

## 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<sup>1</sup>, 山口さち子<sup>2</sup>, 土橋 俊 男<sup>3</sup>, 前谷津文雄<sup>4</sup>,  
引地 健 生<sup>5</sup>, 清野 真 也<sup>6</sup>, 丹 治 一<sup>7</sup>, 安達廣司郎<sup>8</sup>,  
武蔵 安 徳<sup>9</sup>, 菱 沼 誠<sup>10</sup>, 阿 部 喜 弘<sup>11</sup>, 石 森 文 朗<sup>12</sup>,  
砂 森 秀 昭<sup>13</sup>, 梶 田 喜 正<sup>14</sup>, 松 本 浩 史<sup>14</sup>, 栗 田 幸 喜<sup>15</sup>,  
藤 田 功<sup>16</sup>, 儀 田 治 夫<sup>17</sup>, 野 口 隆 志<sup>18</sup>, 梁 川 功<sup>19</sup>,  
町 田 好 男<sup>20</sup>

<sup>1</sup>国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室

<sup>2</sup>労働安全衛生総合研究所健康障害予防研究グループ

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

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

<sup>8</sup>日本赤十字社盛岡赤十字病院医療技術部 <sup>9</sup>岩手県立中央病院中央放射線部

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

<sup>12</sup>財聖麗会聖麗メモリアル病院放射線科 <sup>13</sup>財恩賜財団済生会水戸済生会総合病院放射線科

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

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

<sup>18</sup>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 <sup>19</sup>東北大学病院診療技術部放射線部門

<sup>20</sup>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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>。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。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<sup>4)</sup>。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<sup>1)</sup>。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<sup>3)</sup>、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<sup>4)</sup>。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<sup>3)</sup>。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入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入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 独国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室 中井敏晴

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論的に記述する。

## 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 [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)

(12) 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)

(13) 今後の震災への対応策 (自由記述)

(14) 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は民間病院(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

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類別分類。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・液状化(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

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

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）に関するものが多く，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な事例もあった。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帰されている(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では震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, 震災後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. 震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に記入された震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. 震災から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震災から装置が使用可能になるまでの期間(装置単位)。震災から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。

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 では発災直後に取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, 緊急の状況で検討の余裕がなかった (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

発生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, 発生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, 液体ヘリウム量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

表 11-3. クエンチが起きた装置に磁性体の吸着があったか (該当事例のみ)

	度数	割合 (%)
有	2	10.5
無	17	89.5
無回答	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、マグネットに見られた磁性体の有無。割合 (%) は該当事例数に対する比率を示す。

表 11-4. 今回の震災以前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 (%)
有	37	11.1
無	275	82.8
無回答	20	6.0
合計	332	100.0

今回の震災以前にクエンチを経験している施設の数。「無」は分からない場合を含む。割合 (%) は超伝導型 MR 装置を設置している全施設に対する比率。

表 11-5. 今回の震災以前に発生したクエンチののべ回数 (施設単位, 超伝導装置のみ)

	度数	割合 (%)
1回	28	75.7
2回	5	13.5
3回	2	5.4
4回	0	0.0
5回	1	2.7
6回以上	0	0.0
無回答	1	2.7
合計	37	100.0

今回の震災以前にクエンチを経験している施設におけるクエンチの発生回数。各度数の割合 (%) は、クエンチを経験している施設数に対する比率。

が指摘された。

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

表 11-6. 今回の震災以前に発生したクエンチの原因 (施設単位, 超伝導装置のみ)

	度数	割合 (%)
設置時に発生	4	10.0
通常の運転時に発生	7	17.5
施設のトラブルに関連して発生	7	17.5
メンテ作業時に発生	4	10.0
天変地異に関連して発生	0	0.0
原因不明	18	45.0
無回答	0	0.0
合計	40	100.0

今回の震災以前にクエンチを経験している施設におけるクエンチの発生原因。各度数の割合 (%) は、延べの報告数に対する比率。

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」<sup>5)</sup>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 か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」「他に情報がない中でこのような情報があることが心強かった」(3 件), 「目立った被害がない場合はユーザーの自主点検により再稼働させざるを得ない」などの意見もあった。「緊急提言」を知った機会

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）。

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、施設ごと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 12-3. 「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りたいとの意見も見られた。

### 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点からとらえられる. 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<sup>6)</sup>や個別の事象<sup>7)</sup>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, 防災対策の具体的な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)<sup>8)</sup>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ない. 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得ない事象が確認された. さらに震災時においては 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得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ことが判明した. 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%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業が発災後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, メーカーごと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<sup>9),10)</sup>.

#### 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. したがって, 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にはできない. 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係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な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<sup>1)</sup>。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も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な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一つもなく、1 例（制震構造にて軽度半損）を除いて、すべ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。筧・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<sup>1)</sup>。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<sup>11)</sup>。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ト機器（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。筧・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<sup>1)</sup>。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は言え、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ト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機器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<sup>13)</sup>。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時間後かつ一か月以内のすべてのクエンチか、一か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（地震発生から一か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ないが、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 $\chi^2$  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<sup>12)</sup>、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な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的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。一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。もう一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伝導磁石の焼損で、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 10 K 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 7 m 以上の津波高が観測され、大船渡市では 10.7 m (浸水高) を、陸前高田市では 15.4 m (浸水高) を記録している<sup>14),15)</sup>。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 2 m で建物の流出が増加し 4 m で半数が流出するとされ<sup>16)</sup>、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<sup>17)</sup>。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得るが、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<sup>18)</sup>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 1 km 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 2 m 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いったん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挙げられるが、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得ない。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。すべての回答でこの 5 段階がどのようであったかが記述されていないために定量的な分類はできないが、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な  
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  
だろう。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ないため、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装置周辺で起こり得る傷害の可能  
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<sup>19)</sup>、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も有用であろう。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<sup>20)</sup>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とおり、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  
る保証はなく、病院のスタッフで待たなしの  
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」としてとらえられているが、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<sup>21)</sup>。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もっているに  
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<sup>3),22)</sup>。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なく、火災による損害もなかったものと推定された<sup>9),23)</sup>。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<sup>24)</sup>、その後の地震対策では一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<sup>25)</sup>。

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<sup>26)</sup>、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<sup>27)</sup>。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<sup>28)</sup>、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<sup>29)</sup>。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すべ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ないので、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。

## ま と め

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得ること、外部からの支援がな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。

## 謝 辞

本調査は東日本大震災発生直後に行われた MRI/NMR/MEG 被災調査連絡会議における議論を基にして提案され、平成 24 年度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 MRI 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」により実施されました。本調査を実施するにあたって回答をいただきました各施設の方々、全面的なご支援をいただいた各地域の研究会（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 MRI 基礎勉強会、東京 MR 励起会、SAITAMA MRI Con-

ference) に厚く御礼申し上げます。また、調査にご支援をいただいた岩手医大の吉岡邦浩先生、調査票の発送や回収、データ集計に尽力いただいた国立長寿医療研究センターの津村千穂氏、森久乃氏にも感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 笥 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.rad-tech-miyagi.or.jp/>
- 3) 経済産業省商務情報政策局 ヘルスクエア産業課 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](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, 高濱英彰, 樵 勝幸, 他: 防振材設置前後における撮像時の騒音と振動の測定. 日磁医誌 2011; 31(Suppl): S449
- 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. 日磁医誌 2011; 31(Suppl): 228
- 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. 日磁医誌 1995; 15(Suppl), 141-142
- 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/hyoujunka/fr\\_information\\_01.html](http://www.jira-net.or.jp/commission/hyoujunka/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 2012; 46-59
- 12) 仁田旦三, 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/](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.aij.or.jp/kouzou/s3/AIJ-REPORT/CYOSA\\_REPORT.htm](http://news-sv.aij.or.jp/kouzou/s3/AIJ-REPORT/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. 日磁医誌 2012; 32(Suppl): 306
- 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/anzenkanri/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](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 2003; 22: 69-73
- 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 2005; 5: 37-42
- 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. 2008; 9-21
- 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 2010; 5: 17

## 付 録

### 【注 1：建物構造の分類】

- **耐震**：建物の強度や靱性を向上させて地震による破壊や損傷を防ぐ方法で、建築基準法にのっとって施工されている建物は耐震構造になっている。
- **制振**：建物にエネルギー吸収機構を組み込み、建物の変型を抑え損傷を軽減する方法で、各種のダンパーにより地震が入力しても振動を抑制する。
- **免震**：建物の基礎部分に免震工事（地盤と建物との物理的な絶縁処置）を行う方法で、コロやゴムを使用する。  
耐震、制振、免震は建物のもつ異なった機能で、併用されるものです。本調査では一般的な実情に合わせて「耐震構造」は耐震の機能のみ、「制振構造」は耐震機能も含む、「免震構造」は耐震機能と制振機能も含むと分類します。

### 【注 2：MR 装置被害の分類】（本調査のための暫定的な分類）

- 被害なし。

- **軽微**：サブシステム\*単位の交換はなく、部品の交換や点検で修理が完了した場合
- **半損（軽）**：マグネットを除く MR 装置のサブシステムの交換が半分以下の場合。
- **半損（重）**：マグネットを除く MR 装置のサブシステムの 50%以上が交換になる場合（製品として新しい機種になるかどうかは関係ない）。
- **全損**：MR 装置（システム）が全面的に交換になる場合。マグネットが再使用不能になり、交換が必要な場合。

### 【注 3：建物被害の分類】（村尾・山崎式に基づく被害率の分類を援用）

- **全壊**：建物の損壊、焼失もしくは流出した部分の床面積がその住家の延床面積の 70%以上に達した程度のもの、または建物の主要構造物の被害額がその建物の時価 50%以上に達した程度のもの。
- **半壊**：建物の損壊が甚だしいが、補修すれば元通りに再使用できる程度のもの。具体的には損壊部分が建物の延床面積の 20%以上 70%未満のもの、または建物の主要構造部の被害額がその建物の時価 20%以上 50%未満のもの。
- **一部損壊**：半壊の基準には至らないが、建物の補修を必要としたもの。

できるだけ医療設備、医療器機の被害を含めない建物だけの被害状況で回答してください。専門機関等による評価結果がない場合や正確な判断が難しい場合は、できるだけ現場を熟知している複数名の見解を回答者がまとめてください。

### 【注 4：検査時の状況の分類】

- 震災時の状況で「1：スキャン中」とは、ガントリー内に患者が入っている状況を言う。
- 震災時の状況で「2：検査中」とは、検査室内に患者はいたがガントリー内には入っていない状況を言う。

- 「3：始業前・終業後」とは、装置に電源が投入されシステムは稼働しているが実際の検査業務が行われていない場合を言う。
- 患者の入れ換え時間は検査中と見なし、検査予定が入っていない空き時間（患者が不在の時間）は「3：始業前・終業後」に分類する。
- 非稼働状態とは始業前や終業後でシステムがシャットダウンにある状態（長期的に使用されていない場合も含む）。

**【注5：クエンチの分類】**（本調査のための暫定的な分類）

- 即時クエンチ：地震による振動や津波による浸水、建物の崩壊などの物理的な衝撃が発生している最中や、そのような事象が発生してから24時間以内にクエンチが発生し、震災のエネルギーがクエンチの直接の引き金になったと考えられる場合。
- 遅延クエンチ：震災により生じた装置の不具合やヘリウムの急激な減少に供給が追いつかず冷媒不足になったなどの間接的（2次的）な原因によると考えられるクエンチで、おおむね本震や余震の24時以降に発生したもの。
- 原因不明のクエンチ：装置にクエンチの原因となる具体的な損傷やトラブルが見あたらず震災との関連性が不明であるが、平成23年3月11日以降に発生したクエンチで、かつ本震や余震の4週間を過ぎてから発生したクエンチ（原因不明だが4週間以内のものは遅延クエンチに分類）。

\*サブシステム：いくつかのシステムが集まって一つの機能を実現している場合に、それ自身がシステムでありながら同時に他のシステムの一部でもあるようなものをサブシステムという。今回の調査では、MR装置を構成するもので〇〇装置と呼称できるもの（例 機械室にある機器類、操作卓、制御用コンピュータ、冷却器のポンプなど一つのキャビネット（筐体）単位）をサブシステムと考えてください。

## Survey of Damage to 602 MR Scanners after the Great East Japan Earthquake

Toshiharu NAKAI<sup>1</sup>, Sachiko YAMAGUCHI-SEKINO<sup>2</sup>, Toshio TSUCHIHASHI<sup>3</sup>,  
Humio MAEYATSU<sup>4</sup>, Takeo HIKICHI<sup>5</sup>, Shinya SEINO<sup>6</sup>,  
Hajime TANJI<sup>7</sup>, Koshiro ADACHI<sup>8</sup>, Yasunori MUSASHI<sup>9</sup>,  
Makoto HISHINUMA<sup>10</sup>, Yoshihiro ABE<sup>11</sup>, Fumio ISHIMORI<sup>12</sup>,  
Hideaki SUNAMORI<sup>12</sup>, Yoshimasa MASUDA<sup>13</sup>, Hiroshi MATSUMUTO<sup>14</sup>,  
Kouki KURITA<sup>15</sup>, Isao FUJITA<sup>16</sup>, Haruo ISODA<sup>17</sup>,  
Takashi NOGUCHI<sup>18</sup>, Isao YANAGAWA<sup>19</sup>, Yoshio MACHIDA<sup>20</sup>

<sup>1</sup>*Neuroimaging and Informatics, National Center for Geriatrics and Gerontology  
36-3 Gengo, Moriokacho, Ohbu, Aichi 474-8511*

<sup>2</sup>*Division of Health Effects Research, National Institute of Occupational Safety and Health  
<sup>3-7,9-16,19</sup>Departments of Radiology, <sup>3</sup>Nippon Medical School Main Hospital, <sup>4</sup>Izumi Hospital,*

<sup>5</sup>*Kurihara Central Hospital, <sup>6</sup>Fukushima Medical University Hospital, <sup>7</sup>Northern Fukushima Medical Center,  
<sup>9</sup>Iwate Prefectural Central Hospital, <sup>10</sup>Sendai Kousei Hospital, <sup>11</sup>Sendai Medical Center, <sup>12</sup>Memorial Hospital,  
<sup>13</sup>Mito Saiseikai General Hospital, <sup>14</sup>Chiba University Hospital, <sup>15</sup>Saiseikai Kurihashi Hospital,*

<sup>16</sup>*Saitama Municipal Hospital, and <sup>19</sup>Tohoku University Hospital*

<sup>8</sup>*Department Medical Technology, Morioka Red Cross Hospital*

<sup>17</sup>*Department of Radiological and Medical Laboratory Sciences, Nagoya University Graduate School of Medicine*

<sup>18</sup>*Magnet Development Group, Superconducting Wire Unit, National Institute for Materials Science (NIMS)*

<sup>20</sup>*Medical Imaging and Applied Radiology, Tohoku University Graduate School of Medicine*

An earthquake of 9.0 magnitude, the largest in modern Japanese history, struck east Japan on March 11, 2011. We investigated hazards and observations related to magnetic resonance (MR) scanners in this earthquake to evaluate potential risks and consider further prevention or minimization of damage from and injury of patients in such large earthquakes.

The investigation team funded by MHLW sent questionnaires to the 984 facilities with installed MR scanners in the 7 prefectures of east Japan (Iwate, Miyagi, Fukushima, Ibaragi, Chiba, Tokyo, Saitama) and collected 458 responses (46.6%) with information on 602 MR scanners (144 units  $\leq$  0.5 tesla; 31 one-T units; 371 1.5-T units; and 56 units  $\geq$  3T). Significant differences in damage were observed between seismic scale 5 and 6 ( $\chi^2$  test,  $P < 0.001$  for all items of damage checked). The frequencies of typical damage were displacement of magnets (12.4%), failure of the chiller or air conditioning (9.6%), rapid decrease in liquid helium (8.4%), damage to magnet enclosure and its equipment (7.6%), damage to shielding of the MR scanner room (6.1%), damage to the quench duct (4.5%), breakage of devices anchoring system cabinets (4.4%), damage to the magnet base (3.9%), and flying of metal components (1.5%). Twelve facilities reported flooding by the subsequent tsunami, and quench was confirmed in 19 facilities. No fire damage was reported. It was confirmed that no one was severely injured in MR scanners, and base isolation of the building was very useful in completely preventing damage even at seismic scale 7. In the future, training for evacuation and establishment of a standard protocol for emergency shutdown of MR scanners, onsite checking by MR operators, and emergency power plant equipment to maintain chiller for MR scanners will further ensure MR safety in an earthquake.