

201232018A

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

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 -----83  
(アンケートおよび聞き取り調査)  
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 -----135  
—東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に—  
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  
礪田治夫

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

# 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

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、その発生日数は震度 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」の放送がなれ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、かつ他に代替できないものがないか、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（ $-270^{\circ}\text{C}$ ）、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）」に分類されると考えられるが、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ていたが、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な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気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 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)」(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、東日本大震災によおける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  $\chi^2$  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、 $\chi^2$  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 一東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心に一」(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 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)

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 装置の復旧に直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無かったが、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 MR I 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 ( $p < 0.01$ )。

復帰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帰遅延が観察された ( $p < 0.001$ 、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 ー東日本大震災における被害状況：東京都・埼玉県を中心にー」

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傷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50cm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 $-60^{\circ}\text{C}$ 、室外放出配管付近の表面温度は $-58^{\circ}\text{C}$ 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ニ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 $-150\sim-200$  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。バースティイニ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：発生時の緊急的対処（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、発生時やその後に 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敢え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震災後 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、医療器機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、復帰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気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う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、クエンチ発生的事实を製品としての 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)