42	9.2
不明：1981 年以後の建築	1	0.2
無回答	33	7.2
合計	458	100.0

回答を得た施設が MR 装置を設置している建物の建築年の内訳 (装置単位)．割合 (%) はそれぞれの建築年代に設置された建屋が全回答に対して占める比率を示す．

表 1-8. 当該地域の震度 (施設単位)

	度数	割合 (%)
1	0	0.0
2	0	0.0
3	3	0.7
4	21	4.6
5 弱	116	25.3
5 強	142	31.0
6 弱	94	20.5
6 強	60	13.1
7	4	0.9
無回答	18	3.9
合計	458	100.0

回答を得た施設の所在地における震度 (気象庁分類)．割合 (%) は総回答数に対するそれぞれの震度分類の比率を示す (施設単位)．

で 0.5T 以下 (23.9%) (表 1-4)，磁場システムは超伝導が 78.4% であった (表 1-5)．建屋構造は耐震構造が 68.0%，免震構造が 7.8%，「その他」の回答が 15.4% であり，建屋の築年月日は 1981 年 (建築基準法の改定年) 以前のものは 14.0% であった (表 1-7)．震度分布は震度 5 以上が 90.8% を占めており，震度 3～4 が 5.3% で震度 2 以下の回答はなかった (表 1-

8)．

被害状況

個々の MR 装置の具体的被害状況を表 2 に示す．MR 装置の磁場強度 (表 2-1-1) は問 1-④の集計結果 (表 1-3) と完全に一致していないが，静磁場強度が 0.5T よりも大きく 1.5T よりも小さいが 1.0T ではない装置が問 1-④では近似的に回答され，問 2-①-1 では「その他」として回答されたためである．磁場システムの分類と MR 装置の総台数は問 1-⑤と問 2-①-2 で一致している．装置本体の据え付け方法としては，アンカー固定されている装置が 65.8% であり，全装置の 3.2% (アンカー固定された装置の 4.8%) でアンカー破損が報告されている (表 2-1-3)．MR 装置に発生した被害の全体評価 (表 2-1-4) では，78.2% の回答が「影響なし」とする一方で全損は 13 台 (2.2%) で，そのうち 11 台は津波による被害であった．MR 室の被害の程度は 91.7% で「影響なし」と回答しており，半壊が 3 件，全壊が 9 件であった (表 2-2)．MR 室が設置されている建屋の構造を問 2-③-1 では装置ごとに確認している点が問 1-⑥の結果 (表 1-6) とは異なるがほぼ同じ結果になっており，「その他」が 16.9% となっている (表 2-3-1)．建物全体被害の程度 (表 2-3-2) は半壊が 8 件，全壊が 6 件であった．

建屋，MR 室の破損状況に関する特記事項 (問 2-④) では 51 件の被害報告があり，具体的には壁の亀裂 (18 件)，浸水被害 (12 件)，建屋の損傷 (7 件)，地盤の沈下・液化化 (5 件)，装置等の移動 (5 件)，シールドの破損 (4 件)，床の異常 (3 件)，壁や天井の剥落 (2 件)，室外機の破損 (1 件)，その他 (4 件) であった (重複回答あり)．

MR 装置の破損状況については回答を容易にするために発生件数によらず施設として事象の有無のみを尋ねた (表 2-⑤-1～2-⑤-13)．最も多かった被害はマグネットの移動 (12.4%) であり，次いでチラー (冷却系) や空調機の故

東日本大震災による MR 装置の被害

表 2-1-1. 静磁場強度(装置単位, 回答票 1 での記入)

磁場強度	度数	割合 (%)
0.5T 以下	145	24.1
1T	30	5.0
1.5T	370	61.5
3T	52	8.6
4T 以上	2	0.3
その他	2	0.3
無回答	1	0.2
合計	602	100.0

回答票 1 (各施設が保有する MR 装置について個別に記入) に記入された施設が保有する MR 装置の静磁場強度の内訳。割合 (%) は総装置数に対するそれぞれの静磁場強度分類の比率を示す (装置単位)。表 1-4 との数値の食い違いは, 0.5T 以上かつ 1.5T 以下の静磁場強度を持つ装置で 1.0T でないもの (その他の 2 台) が, 表 1-4 では近似的に回答されていたためである。

表 2-1-2. MR 装置の磁場システム (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
永久磁石	129	21.4
超伝導磁石	472	78.4
無回答	1	0.2
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された施設が保有する MR 装置の静磁場発生システムの内訳。割合 (%) は総装置数に対するそれぞれの静磁場発生システム分類の比率を示す (装置単位)。結果は表 1-5 と一致している。

表 2-1-3. MR 装置の据えつけ方法と破損状況 (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
アンカー固定あり, アンカー破損無し	377	62.6
アンカー固定あり, アンカー破損あり	19	3.2
アンカー固定なし	166	27.6
その他	9	1.5
無回答	31	5.1
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された施設が保有する MR 装置の据えつけ方法の内訳。割合 (%) は総装置数に対するそれぞれの据えつけ方法の比率を示す (装置単位)。

表 2-1-4. MR 装置の被害程度 (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
影響なし	471	78.2
軽微	86	14.3
半損 (軽度)	13	2.2
半損 (重度)	3	0.5
全損	13	2.2
無回答	16	2.7
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された施設が保有する MR 装置の被害程度の内訳。割合 (%) は総装置数に対するそれぞれの被害程度分類の比率を示す (装置単位)。被害程度の定義は付録を参照のこと。

表 2-2. MR 室の被害程度 (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
影響なし	552	91.7
一部損壊	32	5.3
半壊	3	0.5
全壊	9	1.5
その他	1	0.2
無回答	5	0.8
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された施設の MR 室の被害程度の内訳。割合 (%) は総装置数に対するそれぞれの被害程度分類の比率を示す (装置単位)。被害程度の定義は付録を参照のこと。

障 (9.6%), 急激なヘリウム量の減少 (8.4%), 架台以外のマグネット装備品の損壊 (7.6%) である。注目されるのはクエンチダクトの損傷が 4.5% の施設で認められた点である。磁性体の吸着は 1.5% であったが, 津波被害と関連して発生しており, ロッカー等の什器類や外部から流れ込んだものなど, 通常の吸引事故では見られないものが吸着されている点が注目された。また, 津波被害の非該当事例で磁性体の点滴台が吸引された通常型の吸引事故の発生も報告されている。

表 2-3-1. 建屋の構造 (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
耐震構造	408	67.8
免震構造	54	9.0
制振構造	4	0.7
その他	102	16.9
無回答	34	5.6
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された各施設において MR 室が設置されている建屋構造の内訳。割合 (%) は総 MR 室数に対するそれぞれの建屋構造の比率を示す (装置単位)。施設単位の回答となっている表 1-6 では、各施設に見られる建屋構造の主要部分の構造が回答されているが、本表では装置単位で回答されているため数値に違いが生じている。

表 2-3-2. 建屋の被害程度 (装置単位, 回答票 1 での記入)

	度数	割合 (%)
影響なし	494	82.1
一部損壊	83	13.8
半壊	8	1.3
全壊	6	1.0
その他	0	0.0
無回答	11	1.8
合計	602	100.0

回答票 1 に記入された施設における MR 室の設置されている建屋の被害状況の内訳。割合 (%) は総 MR 室数に対するそれぞれの被害程度の比率を示す (装置単位)。被害程度の定義は付録を参照のこと。MR 室の被害状況 (問 2-②) と比較すると、一部損壊や半壊の件数が多くなっている。

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など MR 装置の破損状況についての自由記述 (問 2-⑦) は 34 件あった。クエンチの不安 (8 件) が最も多く, その背景は停電 (浸水被害を含む) による液体ヘリウム量の低下である。関連して注目されるものとして, ヘリウムの撮影室への漏出の不安 (3 件) が挙げられ, その根拠として排気管の破断が指

表 2-5-1. マグネットの架台破損 (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	18	3.9
無	422	92.1
無回答	18	3.9
合計	458	100.0

表 2-5-2. マグネットの移動 (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	57	12.4
無	383	83.6
無回答	18	3.9
合計	458	100.0

表 2-5-3. 磁性体の吸着 (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	7	1.5
無	432	94.3
無回答	19	4.1
合計	458	100.0

表 2-5-4. 架台以外のマグネットの装備品の破損 (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	35	7.6
無	407	88.9
無回答	16	3.5
合計	458	100.0

表 2-5-5. チラー (冷却系) や空調機の故障 (施設単位, 超伝導型装置のみ)

	度数	割合 (%)
有	32	9.6
無	291	87.7
無回答	9	2.7
合計	332	100.0

東日本大震災によるMR装置の被害

表 2-5-6. クエンチダクトの損傷（施設単位，超伝導型装置のみ）

	度数	割合（％）
有	15	4.5
無	309	93.1
無回答	8	2.4
合計	332	100.0

表 2-5-7. 急激なヘリウム量の減少（施設単位，超伝導型装置のみ）

	度数	割合（％）
有	28	8.4
無	293	88.3
無回答	11	3.3
合計	332	100.0

表 2-5-8. システムキャビネット等のアンカー破損（施設単位）

	度数	割合（％）
有	20	4.4
無	416	90.8
無回答	22	4.8
合計	458	100.0

表 2-5-9. 撮影室の電波・磁気シールドの破損，機能低下（施設単位）

	度数	割合（％）
有	28	6.1
無	410	89.5
無回答	20	4.4
合計	458	100.0

表 2-5-10. 屋外機の設置状態の異常（地盤の変動）（施設単位，超伝導型装置のみ）

	度数	割合（％）
有	17	5.1
無	308	92.8
無回答	7	2.1
合計	332	100.0

表 2-5-11. 浸水による電気，電子システムの故障（施設単位）

	度数	割合（％）
有	13	2.8
無	426	93.0
無回答	19	4.1
合計	458	100.0

表 2-5-12. 床下，ピット内，壁内の配線の切断，損傷（施設単位）

	度数	割合（％）
有	14	3.1
無	426	93.0
無回答	18	3.9
合計	458	100.0

表 2-5-13. 受信コイル等の整理棚からの落下による破損（施設単位）

	度数	割合（％）
有	17	3.7
無	424	92.6
無回答	17	3.7
合計	458	100.0

回答を得た 458 施設におけるそれぞれの被害事象の有無。事象発生有無のみを問うており，発生件数や回数に基づいた実数ではない。表 2-5-5～表 2-5-7 と表 2-5-10 は超伝導型装置を保有する施設（332 施設）のみを抽出した集計に基づく。割合（％）は全回答数に対するそれぞれの回答内容の比率である（施設単位）。

摘されている。実際に，酸素モニタの警報が鳴った事例もあった。次いで MR 装置の移動による寝台の不具合（7 件）に関するものも多く，寝台がロックしてしまい引き出せなくなったために患者救出の障害になったとする報告があった。マグネットのエンクロージャの脱落（3 件）では，患者の救出活動中に発生し患者や技師に衝突しそうになった事例もあった。それ以外に注目される指摘は，操作室に設置され

ていたシステムキャビネットが転倒しそうになった、撮影室入口の建具の変形により閉じ込められる恐怖、空調停止による機械室の温度上昇が引き起こした装置の不調などであった。

震度と被害事象の発生状況の関係では、架台以外のマグネット装備品の破損は震度4から、マグネットの移動と液体ヘリウムの急激な減少が震度5弱から見られ始めるのに対し、それ以外のすべての破壊的な被害事情は震度5強から増加し始めた。

被害原因

問3では今回の被害の主な原因について尋ねた(表3)。強い揺れが50.3%であったが、インフラの復旧遅延(停電・断水)を主な原因とした施設が20.7%を占め、MR装置が受ける被害はインフラの障害にも大きく依存することを裏付けている。なお、津波を主因とした回答は5件(1.0%)で津波と強い揺れの双方を原因とした回答7件(1.4%)と合わせて12件が津波による浸水被害を受けた施設であることが確認できた。

復旧の状況

問4では復旧体制の実情を調べた。震災後の復旧作業の担い手が病院のスタッフかメーカーのサービスのいずれであったかを尋ねた(問4-①)。39.5%の施設(39.7%のMR装置)において病院(施設)スタッフのみによる点検で再稼働させており、メーカーも関与したが病院(施設)スタッフ主導で再稼働させたとする回答も合わせると51.3%の施設(51.3%のMR装置)においてスタッフ主導で復旧されている(表4-1)。一方で、特に復旧作業あるいは点検は行わずそのままMR装置を使用したとする施設が5.6%(4.5%のMR装置)あった。

MR装置の復旧過程で判断に迷った事項(問4-②、自由記述)としては69件の回答があり、問4-④で尋ねている復旧の障害になった事項についての記載も含まれた。最も多かった回答は震災時におけるMR装置の再稼働時の

表3. 被害原因(施設単位、重複あり)

	度数	割合(%)
強い揺れ	243	50.3
津波	5	1.0
揺れと津波の両方	7	1.4
インフラの復旧遅延(停電・断水)	100(75)	20.7
無回答	128	26.5
合計	483(458)	100.0

MR装置に見られる被害原因の内訳。インフラの復旧遅延については、他の選択肢と重複回答があり、括弧内は重複回答を除いた数字。割合(%)は重複を含んだ総度数に対するそれぞれの回答数の比率を示す(施設単位、重複あり)。

注意事項が不明(16件)という指摘であった。通信障害(MR装置メーカーへの連絡不通)が12件、MR装置メーカー担当者の来訪不能10件指摘されており、原発事故の影響により警戒区域外であっても訪問拒否となった事例が3件あった。インフラ障害による復旧の遅れは11件の指摘があったが、具体的な内容として非常電源の容量不足や非常電源への未接続、断水、計画停電などが挙げられる。クエンチのリスクに関する状況判断の難しさや不安(9件)も注目され、メーカーに連絡がついても被災地の状況をどれだけ理解して回答しているのか不安であるとする指摘もあった。MR装置の故障による検査再開不能が障害であったとする回答は5件であったが、判明しているだけで装置の全損は13件ある(表2-1-4)。

問4-③では復旧作業において課題となった事項について尋ねたが(表4-2)、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する施設が43.9%(総回答数に対する割合)に達しており問4-①の結果と一致している。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とする回答が14.8%であった。装置の復旧費用を指摘する回答が1.7%(項目3と4)、建物被害の影響は

表 4-1. 復旧作業の担い手（施設単位，装置単位）

	施設単位		装置単位	
	度数施設数	割合 (%)	度数合計台数	割合 (%)
病院（施設）スタッフによる点検のみで再稼働させた	185	39.5	239	39.7
MR 装置メーカーによる点検のみで再稼働させた	32	6.8	37	6.1
両者が関与したが，MR 装置メーカー主導で再稼働させた	84	17.9	94	15.6
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	55	11.8	70	11.6
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	26	5.6	27	4.5
復旧が不可能であった	20	4.3	13	2.2
無回答	66	14.1	122	20.3
合計	468	100.0	602	100.0

震災後に MR 装置再稼働の担い手が病院（施設）側であったか，メーカー側であったかに関するユーザーの認識。割合（％）は総回答数（n=458）に対する各回答数の比率を示す。装置台数を考慮に入れない場合（施設単位）と入れた場合（装置単位）では，傾向に大きな違いはない。

表 4-2. 復旧作業で支障となった個別要因（施設単位）

	度数	割合 (%)*
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	201	43.9
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	68	14.8
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）	6	1.3
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）	2	0.4
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）	10	2.2
費用や建物被害以外の原因で復旧が進まなかった	14	3.1

震災後の MR 装置再稼働に向けた復旧作業で支障となった理由として各項目が該当するかどうか施設単位の回答を求めた（重複回答あり）。割合*は総回答数（n=458）に対する個々の回答数の比率を示す。

2.2%であったが，3.1%の施設が費用や建物被害以外の原因を指摘している。

復旧の障害原因について（問 4-④，自由記述）では 68 件の回答があり，インフラの回復の遅れによる影響を指摘するものが多かった（35 件）。インフラ障害の具体的内容としては，停電や電力の問題が 25 件，道路の通行障害が 6 件，通信障害が 6 件，断水が 2 件であった。原発事故の影響を指摘する回答は 6 件あった。MR 装置メーカーの対応不足については 13 件の指摘があったが，大震災という状況なので対応に限度があるのは止むを得ないと

いうとらえ方をしたものは 8 件であった。物資の供給不足では，液体ヘリウムの供給不足が 3 件，ガソリン不足（2 件）や自家発電用の重油不足，MR 装置や撮影室の修理用部材の入手困難などが報告された。修理費用や全損した装置の廃棄が負担として大きいとの指摘もあった。

具体的な復旧状況（問 4-⑤，自由記述）では 142 件の回答があり，自主点検で復帰させたとする記述が 67 件（メーカーに連絡を取りながら指示を仰いだ場合も含む）で，メーカーの点検後に使用再開したとする記述が 18 件で

あった。メーカーによる修理後の復帰は24件である。修理作業の内容としては、移動したマグネットの位置修正（12件、うち10件が消磁作業を伴ったことを報告）と寝台の可動性不良の修理（10件）、シールド再建工事（2件）が主な内容であった。MR装置の全損により廃棄になったとする記述が9件で、関連する状況報告のみで以上のような復帰過程の分類ができないものが27件、建物の問題や原発問題による計画未定が2件であった。なお、永久磁石型の装置については、停電のために保温装置が停止したために、システムを復帰させても実際に撮影できるまでに時間がかかったとする回答が7件あった。

復旧の時期、震災時の状況

問5では発災からメーカーによる復旧作業（修理）開始、機器が使用可能となるまで、検査を再開するまでのそれぞれの期間を調べた（表5-1～5-3）。一週間で7割以上の施設が検査を再開しているが、発災後3日以内に着目すると実数でも比率でも検査を再開している施設がメーカーによる復旧作業開始となった施設数を上回っている。メーカーの作業を待たずに施設側でMR装置の状況判断や検査再開の判断を行わざるを得ないという震災時に特有の事情が反映されており、問4-③の結果と一致する。

震災時のMR装置の状況は「スキャン中」が46.3%、「検査中」（患者等は撮影室内にいたがガントリー内にはいなかった状態）が13.2%であり（表5-4）、午後2時46分という時刻において6割のMR装置で検査担当者が患者の救出や誘導が必要な状態に遭遇していたことが分かった。

検査中の場合、患者の被害状況

問6：震災時発生時にMR装置と関連して患者に被害が発生したとする報告は9件（2%）で、身体的な被害としては手の受傷（寝台で手を挟んだ）、地震による震動のためガントリー内で軽度の打撲があった、の2件が報告され

表5-1. 発災からメーカーによる復旧作業（修理）開始までの期間（装置単位）

	度数	割合（%）
当日	88	14.7
翌日	34	5.7
三日以内	53	8.8
一週間以内	91	15.2
二週間以内	64	10.7
二週間以上	35	5.8
その他	17	2.8
無回答	218	36.3
合計*	600	100.0

回答票2に記入された発災からメーカーによる復旧作業（修理）開始までの期間。3日以内の開始は全体の29.2%である。割合（%）は回答のあった装置数の合計に対する比率である（装置単位）。この合計（n=600）は回答票2に記入のあった度数の合計であるが、回答票1との合計数の違いは回答票1と回答票2は独立であり、回答票2では一部に未記入があったために生じた。

表5-2. 発災からMR装置が使用可能となるまでの復旧期間（装置単位）

	度数	割合（%）
当日	220	36.7
翌日	59	9.8
三日以内	71	11.8
一週間以内	74	12.3
二週間以内	35	5.8
二週間以上	36	6.0
その他	2	0.3
無回答	103	17.2
合計*	600	100.0

回答票2に記入された装置ごとの発災から装置が使用可能になるまでの期間（装置単位）。発災から3日以内に58.3%のMR装置で使用可能と判断されている。割合（%）は回答のあった総装置数の合計に対する比率である。合計と無回答の扱いは表5-1と同じ。

た。精神的な面では、患者に強度のストレスが発生したとする回答が2件あった。それ以外には、検査不能による医療上の損失が2件指摘されている。

東日本大震災による MR 装置の被害

表 5-3. 発災から検査再開までの期間 (装置単位)

	度数	割合 (%)
当日	177	29.5
翌日	68	11.3
三日以内	73	12.2
一週間以内	82	13.7
二週間以内	44	7.3
二週間以上	52	8.7
その他	5	0.8
無回答	99	16.5
合計*	600	100.0

回答票 2 に記入された装置ごとの発災から検査再開までの期間。発災から 3 日以内に 53.0% の MR 装置で検査が再開されている。割合 (%) は回答のあった総装置数の合計に対する比率である。合計と無回答の扱いは表 5-1 と同じ。

表 5-4. 震災時の装置使用状況 (装置単位)

	度数	割合 (%)
スキャン中	278	46.3
検査中	79	13.2
始業前・終業後	78	13.0
実験中	2	0.3
点検中	5	0.8
非稼動状態	81	13.5
その他	4	0.7
無回答	73	12.2
合計*	600	100.0

回答票 2 に記入された装置ごとの発災時における装置の使用状況。46.3% の MR 装置でスキャン中であり、59.5% の装置で患者が撮影室内にいた。割合 (%) は回答のあった総装置数の合計に対する比率である。合計と無回答の扱いは表 5-1 と同じ。装置の使用状況の定義は付録を参照のこと。

検査担当者の被害状況

問 7 では震災時発生時に MR 装置と関連して検査担当者に被害が発生した被害について尋ねた。被害の報告は 1 件 (0.2%) あったが (表 7)、具体的な被害内容は報告されていない。

表 6. 震災時発生時に MR 装置と関連して患者に被害が発生したか (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	9	2.0
無	394	86.0
無回答	55	12.0
合計	458	100.0

震災発生時における患者の受傷の有無。割合 (%) は回収された調査票の総数に対する比率を示す (施設単位)。

表 7. 震災時発生時に MR 装置と関連して検査担当者に被害が発生したか (施設単位)

	度数	割合 (%)
有	1	0.2
無	419	91.5
無回答	39	8.3
合計	458	100.0

震災発生時における検査担当者の受傷の有無。割合 (%) は回収された調査票の総数に対する比率を示す (施設単位)。

発災直後に取った措置

問 8 では発災直後にとった措置を自由記述で回答させ 300 件の回答を得た (表 8-1)。患者の救出・避難誘導は、地震の第一波による揺れが始まった直後に開始した場合と、揺れが収まってから開始した場合に大きく分けられる。自由記述の回答を地震の第一撃が発生した時点を中心として、行動開始のタイミング、MR 装置までのアプローチの状況、寝台の操作、患者の誘導、地震が収まるまでの待機場所の 5 段階に分けて定性的に分類した (表 8-2)。この 5 段階すべてが読み取れない回答も少なくないため、本実施報告においては定性的な分類のみに留める。MR 装置の安全確保のための処置では、MR 装置のシャットダウン、停電した装置のブレーカーの遮断、MR 装置の緊急点検、コイル等の落下による破損を防ぐ措置 (揺れの最中に棚を押さえる、コイルを床の上に移動させ

表 8-1. 患者と MR 装置の安全確保に関する回答状況 (施設単位)

	度数	割合 (%)
①, ②を区別して回答	216	47.2
内訳 ①への回答	215	
②への回答	207	
①, ②を区別せず回答	84	18.3
無回答	158	34.5
合計	458	100.0

患者の安全確保 (①) と MR 装置の安全確保 (②) に関する自由記述回答の状況. 割合 (%) は回収された調査票の総数に対する比率を示す (施設単位). 内訳は 216 件の記入のうち, ①と②がそれぞれ何件であったかを示す.

表 8-2. 患者救出・避難過程のパターン分類

- | |
|---|
| A. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出して患者を降ろし, 前室に避難 |
| B. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出して患者を降ろし, 撮影室内で待機 |
| C. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出し, その上の患者を支えながら待機 |
| D. 直ちに撮影室に入出し寝台はそのまま待機 |
| E. 直ちに撮影室に入出し寝台を引き出した上で取り外し患者を載せたまま前室に避難 |
| F. 直ちに撮影室に入室しようとしたが揺れが強く MR 装置の近くまで行けなかった |
| G. 揺れが収まらないので中途より撮影室に入室し上記 (A~E いずれか) の対処を試みた |
| H. 操作室で待機し, 揺れが収まってから撮影室に入室して寝台を引き出して患者を避難させた |
| I. 操作室で待機し, 揺れが収まってから患者に自分でガントリー内から出てきてもらった |
| J. 操作室で待機し, 揺れが収まったら患者が自分でガントリー内から出てきた |
| K. 患者は撮影室にいなかった (該当せず) |

問 8 の自由記述回答のうち患者の安全確保 (①) の部分を, 行動開始のタイミング, MR 装置までのアプローチの状況, 寝台の操作, 患者の誘導, 地震が収まるまでの待機場所の 5 段階に分けて行動パターンを分類した.

るなど), MR 室 (撮影室) への立入禁止措置, 等が主な回答であった. 立入禁止措置は, 具体的には掲示や施錠が行われているが, 撮影室のドアについては開放したとする回答と, 施錠したとする回答の両方があり, 対応が分かれている. 津波の到来が予測された場合は迅速な避難が最優先であり MR 装置に対する処置は行われていないが, それ以外でも MR 装置への処置は行っていない (何もできなかった) とする回答があった. なお, 患者が MR 室にいる状態で津波による浸水に至ったとする報告はなかったが, 津波警報が伝わらなかったため浸水が始まった時に職員が MR 検査室に残留していた事例が 1 件報告されている.

復旧費用

問 9 では被災した MR 装置の復旧費用について尋ねた. 全回答者の 50.0% が「保守契約内で無償」としているが, 100 万円以上の費用負担が 30 件 (6.6%), 発災から 1 年 3 か月経過した調査時点で不明とする回答が 18 件 (3.9%) あった (表 9).

磁場停止措置

問 10 ではクエンチボタンの扱いについて尋ねた. 震災直後にクエンチボタン (消磁ボタン) を押したとする回答は 1 件のみで (表 10), 理由は地震によるパニックであった. 判断の理由については, 31 件のコメントがあり, 18 件がクエンチボタンを押さなかった理由について述べており, 緊急的状況で検討の余裕すらなかった (6 件), 明確な判断基準がなかった (5 件), 停電の発生 (3 件), 不必要と判断 (3 件) などが挙げられた. また, 費用の問題, 排気口の損傷による事故のリスクを指摘する回答もあった.

クエンチの発生

問 11 ではクエンチの発生状況について尋ねた. 今回の震災時やそれ以降にクエンチが起きたとする回答は 19 施設であった (表 11-1). 内訳は即時クエンチが 5 施設, 遅延クエンチが 10 施設, 原因不明のクエンチが 4 施設であ

表 9. MR 装置の復旧に要した費用（施設単位）

	度数	割合 (%)
保守契約内で無償	229	50.0
100 万円未満	15	3.3
100 万円以上 500 万円未満	13	2.8
500 万円以上 1000 万円未満	4	0.9
1000 万円以上	13	2.8
現時点で不明	18	3.9
無回答	166	36.2
合計	458	100.0

MR 装置の復旧に要した費用。それぞれの費用規模の割合 (%) は回収された調査票の総数に対する比率を示す（施設単位）。半数の施設が保守契約の範囲で復旧している一方、無回答が 36.2% を占めた。

表 10. 震災直後にクエンチボタン（消磁ボタン）を押したか（施設単位、超伝導装置のみ）

	度数	割合 (%)
押した	1	0.3
押さなかった	316	95.2
無回答	15	4.5
合計	332	100.0

震災直後に強制クエンチを行った施設数の超伝導型 MR 装置を保有する施設数に対する比率を示す（施設単位）。津波被害後の処理として強制クエンチを含まれた事例（1 件）は「押さなかった」に分類した。

り（表 11-1）、19 施設のうち 5 施設が複数回のクエンチを経験している（表 11-2）。クエンチが起きた装置に磁性体の吸着があったとする回答は 2 施設で（表 11-3）、具体的な吸着物としては津波浸水例におけるロッカー等の什器類が報告されている。今回の震災以前にクエンチを経験しているのは 37 施設（超伝導型の MR 装置を設置している施設の 11.1%）であり、原因別では不明とする回答が半数を占めた（表 11-6）。「天変地異に関連して発生」とした回答はなく、原因はそれ以外の項目に分散した。クエンチに関して特記すべき事項の記入は 26 件で、今回の震災により発生したクエンチの原因や発生状況に関するコメント（7 件）、震災

表 11-1. 今回の震災時やそれ以降におけるクエンチ発生の有無（施設単位、超伝導装置のみ）

	度数	割合 (%)
即時クエンチ	5	1.5
遅延クエンチ	10	3.0
原因不明のクエンチ	4	1.2
強制クエンチ	2	0.6
無	293	88.3
無回答	18	5.4
合計	332	100.0

今回の震災発生時やそれ以降におけるクエンチ発生事例の超伝導型 MR 装置を保有する施設数に対する比率を示す。クエンチの分類は付録を参照のこと。今回のような大震災におけるクエンチ発生の原因や対策を念頭におき、かつ MR 装置のユーザーが回答しやすい判断基準を提示するために、発災からの時間経過により分類した。この分類は本調査のための暫定的なものであり、物理工学的に厳密な分類ではない。割合 (%) は超伝導型 MR 装置を保有する施設数に対する比率を示す。複数回クエンチを起こしている施設もあるが、回答は施設単位になっている。

表 11-2. 今回の震災で発生したクエンチののべ回数（該当事例のみ）

	度数	割合 (%)
1 回	14	73.7
2 回	4	21.0
3 回	0	0.0
4 回	0	0.0
5 回	1	5.3
6 回以上	0	0.0
無回答	0	0.0
合計	19	100.0

今回の震災発生時やそれ以降にクエンチが発生した事例で、クエンチが発生した回数の分布。割合 (%) は該当事例数に対する比率を示す。

前に発生したクエンチの原因や状況に関するコメント（6 件）、クエンチに関する問題意識（7 件）等の指摘が中心であった。課題としては、液体ヘリウムの減少とクエンチリスクとの関係、クエンチボタンを押すべき状況の判断など