

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

平成24年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中井敏晴
平成25(2013)年3月

目 次

I. 総括研究報告

- 大震災におけるMR I 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 ----- 1
中井敏晴
(資料 1) 災害時に置けるMR装置の安全管理に関する提言
(資料 2) 被害事象の具体例

II. 分担研究報告

1. 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 -----33
中井敏晴
(資料 1) MR装置の被災アンケート
2. 岩手・宮城・福島 of 東北 3 県のMRI被災調査
(アンケートおよび聞き取り調査) -----83
町田好男 (資料 1) 訪問調査 調査票
(資料 2) 訪問調査 報告
(資料 3) 東日本大震災によるMR装置被災調査報告速報 (宮城県地域)
3. 東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究 -----119
山口さち子
4. 首都圏における大震災によるMRI装置の被害傾向
—東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に— ---135
土橋俊男
(資料 1) 図- 1 首都圏被害状況
(資料 2) 図- 4 首都圏で発生した被害事例
5. 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 -----145
磯田治夫

6. 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	---159
野口隆志	
(資料1) 電源による消磁特性	
(資料2) 電源による消磁時の消磁機材とヘリウムガス放出	
(資料3) 緊急減磁装置起動スイッチ：クエンチボタン	
(資料4) マグネット上部の内圧放出配管周辺温度変化	
(資料5) クエンチ前後のマグネット上部の様子	
(資料6) 鉄の体験的吸引力の体感実験	
(資料7) ヘリウムガス屋外排気口	
(資料8) 強制クエンチさせたときの屋外放出口から排出されるヘリウムガス (ケース1)	
(資料9) 強制クエンチさせたときの屋外放出口から排出されるヘリウムガス (ケース2)	

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----187
----------------------------	----------

IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----189
------------------------	----------

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）

総括研究報告書

大震災におけるMR I 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

研究代表者 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

本調査研究では高磁場、低温冷媒、高電圧を扱う MR 装置の東日本大震災による被災状況を調査し、MR 検査室における安全な避難、MR 装置の被害の最小化、二次災害を防止するための緊急的措置についての指針を策定するとともに、効率的な MR 検査室の防災対策を立てる上で考慮すべき事項を集約した防災基準を提案する。そのための被災調査と MR 装置の冷媒（液体ヘリウム）の異常により生じる危険性を予測、評価するための試験研究を行う。太平洋側 7 都県で MR 装置を設置する医療機関 984 施設に 14 項目の設問からなる調査票を発送し、458 施設に設置された 602 台の MR 装置の被災状況に関する回答を得た。MR 装置の 19%に被害事象見られ、その発生度数は震度 5 以下と 6 以上で有意の差があった。頻度の高い被害事象としてはマグネットの移動（10.8%）、チラーや空調の故障（8.5%）、急激なヘリウムの減少（8.1%）、マグネット装備品の破損（5.8%）などが報告された。クエンチは 19 件確認されており、即時クエンチは 5 件であった。1 日あたりに換算すると、平時と比べて有意にクエンチの発生率が高かった。浸水被害は 12 施設で確認され、全て海岸から 2.5km 以内、標高 12m 以下に位置していた。50%の施設が震災発生後 3 日以内に、70%の施設が 1 週間後までに MR 装置を再稼働させていた。一方で、一週間以内にメーカーによる点検が受けられたのは 45%に留まっており、45%の施設が「MRI メーカーによる点検作業を待てないので、病院スタッフによる点検で再稼働させた」との認識を示した。MR 装置が危害原因となった患者の受傷例は 9 件、検査担当者では 2 件であったが、具体的な傷害内容が判明した範囲では重症例の報告は無かった。

被災施設への訪問調査（対象 28 施設）では病院全館に「緊急地震警報」のシステムを備えた施設が 3 施設あり、災害時の対応として、「緊急地震警報」の放送がなったならば直ちにスキャンを停止して患者を救出する訓練がなされていた。いずれもの施設でも患者の救出活動の初動が早くなり有効であったと報告している。一方で、自家発電設備を有しているものの、MR 装置の冷却システムへは電源供給されるようにはなっていなかった、本来電源供給されるはずであったにもかかわらず想定通りに供給されなかったなど、今後検討すべき課題も指摘された。また、津波が押し寄せるなどの非常時に自分の身を守るということについてどのように考えればよいのか指針が必要との指摘も寄せられた。

被害発生傾向の分析を行ったところ、震度の上昇と MR 装置被災度の相関、アンカー固定の

MR 装置被災防止への有効性、建物構造との関係において耐震性建屋の MR 装置被災防止への有効性（特に制震・免震構造の有効性）、復旧状況との関係において震度の上昇と MR 装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増大について統計的有意性が確認された。特に MR 検査室が免震構造の建家に設置されている事例では半損以上の被害例は無く、震度 6 以上でも十分な効果があることが注目された。首都圏（東京都、埼玉県）では全体データと比較すると被害の発生率は低かったが、震度 6 以上の割合が東北地方よりも少ない（2%）、建物の免震化率が高い（21.6%）、インフラの長期的停止が東北地方ほど著しくないなどの理由によるものと考えられた。発災直後の MR 検査担当者の行動分析では、強い揺れのため MR 検査担当者が患者に近づけない、寝台が引き出せない、寝台からの患者を降ろす作業の困難さなどが指摘された。

撤去される MR 装置を利用した試験では、クエンチの発生とともに同時に配管が急激に冷やされるため、廻りの空気が配管壁面で液化し、室内配管のつなぎ目などからヘリウムガスが漏れ出る様子が確認された。マグネット上部の放出配管周辺の温度は、最大-150～-200 度にまで低下し、-100 度以下の状態が 1 時間程度は続くことが確認された。また、屋外排気口周囲の温度も、-100 度以下に下がることが確認された。クエンチの発生時に排気経路やマグネットの筐体などが損傷した場合の危険性について考慮すべきと考えられる。

今後想定される震災を念頭において 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。

町田好男・東北大学大学院・教授
磯田治夫・名古屋大学大学院・教授
野口隆志・独）物質・材料研究機構・研究員
土橋俊男・日本医科大学付属病院・技師長
山口さち子・独）労働安全衛生総合研究所・研究員

A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、多くの犠牲者と被害を出した。医療機関は震災時の救命活動の拠点となるにも関わらず、自らも被災し設備の損傷を免れ得ないばかりか、医療従事

者が津波の犠牲になった事例も報告されている。たとえ医療施設が免震構造であっても津波や大きな地殻変動の影響を逃れることはできないため、震災時における医療器機の安全確保が重要な課題となる。震災における医療器機の安全は、大きく 2 つの視点から捉えることができる。ひとつは、医療器機そのものが震災により周囲にいる患者や職員に危害を与える危険性であり、もうひとつは震災の影響で生じた不具合が事故や致命的な故障の原因となる可能性である。医療器機の影響度分類によれば、災害時には機器の移動・転倒・落下

等により、現に使用中の患者や職員に対して重大な人的危害を与えるおそれがある「危害型」や、機器震害での機能停止により、診療機能に重大な影響を与えるものであり、かつ他に代替できるものがないか、使用中の患者や新たな患者に対して緊急の用途に供する必要がある「緊急型」など、5型の分類がなされている（佐藤栄児、都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究 3.1.3 機器の重要度および災害復旧における緊急性の分類、平成 19 年度報告書）。

MRI 装置は国内で 5000 台以上が稼働し、日常診療でも重要な役割を果たしているが、低温冷媒（ -270°C ）、高磁場（数テスラ）、高電圧（数千ボルト）を用いるため、厳重に管理されている（日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会監修 MRI 安全性の考え方、秀潤社、2010）。震災時にはクエンチ（※）の発生に伴う液体ヘリウムの急激な気化や大型の磁性体吸引、漏電による火災などの危険性があり、2 次災害の原因となりうる。過去には、作業ミスで生じた特殊な条件下で低温冷媒容器の爆発事故（圧力破裂）が起き受傷した事例もある（三森文行、上野 照剛 MRI 装置撤去時の爆発事故に関する調査経過報告 日本磁気共鳴医学会雑誌 24、92-94、2004）。従って、MR 装置に起因する 2 次災害を防止するために医療機関が自ら実施すべき緊急的な安全手順を確立する必要がある。このような観点から、MRI は影響度分類をあてはめるならば、「危害型-管理系（I-B）」に分類されと考えられるが、今回の東日本大震災で実際にどのような被害が MR 装置に発生したかを明らかにし、より具体的なリスク予測を行う必要がある。

今回の震災後には、通信・流通網の障害や装置メーカー自身の被災により保守点検作業が数ヶ月間実施できない状態が続き、MR 検査室ではかな

りの混乱が続いた。しかし、医療機関は自らの判断で MRI 装置使用の安全確保の策を講じなければならず、そのための MRI 再稼働の安全指針が必要であるが、まだそのようなものは確立されていない。従って、東日本大震災で MR 装置の復帰過程で具体的にどのような問題が発生したかも調査する必要がある。

日本磁気共鳴医学会の安全性評価委員会（委員長 中井敏晴）は今回の震災発生 4 日後（平成 23 年 3 月 15 日）に「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言」を提案し、厚生労働省を通じて 2 次災害の防止対策が各都道府県に通知された。この提言は MR 装置の安全管理に関する物理工学的知識を基にして、震災現場において起こりうると思われる事項を中心に緊急的対処について提案したものであったが、被災現場の状況についての具体的な状況が確認できないため、あくまでも理論的に考えうる範囲で作成した。その後、代表研究者らは東北 3 県を中心とした MR 装置被災の事例収集を行い（協力機関約 20）、今回の震災において実際に発生した事象の定性的な情報を得た。その結果を第 39 回日本磁気共鳴医学会で「緊急報告—震災時における MRI の危機管理」として報告した（平成 23 年 9 月 30 日、小倉、興梠征典大会長）。

このような予備調査活動では、MR 装置の破損が具体的にどのように生じているかについては分かったが、その背景要因や個々の施設が直面した問題が何であるかについては十分な情報が得られなかった。また、津波被害の著しい地域に関する具体的情報は限られており、クエンチの発生についても情報が限られており実体がつかめなかった。本調査研究では、MR 装置の被害状況だけでなく、発災当時に検査担当者が取った処置や行動、検査現場の視点から捉えた MR 装置復帰過程の状況や課

題、今後の防災対策に対する考えなどを調査し、可能な限り定量的な評価を行う。阪神淡路大震災でも MR 装置の被害調査は行われたが（亀井ら、阪神・淡路大震災における MR 装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第 15 巻、S141-142、1995）、被災した装置の規模が異なるだけでなく、MR 装置の高性能化が進んだため静磁場強度が高い装置（3T 装置）が普及したことなど、当時と比較するとかなり状況が変わってきている。また、今回の震災では三陸海岸沿いを中心とした津波の被害が著しく、医療施設が津波に巻き込まれた事例も多数報道されており、家具や什器類の転倒と火災の被害が大きかった阪神淡路大震災とは状況が異なる。

従って、今回の震災被害を受けた太平洋沿岸地域（岩手、宮城、福島、茨木、千葉、東京、埼玉の 7 都県）に対して大規模調査を実施し被害事象ごとに定量的な評価を行ない（分担研究 1）、その発生に関連が深い因子を探索する（分担研究 3）。特に注目される被害が報告された施設に対する訪問調査を行い、より詳細な問題抽出を行う（分担研究 2）。また、都市型の被害としての特徴があるかどうかの検討を行う（分担研究 4）。震災時や震災後の管理において関心の高いクエンチの発生リスクを予測するための指標を探索するための分析と試験研究を行う（分担研究 6）。それらの結果を基に、先に出された緊急提言を改訂し、MR 検査室の防災指針を策定するための、発災時の MR 検査室における検査担当者の行動分析を行うとともに、東南海地区における MR 検査室の防災対策の現状について概況を調査する（分担研究 5）。これらの作業を進める過程で、得られた情報を地域的な取組の中に取り入れるための啓蒙活動を行う。このような調査研究は世界的にも例が無いが、今後予

想される南海・東海地震等への対策としても不可欠である。

（＊）クエンチとは貯留された電磁氣的エネルギーが熱に変換されることで、超伝導状態の一部、あるいは全体が常伝導状態に遷移して復帰できなくなる状態である。MRI 等に使用されている超伝導磁石においては超伝導を実現するために磁石の線材を冷却する液体ヘリウムが沸騰し、急激に発生する白煙がクエンチに特徴的ではあるが、その有無がクエンチの本質ではない。超伝導線材の動きや線材を固定するエポキシ樹脂の劣化による固定不良により擾乱が生じ、局所的な温度上昇が発生することが原因のひとつと考えられているが、実際には原因不明とされることが多い。実際の MRI の管理では、クエンチに伴い発生する液体ヘリウムの急激な気化が、凍傷や窒息の原因となりうるので注意が必要な現象とされている。超伝導磁石に磁性体が吸引されて人体が挟まれ、生命の危機が発生した場合のために、強制的にクエンチを生じさせるシステムが MRI に装備されている。

B. 研究方法

研究体制

本調査研究を推進するための調査組織の準備を平成 23 年度下半期に進めた。調査対象施設や装置担当者の確認、現地の情報収集、調査票回収のための応談、訪問調査の実施など、地域ごとに分担して調査活動の最前線を支える調査協力者とその補助者を 7 都県（各 2 名）の診療放射線技師会等の推薦を受けて選任した。また、超伝導工学の専門グループ（物質材料研究機構、4 名）が、震災時におけるマグネットの動態に関する試験研究を分担し、東海グループが（名古屋大学、3 名）中部地

区の概況調査を実施した。コアメンバー6名、研究協力者20名、総計26名で24年度の調査を行った。

研究項目

平成24年度の調査研究は、MR装置の被災調査と、被災後のMR装置の安定性の評価指標を探索するための試験研究の2項目を実施した。被災調査は、得られたデータの総合的評価研究、注目される被害が認められた個別施設への訪問調査研究、建物要因に関する分析研究、都市部の特徴に関する分析研究、震災後の検査担当者の行動分析研究の5課題に分けて分担研究を行った。

(1)「東日本大震災によるMR装置被災状況に関する質問紙調査の報告」(国立長寿医療研究センター、中井敏晴)

平成23年に行った予備調査の結果から判明した被害事象を中心に太平洋沿岸部の984施設を対象とした質問紙による調査を平成24年7月より開始し、10月に調査票の回収を完了し12月に一次集計結果をとりまとめた。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。調査票は、国立長寿医療研究センターを最終的な発着点とした。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。

調査内容は14項目からなり、①施設の基本情報と設置されているMR装置の種別、②確認された被害事象、③装置ごとの被害状況(設置方法、建屋の状況を含む)、④装置ごとの復帰状況と問題点、⑤発災時の業務状況と緊急対処の内容、⑥人的被害の有無、⑦今後の対策、が主な質問内容である。調査票の詳細は分担研究「東日本大震災によるMR装置被災状況の質問紙調査」の報告に記載する。

平成24年度は、全体的な傾向の把握、特に津波被害の特徴分析と分担研究3～5で使用するデータの抽出を行った。

(2)「岩手・宮城・福島の前北3県のMRI被災調査(アンケートおよび聞き取り調査)」(東北大学大学院医学研究科 町田好男)

平成24年度11月から平成25年1月までの期間に東北3県で特に注目される被害(津波、建物の大きな損壊、クエンチ、その他MR装置が目立った被害など)が報告された25施設に対して訪問調査を行った。訪問調査では震災発生時の対応についての詳細の聞き取り、痕跡が残っている施設については現場の視察、今後の震災対策に関する問題意識等の聞き取りを行った。18の質問項目(分担研究報告を参照)を準備したが、あらかじめ調査項目を送付し施設として重要と考えられる項目について重点的にインタビューを行った。

(3)「東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究」(労働安全衛生総合研究所 山口さち子)

地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災によけるMR装置被災の背景要因を探索した。データは東日本大震災によるMR装置被災調査の全国集計を利用した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とし、主に震度と被害内容の関係性について検討した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とし、統計解析はSPSS(IBM社)を用いた。東日本大震災によるMR装置被災調査結果から、調査地域のMR装置ごとで回答構成される台数ベース(N=603)のデータ(アンケート回答票1及び2)と調査地域の施設ごとの回答で構成される施設ベース(N=458)のデータが得られている。

まず、台数ベース（N=603）のデータについて、回答票 1 より①MR 装置の被害状況と震度との関連、②アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連、③設置建屋と MR 装置の被害状況との関連、回答票 2 より④復帰状況と震度との関連、⑤検査時の状況と復帰状況との関連について χ^2 検定を行い検討した。次に、施設ベース（N=458）のデータについて、⑥MR 装置の破損状況（問 2-⑤）と震度との関連、⑦復旧の状況（問 4-①、4-③）と震度との関連、⑧災害時の MR 検査の安全確保に関する指針（問 12-①）と震度との関連について、 χ^2 検定を行い検討した。

（４）「首都圏における大震災による MRI 装置の被害傾向 ―東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に―」（日本医科大学 土橋俊男）

東日本大震災では広範囲に渡って被害が発生したが、都市部と地方で MR 装置の被害状況や復帰過程の相違点を明らかにし、都市部での MR 室の防災対策を考える上で考慮すべき観点を抽出するための分析研究を行った。データは東日本大震災による MR 装置被災調査の全国集計を利用し、首都圏（東京埼玉）と全体データの比較を行った。その上で、臨床検査の現場の視点から今後の防災対策として必要な事項の検討を行った。

（５）「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」（名古屋大学大学院医学研究科、磯田治夫）

被災施設調査の中で、調査項目「8 発災直後に取った措置：8-① 患者の安全確保」と「8 発災直後に取った措置：8-② MR 装置の安全確保」の自由記述の内容を、患者の安全確保では検査担当者の行動を経時的なステップで分解して行動パターンを分類し、MR 装置の安全確保では処置内容で分類を行った。自由記述の分類であるため該当数の積

算までとし、25 年度に実施する防災基準策定で検討すべき項目の抽出を行った。また、中部地区（7 県）における今後の調査、啓蒙活動を行うための地域連携に関する予備調査を行った。

（６）「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」（物質材料研究機構 野口隆志）

医療機関で装置交換時に廃棄される MR 装置を利用して、クエンチや消磁過程におけるマグネットの動態変化を観測、分析する。マグネットの発生磁場変化は磁束計を用いてマグネット開口部付近での定点磁場観測を実施し、クライオ内圧はマグネットに備え付けられた圧力計を利用する。放出配管の表面温度変化はマグネットの内圧放出口付近の構造物に極低温用温度計を取り付けて行い、クエンチ発生からクエンチ終了までの屋外放出口の目視観察および映像撮影を実施する。

（倫理面への配慮）

本研究の対象は個人情報や人・動物等の生命体ではなく、何等かの介入を行うことも無い匿名調査であるが、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、回答票の返信を持って同意とした。訪問調査は対面調査であり施設の現場調査も含むため、事前に倫理委員会（国立長寿医療研究センター）で承認を受けたプロトコルに従って、個別に書面をもって同意の確認を得た。

C. 研究結果

（１）分担研究「東日本大震災による MR 装置被災状況の質問紙調査」

発災後 2 週間の動向

東日本大震災が発生してから 2 週間以内に震災時における MR の安全に関して国民向けに公表された情報の一覧を表 1 に示す。本調査結果では、2

週間とは、津波等の激甚被害にあった医療施設に MR 装置メーカーの担当者が到達できた時期であり、激甚被害地区以外で社会インフラがおおむね復帰した時期に相当する（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））。1 日 1 回以上の頻度で MR 装置メーカー 5 社および日本医療画像システム工業会のホームページにアクセスし、一般国民向けとして公表が確認できる情報を収集した。日本磁気共鳴医学会が公表した「災害時における MR 装置の安全管理に関する提言」（資料 1）以外には、被災した MR 装置に近づかないよう注意を呼びかける情報が MR 装置メーカー 1 社および業界団体から出されている。また、上記提言を引用する形での情報提供が別の MR 装置メーカー 1 社から出されている。これ以外に、顧客のみを対象として自社製品の取り扱い説明書の一部を抜粋し、計画停電についての資料として配布を開始した例があった。

施設の被災状況に関する調査結果

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、発災時の様子や緊急的対処の内容、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 ($p<0.001$)。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。

注目事項の第一はインフラ障害（資料 2）による二次的な被害の発生で、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である。大地震の後では、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装置メーカーの支援を受けられる保証は無いので、現場の検査担当者や MR 装置管理者が安全確保のために積極的に行動せざるをえない状況であり、そのための指針が重要であることが本調査で数値として確認された。

注目事項の第二は津波被害である。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、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。建物が完全流出した事例は 2 施設（いずれも海岸から 1km 以内の距離にある診療所で永久磁石型の MR 装置を設置）であるが、1 施設については現場付近でマグネットが発見されていない。その他の 11 施設の浸水の程度はさまざまであるが、MR 装置は浸水したうえで残存しており、浸水が極めて軽微であった 1 施設を除いていずれも廃棄処分になっている。これ以外に、MR 装置の直接浸水はまぬがれたものの、浸水の一步手前であった施設が 7 施設あった。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 台であり、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、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。

浸水被害のリスク分析は以下のとおりである。全調査対象（984 施設）に対しては 1.2%の浸水率（浸水に瀕した事例を含めると 1.9%）であるが、津波の被害を受ける可能性がある三陸海岸沿岸部を対象に考えてみると全く異なった数字になり、宮城、岩手の沿岸から 5km以内を母数とすれば 36%、4km以内では 41%の浸水率になる。海岸より 4km以内で浸水を免れている施設は海拔が 12m以上（設置場所としては 14m以上と想定）であるか、浸水しにくい特別な地形的特徴が見られた。また、浸水による MR 装置の全損例は建物崩壊による全損よりも遥かに事例が多く、建物は耐震や免震であっても耐水ではないことを銘記すべきであろう。

また、浸水被害によるリスクとしては、以下の点があげられる。

1. 流入した大型磁性体による吸着事故
2. 異常なクエンチ（遅延クエンチは不可避）
3. マグネットの流出や露出による二次被害
4. 軽微な浸水の場合は再稼働時の電気回路の安全性

注目事項の第三はクエンチの発生リスクである。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。クエンチそのものは、MR 装置の撤去時に行われるように管

理された状態で発生する限りはそれほど危険な現象ではないが、現実的な危険の原因は液体ヘリウムの急激な気化現象である。

本調査では 19 件のクエンチ事例が確認されており、そのうち、即時クエンチは 5 件であった。1 件は津波による浸水事例（前述）、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 件は浸水被害後の安全確保のための措置である。それ以外は 10 例が冷媒不足等による遅延クエンチ（地震発生から 24 時間後かつ一ヶ月以内の全てのクエンチか、一ヶ月以降でかつ震災との関連性が明確なもの）、4 件が原因不明のクエンチ（地震発生から一ヶ月以降で震災との直接の関連が不明なもの）であった。東日本大震災において地震そのものをきっかけとして発生した即時クエンチ（5 例）の発生率は 1.1%（超伝導型 472 台に占める割合）である。遅延クエンチも含めると 4.0%になる。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極めて稀な事象では無いが、MR 装置の運転日数を考慮すれば 1 日に 5 件の発生は高い確率になる。低温物理学的には地震による震動そのものがクエンチを起こす直接の原因になるとは考えにくいとされるが、今回の調査結果からはクエンチは震災において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、建物構造や設置方法が影響するのか、それ以外の要素が関与するのかなど、まだ未解明の部分もある。

（2）岩手・宮城・福島の前北 3 県の前 MRI 被災調査（アンケートおよび聞き取り調査）」

被災施設への訪問調査（聞き取り調査）は原則

として2名の研究協力者が調査員として訪問する形で行った。調査対象は岩手4施設、宮城14、福島10、計28施設で、アンケート調査の結果で注目された施設を抽出し、訪問調査の承諾を改めて取った。

岩手の4施設では施設の立地条件の違いにより、発災直後の様子が異っている様子が明らかになった。地震による建物被害が大きかった施設では、MR検査が行われておらず、装置の状況把握のみが行われ立ち入り禁止措置が取られていた。地震発生後、25～30分で津波の襲来を受けた施設では装置の被害状況把握すらできていない。今後はこの短時間内に行なうべきことの優先順位を検証する必要がある。本調査の対象ではないが、ある県立病院（MRI装置は未設置）では、揺れが収まった時点で放射線機器の点検を行っていた時「津波が来た」との声が聞こえたために慌てて避難し、難を逃れたとの事例が報告されている。

宮城県はほぼ全域が6弱以上の震度を記録した。建屋が激しく揺れる最中、ボア内から患者救出を行うのは非常な困難を伴った。患者の稼働性やスキャン中の体位、使用されていたコイルの種類は多様であり、緊急的な救出の支障になる要素はさまざまであった。マグネット本体の移動により途中から患者の載る寝台を引き出すことができなかった、大型のコイルがガントリの内壁に引っかかり、引き出せなかった等の事例が報告された。このような状況で、患者をガントリー内部で待機させるべきか、激しい揺れの中で危険を冒しながらも引き出してテーブルから降ろし、スキャンルーム外に誘導すべきかについては議論があった。

今回の調査の中で、病院全館に「緊急地震警報」のシステムを備えた施設が3施設あった。ある施設では、災害時の対応として、「緊急地震警報」の

放送がなったならば直ちにスキャンを停止して患者を救出する訓練が徹底されていた。また、別の施設では、以前は誤報等の理由でこのシステムが活用されていなかったが、3月9日の前震を経験していたために、大きな揺れが来る前にスキャンルームに入って患者救出を開始することができたと報告している。もうひとつの施設では、S波到来までの予測時間をカウントダウンするシステムであった。いずれもの施設でも患者救出の観点で「緊急地震警報」のシステムは有効であったと報告している。

震災対策としての免震構造の有効性を明確に示す注目すべき事例があった。震度7でも免震構造の建屋に設置された装置には全く損傷はなかったが、耐震構造の別の建屋に設置された装置は台座からマグネットが脱落して移動してしまい、患者テーブルの軸方向がずれてしまった。

マグネット本体の設置方法と被害との関係ではアンカー止めしない装置でマグネット本体の移動や回転が見られた。このようなマグネット本体の損傷は、クエンチダクトの破断など重大な2次的被害を引き起こした。建屋の耐震性能や、地盤等の立地条件を考慮したマグネット本体の設置方法についての指針が求められる。

ほとんどの施設で停電を経験したが、商用電源が復電までの間冷却システムが停止したままの施設が多数あった。そのために液体ヘリウムの蒸散が通常より増加し、そのためにクエンチの発生を危惧していた施設がいくつかあった。自家発電設備を有しているものの、MR装置の冷却システムへは電源供給されない施設や、本来電源供給されるはずであったにもかかわらず切り替え設備の不具合で供給されなかったなど、実際に震災が発生して想定外の事態に直面した。

多くの装置メーカーが、MR 装置の復旧にすぐには対応できない状況であった。仙台市は各メーカーが東北地方のサービス拠点を置いているが、被災地にあるメーカーの拠点やそこで働くサービスマン自身も被災者であったという視点を忘れてはならない。そのためにも、ユーザー自身による適切な対応を行うための災害時マニュアルが求められる。

福島県内では津波による被害を受けた施設はなかったが、原子力災害によって非難区域となった施設の状況や、発災当初の対応についての指摘が主であった。調査対象 10 施設のうち装置自体が被害を受け検査停止を余儀なくされた施設は 6 施設であり、再稼働までの日数は、装置が復旧しても病院の運営上の問題で遅れたケースがあった。震災後に MRI の操作室が患者の一時避難所や一般の技師室として利用されていたケースがあり、その妥当性について検討する必要がある。

（３）「東日本大震災による MR 装置被災調査の背景要因に関する研究」

MR 装置の被害が「影響なし」と「影響あり（軽微、半損（軽）、半損（重）、全損）」の二群に分類し震度との関連を検討したところ、震度の上昇につれて MR 装置への影響が有意に増大していた（ $p<0.001$ ）。

「アンカー固定なし」と「アンカー固定あり」の二群に分類し、「影響なし」と「影響あり」の二群に分類して検討した結果、「固定あり」で被害事例は 13.0%であったのに対し、「固定なし」では 36.4%で有意差が認められた（ $p<0.001$ ）。

設置建屋を「耐震構造」、「制震、免震構造」、「その他」の三群に分類し、影響の有無による二群に分類し解析したところ、影響が少なかったのは「制

震、免震構造」であった（ $p<0.05$ ）。「耐震構造」と「制震、免震構造」間においても、「制震、免震構造」で有意な被害減少が観察された（ $p<0.01$ ）。

復旧状況と震度については、メーカーによる復旧作業（修理）開始までの期間（発災から）、機械が使用可能となるまでの復旧期間（発災から）、検査を再開するまでの期間（発災から）いずれにおいても、震度と関連した有意な復旧遅延が観察された（ $p<0.001$ 、表 4）、震度の上昇と MR 装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増加が確認された。

発災時に検査が行われていた状況を示す「スキャン中」及び「実験中」を「稼働中」とし、それ以外の状況（始業前、就業後及び非稼働状態等）を「それ以外」と分類すると、MR 装置が使用可能となるまでの復旧期間（発災から）、MR 検査を再開するまでの期間において、「稼働中」に対して「それ以外」の群で復旧遅延傾向が示された（ $p<0.001$ ）。

MR 装置の破損状況を、震度別（震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上）でカイ二乗検定を行ったところ、磁性体の吸着とシステムキャビネット等のアンカーの破損を除き有意差が観察された。クエンチ関連事項（チラーや冷凍機の故障、クエンチダクトの損傷、急激なヘリウム量の減少、屋外機の設置状態の異常）についても有意差が観察された（ $p<0.05$ ）

復旧作業の状況について、震度別（震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上）で検討を行うと、「病院（施設スタッフ）による点検のみによる再稼働（178 件）」の割合は震度 5 以下で高かったが、「MR メーカーによる再稼働（31 件）」、「両者関与するもメーカー主導の再稼働（82 件）」、「再稼働不能（20 件）」は震度 6 以上で増加を示した。カイ二乗検定を行うと、これらに有意差が観察された（ $p<0.05$ ）。このように、震度は被害事象や復旧状況と統計的に

有意の関連性がある事が確認された。

(4)「首都圏における大震災による MRI 装置の被害傾向 -東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に-」

首都圏（東京、埼玉）では MR 装置を 2 台以上保有する施設が 35%を占め（全体 20.5%）、複数の装置が設置されている割合が高かった。設置建物の制振・免震化率は東京都で 21.6%であり、全体の 8.2%よりも高い比率であった。一方で、6 以上の震度であったのは 2%であり、全体の 30%と比較するとかなり低かった。マグネットの移動は 4.6%（全体 12.4%）、マグネット装備品の損壊 0.8%（全体 7.6%）、クエンチダクトの損傷 0.8%（全体 4.5%）、MR 検査中の患者受傷が 1.5%（全体 2%）であった。首都圏でも即時クエンチが 1 件発生している。一方で、浸水（全体 3%）や火災被害の報告は無かった。

首都圏では免震構造および制震構造の建屋の装置には今回の震災による被害が発生しておらず、震度 6 強の強い揺れがあった免震構造の施設でも全く被害が発生していなかった。一方、耐震構造では震度 4 あるいは震度 5 弱で被害が発生しており、免震構造の施設と差があった。震災に伴う MR 装置の被害の発生率低減に免震構造が有用である点が明らかになった。ビルの 9 階に設置されていた超伝導型の装置（アンカー止め無し）の事例では、クエンチダクトを中心に 50 cm 程度回転性の移動が生じた。今回の調査では、回答を容易にするために移動の有無のみを尋ねたので、どのような移動であったかについての詳細情報が得られていないが、今後は建物の階との関係や移動の方向についての検討を進める必要があると考えられる。

東北地方と比較すると相対的に高い制振・免震化率と低い震度のために、MR 装置の被害程度に差

が認められたと考えられる。しかし、停電等のインフラ障害による二次的なトラブルの発生については建物構造や震度とは関係なく影響を受けるので、まず共通の防災対策を考えねばならない。今回は報告されていないが、医療施設専用でないビルに設置された MR 装置がクエンチを起こした場合の周囲への影響についても十分な検討が必要と考えられる。

(5)「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」

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難があることなどが判明した。寝台上の患者の安全を確保する方法、MR 検査室から寝台ごと室外へ運び出せるシステムなどが重要と思われた。また、緊急地震速報により、本震襲来よりも早期に患者救出を行う訓練をする必要もあると思われた。震災による MR 装置の損傷を最小限に留め、二次災害を防ぐ手段とし、MR 検査室の施錠、立入禁止措置、冷凍機関係のチェック、クエンチに対処するための措置があり、今後、防災対策において考慮すべき内容と考えられた。

防災基準の策定の準備として、中部地方の震災対策の現状については、15 施設（7 県）を対象とした予備調査を行った。その結果、地震対策全般についての施設レベルでの対策は取られているが、MR 装置に関連したものは少なく、特に東日本大震災クラスの震災を想定したものが無いことが分かった。また、各地区や学会における MR 装置に関連

した震災対策についても、MR 装置に関連したものはなかった。震災対策として今後取組が必要と思われる事項としては、防災訓練、震災時の患者救出マニュアル、被災直後の復旧～安全確認までの MR 装置のチェックリスト、MR 装置メーカーの震災対策、被災状況の情報共有・連絡網の構築など指摘された。

（６）「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」

震災後に医療施設の MR 検査室の担当者がクエンチのリスクについて少しでも予測できるようにするために、MR 装置の被害調査アンケートの結果から、MR 装置のクエンチに関する不安要因を抽出したところ、以下の 10 項目にまとめられた。(1) 冷凍機用冷却水の循環停止、(2) 急激なヘリウムの減少、(3) クエンチダクトの損傷、(4) 磁性体の吸着、(5) 液体ヘリウム液位の低下に起因するクエンチ発生による不安、(6) 排気管の破断によるヘリウムの撮影室への窒息性低温気体漏出の不安、(7) 液体ヘリウムの供給不足、(8) 磁場停止措置の明確な判断基準が不明、(9) 震災時における MR 装置の再稼働時の注意事項が不明、(10) クエンチのリスクに関する状況判断の難しさや不安

本調査研究の最終目標である防災指針において、震災後の緊急的対処を考え上でのリスク評価を行うために、撤去される MR 装置を利用したクエンチ（消磁）時に見られる現象の計測を行った。平成 24 年度は 8 台の装置について検討を行った。

液体ヘリウムの急激な蒸発を伴わない電源装置を使った消磁の場合 1.5T の主磁場は 22 分 18 秒で 0 となった。配管表面温度観測では、電流リードを冷却するガス配管出口温度は -60°C 、室外放出配管付近の表面温度は -58°C まで下がったが、空気

の液化温度まで下がらないことを確認した。

強制クエンチによる消磁事例では、次のような現象が再現された。緊急減磁装置のスイッチ（クエンチボタン）を押すと、配管内をガスの流れる音がだんだん大きくなり、1 秒以内に磁場減衰効果の評価用に人工的に吸着させてあった磁性体が落下した。次に大きな音と共にバースティイングディスクが破れ、一気に低温のヘリウムガスが室外に排出された。同時に配管が急激に冷やされるため、廻りの空気が配管壁面で液化した。また、室内配管のつなぎ目などからヘリウムガスが漏れ出した。急速な低温ガスの排出により大気中の酸素が液化し、マグネット表面に流れ、温度が低下した。マグネット上部の放出配管周辺の温度は、最大 -150°C ～ -200°C にまで低下し、 -100°C 以下の状態が 1 時間程度は続くことが確認された。また、屋外排気口周囲の温度も、 -100°C 以下に下がることが確認された。バースティイングディスクが破れるまでの時間は、装置により異なるが、概ね数秒程度であった。

（７） 調査結果の情報提供

以上に要約した調査結果を第 40 回日本磁気共鳴医学会（平成 24 年 9 月 8 日、富樫かおり大会長、京都）、日本医学放射線学会秋季大会（平成 24 年 9 月 28 日、上谷雅孝大会長、長崎）で特別報告を行った。第 69 回日本放射線技術学会総会（平成 25 年 4 月 13 日、杜下淳次大会長、横浜）で本調査内容を報告した 3 件の演題が受賞した。

調査を実施した施設に対する情報提供として、調査結果の要約を記したニュースレターを作成し、順次配布中である。日本建築学会等の複数学会合同の「東日本大震災合同調査報告書」に本調査結果を提供し、医療設備建築に関連する情報として

関係部分を要約し掲載される事になった（平成 25 年度中に刊行予定）。

D. 考察

震災にかかわる MR 装置の安全対策は大きく次の 3 段階のフェーズに分けられる。

- 1) 発生前：震災を想定した防災対策
- 2) 発生時：発災時の緊急的対処（危機管理）
- 3) 発生後：MR 装置の復帰における安全管理（安全な復帰）

いずれの対策を考える上でも、震災によりどのような具体的被害が生じたか、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するところからスタートしなければならない。本調査ではこの点を考慮して設問構成を考えたが、一方で詳細を追求するあまり設問を複雑にすると回収率（回答率）を下げる方向に作用するので、回答が難しくなる可能性のある詳細情報についてはアンケート調査では取って尋ねなかった項目もある。特に、調査時点ではほとんどの施設で MR 装置の修復が完了していると予想されたため、震災後の混乱した状況について後から想起可能な範囲は限られている。この点については、訪問調査における事例収集の中で可能な範囲で補足する方針とした。

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）に集約されており、静磁場、傾斜磁場、ラジオ波の出力制限や、騒音などについての制限を設けている。また、MR 検査を受ける際に問題となる治療器具等の安全性については ASTM（American Standard of Testing Materials）の試験基準（F2052-06、

F2119-01、F2182-02a、F2213-06、F2503-05）が安全性の確認方法を定めている。しかし、これらの安全関連の規格群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、防災対策や緊急的対処については特別な記述は無い。今回の調査においても震災時においては平時においては起こりえない事象が確認された。その危険性の本質を考える材料は、これらの規格が制定された根拠となる物理工学的な知見が参考になるものの、具体的な判断基準は異ってくる。さらには震災時には MR 装置を保有する施設が自ら危機管理に乗り出さざるをえない実情が本調査研究で明らかになった。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、メーカーのサービス要員も個人としては自宅の損壊や身内の被害などを抱える被災者の立場であり、ガソリン、食料等が欠乏した中での作業を強いられていた、という現実が指摘されている。また、コールセンターに連絡が通じても、MR 装置の遠隔モニタシステムも機能しておらず、さらに被災現場で何が起こっ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であるとの指摘もあった。

被害が著しかった東北地方沿岸部の聞き取りでは、メーカーの要員が始めて訪問してきたのは発災後 2 週間頃で、それまでの間通信もほとんど途絶えていた、とする回答が多く、被災現場の判断だけで対処しなければならない期間が 2 週間程度は続いたと推定される。従って、この 2 週間の間 MR 検査室の担当者は自力での対処を迫られるので、震災時の危機管理に関しては装置メーカーや機種

に依存しないある程度汎用性のある指針が必要になる。日本磁気共鳴医学会から出された「災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」は、そのような状況への対応、特に二次災害の防止を念頭に置いたものであった。

主な被害事象

今回の調査対象施設の 94.7%の施設が震度 5 弱以上の揺れにみまわれており、震度 1~4 程度の揺れであった施設のサンプル数が足りないため、震度 4 以下の群と直接比較ができない。さらには、MR 検査室が実際に受けた衝撃は直近の観測地点において観測された震度と必ずしも同一とは限らない点に注意すべきであるが、震度 5 弱で MR 装置の使用上注意すべき被害（マグネットの移動、排気管の損傷など）が発生し始め、震度 6 以上で施設では対応しきれない程度の被害が増加すると捉えることができる（分担研究「東日本大震災による MR 装置被災調査の背景要因に関する研究」参照）。震度と被害程度の関連性については統計的に有意な相関が見られるため、震災後に個々の施設で MR 装置を自己点検する際のリスク予測を行う上で、その施設で実際にどの程度の震度であったかを確認することができれば非常に有益と考えられる。特に、電波・磁気シールドの破損や配線・配管の損傷など目視ではすぐに分からない異常については、実際の震度が分かれば、震災直後の暫定的なリスク判断の材料になろう。大型の医療機器を多数保有する基幹病院では震度計の導入により MR 装置だけでなく、医療器械全般の破損リスク予測について一定の意義があるのではないかと考えられる。

個別の被害事象は、その被害が発生することにより付随的な被害が予測されるものが少なくない。

マグネットの移動（12.6%）は最も多い被害で、アンカー止めされていない場合に被害の発生率が高かった。アンカー止めを行うかどうかの判断は、2つの背反する要素を考える必要がある。マグネットの移動に付随する排気管（クエンチダクト）等の配管、寝台の破損、復歸のコストを考えればアンカー止めを行うメリットがある。一方で、非常に強い力が固定されている床面に働いた場合、それが直接マグネットに伝わってマグネット本体の損傷を起こす可能性も考えられる。例えば、MRI と基本原理を同じくする分析機器である NMR 装置に関する報告では、エアダンパー等の免震システムを採用している装置ではクエンチが生じなかったが、数センチ程度の揺れまでしか吸収できない固定を施された NMR 装置ではクエンチが発生し、液体ヘリウム層の断熱部分に異常が発生したのではないかと推定された事例が報告されている（下山 超伝導科学技術研究会会誌 129、13-14、2011）。MRI 装置の場合 NMR と比較してマグネットの重量が大きいことと、電磁シールドが必要になるため、今後は個別の装置の設置での免震で十分な対策になりうるのか、建物全体の免震が最も確実と考えるべきかについて検討を進める必要があろう。最近、床免震の技術も進歩し、サーバー室などに施行される例が見られるが、MRI 装置の設置において床免震がどの程度の効果が期待できるかについてはまだ十分な情報が得られていない。今回の調査では、MR 装置の被害が半損（軽度）以上であった 31 施設には免震構造の建物（MR 装置単位で全回答の 9%）に設置されていた事例はひとつも無く、1 例（制震構造にて軽度半損）を除いて、全てが免震や制震以外（耐震構造、その他、無回答）の構造であった。免震棟に設置された MR 装置の重大な被害は報告されず統計的にも有意差が確認され、

アンカー固定の有無よりも、建物の免震性の方がより影響の大きい事項と言えるが、十分な免震が施された設置方法の場合はアンカー固定を行った方がよりメリットが大きいのではないかと考えられる。

阪神淡路大震災では、家具等の転倒による圧死例が多数報告されたため、震災対策としては画像診断機器や什器類の固定に関心が集まったが（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）、今回の東日本大震災においてMR装置という数トンクラスの重量を有する医療器機から得られた知見としては、免震という包括的解決を考える段階に入っていると言える。

クエンチと冷却系

クエンチとは貯留された電磁氣的エネルギーが熱に変換される現象であるが、MRIに関しては液体ヘリウムの沸騰、気化による白煙の発生がよく知られている。白煙の発生はあくまでもクエンチによる二次的な現象であるが、クエンチの主な危険性（窒息、凍傷の危険性）はこの液体ヘリウムの急激な蒸発によるものであるため、この白煙の発生を念頭においてクエンチの危険性が説明されることがほとんどである。大規模なヘリウムの気化を伴わないで磁場が徐々に消失する場合もあるが、どのようなクエンチになるかはマグネットの設計と関連する。高温超伝導素材を使用し低温の気体ヘリウムを冷媒に使用しているマグネットでは、通常液体ヘリウムの急激な沸騰現象は観察されないままクエンチに至る。

クエンチのタイプや原因を区別しない限りにおいては、超伝導型MR装置を製造販売している全てのメーカーについて東日本大震災が直接、間接的

に原因と考えられる、あるいは関連性が濃厚と考えられるクエンチが確認されている。ここで重要なことは、クエンチ発生の事実を製品としてのMR装置の優劣と単純に結びつけて考えるべきではなく、MR装置を扱う上では共通の問題として認識すべき点である。今回の調査でも確認出来た通り、震度5弱以上の地震では、平時と比べてクエンチリスクが一定レベル高まると考えられる。しかし、クエンチのリスクは平時においても抱えている問題であり、もともと無かったリスクが発生するわけではなく、即時クエンチについては今回の調査結果に基づくならば「震度5弱以上で1%程度のリスク」と理解するのが妥当であろう。

震災時におけるクエンチについて留意すべき点は2つ指摘できる。その第一はクエンチが「正常な過程」を取らない可能性があることである。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。MR装置の撤去作業を利用した強制クエンチの分析研究（分担研究6参照）においても、排気管のつなぎ目からヘリウムが漏出される様子が確認されており、この点については十分な注意が必要と考えられる。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が、病院は施設の改修が多いため、当初排気口が設置された場所の状況が数年後には変わっていることもありうる。関連して考えておくべき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 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どの程度のリスクであるかを今後明らかにしてゆく必要がある。

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ても、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械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ところまで救出活動を進めようとする考え方に分けられる。どのような救出行動が適切であるかは、現場の状況や救助活動を行う職員の体力、防災訓練等により培われた行動スキルにもより、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ないか(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

必要があろう。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）、外部から支援者や搜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まくあろう。

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・福島の大東 3 県の大 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大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旧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旧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っ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っ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的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電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、発災時の緊急対処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処も考えて、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ぬ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。

B. 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 J SMRM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 J SMRM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。

資料 1

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はある
- 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常がないか
 - 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) 静磁場発生の周知とクエンチ対策

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

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ため、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、震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論的に記述する。

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装置被害の分類は資料参照) ; 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、建物被害の分類は資料を参照) ; 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. 非稼動状態]

(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（クエンチの分類は資料を参照）[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ほぼ全て永久磁石型MR装置と考えられたため、永久磁石に集約した。

(倫理面への配慮)

本研究は個人情報や人・動物等の生命体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無い匿名調査である。また、人の疾病の成因及び病態の解明並びに予防及び治療の方法の確立を目的とする研究にも相応しない。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、回答票の返信を持って同意とする事を明記し、それを確認した。

C. 研究結果

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無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% 90.8%を占めており、震度3～4 が5.3%で震度2であった（表1-7）。震度分布は震度5 以上が 以下の回答は無かった（表1-8）。

表 1-1 施設規模（施設単位）

	度数	割合（%）	
入院設備なし	95	20.7	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）。
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	

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	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）。
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	

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）。

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「影響無し」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「影響無し」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。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）があげられ、その根拠として排気管の破断が指摘されている。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型により
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。

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2-5-1～表2-5-13 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）。

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

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。

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）。

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、計画停電などがあげられる。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捉え方をしたものは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。

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無い。

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。

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

の判断を行な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。

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（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	12.2
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。

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資料を参照のこと。

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件が報告された。精

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。

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)。

震災直後に取った措置

問8では震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の起点として、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段階全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(揺れの最中に柵を押さえる、コイルを床の上に移動させるなど)、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無かったが、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。

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(%)	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。
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	

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。

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ヶ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）

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。

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）、明確な判断基準が無かった（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」とした回答は無く、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が指摘された。

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。

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。クエンチの分類は資料を参照のこと。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。

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 11-6 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。

災害時のMR 検査の安全確保に関する指針

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

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

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

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

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

表 12-2 「緊急提言」は役に立ったか
(読んだ回答者のみ)

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

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

表 12-3 「緊急提言」を知ったのはどのような機会か(読んだ回答者のみ)

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

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

今後の震災への備え

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

D. 考察

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

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

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

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

被害事象の発生傾向

今回の調査対象となった7都県では94.7%の施設が震度5弱以上の地震にみまわれており、日常的に経験する震度1～4程度の震度で

あった地域から十分な比較対象サンプル数が得られていない。特に震度3以下の施設は皆無であった。従って、震度5弱以上の地震と津波による被害をそれ以下の震度であった地域と厳密に比較して論じることにはできない。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すると考えられるが、施設ごとにこれらの条件が異なるため、実際の影響は極めて複雑と考えられる。特に免震構造の施設ではMR装置が実際にさらされた震度は最寄りの地震計の示した数字とは異なるため、免震構造の施設ではその建物に設置された地震計で測定した値でなければ正確な評価ができない。建築や地震の専門家では無い回答者を対象とした大規模調査でこのような詳細情報について多数の回答を得ることは困難と予測されるため、本調査の対象者が回答可能な範囲である建物の基礎情報とMR装置の設置状況、破壊力の主因などを質問項目とした。

筧・中山らの報告では、医療機関の機器被害としては画像診断部の被害が目立ち、震度6弱で30%の施設に被害が発生し大破の例が見られ始め、震度5と6の間に被害程度の境界があるとの所見を得ている¹⁾。今回の調査結

果では、震度5弱と5強の間に被害程度の差が見られたが、調査対象がMR装置のみであること、MR装置が建物一体型の装置であり装置本体以外の設備部分の被害も含まれること、被害事象の尋ね方がMR装置に固有のより詳細な内容を問うている、などの違いを考慮すれば、ほぼ一致した結果であったと考えられる。

個別の被害事象としては、マグネットの移動（12.4%）、チラーや空調機の故障（9.6%）急激なヘリウムの減少（8.4%）の頻度が高かった。また、クエンチダクトの損傷（4.5%）や撮影室の電波・磁気シールドの破損、機能低下（6.1%）のような特に深刻な被害事象の発生も少なからず見られた。マグネットの移動は、MR装置の寝台が動作不良になるだけでなく、磁気シールドを施されている撮影室では静磁場のバランス不良を引き起こす可能性がある。架台の破損や架台からの脱落を生じて水平からマグネットが傾いた場合は、問題が深刻であり修復が不可欠になる。これらの被害事象と比べて、コイル等の落下による破損の発生率（3.7%）の方が少なかった。この傾向から震災によるMR装置の被害事象はシステム全体へのダメージという特徴を持っていると言えよう。なお、ユーザーによる目視では気付かないシステムの内部的な損傷や、アンカーの緩み、その他軽微な損傷、ユーザーが気付く前にメーカーの補修により形跡が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ひとつも無く、1例（制震構造にて軽度半損）を除いて、全てが免震や制震以外（耐震構造、その他、無回答）の構造であった。医療施設に免震構造が有効であることはこれまでも指摘されている。

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¹⁾。佐藤らは大規模振動実験設備を使った医療施設の被害発生を模擬する実験を行ない、阪神・淡路大震災をモデルとした短周期波（最大加速度の80%）を加えたところ、耐震構造ではX線CT（1.7トン）が数センチ移動しモニタの落下が見られたが、免震構造ではいずれも見られなかった¹¹⁾。長周期波（三の丸波、想定新東海地震波）では重量物であるX線CTの移動は見られなかったが、短周期地震ではいずれの構造でも60～70センチ程度であったキャスター機器（自由に移動）が、免震構造では最大3メートル程度移動し多数の衝突が見られた。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¹⁾。これらの結果から、免震構造はMR装置の致命的

な被害を防止する上での効果が期待できると言え、我々の調査結果とも一致する。ただし、長周期波の影響が強い場合は患者救出のために開けた撮影室のドアからキャスター付きの診療器具が飛び込みマグネットに吸着される、撮影室内で一定距離を置いて使用することになっている周辺器機がマグネットに衝突する、などの事故が起こりうることに注意すべきであろう。

クエンチ

クエンチとは貯留された電磁氣的エネルギーが熱に変換される現象である¹³⁾。目に見える現象としては発熱による冷媒（液体ヘリウム）の沸騰、気化に象徴されるが、大規模なヘリウムの気化を伴わないで磁場が消失する場合もある。高温超伝導素材を使用し低温の気体ヘリウムを冷却に使用しているマグネットでは液体ヘリウムの急激な沸騰現象が観察されないため目視ではすぐにクエンチと分からない。MR装置の設置においてはクエンチが生じても気化した液体ヘリウムによるトラブルが起きないように、専用の排気経路だけでなく撮影室の強制排気システムを設けるなどの対策が行われているが、震災時は排気経路や強制排気システムのトラブルが発生する可能性がある。本調査では19件のクエンチ事例が報告されており、そのうち、即時クエンチは5件であった。そのうちの1件は津波による浸水事例（後述）、残りの4例は第一波の地震の発生をきっかけとして生じたものであった。強制クエンチは2件あり、そのうち1件は浸水被害後の措置である。それ以外は10例が冷媒不

足等による遅延クエンチ（地震発生から24時間後かつ一ヶ月以内の全てのクエンチか、一ヶ月以降でかつ震災との関連性が明確なもの）、4件が原因不明のクエンチ（地震発生から一ヶ月以降で震災との直接の関連が不明なもの）であった。東日本大震災において地震そのものをきっかけとして発生した即時クエンチ（5例）の発生率は1.1%（超伝導型472台に占める割合）である。回答が寄せられた施設における過去のクエンチ経験は11.1%であり、クエンチ自体が決して稀な事象では無いが、MR装置の運転日数を考慮すれば1日に5件の発生は高い確率と言える（MR装置の平均運転日数を3年と仮定して試算すると χ^2 testで $p<0.001$ ）。低温物理学的には温度・磁場・電流密度のバランスが保たれている限り超伝導は安定であり¹²⁾、地震による震動そのものがこれらの臨界値を越える直接の原因となるとは考えにくい。今回の調査結果からはクエンチは震災において非常に高頻度で発生するわけでは無いが一定の注意を払うべき事象であることが確認された。もともとクエンチの潜在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。ひとつは排気経路の異常で、マグネットの移動に伴ってクエンチダクトの破損が少なからず発生することが今回の調査でも明らかになった。さらには、強制換気装置も非

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

浸水被害

東日本大震災では三陸海岸を中心として著しい津波の被害が発生し、気象庁の発表ではこの地域ではおおむね7m以上の津波高が観測され、大船渡市では10.7m（浸水高）を、陸前高田市では15.4m（浸水高）を記録している^{14, 15)}。津波による破壊力の影響の目安として、木造の場合は浸水2mで建物の流出が増加し4mで半数が流出するとされ¹⁶⁾、鉄骨構造 (Steel Construction, SC) では枠組みか上層階の一部が残存するのみである¹⁷⁾。鉄筋コンクリート (reinforced concrete, RC) 構造の建物の場合、建物そのものは残存しうるが特に建物一階部分の内容流出は避けられない。東日本大震災でMR装置の浸水被害は12施設

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

れているが、本調査の結果としては、1) 浸水がクエンチの直接原因になるという明確な証拠は得られなかった、2) しかし冷却システムの破壊による遅延クエンチはほとんど不可避である、と言える。

傷害の発生と震災直後の緊急行動

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

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

関する基礎知識²⁰⁾ を十分に習得することが不可欠である。

復旧の状況

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

今回の大震災をきっかけとして発生した新たなインフラ問題は「計画停電」である²¹⁾。経済産業省や医療機器センターの調査によれば、多くの医療施設が自家発電装置を持っているにもかかわらず、災害拠点病院や救急救命センターを除けば多くの医療機関が施設全体を補える容量の自家発電装置をもっておらず、MRIを含む画像診断機器は診療上の必要性が高いにも関わらず稼働できなかったと報告されている^{3, 22)}。今回の調査でも自由記述にその状況を裏付ける回答が見られた。今後は、超伝導型MR装置の冷却システムや永久磁石型装置の磁石保温システムなどの運転を維持する最低限の電力だけでも非常用電源から供給

できるよう、MR装置の設置段階で対策を考えて行くべきであろう。

過去の震災等によるMR装置の被害との比較

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

その後、目立った被害を及ぼした地震は数回発生しているが、MR装置の被災に関する資料は限られている。滝口らは平成13年の芸予地震において即時クエンチが発生した事例を報告しており²⁶⁾、引地は予測される宮城沖地震を念頭において患者の救出訓練の重要性を指摘している²⁷⁾。平成16年の新潟県中越地震に関しては事例報告としてマグネットの移動や架台の損傷の報告があり²⁸⁾、豪雨による水没被害の例としては平成21年の台風9号による全損事例が報告されている²⁹⁾。今回の被災調査では阪神・淡路大震災の10倍以上のサンプルが集まったが、これまで断片的に報告されてきた事象の全てが確認されている。しか

し、今回の調査結果も含めて、火災によるMR装置への影響についてはまだ詳細な情報は無いので、今後の検討が必要であろう。

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

E. 結論

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

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

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

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

・前谷津 文雄、丹治 一、清野真也、武蔵安徳、安達廣司郎、土橋俊男、中井敏晴、東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告、第二回 東北放射線医療技術學術大会 抄録集 #38、仙台、2012.11.4

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

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

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

・前谷津 文雄、引地 健生、菱沼 誠、阿部 喜弘、梁川 功、町田 好男 被災地におけるMR装置実態調査アンケートのお願い 第45回宮城MR技術研究会、仙台、2012.8.25

・前谷津文雄 東日本大震災から学ぶMR装置のリスク管理の課題、第10回東北MR技術研究会、新潟、2012.7.14

・引地健生 東日本大震災におけるMRI装置の被災状況および震災から学ぶ安全管理 第12回福島県MRI技術研究会、福島、2012.5.26

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

引用文献

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

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

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

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

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

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

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

(5) 日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会、災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言 2011年3月15日、<http://www.jsmrm.jp/>

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

(7) 石森文朗、砂森秀明、高倉有、本元強、佐藤雅之、東日本大震災発生時の茨城県内MRI稼働施設の実態調査報告、日本磁気共鳴医学会雑誌 31、S228、2011

- (8) IEC60601-2-33 <http://www.iec.ch/>
(JISZ4951 磁気共鳴画像診断装置 - 基礎安全及び基本性能 <http://www.jisc.go.jp/>)
- (9) 亀井裕孟、阪神・淡路大震災におけるMR装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第15巻、S141-142、1995
- (10) 社団法人 日本放射線機器工業会 医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究報告書（平成9～11年度）
http://www.jira-net.or.jp/commission/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 46-59、2012
- (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/
- (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/AIJREPORT/CYOSA_REPORT.htm
- (18) 国土地理院、2万5千分1 浸水範囲概況図：
<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku40014.html>
- (19) 山口さち子、中井敏晴 磁気共鳴画像装置（MRI）の安全に関する意識調査 日本磁気共鳴医学会雑誌 32、S306、2012
- (20) 中井敏晴、上野照剛：MRIの安全性（総論）. 日本磁気共鳴医学会 安全性評価委員会・他監修、MRI 安全性の考え方、第一版、東京、日本、学研メディカル秀潤社；2010、14-22.
- (21) 社）日本医療画像システム工業会、MR装置の停電時の対処方法について、平成23年3月18日：
<http://www.jira-net.or.jp/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
- (23) 社）低温工学協会 平成7 年度 被災調査臨時委員会、阪神・淡路大震災における低温・

超電導機器被災調査報告、社)低温工学協会、
1996

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

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

(25) 宮本唯男 放射線部門の地震対策ハンド
ブック 医療科学社 ISBN4-900770-41-8
C3047 1995

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

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

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

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

研究協力者一覧

安達廣司郎(日本赤十字社 盛岡赤十字病院)
阿部喜弘(独立行政法人 国立病院機構 仙

台医療センター)

石森文朗(医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル
病院)

栗田幸喜(社会福祉法人 恩賜財団 済生会
支部 埼玉県済生会栗橋病院)

砂森秀昭(社会福祉法人 恩賜財団 済生会
水戸済生会総合病院)

清野真也(福島県立医科大学附属病院)

丹治 一(公益財団法人 仁泉会 北福島医療
センター)

引地健生(栗原市立栗原中央病院)

菱沼 誠(一般財団法人 厚生会 仙台厚生病
院)

藤田 功(さいたま市立病院)

前谷津文雄(財団法人 宮城厚生協会 泉病
院)

榊田喜正(千葉大学医学部附属病院)

松本浩史(千葉大学医学部附属病院)

武蔵安徳(岩手県立中央病院)

梁川 功(東北大学病院)

吉岡邦浩(岩手医科大学)

協力組織

岩手 MRI 研究会、

宮城 MR 技術研究会、

福島県 MRI 技術研究会、

茨城県技師会 MRI 研究会、

千葉撮影技術研究会MRI基礎勉強会、

東京 MR 励起会、

SAITAMA MRI Conference

資料 1

MR装置の被災調査アンケート

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

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

お忙しい中とは存じますが是非とも、本アンケートにご協力をお願い致します。

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

＜問い合わせ先＞

国立長寿医療センター研究所 長寿医療工学研究部
神経情報画像開発研究室
室長 中井敏晴

〒474-8522

愛知県大府市森岡町源吾36-3

TEL: 0562-44-5651 (内) 5633

FAX: 0562-46-7827

アンケートは次頁より始まります

MR 装置の被災調査アンケート

回答日 平成24年__月__日 (回答の送付日を記入)

※ 各設問の該当する□に☑をいれてください (複数回答の指定が無い限りは1個のみ)

※ 電子ファイルで回答いただく場合は□を■に置き換えてください

1 基本情報

1-① 施設規模

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

1-② 種類

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

1-③ MRI 装置の設置台数

□:1 台 □:2 台 □:3 台 □:4 台 □:5 台以上

1-④ 磁場強度

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

1-⑤ 磁場システム

1. 永久磁石 (台) 2. 常伝導磁石 (台) 3. 超伝導磁石 (台)

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

□:耐震構造 □:免震構造 □:制振構造 □:その他

1-⑦ 建屋の建築年月

____年 (____月)

不明の場合 □昭和 56 年 (1981 年) 以前の建築である (該当の場合チェック)

1-⑧ 当該地域の震度

□:1 □:2 □:3 □:4 □:5 弱 □:5 強 □:6 弱 □:6 強 □:7

※震度に関する気象庁の情報は以下のリンクで確認できます

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

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

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

2 被害状況

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

2-① MR 装置 (分類は別紙注 2 を参照)

磁場強度・磁場システム: 装置ごとに回答票の指定する数字で記入

装置本体の据え付け方法: 1.アンカー固定あり-アンカー破損なし

2.アンカー固定あり-アンカー破損なし 3.アンカー固定なし 4.その他

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

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

被害の程度: 1.影響なし 2.一部損壊 3.半壊 4.全壊

2-③ 設置建屋 (分類は別表注 3 を参照)

建物の構造: 1.耐震構造 2.制振構造 3.免震構造 4.その他

被害の程度: 1.影響なし 2.一部損壊 3.半壊 4.全壊

2-④ 建屋, MR 室の破損状況に関して特記事項があれば記入してください

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

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

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



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

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

3 被害原因

今回の被害の主な原因はどれですか

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

4 復旧の状況

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

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

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

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

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

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

4-⑤ 具体的な復旧状況を記載してください

5 復旧の時期、震災時の状況

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

5-① メーカーによる復旧作業（修理）開始までの期間（発災から）

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

5-② 機器が使用可能となるまでの復旧期間（発災から）

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

5-③ 検査を再開するまでの期間（発災から）

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

5-④ 震災時の状況（分類は別紙注 4 を参照）

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

回答票 2 (問 5)

	メーカーによる復旧作業(修理) 開始までの期間(発災から)	機械が使用可能となるまでの 復旧期間(発災から)	検査を再開するまでの期間 (発災から)	震災時の状況 (別紙注 4 参照)
	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	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	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	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: 非稼動状態
MR 装置				
MRI 1				
MRI 2				
MRI 3				
MRI 4				
MRI 5				
MRI 6				
記入例	3	4	5	1

* 電子ファイルで回答される場合は別添のエクセルファイルにもご記入ください

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ましたか

☐:有 ☐:無

6-② 具体的な被害状況

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ましたか

☐:有 ☐:無

7-② 具体的な被害状況

8 発災直後に取った措置を 8-① 患者の安全確保、と 8-② MR 装置の安全確保の 2 つに分けて記述してください

9 復旧費用 (MR 装置に関連する費用のみ)

- ☐:保守契約内は無償 ☐:100 万円未満 ☐:100 万円以上 500 万円未満
☐:500 万円以上 1000 万円未満 ☐:1000 万円以上 ☐: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）を押しましたか

- ☐:押した ☐:押さなかった

10-② 押した場合は、その理由を教えてください（押さなかった場合でも、何かコメントがありましたらご記入下さい）

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ましたか

（クエンチの分類は別紙注 5 を参照）

- ☐:即時クエンチ ☐:遅延クエンチ ☐:原因不明のクエンチ ☐:無

11-② 上記①で該当の場合、のべ何回のクエンチが発生しましたか () 回

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りましたか

- ☐:有 () 回 ☐:無 (分からない場合を含む)

11-⑥ 上記⑤で該当（有）の場合、下記のいずれに該当しますか（複数回答可）

- ☐:設置時に発生 ☐:通常の運転時に発生 ☐:施設のトラブルに関連して発生
☐:メンテ作業時に発生 ☐:天変地異に関連して発生 ☐: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」はご覧になりましたか

☐ : 公表後 1 週間以内に読んだ ☐ : 1 週間後以降に読んだ

☐ : 1 ヶ月後以降に読んだ ☐ : その緊急提言は知らなかった

12-② 緊急提言を読んだ方へ、「緊急提言」は役に立ちましたか

☐ : 大変役に立った ☐ : 一部分が役に立った ☐ : 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

12-④ 緊急提言を読んだ方へ、「緊急提言」を知ったのはどのような機会でしたか

☐ : 日本磁気共鳴医学会のホームページ ☐ : その他のインターネット情報（＊）

☐ : 職場での伝達 ☐ : 行政機関からの通知 ☐ : MR メーカーからの案内

☐ : 学会や技師会等からの連絡 ☐ : 知人を通して ☐ : その他

＊メーリングリスト、掲示板等、インターネットを介したものを全てを含みます。

12-⑤ 今後このような指針に追加すべき事項があれば具体的に既述してください

13 今後の震災への対応策を検討していれば、その内容を記載してください

14 直接聞き取り調査に伺ってもよろしいでしょうか

☐:はい ☐:いいえ

「はい」と回答の方へ、担当者ご氏名・ご連絡先をご記入ください。

ご担当者名 _____

ご連絡先 電話: _____

E-mail: _____

お忙しい中、アンケート調査にご協力いただきありがとうございました。

別紙

【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、建築基準法に則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（地盤と建物の間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、免震は建物の持つ異なった機能で、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）

- ・ 被害無し。
- ・ **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物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無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）な原因によって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ひと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ひとつのキャビネット（筐体）単位）をサブシステムと考えて下さい。

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）

分担研究報告書 2.

岩手・宮城・福島の前北3県の前MRI被災調査（アンケートおよび聞き取り調査）

研究分担者 町田 好男

東北大学 大学院医学系研究科 画像情報学分野

研究要旨

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の一環として、岩手、宮城、福島の前北3県の被災調査を行った。特に、本分担研究では、アンケート調査に引き続いて行われた訪問調査（聞き取り調査）から、上記の目的に沿って今後の対策に生かせる具体的で重要と思われる事項を抽出した。

抽出された項目は、患者の安全に関すること、設備に関すること、MRI装置に関すること、インフラに関すること、など多岐にわたるが、いずれも具体的な事例であり、今後の施策検討の上で有用と考えられた。

A. 研究目的

全国の医療施設における日常診療で重要な役割を果たしているMRI装置は、平成23年3月11日14時46分に発生した東日本大震災により、直接的・間接的に大きな被害を受けた。この被害状況を明らかにすることで、今後想定される大地震を念頭においたMR検査室の防災対策や震災時の緊急的対処のための指針を策定することが、本分担研究の上位となる厚生労働科学研究（以下、本厚生労働科学研究）の目的である。具体的には、MR装置の

被害状況を定量的に分析し、1）緊急対処（患者の救出、MRIの緊急停止）の方法、2）2次災害防止措置、3）MRIの安全な再稼働のための点検項目等についての指針を策定する。

その中であって本分担研究では、最も被災の大きかった岩手・宮城・福島の前北3県のMRI被災調査（アンケート調査および訪問調査（聞き取り調査））を実施し、上位の目的のための基礎データを得る。本分担研究報告では、特に、後者の訪問調査の結果から、上位の目的に沿う具体的で重要な事項を、現時

点で可能な範囲で抽出する。

B. 研究方法

本厚生労働科学研究では、太平洋沿岸を中心とした7都県を対象とした被災地調査を行うが、本分担研究では、東北地方の岩手・宮城・福島の3県の調査を分担する。担当県においても、全7都県の、方式、書式、ルールにのっとり調査を実施した。

アンケート調査

アンケート調査における主な調査項目は、1) 震災の状況：震度、MRI設置場所の被害（損壊、津波、火災）、人的被害、2) MRIの被害事象：装置の破損状況、クエンチの有無、マグネットの移動、冷却システムや空調の故障、クエンチダクトの損傷、急激なヘリウムの減少、シールドの損傷など、3) 診療への影響：検査の休止期間と修繕内容、その費用負担などである。

なお、アンケート調査の方法は、代表研究者である、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）による分担研究報告書に詳しい。

訪問調査（聞き取り調査）

アンケート調査に引き続き、訪問調査（聞き取り調査）を行なった。この調査は、津波による浸水、クエンチ、ハードウェアの重大な被害等、注目される被害施設について行ったものである。面談における聞き取りは、資料1の「訪問調査 調査票」にある、聞き取り調査項目のリストに沿って行った。特にそ

の施設の受けた被害と関連が深いと思われる項目を中心に、被害状況の聞き取りを進めた。

アンケート調査・訪問調査ともに、実際の調査は、日頃より各県で中核的な役割を果たしている第一線の診療放射線技師を研究協力者として迎えて、研究代表者とも密に連絡をとりながら、可能なかぎり計画的に進めた。

（倫理面への配慮等）

訪問調査に関連して必要となる倫理委員会への申請は研究代表者が行い、本分担研究でもそのプロトコルに従って調査を進めた。なお、訪問候補の施設の長および担当者への正式依頼等も、全体の7都県共通の形式で研究代表者から直接行った。こうしたルールのもと、対象となる各施設と調整を図り、十分な納得を得た上で訪問調査（聞き取り調査）を実施した。

C. 研究結果

アンケート調査

アンケート調査は、東北3県からは岩手県が85施設、宮城県が105施設、福島県が74施設から回答を得た。回答は、全7都県が研究代表者のもとに集約され解析が進められている。（全体の調査結果が、研究代表者である中井からの分担研究報告書にて同時に報告される。）

訪問調査（聞き取り調査）

訪問調査（聞き取り調査）は、アンケート調査をもとに候補施設をピックアップし、最終的に同意の得られた施設に対して、原則と

して2名の研究協力者が調査員として訪問する形で行った。訪問施設数は、結果として、岩手県が4施設、宮城県が14施設、福島県が10施設で、計28施設である。**資料2**はそのリスト、および、各施設の「訪問調査 調査票」に対する調査結果に、「調査員によるまとめ」を付記したものである。ただし、ページ数の関係で「調査票」の添付は10施設分のみとした。また、本分担報告書では、施設名は次節で説明のように番号を付して記した。

訪問調査結果の県ごとのまとめ

上記の調査データをもとにして、平成25年1月24日開催の平成24年度総括班会議に向けて、各県ごとに、調査担当者を中心としたまとめを行った。

調査施設名や、施設の担当者氏名は、本分担研究報告では伏せてある。すなわち、施設名については「岩手-施設1」のように表記した。これは、資料2の施設番号とも一致させてある。また、各施設のおおまかな位置を、岩手沿岸部、岩手内陸部、宮城沿岸部、宮城内陸部、福島、の5つの地域に分けて示した。仙台市については、若林区と宮城野区を沿岸部に分類した。

なお、津波被害を受けた施設、原発避難地域の施設については、岩手沿岸部(津波被害)、宮城沿岸部(津波被害)、福島(原発避難地域)のように示した。

この、県ごとのまとめには、多くの考察部分が含まれるが、本報告書では、結果の一部

として以下に記す。(1)岩手県、(2)宮城県、(3)福島県の順に示す。

(1) 岩手県

調査員(報告者)：

安達廣司郎(日本赤十字社 盛岡赤十字病院)

武蔵安徳(県立中央病院附属紫波地域診療センター)

中井敏晴(国立長寿医療研究センター研究所)

調査日：

平成24年11月19日(月)～20日(火)

調査施設：

岩手-施設1 岩手沿岸部(津波被害)○

岩手-施設2 岩手沿岸部 ○

岩手-施設3 岩手沿岸部 ○

岩手-施設4 岩手内陸部

(○印の調査票は資料2にあり)

概要

「岩手-施設1」は**津波の襲来**を受け、水没する被害が発生し、入院患者避難への対応が最優先された。「岩手-施設2」は施設内の壁に亀裂が入ったもののMRI装置は稼働することが出来た。「岩手-施設3」は高台にあり、耐震構造であったために停電と断水を除けば被害が発生していない。「岩手-施設4」においては地震により施設に亀裂が入り甚大な被害が発生し、放射線部門が使用不能となった。以下4施設について報告する。

1. 「岩手-施設1」では金曜日はMRI検査を行っていないために、患者への対応がされていない。しかし津波の襲来で施設の1階部分が

水没、装置の安全確認等行う余裕がなかったと思われる。（入院患者への対応のみ）

2. 「岩手-施設2」は地震による施設への影響（亀裂、窓ガラス破損）は多少あったが診療放射線技師がDQE、ファントム撮影にて装置への影響がないことを確認し、停電復帰後、必要最小限で検査を再開していた。

3. 「岩手-施設3」は耐震構造となっていたために地震による施設（装置）への被害はライフラインの停止のみで、自家発電により災害拠点病院としての役割を果たした。（長時間の停電による影響を受けた。）MRI装置は自家発電から電源の供給を受けておらず、冷却システムが停止、検査は行っていない。その後の余震（4月7日）で冷却システムが故障し修理が行われている。

4. 「岩手-施設4」では発災時、MRI検査が行われておらず部門内の患者への対応はされていない。装置の状況把握のみが行われ、立ち入り禁止措置が取られていた。入院患者の安全確保が最優先され、入院患者は当日の夕方までに、全員近隣の病院へ搬送された。

全体に共通する課題は「停電対策」と「通信網の整備」であると考えられた；

例えば、MRI装置への電源確保である。本体も大切であるが冷凍機だけでも通電できればHeの減少も最小限に抑えることが出来るのではなかろうか。

地震による被害が大きい「施設4」においては、検査が行われておらず、装置の状況把握のみが行われ立ち入り禁止措置が取られていた。しかし、地震発生後、25～30分で津波の

襲来を受けた「施設1」では装置の被害状況把握すらできていない。**この短時間内に何が必要（必ず、行わなければならないこと）で何ができるか検証する必要がある。**

本調査の対象ではないが、ある県立病院（MRI装置は整備されていない）では、揺れが収まった時点で放射線機器の点検を行っていた時「津波が来た」との声が聞こえたために慌てて避難し、難を逃れたと報告している。（その間、十数分？）

（2）宮城県

調査員（報告者）：

前谷津文雄（宮城厚生協会泉病院）
引地健生（栗原市立栗原中央病院）
阿部喜弘（国立病院機構仙台医療センター）
菱沼 誠（厚生会仙台厚生病院）
町田好男（東北大学大学院）

調査期間：

平成24年11月25日(日)
～平成25年2月19日(火)

調査施設：

宮城-施設1	宮城内陸部 ○
宮城-施設2	宮城内陸部 ○
宮城-施設3	宮城沿岸部
宮城-施設4	宮城沿岸部（津波被害）○
宮城-施設5	宮城沿岸部
宮城-施設6	宮城沿岸部
宮城-施設7	宮城沿岸部
宮城-施設8	宮城内陸部
宮城-施設9	宮城内陸部 ○

宮城-施設10	宮城沿岸部
宮城-施設11	宮城内陸部
宮城-施設12	宮城沿岸部（津波被害）
宮城-施設13	宮城沿岸部（津波被害）
宮城-施設14	宮城内陸部

（○印の調査票は資料2にあり）

概要

平成24年11月25日から12月21日までの期間で10施設の訪問調査を実施した。（注：その後平成25年度2月中旬までに、さらに4施設の訪問調査を実施した）

これまでの宮城県内での訪問調査で明らかとなった被災状況と浮き彫りになった問題点、さらには今後の防災対策に役立つと考えられる点について報告する。

1. 宮城県はほぼ全域が6弱以上の震度を記録した。建屋が激しく揺れる最中、ボア内から患者救出を行うのは非常な困難を伴う。

多くの施設が発災時にスキャン中であった。患者はみずから動ける方も、けがや疾病により自由に動けない方もいた。また、うつ伏せの状態でも乳房をスキャンしていた患者もいれば、ヘッドネックコイルのように大型で重量のあるコイルに頭部を固定された状態の患者もいた。ほとんどの施設は揺れが始まってからスキャンを停止し、激しい揺れの中でスキャンルームに入り患者救出にあたったが、いくつかの施設はマグネット本体の移動により患者テーブルの長軸がずれてしまい途中からテーブルを引き出すことすらできなかった。大型のコイルがガントリの内壁に干渉し、引

き出せなかった例もあった。

このような状況で、患者をガントリ内部で待機させるべきか、激しい揺れの中で危険を冒しながらも引き出してテーブルから降ろし、スキャンルーム外に誘導すべきかについては議論があった。

2. 「緊急地震警報」の設備を備えた病院が3施設あった。このシステムは患者救出の観点で非常に有用である。

今回の調査の中で、病院全館に「緊急地震警報」のシステムを備えた施設が3施設あった。ある施設では、災害時の対応として、「緊急地震警報」の放送になったならば直ちにスキャンを停止して患者を救出する訓練が徹底されていた。また、別の施設では、以前は誤報等の理由でこのシステムが活用されていなかったが、3月9日の前震を経験していたために、大きな揺れが来る前にスキャンルームに入って患者救出を開始することができたと報告している。ある施設では、S波到来までの予測時間をカウントダウンするシステムであった。いずれもの施設でも患者救出の観点で「緊急地震警報」のシステムは有効であったと報告している。

3. 建屋の免震構造は、極めて有効な震災対策である。

震度7を記録した地域に、免震構造の本館と耐震構造の別棟に1台ずつ、計2台のMRI装置を所有する病院があった。震度7でも免震構造の建屋に設置された装置には全く損傷はなかったが、耐震構造の建屋に設置された装置は

台座から脱落して移動してしまい、マグネット本体と患者テーブルの軸方向がずれてしまった。4月7日の最大余震（震度6弱）の際も、本震の時と全く同じ状況となった。震災対策としての免震構造の有効性を明確に示す事例である。

4. マグネット本体の設置方法の違いにより、損壊の状況は大きく異なる。

マグネット本体の設置方法としては、アンカー止めする場合と、単にプレート上に配置する場合やアブソーバーコイルを介したり、直接台座上に配置してアンカー止めしない場合がある。今回の震災では、強震動によるアンカー止めしない装置のマグネット本体の移動や回転が見られた。こうしたマグネット本体の損傷は、クエンチダクトの破断など重大な2次的被害を引き起こした。建屋の耐震性能や、地盤等の立地条件を考慮したマグネット本体の設置方法についての指針が求められる。

5. 液体ヘリウムの蒸散を抑制するために、冷却システムへの非常用自家発電設備から電源供給が望まれる。

ほとんどの施設で停電を経験したが、商用電源が復電するまでの間冷却システムが停止したままの施設が多数あった。そのために液体ヘリウムの蒸散が通常より増加し、そのためにクエンチの発生を危惧する施設がいくつかあった。自家発電設備を有しているものの、MRI装置の冷却システムへは電源供給されない施設や、本来電源供給されるはずであったにもかかわらず切り替え設備の不具合で供給

されなかった施設もあった。震災直後は、どうしてもMRI検査が必要である、との要請はほとんどなかったが、装置の維持管理のために最低限冷却システムへの電源供給が望まれた。

6. メーカーやサービスマンも被災者であった。

営業所が入ったビルが停電・漏水等で立ち入り禁止となり、さらにはタワー駐車場の稼働停止により1週間ほど営業車両も使用不能となってしまった装置メーカーがあった。また、サービスマンの安否が確認できないケースもあった。さらには、顧客病院までの行程が道路の損壊やその他の過酷な状況で、サービスマンに厳しい精神的負担が課せられたケースもあった。

上述したメーカーは、震災後期間を置かずに営業所を災害による影響の少ない場所に移転し、事業の継続性を担保する強い意志を示している。多くの装置メーカーが、MR装置の復旧に直ぐには対応できない状況であったが、メーカー自体やサービスマン自身も被災者であったという視点を忘れてはならない。そのためにも、ユーザー自身による適切な対応を行うための災害時マニュアルが求められる。

7. 津波による浸水被害は重大な吸着事象や2次的な災害を引き起こす。

宮城県沿岸部では広く津波被害を被った。浸水した超伝導装置のうち1台が即時クエンチ、3台が遅延クエンチを起こし、永久磁石型装置は2台が流出し、1台は所在不明のままである。流出して所在不明となった永久磁石はその磁

力が低下するまでの長期間にわたって吸着事故の危険性をはらむことになる。大型磁性体の吸着による磁束密度の攪乱がクエンチをより早く誘発している可能性を示す事象も指摘されており、こうしたMRI装置の浸水事例の分析結果は、大型医療機器の防災、防水対策における指標となるものと考えられる。

(3) 福島県

調査員(報告者)：

清野真也(福島県立医科大学附属病院)

丹治 一(北福島医療センター)

調査日：

平成 24 年 10 月 25 日(月)

～平成 25 年 1 月 22 日(火)

調査施設：

福島-施設 1	福島
福島-施設 2	福島
福島-施設 3	福島
福島-施設 4	福島
福島-施設 5	福島
福島-施設 6	福島
福島-施設 7	福島(原発避難区域)○
福島-施設 8	福島(原発避難区域)
福島-施設 9	福島 ○
福島-施設 10	福島 ○

(○印の調査票は資料 2 にあり)

1. 進行状況

福島県は平成 24 年 10 月 25 日から 26 日の 2 日間にわたり、いわき地区 5 施設、郡山地区 2 施設、会津地区 1 施設の訪問調査を行い、

平成 25 年 1 月 9 日福島地区 1 施設の調査を行った。(注：1 月 24 日の平成 24 年度総括班会議直前の 22 日に一施設の追加調査を行った)

2. 被害調査概要

福島県内では今回の震災で大きなダメージを及ぼした**津波による被害を受けた施設は皆無**であった。施設自体の建屋被害も多くはなく訪問調査対象施設のうち 1 施設のみであった。訪問調査で明らかになったことは、**福島県で特化した原子力災害によって避難区域となった施設の状況や、発災当初の対応が主**である。

10 施設のうち装置自体が被害を受け検査停止を余儀なくされた施設は 6 施設であり、どの施設も復旧までに 1～2 週間を要している。

再稼働までの日数は、装置が復旧しても病院の運営上の問題で遅れたケースがあった。即時**クエンチ**した施設は余震による再クエンチも予想されさらに復旧が遅れた。

地震が起きた時に検査中であった施設からは患者さんは案外冷静だった様子が聞き取れた。発災直後の行動としてはMRI装置の安全確認よりも**患者の安全確保と誘導を最優先に考えている**ことがうかがえた。

震災後のMRI室の管理として操作室が患者の一時避難所や一般の技師室として利用されていたケースがあり**MRIの危険性の認識の甘さ**を垣間見た。

装置被害を受けなかった施設は**避難誘導後**にMRI室および機械室の目視点検とファン

トム撮影により稼働の可否を判断している施設が多く、状況によっては1カ月近く**メーカーによる点検**を受けられない施設もあった。

3. 意見・問題等

・脱着式寝台でも震災時には脱着不能になるケースがあった。患者が身体不自由等により車いすやストレッチャーを要する場合があるので**非磁性ストレッチャー**の配備は必需である。

・被害を受けた現場としては**現地サービスマン**と連絡をとりたいが、コールセンターにはつながるがサービスマンからの連絡、指示が受けられなかった。

・**消磁ボタン**を押そうとは思わなかった。消磁ボタンを押す明確な基準がない。メーカーによって消磁ボタン、緊急停止ボタンの表示、意味合いが異なっている。

以上、調査結果から3県の担当者によるまとめまでを本節の「結果」にて述べた。

D. 考察

ここまでの結果を踏まえ、全体を通じたまとめを行う。

県ごとの被災の特徴

東日本大震災では、不幸なことではあるが、地震そのものの災害、津波災害、原発に関連した被害の3つが発生し、岩手県では津波被害が、宮城県は震災および津波被害が、福島県は原発関連の被害が特に深刻であった。

今回のMRI装置の被災調査でも、その特徴が

現れていた。すなわち、岩手県は津波被害が深刻であった。宮城県は最も震度も大きいため地震そのものの影響が大きく、平野部では津波被害もあった。福島県は、地震の他に、原発事故のための避難を余儀なくされた。

各県のまとめをあらためて見てみたい。

岩手県では、津波により壊滅状態の医療施設も多く、調査自体も困難だった。津波の危険性が高い場合には、MRIに限ったことではないが、今回の訪問調査により、「**この短時間内に何が必要（必ず、行わなければならないこと）で何ができるか検証する必要がある。**」をあらためて確認した結果となっている。また、**全体に共通する課題は「停電対策」と「通信網の整備」である**、とまとめられ、MRI装置に限定した対策では限界があると実感された結果となっている。

宮城県は震源に近く、震度も津波も、最も大きな地区であった。病院施設の被災もさまざま、今回の訪問調査でも、様々な情報が得られた。県別の報告では、「宮城県内での訪問調査で明らかとなった被災状況と浮き彫りになった問題点、さらには今後の防災対策に役立つと考えられる点」として、7項目に整理して報告されている。キーワードのみ再掲すると、

1. 地震時のボア内からの「救出」の困難さ
2. 緊急地震警報設備の有用性
3. 免震構造の有用性
4. マグネット設置方法（アンカー止め）

5. He 蒸散対策としての電源供給

6. メーカーも被災者 → ユーザー自身による対応の必要性

7. 津波後の2次災害対応

となっており、緊急時の患者対応、設備の問題、装置設計・規格の問題、役割の問題など多岐にわたって具体的項目が抽出された。誰がどのように進めたらよいか難しい問題ばかりであるが、これからの施策を考える上で重要な知見が得られた。

福島県では、**原発問題**が深刻であったが、実際には災害にあった施設は立ち入りができず、調査も避難先で行う等の状況であり、そうした現状の一部を知るにとどまったといえる。地震そのものでは、**クエンチ**、磁石の移動、地震そのものの課題が報告された。これに関連して、装置の消磁ボタンの使用条件など、現在明確になっていない点が浮き彫りにされた。（スイッチ自体の不統一なども他県も含め議論されている。） また、患者の安全確保のための非磁性ストレッチャーの配備の必要性も指摘されている。

共通の課題・問題点

以上、県ごとの状況を確認したが、共通の課題として項目別に見直してみたい。

はじめに安全に関することである。安全については、地震発生時の患者の安全確保の問題がある。ボアからの患者の「救出」、磁石の移動（固定法）、シールドルームの開放とその維持、ストレッチャーの配備など関連する事項が多く、現場の診療放射線技師だけで

解決できる問題ではない。地震発生後、磁場の危険性から守る工夫も、共通の、あるいは基準となる対応法が必要となっている。

設備についても報告があった。特に、建築に関しては免震構造の有用性、内部の設備として緊急地震警報設備の有用性が指摘された。MRIの設備については、電源確保も指摘されている。

MRI装置については、クエンチや消磁についてのスタンダードが、装置とその運用の両者について、十分に標準化・規格化されていない問題が浮き彫りになった。

岩手のまとめにあるように、インフラの問題もあり、インフラから設備、MRI装置まで、関連を整理していく必要がある。

また、宮城のまとめでは、メーカー・サービスマンも被災者であり、有事にはユーザー自身の対応が必要となる点が指摘された。こうした事情も考慮した今後の対応が必要となってくるであろう。

ここまでの記述に見られるように、単純に項目別に列挙することはもともと困難である。どの問題も独立した問題ではあり得ない。今後の対応策に結び付けていくために、問題の分類、関連の明確化、要因分析、等が必要とされよう。

E. 結論

本分担研究報告では、実際に実施した2段階の調査（アンケート調査および訪問調査（聞き取り調査））のうち、特に後者の訪問調査を実施し、その調査結果について検討を行っ

た。今後の震災時の緊急的対処の策定という上位目標のために必要となる、具体的で重要な項目を、現時点で可能な範囲で抽出することができたと考える。

今回の震災は、地震、津波、原発が混合したものになったが、岩手、宮城、福島3県それぞれの県のMRI被災状況も、震災の特徴に対応した各県の特徴があった。

今後の対応策に結び付けていくために、問題の分類、関連の明確化、要因分析、等が必要であるが、本分担研究では、具体的で重要な事項を、ある程度抽出することができたと思われる。

— — — — — — — — — —
ここまで得られた結果は、学会にて継続的に報告を行った。研究代表者からは、査読付の資料として学会誌にも投稿した。さらに、アンケート協力者にこたえる意味もあり、「MR装置被災調査報告速報（宮城県地域）」を発行した（資料3）。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

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

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

・前谷津 文雄、丹治 一、清野真也、武蔵安徳、安達廣司郎、土橋俊男、中井敏晴、東日本大震災の被災地におけるMR装置被害の実態調査報告、第二回 東北放射線医療技術学会大会 抄録集 #38、仙台、2012.11.4

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

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

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

・前谷津 文雄、引地 健生、菱沼 誠、阿部 喜弘、梁川 功、町田 好男 被災地におけるMR装置実態調査アンケートのお願い 第45回宮城MR技術研究会、仙台、2012.8.25

・前谷津文雄 東日本大震災から学ぶMR装置のリスク管理の課題、第10回 東北 MR 技術

研究会、新潟、2012.7.14

・引地健生 東日本大震災におけるMRI 装置
の被災状況および震災から学ぶ安全管理 第
12回福島県MRI技術研究会、福島、2012.5.26

H. 知的財産権の出願・登録状況

1 . 特許取得

なし

2 . 実用新案登録

なし

3 .その他

なし

その他発行資料

・東日本大震災によるMR装置被災調査報告速
報（宮城県地域）、町田好男（発行責任者）、
平成25年2月12日

研究協力者一覧

安達廣司郎（日本赤十字社 盛岡赤十字病院）

武蔵安徳（岩手県立中央病院）

阿部喜弘（独立行政法人国立病院機構仙台
医療センター）

引地健生（栗原市立栗原中央病院）

菱沼 誠（一般財団法人厚生会仙台厚生病院）

前谷津文雄（財団法人宮城厚生協会泉病院）

清野真也（福島県立医科大学附属病院）

丹治 一（公益財団法人仁泉会 北福島医療
センター）

協力組織

岩手MRI 研究会、

宮城MR 技術研究会、

福島県MRI 技術研究会、

以上

資料 1 : 「訪問調査 調査票」

訪問調査 調査票

施設 ID	
1	基本事項
2	3.11被害状況 (MRI)
	項目 1
	項目 2
	項目 3
	項目 4
	項目 5
3	3.11被害状況 (人的被害)
	項目 1 (スキャン中の場合) 本震の発生中、患者はどのような様子であったか
	項目 2 患者を外に出せたのはいつか
	項目 3 軽度でも打撲が無かったか
	項目 4 精神的な面での影響は感じられたか
4	3.11被害状況 (施設全体)
	既存の資料がある場合は代用
5	3.11緊急の対処 (本震後1時間以内)
	項目 1 最初に取った処置
	項目 2 緊急停止ボタンを押したか (MRI装置の型式、ボタンの設置状況)
	項目 3 (スキャン中の場合) 患者を外に出す作業の具体的な様子
	項目 4 検査室にいた患者にどのように指示を行ったか
	項目 5 MRI装置のシャットダウンを行ったか
	項目 6 MRI装置の電源を分電盤レベルで遮断したか
	項目 7 危険と感じた出来事は何か
	項目 8 緊急放送等で施設からの指示はあったか
	項目 9 緊急の対処段階の行動に施設の防災マニュアル等は反映されていたか
6	3.11緊急の対処 (本震後1時間～24時間)
	項目 1 優先度の高い課題は何であったか
	項目 2 MRI室への明示的な立入り禁止措置を取ったか
	項目 3 (避難の必要が無かった場合) MRI装置に対してどのような点検を行ったか
	項目 4 (点検を行った場合) MRI装置に対して何らかの処置を行ったか
	項目 5 本震発生当日にMRIの安全管理や復旧対策以外にどのような緊急の用務が発生したか
7	余震の影響
	項目 1 余震による被害状況
	項目 2 本震と比較して違いがあったか
8	復旧上の課題 (復旧翌日～復旧)
	項目 1 安全管理上の課題
	項目 2
	項目 3 経済的課題
	項目 4 マンパワー上の課題
	項目 5 その他
9	復旧方針
	項目 1 MRI装置の再稼働を決定したのは誰か
	項目 2 何をMRI装置の再稼働の判断の根拠としたか
	項目 3 震災後、医療上の要請による影響
	項目 4 MRI 室をどのように管理したか
	項目 5 施設内でどのような事項を周知したか
	項目 6 再稼働までの間、どのような項目の点検を行ったか
10	復旧状況
	項目 1 液体ヘリウムの減少状況 (可能ならログの写し)
	項目 2 冷却システムの停止期間
	項目 3 中心周波数のずれ
	項目 4 復旧作業で消磁したか、行った場合はその理由
	項目 5 人為的でない「磁場消失」は起きていないか
11	復旧後
	MRI装置が通常運転に復帰した後で気が付いたこと、新たに生じた問題点
12	復旧費用
	施設側に発生した復旧費用の負担はあったか
13	緊急停止システム設置状況
	MRI装置型番、クエンチボタン、緊急停止ボタン、緊急電源遮断ボタンの設置状況 (場所、数)
14	安全管理・防災マニュアル
	項目 1 MRI装置の安全管理に関するマニュアルはあったか (震災前)
	項目 2 施設の防災対策の中でMRIの管理についての記述はあったか (震災前)
	項目 3 震災後に上記のマニュアルや指針の追加や変更を行ったか
	項目 4 今後、どのような情報が必要か
	項目 5 マニュアルや指針を作成する上で一番重要な事は何か
15	メーカーの対応状況
	メーカーに期待したい支援事項で実現した事項、実現しなかった事項、メーカーへの要望等
16	個人として受けた影響 (任意)
	MRI担当者が受けた個人的被害が業務に与えた影響
17	学会への要望等
	防災対策や震災時の対策で関連学会に期待したいこと
18	現場検分
	項目 1
	項目 2
	項目 3
19	備 考

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
分担研究報告書 3.

東日本大震災によるMR装置被災調査の背景要因に関する研究

研究分担者 山口さち子

独立行政法人労働安全衛生総合研究所 健康障害予防研究グループ 研究員

研究要旨

本研究では、地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災によおける MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。データは東日本大震災による MR 装置被災調査の全国集計を利用した。震度は震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上の 3 群とし、主に震度と被害内容の関係性について検討を行った。

その結果、本研究では下記の事項が抽出された。

- ・ 震度の上昇と MR 装置被災度の相関。
- ・ アンカー固定の MR 装置被災防止への有効性。
- ・ 建物構造との関係において、耐震性建屋の MR 装置被災防止への有効性（特に制震・免震構造の有効性）。
- ・ 震度の上昇と MR 装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増加。

また、今後の検討課題として下記の事項の検討が必要であると示唆された。

- ・ MR 装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までの MR 装置の安全管理方法の検討必要性。
- ・ 施設への情報伝達手段の検討必要性。
- ・ 災害時の MR 装置の安全管理に関して、発信時期と想定読者の検討必要性。

今後はこれらの事項に関する更なる解析と対応策について検討予定である。

A. 研究目的

磁気共鳴画像装置（MRI 装置：以下、MR 装置と記載）は、年間約 92 万件の検査が行われている日常的な検査装置であり¹⁾、梗塞や出血の診断など臨床検査上不可欠な医療機器である。平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災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甚大な被害が発生した。MR 装置においても、東北 3

県と茨城、千葉、埼玉、東京を対象としたアンケート調査の結果から多数の被害が確認されている（分担報告書「東日本大震災による MR 装置被災状況に関する質問紙調査の報告（研究分担者：中井敏晴）」参照）。

大地震による被害は、関東大震災における火災、阪神大震災における家屋の倒壊、そして東日本大震災における津波など、発生場所や時間帯によって被害状況は異なる

様相を示す。したがって、防災プランを考える上では、激震地域で観察されるようなそれぞれの震災特異的な要因と、普遍的な要因とを分けて考える必要がある。本調査研究においては、前者は津波被害であり、現在アンケート調査に加えて被災地域での聞き取り調査が進行中である。後者は揺れや建屋構造などが対象となる。

震度は最も一般的に認知されている地震に関連したパラメータであり、かつ、検出装置の進歩や全国のネットワーク化により地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能という利点がある。東日本大震災においても、MR 装置の被災状況は分担報告書「東日本大震災によるMR装置被災状況に関する質問紙調査の報告（研究分担者：中井敏晴）」に記載のとおり、震度 5 と 6 との間で被害内容に統計的有意差が予想されている。

そこで本研究では、主に震度との関連に着目をした、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。なお、本分担報告では揺れによる被害についての分析と考察を行う。建屋構造に関する分析と考察は土橋の分担報告を参照されたい。

B. 研究方法

東日本大震災による MR 装置被災調査の全国集計データを利用した。震度は震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上の 3 群とした。統計解析は SPSS (IBM 社) を用いて行った。

東日本大震災による MR 装置被災調査では二つのデータベースが構築されている。一つは調査地域の MR 装置ごとで回答構成される台数ベース (N=602) のデータ (ア

ンケート回答票 1 及び 2) であり、もう一つは調査地域の施設ごとの回答で構成される施設ベース (N=458) のデータである。本調査ではいずれのデータベースも利用した。

まず、台数ベース (N=602) のデータについて、回答票 1 より①MR 装置の被害状況と震度との関連、②アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連、③設置建屋と MR 装置の被害状況との関連、回答票 2 より④復旧状況と震度との関連、⑤検査時の状況と復旧状況との関連についてカイ二乗検定を行い検討した。

続いて、施設ベース (N=458) のデータについて、⑥MR 装置の破損状況 (問 2-⑤) と震度との関連、⑦復旧の状況 (問 4-①、4-③) と震度との関連、⑧災害時の MR 検査の安全確保に関する指針 (問 12-①) と震度との関連について、カイ二乗検定を行い検討した。

(倫理面への配慮)

分担報告書「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）」に準じた。

C. 研究結果

<台数ベースでの解析>

①MR 装置の被害状況と震度との関連

MR 装置の被害状況について、「影響なし」と「影響あり (軽微、半損 (軽)、半損 (重)、全損)」の二群に分類し震度との関連を検討したところ、震度の上昇につれて MR 装置への影響が有意に増大していた ($p<0.001$ 、表 1)。

表 1 MR 装置の被害状況と震度との関連

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
震度5未満	89.7%	(26 / 29)	10.3%	(3 / 29)	p<0.001
震度5	88.7%	(307 / 346)	11.3%	(39 / 346)	
震度6以上	63.5%	(122 / 192)	36.5%	(70 / 192)	

表 2 アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連

MR装置への被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
アンカー固定なし	63.6%	(105 / 165)	36.4%	(60 / 165)	p<0.001
アンカー固定あり	87.0%	(335 / 385)	13.0%	(50 / 385)	

表 3-1 設置建屋と MR 装置の被害状況との関連

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
耐震構造	77.6%	(311 / 401)	22.4%	(90 / 401)	p<0.05
制振・免震構造	93.1%	(54 / 58)	6.9%	(4 / 58)	
その他	82.5%	(80 / 97)	17.5%	(17 / 97)	

表 3-2 設置建屋と MR 装置の被害状況との関連 (耐震構造 v.s. 制震・免震構造)

MR装置の被害状況					
	影響なし	(度数)	影響あり	(度数)	有意確率
耐震構造	77.6%	(311 / 401)	22.4%	(90 / 401)	p<0.01
制振・免震構造	93.1%	(54 / 58)	6.9%	(4 / 58)	

②アンカー固定と MR 装置の被害状況との関連

MR 装置のアンカー固定について、「アンカー固定なし」と「アンカー固定あり」の二群に分類し被害状況を①と同様に「影響なし」と「影響あり」の二群に分類し解析を行った。その結果、「アンカー固定あり」では被害状況が「影響あり」であったのは

13.0%であったのに対し、「アンカー固定なし」では 36.4%で被害が観察された(p<0.001、表 2)。

③設置建屋と MR 装置の被害状況との関連

設置建屋を「耐震構造」、「制震・免震構造」、「その他」の三群に分類し、被害状況を①と同様に「影響なし」と「影響あり」

の二群に分類し解析を行った。最も MR 装

表 4 復旧状況と震度との関連

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

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

検査を再開するまでの期間(発災から)							
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率
震度5未満	66.7%	(14 / 21)	28.6%	(6 / 21)	4.8%	(1 / 21)	p<0.001
震度5	49.1%	(140 / 285)	43.9%	(125 / 285)	7.0%	(20 / 285)	
震度6以上	9.6%	(17 / 177)	50.3%	(89 / 177)	40.1%	(71 / 177)	

表 5 検査時の状況と復旧状況との関連

メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から)									
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	なし	(度数)	有意確率
稼働中	29.0%	(56 / 193)	43.5%	(84 / 193)	24.4%	(47 / 193)	3.1%	(6 / 193)	N.S
それ以外	17.5%	(32 / 183)	49.2%	(90 / 183)	28.4%	(52 / 183)	4.9%	(9 / 183)	

機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)								
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率	
稼働中	54.6%	(143 / 262)	34.0%	(89 / 262)	11.5%	(30 / 262)	p<0.001	
それ以外	33.3%	(76 / 228)	49.1%	(112 / 228)	17.5%	(40 / 228)		

検査を再開するまでの期間(発災から)								
	当日	(度数)	一週間以内	(度数)	それ以上	(度数)	有意確率	
稼働中	46.6%	(124 / 266)	39.5%	(105 / 266)	13.9%	(37 / 266)	p<0.001	
それ以外	23.6%	(53 / 225)	52.0%	(117 / 225)	24.4%	(55 / 225)		

置への影響が少なかったのは「制震、免震構造」であった (p<0.05、表 3-1)。「耐震構造」、「制震、免震構造」間においても、「制震、免震構造」内に設置された MR 装置で有意な被害減少が観察された (p<0.01、表 3-2)。

④復旧状況と震度との関連

復旧状況と震度については、メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から)、機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)、検査を再開するまでの期間(発災から)いずれにおいても、震度と関連した有意な復旧遅延が観察された

(p<0.001、表 4)。

⑤検査時の状況と復旧状況との関連

震災時の状況でいずれも検査が行われていた状況を示す「スキャン中」及び「実験中」を「稼働中」とし、それ以外の状況(始業前、就業後及び非稼働状態等)を「それ以外」とした。検査時の状況と復旧状況は、機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)、検査を再開するまでの期間(発災から)において、「稼働中」に対して「それ以外」の群で復旧遅延傾向が示された (p<0.001、表 5)。

表6 MR装置の破損状況と震度との関連。＊は超伝導装置のみ対象。

2-⑤-1 マグネットの架台破損					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	p<0.001
震度5	1.2%	(3 / 251)	98.8%	(248 / 251)	
震度6以上	10.0%	(15 / 150)	90.0%	(135 / 150)	

2-⑤-2 マグネットの移動					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	4.5%	(1 / 22)	95.5%	(21 / 22)	p<0.001
震度5	7.2%	(18 / 250)	92.8%	(232 / 250)	
震度6以上	25.2%	(38 / 151)	74.8%	(113 / 151)	

2-⑤-3 磁性体の吸着					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	N.S.
震度5	1.6%	(4 / 251)	98.4%	(247 / 251)	
震度6以上	2.0%	(3 / 149)	98.0%	(146 / 149)	

2-⑤-4 架台以外のマグネット装備品の破損					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	9.1%	(2 / 22)	90.9%	(20 / 22)	p<0.001
震度5	2.8%	(7 / 250)	97.2%	(243 / 250)	
震度6以上	17.0%	(26 / 153)	83.0%	(127 / 153)	

2-⑤-5 チラー(冷却系)や空調機の故障 *					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	p<0.001
震度5	4.4%	(8 / 181)	95.6%	(173 / 181)	
震度6以上	20.2%	(23 / 114)	79.8%	(91 / 114)	

2-⑤-6 クエンチダクトの損傷 *					
	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	p<0.05
震度5	2.8%	(5 / 181)	97.2%	(176 / 181)	
震度6以上	8.7%	(10 / 115)	91.3%	(105 / 115)	

2-⑤-7 急激なヘリウム量の減少 *

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	
震度5	6.1%	(11 / 180)	93.9%	(169 / 180)	$p < 0.05$
震度6以上	14.2%	(16 / 113)	85.8%	(97 / 113)	

2-⑤-8 システムキャビネット等の
アンカーの破損

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	3.2%	(8 / 249)	96.8%	(241 / 249)	N.S.
震度6以上	7.4%	(11 / 148)	92.6%	(137 / 148)	

2-⑤-9 撮影室の電波・磁気シールドの破損、機能低下

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	2.8%	(7 / 250)	97.2%	(243 / 250)	$p < 0.001$
震度6以上	14.1%	(21 / 149)	85.9%	(128 / 149)	

2-⑤-10 屋外機の設置状態の異常
(地盤の変動)

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 17)	100.0%	(17 / 17)	
震度5	2.2%	(4 / 182)	97.8%	(178 / 182)	$p < 0.01$
震度6以上	11.3%	(13 / 115)	88.7%	(102 / 115)	

2-⑤-11 浸水による電気、電子システムの
故障

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	2.0%	(5 / 250)	98.0%	(245 / 250)	N.S.
震度6以上	5.3%	(8 / 150)	94.7%	(142 / 150)	

2-⑤-12 床下、ピット内、壁内の配線の切断、
損傷

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	1.6%	(4 / 250)	98.4%	(246 / 250)	$p < 0.05$
震度6以上	6.6%	(10 / 151)	93.4%	(141 / 151)	

2-⑤-13 受信コイル等の整理棚からの
落下による破損

	有り	(度数)	無し	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 22)	100.0%	(22 / 22)	
震度5	1.6%	(4 / 251)	98.4%	(247 / 251)	$p < 0.01$
震度6以上	8.6%	(13 / 151)	91.4%	(138 / 151)	



図1 MR装置の破損例：MR装置の移動及び寝台の破損。マグネット（撮影装置）が本来の位置から向かって左側に移動し、筐体脚部が破損しピット内の配線が見えている（黒矢印）。マグネット移動の結果、手前にある寝台本体との位置関係がずれ、寝台の天板がレールから外れている（白矢印）。

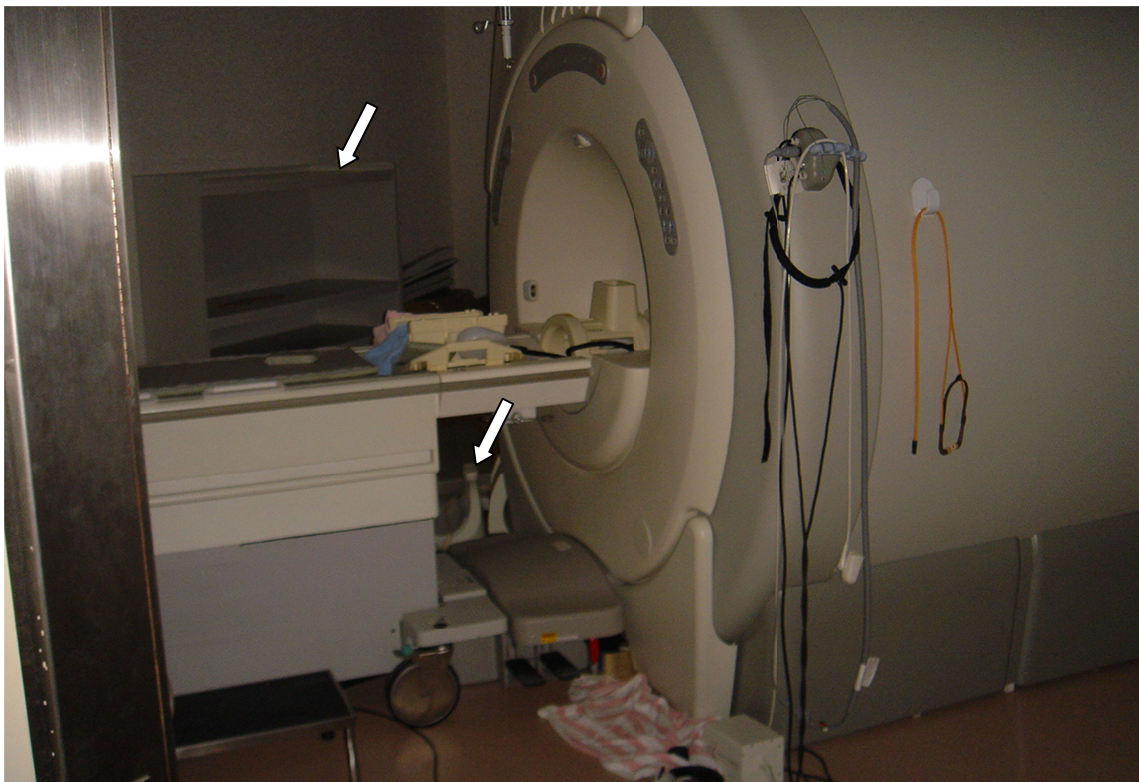


図2 MR装置の装備品の落下例：この事例ではコイル保管用の棚（白矢印）に設置されていた脊椎検査用コイルと頭部検査用コイルの落下が見られた。ガントリー付近に下肢用コイルが残されており、膝の検査中に震災が発生し、寝台が下がらない状態で患者が避難したものとみられる。



図3 MR装置の外装パネルの破損：MR装置が移動し、筐体下部の外装パネルが剥離している（白矢印）。床上に見える金属板はマグネットを配置するために床上に敷かれていたが、マグネットはその金属板の上を滑って移動している。

表7 復旧の状況と震度との関連

病院(施設スタッフ)による点検のみで 再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	41.7%	(10 / 24)	58.3%	(14 / 24)	p<0.001
震度5	49.2%	(127 / 258)	50.8%	(131 / 258)	
震度6以上	25.9%	(41 / 158)	74.1%	(117 / 158)	
MR装置メーカーによる点検のみで 再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	p<0.001
震度5	2.3%	(6 / 258)	97.7%	(252 / 258)	
震度6以上	15.2%	(24 / 158)	84.8%	(134 / 158)	
両者が関与したが、 MR装置メーカー主導で再稼働させた					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	p<0.001
震度5	10.9%	(28 / 258)	89.1%	(230 / 258)	
震度6以上	33.5%	(53 / 158)	66.5%	(105 / 158)	
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					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	8.3%	(2 / 24)	91.7%	(22 / 24)	N.S.
震度5	12.0%	(31 / 258)	88.0%	(227 / 258)	
震度6以上	13.3%	(21 / 158)	86.7%	(137 / 158)	
特に復旧作業、あるいは点検を行わず そのままMR装置を使用した					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	4.2%	(1 / 24)	95.8%	(23 / 24)	N.S.
震度5	7.0%	(18 / 258)	93.0%	(240 / 258)	
震度6以上	3.2%	(5 / 158)	96.8%	(153 / 158)	
復旧が困難であった					
	該当	(度数)	非該当	(度数)	有意確率
震度5未満	.0%	(0 / 24)	100.0%	(24 / 24)	p<0.01
震度5	2.3%	(6 / 258)	97.7%	(252 / 258)	
震度6以上	8.9%	(14 / 158)	91.1%	(144 / 158)	

<施設ベースでの解析>

⑥MR装置の破損状況(図2-⑤)と震度との関連

MR装置破損状況の報告は、筆頭が2-⑤-1 マグネットの移動(57件)、続いて2-⑤-4 架台以外のマグネット装備品の破損(31件)、2-⑤-9 撮影室の電波・電磁シールドの破損、機能低下(28件)の順であった。最も少な

いのは、2-⑤-3 磁性体の吸着であった。

MR装置の破損状況を、震度別(震度5未満、震度5、震度6以上)でカイ二乗検定を行ったところ、磁性体の吸着とシステムキャビネット等のアンカーの破損を除き有意差が観察された。震度が上昇すると発生件数も上昇傾向を示した。クエンチ関連事項(チラーや冷凍機の故障、クエンチダク

トの損傷、急激なヘリウム量の減少、屋外機 の設置状態の異常)についても、震度と発生
表 8-1 災害時の MR 検査の安全確保に関する指針と震度との関連 (提言の有効性)

緊急提言を読んだ方へ、「緊急提言」は役に立ちましたか							
	大変役に立った	(度数)	一部分が役に立った	(度数)	役に立たなかった	(度数)	有意確率
震度5未満	27.3%	(3 / 11)	54.5%	(6 / 11)	18.2%	(2 / 11)	N.S.
震度5	29.5%	(33 / 112)	54.5%	(61 / 112)	16.1%	(18 / 112)	
震度6以上	28.8%	(17 / 59)	52.5%	(31 / 59)	18.6%	(11 / 59)	

表 8-2 災害時の MR 検査の安全確保に関する指針と震度との関連 (情報伝達の時期)

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」はご覧になりましたか							
	公表後1週間以内に に読んだ	(度数)	1週間後以降に読んだ	(度数)	その緊急提言は知 らなかった	(度数)	有意確率
震度5	22.8%	(56 / 246)	24.8%	(61 / 246)	52.4%	(129 / 246)	p<0.01
震度5	22.8%	(56 / 246)	24.8%	(61 / 246)	52.4%	(129 / 246)	
震度6以上	9.3%	(14 / 151)	32.5%	(49 / 151)	58.3%	(88 / 151)	

生件数の間に統計的有意差が観察された (p<0.05、表 6)。図 1-3 に実際の破損例を示す。図 1-3 にマグネットの移動、MR 装置の装備品の落下の事例を示す。

⑦復旧の状況 (問 4-①、4-③) と震度との関連

復旧作業の状況について、震度別 (震度 5 未満、震度 5、震度 6 以上) で検討を行うと、「病院 (施設スタッフ) による点検のみによる再稼働 (178 件)」の割合は震度 5 以下で上昇したが、「MR メーカーによる再稼働 (31 件)」、「両者関与するもメーカー主導の再稼働 (82 件)」、「再稼働不能 (20 件)」は震度 6 以上で増加を示した。カイ二乗検定を行うと、これらに有意差が観察された (p<0.05、表 7)。

⑧災害時の MR 検査の安全確保に関する指針 (問 12-①) と震度との関連

磁気共鳴医学会が 2011 年 3 月 15 日に公開したガイドラインの効果については、83%が役に立ったとの回答であった (無回答は除外)。震度との関連は観察されなかつ

た (表 8-1)。磁気共鳴医学会の緊急提言へのアクセス時期について、震度 5 以上のケース (397 件) について震度別で検討を行うと、公表一週間以内に読むことが可能であったのは震度 5 では 22.8%であったのに対し、6 以上では 9.3%にとどまった (p<0.01、表 8-2)。

D. 考察

本研究では、地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。一方で、東日本大震災では津波被害が甚大であり、本研究の被災状況には揺れ以外による要因が含まれていることに留意しなければならない。また、耐震性建屋の普及にともない、震度計の設置場所の揺れと建屋内で実際に MR 装置が受信した揺れは必ずしも一致しない。しかしながら、津波被害による MR 装置の被災は 11 施設であり全体の 2.4%であることや、MR 装置の被災状況に関してより普遍的な情報を得るために、本研究で

は最も一般的に入手可能なパラメータである「震度」と MR 装置の被災状況の関連を検討した。

被害発生傾向

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が行われている²⁾。報告書では、医療機関の機器被害としては震度 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²⁾。本調査では、装置ベース及び施設ベースいずれのデータを用いた解析においても、震度の上昇につれて MR 装置の被害増加が観察された(表 1 及び表 6)。

アンカー固定の MR 装置被災防止への有効性

MR 装置の本格的運用が始まって最初の地震災害である阪神・淡路大震災後には、MR 装置の被災調査として、①平成 8 年に出版された「阪神・淡路大震災における低温・超伝導機器被災調査報告書」³⁾及び②平成 9 年に出版された「医用放射線機器等における対地震設置に関する動向調査研究」(社団法人 日本放射線機器工業会)⁴⁾が報告されている。これらの報告書において医用放射線機器と固定に関して調査が行われており、一次集計の結果から MR 装置のアンカー固定の有効性が示されているが、サンプル数が十分でないこと、統計的有意差については検討が行われていないといった課題が残されている。そこで、本調査では台数ベースのデータベース(N=602)を利用して、アンカー固定の有効性を被害状況

から検討を行った。

その結果、何らかのアンカー固定を行ったことで、被害(軽微な被害も含む)の低減が観察された(表 2)。報告書①及び②は軽微な被害を対象としておらず、マグネットの移動や転倒といった大規模な被害を対象としているため直接の比較は不可能であるが、概ね同じ傾向を示している。一方で、今回の震災の特徴である津波被害の場合、非常に強い外的力が MR 装置に働いた結果 MR 装置の大きな移動、さらには外部流出の事例まで観察されており、建物が破壊されるほどの作用が及ぶ場合はアンカーの有無は被害低減の考慮の対象とならないことも事実である。更に、一般的に MR 装置は建物一体型の装置であり、このような構造を考慮すると激しい揺れの場合は上層(あるいは下層)の揺れにアンカー固定された MR 装置が呼応したり、建物の変形が捻力として作用し装置を破損する場合も考えられる。これらのことから、アンカー固定は中程度以下の揺れのみであれば被害の低減に有効であると考えられるが、非常に激しい揺れの場合はその有効性について今後見極めを行なう必要がある。

また、被災後のアンカーの処置については、固定したアンカーの破損も 3.2%で報告されていることから、大地震後はアンカーにヒビや緩みがないか等、メンテナンスに注意をはらう必要がある。また、MR 装置の操作に不可欠な操作卓やオペレーション PC の固定を怠るとソフトウェア上の問題で MR 装置の復旧が遅れる要因となる。したがって、MR 装置のアンカー固定だけでなく、周辺設備の防振対策も今後の検討課題にいれるべきである。

建物構造との関係

建物構造と医療機器の被害との関係は 筧・山中らの報告書²⁾において免震構造の有効性について報告されている。そこで、表 3 では設置建屋の構造と被害状況について検討を行った。本研究における建屋構造の定義は下記のとおりである。

・「耐震」は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、建築基準法に則って施工されている建物は耐震構造になっている。

・「制振」は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」は建物の基礎部分に免震工事（地盤と建物の間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、免震は建物の持つ異なった機能で、併用されるものであるが、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た。「耐震構造」と「制振構造」・「免震構造」では大きく機能が異なることから、設置建屋を「耐震構造」、「制震・免震構造」、「その他」の三群に分類し解析を行った。その結果、最も MR 装置への影響が少なかったのは「制震、免震構造」であった ($p<0.05$ 、表 3-1)。また、「耐震構造」、「制震・免震構造」間においても、MR 装置への被害について「制震・免震構造」内に設置された MR 装置で有意な被害減少が観察され ($p<0.01$ 、表 3-2)、「制震・免震構

造」が有効であることが示された。

復旧状況との関係

続いて、復旧状況と震度との関連の検討を行った。表 4 の示すとおり、震度の上昇にともない復旧が遅延傾向にあることがしめされた。また、震度が上昇するほどメーカーの関与が必要となることが示唆された。

また、MR 装置本体はアンカー等で固定されていても、ケーブル類などの電気系統は特段の措置は取られていない。これらに対し、揺れによる周辺構造物の倒壊に起因する二次的な損傷が懸念された。加えて地震時には人為的な検査の強制中断が行われることから、装置へのハード・ソフト両面からのダメージが予想された。そこで、震災時の検査状況とその後の復旧状況の解析を行ったところ、当初懸念されていたような検査実行中の施設におけるダメージは観察されず、むしろ稼働中以外の施設において復旧遅延傾向が観察された（表 5）。

MR 装置の復旧の状況（問 4-①、4-③）と震度との関連を解析すると、震度の上昇につれて自己復旧が困難になる様子が示された（表 7）。MR 装置の被害と震度との関連から（表 1 及び表 6）、MR 装置の被災度が高く病院のスタッフのみでの復旧が行うことができなくなったと予想される。

MR 装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までの MR 装置の安全管理方法と情報伝達手段について

表 7 に関連して、MR 装置の特性として ①検査時以外にも常に磁界が発生している、②超伝導マグネットを利用している装置では物理的衝撃や外部冷却手段の喪失による

超伝導状態の破綻（クエンチ）により急激な冷媒の蒸発が生じる、という点を留意しなければならない。東日本大震災では MR 装置の維持に必要な水や電気などのインフラの復旧が進まない（一週間以内に回復しない）地域が従来よりも多く生じていたことが報告されており⁵⁾、今回の聞き取り調査（町田の分担報告）でも同様の指摘があった。さらに、MR 装置メーカーのメンテナンススタッフによる電話・訪問サポート開始時期も遅延傾向にあると考えられる。したがって、今回のような広範囲の大震災において病院スタッフのみで復旧が困難である場合に、MR 装置をいかに安全に管理し二次被害を防止するかが課題である。例えば装置に甚大な被害が観察された場合の管理行動として下記のような事項が考えられる。

- ・「強磁場発生中！」の張り紙をすること。専門スタッフ以外は医療関係者であっても MR 装置が検査時のみ磁界を発生していると誤認されがちである。
- ・クエンチが生じた際の冷媒放出装置であるクエンチダクトに損傷がないかチェックを行うこと。
- ・冷媒（液体ヘリウム）の残量をモニタリングし蒸発が激しいようであれば緊急的な課題として対応策を検討すること。対応策についてはメーカーと協議することが好ましい。対応策として強制クエンチが必要になった場合は、冷媒放出場所に人が立ち入らないよう管理すること、冷媒放出時の白煙が火災と誤認される恐れがあることに留意すること。

上記のような管理行動の一部は、日本磁気共鳴医学会が 3 月 15 日に作成した「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言 1」⁶⁾に記載され強調されている。現在緊急提言に記載されておらず、本研究で明らかとなった事項としては、アンカーの破損のチェックなどがあげられる。緊急提言の内容についてはどの震度の地域においても 8 割近くの回答者が参考になったと回答している。しかしながら、より多くのユーザーへの利用を促進するためにも、本研究の結果や他の分担研究を総合して、提言の発信時期や内容の吟味が必要であると考えられる。

また、更なる検討必要事項として情報伝達手段の構築があげられる。先述のように MR 装置の自己復旧が困難である地域では、水や電気などのインフラ断絶も予想されるため、効率的に情報を周知するための伝達手段の検討が必要である。災害時に MR 装置がある施設にのみ情報を伝達することは現実的でないため、実際には全ての医療施設宛に一斉に周知する方法が最も早く効率的であると考えられる。このためには、各県の医療局に協力を仰ぐなど、行政サイドとの綿密な連携が必要であると考えられる。

災害時の MR 装置の安全管理に関する指針

災害時の MR 検査の安全確保に関する指針（問 12-①）と震度との関連結果より、発信時期と想定読者（及び想定被害）が今後の検討要因であると考えられる。例えば、震度 5 未満では MR 装置の被害はほとんど報告がなく、震度 5 においては 1.2-7.2%の報告率である。一方で震度 5 においてもマグネットの移動（7.2%）と、急激なヘリウムの減少（6.1%）は報告度合いが高い。こ

これらのことから、初期にはマグネットの移動に対する対処方法が、中・長期的には診療開始（再稼働）に関する提言が一案として考えられる。クエンチ関連事項については二次被害の恐れがあるため、初期から中・長期にわたり積極的に情報発信すべきと考えられる。

E. 結論

本研究では、主に震度に着目した、東日本大震災による MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。これらの結果を総合すると、今回の MR 装置被災の背景要因探索のための第一次検討では下記の事項が抽出された。

- ・被害発生傾向において、震度の上昇と MR 装置被災度の相関が示された。
- ・アンカー固定の MR 装置被災防止への有効性が示された。
- ・建物構造との関係において、耐震性建屋の MR 装置被災防止への有効性（特に制震・免震構造の有効性）が示された。
- ・復旧状況との関係において、震度の上昇と MR 装置被災後の自己復旧率の低下及びメーカー関与の必要性の増大が示された。

また、今後の検討課題として下記の事項の検討が必要であると示唆された。

- ・MR 装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までの MR 装置の安全な管理方法の検討必要性。
- ・施設への情報伝達手段の検討必要性。
- ・災害時の MR 検査の安全確保に関する指針については、発信時期と想定読者の検討

必要性。

平成 25 年度はこれらの事項に関する更なる解析と対応策について検討予定である。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

・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、第 74 回日本磁気共鳴医学会大会、日本磁気共鳴医学会雑誌 32（Suppl.）、306、2012

・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、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

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

引用文献

1) 厚生労働省：平成 17 年医療施設（静態・動態）調査・病院報告の概況

<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/kekka1-3.html>

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

3) 亀井裕孟、阪神・淡路大震災における MR 装置の被災状況調査結果 日本磁気共鳴医学会雑誌 第 15 巻、S141-142、1995

4) 社団法人 日本放射線機器工業会 医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調

査研究報告書（平成 9～11 年度）

http://www.jira-net.or.jp/commission/hyoujunksa/fr_information_01.html

5) 土木工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、平成 23 年 4 月 3 日

6) 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>

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進事業）

分担研究報告書 4.

首都圏における大震災による MRI 装置の被害傾向

－ 東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に

分担研究者 土橋 俊男

日本医科大学付属病院 放射線科

研究要旨

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により MR 装置に発生した被害状況を明らかにし、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った。本研究では、東京都、埼玉県内（首都圏）で MR 装置を保有する 382 施設を対象として、MR 装置に発生した破損の種別、患者および検査担当者の被害状況などについて調べる無記名調査を実施し 130 件の回答を得た。

首都圏では 2 台以上の装置を有する施設の比率が高い。設置建物の免震・制震化率（装置単位）は東京で高く 21.6%（全体 9.6%）であった。震度 6 以上の比率は 2%（全体 30%）であった。マグネットの移動は 4.6%（全体 12.4%）、マグネット装備品の損壊 0.8%（全体 7.6%）、クエンチダクトの損傷 0.8%（全体 4.5%）、MR 検査中の患者受傷が 1.5%（全体 2%）であった。首都圏でもクエンチが 1 件発生している。

首都圏では、浸水（全体 3%）や火災被害の報告は無かった。

A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、広範囲にわたって強い揺れが発生し多数の医療機関も被災し、設置されている医療機器にも大きな被害が発生した。首都圏においても、震度 5 弱および震度 5 強（一部震度 6 弱）の強い揺れが発生し、医療機器に被害が発生した。

MRI 装置は、現在国内で 6000 台以上稼働している。しかしながら、MRI の震災により発生する問題に関しては不明な部分が少なくない。震災における巨大振動、火災、津波などに誘発される事象を予測しその対策を考え

る目的で、東日本大震災における被害状況について調査をおこなった。

本報告では、被害状況を全体と首都圏（東京都と埼玉県）で比較し、考察を行った。

B. 研究方法

平成 24 年 6 月 14 日から 8 月 31 日を調査期限として、郵送により岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京、埼玉の調査対象 984 施設（東京都 231 施設、埼玉県 151 施設）に調査用紙を送付し匿名アンケート調査「被災地における MRI 装置実態調査アンケート」を行った。質問紙調査の手順については分担報告「東

日本大震災によるMR装置被災状況に関する質問紙調査の報告」に記載の通りである。

C. 研究結果

回収率

1 都 6 県の 983 施設を調査対象とし、全体で 458 施設から回答があった。回収率は 46.6%であった。首都圏は、382 施設が調査対象であり、130 施設から回答があった（超伝導装置設置施設 110 施設、MRI 装置台数 203 台、超伝導 MRI 装置台数 181 台）。回収率は、34.0%であった（表-1）。

表-1 回収状況（458施設・602台）

都・県		アンケート回収数		回収率(%)	
全 体		458 / 983		46.6	
首都圏	東京都	130 / 382	83 / 231	34.0	35.9
	埼玉県		47 / 151		31.1

施設の基本情報

回答を寄せた首都圏の施設の基本情報を、表 2-1～表 2-6 に示す。また、表-3 にその所在地となる当該地域の震度を示す。首都圏の施設規模としては 301～500 床規模の施設が最も多かった（26.2%）（表 2-1）。法人としての施設の種類の民間病院（45.4%）が最も多く、ついで国公立病院、私立大学病院、クリニックであった（表 2-2）。MRI 装置の設置台数は 1 台が（65.4%）（表 2-3）、磁場強度は 1.5T が（68.0%）最も多く、ついで 0.5T 以下と 3T（13.3%）（表 2-4）、磁場システムは超伝導磁石が 89.2%であった（表 2-5）。建屋の構造は、耐震構造が 58.1%、免震構造が 16.8%

であった（表 2-6）。震度分布は、震度 5 以上が 79.2%を占めており、震度 3～4 が 14.6%で震度 2 以下の回答はなかった（表-3）。

表2-1 施設規模（施設単位）

	度数	割合 (%)
入院設備なし	17	13.1
100床以下	23	17.7
101～300床	24	18.4
301～500床	34	26.2
501床以上	31	23.8
無回答	1	0.8
合計	130	100.0

表2-2 施設の種類の（施設単位）

	度数	割合 (%)
クリニック（診療所）	16	12.3
民間病院	59	45.4
国公立病院（独立行政法人を含む）	27	20.7
私立大学病院	16	12.3
国立大学病院	4	3.1
大学病院以外の大学施設・研究機関	1	0.8
その他	7	5.4
無回答	0	0.0
合計	130	100.0

表2-3 MRI装置の設置台数（施設単位）

	度数	割合 (%)
1台	85	65.4
2台	28	21.5
3台	7	5.4
4台	8	6.2
5台以上	2	1.5
無回答	0	0.0
合計	130	100.0

表2-4 MRI装置の静磁場強度（装置単位）

	度数	割合 (%)
0.5T以下	27	13.3
1T	10	4.9
1.5T	138	68.0
3T	27	13.3
4T以上	1	0.5
無回答	0	0.0
合計	203	100.0

表2-5 MRI装置の磁場システム（装置単位）

	度数	割合 (%)
永久磁石	22	10.8
超伝導磁石	181	89.2
無回答	0	0.0
合計	203	100.0

表2-6 建屋の構造（装置単位）

	度数	割合 (%)
耐震構造	118	58.1
免震構造	34	16.8
制震構造	1	0.5
その他	36	17.7
無回答	14	6.9
合計	203	100.0

表-3 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	2.3
4	16	12.3
5弱	60	46.2
5強	41	31.5
6弱	0	0.0
6強	2	1.5
7	0	0.0
無回答	8	6.2
合計	130	100.0

被害状況

個々の MR 装置の具体的な被害状況を表-4 に示す。首都圏では、マグネットの移動、マグネット装備品の破損、クエンチダクトの破損、急激なヘリウム減少およびシステムキャビネット等のアンカー破損等の被害が発生していた。東北地域と比べ、被害の発生件数は少ないがマグネットの移動は 6 件発生している。MR 装置本体の被害状況に関しては、全損および重度の半損はなかったものの、軽微 9 件および軽度の半損が 1 件発生していた(表-5)。

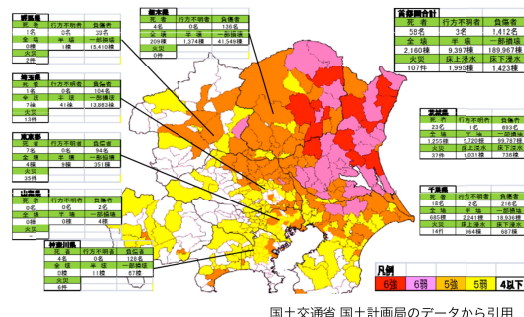
表-4 被害状況（施設単位）

	全体		首都圏	
	度数	率(%)	度数	率(%)
マグネットの架台破損	18	3.9	0	0
マグネットの移動	57	12.4	6	4.6
磁性体の吸着	7	1.5	0	0
マグネット装備品の破損	35	7.6	1	0.8
チラーや空調の故障	32	9.6	0	0
クエンチダクトの損傷	15	4.5	1	0.9
急激なヘリウムの減少	28	8.4	3	2.7
システムキャビネット等のアンカー破損	20	4.4	1	0.8
シールドの破損、機能低下	28	6.1	0	0
屋外機の設置状態の異常(地盤の変動)	17	5.1	0	0
浸水による電気、電子システムの故障	13	2.8	0	0
床下、ビット内、壁内の配線の切断、損傷	14	3.1	0	0
受信コイル等の落下による破損	7	3.7	0	0

表-5 MRI装置の被害程度(装置単位)

	全体		首都圏	
	度数	率(%)	度数	率(%)
影響なし	471	78.2	183	90.1
軽微(一部損壊)	86	14.3	9	7.4
半損(軽度)	13	2.2	1	0.5
半損(重度)	3	0.5	0	0
全損	13	2.2	0	0
無回答	16	2.6	4	2.0
合計	602	100	203	100

図-1 首都圏被害状況



国土交通省 国土計画局のデータから引用

震災後のクエンチ発生に関しては、即時、遅延を合わせて全体で 19 施設で発生していた。首都圏でも 1 施設でクエンチが発生していた。震災に伴う患者の被害発生に関しては、全体で 9 例発生していた。首都圏でも 2 例発生していた。検査を施行していた医療従事者の被害発生に関しては、全体で 1 例発生していた。首都圏での発生はなかった。

D. 考察

東日本大震災では、広範囲にわたって強い揺れが発生した。首都圏（においても、震度 5 弱および震度 5 強（一部震度 6）の強い揺れが発生した。首都圏の被害状況を図-1（添付資料参照）に示す。東北地域と比べ揺れは小さかったが、かなりの被害が発生していた。表-4 に MR 装置の被害状況を示したが、首都圏ではマグネットの移動、マグネット装備品の破損、クエンチダクトの破損、急激なヘリウム減少およびシステムキャビネット等のアンカー破損等の被害が発生していた。

全体と首都圏で免震および制振構造の割合を比較したデータを表-6 に示す。東京都は免震化率が 2 割程度あり他地域と比べ高いことが分かる。

首都圏では装置の全損はなかったが、一部損壊及び半損は 10 件発生している。被害の発生が東北地域と比べかなり低かったのは、東北地域よりも揺れが小さかった点と免震機構が多いことが影響しているものと思われる。

表-6 建屋の構造（装置単位）

	全体		埼玉県		東京都	
	件数	率(%)	件数	率(%)	件数	率(%)
耐震構造	408	67.8	50	72.5	68	50.7
免震構造	54	9.0	6	8.7	28	20.9
制振構造	4	0.7	0	0	1	0.7
その他	102	16.9	8	11.6	28	20.9
無回答	34	5.6	5	7.2	9	6.7
合計	602	100	69	100	134	100

MRI 装置の据付に関する調査結果で、約 1/4 の装置でアンカー止めを行っていないことが分かった（表-7）。

これは、メーカーの考え方が大きく影響している。すべての装置をアンカー止めしているメーカーと、基本的にアンカー止めしていないメ

一カがあった。首都圏でマグネット移動が発生した6件のうち、5件は装置のアンカー止めを行っていない装置であった。1件は、アンカー固定をしていたがアンカーが破損しガントリーが移動している。アンカー止めをしない理由としては、強い揺れによるマグネットの破損防止が考えられる。震災により発生する強い揺れに対するアンカー止の影響に関しては、今後更に検討する必要がある。

表-7 MR装置の据付方法（装置単位）

	全体		首都圏	
	度数	率(%)	度数	率(%)
アンカー固定あり	396	65.8	145	71.4
アンカー固定なし	166	27.6	50	24.6
その他	9	1.5	0	0
無回答	31	5.1	8	4
合計	602	100	203	100

首都圏では、免震構造および制震構造の建屋の装置には、今回の震災による被害が発生していなかった。首都圏で震度6強の強い揺れがあった免震構造の施設でも、全く被害が発生していなかった。

首都圏の主な被害をまとめると図-2 に示した内容になる（1施設で複数の被害が発生している場合は被害内容ごとにカウントしている）。これらの被害状況と建屋の構造の関係を図-3 に示す。無回答とその他があるが、耐震構造の7施設で被害が発生している。震度4あるいは震度5弱で被害が発生しており、免震構造の施設と大きな差が認められた。震災に伴う被害の発生率低減に、免震構造が有用である点が明らかになったのではないかと考える。

図-2 首都圏における主な被害

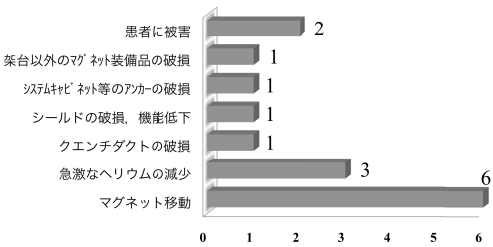
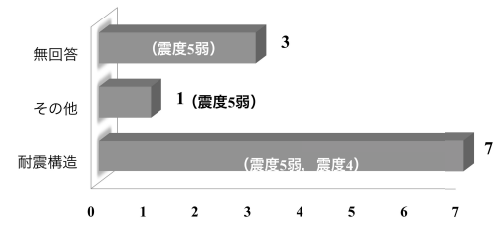


図-3 被害が発生した建屋構造



今回の震災の発生時間から、多くの施設で検査施行中であったものと考えられる。患者に被害が発生したのは2施設(全体で9施設)のみであったが、強い揺れの中で患者救出を行ったものと思われる。震災により、停電あるいは装置の不具合が発生した場合、非常用の緊急スイッチを利用して患者を救出することになる。この緊急スイッチは、各社で設置位置や機能が異なっている。緊急時に適切に対処できるように、各種緊急スイッチの設置場所と機能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。

震災発生時にクエンチボタンを押した施設は1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ない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。

首都圏では、東北地方と比べ震度6以上の

激震の割合が少ないため、被害の発生率が低かったと考えられる。また、免震率が高いことも関係していると思われる。しかしながら、患者の被害やガントリーの移動などの被害が発生している。首都圏では、高層階に MRI 装置が設置されている場合もあり、実際にガントリーが動くなどの被害が発生している。

都内のビルの9階に設置したMRI装置の被害状況を図-4（添付資料参照）に示す。該当地区の震度は5弱と推定される。ビルは耐震のみの構造であり、MRI装置のマグネットは、アンカー止めは行なっていなかった。クエンチダクトを中心に50cm程度回転している。地震発生時は検査施行中であつたが、初期の揺れを感じた所で、検査担当者が検査室内に入り、寝台を手動で引き出し患者を無事に救助している。

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。今後、長周期振動の影響も含めて検討する必要があると思われる。

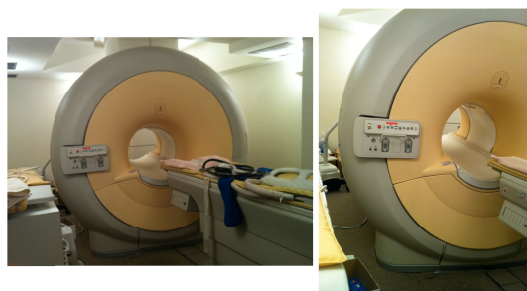


図-4 首都圏で発生した被害事例

震災後のクエンチは、今回の調査結果からは非常に少なく、多くの装置で磁場は残った状態であつた。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

あつた。これは、MR 装置担当者の避難後に、救助などで医療関係者以外が近づいた時に非常に危険な状態になる。この点は非常に重要であり、強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。

首都圏で同様な強い揺れが生じた場合、免震構造が多いものの、かなりの被害が発生する可能性がある。震災時の患者の救助方法の策定、強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。

今回の震災の発生時間から、多くの施設で検査施行中であつたものと考えられる。患者に被害が発生したのは9施設のみであつたが、強い揺れの中で患者救出を行ったものと思われる。

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不可能になる可能性がある。この場合、非常用の緊急スイッチを利用して寝台をフリーにして患者を救出することになる。このスイッチは、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。

E. 結論

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。首都圏（東京都、埼玉県）では全体と比較すると被害の発生率は低かったが、震度6以上の激震の割合が東北地方よりも少なく、建物の免震化率も高い、インフラの破壊が東北地方ほど著しくなかったなどの理由によるものと考えられる。しかしながら、首都圏で震度6以上の地震が発生した場合は、免震化率の違い

を考慮に入れても東北 3 県に見られた被害程度に近づくと思われる。その一方で、全体でも 96%以上の装置で強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なことであり、避難するときの 2 次被害の防止策の重要性が明らかになった。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

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

・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会大会 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

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

研究協力者一覧

石森文朗（医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル病院）

栗田幸喜（社会福祉法人 恩賜財団 済生会支部 埼玉県済生会栗橋病院）

砂森秀昭（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 水戸済生会総合病院）

栴田喜正（千葉大学医学部附属病院）

松本浩史（千葉大学医学部附属病院）

藤田 功（さいたま市立病院）

協力組織

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 Conference

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
分担研究報告書 5.

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

研究分担者 磯田 治夫
名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻 医用量子科学講座 教授

研究要旨

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難があることなどが判明した。寝台上の患者の安全を確保する方法、MR 検査室から寝台ごと室外へ運び出せるシステムなどが重要と思われた。また、緊急地震速報により、本震襲来よりも早期に患者救出を行う訓練をする必要もあると思われた。震災による MR 装置の損傷を最小限に留め、二次災害を防ぐ手段とし、MR 検査室の施錠、立入禁止措置、冷凍機関係のチェック、クエンチに対処するための措置があり、今後、防災対策において考慮すべき内容と考えられた。

A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた「MR 装置の被災調査アンケート」において、調査票の自由記述の内容を解析することにより、震災時における「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」の実態を把握するとともに問題点を抽出し、防災対策を策定する一助とすることを目的とした。

B. 研究方法

研究対象の調査票

東日本大震災で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 県と、対照比較群の東京（231 施設）、埼玉（151 施設）の 2 都県を対象とし、発送された合計 983 施設の「MR 装置の被災調査アンケート」調査票のうち、回収された 458 件を対象とした。

検討した調査票の内容

今回の研究対象とした調査票の検討内容は自由記述の内容のうち、「8 発災直後に行った措置：8-① 患者の安全確保」と「8 発災直後に行った措置：8-② MR 装置の安全確保」であった。

検討方法

回収された調査票の「8 発災直後に取った措置：8-① 患者の安全確保」と「8 発災直後に取った措置：8-② MR 装置の安全確保」の自由記述の内容から重要と思われる項目を抽出した。

なお、本稿では、MR 装置が設置してある部屋を MR 検査室、操作卓がある部屋を MR 操作室、撮影室と操作室などを含む構造全体を MR 施設と呼ぶこととした。

前者の「発災直後に取られた患者の安全確保措置」については、患者と MR 検査担当技師の位置・状況や行動により、【1】MR 撮影の一時中断の有無、【2】発災直後の MR 検査室内の患者の有無、【3】MR 検査担当技師が MR 装置に近づくか否か（直ちに近づく・揺れが収まってから近づく・その他）、【4】発災直後の患者の MR 装置における状況（検査前で寝台上でポジション中・検査中でガントリー内・検査後で寝台上で抜針中・検査前または後で MR 検査室内にいる）、【5】寝台の引き出し方法（寝台を電動で引き出す・寝台を手で引き出す・揺れが収まってから寝台を電動で引き出す・揺れが収まってから寝台を手で引き出す・寝台を引き出すが、方法の記載はない・寝台を引き出せない・患者が自分で出てくる・その他）、【6】寝台上での安全確保（寝台からの患者の落下防止・毛布で覆う・声掛け・患者に落下物が当たらないようにする）、【7】寝台上から避難まで（寝台の上 [揺れが収まってから寝台から降ろす]・寝台から降ろし MR 検査室内で待期・寝台から降ろし直ぐに検査室を出る・寝台から降ろしその後の記載なし・寝台を取り外し寝台ごと検査室外へ・寝台から抱

きかかえて降ろす・その他）、【8】避難場所（前室、準備室、待合室または控室・廊下・安全な場所・建物外・MR 施設外へ避難または安全確保するが、場所の記載なし・建物外・その他）、【9】その他の特筆すべき内容、を項目とした。

後者の「発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置」については、【1】電源（MR 装置のシャットダウン・ブレーカー遮断）、【2】各部屋の扉（検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認・MR 施設の施錠）、【3】立入禁止措置、【4】備品・装置の転倒の点検など（備品、コイルの点検と落下防止・モニターの落下防止・キャビネット転倒防止）、【5】点検（緊急点検・緊急点検とテストスキャン・概観チェック、目視 [その後のテストスキャン問わず]・テストスキャン・床のチェック・メーカー関係者と点検・メーカーに連絡）、【6】クエンチに関連する装置や事項のチェック（ヘリウム量・冷凍機の温度・コールドヘッドの状況・コンプレッサー・チラー・冷却水の水漏れ・検査室の酸素濃度などの少なくとも 1 つ以上の項目）、【7】クエンチに対処するための措置（クエンチダクトの状況チェック・強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止）、【8】その他の特筆すべき内容、を項目とした。

これらの項目の各施設の度数を各県ごとに集計した。施設によっては複数の MR 装置を保有していたが、各々明瞭に区分されていないため、施設単位の集計とした。なお、この自由記述は、回答者が任意に言葉を選んで記載するため、意味している内容が曖昧で、解釈・判断・分類の難しい記述もあるが、可能な限り最も意味に近い項目

に集約した。また、「発災直後に取られた患者の安全確保措置」については、項目に「その他」、「記載なし」を設定して検討したが、「発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置」については、いずれかの項目に分類した上で、各項目の実数の積算とした。

(倫理面への配慮)

本研究は個人情報や人・動物等の生命体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無い匿名調査である。また、人の疾病の成因及び病態の解明並びに予防及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、回答票の返信を持って同意とする事を明記し、それを確認した。

C. 研究結果

(1) 患者の安全確保

【1】MR 撮影の一時中断の有無

東日本大震災の本震発生時に検査中の MR 検査一時中断の有無の判断は、自由記述の特性のため、明瞭に「検査中断」ないし「中止」を意味する言葉の記載がない場合に難しかった。千葉県、東京都や埼玉県において、施設の構造やその地域の震度により、ほとんど影響を受けずに撮影を続けたと読み取れる自由記述の施設が各々 1 施設程度あった。その他の撮影は一時中断されているが、揺れの状況を見ながら、15 秒後まで撮影を続けた施設もあった。

【2】発災直後の MR 検査室内の患者の有無

発災時、約 7 割の施設で患者が MR 検査室内にいた (表 1)。発災時に MR 検査室内

に患者が居なかったのは、MR 装置の点検その他で MR 検査予定が組まれていない場合、患者入れ替え時、当日の検査終了の場合が主なものであった。

【3】MR 検査担当技師が MR 装置に近づくか否か

揺れが激しい場合は救出困難との記述がみられ、宮城県で 2 件、岩手県で 1 件、千葉県で 1 件は発災直後に MR 検査担当者が MR 装置の患者に近づけない状況が発生していたことが分かる (表 1)。宮城県でその割合が相対的に多かった。

【4】発災直後の患者の MR 装置における状況

検査前後で MR 装置近傍にいたが寝台の上にいない場合、寝台上でポジショニングや抜針中の場合、は数件あり、発災時、MR 撮影室内の患者の大部分 (約 95%) はガントリー内で検査を受けていた (表 1)。

【5】寝台の引き出し方法

ガントリー内の寝台上の患者をガントリー外に出す方法については、停電などに伴い手動で寝台を引き出す必要が生じたり、素早く引き出す必要が生じた場合、「手で引き出した」と記述されていた。宮城県、福島県、茨城県、岩手県で多かった (表 1)。千葉県、東京都、埼玉県では、寝台の引き出し方法を明瞭に記述した割合が少なく、本震による影響に茨城県以北と差があったものと推定される。また、揺れが強いため、引き出すことに危険を感じた、あるいは揺れが収まってから引き出すことを選択した場合が宮城県 2 件、岩手県 1 件、千葉県 1 件であった (表 1)。なお、今回は、寝台を引き出せなかったとする事例は報告されていない。

【6】寝台上での安全確保

患者を乗せた寝台をガントリーから引き出した後、揺れがひどいため寝台から患者が直ぐに降りられない場合、揺れで患者が寝台から落下するのを防いだり（宮城県・福島県・茨城県各1件、岩手県3件）、天井などからの落下物から患者を守る努力をMR 検査担当技師が行っていたことが分かった。

【7】寝台上から避難まで

患者を乗せた寝台をガントリーから引き出した後、揺れがひどいため寝台から患者が直ぐに降りられない場合は宮城県で3件、福島県で1件、茨城県で1件、岩手県で3件発生していた。また、寝台から患者を降ろしたものの、揺れが激しく、直ぐに移動できず、その場で待機した例は宮城県で3件、茨城県で2件、千葉県で1件発生していた。従って、地震の揺れのため、直ぐにMR 検査室から避難できないものは総計14件の報告があり、特に宮城県の頻度が高く、全体では震災時ガントリー内にいたと推定される患者約1割に見られた（表1）。

【8】避難場所

避難場所には様々な場所が選択されていた。「安全な場所」と記載された回答が多数みられたが、予め決まっている病院内の場所であるのか、具体的にどのような場所を意味するかは定かでなかったが、「避難場所」に分類した。また、宮城県、福島県、茨城県では建物外の避難が多かった。

【9】その他の特筆すべき内容

自由記述の中には、次のような特筆すべきことが記載されていた。

本震前に緊急地震速報が鳴っている段階で、直ぐに検査室内に入り、患者をMR装

置から出した例が宮城県では2件あった。

歩行困難患者をテーブルごと検査室外へ移動、その後、建物の外へ移動する例もあり、常日頃の避難訓練が役立った例が報告されていた。

検査を受けている患者の置かれた状況への対応の必要性も報告されている。抜針時の患者や足が不自由な患者で寝台上またはガントリー内で動けない場合に、患者の傍らに待機し、MR 検査担当者や看護師が落下防止や落下物を防ぐ努力をしていた。身体不自由で聴力障害がある症例、撮影コイル（下肢MRA）を外すのに時間が掛る症例に対し、対応を求められた例も報告されていた。

さらに、激しい地震の揺れのため、マグネットカバーが取れ、引き出した寝台上の患者に当たるのではないかと、MR 検査担当者が身を挺して守る様子が記載されていた。

MR 装置では寝台が1mほど上がっており、地震の揺れが激しい場合、寝台に乗っている患者が落下する恐れがあり、うつ伏せになっている乳腺MR 検査患者や足の不自由な患者に対し、MR 担当者が必死になって、患者の落下を防いでいた状況が記録されていた。

震災にともなう地震の揺れに対する精神的なショックを受けた小児患者に対する対応を求められる場合もあった。

クエンチに備え、検査室の扉を開け、患者への酸素マスク装着の準備をした施設もあった。MR 検査を受けている患者のみでなく、待合室または前室にいる患者避難・誘導も重要であることが自由記述では指摘されていた。

表 1. 発災直後に取られた患者の安全確保措置の分類と県別報告件数

検討項目	県							
	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
MR検査室内の患者の有無								
あり	26	12	13	23	31	36	21	162
なし	16	10	9	11	9	8	4	67
記載なし	10	9	13	7	8	3	2	52
MR装置担当技師がMR装置に近づけるか否か	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
直ちに近づく	17	10	13	22	29	32	20	143
揺れが収まってから近づく	2	0	0	1	1	0	0	4
その他	0	0	0	0	0	1	0	1
記載なし	33	21	22	18	18	14	7	133
発災直後の患者のMR装置における状況	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
検査前で、寝台上でポジション中	1	0	0	1	0	0	1	3
検査中でガントリー内	24	10	12	21	27	32	18	144
検査後で、寝台上で抜針中	0	0	0	1	0	0	0	1
検査前または後で、MR検査室内にいる	0	0	0	0	2	1	0	3
記載なし	27	21	23	18	19	14	8	130
寝台の引き出し方法	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台を電動で引き出す	2	0	0	1	0	0	0	3
寝台を手で引き出す	8	4	4	6	2	0	0	24
揺れが収まってから寝台を電動で引き出す	0	0	0	0	1	0	0	1
揺れが収まってから寝台を手で引き出す	2	0	0	1	0	0	0	3
寝台を引き出すが、方法の記載はない	8	4	7	5	13	8	7	52
寝台を引き出せない	0	0	0	0	0	0	0	0
患者が自分で出てくる	0	0	0	2	0	0	0	2
その他	1	0	0	0	0	1	0	2
記載なし	31	23	24	26	32	38	20	194
寝台上で安全確保	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台からの患者の落下防止	1	1	1	3	0	0	0	6
毛布で覆う	1	0	0	0	0	0	0	1
声掛け	0	0	0	0	2	0	0	2
患者に落下物が当たらないようにする	0	0	0	1	0	0	0	1
記載なし	50	30	34	37	46	47	27	271
寝台上から避難まで	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
寝台の上(揺れが収まってから寝台から降ろす)	3	1	1	3	0	0	0	8
寝台から降ろし、MR検査室内で待期	3	0	2	0	1	0	0	6
寝台から降ろし、直ぐに検査室を出る	4	0	0	0	0	0	0	4
寝台から降ろし、その後の記載なし	0	0	0	1	2	1	0	4
寝台を取り外し、寝台ごと検査室外へ	1	0	0	0	1	0	0	2
寝台から、抱きかかえて降ろす	0	0	1	1	0	0	0	2
その他	1	0	0	1	1	2	2	7
記載なし	40	30	31	35	43	44	25	248
避難場所	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
前室、準備室、待合室または控室	2	3	2	0	2	8	1	18
廊下	0	0	0	2	1	1	1	5
安全な場所	2	3	1	5	9	6	0	26
検査室外へ避難または安全確保するが、場所の記載なし	14	3	8	12	11	16	13	77
建物外	6	3	11	2	2	0	1	25
その他	0	0	0	0	0	3	0	3
記載なし	28	19	13	20	23	13	11	127
アンケートに答えた各県の合計	52	31	35	41	48	47	27	281

(2) 装置の安全確保

【1】電源

発災後に停電にならなかった場合、その後の停電に備え、MR 装置のシャットダウンを行った施設があった。また、停電した装置の場合、その後の突然の電源回復時の不具合に備え、ブレーカー遮断の措置がなされた場合もあった（表2）。

【2】各部屋の扉

発災後、撮影室と操作室または前室のドアが壊れ、撮影室から避難できなくなる恐れから、このドアの開放または開閉の確認がなされた（表2）。ただし、被災の大きかった宮城では装置そのものが被害を受けており、撮影室と操作室または前室のドアの開放に関する件数は多くなかった。また、被害の大きかった宮城県、福島県、茨城県、岩手県において、MR 施設の施設が多く行われ、その後の復旧時や人命救助に際し、MR 装置の磁場の危険性を知らない救急隊員やその他の関係者の入室に伴う二次被害を防止する処置が取られた（表2）。

【3】立入禁止措置

これは、上記の「MR 施設の施設」のみでは開錠し、入出する者があり得るとし、「立入禁止」の表示をしたものと考えられた。宮城県に高頻度に認められた（表2）。

【4】備品・装置の転倒の点検など

備品、コイルの点検と落下防止・モニターの落下防止・キャビネット転倒防止などが施行された（表2）。

【5】点検

点検、復旧に関しては、その装置の被害状況や停電の有無により、担当者が適切に対処していたことが分かった。内容としては、緊急点検・緊急点検とテストスキャン・

概観チェック、目視・テストスキャン・床のチェック・メーカーに連絡、などであった（表2）。

被害の大きい宮城県、福島県、茨城県、岩手県では、点検もできないような被害が生じた場合もあった。

千葉県、東京都、埼玉県では、緊急点検または目視によるチェックの後、テストスキャンを行い、問題ないことを確認後に検査を再開している施設があった。また、発災時に装置の点検のため、メーカー関係者が来院しており、発災後にこのメーカー関係者とともに点検を行った施設もあった。

【6】クエンチに関連する装置や事項のチェック

ヘリウム量、冷凍機の温度、コールドヘッドの状況、コンプレッサー、チラー、冷却水の水漏れ、検査室の酸素濃度などのチェックが試みられた（表2）。被害や停電の状況によっては、チェックできる範囲は限られていた。

【7】クエンチに対処するための措置

発災後にクエンチが生じることを想定し、クエンチダクト破損のチェック・強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止を行った施設があった（表2）。

【8】その他の特筆すべき内容

被害の大きな宮城県、福島県では被害が大きすぎて「何もできなかった」とする回答がみられる一方、東京都、埼玉では、被害が少なく、「何もしなかった」という記述がみられた。

また、停電で室内灯も消え、懐中電灯で室内の点検などを行ったと報告した施設が宮城県で2件あった。

表 2. 発災直後に取られた MR 装置の安全確保措置の分類と県別報告件数

項目	宮城	福島	茨城	岩手	千葉	東京	埼玉	合計
MR装置をシャットダウン	2	6	8	4	5	1	3	29
ブレーカーを遮断	2	2		4	1			9
検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認	2		4	2	6	2	1	17
MR施設の施錠	8	6	5	4	1	1	1	26
MR施設への立入禁止措置	15	3	2	3	1	3	1	28
備品、コイルの点検・落下防止	5	1	3		1	1	2	13
モニターの落下防止		1						1
キャビネット転倒防止				1				1
緊急点検	6	7		6	13	9		41
緊急点検とテストスキャン		1	2		5	4	4	16
概観チェック、目視（その後のテストスキャン問わず）	1		3	5	3	6	4	22
テストスキャン	1			1	1	3	2	8
床のチェック						1		1
メーカー関係者と点検	1		1		1	1		4
メーカーに連絡	1	1	1		1	2		6
クエンチに関連する装置や事項のチェック（ヘリウム量、冷凍機の温度、コールドヘッドの状況、コンプレッサー、チラー、冷却水の水漏れ、検査室の酸素濃度などの少なくとも1つ以上の項目）	8	4	3	5	8	8	6	42
クエンチダクトのチェック			1				1	
強制排気装置の作動	1							1
排気ダクト周辺への侵入禁止	1					1		2

D. 考察

今回、東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた「MR 装置の被災調査アンケート」の調査票の自由記述の内容について、その内容を良好に抽出できると考えられた項目を選び、これらの項目の度数を各県ごとに集計し分析を行った。

自由記述では、回答者が任意に言葉を選んで記載するため、意味している内容が曖昧で、解釈・判断・分類の難しい記述もあったが、最も近い内容と考えられる項目に

分類し集約した。また、震災から1年3か月以上の時間を経た状況でアンケートに回答しており、全てが想起され、全てが適切に表現されたとは限らない。しかし、回答者にとって記憶に強く残っていることが記述されていると考えられ、それだけ震災時の課題として重要な事項であったと言えよう。なお、記述がない場合、項目に相当する行動がなかったわけではないと考えられる点には留意を要すると思われた。

(1) 患者の安全確保

MR 装置のガントリー内に患者がいる状態で激しい地震が発生した場合、その振動や建物の崩落の影響は想定しなければならない。我が国では耐震が不測している建物に MR 装置が設置される事は原則として有り得ず、しかも超伝導磁石は数トンの鋼鉄でできているため、建物の崩落により MR 装置が押しつぶされる事態は極めて考えにくい。しかし、MR 装置の構造そのものには物理的衝撃に対する強度の基準が想定されていないため、実際にどれくらいの衝撃に耐えられるかは不明であり、今のところメーカー側からそのような情報は開示されていないので、今後は物理的衝撃に対する強度の推定は必要と考えられる。一方で、筐体の破損や寝台のロック、棚等の散乱物の影響により患者がガントリー内に閉じ込められる危険性はある。また、上記の他に扉の不具合などで MR 検査室から外に出られない場合、クエンチにより生じるヘリウムガスが室内に充満すれば、窒息の危険性がある。これらの状況から、ある一定以上の震度の地震の場合、MR 撮影室から退避することが必要と考えられる。

患者救出・避難過程のパターン分類として、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）があるが、本研究ではこれらをさらに細分化し、患者と MR 装置担当技師の位置・状況や行動により項目のようにして度数を取ることを試みた。

検査室と操作室はドアを隔てて分けられており、MR 検査担当者と患者との間の距離もある。このため、地震が生じた場合に、MR 検査担当者が患者に到達するまでに一定の時間が必要である。

患者側から見た場合、MR 装置、MR 検査は震災において、留意すべき事項を幾つも持っている。MR 装置は、床から 1m 程度の高さの細長い円筒形のガントリーに患者が横たわる寝台を組み込んだ構造のため、ここから避難するには、寝台がガントリーから出た後に寝台が下降する必要がある。また、画像の信号雑音比を高めるために撮影部位に適した撮影コイルを人体に密着する必要があるとともに、更に、1 つの撮影シーケンスによる撮影時間が数分かかる

ため、患者の体動を抑制する患者固定を行う。これらにより、MR 検査を受けている患者の自由がきかず、患者にとっては直ちに避難するのは難しい状況である。

以上のように、強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないことがあるため、本震前に患者を引き出す必要があると考えられる。また、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難が発生することが判明したため、MR 検査室から寝台ごと検査室から室外へ運び出せるシステムが有用と考えられる。

自由記述の中には、建物が免震構造であったため、ほとんど被害がなかったとの例もあり、今後、新しく MR 装置を設置する場合、免震構造の建屋に装置を入れることは被害を最小限にするために必須と考えられた。

また、緊急地震速報があった場合、本震が来る前に MR 装置室から退出できた例も報告されており、本震前に患者の救出を開始できれば、寝台のロックや器物の散乱の影響も避けることができ、理想的である。

更に、寝台が MR 装置から離脱でき、寝台に乗った患者ごと、検査室から外に退避した例も報告されていた。これにより、足が悪く直ぐに寝台から降りられない患者、コイルを取るのに時間が掛る患者、抜針のため、直ぐに寝台から降りられない患者などに対応可能であると推定される。

従って、院内に整備された放送設備または MR 検査室に備え付けられた受信機で緊急地震速報が MR 操作室、検査室に伝えら

れるシステムがあることが望まれる。また、寝台が MR 装置から離脱でき、患者を乗せたまま避難できることが理想的である。このようなことが可能であるとする、地震発生時には次のような対応を取ることが想定される。

緊急地震速報を聞いた MR 検査担当者は直ちに検査を中止し、MR 検査室と操作室または前室の間の扉が締まることのないように開放し、ガントリーに接近し、患者に「これから地震が来ますので、検査を中止し、ガントリーから出ます」と伝え、急いで手動にて寝台を引き出し、寝台を MR 装置から切り離し、寝台ごと、MR 撮影室から退出し、近傍の前室、控室または廊下に退避する。また、地震の揺れに応じ、その場で患者を降ろすか否かを判断する。その後は、地震の揺れや状況に応じ、寝台に乗った状態の患者または寝台から降りた患者を施設外の院内の更に安全な場所に避難させる。または、津波が予想される場合は、高台に避難する。

検査前後でガントリー外の寝台に乗っている患者の場合、MR 検査担当技師は、患者が寝台から降りられるか否かを判断し、降りられない場合は寝台ごと、降りられる場合は患者を寝台から降ろし、直ちに MR 検査室から退出し、その後は上記と同様とする。

検査前後で寝台には乗っておらず、装置近傍に患者がいる場合は、直ちに、MR 検査室から退出し、その後は上記と同様とする。

待合室や控室で待機している患者についても、MR 検査室から退避した患者と同様に避難誘導が必要となる。

本研究対象の多くは、本震が来る前に、MR 検査室から退出できなかった場合の対処を見ている。震源地が近く、緊急地震速報を聞いた直後に、患者救出を開始しても、間に合わない場合、寝台の上の患者が落ちないように支えたり、天井からの落下物や装置から離脱したエンクロージャー転倒から患者を守る措置が必要になる。このためには、容易に身体に装着可能なクッションなどを常備する方法も考えられる。

なお、今回の検討では、寝台をガントリーから出すタイミングは揺れが収まってからか、揺れが激しくても行うべきかの判断材料となる結果は得られなかった。

また、運悪く撮影室に閉じ込められた場合には、検査室の中または外から監視窓をハンマーで割り、患者を救出する必要があるかもしれない。ハンマーは撮影室内(非磁性)、操作室内の2か所に必要と考えられる。

(2) 装置の安全確保

装置の安全確保に対する行動パターンとして、今回のアンケートでは、主に【1】電源に関しては、MR 装置シャットダウンやブレーカー遮断、【2】検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認ならびに MR 施設の施錠【3】MR 施設の立入禁止措置、【4】備品・装置の転倒の点検・防止、【5】MR 装置の緊急点検、【6】

クエンチに関連する装置や事項のチェック、【7】クエンチに対処するための措置、であった。

被災の程度が大きかった宮城において装置の被害が多く、その後の使用不能と2次被害防止目的で、MR 施設の施錠や立入禁止措置が多く取られたと考えられた。MR 装置のシャットダウンや停電後の再通電時の不具合防止を考慮したブレーカー遮断も行われているが、被災の大きかった宮城では装置そのものが被害を受けており、その件数は多くなかった。

MR 装置の緊急点検の実施程度は施設の被害程度の影響を受けているものと考えられた。

クエンチが現在起こっている、または近い将来起こり得るかどうかの情報を得るため、ヘリウム量、冷凍機、チラー、検査室の酸素濃度などのチェックがなされていた。クエンチへの対処として、クエンチダクト破損のチェック、強制排気装置の作動・排気ダクト周辺への侵入禁止が行われた。

被害の大きな宮城県、福島県では被害が大きすぎて「何もできなかった」とする回答がみられる一方、東京都、埼玉では、被害が少なく、「何もしなかった」とする記述がみられた。

注目すべき点は、あらかじめ準備されたプロトコルで点検を行ったことが確認できる報告が見られなかったことで、これらの記述は、担当者が現場の状況から考えて行動したものと考えられる。今後は、震災直後の状況において考えられる点検項目を整

理し、被災の状況に合わせて何を重点的に確認すべきか、点検担当者が二次災害に巻き込まれないように、どのような事項に注意すべきかを、状況別にワークフローとして整理してゆく必要がある。

(3) 本研究の限界

今回の研究には以下の限界が指摘できる。自由記述であるため表現が多様であり、具体的に意味している内容が必ずしも同一ではない可能性が否定できないもの、あるいは不明の場合があった。回答者により同じ判断基準で記述されていないとも考えられる。更に、全ての回答者が全ての項目を網羅して回答していない。これらの理由により、数値的に比較しにくい面がある。また、複数装置を設置している場合、装置より回答が異なる可能性があるが、本調査は施設単位の調査となっている。

E. 結論

東日本大震災で被災した MR 装置に関連してなされた被災調査の自由記述の内容を解析し、震災時の「MR 検査の患者の安全確保」と「MR 装置の安全確保」を解析した。

「MR 検査の患者の安全確保」については、今回の震災においては MR 検査担当技師が可能な限り患者の安全のために取った具体的措置が自由記述に反映されていた。また、強い揺れに伴い、MR 検査担当者が患者に近づけないこと、寝台の引き出しや寝台からの患者を降ろす過程で困難がある

ことなどが判明した。患者の状況によっては、引き出した寝台から直ぐに動けない場合もあり、対応が必要と考えられた。理想的には、緊急地震速報により本震到達前に患者救助を開始し、MR 装置から離脱できる寝台で患者を救助する方法が考えられた。

「MR 装置の安全確保」は地震による MR 装置の被害に応じ、各施設で適切に装置の安全を確保する措置がなされていた。2 次被害を防止するため、検査室と前室または操作室の間のドア開放または開閉の確認ならびに MR 施設の施錠、MR 施設の立入禁止措置、クエンチに関連する装置や事項のチェック、クエンチに対処するための措置などが必要であることが示された。

今回の分析で判明した事項を基にして、平成 25 年度に予定されている防災対策の策定での検討項目を固めて行く予定である。

G. 研究発表

1. 論文発表

・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安德、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災による MR 装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

2. 学会発表

・中井敏晴、山口さち子、磯田治夫、土橋俊男、町田好男、野口隆志 東日本大震災

における津波によるMR装置の被害に関する
調査研究、日本医学放射線学会第153回中部
地方会、豊明、2013.2.2

・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

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

研究協力者一覧

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）
小山修司（名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻医用量子科学講座）
市川和茂（名古屋大学大学院医学系研究科 医療技術学専攻医用量子科学分野）
安達廣司郎（日本赤十字社 盛岡赤十字病院）
阿部喜弘（独立行政法人 国立病院機構 仙台医療センター）
石森文朗（医療法人 聖麗会 聖麗メモリアル病院）
栗田幸喜（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 支部 埼玉県済生会栗橋病院）
砂森秀昭（社会福祉法人 恩賜財団 済生会 水戸済生会総合病院）
清野真也（福島県立医科大学附属病院）
丹治 一（公益財団法人 仁泉会 北福島医療センター）
引地健生（栗原市立栗原中央病院）
菱沼 誠（一般財団法人 厚生会 仙台厚生病院）
前谷津文雄（財団法人 宮城厚生協会 泉病院）
梶田喜正（千葉大学医学部附属病院）
松本浩史（千葉大学医学部附属病院）
武蔵安德（岩手県立中央病院）
梁川 功（東北大学病院）
藤田 功（さいたま市立病院）

協力組織

岩手 MRI 研究会、
宮城 MR 技術研究会、
福島県 MRI 技術研究会、
茨城県技師会 MRI 研究会、
千葉撮影技術研究会MRI基礎勉強会、
東京 MR 励起会、
SAITAMA MRI Conference

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
分担研究報告書

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

研究分担者 野口 隆志
独立行政法人物質・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 特別研究員

研究要旨 被災状況の質問紙調査および訪問調査の結果から超伝導マグネットに関わる MR 装置使用者の不安要因を抽出し、クエンチに関連した装置および環境の挙動について工学的調査を実施した。使用者の不安内容は、どのような原因でクエンチするのか、クエンチするとどのようなことが起こるのか、強制的にクエンチさせる基準は何か、消磁(クエンチ)せずに放置した場合のリスクは何か、などであった。それに応えるべく実機を用いて調査した結果、特に消磁および強制クエンチについて工学的知見を得た。装置および環境の挙動は、電源を用いた消磁の場合は特に特記すべき挙動は起こらないが、強制クエンチの場合は、室内へ漏れ出すヘリウム、放出配管外壁での空気の液化、屋外放出口から出る白煙などが観測された。強制クエンチの場合は事前の関係者への周知徹底が必要となる。特に被災時はクエンチする可能性を検討するための、マグネットの諸特性を事前に承知しておかなければならないことが再確認された。

A. 研究目的

本調査研究の目的は MR 装置使用者の被災時の不安要因を解消するための实际的知見を得ることにある。MR 装置のマグネット部分に関する健全性の確認ができればある程度の不安は解消できるが、被災時のマグネットの点検マニュアルは具体化されていない。特にクエンチに至る過程の診断は専門家に委ねるよう指示されているケースが多い。使用者の不安内容は「どのような原因でクエンチするのか」「クエンチするとどのようなことが起こるのか」「強制的にクエン

チさせる基準は何か」「消磁(強制クエンチ)せずに放置した場合のリスクは何か」などであり、これらの不安要因を分析し、不安内容に定性的に応えるために、まずは使用者へ正確な工学的解釈をするための情報を提供することを目的とする。

また MR 装置の無人放置に関する一般的な不安要因は、第一に強磁場による磁性体吸着・吸引の危険、次いで極低温ガス放出の危険が挙げられ、設置環境の重度の被災時には高圧ガス破裂の危険も考えられる¹⁾。すなわち MR 用マグネットを放置する場合

は、無害化処置として「消磁」「昇温」「圧力開放」を施すことを考えなければならない²⁾。その作業はメーカーの技術者など専門家に委ねなければならないが、何らかの無害化実施の必要性については使用者も理解し検討しておくべきである。

特に消磁処置については多くの使用者が迷うところであり、電源を用いた技術者による消磁と、強制減磁装置を動作させての強制クエンチとの違いについて正しく知る必要がある。強制クエンチさせた場合には再立ち上げができない可能性について考慮しなければならず、判断が遅れる可能性がある。強制クエンチの判断基準を組織的に整えておく必要がある。その判断基準の策定に際し、強制クエンチさせる場合の予備知識として、工学的な理解を深めておくことは重要である。

工学的課題：1. MR 装置およびその設置環境が被災した場合に、被災の程度に応じて何が起こるかを想定しておく。2. MR 装置を放置せざるを得ない場合には、放置の程度に応じて無害化処置を施す。

上記のような工学的課題を MR 装置の使用者に平易に説明することで、MR 装置被災の危険性を把握すると同時に対処法を正しく認識でき、被災時にも冷静な対応が可能となる。正しい危険認識が不安の解消につながることは安全工学²⁾の示すとおりである。

本工学的調査研究で具体的に目標としたのは、東日本大震災により MR 装置に発生した被害事象の調査研究の結果から得た超伝導型 MR 装置固有のクエンチ現象に関する使用者の不安要因を解消することと同時に、当事者としてできる初動のあり方に関

する提言の作成である。

B. 研究方法

調査項目の抽出

被災調査班が実施した質問紙による調査および聞き取り調査の結果から、MR 装置の使用者が持つマグネットの挙動に関する不安要因を分析し、試験研究班の工学的調査課題とした。

工学的調査対象

MR 装置の使用者が持つ不安要因は、主にクエンチ時の装置および環境の挙動が不明、クエンチ原因の推定が困難、クエンチ後の復旧の可能性が不明瞭であることに起因しており、それらを明らかにすることを工学的調査対象とした。研究初年度は主に実機を用いたクエンチ時の装置および環境の挙動について調査することとした。また、クエンチ原因推定のための工学的調査方法およびクエンチ後の装置復旧の可能性について検討するための工学的調査方法について基礎調査することとした。

工学的調査方法

医療機関で装置交換時に廃棄される MR 装置を利用して、実際にクエンチを発生させ、マグネットの発生磁場変化、クライオ内圧挙動、放出配管の表面温度変化、屋外放出口でのヘリウム放出挙動を観測することとした。

マグネットの発生磁場変化：磁束計を用いてマグネット開口部付近での定点磁場観測を実施し、クエンチ発生から磁場が消失するまでの時間を記録した。

クライオ内圧挙動：マグネットに備え付

けられた圧力計を用いて平常時の内圧からクエン中の最高圧およびクエンチ終了後の内圧を記録した。

放出配管の表面温度変化：マグネットの内圧放出口付近の構造物に極低温用温度計を取り付け、平常時からクエンチ終了までの表面温度変化を記録した。

屋外放出口でのヘリウム放出挙動：クエンチ発生からクエンチ終了までの屋外放出口の目視観察および映像撮影を実施した。

クエンチ原因推定のための工学的調査方法およびクエンチ後の装置復旧の可能性について検討するための工学的調査方法に関する調査は、上記調査の結果および実際の装置に施せる観測機構から分析検討することとした。

健康危険情報

本研究は個人情報や人・動物等の生命体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純粋に装置を対象とした工学的調査である。しかし調査は既存装置を対象として行うため、調査目的、調査方法、得られた情報の取り扱いについて医療機関および MR 装置の関係者へ事前に説明し了解を得てから実施した。

C, 研究結果

調査項目の抽出

回答数 458 件のうち、被害状況を訊ねた質問で最も多かった被害はマグネットの移動 (12.4%) であり、次いで超伝導型 332 施設のうち、チラー (冷却系) や空調機の故障 32 施設 (表 1)、急激なヘリウムの減少 28 施設 (表 2) であった。そのうち工学的調査課題のために注目したのはクエンチダク

トの損傷 (表 3) が 332 施設のうち 15 の施設で認められた点である。また磁性体の吸着 (表 3) は 7 件であった。ここで注目されるのは、吸着事故は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である。設置環境の被災内容によって、広い範囲で磁性体吸着事故を想定しておかなければならないことが分かった。

特に危険を感じた事象として回答項目に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は 34 件あった。そのうちクエンチの不安 (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液位の低下である。液体ヘリウム液位が低下すればクエンチ発生の可能性は増すという定性的な理解は広く行き届いていることがうかがえる。しかし具体的な液位の下限值について承知されておらず、不安のみが先行した可能性がある。またクエンチの不安に関連して、ヘリウムの撮影室への窒息性低温気体漏出の不安 (3 件) があげられ、その根拠として排気管の破断が指摘されている。実際、クエンチダクトの損傷は 15 施設から報告 (表 4) されており、正しい危険認識と思われる。

以上から、まず被災事例の記録において以下の点に注視することとした。

- ・ 冷凍機用冷却水の循環停止
- ・ 急激なヘリウムの減少
- ・ クエンチダクトの損傷
- ・ 磁性体の吸着
- ・ 液体ヘリウム液位の低下に起因するクエンチ発生の不安
- ・ 排気管の破断によるヘリウムの撮影室へ

の窒息性低温気体漏出の不安

表1 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1 急激なヘリウムの減少
（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4 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

磁場停止措置に関する事項

クエンチボタンの扱いについて訊ねた質問(表5)に対して、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、理由は地震によるパニックであった。クエンチボタンを押さなかった理由については18件のコメントがあり、被災した緊急的状況で検討の余裕すらなかった（6件）、明確な判断基準が無かった（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重大事故発生のリスクを指摘する回答もあった。

以上から、工学的調査の課題抽出では「磁場停止措置の明確な判断基準が無い」とのコメントに注視した。これはMR装置設置施設の組織上の課題であると同時に、工学的情報の不足による検討項目の不明瞭性に起因するものと考えられる。

表5 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

初期点検と復旧

MR設置施設468件、MR装置台数602台に対して復旧の担い手についての質問で、39.5%の施設（39.7%＝239台の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%＝309台のMR装置）においてスタッフ主導で復旧させていた事実が判明

した。すなわち初期対応はもとより、復旧作業すら医療施設スタッフの手で行われたケースが5割あるということであり、施設スタッフこそ初期診断のための工学的情報を必要としていることになる。

MR装置の復旧過程で判断に迷った事例への自由記述に対して69件の回答があり、最も多かった回答は震災時におけるMR装置の再稼働時の注意事項が不明(16件)という指摘であった。また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)を示す回答や、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に注視することとした。また物資の供給不足として液体ヘリウムの供給不足について3件の指摘があったことにも注視することとした。

被災に対する初動から装置復旧に至るまで、設置施設のスタッフ手動で実施されたという事実は重く受け止めなければならない。超電導型MR装置の復旧において、マグネットにかかわる部分の損傷を診断するには低温工学・超電導工学的高い技能が要求されるが、施設スタッフの初動診断に必要な点検項目について、MR装置の工学的知見から厳選した被災時の点検項目を一般化しておく必要があると判断された。

抽出課題のまとめ

被災状況調査の結果から以下の項目に注目し、さらに各項目の関連付けを行った。工学的調査から得られるどの様な知見によって不安要因が軽減できるか検討した。

- (1)冷凍機用冷却水の循環停止
- (2)急激なヘリウムの減少
- (3)クエンチダクトの損傷

- (4)磁性体の吸着
- (5)液体ヘリウム液位の低下に起因するクエンチ発生による不安
- (6)排気管の破断によるヘリウムの撮影室への窒息性低温気体漏出による不安
- (7)液体ヘリウムの供給不足
- (8)磁場停止措置の明確な判断基準が不明
- (9)震災時におけるMR装置の再稼働時の注意事項が不明
- (10)クエンチのリスクに関する状況判断の難しさや不安

工学的調査対象の選定

被災調査で注目した各項目のほとんどは、クエンチを起こすのではないかと不安に結びついている。次いでクエンチ発生後に起こり得る不都合に対する不安である。磁性体の吸着に対する不安はそれ程多くない。MRの環境を第三者に明け渡さない限り、関係者が注意を払えば磁性体の吸着事故は発生しないと分かっているからである。すなわち事故の発生原因が明確であれば、不安になることはないと思える。

クエンチについては、その発生原因は特定できていない。さらには、クエンチは危険な現象であるとの事前情報から、場合によっては二次的被害を引き起こしかねないと考えてしまう。そして大半のクエンチに対する不安は、再立ち上げが不能となったり、大きな費用負担が強えられる可能性があることと知らされているからである。

実際、被災調査から抽出した不安要因の9割が、クエンチ原因となり得る事象への不安と、クエンチを起こした後の二次的被害に関する不安であった。

そこで工学的調査として、実際にクエン

チを起こさせてのシステムと設置環境の挙動について調べることにした。同時に、「消磁」「昇温」「圧力開放」の無害化処置を実際にどの様に行うべきか検討するため、撤去される MR 装置を用いて工学的調査を実施した。

年間 100 台以上の MR 装置が交換のために撤去される。そのうち所有機関およびシステムメーカーの了解が得られた 8 装置について調査が実施できた。うち 4 台については撤去作業前に撮影、磁場測定および温度変化測定が可能であった。

工学的調査結果

1. 電源による消磁事例

1-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場： 1.5T

アクティブシールド型

運転電流：510.90 A

インダクタンス：約 26.1 H

蓄積エネルギー：約 3.4 MJ

シム方式：ボア内シムプレート式

クライオスタット：4K 冷凍機

内容量：2120 L

常用内圧：1.01 bar

3.0 bar *test pressur

1-2. 電源による消磁

作業工程

機材到着から約 1 時間半で消磁が始まり、そこから約 30 分、作業開始から約 2 時間で消磁が完了する。

磁場調整用電源およびケーブル類の敷設の後、電源操作はすべてコンピュータから行われ、表示画面に出る逐次情報を確認するだけで、自動的に消磁が終了する。

作業手順を追って写真撮影した。

ベッドの中央部から磁場減衰の定点観測

を試みた。その結果を資料 1 に示す。

作業経過時間は以下の通りである。

17:10 消磁機材セッティング開始

17:50 電源セットアップ&動作確認

18:10 冷凍機停止 *

18:30 消磁開始

18:50 消磁完了

19:00 消磁作業完了

*：クライオ内圧を上昇させるため

4K 冷凍機を停止させる。

電源による消磁の場合、液体ヘリウム温度のマグネットへ電流を流す電流リードを装着しなければならないが、本ケースの場合はあらかじめ電流リードは装着されているので、その常温部分を冷却するためヘリウムガスが使われる。そのガス源を確保する目的で、冷凍機を止めマグネット内圧を一定以上に高めておく必要がある。

液体ヘリウムレベルは 63.3 %、クライオ内圧は 16.45 PSI g、1.5T の主磁場は 22 分 18 秒で 0 となった。

1-3. 配管表面温度観測

上で説明したとおり、消磁作業には電流リード冷却のためのヘリウムガスが必要であり、クライオ内圧を開放しつつ消磁用電流印加をしなければならない。それに伴い、各経路の配管表面温度がどこまで下がるか計測によって確認した。

電流リードを冷却するガス配管出口温度は -60℃、室外放出配管付近の表面温度は -58℃まで下がったが、大気圧での空気の液化温度：78.8K (ケルビン)⁴⁾すなわちマイナス 194℃までは下がらないことを確認した。その様子を資料 2 に示す。

1-4. その他マグネット周辺情報

被災時を想定して MR 設置環境の調査記

録上、必要と思われる周辺状況について記録した。クライオ上部配管、冷凍機、アンカー／除振機構、室外放出配管、その他機構などを撮影記録した。

2. 強制クエンチによる消磁事例 ケース 1

2-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場：1.5T

アクティブシールド型

運転電流：約 380 A

インダクタンス：約 79 H

蓄積エネルギー：約 5.7 MJ

シム方式：ボア内シムプレート式

クライオスタット：シールド冷却型

ヘリウム内容量：1650L(0-100%)

フル容量 1800L

内圧：65hPa

2-2. 強制クエンチによる消磁工程

およびマグネットの無害化工程

磁場の吸引実験、消磁作業見学、真空解放作業見学、マグネット温度測定：作業手順を追って写真撮影した。

2-2-1. 強制クエンチによる消磁

MR 室には緊急減磁装置(*1)を作動させる赤いボタンがある。形状、配置、注意書きなどについて資料 3 を参照のこと。

*1: 緊急減磁装置のスイッチを押すことにより、マグネットの上部に配置されているクエンチヒーターに通電される。ヒーター加熱によってメインコイルの一部が温まり、その部分の超伝導線が超伝導から常伝導へ転移してクエンチが発生する。この緊急減磁装置には蓄電池が内蔵されており、日頃から充電されているので停電時も起動できる。その形状や配置につ

いては資料 3 に示した。

このケースの消磁のための強制クエンチは、システムに附属する緊急減磁装置によって行った。またマグネット室内で磁場の消失を確認するため、マグネットのボアに磁性体小型スパナをつり下げておき、磁場が無くなると落ちる仕掛けを施した。その様子を撮影した。

緊急減磁装置のスイッチを押すと、ガスの流れる音がだんだん大きくなり、1 秒以内に磁性体は落下し、磁場の方向に向くが 10 秒以内にゆっくりと重力方向を向いて静止する。その間放出ガスは、数秒で大きな音と共にバースティイニングディスクが破れ、一気に低温のヘリウムガスが排出される。同時に配管が急激に冷やされるため、廻りの空気が配管壁面で液化した。また、室内配管のつなぎ目などからヘリウムガスが漏れ出た。

配管表面温度変化については資料 4 に、室内配管表面の様子については資料 5 に示す。

このケースでは、既に調査開始前にシステムの電源が落とされ、配線切断などの作業が行われていたため、ヘリウムのレベルは測定できない状況であった。

作業経過時間は以下の通りである。

当日

16:30 吸引実験のために機材セッティング開始

16:50 吸引実験開始

17:20 マグネット配管付近の温度センサーセッティング

17:30 温度測定開始

17:38 圧力開放バルブオープン

17:38 冷凍機停止
 17:49 消磁
 緊急減磁装置による強制クエンチ
 ほぼ1秒以内に0磁場となる
 18:00 クライオスタット内真空解放作業
 開始
 18:20 冷凍機のガス抜き処理
 18:37 真空解放作業完了
 19:00 真空解放後の処置作業完了
 20:30 真空解放後のマグネットの
 状況確認
 翌日
 8:30 真空解放翌日のマグネットの
 状況確認
 9:00 搬出の為のマグネット上部解体工事
 12:30 マグネット周辺解体工事確認

2-2-2. 配管表面温度観測

消磁作業の前に各経路の配管表面温度を計測した。通常は圧力開放バルブをバイパスした逆止弁を通してヘリウムガスは排出される。この状態でマグネット内圧 65 hPa であった。圧力開放バルブを開くことによって内圧は 20 hPa 以下に落ちる。この圧力開放バルブは液体ヘリウムを注入する際や励減磁を行う際にカレントリードを挿入するときに開放する。

配管表面に温度センサーを取り付けた後、圧力開放バルブを開き、内圧を下げてから冷凍機を停止した。クエンチが発生したときにはバースティイニングディスクが破れ、バイパスラインや圧力開放バルブのラインにはヘリウムガスは流れなくなる。それに伴い、各経路の配管表面温度の差が出始めることを計測した。また、急速な低温ガスの排出により大気中の酸素が液化し、マグ

ネット表面に流れ、温度が低下することを観測するためにマグネット表面にも温度センサーを取り付けて計測した。その温度変化の様子を資料4に示した。

2-2-3. 真空断熱層の大気圧開放

本作業工程は強制クエンチによる「消磁」作業とは無関係だが、マグネットの「無害化」には必要な工程である。

通常液体ヘリウム槽は真空断熱層に覆われているので、外面からの熱侵入はほとんど無い。クエンチ後もこの槽に液体ヘリウムが残っていて低温状態にある。この真空断熱層にヘリウムガスを入れるとヘリウム槽外面への熱侵入量は増大し、液体ヘリウムが一気に気体になる。これによる内圧上昇はクエンチ以上の破壊力(*2)になることがある。

 *2: 真空断熱層へヘリウムガスを導入すると、液体ヘリウムそのものの熱流入速度はクエンチによるコイルの発熱分の熱流入速度を上回る場合がある。

MR 用超伝導マグネットの破裂事故は、ほとんどが真空断熱層の破壊に起因して発生している。クエンチによる破裂事故はクエンチが真空断熱破壊を誘発しない限りほとんどない。

 真空槽を安全に大気圧にするためには真空引きポートに専用の治具を取り付けて、まずは治具のセッティングに問題がないこと、配管に漏れが無いことを確認してから、少しずつヘリウムガスを真空槽に注入していき、真空槽の真空度を徐々に劣化させていく。液体ヘリウムの蒸発量を見ながら慎重にヘリウムガス注入しなければならない。真

空断熱層が大気圧になったかどうかは、真空排気口に取り付けた圧力計で確認する。

大気圧になった後は治具を取り外し、真空ポートをマーキングする、この部分からはしばらくは温まったヘリウムガスが排出されるため、注意喚起する必要がある。この部分を閉じてしまうとクライオスタット内圧が上がり、ある程度圧力が高くなると、マグネット容器の弱い部分が破裂する危険性がある。

2-2-4. 真空解放後の点検

ヘリウムガスによって真空槽を大気開放されたことによって、クライオスタットの断熱効果がなくなり、ヘリウム容器が温まり、外側の容器が冷却される。真空開放直後はマグネット表面は霜が付着し、ずっと触ると低温火傷をしてしまうので注意する必要がある。

本ケースでは真空開放の翌日まで部屋に空調を効かせていたので、マグネット表面はほぼ常温となっていた。また、結露により、水が床に溜まることも無かった。

マグネットを搬出するために、周辺部品の取り外し、また、搬出経路で上部が開口部に接触するため、マグネット上部を切り取る作業を実施していたのでその状況を確認した。

3. 強制クエンチによる消磁事例 ケース 2

3-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場： 1.5T

アクティブシールド型

運転電流：約 380 A

インダクタンス：約 79 H

蓄積エネルギー：約 5.7 MJ

シム方式：ボア内シムプレート式

クライオスタット：シールド冷却型

ヘリウム内容量：1500L

(1400 L 0-100%)

真空容器： 1100L

3-2. 消磁及び無害化作業

3-2-1. 作業工程

磁場の吸引実験、消磁作業見学、真空解放作業見学、マグネット温度測定：作業手順を追って写真撮影した。

当日

13:00 吸引実験のために機材セッティング開始

13:30 吸引実験開始

15:20 マグネット配管付近の温度センサーセッティング

15:30 温度測定開始

15:40 圧力開放バルブオープン

15:50 冷凍機停止

16:10 消磁

緊急減磁装置によるクエンチ

16:20 冷凍機のガス抜き処理

16:30 クライオスタット内真空解放作業開始

17:00 真空解放作業完了

18:00 真空解放後の処置作業完了

8:00 真空解放翌日のマグネットの状況確認

翌日

8:30 冷凍機の取り外し

9:30 測定機材等の搬出作業

3-2-2. 配管表面温度観測

消磁作業の前に各経路の配管表面温度を計測した。通常は圧力開放バルブをバイパスした逆止弁を通してヘリウムガスは排出される。この状態でマグネット内圧 90hPa であった。通常は 69hPa 前後だが、冷凍機

の能力低下の可能性もあり、ボイルオフも多いことが予想された。しかし、チェックしたところ、マグネットモニターのヒーターがスイッチ(B0)(*3)がONになっていたことが確認され、不測の事態が発生しているわけではないことが確認された。

*3: B0 スイッチとは B0 コイルのスイッチコイルのヒータースイッチで、ヒーターを炊く事により中心磁場を補正するシムコイルのスイッチコイルをノーマルにする。これにより通常は中心磁場のリセットに使用されるが、内圧が低いときに内圧を上げる目的で使用されることもある。このスイッチがオンになるとヘリウムの蒸発量が増えるのでONにされないように注意書きがしてあり、通常テープで固定してある。

B0 スイッチをオフにしたところ、内圧は段々下がってきて、逆止弁の排気ラインの霜も少なくなってきた。

マグネットの配管表面にセンサーを取り付けた。本ケースではさらにMR I 室の天井の配管及び外のクエンチ配管出口にも温度センサーを取り付けた。クエンチが発生したときにはバースティイニングディスク(破裂弁)が破れ、バイパスラインや圧力開放バルブのラインにはヘリウムガスは流れなくなる。それに伴い、各経路の配管表面温度の差が出始めることを計測した。また、急速な低温ガスの排出により大気中の酸素が液化し、マグネット表面に流れ、温度が低下することを観測するためにセンサーを取り付けて計測した。その温度変化を資料 4 に示す。

3-2-3. 強制クエンチによる消磁工程

本ケースでも消磁はシステムに附属する緊急減磁装置によって行った。

強制クエンチ前にマグネットのボアに磁性の点滴台を吸着させておき、磁場が無くなると落ちる仕掛けを施してそれを撮影した。この点滴台は底部の十字キャスター部分が磁性体でできており、他はすべて非磁性金属で覆われているため磁性体であると気づき難い。その様子を資料 6 に示す。

液体ヘリウムの液位はクエンチ前が 37%で、クエンチ後は 11%であった。このクエンチで蒸発した液体ヘリウムは約 364 リットルと計算された。放出配管(クエンチパイプ)の出口は MR 室のすぐ横で放出経路長は短く、屋外放出口は下向きにフードがある。配管はストレートであった。反射板は無いため、下にベニヤ板をひき、通常は金網があるが、事前に取り外してあった。いろいろなサイトでの屋外放出口の形状および配置について資料 7 に示す。またクエンチ時の放出ガスの様子は資料 8 に示す。

3-2-4. 真空断熱層の開放

「消磁」とは無関係な作業であるが、無害化処置のためには必要な作業である。クライオスタット全体の「昇温」「圧力解放」の目的で実施される。

3-2-5. 真空解放後の点検

ヘリウムガス導入で真空槽が開放されたことによって、クライオスタットの断熱効果がなくなり、ヘリウム容器が温まり、真空外装が冷却される。真空開放直後、真空外装表面は霜が付着し、直接触れ続けると低温火傷をしてしまうので注意する必要がある。

真空開放の翌日、一度冷えた真空外装は

ほぼ常温となっていた。また、結露により、水が床に溜まることもなかった。

センサー類を取り外し、サービスタレットに組み込まれている冷凍機のコールドヘッドを取り外した。マグネットを搬出する為に、マグネット上部の高さをなるべくしなければ行けないので、このように取り外す事の出来るものはなるべく取り外す。コールドヘッドを取り外したあとは専用のフランジを取り付けておく。

4. 強制クエンチによる消磁事例 ケース 3

4-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場：1.0T 鉄シールド型

シム方式： 電流シム方式

クライオスタット：4 K冷凍機による

50K シールド及びヘリウム容器冷却型

ヘリウム内容量：フル容量 2000 L

内圧：0.8 ber

4-2. 作業

4-2-1. 作業工程

磁場の消磁作業、真空解放作業：作業手順を追って写真撮影した。

16:50 消磁のための準備作業開始

17:00 クエンチパイプ出口の確認

17:20 圧力開放バルブオープン

17:25 冷凍機停止

18:00 消磁

緊急減磁装置によるクエンチ

18:02 クライオ内真空解放作業開始

18:20 冷凍機のガス抜き処理

18:40 真空解放作業完了

18:45 冷凍機コールドヘッド取り外し

18:55 真空解放後の処置作業完了

19:00 真空解放後のマグネット点検

4-2-2. 屋外放出口の確認

屋外放出口は病院の裏手にあり、駐車場に面しているが、下出しでガス流反射板があり、周辺にヘリウムガスが噴出しないように配慮されていた。また、金網が張ってあり、鳥や虫などが入らないように配慮されているが金網の部分にペンキが塗られて目詰まりしていたので、金網を外すことにした。屋外放出口の形状は資料 7 に示す。

消磁作業の前にマグネット内圧が正常であることを確認した。液体ヘリウムは MR システムから測定し 75.8 %であった。

通常は圧力開放バルブをバイパスした逆止弁を通してヘリウムガスは排出される。圧力開放バルブを開くことによって内圧は低下する。これによってクエンチパイプ出口からヘリウムガスが排出されるのを確認することで、放出配管を經由してヘリウムガスが正常に排出されているか判断できる。この判定のため、圧力開放バルブを開き、クエンチパイプ出口から排気していることを確認した。その後、冷凍機も停止して昇温しを開始した。またマグネットの真空ポートの位置がマグネット背面下部にあることを確認した。

4-2-3. 消磁のための強制クエンチ

このケースでも備え付けの緊急消磁装置(クエンチボタン)で消磁のための強制クエンチを実施した。ここでは緊急消時装置のバッテリーが劣化し、正常に作動しないことも考慮し、真空引きポートに専用の治具を取り付けて、ヘリウムガスを真空槽に注入して液量を低減させてクエンチさせる方法の準備も行った。

マグネットのボアに磁性体(小型スパナ)をつり下げおき、磁場が無くなると落ちる仕掛けを施した。

本ケースの消磁はシステムに附属する緊急減磁装置によって通常通りクエンチさせることができた。すなわち緊急減磁装置は正常に作動した。

屋外放出口からのガスの出方は、すぐには破裂板が破れず、大量のヘリウムガス発生は時間的に遅れた。なおこのシステムは消磁中、ヘリウムのレベルは測定できない状況だった。

4-2-4. 昇温のための真空断熱層の開放

今回のマグネットは 0.5T でありかつクエンチの突入エネルギー放出量が小さいため、クエンチのみではあまりヘリウムは気化しなかった。残留液体ヘリウムを気化させるためクライオスタットの真空槽にヘリウムガスを注入した。徐々にマグネットの内圧が上昇し、クエンチパイプ出口から一気にヘリウムガスが噴出した。その破裂した瞬間を撮影したので図 9 にその経過を示す。

完全昇温と圧力開放のためさらにクライオスタットの真空槽にヘリウムガスを注入していき、真空槽が大気圧になるまでヘリウムガスを注入した。

5. 強制クエンチによる消磁事例 ケース 4

5-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場：1.0T 鉄シールド型

シム方式：電流シム方式

クライオスタット：4 K 冷凍機

50K シールド及びヘリウム容器冷却

ヘリウム内容量：フル容量 2000 L

内圧：0.8 ber

5-2. 作業

5-2-1. 作業工程

磁場の消磁作業、真空解放作業：作業手順を追って写真撮影した。

15:30 消磁のための準備作業開始

15:40 クエンチパイプ出口の確認

15:50 圧力開放バルブオープン

15:55 冷凍機停止

16:15 消磁

緊急減磁装置によるクエンチ

16:30 クライオ内真空解放作業開始

17:20 冷凍機の高ス抜き処理

18:00 真空解放作業完了

18:05 冷凍機取り外し作業完了

18:15 真空解放後の処置作業完了

18:30 真空解放後のマグネット点検

5-2-2. 屋外放出口の確認

放出配管(クエンチパイプ)屋外出口は病院の裏手にあり、排気口と表示されている。通りに面しているが、横出しで反射板があり、道路や周辺にヘリウムガスが噴出しなように配慮されている(資料 7)。また、金網が張っており、鳥や虫などが入らないようにも配慮されている。

5-2-3. 消磁作業前の確認

消磁作業の前にマグネット内圧が正常で陽圧(約 3 psi)であることを確認した。液体ヘリウム液位はシステムで測定し、70.9% であった。内圧開放バルブを開くことによって放出配管屋外出口までの健全性を確認した。その後、冷凍機も停止し、昇温を開始した。

5-2-4. 消磁

このケースも消磁はシステムに附属する緊急減磁装置による強制クエンチによって行った。磁場が無くなったことの確認のためマグネットのボアに磁性体をつり下げておき、磁場が無くなると落ちる仕掛けを今

回も設置した。

緊急減磁装置のスイッチを押すと、ガスの流れる音がだんだん大きくなり、ゆっくりと磁性体が落ち始め、大きな音と共にバースティイングディスクが破れ、一気にヘリウムガスが排出された。

屋外ではすぐに破裂板が破れたのでクエンチパイプ出口から一気にヘリウムガスが噴出した。破裂した瞬間は撮影できなかったが、大量にヘリウムガスが噴出する映像は記録できた。このシステムもまた、消磁中のヘリウムのレベルは測定できなかった。

D. 考察

被災調査から得られた災害時に関係者が抱えた不安内容から、その直接要因の背景にあるのは超伝導マグネットに関する工学的情報不足であると考えられる。一般的に、回避すべき危険の具体的な現象が知らされていないこと、具体的な危険回避方法が不明なこと、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、不安を煽る要因になる。MR 装置使用者の不安と超伝導マグネットのクエンチに関する情報は、まさにその例といえる。

多くの工業製品は、規格基準を遵守すればある程度の安全が確保できる。使用者はその基準に従って取り扱うことで安心が得られることになるが、MR 装置用超伝導マグネットについてはまだ工学的に成熟途上にあり、特にクエンチに関係した規格基準は未成熟であると云わざるを得ない。それ故、今回の工学的調査で得られた知見は「クエンチ現象に関する定性的理解」へ情報提供できることに価値がある。また、今後必要となる定量的情報を得る方法検討の材料と

もなるだろう。

今回の調査では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明らかになっていない。被災時の危険事象予測には、例えば階下へ落下したときのクエンチ、大型磁性体吸引によるクエンチなどの実際的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。しかし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。実施には多くの関係機関の了解と協力が必要となる。

医療現場が必要とする情報と超伝導工学

超伝導工学が示すクエンチ現象は、超伝導線材にどのようなディスターバンスが加わると、マグネットはクエンチに至るかという局所現象を明らかにすることに終始している。超伝導マグネットの巻き線部の細部において、常伝導部分の発生に対して超伝導性の維持のための物理的、工学的条件が示されている⁵⁾。常に発熱源と発熱の大きさから局所的常伝導転移が決まり、その後は冷却対自己発熱のバランスの問題となる。また超伝導工学が議論する「コイル保護」については、クエンチ発生からマグネット本体を守るための機構であり、クエンチそのものの発生を防止するためのものではない。市販されている超伝導マグネット応用機器：MR、NMR、物性研究用高磁場マグネットなどは、クエンチ発生に備えて電氣的保護回路網が構成されており、コイルの一部の焼損を、極力防止するよう作られてい

る。しかしクエンチ発生から完全にコイル破損を保護できる保証は無く、メーカーも補償の対象にはし難いのかもしれない。

MR 装置を所有する医療施設が必要とする工学的情報は、超伝導工学が示す学術的情報ではなくもっと実際的情報であることが明らかになった。実際に当事者からの聞き取りでは、クエンチを発生させる外的原因についての疑問が多く出された。例えば水没した場合にすぐにクエンチするのか、火災にあった場合にクエンチするのか、大きな磁性体が吸着された場合、強い振動があった場合、建築構造物が落下してきた場合、マグネット本体が階下に落下した場合…などクエンチ原因と被災の因果関係を知りたいとの思いが見えた。しかしこれに超伝導工学が答えることはできそうもない。というより製品の信頼性工学の様なところで考えてゆくべき課題なののかもしれない。例えば機械工学的に MR 用超伝導マグネットの容器の強さはいくらでも保証できるように考えられる。実際、MR 用マグネットの設計・製造に関係する工学として、冷凍機や压力容器に関わる部分は機械工学が規格基準を持っている。

しかし今必要な情報は、学術的情報ではなく、むしろ体験的事例報告が重要であると思える。事例報告を互いに関連付けてゆく過程で思い込みや勘違いに陥らないよう、何らかの工学的解釈で裏付ける必要はありそうだが、重大事故を未然に防ぐには、多くのインシデント情報から重大事故発生の予測をしておくのが有効である^{6, 7)}。しかしインシデント情報が収集し難いのも事実である⁶⁾。

安心のための工学的知見として

日々できるクエンチ回避策はメーカーが示す通常点検を怠らないことだが、被災時という非日常的な状態では、追加の点検項目を設定する必要がある。また平常時の点検およびその診断とは異なる結果が出る可能性もある。

東日本大震災の MR 装置被災調査において、調査対象 MR 装置 602 台に対して、309 台の MR 装置が設置機関の職員主動で復旧されたという事実は、たいへん重いものと受け止めなければならない。そこに工学的情報が正しく伝わっていれば、検討材料がなく想像で迷うことも少なくなるだろう。難しい学術的情報ではなく、MR 装置用超伝導マグネットという製品の特性情報を基に、平易に考えられることすら提供されていないように思われる。

『液体ヘリウム液位が減少すればクエンチに至る』ということは自明として良い。まず必要なマグネットの固有情報として、通常使用しているレベル計の表示値で、クエンチに至る可能性のある最低レベル(*4)は知っておく必要がある。

*4: ヘリウムの液面計(液位計)指示値は、管理上のいくつかの下限值を持っている。ひとつは通常の管理下で、液体ヘリウム補充を考えなければならない液位：A%、次いで使用者がうっかりして下げてしまっても使用者自らの手(判断)で、補充をして良い液位：B%、メーカーなどの専門技術者が補充するなら補充可能な液位：C%、専門技術者がクエンチリスクを承知で補充可能な液位：D%、すぐにクエンチしてしまうであろう最低液位：E%、という

ように、最低液位には段階がある。

ここ 10 年以内に出荷された MR 装置のマグネットはヘリウム消費量はほぼゼロとされているが、この場合は A%、B%は無く、C%を喫水線と考えることになる。実際、ヘリウムの急激な低下があった場合は、メーカーの技術者へ報告することになるだろう。しかしその下に、D%、E%があることも承知しておく必要がある。ただしここで言う各液位は、マグネットの磁場の強さで決まっている訳でもなく、システム型式で決まっているものでもない。ある意味でマグネット設計の個性で決まってくるものである。それ故それは性能として保証されるものではないことも合わせて承知しておかなければならない。

現在の液位が記録でき、現在の液位減少率が測定できれば、マグネットの個性である下限液位までの持ち時間が推定できることは、おそらく多くの使用者が承知している。しかし被災時の液位減少率は、その場で計測しなければならない可能性もある。また例えば停電が約束されている場合には、冷凍機停止から液位低下率がどの様に変化するかを予め知っておかなければ、持ち時間の計算による推定は困難である。もし冷凍機停止後、定常蒸発にならずに液位低下率が増加してゆくならば、低下率変化を時間積分した総量と現在液位の比較で持ち時間が決まることになる。すなわち冷凍機停止後の液位低下率の変化を、マグネットの個性として承知しておかなければならない。このような工学的情報は、マグネットメーカーから提供されなければ、実験によって

もとめるしか方法はなさそうに思える。また同時に冷凍機再稼働から液位低下率が正常に戻るまでの液位低下率変化も承知しておきたい。

また大型磁性体吸着時に、電源による消磁が可能となるまでの持ち時間も承知しておきたい情報であるが、被災時にはこれも一概に決められない情報だろう。その場合、どのくらいの力でどの方向に引っ張っても、マグネットの構造(*5)上、内部が破壊されないかについても、ある程度の予備情報は承知しておきたい。

*5: マグネットの構造という言い方は、低温工学の専門分野では超伝導コイルの構造のことを言う。MR 装置の関係者の多くは、クライオスタット(マグネットを保冷する断熱容器および装置)を含めてマグネットと呼ぶが、それは異分野間の情報伝達において誤解の元となる可能性がある。正確な情報伝達のためには、MR 装置のマグネット=超伝導コイル+クライオスタット(低温恒温槽)であることを承知しておく必要がある。カバーを外した状態で見えているあるいは触れるものはすべてクライオスタットの一部である。冷凍機も上部の内部アクセスポートもクライオスタットの一部でありマグネットではない。

本報告書の中で、その必要のない部分では MR 装置関係者の使う“マグネット”を、クライオスタットを含めた全体の呼称としてきたが、正確な工学的情報を得ようとするなら、各部位の名称もある程度正確でなければならないと考える。

2012 年度の調査に継続して、機会があるならば実測しておきたい工学的調査項目として『最低液位での自然クエンチ現象』がある。これは同時に『冷凍機停止時の液位低下率変化』の測定も可能である。また液位低下時の自然クエンチの外的観測も可能であろう。さらに欲を言えば、再冷却して再立ち上げも確認してみたい。

以上の調査実験は、機会さえあれば撤去するマグネットを用いて安価に実施可能と考えられる。そんな機会の条件は、MR 装置休止から、撤去に至るまで期間が 20 日間ほどあり、設置場所も稼働している施設から若干離れている必要がある。病院建屋の移設で、新築建屋が並行して建設されるケースなどはその条件に合うと考えられるが、関係者の了解を取ることが難関となるのかもしれない。

クエンチ現象の理解のために

今回の工学的調査で得られた画像、映像情報は、そのまま現場に提供できる情報としては品質が悪い。その映像情報から誤解が生じる可能性もあり、ある程度の解説付きで公表する必要がある。今後の作業課題としてクエンチ現象の解説用資料を作ってゆくことも医療関係者の安心を得るために有効と思われる。

MR 装置メーカーが自主的に製作した MR 用超伝導マグネットの紹介ビデオには、たいへん良くできたものもあり、それらの映像を収集して公の立場から監修する方法も考えられる。しかし映像や画像からの印象は、実際の立会いとはずいぶん違ったものとなる可能性もある。特に磁性体吸着については、自分の手で持って引いてみるの

が一番良いかもしれない。できれば MR マグネットの撤去に合わせて、関係者体験実験プログラムを実施していただきたい。プログラム設計の試行も継続して調査しておきたい課題である。

ヘリウムの流通について

2012 年度後期に社会問題化したヘリウム不足⁸⁾についてもここで触れておきたい。実際今回の被災調査で不安事項のひとつに、ヘリウムの供給不足に関する指摘が 3 件上げられている。分析用 NMR 用超伝導マグネットも調査対象とした阪神・淡路大震災の被災調査では、ヘリウム流通に関する諸問題が震災直後顕在化したがついた混乱もなく沈静化したと報告されている⁹⁾。

20 年近く前の MR 装置用超伝導マグネットは、1 台当り年間で 300L~3500L の液体ヘリウム消費量であった。阪神・淡路大震災は被災エリアは広域ではなかったが、東西からの流通ルートが分断され、液体ヘリウムの供給が心配された。近隣地域の関係者の協力で事無きを得ている。現在(2012)は年間 0L~500L の消費量に下がっている。液体ヘリウム供給作業そのもの知らない使用者も増えている。今後ますます増えるものと思われる。

そんな中で、被災時に液体ヘリウム液位低下の不安をどの様に解消してゆくか、考えなければならない。メーカーの対応が得られない状況での液位減少に対する不安は、液体ヘリウムの入手、マグネットへの注液器具類の入手、注液方法と作業技術情報の収集である程度解消できるだろう。もちろん施設職員の手で注液が実施できるなら不安は解消できる。しかし液体ヘリウムあっ

ての話であり、昨年(2012年)発生した日本国内総ヘリウム不足の事態は、地域のMRの使用者、地域ガスサプライヤー、MRメーカーの努力では対応できない問題である。

E, 結論

撤去されるMR装置の超伝導マグネットを用いて、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について調査した。主にクエンチに関わる工学的情報の収集を行ったが、机上で想定できる現象の確認にしかならなかった事項も多い。また定性的現象の説明資料が多く、それらを定量化するためにはさらなる調査研究が必要となることが確認された。

上記考察で述べたように、例えば冷凍機を停止させると液位低下率＝ヘリウム蒸発率は増加するという定性的確認はできた。しかしそれをどのくらい液位低下率が増加するのか、それはどのような経緯で変化するのかなどの定量化された値を知らなければ、被災時の初期調査に入る医療現場の担当者への、有効な工学情報とはいえない。

しかし不安材料が、現象を机上の想像でしか知らされていないことに起因しているならば、より臨場感のある情報は入手できたと思える。さらには続く調査対象と得るべき工学的情報も、本調査研究で明らかになってきたといえる。

定量化できる工学的情報を、機会あるごとに取得することが今後の課題である。

G. 研究発表

1. 論文発表およびレビュー

- ・中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、前谷

津文雄、引地健生、清野真也、丹治 一、安達廣司郎、武蔵安徳、菱沼 誠、阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、梶田喜 正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田好男 東日本大震災によるMR装置被災調査の実施報告 日本磁気共鳴医学会誌、Vol.33 No.2 (2013) p92-119

- ・野口隆志 MRI装置の被災状況と今後の課題、社)未踏科学技術協会

FSST (Forum of Superconductivity Science and Technology News) NEWS 135、10-13、2012

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

- ・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

- ・野口隆志、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 被災時のクエンチと課題、日本磁気共鳴医学会第40回大会、京都、2012.9.8

- ・野口隆志 MRIの被災状況とそこから見えてきた課題、未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会 第79回ワークショップ「3.11 震災を乗り越えて」、東京、2012.7.19

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3.その他

なし

引用文献

- (1) 三森文行、上野 照剛 MRI 装置撤去時の爆発事故に関する調査経過報告 日本磁気共鳴医学会雑誌 24(2), 92-94, 2004-04-15
- (2) 野口隆志 MRI 装置の被災状況と今後の課題、社)未踏科学技術協会
FSST (Forum of Superconductivity Science and Technology News) NEWS 135、p12-13、2012
- (3) 道上勉、向殿政男、信頼性・安全性工学 147 頁、オーム社 2011 年
ISBN978-274-20756-9
- (4) 社) 低温工学協会 信貴豊一郎 編、超伝導・低温工学ハンドブック、1021 頁、寒剤の物性値、オーム社。平成 5 年 11 月 30 日、ISBN 4-274-02255-2
- (5) 松下照男 編 超伝導応用の基礎、216 - 243 頁、安定性とコイル保護、米田出版。2005 年 2 月 19 日、ISBN 4-946553-18-5
- (6) 日本学術会議 安全工学専門委員会報告、事故調査体制の在り方に関する提言、18 頁、平成 17 年 6 月 23 日
- (7) 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
- (8) 大家 泉、ヘリウム需給の見通し、日本

高圧力学会 高圧力の科学と技術

Vol. 22, No. 3 (2012)

- (9) 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 p43

研究協力者一覧

清野真也 福島県立医科大学付属病院

引地健生 栗原市立栗原中央病院

中井敏晴 国立長寿医療研究センター

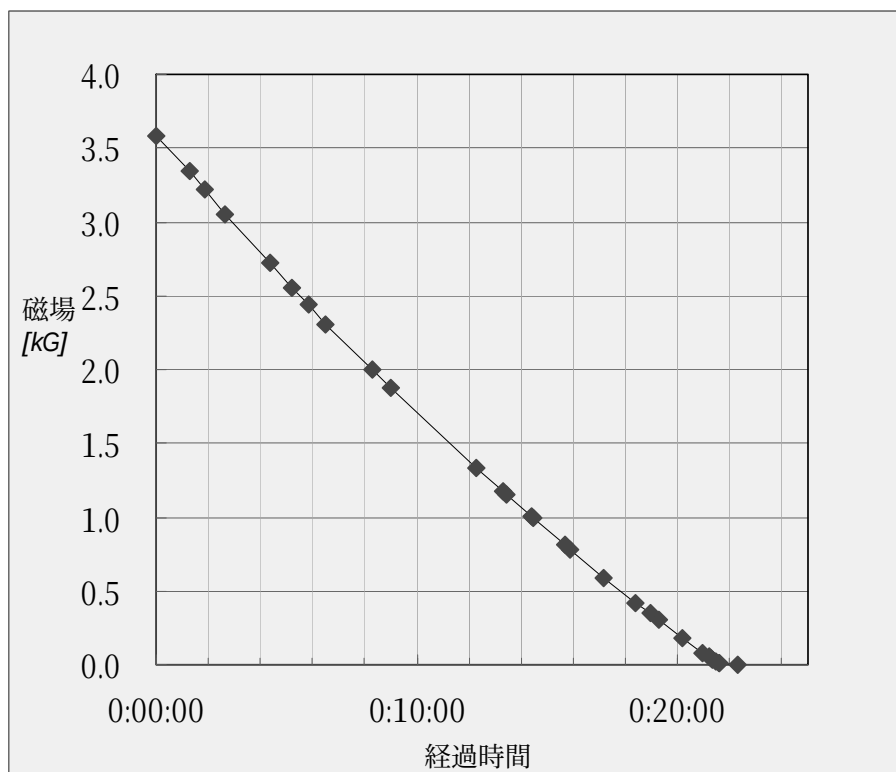
端健二郎 物質・材料研究機構

大木 忍 物質・材料研究機構

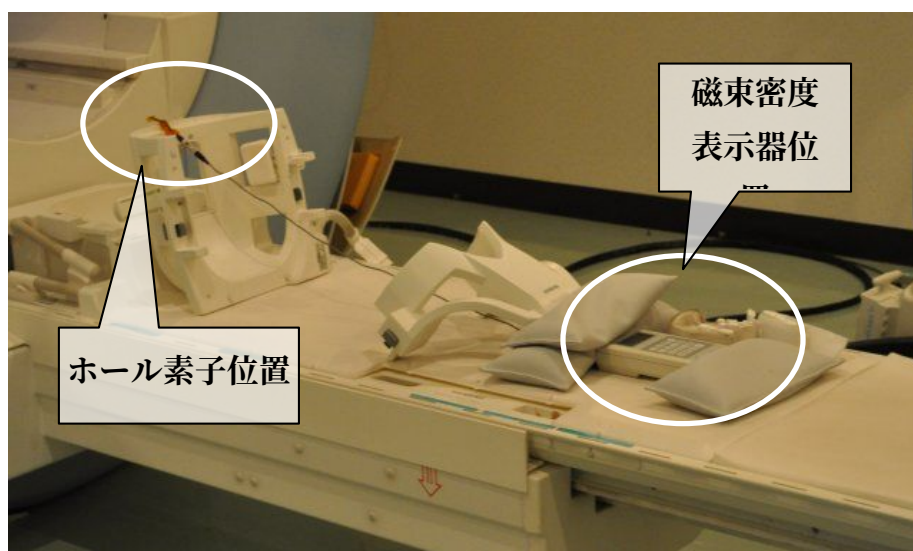
資料 1 電源による消磁特性 磁場測定結果と測定機材

経過時間	磁場 [kG]
0:00:00	3.58
0:01:16	3.35
0:01:52	3.22
0:02:40	3.05
0:04:22	2.72
0:05:14	2.55
0:05:52	2.44
0:06:30	2.3
0:08:18	2
0:08:58	1.88
0:12:18	1.33
0:13:20	1.171
0:13:26	1.153
0:14:22	1.01
0:14:28	0.993
0:15:40	0.811
0:15:54	0.781
0:17:10	0.593
0:18:24	0.42
0:18:58	0.345
0:19:16	0.301
0:20:12	0.181
0:20:58	0.0821
0:21:12	0.0556
0:21:18	0.0414
0:21:22	0.0331
0:21:28	0.0222
0:21:34	0.0121
0:21:36	0.0072
0:22:18	0.0013

定点磁場の時間変化特性



消磁中磁場測定：ベッド中央付近での磁場変化測定



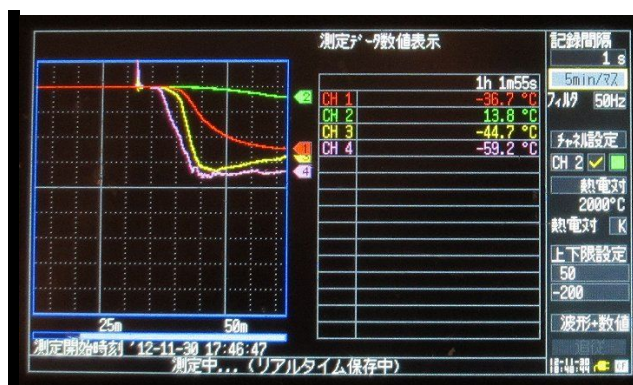
1.5T の主磁場は 22 分 18 秒でほぼ 0 となった。

資料2 電源による消磁時の消磁機材とヘリウムガス放出

電流リード冷却ガス配管出口温度 -60°C

室外放出配管マニホールド表面温度 -58°C となった。

消磁中配管表面温度測定：ガス放出配管各系統



クライオ上部配管温度計取り付け位置

温度計測画面 4点計測

消磁作業中はクエンチ発生が増すので、万が一発生すると本温度測定点の温度は、空気が固化する温度(約 $50\text{K} = -220^{\circ}\text{C}$)以下となる可能性がある。



マグネット室内ケーブル



電源接続用ケーブル



ポータブル電源

電源による消磁は10年以上前のマグネットだとマグネット槽内に電流リードを挿入しなければならないが、最近のマグネットでは、電極は常に室温部分に取り出されており、マグネット／RF シールド壁／用意した電源を、それぞれケーブルでつなぐだけで消磁が可能となっている。全作業時間も2時間以内に終了する。

資料3 緊急減磁装置起動スイッチ：クエンチボタン

消磁のための強制クエンチに使用した緊急減磁装置のスイッチ本体と配置

本体



マグネット室内のスイッチ配置

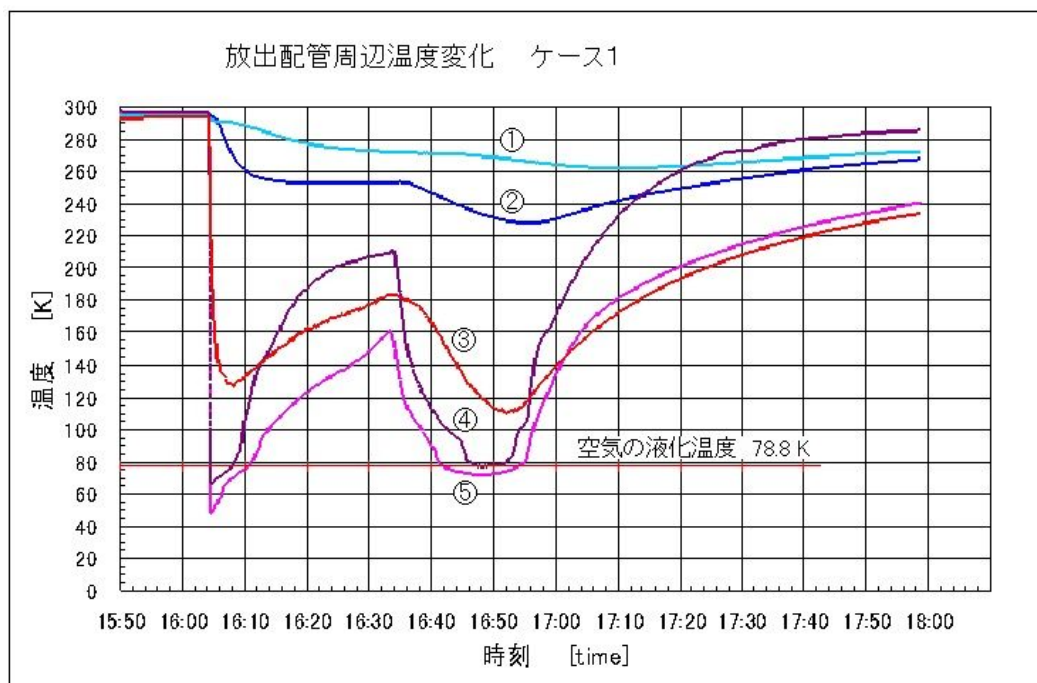


MR 装置型式が変わってもマグネットメーカーが同じだとスイッチの形状は同じことが多い。配置はシステムメーカーや使用者によって異なるが、通常は手の届きにくい高い位置に配置されるのは共通している。

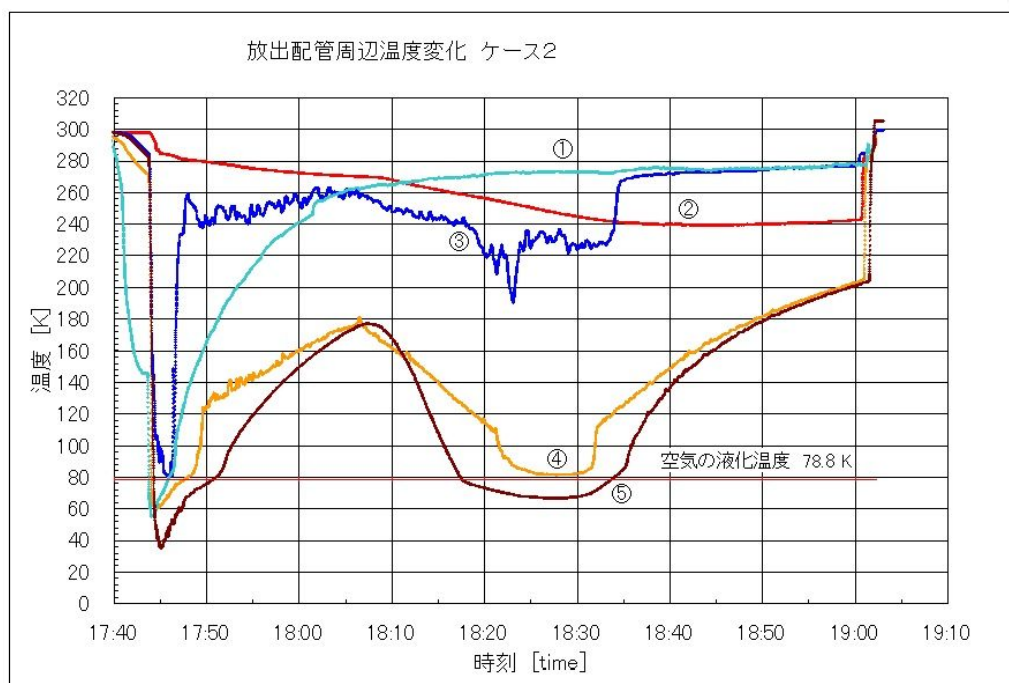
名称や注意書きが様々であることは、診療検査の現場で混乱を招く可能性がある。

スイッチの押しボタンにはカバーが掛けられ、簡単には押せないようになっている。またまちまちであるが、注意書きには「クエンチさせると復旧に支障がある可能性」を示唆する文面が多い。

資料4 マグネット上部の内圧放出配管周辺温度変化 ケース1



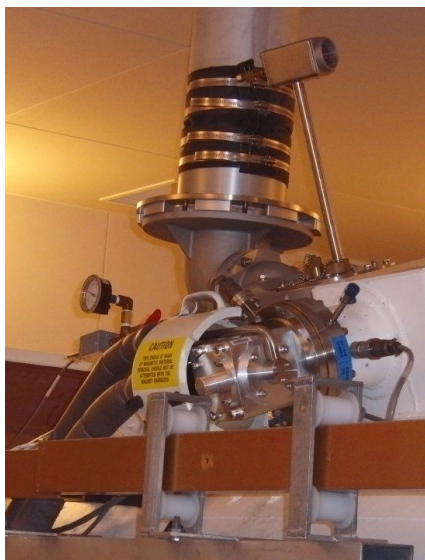
クエンチ発生後、直ちに配管周辺温度は低下し、空気の液化が始まった。
できた液体空気は床にまで流れ落ち、床面は凍りついた。ただし床材の熱容量は大きく、
約 80K の液体空気(主に液体酸素)は溜まることなく直ちに蒸発していた。



上記2例の配管温度変化の内、初めの約30分ほどがクエンチの影響であり、続く温度低下は真空断熱層の解放で発生する放出ガスによるものである。

資料5 クエンチ前後のマグネット上部の様子

左がクエンチ前の様子 右が同部分のクエンチ後の様子



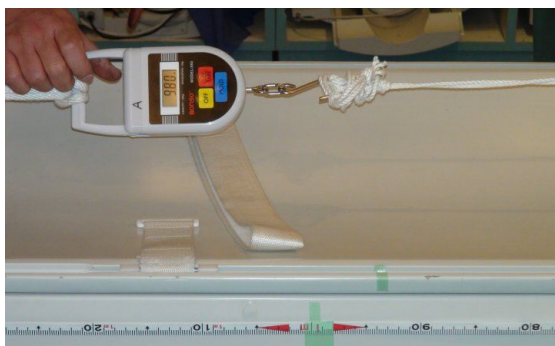
或る 1.5T マグネットの破裂弁と主配管 破裂弁が作動し主配管表面で空気が液化
上2件はクエンチ前すなわちヘリウム放出前と放出終了後の比較写真であり、放出中はこのような白い霜(主に水分)の付いた状態ではなく、下の右の写真のように、配管表面は液体空気で濡れた状態である。写真では判りにくいですが、下の放出中の主配管表面では液体空気が連続的に流れ落ちている。主成分は酸素であることが多い。

資料6 鉄の体験的吸引力の体感実験

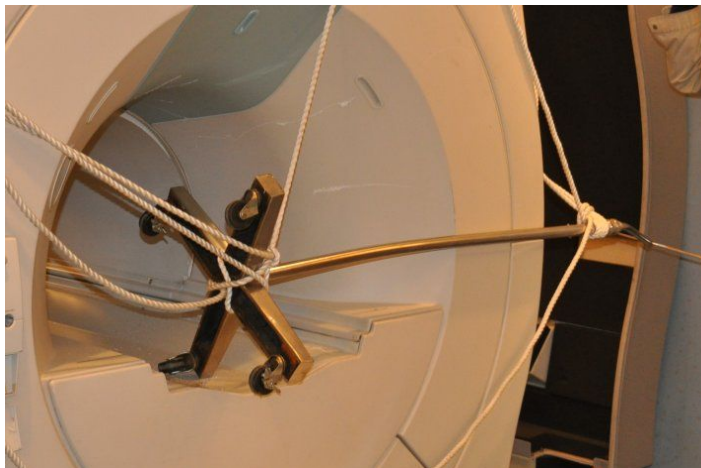
セルフシールド型マグネットの場合、開口部付近で急に磁場が立ち上がる。



63gの鉄製アイボルト M10 をロープ先端に取り付け、マグネットボア付近までの引張り力を測定した。1.5T マグネットの開口部付近で吸引力は10kg 程度であった。



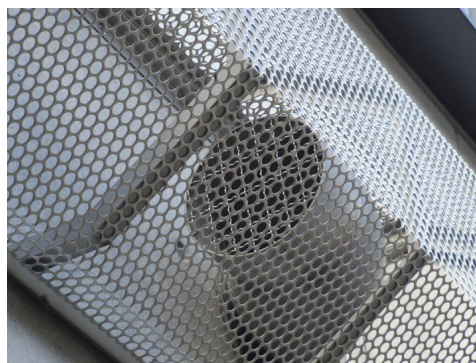
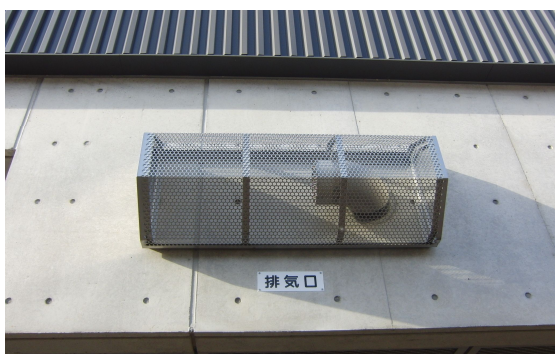
本実験は、体感実験および大型磁性体の吸着・吸引力測定計画検討のために行った。



一見ステンレス製に見える点滴台の下部キャスター部の裏側は大きな磁性体だった。上部およびポール部は非磁性体が使われていることを磁石で確認した。

右の写真は、クエンチ発生時にどの様に落下するかを確認するため、予めボアに吸着させておいた点滴台の、クエンチ後に落下した状態である。

資料7 ヘリウムガス屋外排気口



ヘリウムガスの屋外放出配管出口は、MR 室建物裏手の人通りの無いところに配置されることが多いが、中には不特定多数の人の往来する通路に面した壁に配置されているケースもある。その場合は放出方向に邪魔板を配置し、道路や周辺にヘリウムガスが噴出しないよう工夫されている。金網が張ってあり、鳥や虫などが入らないように配慮されている。

放出口にはガス流邪魔版、反射板、方向制御板などが配置されていることが多いが、実際のクエンチ時の大量放出を経験させていないと思われるケースがあり、実際の放出を想定しておくことが望ましい。

資料8 強制クエンチさせたときの屋外放出口から排出されるヘリウムガス
クエンチとほぼ同時に破裂弁が作動し大量の屋外放出が始まったケース



(a)クエンチ前の放出口



(b)クエンチ 6 分後の放出



(c)約 6 分後のダクトカバー
表面で凝縮液化する空気



(d)約 13 分後の放出が収まり
はじめた屋外放出口

資料9 強制クエンチさせたときの屋外放出口から排出されるヘリウムガス

クエンチさせただけでは破裂弁が作動せず、真空開放によって作動したケース



屋外放出口の配置付近



クエンチしたが放出量は少なかった



真空開放と同時に大量放出が始まった



液体ヘリウムが無くなり沈静化した

蓄積エネルギーの小さなマグネット、あるいは運転電流値の低いマグネットでは、クエンチしただけでは液体ヘリウムが残留することがある。消磁目的で強制クエンチさせた場合は液体ヘリウムが残留しても良いが、無害化処置の場合は、昇温過程へ連続して入らないと、凍りついた逆止弁から空気や水分が混入し、アクセスポート内部で閉塞を起こす可能性があるので注意が必要である。

この写真を撮影したケースでは、クエンチ終了後、直ちに断熱真空槽へヘリウムガスを入れ、断熱を破壊して残留ヘリウムを気化させた。この時内圧が上昇し、はじめて破裂弁が作動し、下段左の写真のように、一気に大量のヘリウムガスが噴出した。

強制クエンチさせるときは、常に液体ヘリウム残量、マグネット内圧、内圧開放経路、各部圧力差を観測し、そして緊急気道確保の手段を想定しておかなければならない。表面の挙動のみにとらわれていると、孤立系の圧力上昇に気付かないことがあるので常に注意が必要である。

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
野口隆志	MRI 装置の被災状況と今後の課題	FSST (Forum of Superconductivity Science and Techonology 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	社団法人日本工学会アカデミー 第7回安全工学フォーラム資料集		1-18	2012