

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25年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中井敏晴  
平成26(2014)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

## II. 分担研究報告

1. MR検査室における震災対策  
    － 防災対策と緊急対処のための 2 指針 1 提言について -----19  
    中井敏晴  
    （資料 1）災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針  
    （資料 2）MR検査室の防災指針  
    （資料 3）MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する調査報告
2. 東日本大震災によるMR装置の被害状況からみた発災後の  
MR装置の復帰手順に関する検討 -----65  
町田好男
3. 医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査  
    －MR装置の安全に関するリスクコミュニケーションと  
    震災時にすべき事項－ -----85  
山口さち子
4. 震災時のMR検査室の防災対策について -----103  
磯田治夫  
    （資料 1）東日本大震災における緊急地震速報の調査項目  
    （資料 2）東南海地区におけるMR検査室の防災対策の現状調査アンケート
5. 超伝導型MR装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための  
工学的情報について -----133  
野口隆志  
    （資料 1）超伝導式液体ヘリウム液面計  
    （資料 2）ヘリウム槽内圧確認用圧力計 および内圧放出口周辺の霜着き例  
    （資料 3）天井裏の屋外放出配管と大量放出時にできる液体空気の様子  
    （資料 4）屋外放出口形状とクエンチ時の放出ヘリウムの振る舞い例  
    （資料 5）2013年度実施調査取得情報

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。平成 25 年度は、前年度に行った MR 検査室の被災調査の結果を基にして、「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」、「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の 2 指針 1 提言を策定し、日本磁気共鳴医学会から公表した。さらには、その策定プロセスを活用して、東南海地区を中心に震災被害の詳細やリスク因子に関する情報提供と MR 検査室における防災対策の現状調査を行い、防災に向けた南海地区の地元組織による調査啓蒙活動を支援した。また、指針を補う資料として、被災状況分類に基づいた MR 装置の復帰手順を検討し、流れ図としてまとめた。震災時における MR 検査室への立ち入り制限や関連する安全管理がより徹底するために、医療従事者全般の MR の安全に関する知識の傾向分析を行ない、静磁場の影響については認知度が高い一方で、検査の施行については、過去に MR 検査を受けた経験が無い限り認知度は必ずしも高くなく、MR 装置のハードウェアについては認知度は低いことが判明した。震災後は安全管理だけでなく、MR 装置の復帰を円滑にするためにもマグネットのクエンチリスクを予見する必要がある、特に液体ヘリウムの残量を確認する事が重要である。しかし、停電下でもヘリウムメーターが使えるような設計になっている MR 装置は非常に少ないことが判明した。また停電下での液体ヘリウムの減少速度についても十分な情報が行き渡っておらず、MR 装置メーカーに対して今後の改良を求めた。今後の防災対策では、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、⑧MR 装置の再稼働前の十分な点検、などが重要項目と考えられる。MR 検査室の防災対策をその医療施設全体の防災対策の中で位置づけることが周囲との円滑な連携に重要である。MR 検査室においても可能な限りの減災を実現して医療施設の機能維持を果たすことが、震災後医療を通して地域医療への大きな貢献となろう。

## 研究分担者

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

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

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。また、これまでの調査研究で判明したMR検査室における震災対策や、安全管理に資する知見を普及させ、特に、東南海地区の医療施設を対象とした啓蒙活動を行うことにより、地域医療への貢献を目指す。

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。医療従事者自身も震災による犠牲者、被害者の例外ではなく、津波のために殉職した事例も報告されている<sup>1)</sup>。医療従事者自身が無事であっても、家族、親族に震災の犠牲者、被害者を抱えているケースは少なくない。高台移転と病院の免震化を済ませ、医療施設としてほぼ無傷であった医療機関であっても、その職員は過酷な現実の元で勤務を続けていた事が報告されている<sup>2)</sup>。災害時においても医療従事者は人命救助の使命にあたらねばならないが、それに伴うリスクや負担については、消防や警察など職務の性質上の危険性が当初より明確になっている職種と比べると十分に認知されているとは言え

ない。医療機関は一般の事業所と異なり、震災が起きたとしても業務を中止することはできず、むしろ医療ニーズは増大する。震災発生の有無とは関係なく、疾病は一定数発生する。震災が発生すれば受傷者が多数発生し、さらには震災後の生活環境の悪化のために慢性疾患の悪化が起きる<sup>3-7)</sup>。このように災害後の医療は、平時とは異なった背景において行われ、「災害後医療」という範疇で理解すべきであろう。

近年は建築技術が進歩し、医療機関の建物もほとんどが耐震・免震化されており、建物の倒壊や崩落による被害は少なくなった。一方で、医療機器も複雑化、電子化が進み、医療職にある者は日常の業務において多くの電子機器の操作している。電子機器は、一定の耐久性を持つように設計、製造されているとはいえ、震災時に発生する強度の振動や、転倒、落下による衝撃、突然の停電による影響は無視できない。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<sup>8)</sup>、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。今回の大震災で見られたように震度6や7の強度の影響を受けた場合、医療機器が外見上明らかに破損していなくても想定外の故障が発生していたり、すぐには異常が明らかにならなかったりする可能性を考慮しなければならない。従って、診療再開の絶対的な必要性という医療機関の立場からは、震災後に医療機器を使用する上での安全性担保が大きな課題となってくる。

MRI装置は国内で6000台近くが稼働し、日常診療でも重要な役割を果たしているが、低温冷媒(−270℃)、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<sup>9)</sup>。MR 装置に起因する 2 次災害の防止と、災害後医療における病院機能の早期回復のために、医療機関が自ら講じるべき措置を明らかにするために、平成 24 年度の本調査研究では、MR 検査室において発生した被害状況の調査を行った<sup>10)</sup>。その結果、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、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ことが明らかになった。具体的な被害としては、マグネットの移動 (10.8%)、チラーや空調の故障 (8.5%)、急激なヘリウム量の減少 (8.1%)、マグネット装備品の破損 (5.8%) などが報告され、平時と比べて有意にクエンチの発生率が高かったことも確認された。また、半数の施設が震災発生後 3 日以内に検査を再開させているが、MR 装置メーカーが 3 日以内に復旧作業を開始できた施設は 3 割程度であり、4 割の施設で MR 装置メーカーによる点検作業を待てないので施設スタッフによる点検で検査を再開させたことが分かった。このような実情も、震災後医療の特徴と言え、MR 検査室要員への適切な情報提供と訓練が今後の震災対策の課題と言える。また、人工的なクエンチの発生過程を分析する試験研究を実施し、クエンチを起こしたマグネット周囲で起きる現象を観測して、実際のリスク要因を整理した。

本年度は平成 24 年度の調査研究の結果に基づき、発災時の緊急対処、平時の防災対策、MR 装置の緊急停止ボタンの仕様の統一に関する 2 指針 1 提言の策定 (分担研究 1)、震災発生後における MR 装置の復帰手順の研究 (同 2)、医療従事者の MR の安全に関する基礎知識の実情調査 (同 3)、東南海地区

における MR 検査室の防災対策に関する詳細調査と東日本大震災の調査から得た情報の普及 (同 4)、クエンチ発生の予防に関する調査研究 (同 5) の 5 課題を実施した。

## B. 研究方法

### 研究体制

平成 25 年度は以下の体制で調査研究を進めた。研究分担者 (コアメンバー) 5 名に加え、準コアメンバー 3 名、東北・関東の太平洋沿岸 7 都県 (岩手、宮城、福島、茨木、千葉、東京、埼玉) 各 2 名、中部 7 県 (富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重) 各 2 名、南海 3 県 (和歌山、徳島、高知) 4 名の研究協力者、超伝導工学グループ (物質材料研究機構、3 名)、総計 43 名で調査研究を実施した。また、策定しようとする指針に対する客観的評価を得るための「MR の防災に関わる専門家会議」の専門委員 7 名、特別委員 2 名から貴重な情報とご指摘をいただいた。

### 研究項目

平成 25 年度は、MR 検査室の震災対策のための指針を整備するだけでなく、東南海地区に震災被害の詳細やリスク因子に関する情報を提供し、防災に向けた活動を支援することも活動の目標とした。そのために以下の 5 課題の分担研究を行った。また、それぞれの分担研究の中で重点的に検討すべきと考えられる技術的な 5 テーマを取り上げて調査班内に横断的な分科会を構成し、検討を進めた。

- ① 緊急停止ボタンの規格標準化 (分担研究 1)
- ② 免震技術・設置上の課題 (分担研究 1)
- ③ 発災直後の緊急対応訓練 (分担研究 1)
- ④ 標準的な復帰手順の策定 (分担研究 2)
- ⑤ 緊急地震速報の活用 (分担研究 4)

(1)「MR 検査室における震災対策 – 防災対策と緊急対処のための2指針1提言について」(国立長寿医療研究センター、中井敏晴)

平成24年に行ったMR検査室の震災被害調査<sup>10)</sup>の結果を基にして、平成23年3月15日に公表した緊急提言(災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言)を改訂した「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」と、MR検査室における今後の防災対策で重要と考えられる事項を集成した「MR検査室の防災指針」の2指針の原案を作成し、1)今回の大震災による被害状況について熟知しているMR検査の当事者(調査班員や、その協力組織)、2)必ずしも大震災による高度の被害を体験していない日本磁気共鳴医学会会員全般、中部、東南海地区(9県)の本調査研究の協力者、3)医療、建築、防災等が専門の外部有識者(MRの防災に関わる専門家会議の委員)、4)MR装置の製造メーカー5社、の独立した4体制で指針案を検討した。

磁気共鳴医学会会員全般からの意見募集は第41回日本磁気共鳴医学会大会で指針原案を配布し、その内容の説明とパブリックコメントの募集を行うワークショップを開催した。MR装置メーカー5社からは、指針に対する意見に加え、マグネットの設置方法、火災への対処、液体ヘリウムの減少特性等、MR検査室の防災対策に関連する10項目についての情報提供を依頼した。MR装置の緊急停止システムの仕様統一については、MR装置5社が現時点で販売している代表的なMR装置に装備されている各種緊急ボタンの仕様調査とその比較検討を行なった。MRの防災に関わる専門家会議では、放射線医学、生体計測、電気工学、建築学、防災学、地震観測の各分野の有識者を委員として選任し指針案に対するご意見をいただいた。以上の手順に

より作成された最終案は日本磁気共鳴医学会に報告され、確認された。

(2)「東日本大震災によるMR装置の被害状況からみた発災後のMR装置の復帰手順に関する検討」(東北大学大学院医学研究科 町田好男)

平成24年度に実施された東日本大震災でのMR被害のアンケート調査報告<sup>10)</sup>とその後実施した宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査(聞き取り調査)結果を基にして、震度と復旧・復帰の関係、復帰や機器装置の安全な保安全管理上で注目される事項、検査の休止期間と診療への影響、安全維持に関する被害施設からの自由意見を詳細に検討した。また、国内の主なMR装置販売メーカー5社からのヒアリングを行い、各メーカーのユーザーに対する防災情報発信状況や復帰に対する立場等について検討し、特に復帰手順の作成指針に有用と思われる事項を抽出した。以上の調査結果をもとに、復帰手順作成に関するチェック項目のリストを作成した。

(3)「医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査-MR装置の安全に関するリスクコミュニケーションと震災時にすべき事項-」(労働安全衛生総合研究所 山口さち子)

医師、看護師、診療放射線技師を含む医療職246人を対象として実施したMRの安全に関する設問への回答を解析対象として、医療職の職種とMRの安全に関する基礎知識の傾向を分析した。この調査は、医療施設の管理者やMR検査の担当者がMR検査室を管理する上で、施設に勤務する他の医療従事者にどのようなリスク因子があるかを明らかにし、震災時にMR検査室で起こりうるリスクの予測に資するものである。

調査票は、回答者の基本属性(年齢、性別、職

種)とMR検査の経験有無、MRIの安全に関する20の質問事項から構成され、「聞いたことがあり内容も理解している」、「聞いたことがある」、「断片的に聞いたことがある」、「知らない／初めて聞いた」の4段階で評価した。一次集計後、職業に関しては、診療放射線技師群とその他医療職群の2群として扱った。また、過去のMR検査の有無に関しては、MR検査の専門知識を有しない集団における影響を検討するために、その他医療職の集団の該当者のみ、経験なし群として取扱った。全回答、職業別、MR検査を受けた経験あり／なしの各集団における尺度得点を算出し、職業及びMR検査を受けた経験あり／なし間の平均得点について、それぞれ *t*-test で有意差検定を行った。続いて、各設問の得点に関連する因子を検討するために、主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。職種(診療放射線技師、その他医療職)又はMR検査を受けた経験(あり、なし)別に下位尺度得点を求めた。下位尺度得点の統計解析は、各集団の因子間の平均得点について、職種(診療放射線技師、その他医療職)又はMR検査を受けた経験(あり、なし)それぞれについて二元配置分散分析を行った。下位検定として、交互作用に有意性が認められた場合、因子ごとの対応について *t*-test を行ない、有意な因子の主効果が認められる場合には、Tukey-kramer の検定を行った。

(4)「震災時のMR検査室の防災対策について」(名古屋大学大学院医学系研究科 磯田治夫)

東日本大震災の調査結果から得られた情報<sup>10)</sup>を活用して、首都直下型や東南海地震を念頭においたMR検査室の防災対策に役立てるために、以下の調査研究を行なった。①パブリックコメント募集：第41回日本磁気共鳴医学会大会(徳島)にお

いてワークショップを開催し、今回策定する指針への意見募集に加えて、開催地周辺の南海地区でのMR検査室に関する防災対策の概況調査を行う。②緊急地震速報(Earthquake Early Warning; EEW)の有効性に関する調査：東日本大震災の発生時に緊急地震速報を受信していた施設を対象として、その設置状況や施設内での利用形態、東日本大震災の発生時において確認できた有用性、緊急地震速報の利用を前提とした防災訓練、小さい地震の受信や誤報への対応状況などについての詳細調査を行う。③東南海地区におけるMR検査室の防災対策の状況調査：中部地区7県(富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重)と南海3県(和歌山、徳島、高知)の10県でMR装置を保有する施設を対象として、MR装置の設置状況、MR検査室の防災計画の状況、緊急地震速報の利用状況に関する調査を行い、津波被害のリスク予測や防災体制の整備を考える上での基礎情報を整備するとともに、調査対象地域に対して東南海地震を念頭においた啓蒙活動を行う。

(5)「超伝導型MR装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための工学的情報について」(物質・材料研究機構 野口隆志)

2012年度のMR検査室の被災調査結果<sup>10)</sup>で課題として残った「何時クエンチに至るかが分からない不安」や「何を施せばクエンチ発生を回避できるか分からない不安」などのMR検査室担当者が抱える問題の背景要因の分析と、物理工学的な検討、それらの課題を念頭に置いたMR装置撤去作業(強制クエンチ実施)の立会調査を行った。またMR装置製造メーカーの聞き取り調査から得られた情報に対する物理工学的な検討を加え、MR検査室の安全管理に必要な物理工学的な事項を整理し、防災

指針に反映させた。

### （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、回答票の提出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。また、東南海地区の MR 装置保有施設の調査については、別途、分担研究者が調査研究に関する倫理審査（名古屋大学）を受け承認を得た。

## C. 研究結果

（１）「MR 検査室における震災対策 - 防災対策と緊急対処のための 2 指針 1 提言について」

「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」と「MR 検査室の防災指針」の 2 指針の最終案は、日本磁気共鳴医学会の安全性評価委員会で審議された後、同理事会での審議に託されて最終確認を行って決定され、平成 26 年 1 月 15 日に同学会ホームページより公知された。

MR 装置メーカーからの意見聴取の結果判明した主な事項は以下の通りである。今回の東日本大震災において MR 装置メーカーの視点から見て課題となった事項としては、①インフラ（電源、交通、通信）障害の回答が最も多く、次いで②原発による立ち入り制限や、③津波の影響が指摘された。マグネットの設置方針については、アンカー固定を原則としているとするメーカーと、非固定が原則とするメーカーがあり、前者はアンカー固定による被害拡大の事例の報告は無いとしている。非固定が原則のメーカーは、マグネットの移動によ

り発生した被害回復の負担についてケースバイケースでの判断としている。

火災発生時における「MR 装置への対処」については、その対応事項はユーザーや消防等の判断事項であり、装置の取り扱い説明としての範囲を超える部分についてはメーカーとしての関与は行っていないこと、強制クエンチは人命救助や消火活動に必要とユーザーや消防等が判断する事項であること、が MR 装置メーカーの共通認識であった。クエンチボタンの動作保証については、点検時に実際にクエンチを発生させない状態での回路の動作確認までは可能であるが、その先については完全に保証できない、自然災害により発生した事項については保証の対象外である、強制クエンチ後の復帰費用は原則ユーザー負担であること、などが MR 装置メーカー共通の見解であった。超伝導型マグネットの仕様についての情報開示については、マグネットメーカーが公開している情報以上の情報は出せないが、それぞれのユーザーが所有する装置については一定の情報提供の可能性について検討する余地はあるとの姿勢であった。このように、震災における MR 装置の使用者責任と装置の品質保証の関係については、ユーザーとメーカーの間に立場の違いがあり、今後の検討が必要と考えられる。

今後予想される東南海地震、首都直下型地震を想定したユーザーへの情報提供の方針は、①MR 装置の復帰についてはメーカーのサービスマンとの連携してほしい、②メーカーのホームページを利用した社会全般への啓蒙としての情報発信などに努めている、しかし、③東南海地震、首都直下型地震への具体的な対策については今後の課題も残っている、などの回答が寄せられた。

(2)「東日本大震災による MR 装置の被害状況からみた発災後のMR装置の復旧手順に関する検討」

平成24年度のアンケート調査結果の分析結果<sup>10)</sup>から、復旧にかかわる重要なポイントをピックアップした。震度と復旧状況との関係については、当日復旧は、震度 6 で 10.4%、震度 5 で 32.5%、震度 5 未満で 45.5%、復旧 1 週間以上は、震度 6 以上 36.8%、震度 5 以下 9.1%であった（有効回答数 371）。メーカーによる復旧作業開始期間、また機器が使用可能となる復旧期間（有効回答 471）では、いずれも震度上昇と関連し有意な復旧遅延が認められた（ $\chi^2$ 乗検定  $p<0.001$ ）。復旧の担い手と震度との関係では、有効回答 440 件のうち、復旧再稼働の担い手が病院スタッフのみとした回答数は 178 件で、震度 5 および震度 5 未満でその割合が高かった。MR 装置メーカーによる再稼働あるいは再稼働不能は、いずれも震度 6 以上で有意に増加であった（ $\chi^2$ 乗検定  $p<0.001$ ）。内容として「MR 装置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）の報告がされた。

「復旧に関して困ったこと」への自由記載では、「メーカー関与の不在、不通」が最多で 22 件であった。福島県では原発事故、岩手県では停電やインフラ障害などを理由とした割合が高かった。復旧手順に関する意見では、「停電時も磁場があること、MR 従事者以外でもわかる管理手順、クエンチへの外部関係者への説明」など、当事者以外にむけた外部に対する情報発信に関した内容についての記載があった。また、「強制クエンチのタイミング、テストスキンの評価」など、判断や行動指針に関するもの、また、「わかりやすいマニュアル、フローチャートでの図式化や暗闇を前提にした判読できるマニュアル、など専門担当以外でも

わかりやすいマニュアル作成様式への意見が寄せられた。

宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査（聞き取り調査）から得られた、今後の様々な災害、被害を想定した自己復旧および安全維持管理から再稼働にむけた復旧手順の手順作成につながる論点についての抽出を行った。その結果、①震度を反映した復旧手順を作る必要があるのではないか、②ユーザーが確認できる震度、酸素濃度計の値、ヘリウム残量、マグネットの内圧など被害時の指標を復旧手順フローにどう活かすべきか、③クエンチ発生リスク指標とするために必要なことは何か、恐れがある場合の優先チェック項目とその後の対応方法は何か、④MR 装置の重大被害、稼働してはいけない禁忌項目は具体的に何か、⑤自己復旧対応、サービス関与までの安全装置維持管理の手順としてサービスとユーザーの対応、分担をどのように区別していくか、⑥津波、洪水、高潮、施設配管破断含め防水対策、安全管理として共通する項目はあるか、⑦マニュアル周知と徹底をどうすべきか、等の課題が抽出された。

MR 装置メーカー各社からは、復旧に関連した資料がユーザー向けに発信（配布）されていた。これらの資料は、概ね、日本磁気共鳴医学会から公表された緊急提言に沿っており、これを各社の実情に合わせて改定したものが多かった。また、災害時という特殊な環境であっても再稼働については、ユーザーによる自己点検判断の復旧はすすめられないとするメーカーもあった。聞き取り調査において、特に不安であるとの意見が多かったヘリウム残量管理に関する情報提供についても、各社とも、ユーザーとの個別的情報であり普遍的な対応は難しいという立場であった。装置の点検は、サービスマンが行うというのが原則であるという

前提に立った回答となっていた。実際の災害においては、サービスマンとの連絡の遅れが深刻な問題の一つとなっていたことを考えると、何らかの有効な提案が必要と考えられた。

以上の結果をもとに、復帰手順に関するチェック項目のリストを作成した。このリストは、既に震災時の安全確保として引地らによりまとめられた報告書<sup>11)</sup>の中の図「災害時におけるMR装置の安全管理の流れ」を全体の基本フローとして、その中の「2. 被災状況分類」における5つの分類の下位に位置づける形で作成し、被害状況に応じて重要と考えられる事項を集約した。

### (3)「医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査」

MRの安全に関する基礎事項の認知度に関する設問への回答者の職種は、診療放射線技師 51 名、その他医療職（医師 17 名、看護師 40 名、臨床検査技師 11 名、臨床工学技士 104 名、その他 18 名）であった。過去の MR 検査の有無：検査経験あり 125 名（125 名中、その他医療職は 87 名）、検査経験なし 83 名（同 74 名）であった。

職種別の得点では、診療放射線技師群がいずれの項目においてもその他医療職群より高得点で、かつ、平均得点は 3 以上であった。平均得点 4（全員が「聞いたことがあり内容も理解している」）も、5 項目であった。その他医療職群においても、後半で得点の低下傾向が観察された。いずれの設問においても、診療放射線技師群とその他医療職群の平均得点について、予想通りの統計的有意差が観察された（ $t$ -test、 $p<0.001$ ）。その他、医療職群で過去に MR 検査を受けた経験の有無について回答のあった集団を対象に同様に解析したところ、火災発生リスクに関する設問を除いて、いずれも

経験あり群が高得点を示した。特に、MR 検査による火傷のリスクについては強固な統計的有意差（ $t$ -test、 $p<0.001$ ）が検出された。

各設問の得点に關与する因子を検討するために、因子分析を行った。2 つ以上に負荷する項目や、十分な負荷量を示さなかった項目を除外しながら因子分析を繰り返し 3 因子が抽出された。これらを設問内容より、Factor1：「検査に関する安全の認知度」、Factor2：「磁界に関する安全の認知度」、Factor3：「MR 装置に関する安全の認知度」と命名した。

続いて、各因子の下位尺度に含まれる項目平均値を下位尺度得点とした。まず、各因子の平均得点と職種（診療放射線技師、その他医療職）について二元配置分散分析を行った結果、因子、職種の主効果と交互作用に有意差が観察された（全て  $p<0.001$ ）。因子の主効果について下位検定を行ったところ、Factor2 が最も高得点を示し、Factor1 と Factor3 の間で有意差が観察された（Tukey-kramer、 $p<0.05$ 、 $p<0.001$ ）。

職種の主効果については、診療放射線技師の全ての因子得点はその他医療職より有意に高値を示した（Tukey-kramer、 $p<0.001$ ）。MR 検査をうけた経験あり／なしについても同様に検討を行ったところ、交互作用は観察されなかった。因子の主効果について検討を行うと、Factor2 が最も高得点を示し、Factor2 と Factor1 及び Factor3 の間で有意差が観察された（Tukey-kramer、 $p<0.001$ ）。経験の有無については、図示的には両群の差が小さかったが経験の主効果は観察された（二元配置分散分析、 $p<0.01$ ）。

#### （４）「震災時の MR 検査室の防災対策について」

41 回日本磁気共鳴医学会大会の出席者（平成 26 年 9 月 21 日、徳島、1421 名）に対して準備された 1200 部の指針案を配布した。参加者から得られた主な意見としては、指針の周知を徹底するための提案、復帰手順の模式化、被害事象の把握方法の詳説希望、指針の読み方に関する留意事項の周知、MR 装置の緊急停止システムの仕様統一の必要性などが寄せられた。緊急地震速報の有効性に関する調査では、緊急地震速報を活用していた 3 施設のいずれでも、緊急地震速報により本震が到達する前に患者搬出の体制に入ることができた事が報告され、特に、事前訓練を行っていた施設では、訓練通りの行動に入る事ができた事が分かった。東南海地区における MR 検査室の防災対策の状況調査では、緊急地震速報システムを導入している施設は一部であること、1982 年の建築基準法改正以前の建物に設置されている MR 装置が存在すること（一部、耐震改修済み）、過半数の MR 装置で非常電源への切替設定がなされていないこと、ほとんどの施設で停電時に液体ヘリウムのモニタが不可能であること、海岸に極めて近く標高が 10m 位置に設置されている MR 装置が多数存在すること、などが判明した。

#### （５）「超伝導型 MR 装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための工学的情報について」

MR 装置の超伝導マグネットは、液体ヘリウムでの十分な冷却状態が常に必要となる。十分な冷却状態は、液位が許容最低液位以上に貯蔵されていることで確認する。ほとんどの MR 装置の超伝導マグネットで使用されている液体ヘリウム液面計は、連続表示型超電導式液面計が用いられており、専用の電源が必要である。しかし、液面計の停電時

の動作について MR 装置メーカーの回答は様々であり、バッテリー駆動が可能な装置はなく、単独電源で駆動可能であるとの明確な回答も無かったので、病院の非常電源の利用も困難な状況である。液面計が稼動できない場合も、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性から、現時点の液位予測はある程度可能である。しかし何らかの異常があった場合には、日頃の液位減少特性は変化するので、液面計の単独動作機能は重要であると考えられる。また平常時の液位推移記録が参考にならない場合の、異常時の液位変化特性についても明確な回答を数値で出せるメーカーは無く、冷凍機停止後、数日は液位がクエンチ発生下限界を下回ることはないなどの表現であった。装置ごとに固有の液位減少速度変化を持つことから、一概に参考データを示すことはできないなど、ユーザーが必要な情報が十分に得られない状況であることが分かった。

被災時の超伝導マグネットの状態診断には液体ヘリウム槽の残留液量(液位)の確認と同時に、液体ヘリウム槽の内圧確認が必要となる。また内圧に何らかの異常が確認されたら、クライオスタットからの内圧放出配管周辺の様子を観察する必要がある。それら圧力計、内圧放出配管類は MR 装置のマグネットカバーの内側にあるタイプの装置が増えているが、各社各様であり、取り付け取り外し要領も異なっている。メーカーが提供するメンテナンスマニュアルにはその手順が記載されているものの、大半は手間のかかる作業であり、液体ヘリウム槽内圧と内圧放出配管周辺を日々安全点検し記録する上での障害となっている事が聞き取り調査の結果、判明した。

## D. 考察

大震災においては、それぞれの施設の震源地からの距離、立地条件や建物構造によってさまざまな被害状況が発生する。震災によりMR装置に発生した被害の内容や程度だけでなく、他に優先すべき事項の有無、建物構造やMR装置の仕様など施設固有の条件、発災の時間帯やその時点でのMR検査室における体制、停電やその他のインフラ障害の有無、その他の偶発的な事項などから優先順位づけを含めた総合的な判断が求められる。あらゆる場合を想定して防災手順を組み立てることは困難であることを踏まえて、指針に記載すべき事項を絞り込んだ。

従来の地震対策は建物の耐震化と転倒の可能性がある機器や什器類の固定が中心であったが、今回の東日本大震災のような超大型の震災では、想定を越えた被害が発生した。MR検査室に関しては、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。阪神・淡路大震災の調査報告でも、医療機関のMR 担当者から業界への要望事項として「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<sup>12,13)</sup>、残念ながら東日本大震災が発生するまでの間に具体的な対策がなされるには至らなかった。

今回の指針策定を通して判明した事項のひとつは、一般の事業所と異なり、医療機関は震災による業務休止がもともとありえないどころか、むしろ業務量が増加するという点が、医療分野以外ではあまり認知されていないことであった。医療機関に設置されている機器類は、どれもこれもそれ

なりの必要性があって存在し、その必要性は震災によって増えることはあっても、減る場合は少ない。医療機器のほとんどは何ヶ月も使用を休止することが困難である。また、近年は建築技術が進歩し、特に、免震建築の場合は大震災に見舞われても大きな被害の発生は無く、病院の機能がほぼ保たれる。一方で、耐震構造の施設では建物の大きな破損は無くても、内部に設置されている機器類は一定の損傷を受ける可能性がある。このように、震災による被害の発生状況が多様化しているが、今回のような大震災においては、被災地への全体的なアクセスが広範囲に渡って遮断されたために、MR装置に被害が発生していない施設であっても、メーカーのサービスマンがなかなか来訪できない状態になったものと考えられる。また、MR装置の実数自体が非常に多くなっており、主要都市から離れた地域の中小の医療機関にも多数設置されており、全国津々浦々にMR装置が配置されている状況である。

東日本大震災においては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」ことが判明している<sup>10)</sup>。52.7%の施設が3日以内に装置の再稼働を行っているが、メーカーによる復旧作業が発災後3日以内に開始されたのは29.4%の施設であった。東日本大震災のような広範囲に被害を及ぼす大震災では、同時多発的に被害が発生するだけでなくMR装置メーカーの拠点も被災するので、普段のようなサポートの実施が不可能になる。自社社員による復帰が原則であることを強調するメーカーもあるが、このようなMR装置の使用者(医療施設側)とメーカーとで立場が違う事項については、装置導入の段階からよく検討、協議しておくべきであろう。



MR装置の復帰に向けた作業は、単に早急に復帰を必要とする震災後医療のニーズだけでなく、実際には甚大な広域災害が発生した状況において、サービスマンが来られない状況での二次災害防止、被害の拡大阻止にむけた保安全管理と表裏一体のものである。本調査研究では、可能な限り共通の作業プロセスを抽出するべく検討を試みたが、被害状況、施設の体制やMR装置の仕様、MR装置メーカーの考え方などの複数の要素が合わさった結果、最も妥当なプロセスが決まると考えられ、全ての場合に当てはまるフローチャートを作ることは困難であろう。MR装置メーカーとも十分に協議し、各施設において施設の実情を考慮した実践的なフローチャートを作成していただかなくてはならないが、本報告で提示するリストは、そのスターティングポイントと考えていただきたい。さらには、震災後の状況を把握しながら、その場で修正を加える必要が生じる場合もあろう。発災時にまずとるべき緊急的な対処としては、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③2次災害の防止、④MR装置の保全措置の4項目が挙げられるが、③、④の措置を講じるためには被害状況の把握と分類が重要である。MR検査室だけでなく、施設全体の被害や電源、水道、通信等のインフラ障害の状況も把握し考慮に入れなければならない。

MR装置の復帰は、MR装置の使用者（医療施設側）とメーカーとで、立場が違ふ事に留意すべきであろう。MR装置のメンテナンスはMR装置メーカーによる保守サービスに依存しており、MR装置メーカーは製品が仕様通りの動作をするように品質保証を行う責任があるが、一方で、医療機器としての安全管理の責任は使用者側にある。MR装置にかぎらず、医療機器の使用者がその安全確保の措置を講じる上で必要とする情報は機器メーカー側が持

っているという情報の非対称性がある。従って、ユーザー側が安全管理のために必要とする情報は適切に開示されなければならない。例えば、最近のMR装置はマグネット上部にもエンクロージャ（マグネットの覆い）で覆いをするデザインのものも多く、マグネット上部にある冷却システムや排気管の様子を目視確認ができない。マグネットの表面観察や圧力計の数字も、エンクロージャを開けないと点検できない機種もある。震災後は、マグネットの目視確認を一刻も早く行うべきであるが、実際にメーカーのサービスマンが来訪不可能な状況において、使用者側でエンクロージャの取り外しを行えず、その結果マグネットの状態確認が行えないために、結果として事態を放置することになれば、医療サービスを受ける患者も含めた使用者側にとっての不利益となりうる。あるいは、冷凍機が停止した状態での液体ヘリウムの減少曲線も、クエンチによる被害防止という点からユーザーが安全管理のために必要な情報と言える。保守サービスが円滑に行われている平時と異なり、震災後医療においてはこの情報の非対称性が問題となることに注意すべきであろう。

また、地域の基幹病院、震災拠点病院となっており建物も十分な地震対策がなされている場合は震災後医療を担う必要からMR装置についても早期の復帰要請が強く、これは震災対策における社会的な要請でもある。大規模病院でスタッフの熟練度が高い場合はユーザーによる復帰の潜在的能力が高いと考えられる。ユーザーによる復帰の可能性はそれぞれのユーザーとメーカーの関係による場所が大きいと考えられる。MR装置メーカーからのヒアリングでは、自社社員による復帰が原則であることを強調する回答もあったので、事前にメーカーとよく協議の上で、発災後に何をどこま

で実施するかを検討して、個々の施設で手順を定めるべきであろう。

MR装置そのものについては、決して技術的には難しくないにも関わらず、未だに実装できていない項目として、①停電時にMR装置の冷却系電源を非常電源に自動的に切り替える準備、②停電下でもヘリウムメーターが使用できるような予備電源（バッテリー、非常電源の利用）の設置、③ヘリウム残量を毎日自動的に記録、送信するデータロガー、④緊急地震速報による撮影の自動停止装置、などがあげられた。いずれも技術的には実現困難とは考えられず、早急の対応を期待したい。緊急停止ボタンの仕様統一については、工業規格としての統一までには時間がかかると予想されるので、是非とも標準のシールを制定するという現場での取り組みを進めたい。

震災後にMR装置が原因となる二次災害を防止するために重要な事は、MR検査室の適切な管理と状況のモニタリングであるが、そのためにはMR検査室の担当者や放射線科のスタッフだけでなく、その周囲で勤務する医療スタッフも基礎的な事項を理解しておく必要がある。特に、震災後には怪我人や急病患者、外部からの支援要員だけでなく、医療施設を一時的な避難所と考えて来訪する人も出てくるため、医療施設内は混雑するので、注意が必要である。従って、放射線科スタッフ以外の医療職が、MRの安全に関してどの程度の知識を持っているかが分かれば、危険予測やその対策を考えるうえで有用である。

MR装置で静磁場が利用され、鉄などの金属が磁界によって引き寄せられることがよく知られている。一方で、MR装置は検査時以外でも磁場を発生していることは必ずしも樹分に認識されておらず、吸引事故の原因となっている。このように、MRIの

安全に関しては、認知度の高い事項とそうでない事項が存在することが予想されていた。本調査研究では因子分析の結果から、認知度の背景には3因子が検出された。

Factor1：「検査に関する安全の認知度」にはいくつかの要素があるが、近年は「MR適合性」への関心が特に高い。

Factor2：「磁界に関する安全の認知度」に関しては、高磁場環境における磁性体の吸引事故は非常によく認知されていた。しかし、MR装置への磁性体の吸引事故はしばしば発生しており、診療放射線技師以外の職種が吸引事故の発生者であることが少なくない。

Factor3：「MR装置に関する安全の認知度」については、「検査に関する安全の認知度」と同程度の認知度であった。

この中で、Factor2とFactor1及びFactor3間で大きな認知度の差異が表面化した。当初の予想通り「磁界に関する安全の認知度」に関連する事項はどの集団においても最も得点が高いが、一方で電気設備やクエンチといった「MR装置に関する安全の認知度」と実際の検査に関連する「検査に関する安全の認知度」の認知度は低く見逃されがちであることが明らかとなった。また、検査を受けた経験の有無と因子に関する二元配置分散分析の結果からは交互作用は観察されなかったが、経験の有無の主効果は観察されたことから、MR検査を受けた経験は安全意識の向上に一定の効果があるものの影響は限定的であると考えられた。

病院の医療安全体制の状況をみると、医療安全管理委員会や研修の体制は、ほとんどの病院で整備されているが<sup>14)</sup>、実際の管理は職種ごとの責任者が行っており、研修対象者は当該医療機器に携わる医療従事者のみであることがほとんどである。

しかし、震災後医療においては、検査担当者も含めて医療職にある者への負荷が大きく、さらには経験の無い業務に就かざるをえない状況も考えられるので、潜在的にヒューマンエラーが発生しやすい状況と理解すべきであろう。従って、MR装置を扱うスタッフだけでなく他科の医療スタッフともMR適合性の注意意識を共有すること、MR適合性に関する医療従事者間の意識ギャップを念頭に置いた検査体制の充実を病院全体の課題として検討することが重要と考えられる。

緊急地震速報は、第一波の本震が到達する前に一定以上の震度を有する大型の地震発生を知る事ができるシステムであり、気象庁が開発し、気象業務法において気象庁による予報および警報として位置づけられている。東南海地区における緊急地震速報の導入はまだ限られており1割に満たない状態であるが、院内自動放送システムを装備している施設もあり、医療施設としての導入が始まっている事が確認できた。危機管理においてはインフラの整備だけでなく速報の着信時の対応手順の作成や訓練の実施等、情報を最大限に活用するための日々の積み重ねが重要であり、今後は、緊急地震速報を導入している施設をモデルケースとした啓蒙事業が重要と考えられる。MR装置に限らず、医療機器の管理全般への応用が可能と考えられ、今後の研究開発が期待される。

災害マニュアルは大半の施設で整備されているが、その中でMR装置への対応についての記述があるとする回答が4割を占めた高知県の例が目立った。平成24年度の震災被害調査では、災害マニュアルにおけるMR装置への対応については、調査項目としては調査していないので直接の比較はできないが、今後の災害対策についての自由回答106件中で、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）などの項目が上位を占めていたので、MR検査室について具体的な記述のある防災マニュアルの必要性を感じている回答者の認識が反映されたものと考えられる。また、その後実施した東北3県での訪問調査ではMR装置の防災対策に関するマニュアルが東日本大震災前にあったかどうかを尋ねたが、回答を得た30施設の中で、そのような記述があったとする施設は無かった。状況からの推測になるが、上記ワークショップを南海地区で開催し、防災指針策定の必要性をアピールした効果がすでに反映されているのではないかと推察される。

クエンチ対策は震災後、特に停電が続く状態におけるMR装置の安全管理で留意すべき事項である。聞き取り調査の結果、MR装置メーカーも、震災後におけるマグネットの状態を定量的に評価するための情報を十分に把握していない事が伺えた。例えば液位下限界については、RM装置メーカーすら経験的にしか承知していないケースが多く、ましてや公式な提供数値の提供は不可能な様子であった。低温工学的に解釈を施しても、関係する条件が多く一般化は難しい。例えば液面計による液位表示にしても、メーカーが違えば同じ管理数値は適応できない。このような、製品固有の特性を規格化することは容易では無いが、現状への対応として、ある程度の参考値が提供されれば、MR検査室の安全管理の上での意味合いは大きい。

設置環境の被災程度にもよるが、MR装置の被災状況が軽度と推定される場合であれば、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性から、現時点の液位予測は可能である。「液位ログシート」を用意して定期的な記録付けを推奨しているメーカーもある。日常

的な点検においては、何らかの異常がクライオスタットに生じた場合、それが熱進入量の増加、シールド冷凍機的能力低下など、液体ヘリウム減少速度に関係するか否かの推定は可能で、液位記録のグラフに異常が発見できる。被災時の判断には、さらに詳細な記録分析が必要となる。すなわち熱侵入量増加や冷凍機能力異常の有無の判定だけではなく、その増加や異常が進行しているか否かも分析し判断する必要がある。液位減少速度の時間変化の記録が必要となるので、記録間隔を1時間程度にする必要がある。正常であるとの確信が持てるまでこの記録を取り続け、液位減少速度に変化が無いことを確認する必要がある。一方で、4 K(ケルビン)の冷却が可能な冷凍機が搭載されている場合は、冷凍機は常に最大冷凍能力で液体ヘリウムの蒸発を抑えている。液体ヘリウム槽内圧の変化は、その一定の最大冷凍能力(ワット)に対して、熱負荷の増減を示すことになる。その冷凍能力は冷却している対象物の温度によって多少異なる。従って、普段の液面変化のデータからは大まかな異常診断にしか適応できず、被災後の液面実測が不可欠と考えられる。このようにマグネットの詳細な観察が必要であるが、震災後の混乱状況においては、検査業務が一時的に中断していたとしても、MR検査室の担当者にとって、詳細な記録作業の負担は大きいと考えられるので、このようなロギングの停電対策と自動化が望まれる。

## E. 結論

今回の東日本大震災では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明らかになった。

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も含めた総合的な点検が必要である。このような事態に対応するために、平成24年度に行ったMR検査室の被災調査の結果を基にして、「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」、「MR検査室の防災指針」、「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の2指針1提言を策定した。

指針の策定にあたっては、分担研究により判明した以下の事項を反映させた。震災後のMR装置の復帰は、震度の上昇にともなって復帰が遅延し、メーカー関与が高くなる傾向が認めれた。復旧に関して困ったとした事項としては「メーカー関与の不在、不通」が最多の意見であった。従って、被害状況分類による個々の点検チェックを行い、二次災害防止にむけた保全管理を行うための汎用手順が必要となり、MR装置メーカーとも相談の上、各施設の実情を反映した手順書を準備すれば有用と考えられる。

医療従事者全般のMRの安全に関する知識の傾向分析を行ったところ、MR装置の発生する静磁場の影響については全般的に認知度が高く、検査の施行に関する事項については、過去にMR検査を受けた経験が無い限り認知度が低く、MR装置のハードウェアについては、全体的に認知度は低いことが判明した。医療職全般に対してMRの安全に関する基礎知識を普及させることにより、震災時におけるMR検査室への立ち入り制限や関連する安全管理がより徹底できるものと考えられる。

緊急地震速報は、まだ普及が始まった段階であるが、本震到達までの短時間であっても、検査の中止や患者救出行動の開始など、重要な行動を開始でき、パニックを防ぐ効果もあると考えられ、導入の意義は大きい。今後は、スキャンを自動停

止するなど情報をより多面的に活用するシステム開発が望まれる。

震災後のMR装置の安全管理においては、マグネット本体の状態を詳細に把握し、液体ヘリウムの残量を確認する事が重要である。しかし、停電下でもヘリウムメーターが使えるような設計になっているMR装置は非常に少なく、今後の改良が求められる。

今後の防災対策では、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、⑧MR装置の再稼働前の十分な点検、などが重要項目と考えられる。医療施設が自らMR装置の被災状況を点検する標準的な手順を確立できれば、その安全管理や使用再開の可否がより適切に判断でき、震災後医療への貢献にもつながると期待される。

## F. 健康危険情報

①MR検査室のように1Fに設置され無窓室になっていることが多い場所では緊急地震速報による地震発生の把握だけでなく、津波の危険性について予め検討しておくべきである。

②医療従事者全般のMRの安全に関する知識傾向は、静磁場の影響については全般的に認知度が高く、検査の施行については、過去にMR検査を受けた経験が無い限り認知度が低く、MR装置のハードウェアについては、全体的に認知度は低いので、MR検査担当者はこの点に配慮することが望まれる。

③安全管理のために、MR装置のヘリウム残量が停電時にも確認できるように改良すべきである。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) 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、小山修二、村田和子、水口紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、町田好男 MR検査室における震災対策 - 防災対策と緊急対処のための2指針について 日本磁気共鳴医学会雑誌 (投稿中)
- 2) Yamaguchi-Sekino S, Machida Y, Tsuchihashi T, Noguchi T, Nakai T, The effect of anchoring of MR scanners to prevent earthquake hazards - an analysis of the damages to the 602 MR scanners in Great East Japan Earthquake, ISMRM 22th Annual Meeting & EXHIBITION, Milan, Italy, May 15, 2014
- 3) Nakai T, Maeyatsu F, Adachi K, Musashi Y, Hikichi T, Hishinuma M, Abe Y, Yamaguchi S, Machida Y, Yoshioka K, The Tsunami Disaster and MR Scanners in the Great East Japan Earthquake in 2011. Magnetic Resonance in Medical Sciences 13, 2014 (in press)
- 4) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保、日本磁気共鳴医学会雑誌 34、7-14、2014
- 5) 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、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災の被災地宮城県におけるMR装置被害の実態調査報告、日本放射線技術学会雑誌 (in press)
- 6) 山口さち子、中井敏晴 医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査、労働安全衛生研究 2013 (in press)
- 7) 土橋俊男、地震等の災害時に備えるMRIの機器管理対策 MRI装置の被害状況から考察する機器管理対策と二次被害防止策、インナービジョン 28、54-56、2013
- 8) 引地健生、震災後のMRI対応 第3版 MRI応用自在 メジカルビュー、207-209、2013

- 9) 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
- 1) 野口 隆志、端 健二郎、大木 忍、中井 敏晴 被災時にMR装置の運転・管理関係者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第88回 2013年秋季低温工学・超電導学会抄録集 109 (低温工学 第48巻)、2013年12月5日、名古屋
  - 2) 清野真也、丹治一、町田好男、山口さち子、中井敏晴 東日本大震災におけるMR 装置被害の実態調査 ～福島県調査報告～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、42-3、2013年11月2日 福島
  - 3) 引地健生、前谷津文雄、阿部善弘、菱沼誠、町田好男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災におけるマグネット移動損傷について ～宮城県内84MRI装置の設置方式の違いと強振動による影響～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
  - 4) 阿部書弘、前谷津文雄、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、MR検査における発災時の患者救出について、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
  - 5) 前谷津文雄、阿部幸弘、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、東日本大震災によるMR装置の被害からみた震災後のMR装置の復帰手順、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
  - 6) 磯田治夫 東日本大震災によるMR装置の被災状況、AIMS (Advanced Imaging Multimodality Seminars) Abdominal Imaging 2013 セッション1 造影剤・安全性 (ベルサール汐留) 2013年10月5日
  - 7) 安達廣司郎、武蔵安徳、中井敏晴、東日本大震災でのMRI装置の被害調査 (岩手県の場合) 平成25年度日本赤十字社診療放射線技師会東北ブロック研修会 (八戸赤十字病院) 2013年9月28日
  - 8) 武蔵安徳、東日本大震災によるMRI装置被害調査報告 (岩手県地域) 岩手医用画像研究会盛岡 (岩手県立中央病院) 平成25年10月5日
  - 9) 野口隆志、端健二郎、大木忍 MR 装置の運転・管理者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第41回日本磁気共鳴医学会大会 #0-3-310、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013
  - 10) 石森文朗、土橋俊男、藤田功、栗田幸喜、榊田喜正、松本浩史、砂森秀昭、中井敏晴、東日本大震災におけるMRI装置の被害状況 (関東地区) ～今後の震災に備えた対策、第41回日本磁気共鳴医学会大会 P-2-172、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S418、2013
  - 11) 山口さち子、町田好男、土橋俊男、磯田治夫、野口隆志、中井敏晴、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、第41回日本磁気共鳴医学会大会 P-2-173、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S419、2013
  - 12) 中井敏晴 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
  - 13) 引地健生 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 MR検査室の防災指針、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
  - 14) 土橋俊男 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
  - 15) 木戸義照 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保 和歌山県下におけるMRI装置の状況 大地震および津波による大災害に対する安全対策に向けて、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013
  - 16) 引地健生、山口さち子、中井敏晴、土橋俊男、前谷津文雄、町田好男 東日本大震災の地震動によるマグネット移動の要因解析 -アଙ୍କカー固定の有無と震度について-、第41回日本磁

気共鳴医学会大会 0-3-309、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013

- 17) 磯田治夫、市川和茂、小山修司、中井敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち子、野口隆志、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、第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-311、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S329、2013
- 18) 町田好男、引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治一、中井敏晴、東日本大震災における東北3県のMRI被災調査報告 ～聞き取り調査結果を中心に～、第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-312、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S329、2013
- 19) 前谷津文雄、丹治 一、清野 清也、安達廣司郎、武蔵安徳、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69回日本放射線技術学会総会学術大会 #298、横浜、2013.4.13
- 20) 土橋俊男、中井 敏晴、藤田 功、栗田 幸喜、前谷津 文雄、山口 さち子 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 #299、横浜、2013.4.13
- 21) 引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼 誠、町田好男、中井敏晴 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 #297、横浜、2013.4.13
- 22) 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 #373、横浜、2013.4.14
- 23) 中井敏晴、丹治一、清野真也、石森文朗、砂森秀昭、榎田喜正、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 #374、横浜、2013.4.14

## 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

## 引用文献

- 1) わがこと 防災減災 第1部・あの日何が…  
(1) 石巻市雄勝病院／迫る海、まさか屋上まで 河北新報 2013年01月03日
- 2) その時、看護師、保健師たちは 声をつまらせ  
震災体験語る 東海新報 使命感で救護に奔走 2011年09月30日
- 3) Kanno T, Iijima K, Abe Y et al. Peptic ulcers after the Great East Japan earthquake and tsunami: possible existence of psychosocial stress ulcers in humans. J Gastroenterol 48, 483-90, 2013
- 4) Kishimoto M, Noda M, The Great East Japan Earthquake: Experiences and Suggestions for Survivors with Diabetes (perspective), Kishimoto M, Noda M. PLoS Curr. 2012 May 15 doi: 10.1371/4facf9d99b997.
- 5) Nakamura A, Nozaki E, Fukui S, Endo H, Takahashi T, Tamaki K, Increased risk of acute myocardial infarction after the Great East Japan Earthquake, Heart Vessels. 2013 Apr 20
- 6) Omama S, Yoshida Y, Ogasawara K, Ogawa A, Ishibashi Y, Nakamura M, Tanno K, Ohsawa M, Onoda T, Itai K, Sakata K, Influence of the great East Japan earthquake and tsunami 2011 on occurrence of cerebrovascular diseases in Iwate, Japan, Stroke 44, 1518-24, 2013
- 7) 渡邊 崇, 鈴木寿則, 坪谷 透, 遠又靖丈, 菅原由美, 金村政輝, 柿崎真沙子, 辻 一郎. 東日本大震災前後での自覚症状有訴率の変化-被災者健康診査と国民生活基礎調査の比較-. 厚生労働省の指標 60, 1-6, 2013
- 8) 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
- 9) 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、学研メディカル秀潤社、2010、ISBN 978-4-78090-807-7
- 10) 中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、他 東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
- 11) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保 日本磁気共鳴医学会雑誌 34、2014 (in press)
- 12) 亀井裕孟 阪神・淡路大震災におけるMR 装置の被災状況調査結果. 日磁医誌 15(Suppl) 141-142、1995
- 13) 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)
- 14) 厚生労働省. 平成17年医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告の概要. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/>



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 1.

MR検査室における震災対策 – 防災対策と緊急対処のための2指針1提言について

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

研究協力者 土橋 俊男

日本医科大学付属病院 放射線科技師長

### 研究要旨

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かかわらず、自らも被災し設備の損傷を免れ得ないばかりか、その職員も被災者となる。そのような状況下で、まだ余震が続く中、本来の医療活動に加え震災による傷病への緊急的な対応が必要となるため、医療器機の安全確保は重要な課題となる。MRI装置は国内で6000台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、高磁場、高電圧を用いるため、震災時には医療機関が自ら緊急的な安全管理の手順を確立し、2次災害の発生を防止しなければならない。さらには、被災後にMR装置を安全かつ可能な限り速やかに復帰させ、期待される災害後医療の一端を担うことが求められる。我々は、平成24年度に東北・関東の7都県で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、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明らかにするための調査を行なった。その結果を基に、「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」（震災発生後のMR装置の安全管理）、「MR検査室の防災指針」（MR検査室の防災対策）、「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」（震災などの非常時において、患者を安全に避難させるために操作すべき各種の非常停止ボタンの仕様標準化）の2指針1提言を策定した。医療施設が自らMR装置の被災状況を点検する標準的な手順を確立できれば、その安全管理や使用再開の可否がより適切に判断でき、震災後医療への貢献にもつながると期待される。

## A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では多数の医療機関も被災した。今回の大震災は震災発生後の医療活動において、画像診断機器を使用する上での安全担保について改めて考えさせられる契機となった。特にこの 20 年間の画像診断機器の普及はめざましいが、その間に発生した大地震との違いは、極めて強い地震が東日本の太平洋沿岸部全域に及ぶ広範囲に影響を及ぼしたことと、大規模な津波被害を伴ったことである。その結果、電力、通信、道路などのインフラ障害が広範囲かつ長期間に渡って発生した。最近の画像診断機器は精密な電子機器として複雑化しており、多くの場合その安全管理はメーカーの保守点検による品質管理を前提としている。今回のような大震災において極めて多数の画像診断機器が同時多発的に被害を受け、さらにはインフラ障害のために実際の保守作業が実施不可能になるという状態は未曾有の出来事であったと言わざるをえない。一般の事業所と異なり、医療機関は震災が起きたとしても業務を中止することはできず、むしろ医療ニーズは増大する。震災発生の有無とは関係なく、疾病は一定数発生する。震災が発生すれば受傷者が多数発生し、さらには震災後の生活環境の悪化のために慢性疾患の悪化が起きる<sup>1-5)</sup>。このような震災後医療を担うためには、震災が発生しても可能な限り医療機関としての機能を落とさないようにする日頃の対策が不可欠である。今日の医療においては、画像診断機器があらゆる疾病や外傷の診断や治療効果の判定に不

可欠の存在となっており、震災が発生しても可能な限り速やかに復帰させられれば、その恩恵は大きい。しかし、今回の大震災で見られたように震度 6 や 7 の強い地震の影響を受けた場合、医療機器が外見上明らかに破損していなくても想定外の故障が発生していたり、すぐには異常が明らかにならなかったりする可能性を考慮しなければならない。従って、診療再開の絶対的な必要性という医療機関の立場からは、医療機器の担保が大きな課題となってくる。

MR 装置はさまざまな疾患の診断に不可欠の画像診断機器であり、X 線撮影装置や CT と並んで震災後医療における必要性が報告されているが<sup>6)</sup>、その一方で震災により被害が目立つ画像診断機器<sup>7)</sup>の中でも特に大きな被害が出る傾向がある。さらには、停電が発生しても高磁場を発生し続け、超電導型の装置では超低温であり気化による急激な不活性ガスの発生を生じる液体ヘリウムを使用しているので、震災の発生に際しては二次災害の防止と被害の最小化を考えなければならない。このような物理工学的な理由に加えて、我が国においては特に MR 装置の普及がめざましく、人口 100 万人あたりの設置数が世界 1 であり<sup>8)</sup>、中小病院やクリニックの導入事例が珍しくない<sup>9)</sup>ことも MR 装置の防災対策が重視されなければならない大きな理由である。MRI の稼働台数は 2011 年で、一般病院において 4183 台、診療所では 1751 台、合計 5934 台、そのうち 1.5T 以上の装置が 3448 台となっている<sup>9)</sup>。これほど MR 装置が我が国で多く普及している理由は、設置すれば一定の収益が期待で

きるが<sup>10)</sup>、設置には特に規制が無いことも関係すると考えられる。また、MR 装置導入の決定は、採算性だけでなく施設の意識が関係していることが指摘されており、その理由として対外的なイメージや医師の確保などがあげられている<sup>11)</sup>。

日本磁気共鳴医学会では、発災直後の平成 23 年 3 月 15 日に「災害時における MR 装置の安全管理に関する緊急提言」を公表した。その内容は、MR の安全に関する知識を基に、震災直後の対策として考えられる事項をまとめたものであったが、MR の安全に関する一般的知識を基にして組み立てられたものであったため、その妥当性を検証する必要性が残った。平成 24 年度の本研究事業では、今回の東日本大震災により東北・関東の 7 都県で MR 装置の被害状況や当時の状況についての調査を行い、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明らかにした<sup>12)</sup>。その結果を基にして、平成 25 年度の本研究事業として、発災時の対策である「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」（「災害時における MR 装置の安全管理に関する緊急提言」の改訂）と、大震災を念頭においた対策である「MR 検査室の防災指針」の 2 指針を策定した（資料 1、2）。震災という視点に立つと、MR 装置の安全管理は、1）震災発生前に行うべき防災対策、2）発災直後の緊急対処（危機管理）、3）震災後医療に必要とされる MR 装置の安全な復帰、の 3 段階に分けられるが、この 2 つの指針でこの 3 段階全体をカバーする。

また、発災時に MR 検査中の患者を安全に避難させるためには緊急用の非常停止ボタンや操作ボタンを的確に操作しなければならないが、現状ではその仕様が統一されていない。MR 装置には他の医用機器に比べ非常用の緊急停止ボタンや緊急操作ボタンの種類が多く、複数の離れた場所に配置されている。その現状調査を行い、標準化の提案と短期的な対応策を検討した。

## B. 研究方法

平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、同 3 月 15 日に日本磁気共鳴医学会から「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言」が公表された。平成 24 年 6 月から 8 月の期間には、震災により MR 検査室に発生した被害調査を行なった<sup>12)</sup>。その結果を基にして、上記緊急提言を改訂した「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」と、MR 検査室における今後の防災対策で重要と考えられる事項を集成した「MR 検査室の防災指針」の 2 指針の原案を当調査班において作成した。指針を 2 つに分けた理由は、緊急時の対処と平時における防災対策は内容が異なり、関係者が置かれている状況や判断の基準が異なるので、それぞれのフェーズにおいて重要な事項を区別する必要があるためである。この原案を図 1 に示す手順で検討を進め、案文の修正を行った。

ガイドライン策定にあたっては以下の点に留意した。①具体的な数値情報や事実関係が公開されている客観的事実に基づいていること。②具体的なリスクを想定した内容であること。③具体的手段や手順を明示することに

より現場にとって実施可能な内容であること。

④防災の専門家や MR 装置メーカー等多様な立場の意見ならびにパブリックコメントを求めることにより作成過程が透明で可視化されていること。⑤特定のバイアスを排除し、作成の当事者に利益相反があってはならないこと。意見募集や案文の検討は、1) 調査班員や、その協力組織である MR 研究会、技師会等（東北・関東太平洋沿岸 7 都県）に所属し、今回の大震災による被害状況について熟知している MR 検査の当事者、2) 必ずしも大震災による高度の被害を体験していない磁気共鳴医学会会員全般<sup>13)</sup>、中部、東南海地区（9 県）の MR 検査の当事者、3) 医療、建築、防災等が専門の外部有識者（MR の防災に関わる専門家会議の委員）、4) MR 装置の製造メーカー（5 社）、の 4 グループに対して行われた。

磁気共鳴医学会会員全般からの意見募集は以下の通り実施した。第 41 回日本磁気共鳴医学会大会（徳島市、大会長：原田雅史徳島大学教授、平成 25 年 9 月 19-21 日）の出席者（1421 名）に対して準備された 1200 部の資料を配布した。19 日に開催したワークショップでは、1. 防災のためのガイドライン作成の必要性和必要条件、2. 災害時における MR 装置の安全管理に関する指針、3. MR 検査室の防災指針、4. MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言、5. 指定発言「和歌山県下における MRI 装置の状況 大地震および津波による大災害に対する安全対策に向けて」の概要を報告した。このワークショップの時間帯も含め、大会期間中に書面によるパブリックコメントを募集した。

また、MR 装置メーカー 5 社からは、指針に対する意見だけでなく、震災対策を考える上で重要と考えられる技術的事項についての情報提供を依頼し回答を得た（回答期間：平成 25 年 8 月 23 日～9 月 30 日）。質問項目は以下の 10 項目である。

（1）今回の東日本大震災において MR 装置メーカーの視点から見て課題となった事項は何か

（2）発災時から現在までにユーザー向けに出した震災対策を主旨とした情報について

（いつ、どのような内容を、どのような方法で）

（3）震災対策として、今後ユーザーに実施してもらいたい事項（防災対策、緊急対策のそれぞれで）

（4）震災対策を念頭においたマグネットの設置方針について

1. アンカー固定を行うことを原則としているか
2. アンカー固定を行わないことを原則とする場合、その理由は何か
3. アンカー固定を行うかどうかについてユーザーの判断を求める場合にどのような情報を提示しているか
4. アンカー固定を行わなかった場合にマグネットの移動による被害を最小化するための具体的対策があるか
5. アンカー固定を行わなかった場合にマグネットの移動により発生した被害回復の負担についてどう考えているか

6. アンカー固定を行ったために却って被害が拡大したり、致命的な破損が生じた事例を把握しているか
  7. 免震構造と（従来型の）耐震構造とで設置方針を変えているか、あるいは変えるべきか
  8. 床免震（撮影室の床に除震装置を設置してマグネットを免震する方法）は震災対策の方法として考えているか
- （５）火災発生時における「MR装置への対処」についてユーザーにどのような説明をしているか（患者や職員の安全に関する事項以外で）
1. MR装置に起因する火災の場合と、建物の他の部分で発生した火災による延焼が考えられる場合のそれぞれについて
  2. 撮影室に火の手が回りそうな場合に、マグネットを強制クエンチさせる必要があると考えるか
- （６）MR装置の設計について
1. 震災を念頭においたマグネットやその付属品、周辺システム等の強度に関する設計基準があるか
  2. 撮影装置（寝台部分を含む）の設計に震災時の避難を想定した工夫を行っているか
- （７）クエンチボタンの操作について
1. 動作保証について何か定めがあるか（平時と震災時のそれぞれについて、機能しなかった場合の保証について）
  2. 強制クエンチ操作を行う基準やクエンチ後に発生しうる装置へのダメージ、費用負担などについての具体的内容、説明の方法等について
- （８）緊急停止ボタン（強制クエンチボタン、電源遮断ボタン、スキャン停止ボタン、その他）の仕様を標準化するために解決しなければならない課題は何か
- （９）超伝導型のMR装置に使用されているマグネットの仕様についての情報開示はどこまで可能か
1. 冷凍機停止後のヘリウム蒸発量増加特性、必要液体ヘリウム下限値など、冷却停止状態でクエンチに至るまでの「持ち時間」の推定に参考となる情報）
  2. マグネットの仕様に関する情報の取り扱いに関して、マグネットメーカーとの取り決めがあるか（ユーザーに公開ができない情報としての取り扱いがあるか）
- （１０）今後予想される東南海地震、首都直下型地震を想定したユーザーへの情報提供の方針、特に
1. MR機器装置の復帰手順等（一般的な停電の場合と震災後のそれぞれについて、その具体的伝達手段）について
  2. 設置方法と震災等の影響に関するリスクについて
  3. 震災等での被害発生の際の契約免責（販売時、保守契約時）について
  4. 震災時におけるサービスマンの行動マニュアルについて
  5. 社会全般への啓蒙活動について

MR装置の緊急停止システムの仕様統一については、MR装置5社が現時点で販売している代表的なMR装置に装備されている各種緊急ボタンの仕様調査と、その比較検討を行なった（資料3）。

MRの防災に関わる専門家会議では、放射線医学、生体計測、電気工学、建築学、防災学、地震観測の各分野の有識者を委員として選任し、2回の会合（平成25年7月25日、11月14日）とそれぞれの会合の後で書面確認を実施し、指針原案に対するご意見をいただいた。

以上の手順により作成された最終案は日本磁気共鳴医学会に報告された。本稿においては上記2指針1提言の内容を報告するとともに指針を参照される際に留意すべき事項を報告する。

## C. 研究結果

### 1 2指針の策定における論点

「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」と「MR検査室の防災指針」の2指針の最終案は、日本磁気共鳴医学会の安全性評価委員会で審議された後、同理事会での審議に託されて最終確認を行って決定され、平成26年1月15日に同学会ホームページより公知されるに至った。

#### 指針の記載に関する留意事項

医療機関の機器被害は震度5と6の間に程度の境界があると報告されており<sup>7,12)</sup>、日常的に遭遇する震度4以下の地震と大震災ではMR装置等の医療機器の安全管理を行う前提が変わってくる。大震災においては、それぞれの施

設の震源地からの距離、立地条件や建物構造によってさまざまな被害状況が発生する。震災によりMR装置に発生した被害の内容や程度だけでなく、他に優先すべき事項の有無、建物構造やMR装置の仕様など施設固有の条件、発災の時間帯やその時点でのMR検査室における体制、停電やその他のインフラ障害の有無、その他の偶発的な事項などから優先順位づけを含めた総合的な判断が求められる。また、施設の性格やMR検査室の体制によって実際に「何がどこまで実施可能であるか」も変わってくる。従って、あらゆる場合を想定して指針を組み立てることは困難であり、現場の状況判断に大きく依存するため全てを定型的な手順として記述することが困難な事項がある。それぞれの指針の前文において指摘しているように、この2指針を参考としてその施設の体制や運営状況を考慮して、個々の施設でMR検査室の防災対策を定めなければならない。また、MR検査従事者以外でも理解できるMR検査室の防災対策資料を準備すれば有用であろう。

#### 施設全体の震災時手順との整合性

震災において医療従事者は所属する施設の指示に従って行動しなければならないが、同時に各々に課せられた本来の職務分担として必要な事項との兼ね合いを考慮しなければならない。震災後医療では医療ニーズは急激に需要が高まるが、一方で医療施設自体も被災し、そこで働く医療従事者も個人には被害者でもあるという制約の中で、残された資源を有効に使って可能な限りの業務を続けなければならない。本指針ではMR検査室に関する事

項を扱っているが、この指針はMR検査室で独立して運用すべきものではない。予め個々の施設が定める防災手順の中で位置づけをし整合性を取った上で、実際の被害状況も勘案して対策を実施するべきである。そのためにも、その施設において震災後医療が実際にどのようなものになるかを想定して、MR装置をはじめとする画像診断機器の運用について包括的なシミュレーションが有用であろう。

#### 火災への対応

今回の東日本大震災では、MR検査室やその周辺で火災が発生した事例は報告されていない。阪神淡路大震災<sup>14,15)</sup>でも大規模な火災が発生したものの、MR装置に関する記録は見当たらない。火災発生時は可能な限り電源を遮断すること、消火や救援活動のために撮影室に消防士や救援者が立ち入る場合は、必要に応じて消磁（強制クエンチ）することなどが一般論として指摘されているが、それ以上に震災における大規模火災への対策として何が必要であるかは今後の検討を要するので、今回は記載を見送った。

#### エンクロージャ内の点検

最近のMR装置はマグネット上部にもエンクロージャ（マグネットの覆い）で覆いをするデザインのものが多く、マグネット上部にある冷却システムや排気管の様子を目視確認ができない。マグネットの表面観察や圧力計の数字も、エンクロージャを開けないと点検できない。ユーザーによるエンクロージャの取り外し作業については、予めメーカーと協議して手順を確認することが推奨される。

#### ユーザーによる復帰

ユーザーによる復帰の可能性は、ユーザーの知識レベル、被害状況、MR装置メーカーの考え方によるが、東日本大震災においては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」ことが判明している<sup>12)</sup>。52.7%の施設が3日以内に装置の再稼働を行っているが、メーカーによる復旧作業が発災後3日以内に開始されたのは29.4%の施設であった。東日本大震災のような広範囲に被害を及ぼす大震災では、同時多発的に被害が発生するだけでなくMR装置メーカーの拠点も被災するので、普段のようなサポートの実施が不可能になるのは当然のことである<sup>12)</sup>。本指針ではユーザーによる復帰を行う場合に必要と考えられる点検事項をまとめたが、これは孤立無援の状態でユーザーによる復帰を推奨する意味ではない。しかし、実際にはMR装置を導入している医療機関は一定規模を有する事が多く、特に地域の基幹病院、震災拠点病院となっており建物も十分な地震対策がなされている場合は震災後医療を担う必要からMR装置についても早期の復帰要請が強い。また、大規模病院でスタッフの熟練度が高い場合はユーザーによる復帰の潜在的能力が高いと考えられる。ユーザーによる復帰の可能性はユーザーとメーカーの個別の関係によるところが大きいと考えられる。自社社員による復帰が原則であることを強調するメーカーもあるので、事前にメーカーとよく協議の上で、発災後に何をどこまで実施するかを検討して、個々の施設で手順を定める必要がある。

## 液体ヘリウムの残量把握

地震の発生により液体ヘリウムの一時的な気化量の増大が生じるが<sup>12)</sup>、停電の発生により液体ヘリウムの回収・再液化が停止すると冷却槽内の液体ヘリウム量の減少は加速するので、遅延クエンチ<sup>12)</sup>に注意する必要がある。震災時においては強制換気装置が起動しない、排気経路が損傷を受けてヘリウムガスが漏出するなど、クエンチが正常な過程を取らない可能性があり、注意しなければならない。従って、液体ヘリウムの残量は重要な情報である。しかし、現状ではその測定には電源が必要であるため停電下での残量確認は困難とされている。マグネットの仕様により冷凍機停止後の液体ヘリウム減少速度が異なるので、停電下で減少する液体ヘリウムの残量を予測するためには、液体ヘリウムの残量とマグネットの特性の双方が必要な情報である。しかし、今のところマグネットメーカーの多くはその特性についての詳細情報を公開していない。

現時点ではMR装置に装備されているヘリウムメーターのバッテリー駆動化、ロガーによる測定の自動化やデータの自動送信化などの対策は標準化されておらず、今後の検討課題と考えられる。冷凍機の停止状態での液体ヘリウムの減少速度は、医療機器の安全管理に必要な情報という観点から開示が待たれるが、現時点では、普段から液体ヘリウムの量をチェックし、特に停電時における液量変化を確認するなど、設置されているマグネットの特性を可能な限り自ら把握することが対策となる。

## 2 MR装置メーカーからの意見聴取

震災等を念頭においたMR検査室の安全対策に関する問合せ事項に対するMR装置メーカーからの回答、代表的意見を以下に要約する。

(1) 今回の東日本大震災においてMR装置メーカーの視点から見て課題となった事項としては、①インフラ（電源、交通、通信）障害の回答が最も多く、次いで②原発による立ち入り制限や、③津波の影響が指摘された。

(2) 発災時から現在までにユーザー向けに出した震災対策を主旨とした情報提供については、①メーカーホームページ、②ユーザーミーティング、③技師会の会合、④ユーザーへの資料（文書）配布の4手段が用いられ、内容は、①磁気共鳴医学会による緊急提言にメーカー独自の情報を加えた内容、②メーカー独自の自社ユーザー向け情報の二通りに分類できた。

(3) 震災対策として今後ユーザーに実施してもらいたい事項は、①緊急対策マニュアルの整備と、それに基づく訓練、②立入禁止措置の徹底、③メーカーサービスマンとの連携、④MR装置の取り扱い説明書の熟読の4項目に分類された。

(4) 震災対策を念頭においたマグネットの設置方針については、①アンカー固定を原則としているとするメーカー（3社）と、②非固定が原則とする（但し、ユーザーの希望には対応）メーカー（2社）に方針は分かれている。アンカー固定を行わないことを原則とする理由としては、アンカー非固定が一種の免震作



用として働くこと、撮影室のシールドへの影響などが挙げられた。また、アンカー固定を原則としていても、撮影室の施工内容（建物の状況）のためにアンカー固定が困難な場合があることも指摘された。アンカー固定を原則としている全社が、①アンカー固定を行ったために却って被害が拡大したり、致命的な破損が生じた事例の報告は無く、②MR装置を設置する建物が免震構造であるか（従来型の）耐震構造であるかによって設置方針の変更は無いとしている。非固定が原則のメーカーは、アンカー固定を行わなかった場合にマグネットの移動により発生した被害回復の負担についてケースバイケースでの判断としている。床免震はアンカー固定を行わなかった場合にマグネットの移動による被害を最小化するための具体的対策としてはまだ位置づけられていなかった。

（５）火災発生時における「MR装置への対処」については、MR装置に起因する火災の場合であれ、他のからの延焼の場合であれ、対応事項はユーザーや消防等の判断事項であり、装置の取り扱い説明としての範囲を超える部分についてはメーカーとしての関与は行っていないこと、強制クエンチは人命救助や消火活動に必要とユーザーや消防等が判断する場合であること、がMR装置メーカーの共通認識であった。

（６）MR装置の設計基準については、日本画像医療システム工業会（JIRA）が制定する業界基準（JESRA）の耐震設計（X-0086）が挙げられたが、MR装置メーカー独自の基準につい

ての言及は無かった。撮影装置（寝台部分を含む）の設計に震災時の避難を想定した工夫としては、寝台のロック解除機構による手動による引き出し、寝台の離脱による避難が可能であること、などが報告された。

（７）クエンチボタンの動作保証については、①点検時に実際にクエンチを発生させない状態での回路の動作確認までは可能であるが、その先については完全に保証できないこと、②自然災害により発生した事項については保証の対象外であること、③強制クエンチ後の復帰費用は原則ユーザー負担であること、などがMR装置メーカー共通の見解であった。なお、強制クエンチによるMR装置へのダメージは特に発生しない、とするコメントもあった。

（８）緊急停止ボタンの仕様を標準化するための課題については、①工業規格に対する具体化レベルでの共通の理解、②（国際）規格化の必要性、③制御方法の統一、などの必要性が指摘された。

（９）超伝導型マグネットの仕様についての情報開示については、①マグネットに関する詳細な情報は、MR装置メーカーはマグネットメーカー（＊）との契約で守秘義務を負っていることが多いこと、②そのため、マグネットメーカーが公開している情報以上の情報は出せないこと、③しかし、個別のユーザーからの要請があれば、そのユーザーが所有する装置については一定の情報提供の可能性について検討する余地はある、あるいは、ヘリウム量の減少についてのおおまかな仕様について

は回答可能、との回答を寄せたMR装置メーカーもある。ユーザーが知りたい情報は、冷凍機が止まった状態での液体ヘリウムの減少速度など、液体ヘリウムの残量を推定するための限られた情報であり、詳細な仕様の全体では無い。

＊（注）欧米のMR装置メーカーはMR装置用にマグネットを供給する欧米の主要なマグネットメーカーを系列会社化している。国内のMR装置メーカーは欧州メーカーか、日本国内のマグネットメーカーからマグネットを購入している。

（10）今後予想される東南海地震、首都直下型地震を想定したユーザーへの情報提供の方針は、①MR装置の復帰についてはメーカーのサービスマンとの連携してほしい、②メーカーのホームページを利用した社会全般への啓蒙としての情報発信などに努めている、しかし、③東南海地震、首都直下型地震への具体的な対策については今後の課題も残っている、などの回答が寄せられた。メーカー個別の回答としては、④情報発信の場としてはユーザーミーティングを中心に考えている、⑤震災後のMR装置の復帰は社員で行う、との回答もあった。なお、震災時のサービスマンの行動については社内の指針はあるが、ユーザーに対しては非公開であるとする回答と、CSRで公開したとする回答があった。

### 3 パブリックコメント

第41回日本磁気共鳴医学会大会の大会期間中に書面によるパブリックコメントを募集した。主な意見は以下の通りであり、主に指針

の周知や内容の明確さに関する要望であった。

「2つの指針については、磁気共鳴医学会をはじめ関連学会のホームページからダウンロードできるようにすること」、「復帰の手順をフローチャート化するとわかりやすい」、「マグネットの移動など電源を入れることを止めることが望ましいケースについて明確に示す方がよい」、「是非とも国内統一のシール作成してください」等である。

### D. 考察

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、診療再開の前に念入りなMR装置の点検が必要である。阪神・淡路大震災の調査報告でも、「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<sup>9,16)</sup>。その15年後に東日本大震災が発生するに至ってこの2指針が策定された。今回策定した指針は、多様な事態が生じ臨機応変の対応が必要となる震災における危機管理が目的であり、MR装置の管理上の規制や何らかの行動の義務化を念頭においたものではない。それぞれの施設において医療安全管理者の監督下において実施さ

れる医療機器の安全管理や施設全体の防災手順との整合性が重要である。

今回の指針策定を通して判明したことのひとつは、一般の事業所と異なり、医療機関は震災による業務休止がもともとありえないどころか、むしろ業務量が増加するという点が、医療分野以外ではあまり認知されていないことであった。医療機関に設置されている機器類は、どれもこれもそれなりの必要性があって存在し、その必要性は震災によって増えることはあっても、減る場合は少ないであろう。安全確認のために何ヶ月も使用を休止することが困難なものがほとんどである。また、近年は建築技術が進歩し、特に、免震建築の場合は大震災に見舞われても大きな被害の発生は無く、病院の機能がほぼ保たれる。一方で、耐震構造の施設では建物の大きな破損は無くても、内部に設置されている機器類は一定の損傷を受ける可能性がある。このように、震災による被害の発生状況が多様化しているのが最近の傾向と言える。個々の施設でどのような被害が予想され、その状態でどのような「震災後医療」のニーズが想定されるか、そのためにはどのような準備が必要か、十分なシミュレーションが大切である。

MR装置そのものに関しては、決して技術的には難しくないにも関わらず、実装できていない項目がいくつかあった。①停電時にすみやかにMR装置の冷却系電源を非常電源に切り替える準備ができていない施設は少数であった。②停電下でもヘリウムメーターが使用できるような予備電源（バッテリー、非常電源の利用）が準備されていない。③ヘリウム残量を

毎日自動的に記録、送信するデータロガーの装備が無い。④緊急地震速報を受けて、撮影を自動的に停止する機構が無い。①～③は、震災後の停電状態においてマグネットの管理を行うために非常に有用である。たとえばマグネットの仕様詳細が不明であったとしても、個々のマグネットを丹念にモニタすることにより、現場で必要な液体ヘリウムの減少特性は確認できる。これらの項目は容易に実現できるはずであり、今後の改良を望みたい。特に停電時の液体ヘリウム残量のモニタ機能は重要である。マグネットの仕様については、医療機器として使用されている装置の安全管理に必要な情報であり、今後は、一定の項目については公開を義務付けるべきかどうか検討の必要があろう。

緊急停止ボタンの仕様統一については資料3で詳説するが、工業規格としての統一までには時間がかかると予想されるので、現場での取り組みを先行させるざるをえない。本調査研究では試案を公表したが、今後、現場での取り組みが進むことを期待したい。

## B. 結論

平成25年度の調査研究として「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」、「MR検査室の防災指針」「MR装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の2指針1提言を策定した。医療施設が自らMR装置の被災状況を点検する標準的な手順を確立できれば、その安全管理や使用再開の可否がより適切に判断でき、震災後医療への貢献にもつながると期待される。

## 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、小山修二、村田和子、水口紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、町田好男 MR検査室における震災対策 – 防災対策と緊急対処のための2指針について 日本磁気共鳴医学会雑誌 (投稿中)
- ・Nakai T, Maeyatsu F, Adachi K, Musashi Y, Hikichi T, Hishinuma M, Abe Y, Yamaguchi S, Machida Y, Yoshioka K, The Tsunami Disaster and MR Scanners in the Great East Japan Earthquake in 2011. Magnetic Resonance in Medical Sciences, 2014 (in press)
- ・引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保、日本磁気共鳴医学会雑誌 34、7-14、2014
- ・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、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災の被災地宮城県におけるMR装置被害の実態調査報告、日本放射線技術学会雑誌 (in press)
- ・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・研究会等発表

- ・前谷津 文雄 (特別講演) 災害、震災時等でのMR検査の安全確保について、山形県放射線技師会第38回MR研究会、平成25年12月8日、山形県東置賜郡川西町
- ・清野真也、丹治一、町田好男、山口さち子、中井敏晴 東日本大震災におけるMR 装置被害の実態調査 ～福島県調査報告～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、42-3、2013年11月2日 福島
- ・安達廣司郎、武蔵安徳、中井敏晴、東日本大震災でのMRI装置の被害調査(岩手県の場合) 平成25年度日本赤十字社診療放射線技師会東北ブロック研修会(八戸赤十字病院) 2013年9月28日
- ・武蔵安徳、東日本大震災によるMRI装置被害調査報告(岩手県地域) 岩手医用画像研究会 盛岡(岩手県立中央病院) 平成25年10月5日
- ・引地健生、前谷津文雄、阿部善弘、菱沼誠、町田好男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災におけるマグネット移動損傷について ～宮城県内84MRI装置の設置方式の違いと強振動による影響～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、43、2013年11月2日、福島
- ・石森文朗、土橋俊男、藤田功、栗田幸喜、榊田喜正、松本浩史、砂森秀昭、中井敏晴、東日本大震災におけるMRI装置の被害状況(関東地区) ～今後の震災に備えた対策、第41回

日本磁気共鳴医学会大会 P-2-172、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S418、2013

・引地健生、山口さち子、中井敏晴、土橋俊男、前谷津文雄、町田好男 東日本大震災の地震動によるマグネット移動の要因解析 -アンカー固定の有無と震度について-、第41回日本磁気共鳴医学会大会 0-3-309、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013

・中井敏晴 震災時の地域医療を支えるMR 検査の安全確保、第41回日本磁気共鳴医学会大会 WS3、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S145、2013

・中井敏晴、前谷津文雄、安達 廣司郎、武蔵 安德、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 #373、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 #374、横浜、2013.4.14

## 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)Kanno T, Iijima K, Abe Y, Koike T, Shimada N, Hoshi T, Sano N, Ohyauchi M, Ito H, Atsumi T, Konishi H, Asonuma S, Shimosegawa T. Peptic ulcers after the Great East Japan earthquake and tsunami: possible existence of psychosocial stress ulcers in humans. J Gastroenterol 48, 483-90, 2013

(2)Kishimoto M, Noda M, The Great East Japan Earthquake: Experiences and Suggestions for Survivors with Diabetes (perspective), Kishimoto M, Noda M. PLoS Curr. 2012 May 15 doi: 10.1371/4facf9d99b997.

(3)Nakamura A, Nozaki E, Fukui S, Endo H, Takahashi T, Tamaki K, Increased risk of acute myocardial infarction after the Great East Japan Earthquake, Heart Vessels. 2013 Apr 20

(4)Omama S, Yoshida Y, Ogasawara K, Ogawa A, Ishibashi Y, Nakamura M, Tanno K, Ohsawa M, Onoda T, Itai K, Sakata K, Influence of the great East Japan earthquake and tsunami 2011 on occurrence of cerebrovascular diseases in Iwate, Japan, Stroke 44, 1518-24, 2013

(5)渡邊 崇, 鈴木寿則, 坪谷 透, 遠又靖丈, 菅原由美, 金村政輝, 柿崎真沙子, 辻 一郎. 東日本大震災前後での自覚症状有訴率の変化 -被災者健康診査と国民生活基礎調査の比較-. 厚生 の 指 標 60、1-6、2013

(6)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](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/iryou_antei/report_001_01.pdf)

(7)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

(8)[http:// stats.oecd.org](http://stats.oecd.org)

(9)厚生労働省大臣官房統計情報部人口動態・保健社会統計課保健統計室 平成23年医療施設(静態・動態)調査・病院報告の概況 平成24 年11 月20 日  
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryou/11/>

(10)今井 信也 小川 俊夫 今村 知明、核磁気共鳴装置（MRI）の採算性の地域差に関する一考察：都道府県別MRI一台あたり収支の推計とその格差の要因分析 第33回医療情報学連合大会 医療情報額33Suppl, 394-397, 2013

(11)橋本千代、別所俊一郎、MRIの導入と利用：アンケート調査による検証 社会保障研究 47, 175-190, 2011

(12)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、榎田喜正、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602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013

(13)引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子 第41回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保 日本磁気共鳴医学会誌 33、 、2013 (in press)

(14)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

(15)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

(16)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/hyoudjunksa/fr\\_information\\_01.html](http://www.jira-net.or.jp/commission/hyoudjunksa/fr_information_01.html)

MR の防災に関わる専門家会議 専門委員

阿部 修 (日本大学医学部)

高橋 俊行 (昭和大学藤が丘病院)

湯本 真人 (東京大学大学院医学研究科)

仁田 旦三 (明星大学理工学部)

鎌田 崇義 (東京農工大学工学研究院)

特別委員

松井 正人 (気象庁地震火山部管理課)

佐藤 栄児 (防災科学技術研究所)

### 研究協力者一覧 (五十音順)

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)

木戸 義照 (独立行政法人 労働者健康福祉機構 和歌山労災病院)

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)

小山 修二 (名古屋大学 脳とこころのセンター)

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)

土橋 俊男 (日本医科大学付属病院)

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)

水口 紀代美 (医療法人 治久会 もみのき病院)

武蔵 安徳 (岩手県立中央病院)

村田 和子 (高知県・高知市病院企業団立高知医療センター)

梁川 功 (東北大学病院)

### 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 MR I 基礎勉強会

東京 MR 励起会

SAITAMA MRI Conference

公社) 日本放射線技術学会中部部会、同 MRI 研究会

公社) 石川県診療放射線技師会

公社) 静岡県放射線技師会

和歌山 MR サロン

高知 MRI 研究会

公社) 高知県診療放射線技師会

GEヘルスケア・ジャパン

シーメンス・ジャパン

東芝メディカルシステムズ

日立メディコ

フィリップスエレクトロニクスジャパン

## MR検査室の防災指針 策定スキーム

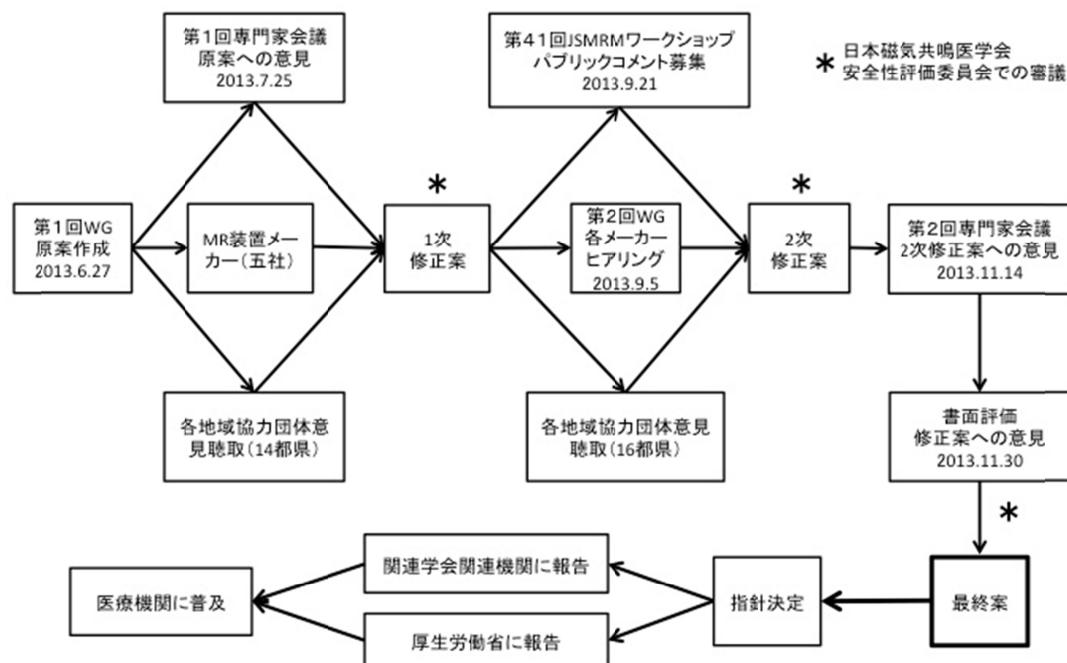


図1



## 資料 1

### 災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針

#### 目次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 前文                      | 1  |
| 本文                      |    |
| 1. 発災時の緊急的対処            | 2  |
| 2. 被災状況の分類              | 2  |
| 3. MR 装置の受けた被害状況の点検項目   | 4  |
| 4. MR 装置の重大な損傷          | 7  |
| 5. 静磁場発生 の 周知 と クエンチ 対策 | 8  |
| 6. 復帰に向けた準備、システム管理全般    | 8  |
| 資料                      | 10 |
| 文献                      | 10 |

#### 前文

通常、MR装置は十分な強度をもって設計、設置されているが、直下型地震や大震災では想定外の影響が及ぶ可能性がある。本指針では東日本大震災等の被害状況から判明した事項を基にして、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。本指針はあらゆる場合を想定し網羅するものではないが、震災直後の安全対策として必要と考えられる標準的な事項を要約した。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が異なるであろう。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震災発生時の対処を行っていただきたい。本指針はMR検査に携わる者の職責を念頭において作成したものであり、各施設での具体的な手順書や震災時の体制は、その施設全体の防災対策手順や運営方針との整合性に留意して定めていただきたい。

＊本指針は平成23年3月15日に日本磁気共鳴医学会から出された「災害時におけるMR装置の安全管理に関する提言」を改訂したものである。

## 本文

### 1. 発災時の緊急的対処

発災時に実施すべき4項目は、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③二次災害の防止、④MR装置の保全である。

#### ①患者の安全確保

患者の安全確保は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限り、この発災時4項目の中で最優先の事項である。発災時に検査中であり患者がマグネット内にいる場合には、可能な限り早急に撮影室外に患者を誘導し、避難体制に入れるようにしなければならない。

#### ②職員の安全確保

MR検査室を担当する職員は、自らの生命が差し迫った著しい危機にさらされていない限りは、患者の安全だけでなく、応援に駆けつけたり患者の避難、誘導にあたる他の職員の安全確保にも可能な限りの注意を払い、必要な措置を講じるべきである。

#### ③二次災害の防止

二次災害は震災後にMR装置が原因となって発生しうることであり、磁性体の吸引とクエンチが主な危険要因と考えられる。可能な限り速やかに、二次災害防止のための警告表示とMR検査室への立ち入り禁止措置を取らねばならない。

多数の被災者が運び込まれるような状況下においては、混乱の中でMRの安全に熟知していない関係者がMR検査室に立ち入る可能性があるため、磁性体の吸着事故の発生に注意すること。

#### ④MR装置の保全

停電によりMR装置の冷却装置が停止し冷媒減少が一定以上進むとクエンチを起こす可能性があるため、通電状態だけでなく冷却システム全体の稼働状態を監視する。冷却系の配管や弁等に破損が無いか、室外機も含めて確認を行う。

### 2. 被災状況の分類

該当施設、あるいはMR検査室から緊急避難をする必要が無い場合は、まず被害程度の概要把握に努める。

(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（建物で管理が不能な場合）

- 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マグネ

ットが励磁状態を維持しているか、クエンチが生じていないかを確認する。

- 磁場が消失し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。
- 磁場が消失していても余震等により建物の損傷が進み液体ヘリウムが残存する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。
- 行政が設置する緊急対策本部等に状況を報告する。

(B) MR装置の設置状況に重大な異常(「4. MR装置の重大な損傷」参照)が認められる場合(建物で管理が可能な場合)

- 該当のMR装置は使用しない。
- 超伝導型のMR装置の場合は、冷却システムの状態を確認し記録をつける。
- 復旧作業が完了するまでの間、立ち入り禁止措置と警告表示を行ない、施設内に周知する。
- 配電盤レベルで冷却系、警報装置以外のMR装置のシステム電源を遮断する。

(C) MR装置が設置された建物が目立った損傷を受けている場合(MR装置の被害の有無を問わない)

- 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。
- 損傷の状況からクエンチ、火災リスクの程度を評価すること。
- 撮影室の電磁シールドの損傷を念頭において、その影響に留意すること。

(D) 建物やMR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、MR検査室が震度5弱以上の影響を受けており、MR装置メーカーによる点検が当面期待できない場合

- クエンチや漏電による火災発生、通電による故障箇所の破損拡大の危険性があることを念頭において、緊急性の認められない検査は行わない。
- 人命救助の観点から緊急性の高い検査の要請がある場合は、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、連絡可能ならばメーカーの意見も参考にし、施設の最高責任者がMR装置使用の可否を最終判断する。
- ファントムを用いたテスト撮影と寝台の動作確認を十分に行ない、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。
- 送信機能のあるコイルに損傷が疑われる場合はそのコイルの使用を控えること。

(E) 上記のいずれにも該当しない場合

- 施設で定めた所定の点検手順が完了するまでは MR 装置の使用は控えること。
- 使用前に MR 装置メーカーの点検を受けることが望ましい。
- 状況の変化は常に生じうること、特に余震や降雨の影響を考慮すること。

3. MR 装置の受けた被害状況の点検項目

以下の項目について緊急点検して状況把握し、危険性を予測する。

注1：MR 装置の安全管理に関する十分な知識と経験がある者が監督し、必要に応じて複数名で作業にあたること。

注2：MR 装置再稼働の条件ではない（装置ごとに定められた復帰手順に従うこと）。

注3：装置メーカーとも意思疎通した上で、危険を伴わない可能な範囲で行うこと。

(A) クエンチが発生していないか

- ヘリウムの沸騰による白煙の発生を伴うクエンチが生じた場合
  - ✓ 直ちに排気ファンを作動させた上で撮影室内から患者を避難させること。
  - ✓ 排気ファンが作動しない場合は酸素アラームに注意しながら低姿勢で患者救出にあたること（酸素濃度が 18% まで低下すると危険）。
  - ✓ 撮影室内にヘリウムガスが漏れ出していないか確認すること<sup>1</sup>。
  - ✓ 排気経路周辺で冷却されて液化した空気が流れ落ち、凍傷の原因となりえるので注意すること。
  - ✓ 患者退避後は撮影室内に誰もいないことを確認すること。
  - ✓ 火災ではないことを施設の災害対策担当と消防に連絡する。
  - ✓ 低温のヘリウムガスによる怪我人が発生していないか排気経路を点検する。
- 液体ヘリウムの沸騰による白煙発生が確認されていないものの、磁場消失が疑われる場合はガウスメータで磁場の有無を確認する（ガウスメータ本体を MR 装置に近づけすぎないこと）。
- ガウスメータが無い場合は数グラム程度の金属製ゼムクリップを丈夫な紐に結びつけて吸引力を確認する（MR の安全に熟習した者が行うこと）。
  - ✓ 吸引を確認するだけでよく、偏角 45 度程度までにとどめ、あまりゼムクリップを MR 装置に近づけない事（漏洩磁場の分布を確認しておくこと）。
- クエンチ発生サインではないが、以下の注意すべき兆候が見られた場合は監視体制を強化し、担当者以外は MR 検査室への立ち入りを禁止すること。

---

<sup>1</sup> マグネット周辺で冷却された空気も白く見えるので、特定の場所から漏れ出ているかどうかを確認すること。

- ✓ マグネット上部に白煙が見られないか。
- ✓ マグネットの圧力計がゼロになっていないか<sup>2</sup>。
- ✓ マグネット付近から異常音がしないか。
- ✓ コールドヘッド付近に氷結がないか。
- ✓ マグネット表面に異常な結露が見られないか<sup>3</sup>。
- 強制排気ファンの電源やクエンチボタンのバッテリーの状態を確認する。
  - ✓ 設置や装置仕様の違いに注意し、誤って強制クエンチを作動させないこと。
  - ✓ 状況により手動で強制排気装置の動作確認を行う。
- クエンチが発生していない場合でも、当面はヘリウムメータの数字や内圧を定期的に記録し、液体ヘリウムの減少傾向を把握するとよい。
- 停電により冷却装置が停止し、ヘリウムメータが使用不能の場合はマグネットの監視をより慎重に行う。
  - ✓ あらかじめ長期停電時の液体ヘリウム残量監視の方法を MR 装置メーカーと協議の上、検討しておくこと。

#### (B) 冷却システムが正常に稼働しているか

- 室外設置の冷却装置も含めて冷却システム全体の稼働状態を確認すること。
- マグネットの冷凍機（コンプレッサ）とその冷却装置の両方が動作しているか。
- 冷却装置やその配水管全体に漏水がないか、断水していないか。
- コールドヘッドが動作しているか、コールドヘッド周辺に氷結がないか。
  - ✓ 冷却システムに損傷が見られた場合、装置メーカーと連絡を取り応急的処置について協議すること。
  - ✓ 停電により冷却システムが停止し、非常電源への切り替えが可能な場合、切り替えの手順について複数名で十分な確認を行ってから実施すること。

#### (C) マグネット（撮影ユニット）が移動していないか

- マグネットや患者用寝台の位置が移動していないか。
- 患者用寝台が正常に動作するか。
  - ✓ 動作確認は非磁性の物体で 30kg 以上の負荷をかけて 2 回以上行うこと<sup>4</sup>。
- エンクロージャ（被い）に患者や職員が受傷する原因となる破損部位がないか。

<sup>2</sup> 破裂板や配管が損傷を受けている可能性があるが、エンクロージャを開ける必要があり注意すること。

<sup>3</sup> 真空層の異常や真空容器のダメージの可能性があるが、確認にはエンクロージャを開ける必要がある。

<sup>4</sup> 単独で人体程度の荷重を持つ非磁性の物品を探すことは難しいので、複数のファントムを組み合わせるなどの工夫をする（安全のために、最初から人を載せてテストしないこと）。

- マグネットの移動に伴う配線、配管（特に排気管<sup>5</sup>）の損傷が無いか
  - ✓ 排気管が断裂している場合、クエンチが生じた時に正常に排気されない。
  - ✓ 可能な限り屋外の大気解放口やそこまでの配管の接続を確認する。
- 配線、配管の様子を確認するためにエンクロージャ等を取り外す場合は複数名で作業し十分な注意を払うこと。
  - ✓ 踏み台や梯子は MR 装置の点検用に準備されている専用の非磁性のものを使用すること。

(D) 機械室のユニット群（電源、制御、冷却系等）が移動していないか、移動の形跡がないか

- アンカーボルトの破損がないか、設置が不安定なキャビネットがないか。
- ブレーカーはどのような状態になっているか。
  - ✓ OFF になっている場合、安全が確認されるまで ON にしないこと。
  - ✓ 半落ち（トリップ）の状態になっている場合は対処の方法をメーカーに確認すること。
  - ✓ 通常状態で OFF とすべきブレーカーもあるので注意すること。
- システムキャビネットや撮影装置を結ぶ配線の損傷がないか、断線、短絡、漏電等による異常がみられないか。
- 貫通盤<sup>6</sup> やマグネットのエンクロージャ内部で高圧系が露出している部分に異変がないか。
  - ✓ 電気系統の異常が疑われる場合は、安全が確認されるまでそのMR装置は使用しない。

(E) 撮影室の出入り扉、天井や床、壁に損傷が無いか

- MR撮影室の扉の取り付けに不具合が生じていないか開閉の動作点検を行う。
  - ✓ 重量が大きいので注意すること。
- 壁、床、天井に亀裂等の損傷がみられる場合には該当部位にマーキングを行う。
  - ✓ 天井は冷却システムの配管が通るマグネット上部の状況に注意する。
  - ✓ 天井のマーキングは該当部分の床等へのマーキングか張り紙等でもよい。
  - ✓ マーキングの材料に注意すること（非磁性、不導体）。
- 建物の損傷が激しい場合、電磁シールドの機能が低下している可能性がある。

<sup>5</sup> 大量に気化したヘリウムを排気する配管、クエンチダクトとも呼ばれる。

<sup>6</sup> 電磁シールドを損なわないで撮影室の内外を配線接続するための貫通型配電盤（penetration panel）。

(F) 空調が正常に動作しているか

- ✓ 機械室や撮影室の空調が正常に機能していない状態で MR 装置を稼働させると、加熱による誤動作、停止、さらには故障の可能性があるので、電源投入は MR 装置の要求する温度、湿度環境に到達してから行うこと。

(G) 酸素濃度計等のモニタが正常に動作しているか

- 酸素濃度計は適切な数値を示しているか。
  - ✓ 地震後の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可能性がある。
  - ✓ 復電後であっても何等かの原因でモニタ類が正常に動作していない可能性がある。

(H) 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

- ✓ 状況に応じて元栓を閉めるべきかどうかを検討する。

(I) 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。

(J) 津波や雨漏り等による浸水の影響をうけていないか

- 特に壁内や床下への影響を見落とさないこと。
- 建物外壁や基礎部分の状態にも注意すること。

#### 4. MR 装置の重大な損傷

以下のような破損が MR 装置に見られる場合は、使用上の危険や破損拡大の可能性があるので、メーカーによる復帰作業が完了し、安全が確認されるまで使用しないこと。

- マグネットの移動
- マグネットの架台破損
- マグネットや冷却機からの異常音発生
- マグネット上部の配管の損傷、異常（特に排気管）
- 冷却システム（室外機も含む）の破損
- 寝台の破損、可動性不良
- 磁性体の吸着<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> 磁性体の吸引事故が物損にとどまり、人命への影響が予見できない場合は、原則としてその場での引き剥がしは行わずに MR 装置メーカーと協議のこと。

- MR 装置や配線経路への浸水、または浸水の痕跡
- システムキャビネットやコンソールの移動、転倒、破損
- 撮影室シールドの重大な破損
- 液体ヘリウム残量が限界線以下に低下<sup>8</sup>
- 送受信コイルの落下による破損（破損の疑い）

## 5. 静磁場発生時の周知とクエンチ対策

超伝導型の MR 装置がクエンチして消磁された場合を除いて、MR 装置（永久磁石型を含む）は停電時でも強力な磁場を発生し続け、そのために吸引事故が発生しうることを周知する。

- 超伝導型装置の場合は液体ヘリウムの残量に注意する
  - ✓ 液体ヘリウムの残量が確認できない場合は目視によるマグネットの観察を続ける。
  - ✓ マグネットの内圧に変化が無いことを記録をつける。
  - ✓ 地震による振動で液体ヘリウムの減少が生じる場合がある。
  - ✓ 停電による冷凍機の停止により液体ヘリウムは減少し、液体ヘリウムの充填がないままの状態が続くとクエンチに至る。
- 静磁場が発生している旨を周知するためにMR撮影室や検査室の入口に張り紙等による警告を行なう。
  - ✓ 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。
  - ✓ MR 装置や建物がかかなりの損傷を受けていても、一定量の冷媒が残っていれば超伝導マグネットは磁場を発生し続ける。
- 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ため、強制排気システムの動作試験や酸素濃度計の動作状況の確認等を行う。

## 6. 復帰に向けた準備、システム管理全般

- MR 装置の使用を停止すべき該当事項が無いことを確認する<sup>9</sup>。
- まず空調と冷却系を復帰させ、室温やマグネット内圧が基準値に復帰し安定す

<sup>8</sup> 限界線はマグネットの仕様や定義により異なり、何段階もあるので指標とすべき数値を確認のこと。

<sup>9</sup> MR 装置を停止すべき事項が認められないことが、そのまま装置の再稼働の安全性を保証するわけではないので、メーカーとも協議の上、施設が定める手順に従って再稼働の可否を判断すること。



るまで一定時間の正常動作を確認する。

- MR 装置メーカーの指定する手順に従って再点検を行ない、MR 装置のシステムの立ち上げを行う。
- システムが正常に立ち上がったら、インターフェイスの表示やデータベースの状況に異常が無いかを確認する。
- システムの自己点検ユーティリティが装備されている場合は、それを利用して異常の確認を行う。
- 寝台の動作点検を 2 回以上行う。
- マグネット内の患者と意思疎通するためのインターコムなどが正常動作するかを確認する。
- 通信が確保されている場合は MR 装置メーカーに連絡しオンライン点検等を受けて異常の確認を行う。
- その他、異常動作が無いことを十分確認した上でファントムを使ったテスト撮影を行ない、画像を確認する。

#### 全般的な注意事項

- ✓ MR 装置の復帰手順については、あらかじめメーカーと協議しておくこと。
- ✓ 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か、又は適切な復帰を行っていない可能性がある
- ✓ 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、停電の発生を想定して停電後の点検として定められている内容を行うこと
- ✓ 各 MR 装置メーカーが停電後の復帰手順を定めているが、MR 装置の管理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（メモを表示装置付近に掲示し、必要な時の確認を容易にする）。
- ✓ あらかじめテスト撮影の画像と比較できる正常画像を準備し、MR 装置のデータベースに保管すること。

## 資料

### 1. 震災等における MR 装置のクエンチ分類

- 即時クエンチ：地震による振動や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（マグネットのパーツの損傷を含む）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）な原因によると考えられるクエンチで、おおむね本震や余震の 24 時以降に発生したもの。
  - ✓ 本震や余震から 4 週間以内に発生し、かつその原因が不明な場合は遅延クエンチに分類する。
  - ✓ 本震や余震から 4 週間を過ぎていても震災との関連性が確認できる場合は遅延クエンチに分類する。
- 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やその他の特定原因との関連性が不明であり、本震や余震から 4 週間を過ぎてから発生したクエンチ。

＊本分類は災害の影響との関連を基準にした分類であり、物理工学的な分類ではない。

## 文献

1. 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

## 資料2

# MR検査室の防災指針

## 目次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 前文                     | 1  |
| 1. MR 装置の設置            | 2  |
| 2. 建物構造                | 4  |
| 3. 防災情報システムの活用（緊急地震速報） | 4  |
| 4. MR 装置室の防災点検         | 4  |
| 5. 防災訓練                | 8  |
| 6. 防災計画における留意点         | 11 |
| 資料                     | 12 |
| 文献                     | 14 |

## 前文

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 MR 装置本体だけでなく、付帯設備やインフラの障害の影響が避けられない。本指針では、東日本大震災による MR 装置の被害状況の調査結果に基づいて、震災による被害を最小化し、震災後の MR 装置の安全管理と復帰の迅速化を計る上で有効と考えられる事前対策を集約した。MR 装置の設置場所、機種や設置状況、診療体制等により最適の選択肢が異なる部分もありうるので、各施設で情報を収集し、十分検討の上、施設としての具体的な防災指針を定めていただきたい。

## 1 MR 装置の設置

地震による強振動で MR 装置本体ならびに周辺装置が被る損傷を最小限に抑えるための具体的な方策について述べる。

### 1.1 MR 装置本体ならびに患者用寝台、排気管

#### 1.1.1 設置方式

- ・ 東日本大震災以降に各装置メーカーが採用している MR 装置本体の設置方式は、硬性固定（1. アンカーボルト固定方式）、軟性固定（2. エポキシ樹脂固定方式<sup>1</sup>）、非固定（3. 鋼板上非固定設置方式、4. 鋼板上非固定制振設置方式、5. 台座配置方式、6. 改良台座配置方式<sup>2</sup>）に分類される（資料 I 参照）。
- ・ 従来型のアンカー固定しない 3 方式（上記 3-5）はアンカー固定方式よりも装置本体への全般的な被害傾向が見られることが明らかとなった（文献 1）。特に装置本体の移動により気化したヘリウムの排気管（クエンチダクト）が変形・破断する 2 次的損傷を生じる可能性も高まる。
- ・ 震度 5 以下では MR 装置の全般的な被害程度の軽減にはアンカーボルト固定方式が有効である<sup>3</sup>。
- ・ 復旧の工数については、従来型のアンカー固定しない 3 方式（上記 3-5）は、アンカー固定方式で生じうる床の破損やボルト破断等の結果、重大な損傷による修繕が必要となった場合と比較すれば、少ない期間と費用で修復可能と考えられる。

#### 1.1.2 患者用寝台

- ・ 装置本体と完全に一体型の場合は装置本体とほぼ同一の挙動をする。
- ・ 脱着式の寝台は本体に固定されている限り、装置本体と挙動を同一にすると考えられる。脱着式の寝台は患者を速やかに撮影室外に避難させられる利点があるが、強い軸ずれ等の原因により本体から外せなくなる場合も想定して、脱着式であっても非常時のための非磁性ストレッチャーを常備することを推奨する。
- ・ 昇降機構が装置本体から独立している場合は、強振動により昇降機構のみが移動してマグネット本体と患者寝台の軸にずれが生じ、患者テーブルをボア内から引き出せなくなる場合がある。その防止のために昇降機構の床への十分な固定が望ましい。

<sup>1</sup> エポキシ樹脂固定方式は、阪神淡路大震災以降に採用された方法である。東日本大震災でマグネット本体の移動損傷を経験した施設の中には、復旧に際してこの方式を採用した施設があるが、震災時における評価はまだ定まっていない。

<sup>2</sup> 改良台座配置方式は、東日本大震災後に採用された方法で、震災時における評価はまだ定まっていない。

<sup>3</sup> 震度（気象庁震度階）と設置方式毎の地震被害の状況： 東日本大震災では MR 装置へのなんらかの被害の有無に関して、震度 5 強まで（被害発生率 10～11%）と震度 6 弱以上（36.5%）で有意差が認められた。また、アンカー固定あり（13.0%）とアンカー固定なしの場合（36.4%）でも被害発生率に有意差を認めた。

### 1.1.3 排気管（クエンチダクト）

- ・ MR 装置本体の移動による排気管の損傷を防止あるいはその程度を軽減するため、装置メーカーと協議の上、十分な強度を持ち、かつフレキシブル機構を有する材料での施行が望まれる。
- ・ 今後の MR 装置本体の設置に際しては、各方式の特徴を十分に理解の上、当該地域で想定される最大の振動を考慮し装置メーカーと十分協議して決定すること。

### 1.2 機械室に配置される各種キャビネット

- ・ 機械室に配置されるキャビネット類は相当程度の高さを有するものが多く、強振動による移動と共に転倒防止のための対策が必要である。
- ・ 壁際に設置される各種キャビネットは、「医用画像診断装置の耐震指針（JESRA X-00862000）」に則り、キャビネット前下部、キャビネット後下部（壁側）、キャビネット後上部（壁側）の組み合わせにより固定すること。

### 1.3 操作卓ならびにメインコンピュータ

- ・ メインコンピュータや操作コンソール・各種モニタ等を載せたテーブルは、強振動での移動による壁等への衝突や移動による各種ケーブル・コネクタの破断を防止するために床への固定が望ましい。
- ・ キャスター付きの机脚等は、必ずキャスターを固定しておくこと。
- ・ 操作コンソール・モニタ等は、テーブルの上に防振マット等を敷くことにより振動による滑り・転落を抑制することができる。

### 1.4 受信コイル等の整理棚

- ・ 棚板に防振マット等を敷くことにより受信コイル等の収納品の滑り・転落を抑制できる。

### 1.5 前室に配置の備品等

- ・ 通常、前室には点滴スタンド・救急カート・各種廃棄ボックス等の備品が配置されている。強振動あるいは MR 室が高層階に設置されていて長周期振動があらかじめ想定される場合、患者救出等の際に開放状態となった撮影室入口から、これらのキャスター付備品が撮影室内部に進入する可能性がある。その事を念頭において、キャスター付備品については撮影室入口付近への配置を避けると共に、キャスターをロックした状態で配置することにより吸引事故の防止に留意すること。

## 2 建物構造

### 2.1 建物の免震化

建物の建築時に建物を免震構造にすることが最大の地震対策と言える<sup>4</sup>。

免震構造で施行されなかった場合は、床免震装置や台座（機器）免震装置等により部分的に免震化する技術・工法も開発されている。なお、採用に際しての留意すべき事項は資料Ⅱを参照されたい。

### 2.2 長周期振動に対する対策

- ・ 高層建築物の高層階では、地震の発生により建物の固有周期に基づく共振現象により長周期振動に見舞われる場合があるが、このような長周期振動に対して MR 装置がさらにどのような挙動を示すかは不明な部分が多い<sup>5</sup>。現段階では、できるだけ下層階への設置が望まれる。
- ・ 既に高層階に設置されている場合は、「1.5 前室に配置の備品等」に述べた対応が必要である。

## 3 防災情報システムの活用（緊急地震速報）

先に伝わる地震波である P 波を検知し、地震被害の主因となる S 波が伝わる前に逼迫した危険を知らせる緊急地震速報（予報）<sup>6</sup>は、S 波到達前にガントリー内の患者救出を開始する契機となるので、その受信設備を整備することが望ましい<sup>7</sup>。

- ・ S 波到達予想時刻の情報が提供される緊急地震速報（予報）が推奨される。
- ・ 緊急地震速報(予報)は地震到達までの時間や震度に誤差が含まれることを念頭に置く必要がある。
- ・ 現時点では、直下型の地震に対しては緊急地震速報の恩恵は少ない。

## 4 MR 装置室の防災点検

災害による被害を最小限に止めるためには、日ごろより防災を意識した点検を行うことが肝要である。以下に地震等の災害に備えて定期的に行うべき点検項目を要約すると、各施設で必要事項を手順書に反映させ、項目のチェックシートを作成されたい。

<sup>4</sup> 基礎免震の有効性： 東日本大震災において、宮城県北部の震度 7 を記録した地域のある施設は、同一メーカーの MR 装置を 2 台所有し、1 台は基礎免震構造による本館に設置し、もう 1 台は耐震構造の平屋建て別棟に設置していた。免震構造本館の装置には全く被害がなかったが、耐震構造の別棟に設置した装置は本体が台座から外れ大きく移動し、本体カバー下部が破損、上部カバーが脱落する等の大きな被害を被った。別棟も高い耐震性能により、本館同様に建物自体に損傷はなかったが、内部はまさに震度 7 の激震を免れなかったのである。

<sup>5</sup> 東日本大震災において、東京都内のビルの 9 階に設置された MR 装置が大きく回転・移動した事例が報告されている。

<sup>6</sup> 緊急地震速報には、警報と予報の 2 種類がある。地震波には P 波（秒速約 7km）と S 波（秒速 4km）があり、P 波による揺れが初期微動、後から伝わる S 波による強い揺れが主要動で、後者が被害をもたらす。緊急地震速報(予報)はマグニチュード 3.5 以上を推定（又は震度 3 以上を予測）した場合に、S 波到達予想時刻や受信地点の予測震度などの情報を提供する。緊急地震速報(警報)は震度 5 弱で警報が発せられるが、具体的な推定震度と猶予時間は発表されない。

<sup>7</sup> インターネットで緊急地震速報を受信するシステム（ソフトウェア）も提供されている。

- 4.1 緊急地震速報(警報または予報)による地震発生通報システム(設置のある場合)
- ・ システムの動作原理を理解し、その正常動作を確認する。
- 4.2 停電発生時に動作する自家発電設備等の非常電源設備
- ・ 自施設に設置されている非常電源設備の概要を理解する。
  - ・ 自家発電装置については、運転可能日数の推定のために A 重油等燃料の貯蔵量を確認する。水冷式自家発電装置の場合は、冷却水の供給方法についても確認する。
  - ・ 非常用電源設備からの電源供給範囲を確認する。(MR 装置本体、冷凍機等冷却システム、空調システム、強制排気ファン、酸素濃度計、電灯・コンセント等)
  - ・ 遅延クエンチ発生を防止するために、液体ヘリウムの蒸散を抑制する冷却システムへの非常用電源設備からの電源供給が望まれる。さらに、可能であればクエンチが発生した際の安全対策として強制排気ファンや酸素濃度計への電源供給も望まれる。但し、非常用電源設備からの電源供給の範囲については、容量と施設全体の優先順位により決定すること。
- 4.3 停電発生時の情報収集方法
- ・ 停電発生時には院内電話・PHS 等は使用不能になることを考慮し、院内の災害対策本部等の設置場所・メンバー・連絡体制についてあらかじめ周知しておく。
  - ・ 停電の際の外部との連絡方法として、衛星電話は有効な手段である。衛星電話が配備されている場合はその動作確認を行う。
- 4.4 液体ヘリウムの残量確認方法
- ・ 停電によって冷却システムが長期に停止する場合には、液体ヘリウムの減少量は通常よりも大きくなるため、停電時の液体ヘリウム残量は確認すべき重要な情報である。
  - ・ 液体ヘリウムの残量は、機械室(コンピュータールーム)内のレベルメータに表示されるものと、システムが起動した状態で操作卓画面内に表示させるものがある。残量確認の方法を周知しておくと共に、停電時は液体ヘリウムの残量が通常の方法では確認できない場合がほとんどであることも周知しておく。
  - ・ 停電により冷却システムが停止した際の液体ヘリウムの減少率を事前に MR 装置メーカーから情報入手しておくことが望ましい。尚、残量を推測するためには、通常使用状態での減少推移も参考となるので、日常点検時に液体ヘリウム残量を記録しておくことを推奨する。
  - ・ 液体ヘリウムの減少によりクエンチを生じる限界残量(％、リットル)と、そ

の指標としての意味は、マグネットの仕様により異なるので MR 装置メーカーに確認しておくといよい。

#### 4.5 クライオスタット内圧の確認方法

- ・ ユーザーが簡便にクライオスタット内圧を確認できる装置については、表示装置の位置を確認する。
- ・ クライオスタット内圧の正常範囲を周知しておく。

#### 4.6 酸素濃度計の確認と周知事項

- ・ 撮影室内酸素濃度計の設置場所を確認する。
- ・ クエンチが発生し、撮影室内にヘリウムガスが充満すると酸素濃度が低下する。
- ・ 酸素濃度の正常範囲は 20～21%であり、酸素濃度が 18%以下になった場合は危険なので原則として入室を禁止する。
- ・ 停電の際はバッテリー駆動への自動切り替えが設定されていない限り酸素濃度計が動作しないので、撮影室への入室に際しては十分注意を払うべきである。
- ・ 停電から復電しても直ちにはセンサーが正常に働かない。

#### 4.7 強制排気ファン<sup>8</sup>の確認と周知事項

- ・ 強制排気ファンのスイッチ位置を確認する。
- ・ 強制排気ファンは、クエンチによるヘリウムガスの撮影室内への漏出に際して酸素濃度の低下に連動して自動的に動作するように設計されている。
- ・ 手動スイッチにより強制排気ファンの動作確認をする。(但し、大きな音があるので予め院内や周辺住民に周知するなどの配慮が必要である。)

#### 4.8 緊急電源停止ボタンの確認

- ・ 緊急にシステム電源を停止させるためにボタンの位置を確認する。
- ・ 装置メーカーごとの「緊急電源停止ボタン」の動作内容を確認する。

#### 4.9 緊急消磁ボタン（クエンチボタン）の確認

- ・ 即時に磁場を落とす「緊急消磁ボタン」の位置を確認する。
- ・ 「緊急消磁ボタン」の操作により消磁する際の装置の挙動についてあらかじめ周知しておく。

#### 4.10 磁性体が吸着した場合の対応手順と周知事項

- ・ 磁性体が装置本体に吸着した場合に、「緊急消磁ボタン」を使用して磁場を落

---

<sup>8</sup> JIS Z4951:2012「磁気共鳴画像診断装置—基礎安全及び基本性能」では緊急排気システムについては規定されていないが、日本画像医療システム工業会（JIRA）が作成した「MR 装置引き渡しにおけるガイドライン Rev.1.1」には「MR 室内には、緊急排気装置と酸素モニタが備わっていることの確認（超電導タイプのマグネットの場合）」とあり、災害に備えての日常点検も重要である。



とすかどうかの判断は、「人身事故であるかどうか」が一つの判断基準である。

- ・ 熟練していない者が吸着した磁性体を引き剥がそうとする行為は、2 次災害を引き起こす可能性が高い。物損だけの場合は、装置メーカーのサービスマンに対応を依頼すること。

#### 4.1.1 非常用マニュアルの設置場所の確認（停電下でのマニュアルの参照手段）

- ・ 非常用マニュアルは停電を想定して必ず印刷物を用意し、設置場所を確認する。

#### 4.1.2 現場の立ち入り禁止措置

- ・ 発災後、強磁場の危険性から患者・職員、警官・自衛官等を保護するために撮影室（マグネットルーム）への入室を厳重に制限する必要がある。
- ・ 「立ち入り禁止テープ」による立ち入り制限、開錠が必要となった際の連絡先を記した「MR 室施錠中！」の張り紙をしたうえでの施錠等により、立ち入りを禁止することを周知しておく。これらの処置に必要な材料を予め準備し保管しておくことよい。

#### 4.1.3 MR 装置破損状況の確認事項の把握

- ・ 装置本体の移動、患者用寝台の移動、支持機構の破損、本体カバー（エンクロージャー）の脱落・破損、各種ケーブルの破損・破断、クエンチパイプの破損・破断、受信コイル等整理棚の移動・転倒
- ・ 操作卓の移動・破損、メインコンピュータの移動・破損、機械室キャビネットの移動・破損・転倒、空調機の破損
- ・ 扉・壁・天井・床・磁気シールド・電磁シールドの破損
- ・ 中央配管設備（酸素・窒素・吸引）の設備の破損・パイプ類の破断（ガス漏れに備えて、遮断栓の位置を確認）
- ・ 冷凍機の破損・パイプ類の破断、空調機室外機の破損・パイプ類の破断（漏水に備えて、止水栓の位置を確認）
- ・ 津波や漏水・雨漏りによる浸水の有無

#### 4.1.4 ヘリウム排気管の室外排気口とその周辺の点検

- ・ クエンチ発生の際に強制排気ファンが作動すると、排気管を通り室外排気口から低温のヘリウムガスが排出される。室外排気口には、ヘリウムガスの排出を妨げる障害物（鳥の巣など）がないか、また、その周辺には柵等で人の立ち入りを制限する対策が施されているか確認する。

#### 4.1.5 応援体制、避難誘導の役割分担

- ・ 必要に応じて応援を得るための体制を確認する。

- ・ 入院患者・外来患者の避難誘導等への人員の派遣について確認する。

#### 4.1.6 主な災害対策用常備品

- ・ 携帯型強磁場警報機、携帯型酸素濃度計、ケミカルライト、非磁性消火器、非磁性体のパール（撮影室ドアが歪んで開かない時に使用）、立入禁止テープ
- ・ 「MR 室施錠中！」と「強磁場発生中！」の張り紙（いずれも連絡先も記載）

### 5 防災訓練

日ごろから災害が発生した場合に備えて訓練をしておくことは、被害の程度を最小限にとどめ、さらに２次的被害の発生を抑制するために重要である。頻度は、施設全体の防災訓練にあわせて年１回の頻度で行うことを推奨する。以下に、定期的に行うべき防災訓練として必要と考えられる事項を示す。

#### 5.1 初期対応（地震発生からスキャン中の患者の救出まで）

緊急地震速報受信システムの有無、患者用寝台脱着機能の有無により初期対応は異なる。

##### 5.1.1 地震発生、直ちにスキャン停止

###### a. 緊急地震速報の受信手段を有する場合

緊急地震速報の発令により直ちにスキャンを停止する。

###### b. 緊急地震速報の受信手段がない場合

初期微動（P 波）を感じた時点で直ちにスキャンを停止する。本震（S 波）襲来前の可及的早期にスキャンを停止することを強く勧める。

##### 5.1.2 撮影室への入室、患者を前室まで退避

クエンチ発生に備えて、入室前に手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる。（強制排気ファンのスイッチが操作卓から遠く、その起動に時間がかかる場合はクエンチが発生していない限り入室を優先させる）。

①可及的速やかに撮影室に入り、患者に「地震が来ます」と声をかけながら患者をボア内から患者用寝台上に引き出す。次のようなケースを設定して、訓練することが望まれる。

- ・ すでに激しい揺れにより装置本体が移動しており、患者用寝台との間で軸ずれが生じ、途中から患者テーブルを引き出せなくなる。
- ・ 頭頸部用の大型受信コイルが激しい揺れでボア内壁に干渉し、途中から患者テーブルを引き出せなくなる。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者はマジックテープ等を利用した患者固定帯で固定されている。

- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は乳房用受信コイルにうつ伏せの状態固定されている。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は全下肢撮影用の大型受信コイルで固定されている。
- ・ 患者テーブルを引き出せない状況において、患者は怪我や障害等により自力で動くことが困難である。

② a 脱着式の患者用寝台の場合

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を本体から引き離してそのまま前室まで引き出し、寝台を降下させる。
- ・ 患者用寝台を本体から引き離す前に激しい揺れが襲来した場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に、自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を本体から引き離して前室まで引き出し、寝台を降下させる。

＊強振動による軸ずれ等の物理的被害により脱着式の患者用寝台がマグネット本体から取り外せなくなる場合を想定して<sup>9</sup>、非磁性のストレッチャー等も常備すると有用である。

b 本体と一体型の患者用寝台の場合

i) 独歩患者に対して

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ、引き続き患者を前室まで誘導する。
- ・ 患者用寝台を降下させた時に激しい揺れが襲来してしまった場合は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に、自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を最低位置まで降下させ、患者を前室まで誘導する。

ii) 独歩以外の患者に対して

- ・ 激しい揺れが来る前であれば患者用寝台を最低位置まで降下させ、そのまま揺れが収まるのを待つ。
- ・ 激しい揺れが襲来してしまった時は患者に覆いかぶさるようにして患者が寝台から転落するのを防止すると共に自分の姿勢を保持する。激しい揺れが収まってから患者用寝台を適宜降下させ、非磁性のストレッチャー等に移送して前室まで誘導する。

<sup>9</sup> 東日本大震災において報告あり。但し、本体と一体型と同様の状態になるのみで、それ以上のデメリットは無い。

### 5.1.3 初期対応の留意点

初期対応の最大の目的は患者の安全確保であることは言うまでもない。さらには、スタッフの安全確保も重要である。初期対応の訓練では以下の事項を理解する。

- ・ 激しい揺れと同時に停電が発生し、非常照明の僅かな明かりの中での対処となる可能性がある。
- ・ 激しい揺れのために建物が変形し、撮影室の扉が開閉不能となることもある。撮影室に入る際には扉を開放状態で固定する工夫も必要である。
- ・ 激しい揺れによる装置本体や患者用寝台の移動に起因する身体の挟み込み、ならびに脱落した本体カバーや整理棚から転落した受信コイル等による殴打の危険性がある。
- ・ 即時クエンチが発生する可能性があるが<sup>10</sup>、その場合は慌てずに次の対応を行う。
  - ✓ 操作室にいる時点でクエンチが発生した場合は、直ちに手動スイッチにより強制排気ファンを動作させる。

通常、強制排気ファンは室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作するように設計されているが、自動動作を待たずに手動で動作させる。

- ✓ 次に、直ちに撮影室に入室し、自らの姿勢を低く保ちつつ可及的速やかに患者を引き出し前室まで退避する。

撮影室内にヘリウムガスが漏出することを想定して、頭の高さを発生した雲状のヘリウムガス<sup>11</sup>よりも低くするために、姿勢を低く保ちつつ<sup>12</sup>、可及的速やかに患者を引き出し、患者にもできるだけ低姿勢を取らせて前室まで退避する。

- ✓ 撮影室に入室中にクエンチが発生し、室内の酸素濃度低下に連動して自動的に動作しなかった場合は、手動スイッチで動作させる。
- ✓ 強制排気ファンが作動しなかったり、マグネットの移動により排気管が断裂して、想定よりも多量のヘリウムが撮影室内に放出される可能性がある。
- ・ MR 装置本体の移動等による各種ケーブルの破損・破断が生じた状態で MR 装置を使用すると、電気火災発生の可能性がある。このような状態で通電してはならない。
- ・ 中央配管による酸素配管の破断による酸素漏出の可能性がある。

<sup>10</sup> 発災直後に地震が原因となって発生するクエンチで、東日本大震災での頻度は約 1%

<sup>11</sup> 天井付近から次第に床に向かって充満し、極低温のために空気中の水蒸気を結露させて白い雲のように見える。

<sup>12</sup> 肺泡毛細血管から肺胞腔に出てくるガスの酸素濃度はおよそ 16%であり、通常は空気中で濃度 21%の酸素と濃度勾配に従って交換される。16%以下の酸素濃度の空気を吸い込むと、通常とは逆の濃度勾配により血中酸素が肺胞腔に引き出され、血中酸素濃度の低下を引き起こす。この状態が呼吸中枢を刺激し、反射的に呼吸を促進することになり、さらに低酸素濃度の空気を吸い込んで悪循環に陥る。このように酸素濃度の低い空気は一度吸い込むだけで死に至る危険がある。

- ・ 沿岸地域においては、津波の襲来にも留意しなければならない。
- ✓ あらかじめ津波被害が想定されている地域では、常に津波到達までの時間を念頭に行動すること。
- ✓ 初期対応に引き続き、上階への避難や指定避難所への避難を一連の行動として訓練することが望ましい。
- ・ ダムの決壊・山崩れ等々、施設の立地条件により起こりうる 2 次的災害についてもあらかじめ検討しておくことを推奨する。

## 5.2 患者・付添家族・スタッフの安全確認と報告

### 5.2.1 人的被害状況の確認および応急処置

- ・ 初期対応に引き続き人的被害の状況を確認する。
- ・ 怪我人の発生を想定して、骨折・切創等に対する応急処置の訓練も行うことを推奨する。

### 5.2.2 人的被害状況を所属長へ報告

人的被害の有無ならびに被害の程度を施設で決められた方法で所属長に報告する。

## 5.3 施設の災害対策マニュアルに従った対応

上記「5.1」ならびに「5.2」までを MR 検査室での 1 次訓練とし、以降は施設が定めた災害対策マニュアルに従った対応を行う。

## 5.4 防災点検の実施

上記「4. MR 装置室の防災点検」については、定期的な実施を担保するために、「5.1」、「5.2」、「5.3」に引き続き MR 検査室での 2 次訓練として行うことが望ましい。

## 6 防災計画における留意点

放射線業務を行う部門や医療施設全体の防災計画の中で MR 検査室の防災計画を位置づけ、優先順位を判断すること。また、時間外、休日等に発災した際には、MR 担当者の登院まで時間を要する場合があることも想定される。施設の防災マニュアルには、一般職員による貼り紙や立ち入り禁止テープを用いた MR 撮影室への入室制限措置についても記載することを推奨する。

尚、災害時は、通信インフラ障害により装置メーカーのサービス対応コールセンターとの連絡が困難となることが予想される。代替連絡先や代替連絡手段について装置メーカーと協議しておくことが望ましい。

## 資料

### I 現行の MR 装置の設置方法の分類

#### 1 アンカーボルト固定方式

アンカーボルトにより直接床に固定する方式、現在設置されている装置の多くがこの方式を採用している。

#### 2 鋼板上非固定設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、鋼板上にそのまま据え置く方式。

#### 3 鋼板上非固定制振設置方式

アンカー固定することなく、マグネットの脚部に鋼板を敷き、その上にアブソープションコイルを介してそのまま据え置く方式。

#### 4 エポキシ樹脂固定方式

マグネットの脚部を床にエポキシ樹脂により固定する方式。

＊阪神・淡路大震災後に採用された方式で、1 日で施行可能である。

#### 5 台座配置方式

アンカー固定することなく、床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに脚を載せ置く方式。

#### 6 改良台座配置方式

床に円筒形台座を置いて台座上に固定せずに配置し、本体にはキャスター付き脚を台座周囲に追加装備する<sup>13</sup>。

### II 建物構造の分類と部分免震

MR 装置の設置されている建物構造の分類を以下に要約する。免震構造については、その種類と各々の特徴を整理し、耐震構造や制振構造に対する優位性についてまとめる。なお、建築基準法施行令改正による新耐震基準施行（1981 年 6 月 1 日）前の建物は、下記の分類に該当しない。

#### 1 建物全体構造の違いと揺れに対する応答性能

##### a. 耐震構造

- ・ 建物の骨組みなどを強化し、地震の揺れに対し建物の崩壊を防ぐ。

---

<sup>13</sup> 台座に隣接するように、本体側にキャスター付きの脚を追加装備することにより、強振動により本体が台座から転落・移動しても本体カバー裾部の損傷程度を軽減し、復旧作業を簡素化することを図っている。東日本大震災を経験し、台座配置方式の改良型として考案された。

- ・ 柱を強化したり、耐力壁を増やしたり、接合部を固めて耐震性を高める。
- ・ 建物ならびに内部の揺れを減衰することはできない。

#### b. 制振構造

- ・ 建物に組み込んだ制振部材・装置が地震による揺れを吸収し、建物に地震エネルギーが伝わりにくくする。
- ・ オイルダンパー・鋼材ダンパー・粘弾性壁により地震エネルギーを吸収する。
- ・ 建物の揺れを減衰して損壊を防ぐと共に内部の揺れもある程度低減する。

#### c. 免震構造（基礎免震）

- ・ 建物の基礎部分に設置された免震装置が建物と地盤を絶縁することにより地震の揺れを吸収、建物への地震エネルギーを大幅に低減する。
- ・ 積層ゴム・すべり支承・転がり支承等で地震エネルギーを吸収し、地震動を長くゆっくりとした揺れに変換する。オイルダンパー等を併用して長く続く揺れを抑制する。条件によって、地震の加速度を数分の1（～9分の1）程度まで、気象庁震度階を2～3段階小さく、それぞれ低減させる効果がある。
- ・ 建物の固有周期を長くしてゆっくりと揺れることで建物の損壊を防ぎ、内部の揺れも大幅に低減する。建物内の人々の安全を確保するだけでなく、設備機器・什器への影響も大幅に低減されるため、地震後の施設の機能維持をはかることが可能となる。
- ・ 但し、高層建築物が長周期振動地震に対して共振する問題があるように、免震構造も建物の固有周期を長くするため、長周期振動地震との共振が問題になる。また、従来型の二次元免震では、鉛直方向の揺れに対しては免震の効果は期待できない。

#### d. その他（杭頭免震、中間階免震）

- ・ 「杭頭免震」は、免震装置を直接杭の上に設置することで、基礎免震に必要だった「免震基礎」部分の大幅削減を可能とした。基礎部分の掘削も浅くなり、ローコスト化と工期短縮がはかれる。
- ・ 「中間階免震」は、建物の中間階に免震装置を設置する。基礎部分の深い掘削を必要としない。敷地境界にクリアランスがない、傾斜地である等の条件下で基礎免震よりも有利になる場合がある。

## 2 部分的な免震構造の種類と特徴

以下の方法は、精密機械や測定装置等に用いられてきた方法であるが、MRI 装置への応用は検討が始まったばかりであり、評価はまだ定まっていない。

a. 床免震

- ・ 装置を設置する床の一部、あるいは特定の部屋やフロアにのみ免震装置を設置する方法で、必要な装置あるいは部屋全体に後付けが可能。
- ・ 例えば、セルシートと呼ばれるベースの上に特殊樹脂コーティングの滑走プレートを敷いて免震機構を実現する。

b. 台座（機器）免震

- ・ 免震を必要とする装置の下に設置する装置で、必要な装置に後付けが可能。
- ・ 例えば、直交する 2 方向のそれぞれ独立した傾斜レール上を、装置を載せるテーブルが滑走する。

e. 床免震・台座（機器）免震を設置する際の留意事項

- ・ 床免震装置に関しては集中荷重の制限があり、10 数トンのマグネット本体を 4 脚で支える MR 装置に応用するには技術的工夫が求められる。
- ・ 床免震装置ならびに台座（機器）免震装置には可動範囲に制限がある。  
また、台座（機器）免震装置では装置設置面と床の間に 10 数センチ程度の段差を生じる。
- ・ いずれの装置も排気管にはクエンチにより生じる内圧の上昇に耐えられる強度と一定の可動性を必要とする。
- ・ 装置を設置する範囲での床免震や台座（機器）免震では、強振動や長周期振動の際は人が立つ床に対して MR 装置が数 10 センチの幅で滑ることになり、患者救出の際にスタッフに危険が及ぶ可能性がある。
- ・ 付加工事による免震化を施行する場合は、壁や天井に接続されている固定物と免震構造上のユニット（マグネット本体や患者寝台等）の移動幅を考慮して、詳細に技術的な設置計画を策定することが求められる。

## 文献

- 1 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 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：日本画像医療システム工業会 1998 年 3 月
- 3 医用画像診断装置の耐震指針（JESRA X-00862000）：日本画像医療システム工業会 2000 年
- 4 MR 装置引き渡しにおけるガイドライン Rev.1.1：日本画像医療システム工業会 2006 年
- 5 病院スタッフのための地震対策ハンドブック –あなたの病院機能を守るための身近な対策- 防災科学技術研究所 2012



## MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する調査報告

## 1 はじめに

震災などの非常時において、MR 検査中の患者を安全に避難させるためには緊急用の非常停止ボタンや操作ボタンを的確に操作しなければならない。MR 装置には他の医用機器に比べ非常用の緊急停止ボタンや緊急操作ボタンの種類が多く、複数の箇所に配置されている。超伝導磁石を用いた MR 装置には必ずクエンチボタンが設置されている。それ以外に、緊急電源遮断ボタン、緊急撮像停止ボタン、緊急排気ファン動作ボタン等もある。これらの仕様や設置場所は装置メーカーにより異なっており、東日本大震災の調査結果<sup>1)</sup>からその標準化が必要であると考えられた。その主な理由は、1) 大震災のような非常事態において MR 装置の操作者は強度の緊張下に置かれており、MR 装置以外の事項にも注意を分散させなければならないため、平時とは異なるミスを引き起こしやすい心理状態に置かれている、2) 異なったメーカーの MR 装置が設置されている場合や、異なったメーカーの装置に交換された直後などは、メーカーによる仕様の違いが逼迫した状態に置かれた操作者に混乱を引き起こす可能性がある、3) 非常時には、該当の MR 装置を担当していない者が緊急ボタンの操作を行わなければならない状況が生じる状況が発生する、などである。本調査研究では主な MR 装置メーカー 5 社の代表的仕様を確認し、標準化に向けた考察を行った。

## 2 緊急用非常停止ボタンの分類

マグネット製造メーカーの仕様に基づき、MR 装置製造各社で仕様や設置場所は異なるものの、基本的には以下の緊急用のボタンが存在する。

## 2-1 クエンチ (消磁) ボタン

クエンチボタンは大型の強磁性体の吸着事故時などの非常時に、強制的に消磁するためのボタンである (図 1)。超伝導コイルの一部の温度を上昇させる操作により超伝導磁石の発生する磁場を消失させるが、その過程で放出されるエネルギーにより超伝導線材を冷却している液体ヘリウムが沸騰し気化するので注意が必要とされている。クエンチボタンは MRI 検査室内には必ず設置されるが、操作室にもう一カ所設置されるかどうかはメーカーの仕様によるところが大きい。停電時でも動作するように内部にバッテリーが装備されており、定期点検や決められた期間でバッテリーのチェックや交換が実施される。



図 1 各社のクエンチボタン

メーカーにより形状が全く異なり、設置場所も施設により異なる。

## 2-2 緊急電源遮断ボタン・緊急撮影停止ボタン

これらのボタンは、操作卓もしくはその近傍に設置されていることが多いが、デザインや位置はメーカーにより異なる(図2)。また、類似の用途に見えても、実際にどこまでの停止や遮断が行われるかは異なる(表1, 2)。緊急撮影停止ボタンの主用途は撮影を即時に止めることであるが、その後の作業を念頭においてシステムをどのような状態でスタンバイさせるかはMR装置メーカーによって異なる。さらに、これらのボタンを使用した時に、患者が寝ている寝台がロックされるメーカーとフリーになるメーカーがある点は注意を要する。一方、緊急電源遮断ボタンは冷却系を除くMR装置の全ての電源を即時に遮断するものであり(但し、強制クエンチは行わない)、火災の発生等の事態を想定している。但し、マグネットの冷凍機が停止する装置もある。それぞれの施設で緊急時の対処手順を作成する時に、個々の装置の仕様を十分確認するべきである。



図2 緊急撮影停止ボタンの例

デザインは似ているが、配置されている場所はメーカーにより異なる。

表1 緊急電源遮断ボタンの仕様比較

| メーカー | 電源の遮断状況                                                             | 寝台の状態           |
|------|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| A 社  | MR 装置に供給されている全ての電源が遮断される。チラーなどは遮断されない                               | フリーになる<br>上下動不可 |
| B 社  | 分電盤の主ブレーカーが落ちる。MRI システム全体の電源が落ちる。冷凍機のコンプレッサー、酸素濃度計、クエンチボタンの電源は落ちない。 | ロックされる          |
| C 社  | MR 装置に供給される全ての電源が落ちる。マグネットの冷凍機も停止する。                                | フリーになる          |

表2 緊急撮影停止ボタンの仕様比較

| メーカー | 電源の遮断状況                                      | 寝台の状態  |
|------|----------------------------------------------|--------|
| A 社  | 機械室キャビネット内の傾斜磁場系、RF アンプ系、撮影室マグネット機器への電源供給が停止 | ロックされる |
| B 社  | 撮影が停止する。機器への電源は投入されたまま                       | フリーになる |
| C 社  | 電源の遮断は行わない 撮影停止するだけ                          | フリーになる |

## 2-3 強制排気スイッチ

強制排気スイッチは撮影室内の空気を強力に排気する換気装置であり、主にクエンチにより発生したヘリウムガスが本来の排気経路から撮影室内にも漏洩した場合を想定した設備である。酸素濃度計(酸素モニター)と連動しているため、クエンチ発生時には自動で作動するが、手動で作動させなければならない場合も想定して操作室内の壁面に強制排気スイッチが設置されることが多い(図3)。震災時に停電が発生し、強制排気装置が非常電源に接続されていない場合には作動しない可能性があるので注意が必要である。



図3 緊急排気ボタン(スイッチ)

操作室内に設置されることが多い。表示はあるが何のボタン(スイッチ)かが分かりにくい。通常、酸素濃度計と連動して自動で作動する。

#### 2-4 検査寝台ロック解除ボタン

震災による停電や非常電源遮断ボタン、緊急撮影低ボタンを使用し、寝台がロックされた状態になる場合にロックを解除するボタンである。メーカーにより設置されている位置が異なる(図4)。逆に寝台のフリーボタンを操作した後は、ロックさせる操作を行わないと撮影が始められないように設計されている装置もある。



図4 寝台ロック解除ボタン

メーカーにより設置場所や仕様が異なる。

### 3 現行の工業規格との関係

現在、緊急停止ボタンとしてよく見られる赤色のボタンに描かれている逆三角形又は二重の逆三角形の表示は JIS Z 4004 01-10/11 (IEC417-5110/5178) に規定されているが、それぞれ「停止」または「緊急停止」を意味する。しかし、何が停止されるかまでは規格として規定されていない。図3の緊急排気ボタンに見られる矢印もしばしば見受けられるが、この矢印はラッチ解除のための操作の方向を示すのみである。

MR装置の安全規格である JIS-Z4951 (IEC60601-2-33) では、主として MR 装置の出力に関する規制が記述されており、JIS-Z4952 (IEC62464-1) では MR 撮影における基本画質パラメータの決定方法を規格化している。JIS-Z4950 では吸引事故や電磁適合性に起因するトラブルを防止するための警告マークについて規定されているが、MR装置の緊急停止ボタンについての記載はない。その他、関連のある JIS 規格としては JIS T 0307 (医療機器—医療機器のラベル、ラベリング及び供給される情報に用いる図記号、ISO15223)、JIS B9703 (機械類の安全性—非常停止—設計原則、ISO 13850) などがあるが、いずれも MR 装置に見られる各種の緊急停止操作と直接関連する規定は見られない。

### 4 提言

非常用の緊急停止ボタンや緊急操作ボタンの仕様や設置場所が装置メーカーによって異なっているが、安全管理面から標準化が求められる。東日本大震災で

は、停電により、架台が動かずに患者の退避に手間取った事例や、緊急時にどのボタンを押すべきか迷った事象が報告されている。緊急時に、このようなことがないように標準化が望まれる。しかしながら、医療機器の入れ替え時期は 10 年以上であり、MRI 装置に関しては 15 年以上稼働する装置も少なくない。また、各社の装置のハード面をいきなり変更するのは難しいと思われる。そこで、日本語で分かりやすい表記を決めて表示するルール作りを提案する。具体的には、各緊急ボタンに対して国内共通のシールを作成し、ボタンの横に掲示して誰が見ても分かるような形式にしたいと考えている。いずれは、ハードウェアに反映させていくように業界に提案したい。

## 5 共通シールについて

図 5, 6 に国内共通シールの案を示す(千葉大学 松本浩史、梶田善正 考案)。誰が見てもそのボタンを押した結果が視覚的に分かるような図柄であることが望ましい。しかしながら、前述したように緊急電源遮断ボタンや緊急撮影停止ボタンは、電源が遮断される範囲、患者が寝ている寝台がどのような状態になるかも異なっている。共通のシールと伴に、装置個別の情報も合わせて表示しておくことも必要と思われる。

## 6 実際の使用例

クエンチボタンの横に、シールを掲示した例を示す(図 7)。クエンチボタン使用時の注意事項を記載したシールになっている。メーカーにより設置場所や形状が異なっているが、共通のシールにより

クエンチボタンであることが明確になっていると考えられる。



図 5 クエンチボタンの統一シールのデザイン案



図 6 緊急電源遮断ボタン、緊急撮影停止ボタンの統一シールのデザイン案



図 7 実際の使用例  
異なるデザインのクエンチボタンであるが、統一シールを掲示することによりボタンの機能が明確になる。



## 7 まとめ

発災時に行うべき患者救出に関係する緊急的対応としては、緊急用の非常停止ボタンや操作ボタンを的確に操作する必要がある。MR装置に装備されている各種の緊急停止スイッチは操作の結果に重大な違いが見られるため、逼迫した状況の中で確実な操作を行うためにも、その仕様が標準化され、ハードウェアレベルで統一される意義は大きいと考えられる。その実現を念頭に置いて、仕様の異なる緊急停止ボタンに共通の表示を補助的に付加する取り組みは短期的な対策として有用であろう。

## 文献

中井敏晴、山口さち子、土橋俊男、他  
東日本大震災によるMR装置602台の  
被害状況報告 日本磁気共鳴医学会  
誌 33、92-119、2013

## 警告・緊急ボタン等の仕様比較

| メーカー<br>Magnet  | 操作室<br>掲示物                                                                          | マニュアルへの記<br>載                       | 注意文書<br>安全教材 | クエンチボタン<br>(操作室)                                                                     | クエンチボタン<br>(撮影室)                                                                      | 緊急電源遮断ボタン (シ<br>ステム全体)                                                                | 緊急撮影停止ボタン<br>(撮影室)                                                                                                                                                          |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 東芝<br>Oxford    | なし                                                                                  | 操作ボタンの説明、クエンチの現象説明、安全機構、クエンチが発生した場合 | あり           | なし                                                                                   |    | なし<br>*<br>(メインブレーカー)<br>機械室<br>CPUはUPSにより通電継続                                        |                                                                                          |
| 日立<br>Oxford    | なし                                                                                  | 操作ボタンの説明、クエンチが発生した場合                | あり           |     |    |    |       |
| GE<br>GE Magnex | なし                                                                                  | 操作ボタンの説明                            | あり           | なし (オプション)                                                                           |    |    |       |
| シーメンス<br>Oxford |  | 操作ボタンの説明                            | あり           |  |  |  |   |
| フィリップス<br>IGC   |  | 操作ボタンの説明                            | あり           |   |  |  |                                                                                        |

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

東日本大震災によるMR装置の被害状況からみた発災後のMR装置の復帰手順に関する検討

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

研究協力者

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

**研究要旨**

平成24年度の本研究により東日本大震災によるMRIの被災の概要が把握できた。本分担研究では、これを、発災後のMR装置の復帰手順に結び付けるべく以下の検討を行った。はじめに、被災施設からのアンケート／訪問調査結果およびその分析結果を復帰の立場からあらためて見直した。さらに、ヒアリングなどを通してメーカー側の震災への対応状況や立場を調査し、両者をあわせた被災の実情の把握を行った。その結果、早期の復旧のためには施設側の自主的な立ち上げも必要であったという現場の声がある一方で、自らの責任で立ち上げたいとするメーカーの声もあった。今後、各施設においては施設の実情に合った復帰手順の策定が求められるところであるが、本報告書では、上記の実情を踏まえながら手順策定の参考になるようなチェック項目の抽出を行った。

**A. 研究目的**

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。ところが、低温冷媒、高磁場、高電圧を用いることから、震災時には、医療機関が自ら、緊急的に適切な手順にしたがって、2次災害の発生を防止し、安全の確保を行う必要がある。これまでの被災調査から、特に現場担当者が被害リスクの評価から復帰、再稼働まで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ったこと、さらに、被災後にMR装置を安全かつ可能な限り速やかに復帰させ医療の一端を担うことが求められたことなどが分かっ

た。したがって、発災後のMR装置の復帰手順が求められるところである。

こうした背景から本研究では、東日本大震災によるMR装置の被害調査結果およびその分析結果を復帰の立場からあらためて見直し、さらにメーカーへのヒアリング等の結果から、被災の実情を把握することを第一の目的とした。また、発災後のMR装置の安全管理、復帰手順の作成に関して必要な情報を抽出、整理し、実際に役立つように、具体的なチェック項目のリストを含む形で提案を行うことを第二の目的とした。

## B. 研究方法

厚生労働科学研究として実施された東日本大震災でのMR被害のアンケート調査報告<sup>1, 2)</sup> とその後実施した宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査（聞き取り調査）結果<sup>3)</sup> から、震度と復旧復帰に関する検討、および復帰や機器装置の安全な保全管理上で注目される診療への影響、検査の休止期間や復帰、安全維持に関する被害施設からの自由意見をまとめ分析した。

また、本年度の本厚生労働科学研究の活動の一環として行った、国内の主なMR装置販売メーカー5社からのヒアリング調査を行い、各メーカーのユーザーに対する防災情報発信状況や復帰に対する立場等について確認を行った。これらの調査結果から、特に復帰手順の作成指針に有用と思われる事項を抽出した。

以上の調査結果をもとに、復帰手順作成に関するチェック項目のリストを作成した。

## C. 研究結果

以下の結果まとめには考察部分も含まれるが、本報告書では、厳格さにはこだわらずに、経緯がわかるように記載する。なお、参考資料として表／付録を添付するのであわせて参照されたい。

### アンケート調査結果より

アンケート調査結果の分析結果から、復帰にかかわる重要なポイントをピックアップした。特に、震度と復帰の関係に関連したことについて以下に記す。

はじめに、震度と復旧状況との関係について分析した。分析結果によれば、当日復帰は、震度6で10.4%、震度5で32.5%、震度5未満で45.5%、復旧1週間以上は、震度6以上36.8%、震度5未満9.1%であった（有効回答数371）。メーカーによる復旧作業開始期間、また機

器が使用可能となる復旧期間（有効回答479）では、いずれも震度上昇と関連し有意な復帰遅延が認められた（ $\chi^2$  二乗検定  $p<0.001$ ）（表1）。

次に、復旧の担い手と震度との関係では、有効回答440件のうち、復旧再稼働の担い手が病院スタッフのみとした回答数は178件で、震度5および震度5未満でその割合が高かった。MR装置メーカーによる再稼働あるいは再稼働不能は、いずれも震度6以上で有意に増加であった（ $\chi^2$  二乗検定  $p<0.001$ ）。内容として「MR装置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）の報告がされた（表1）。

### 復帰に関する自由記載

次に、アンケート調査における「復旧に関して困ったこと」への自由記載では、「メーカー関与の不在、不通」が最多で22件であった。福島県では原発事故、岩手県では停電やインフラ障害などを理由とした割合が高かった。（表2）

復帰手順に関する意見では、「停電時も磁場があること、MR従事者以外でもわかる管理手順、クエンチへの外部関係者への説明」など、当事者以外にむけた外部に対する情報発信に関した内容についての記載があった。また、「強制クエンチのタイミング、テストスキャンの評価」など、判断や行動指針に関するもの、また、「わかりやすいマニュアル、フローチャートでの図式化や暗闇を前提にした判読できるマニュアル、など専門担当以外でもわかりやすいマニュアル作成様式への意見が寄せられた。

### 聞き取り調査から抽出した論点

アンケート調査後に行った宮城、福島、岩手の被災三県での訪問調査（聞き取り調査）から得られた、今後の様々な災害、被害を想定した自己復帰



および安全維持管理から再稼働にむけた復帰手順の  
手順作成につながる論点についての抽出を行った。  
その結果は以下のとおりである。

- ・震度を反映した復帰手順を作る必要があるのではないか？
  - ・ユーザーが確認できる震度、酸素濃度計の値、ヘリウム残量、マグネットの内圧など被害時の指標を復帰手順フローにどう活かしていくか？
  - ・クエンチ発生のリスク指標とするために必要なことは何か？また、恐れがある場合の優先チェック項目とその後の対応方法は？
  - ・MR装置の重大被害、稼働してはいけない禁忌項目は具体的に何か？
  - ・自己復帰対応、サービス関与までの安全装置維持管理の手順としてサービスとユーザーの対応、分担をどのように区別していくか？
  - ・津波、洪水、高潮、施設配管破断含め防水対策、安全管理として共通する項目はあるか？
  - ・マニュアル周知と徹底をどうすべきか？
- 等である。

### メーカー各社からのヒアリング結果について

メーカー各社からは、復帰に関連した資料がユーザー向けに発信（配布）されていた。これらの資料は、概ね、日本磁気共鳴医学会から公表された緊急提言<sup>4)</sup>に沿っており、これを各社の実情に合わせて改定したものが多かった。また、メーカー側の立場からは、災害時という特殊な環境であっても再稼働については、ユーザーによる自己点検判断の復帰はすすめられないとしていた。聞き取り調査において、特に不安であるとの意見が多かったヘリウム残量管理に関する情報提供についても、各社とも、ユーザーとの個別的情報であり普遍的な対応は難しいという立場であった。装置の点検は、サービスマンが行うというのが原則であるという前提に立った回答となっていた。実際

の災害においては、サービスマンとの連絡の遅れが深刻な問題の一つとなっていたことを考えると、このような前提のもとで、何らかの有効な提案をする必要があると考えられた。

なお、ユーザーへの発信、広報の形式は、ワークフローによる実務的なものから文書のものまであり、各社さまざまで統一されたものではなかった。

### 復帰手順作成に関するチェックリスト

以上の結果をもとに、復帰手順に関するチェック項目のリストを作成した。このリストは、既に震災時の安全確保として引地らによりまとめられた報告書<sup>5)</sup>の中の図「災害時におけるMR装置の安全管理の流れ」を全体の基本フローとして、その中の「2. 被災状況分類」における5つの分類の下位に位置づける形で作成した（付録1）。さらに、同図における「3～6」の各項目の下位に位置づける形でチェック項目のリストを作成した（付録2～4）。特に、MR検査室の立ち入り禁止措置については例を提示した（付録5）。なお、上記の図は、本報告書の中では「発災時における緊急的対処」としている。

（D. 考察であらためて述べる。）

### 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。

甚大な広域災害時の復帰手順作成策定に必要な点は、あくまでサービスマンが来られない状況での二次災害防止にむけた保全管理の手順と検査が必要な場合の再稼働の復帰手順を明らかにすることといえる。

今回の震度分析では震度上昇において有意に復帰遅延が観察されたことから、震度による指標を被害分類とすることは有効な今後の手順指針等の

作成といえる。こうしたことから、MR 装置の甚大な災害時の安全管理における復帰手順、または廃棄手順では、初期判断として震度や建物に及ぶ被害状況からの分類による点検チェックがなされ、その後患者に関する動作機構の点検、テストストロスキャンによる画像チェック、または、必要となれば廃棄に関する安全確保の手順が重要といえる。

また、同時にこの時の、緊急時の責任者、指揮命令系など評価判断をあきらかにしておくことが重要であるといえる（付録4）。

### 災害時における MR 装置の安全管理の流れ

今回の分担研究報告の目的は、復帰に関する調査結果報告から災害時に欲している安全管理・復帰に関する情報の内容などについて、およそその震度による傾向に基づいた対応、また実際の被害状況把握によるその後の対応など、震災発生初期に MR 検査室において安全確保のためになすべき作業の流れを示すことでもある。よって、災害時における MR 装置の安全管理の流れの中での復帰手順を提案する意図があった。この流れは、結果の最後でも触れたことであるが、2013 年 9 月に開催された日本磁気共鳴医学会大会のワークショップで討議された内容で、流れは文献 5) の図 1 に示されている。本報告における図 1 も同じものを用いている（付録 1～4）。

### 作業の流れの基本

患者と職員の安全確保は最優先事項である。以後の具体的作業は被害状況によるが、MR 検査室における不測の事故を避け MR 装置の復帰を果すためには施設全体の被害や電源、水道、通信等のインフラ障害の状況を把握し必要な対策を講じなければならない。

発災時にとるべき緊急的な対処としては、①患者の安全確保、②職員の安全確保、③2 次災害の防

止、④MR 装置の保全措置の 4 項目が挙げられる。次に、MR 装置と検査室建屋の被災程度の把握が重要である。被災の程度によって、復帰に向けて緊急点検による重大障害の確認作業を行うのか、MR 装置の本格的な修理を行うまでの間は装置の使用を完全に停止して 2 次災害防止のための静磁場発生周知やクエンチ対策等を中心に行うかの判断が必要となる。その後、通常は復帰に向けた計画を考える事になるが、場合によっては MR 装置の廃棄を前提とした管理になる場合もある。

### 被災状況の分類

MR 装置と建物の被害状況は次のように大別される（付録 1）。A. MR 装置が設置されている建物が倒壊、大破し MR 装置が使用不能、B. MR 装置の設置状況に重大な異常が認められる、C. MR 装置の建屋が一部損傷を受けている、D. MR 装置に重大な異常は認められないが、人命救助の必要等の理由により緊急に検査の要請がある、E. 上記のいずれにも該当しない。建物で管理ができない A. の場合は、マグネットに人が近づかない処置を行うことが最も重要である。建物で管理が可能な B. の場合は、復帰をスムーズに行うためのマグネットやシステムの保全、特にクエンチの防止対策が目標となる。C. と D. については、不要不急の検査は行わないが、やむをえず検査を行う場合は施設として最終判断することが求められる。そして、稼働させる際には、MR 装置の状況を十分に把握しリスクを十分に説明できるよう準備することが肝要である。

なお、本来はチェック項目の提示だけでなく、復帰手順を一般化したフローチャートの提案が望ましいであろう。より、安全管理・保全管理の汎用手順書に近いものが提示できれば理想的である。しかしながら、メーカー側の立場と広域災害の実情との乖離からも、一般化するのはなかなか困難

であると考え、今回の検討では、文献5)において策定した、復旧の流れ図の中で位置付けを行いながら、チェック項目のリスト化までを行うこととした(付録2～5)。上記のような一般化を目指すことも重要であるが、より実的な次のステップとして、メーカーとも十分な打合せを行った上で、各施設において施設の実情を考慮した実践的なフローチャートを作成することも重要であると考えられた。本リストは、その際に参考になるであろうと考えている。

## E. 結論

東日本大震災におけるMR装置被害の復旧に関する調査結果と震度分析から、震度の上昇にともなって復旧が遅延する傾向があり、復旧ではメーカー関与が高くなる傾向が認められた。しかしながら、復旧に関して困ったとした自由意見としては「メーカー関与の不在、不通」が最多であり、今後予想される大地震に対しては、メーカー関与が困難なケースも想定が必要である。その場合、被害状況分類による個々の点検チェックに基づく自己復旧、二次災害防止にむけた保全管理の汎用手順書、あるいは各施設の実情を反映した手順書が求められる。

本分担研究では、東日本大震災におけるMR装置の被災調査結果およびその分析結果、およびメーカーへのヒアリング等の結果をもとに、発災後のMR装置の安全管理、復旧手順の作成に関して必要な情報を抽出し整理した。その結果を、チェック項目のリストを含む具体的な形で提示した。

## 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、

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602台の被災状況報告、日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol.33, No.2, p.92-119, 2013/05  
・前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼 誠、引地健生、丹治 一、清野真也、安達廣司郎、武蔵安徳、土橋俊男、町田好男、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、日本放射線技術学会雑誌, *accepted*, 2013/12

## 2. 学会発表

・Hikichi T, Maeyatsu F, Abe Y, Hishinuma M, Machida Y, Nakai T, The influence of seismic vibration on MR scanners observed in the Great East Japan Earthquake: The factors related to slipping off of non-anchored MR scanners, The 69th Scientific Assembly of the JSRT, p.203, 2013/4/13, Yokohama

・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予稿集, #373, 2013/4/13、横浜

・山口さち子、町田好男、土橋俊夫、磯田治夫、野口隆志、中井敏晴、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、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p.419 (P-2-173), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/20)、徳島  
・引地健生、山口さち子、中井敏晴、土橋俊男、前谷津文雄、町田好男、東日本大震災の地震動によるMR装置被害の要因解析 ―アンカー固定の有無と震度について―、日本磁気共鳴医学会雑誌, 33-S, p.328 (O-3-309), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島

・磯田治夫、市川和茂、小山修司、中井敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち子、野口隆志、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、日本磁気共鳴医学会雑誌、33-S, p.329 (0-3-311), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島・町田好男、引地健生、前谷津文雄、阿部 喜弘、菱沼 誠、安達 廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、中井敏晴、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、日本磁気共鳴医学会雑誌、33-S, p.329 (0-3-312), 2013 (第41回日本磁気共鳴医学会大会, 2013/09/21)、徳島・清野真也 丹治一 町田好男 山口さち子 中井敏晴、東日本大震災におけるMR装置被害の実態調査 ～福島県調査報告～、p.40、2013/11/3、福島

・引地健生、前谷津文雄、阿部喜弘、菱沼誠、町田好男、山口さち子、中井敏晴、東日本大震災におけるマグネット移動損傷について ～宮城県内84MRI装置の設置方式の違いと強振動による影響～、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p.41、2013/11/3、福島

・阿部喜弘、前谷津文雄、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、MR検査における発災時の患者救出について、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p.41、2013/11/3、福島

・前谷津文雄、阿部喜弘、引地健生、菱沼誠、町田好男、安達廣司郎、武蔵安徳、清野真也、丹治 一、東日本大震災によるMR装置の被害からみた震災後のMR装置の復帰手順、第3回東北放射線医療技術学術大会予稿集、p. 41、2013/11/3、福島

## 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) 中井敏晴、東日本大震災によるMRI装置被災調査の実施報告、平成24年度厚生労働科学研究費補助金 分担研究報告書、2013
- 2) 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602台の被害状況報告 日本磁気共鳴医学会誌 33、92-119、2013
- 3) 町田好男、岩手・宮城・福島の東北3県のMRI被災調査（アンケートおよび聞き取り調査）、平成24年度厚生労働科学研究費補助金 分担研究報告書、2013
- 4) 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.jsmr.jp/>
- 5) 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第41回日本磁気共鳴医学会大会ワークショップ 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保 日本磁気共鳴医学会雑誌、投稿中

## 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）  
武蔵安德（岩手県立中央病院）  
阿部喜弘（独立行政法人国立病院機構盛岡病院）  
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



**表1 震度別に見た復旧の状況、および、MRの復旧の担い手と震度との関係 (全体)**

MR装置の安全指針作成の要素抽出のために、結果を分析した。

**震度別に見た復旧の状況:**

メーカーによる復旧作業開始までの期間、また機器が使用可能となるまでの復旧期間のいずれにおいても、震度上昇と関連した有意な復帰遅延が認められた ( $p<0.001$ )

| メーカーによる復旧作業(修理)開始までの期間(発災から) |                     |                    |                    |                  |         |  | n371 調査報告解析 |
|------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|---------|--|-------------|
|                              | 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 ) |         |  |             |
| 機械が使用可能となるまでの復旧期間(発災から)      |                     |                    |                    |                  |         |  | n479        |
|                              | 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 ) |                  |         |  |             |

**MRの復旧の担い手と震度との関係:**

「病院(施設スタッフ)による点検のみによる再稼働(178件)」は震度5以下で上昇した。

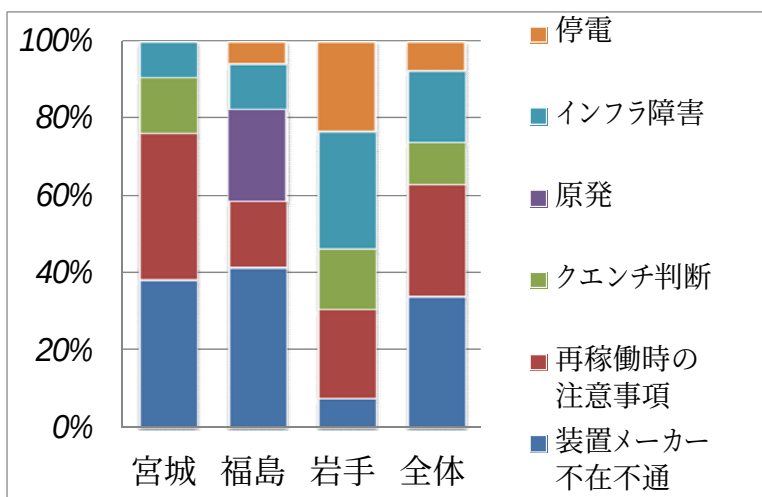
「MR装置メーカーによる再稼働(31件)」、「両者関与するもメーカー主導の再稼働(82件)」、「再稼働不能(20件)」は震度6以上で増加を示した。

| MRの復旧の担い手と震度との関係 (全体) n:440 |                     |                     |   |           | 調査報告解析 |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---|-----------|--------|
| 病院(施設スタッフ)による点検のみで再稼働させた    |                     |                     |   |           | カイ二乗検定 |
|                             | 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 ) |   |           |        |
| 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% ( 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 ) |   |           |        |

**表2 「復旧判断上で最も困ったこと」の自由記載**

「復旧判断上で最も困ったこと」の自由記載で、もっとも回答の多かったのは装置メーカーへの不在不通であった(全体22件、宮城8件)。また、福島では原発 4件、岩手はで停電、交通インフラ障害が7件あったのが特徴的であった。表は件数、グラフは割合で示したもの。

|            | 宮城 | 福島 | 岩手 | 全体 |
|------------|----|----|----|----|
| 装置メーカー不在不通 | 8  | 7  | 1  | 22 |
| 再稼働時の注意    | 8  | 3  | 3  | 19 |
| クエンチ判断     | 3  |    | 2  | 7  |
| 原発         |    | 4  |    |    |
| インフラ障害     | 2  | 2  | 4  | 12 |
| 停電         |    | 1  | 3  | 5  |



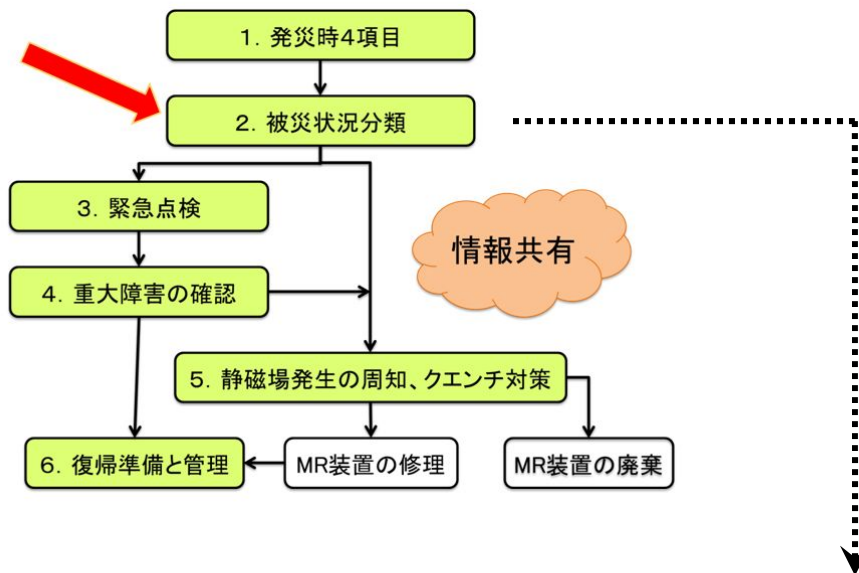


## <付録1> 発災時における緊急対処（2. 被災状況の5分類とチェック項目）

「2. 被災状況分類」の5つの分類の下位に位置づける形で、チェック項目のリスト化を行った。  
AからEに対応するチェック項目は、次ページ以降に示す。

# 発災時における緊急的対処

災害時におけるMR装置の安全管理の流れ



## 被災状況の5分類とチェック項目

**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（建物で管理が不能な場合）

**B**

・ MR装置の設置状況に重大な異常（「MR装置の重大な損傷’参照）が認められる場合（建物で管理が可能な場合）

**C**

・ MR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、人命救助の必要等の理由により緊急に検査の要請がある場合

**D**

・ 建物やMR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、震度5弱以上の影響を受けており、かつメーカーによる点検が当面期待できない場合

**E**

・ 上記のいずれにも該当しない場合

**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(建物で管理が不能な場合)

**チェック項目**

- ☐ 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マグネットが励磁状態を維持しているか、クエンチが生じていないかを確認する
- ☐ 磁場が消失し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とるとともに、警告の表示を行う
- ☐ 磁場が消失していても余震等により建物の損傷が進み液体ヘリウムが残存する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
- ☐ 行政が設置する緊急対策本部等に状況を報告する

**B**

MR装置の設置状況に重大な異常(「4. MR装置の重大な損傷」参照)が認められる場合(建物で管理が可能な場合)

**チェック項目**

- ☐ 該当のMR装置は使用しない
- ☐ 超伝導型のMR装置の場合は、冷却システムの状態を確認し記録をつける
- ☐ 復旧作業が完了するまでの間、立ち入り禁止措置と警告表示を行ない、施設内に周知する
- ☐ 配電盤レベルで冷却系、警報装置以外のMR装置のシステム電源を遮断する

**C**

MR装置が設置された建物が損傷を受けている場合(MR装置の被害の有無を問わない)

**チェック項目**

- ☐ 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
- ☐ 損傷の状況からクエンチ、火災リスクの程度を評価すること
- ☐ 撮影室の電磁シールドの損傷を念頭において、その影響を評価すること

**D**

建物やMR装置の設置状況に重大な異常は認められないが、震度5弱以上の影響を受けており、かつメーカーによる点検が当面期待できない場合

**チェック項目**

- ☐ クエンチや漏電による火災発生、通電による故障箇所の破損拡大の危険性があることを念頭において、緊急性の認められない検査は行わない
- ☐ 人命救助の観点から緊急性の高い検査の要請がある場合は、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、連絡可能ならばメーカーの意見も参考にし、施設の最高責任者がMR装置使用の可否を最終判断する
- ☐ ファントムを用いたテスト撮影と寝台の動作確認を十分に行ない、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
- ☐ 送信機能のあるコイルに損傷が疑われる場合はそのコイルの使用を控えること

**E**

上記のいずれにも該当しない場合

**チェック項目**

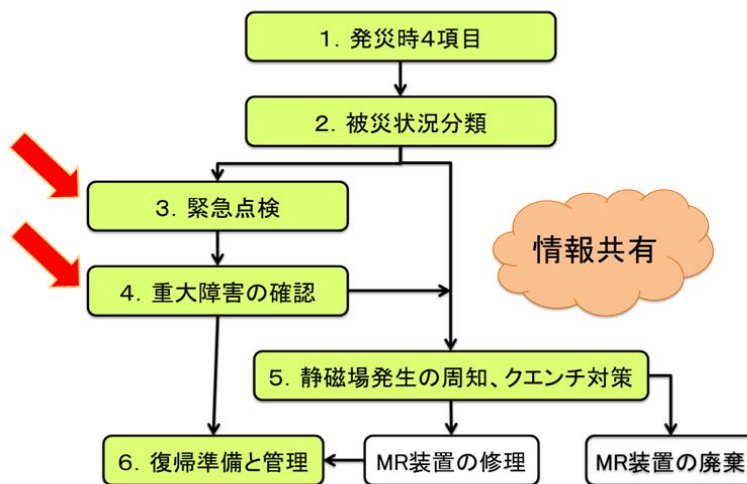
- ☐ 施設で定めた所定の点検手順が完了するまではMR装置の使用は控える事
- ☐ 使用前にMR装置メーカーの点検を受けることが望ましい
- ☐ 状況の変化は常に生じうることを、特に余震や降雨の影響を考慮すること

## <付録2> 発災時における緊急対処 (3. 緊急点検、4. 重大障害の確認)

「3. 緊急点検」、「4. 重大障害の確認」の下位に位置づける形で、チェック項目のリスト化を行った

# 発災時における緊急的対処

災害時におけるMR装置の安全管理の流れ



## 3. 緊急点検

以下のような項目について緊急点検が必要である

### チェック項目

- ☐ クエンチが発生していないか
- ☐ 冷却システムが正常に稼働しているか
- ☐ マグネット（撮影ユニット）が移動していないか
- ☐ 機械室のユニット群（電源、制御、冷却系等）が移動していないか、移動の形跡がないか
- ☐ 撮影室の出入り扉、天井や床、壁に損傷が無いか
- ☐ 空調が正常に動作しているか
- ☐ 酸素濃度計等のモニタが正常に動作しているか
- ☐ 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
- ☐ 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
- ☐ 津波や雨漏り等による浸水の影響を受けていないか

## 4. 重大障害の確認

MR装置の重大な損傷の確認が重要である

### チェック項目

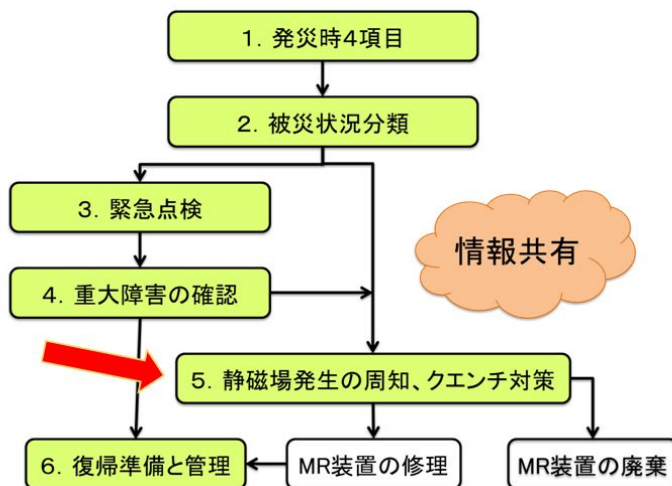
- ☐ マグネットの移動はないか
- ☐ マグネットの架台破損はないか
- ☐ マグネットや冷却機からの異常音発生はないか
- ☐ マグネット上部の配管の損傷、異常（特にクエンチダクト）はないか
- ☐ 冷却システム（室外機も含む）の破損はないか
- ☐ 寝台の破損、可動性不良はないか
- ☐ 磁性体の吸着はないか
- ☐ MR装置や配線経路への浸水、または浸水の痕跡はないか
- ☐ システムキャビネットやコンソールの転倒、破損はないか
- ☐ 撮影室シールドの重大な破損はないか
- ☐ 液体ヘリウム残量が限界線以下に低下はないか
- ☐ 落下して破損した送受信コイルはないか

## <付録3> 発災時における緊急対処（5. 静磁場発生時の周知とクエンチ対策）

「5. 静磁場発生時の周知、クエンチ対策」の下位に位置づける形で、チェック項目のリスト化を行った

## 発災時における緊急的対処

災害時におけるMR装置の安全管理の流れ



## 5. 静磁場発生のお知らせ、クエンチ対策

MR装置が設置された建物が損傷を受けている場合、MR装置の被害の有無を問わず、以下のチェックが必須である

### チェック項目

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。永久磁石装置が磁場を発生し続けるのはもちろんであるが、超電導装置も、建物がかなりの損傷を受けていても、一定量の冷媒が残っていれば磁場を発生し続ける

⇒

- 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。
- 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

### チェック項目 (続き)

地震による振動で液体ヘリウムが減少する場合がある。また、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。液体ヘリウムの充填がないまま停電が続くとクエンチに至る。

⇒

- 超伝導型MR I装置の場合には液体ヘリウムの残量に注意する
- 液体ヘリウムの残量が確認できない場合は目視によるマグネットの観察を続ける
- マグネットの内圧に変化が無いか記録をつける
- 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ため、強制排気システムの動作試験や酸素濃度計の動作状況の確認等を行う

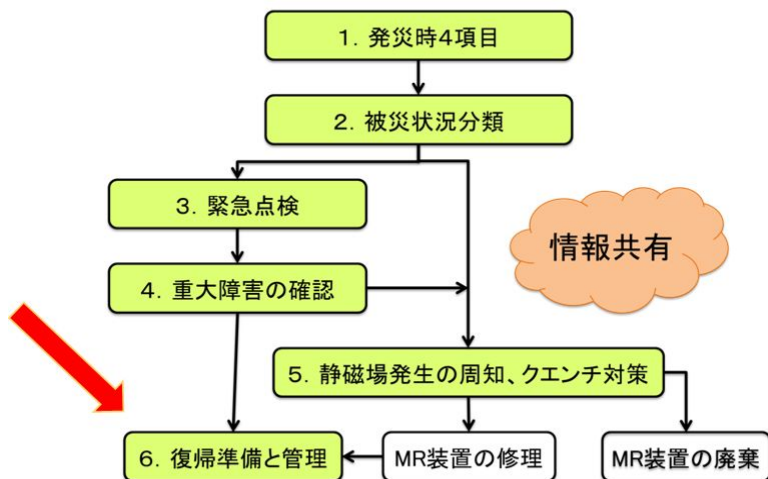


## <付録4> 発災時における緊急対処 (6. 復帰準備と管理)

「6. 復帰準備と管理」の下位に位置づける形で、チェック項目のリスト化を行った。

# 発災時における緊急的対処

災害時におけるMR装置の安全管理の流れ



## 6. 復帰準備と管理

復帰に向けた準備およびシステム管理全般について以下にまとめる

初動判断

- ・MR装置の使用を停止すべき該当事項が無いか確認する
- ・まず空調と冷却系を復帰させ、室温やマグネット内圧が基準値に復帰し安定するまで一定時間の正常動作を確認する

点検  
チェック

- ・MR装置メーカーの指定する手順に従って再点検を行ない、MR装置のシステムの立ち上げを行う
- ・システムが正常に立ち上がったら、インターフェースの表示やデータベースの状況に異常が無いかを確認する
- ・システムの自己点検ユーティリティが装備されている場合は、それを利用して異常の確認を行う

患者動作  
部分  
チェック

- ・寝台の動作点検を複数回行う
- ・マグネット内の患者さんと意思疎通するためのインターコムなどが正常動作するかを確認する
- ・通信が確保されている場合はMR装置メーカーに連絡しオンライン点検等を受けて異常の確認を行う

最終判断

- ・その他、異常動作が無いことを十分確認した上でファントムを使ったテスト撮影を行ない、画像を確認する

再稼働 ⇒ 判断の責任者を明確にし、事前準備として平時からの体制、訓練を！

以上





### ＜付録5＞ 震災後のMR検査室の立ち入り禁止措置の例

静磁場発生のお知らせは極めて重要である。検査室への立ち入り禁止措置のひとつの実例と、検査室入口の張り紙の記載内容の例を示す。



## 【MRI装置設置室(MRI検査室)】

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

**絶対に入室しないでください。**

停電していても強力な磁場は発生したままです。また、ヘリウムガスが漏れている場合もあり、入室すると酸欠など危険な状況になる可能性もあります。

MRI検査室内に入室する必要がある場合は、必ず下記までご連絡願います。

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



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

医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査  
－MR装置の安全に関するリスクコミュニケーションと震災時にすべき事項－

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 主任研究員

## 研究要旨

本研究では、磁気共鳴画像装置（MR 装置）運用上の安全の認知度を問う調査票を実施し、MR 装置の安全な運用の手立てとなる、医療従事者の間でのリスクコミュニケーションの方向性について検討を行った。調査対象は、医療技術安全教育セミナー 2011 講義参加者 246 人を対象とし、MR の安全に関する記述に対する認知度を 4 段階で評価した。その結果、設問 20 個全てにおいて診療放射線技師（N=51）はその他医療職（N=190）より高スコアを示し、かつ統計的有意差が観察された（ $p<0.01$ ,  $t$ -test）。また、その他医療職においては、MR 検査を受けた経験があればある程度 MR 検査に関する安全知識も持ち合わせていた。因子分析の結果 3 因子が検出され、Factor1：「検査に関する安全の認知度」、Factor2：「磁界に関する安全の認知度」、Factor3：「MR 装置に関する安全の認知度」と命名した。因子ごとの下位尺度得点を、職業別、MR 検査を受けた経験の有無別で比較すると、いずれの場合においても Factor2 が最も高得点を示したが（Tukey-kramer,  $p<0.001$ ）、それ以外の因子は診療放射線技師以外では認知度が低かった。また、検査を受けた経験による認知度への影響は限定的に観察された。MR 装置運用時のトラブルは時に重大な人的災害を引き起こす可能性があることから、このような MR 装置の利用になじみの薄い医療系職員の安全意識の特性を踏まえたリスクコミュニケーションや安全トレーニングの取り組みが求められる。

### A. 研究目的

磁気共鳴画像法（Magnetic Resonance Imaging：MRI）は数テスラ（地磁気の数万倍）の高い静磁界を利用した検査手法で、磁気共鳴画像装置（以下、MR 装置）は国内で数千台設置され、年間 100 万件以上の検査が行われている身近な医学検査である<sup>1)</sup>。一方で MR 装置は被曝がないものの撮像に強力な磁界を利用する。販売主流である

超伝導 MR 装置では超伝導状態の維持のために大量の冷媒（液体ヘリウム）を装置に包含し、かつ、高電圧大電流を使用する運用管理に非常に専門性を有する装置である。このような経緯から MR 装置は厚生労働省が定める「特定保守管理医療機器」に分類され、保守点検、修理その他の管理に専門的な知識及び技能が必要とされている<sup>2)</sup>。MR 装置の設置場所は基本的に他のクリニ

カルエリアと隔絶され、操作や日常の保守管理も主に MR 検査担当の診療放射線技師が担当している。

一方で、MR 装置の安全（何が危険因子であるか、何をしてはいけないのか等）については、医療従事者の間での十分な知識の共有が行われているとはいえない状況である。MR 装置運用時のトラブルは、時に重大な人的災害を引き起こす可能性があり、例えば、磁性体の吸引による受傷<sup>3-7)</sup>、体内や体外の金属による火傷<sup>8,9)</sup>、超伝導マグネットのクエンチによる冷媒放出による窒息やクエンチダクトからの冷媒放出による凍傷の危険性<sup>10,11)</sup>などがあげられる。通常 MR 検査はエキスパート（日常的に MR 装置を取り扱い、十分な安全知識を持つ集団：主に診療放射線技師）が担当し、エキスパート以外の医療職が直接関与する機会は看護師が配属されている場合ぐらいである。しかしながら、重症患者の検査や緊急 MR 検査、火災や自然災害など非常時にはエキスパート以外の医療職も MR 検査室に立ち入って作業の補助を行う状況が生じうる（図 1）。また、これまでに MR 検査を担当しない医療従事者による MR 検査室での事故事例が数多く報告されており<sup>3), 4)</sup>、実際に MR 装置への金属の吸引事故の 3 割以上は通常 MR 検査を担当しない集団が誘起したという報告がある<sup>4)</sup>。MR 装置の安全教育に関しては、主に放射線科の新人を対象とした部局内の安全講習はあっても、他科との合同研修が実施されることは稀であり、このように現状では医療従事者の間での十分なリスクコミュニケーションが行われないうまま MR 装置が運用されている。

このため、MR 装置の安全な運用のため

に、エキスパート集団のみならずそれ以外の医療職についても安全知識の共有が必要であるが、リスクコミュニケーションや安全トレーニングについては画一見解が存在していない。また、それら安全教育の方向づけに際しては、MR 検査のエキスパート集団とそれ以外の集団の認知度の違いを視野に入れる必要がある。

そこで本研究では、磁気共鳴画像装置（MR 装置）運用上の安全の認知度を問う調査票を実施し、MR 装置の安全な運用の手立てとなる、医療従事者の間でのリスクコミュニケーションの方向性について検討を行った。様々な分野の医療従事者から構成される医療技術安全教育セミナー受講者を対象として、MR 検査及び MR 装置運用に関する事項の認知度を問う調査票「磁気共鳴画像装置（MRI）の安全に関する意識調査」を実施し、

- ・ MR 装置利用や検査手法に習熟した集団と、習熟していない集団（その他医療従事者間）における、項目の認知度と、その差異
- ・ 過去の MR 検査を受けた経験の有無が、項目の認知度に及ぼす影響
- ・ 各項目の認知度（得点）に関与する要因の検討

について検討した。また、上記事項の検討結果から、MR 装置利用や検査手法に習熟していない医療系職員の安全知識の認知状況を把握し、その結果を踏まえたうえで、研修の実施や日常の MR 装置の安全運用にどのような対策や配慮が必要であるか検討を行った。

## B. 研究方法

### 1) 調査対象者と実施方法

本調査は、一般社団法人 日本磁気共鳴医学会と医療技術安全教育セミナーの開催元である国際医療リスクマネジメント学会に協力を得て実施した。調査は、2011年10月9日に開催された医療技術安全教育セミナー2011の「医療機器の災害対応(2)災害時のMR検査の安全に関する緊急提言」講義参加者246人を対象とした。調査票は無記名であり、調査実施前に回答を拒否しても構わない旨をアナウンスした。予備知識がない状態で回答が得られるように、講義開始直前に調査票を渡し、講義の最初の5分間で回答してもらい、直ちに回収したのち講義を開始した。なお、調査票の内容については、クイズ等で内容に触れながら解説を行った。

### 2) 調査票と集計

調査票は、回答者の基本属性（年齢、性別、職種）とMR検査の経験有無、MRIの安全に関する20の質問事項から構成され、「聞いたことがあり内容も理解している」、「聞いたことがある」、「断片的に聞いたことがある」、「知らない／初めて聞いた」の4段階で評価した（表1）。調査票の記入内容は「EZ アンケート」（プレテクニカ社）の集計機能を用いて、スキャナー（CANON MP560）で調査票を読み込みCSVフォーマットに出力した結果を、1名が独立に読み込み、確認・修正を行い最終データとした。

### 3) 解析

本調査の有効回収率は97.6%（N=240）。職業に関しては、重複回答があった場合は、

最も業務比率が高いと考えられる回答を選択した。一次集計後、職業に関しては、診療放射線技師群（N=51）とその他医療職群（N=190）の2群として扱った。また、過去のMR検査の有無に関しては、MR検査の専門知識を有しない集団における影響を検討するために、その他医療職の集団の該当者のみ（経験あり群（N=87）、経験なし群（N=74））解析で取扱った。

回答を「聞いたことがあり内容も理解している」=4点、「聞いたことがある」=3点、「断片的に聞いたことがある」=2点、「知らない／初めて聞いた」=1点に再コード化した。全回答（N=240）、職業別、MR検査を受けた経験あり／なしの各集団における尺度得点を算出した。職業及びMR検査を受けた経験あり／なし間の平均得点について、それぞれt-testで有意差検定を行った。

続いて、各設問の得点に関与する因子を検討するために、主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。2つ以上に負荷する項目や、十分な負荷量を示さなかった項目を除外しながら因子分析を行った。因子のCronbachの $\alpha$ 係数は0.78–0.9で十分な信頼性が得られていた。分析における因子負荷量の基準は絶対値が0.35以上とした。職種（診療放射線技師、その他医療職）又はMR検査を受けた経験（あり、なし）別に下位尺度得点を求めた。下位尺度得点の統計解析は、各集団の因子間の平均得点について、職種（診療放射線技師、その他医療職）又はMR検査を受けた経験（あり、なし）それぞれについて二元配置分散分析を行った。下位検定として、交互作用に有意性が認められた場合、因子ごとの対応についてt-testを行った。また、有意な因子の

主効果が認められる場合には、Tukey-kramer の検定を行った。統計解析には、IMB SPSS Statics19 (IBM 社) を使用し、統計的有意水準は  $p<0.05$  とした。

### C. 研究結果

表 1 に各設問内容を示す。以下、Q1-20 の設問内容については表 1 を参照にされた。

回答者の基本属性を表 2 に示す。回答内訳は、年齢：20 代 25 名、30 代 72 名、40 代 78 名、50 代 60 名、60 代 6 名、性別：男性 166 名、女性 43 名、職種：診療放射線技師 51 名、その他医療職（医師 17 名、看護師 40 名、臨床検査技師 11 名、臨床工学技士 104 名、その他 18 名）であった。過去の検査有無：検査経験あり 125 名（うちその他医療職 87 名）、検査経験なし 83 名（うちその他医療職 74 名）であった。

表 3 に回答を点数に再コード化し尺度得点を算出した結果を示す。職種の筆頭回答は臨床工学技士であり MR 検査業務への関与は必ずしも密接ではないが、本研究では MR 装置を日常的に運用している職種とそれ以外の職種に着目するため、「診療放射線技師群」と「その他医療職群」の二群に分類した。職種別の得点では、診療放射線技師群がいずれの項目においてもその他医療職群より高得点で、かつ、平均得点は 3 以上であった（表 3 A）。平均得点 4（全員が「聞いたことがあり内容も理解している」）も、5 項目（Q1, Q3, Q7, Q10）であった。その他医療職群においても、後半で得点の低下傾向が観察された。いずれの設問においても、診療放射線技師群とその他医療職群の平均得点について、統計的有意差が観

察された ( $t$ -test,  $p<0.001$ , 表 3 A)。

続いて、その他医療職群で過去に MR 検査を受けた経験の有無について回答のあった集団を対象に同様に解析したところ、Q13 を除いて、いずれも経験あり群が高得点を示した（表 3B）。5 項目について平均得点について統計的有意差が観察され（Q7, Q8, Q14, Q16, Q20）、特に、Q20 については強固な統計的有意差 ( $t$ -test,  $p<0.001$ , 表 3B) が検出された。

各設問の得点に関与する因子を検討するために、因子分析を行った結果を表 4 に示す。2 つ以上に負荷する項目や、十分な負荷量を示さなかった項目を除外しながら因子分析を繰り返し 3 因子が抽出された（表 4）。除外した因子は Q2 及び Q15 であった（表 4）。各因子に含まれる設問内容より、Factor1：「検査に関する安全の認知度」、Factor2：「磁界に関する安全の認知度」、Factor3：「MR 装置に関する安全の認知度」と命名した。

続いて、各因子の下位尺度に含まれる項目平均値を下位尺度得点とした。まず、各因子の平均得点と職種（診療放射線技師、その他医療職）について二元配置分散分析を行った結果、因子、職種の主効果と交互作用に有意差が観察された（全て  $p<0.001$ ：図 2）。因子の主効果について下位検定を行ったところ、Factor2 が最も高得点を示し、Factor1 と Factor3 の間で有意差が観察された（Tukey-kramer,  $p<0.05$ ,  $p<0.001$ ）。職種の主効果については、診療放射線技師の全ての因子得点はその他医療職より有意に高値を示した（Tukey-kramer,  $p<0.001$ ）。MR 検査をうけた経験あり／なしについても同様に検討を行ったところ、交互作用は観察

されなかった。

因子の主効果について検討を行うと、職種間の比較（図 2）と同様に Factor2 が最も高得点を示し、Factor2 と Factor1 及び Factor3 の間で有意差が観察された（Tukey-kramer,  $p < 0.001$ ）。経験の有無については、図示的には両群の差が小さかったが経験の主効果は観察された（二元配置分散分析,  $p < 0.01$ ）。

#### D. 考察

これまでに、MR 装置の不適切な利用は、吸引やクエンチ等重大な人的災害につながる可能性は認知されつつも、MR 装置の操作に最も携わる診療放射線技師以外をも対象に含めた安全教育は行われていなかった。しかしながら、実際には日常業務における事故防止の観点からは MR 装置の特性に精通していない集団をも対象にする必要があり<sup>3),4)</sup>、加えて昨今の震災等を通じて非常時における MR 装置の安全対策の必要性が提起されている。

一般に、MR 装置の主たる特性である静磁界の利用は、MR 装置の使用者のみならず広く認知されている。鉄などの金属が磁界によって引き寄せられることがよく理解されていることがその一例である。一方で、現在流通している MR 装置は永久磁石型もしくは超伝導型であり、検査時以外でも磁界が発生していることが時として忘れられがちなのは、過去の事故事例<sup>3-6)</sup>や（独）医薬品医療機器総合機構の啓蒙活動<sup>7)</sup>からうかがい知れる。このように、MRI の安全に関しては、認知度の高い事項とそうでない事項が存在することが予想されていたが、これまで詳細は検討されていなかった。

そこで本研究では、MRI の安全に関する

調査票を作成するにあたり、1) 規格や安全基準に関する基礎事項、2) 作業安全に関する事項：MR 装置運用上の安全、3) 医療安全に関する事項：MR 検査の安全の 3 点を考慮した。これら個々の事項については既に多くの著作や文献が存在している<sup>5-16)</sup>。1) については、JIS 規格<sup>12)</sup>、MR 検査のためのガイドライン<sup>8),13)</sup>、MR 適合性検査<sup>14), 15)</sup>に関して設問を作成した（Q1-4, Q15）。2) については、主に磁界による吸引事故<sup>3-7)</sup>、液体ヘリウム利用とクエンチに関して問うた<sup>10,11)</sup>（Q5-13）。3) については、静磁界の生体影響<sup>8), 9), 13)</sup>、撮像シーケンスで発生するラジオ波やパルス磁界による発熱や神経刺激<sup>8,9)</sup>、騒音<sup>12,13)</sup>に関して記載した（Q14, Q16-Q20）。

回答者の基本属性のうち、事前に予想された「職種」と「MR 検査を受けた経験の有無」以外では、年齢は職務歴に關係するため解析を行ったが、特に影響は検出されなかった（data not shown）。ただし、今回の調査では、「現在 MR 装置を取扱っているか」に関する設問を設けなかったため、診療放射線技師の MR 装置の操作経験まで推定できない。しかしながら、年齢分布などから推定するに、診療放射線技師の回答者は MR 検査について一定以上の経験を有するものと考えられる。また、職業の筆頭回答は臨床工学技士であり一般的には人工心肺装置や人工透析装置、人工呼吸器、心臓ペースメーカーといった生命維持管理装置の操作および保守点検などを行う。一般的には MR 検査業務との接点は少ない。本研究では、MR 装置を日常的に運用している職種とそれ以外の職種に着目するため、「診療放射線技師群」と「その他医療職群」の二群に分

類した。

表3のとおり、第一にMRの安全に関する事項について、診療放射線技師のような日常的にMR装置を運用し、かつ、十分な安全知識を有するエキスパート集団以外では安全に関する認知度が十分に浸透していないことが明らかとなった(表3)。続いて過去のMR検査の経験の影響については、部分的に観察された(表3)。これは、検査前の説明や検査室前の表示などが認知度に影響を与えていたと考えられる。

続いて、各設問の得点に関与する因子を検討するために、因子分析を行った。因子分析の結果から、認知度の背景には3因子、Factor1:「検査に関する安全の認知度」、Factor2:「磁界に関する安全の認知度」、Factor3:「MR装置に関する安全の認知度」が検出された(表4)。この中で、Factor2とFactor1及びFactor3間で大きな認知度の差異が表面化した(図2及び3)。このことから当初の予想通り「磁界に関する安全の認知度」に関連する事項はどの集団においても最も得点が高いが、一方で電気設備やクエンチといった「MR装置に関する安全の認知度」と実際の検査に関連する「検査に関する安全の認知度」の認知度は低く見逃されがちであることが明らかとなった。また、検査を受けた経験の有無と因子に関する二元配置分散分析の結果からは交互作用は観察されなかったが、経験の有無の主効果は観察されたことから(図3)、MR検査を受けた経験は安全意識の向上に一定の効果があるものの影響は限定的であると考えられた。

Factor1:「検査に関する安全の認知度」にはいくつかの要素があるが、昨年に日本磁

気共鳴医学会会員を対象としたアンケートを実施したように、近年は「MR適合性」への関心が特に高い<sup>16)</sup>。MR適合性とは患者の体内や体外に存在する人工物や、MR装置の周辺に持ち込まれる機材がMR検査の実施において何等かの危険性の原因となりうるかどうかのリスク予測の概念である。MR装置が高性能化し、3T装置に代表されるような高い静磁界とラジオ波や、高速イメージングを実現する大出力の傾斜磁場装置を備えたMR装置が一般の医療機関にも普及した結果、新規の体内金属(インプラント)や医療材料のMR適合性だけでなく、従来の1.5T以下のMR装置を用いた検査では安全性が問題にされていなかった製品についてもMR適合性の再検討を行う必要性が生じた<sup>14), 15)</sup>。現実には、病院内の検査体制の中で患者のインプラントに対する意識ギャップから、検査時に困難を伴うことがある。従って、本研究の結果を基づいた安全トレーニングに対する提言としては、第一にMR装置を扱うスタッフだけでなくMRIの専門的知識を有しない他科の医療スタッフにおけるMR適合性の注意意識の共有と、第二にMR適合性に関する医療従事者間の意識ギャップを念頭に置いた検査体制の充実を病院全体の課題として(例えば医療安全委員会での議事として)検討することがあげられる。作業保護の観点からは、近年のインプラントの普及状況を鑑み、医療従事者自身がインプラント保有の当事者となった場合の可能性や対応についても検討が必要であると考えられる。

Factor2:「磁界に関する安全の認知度」に関しては、高磁界環境における磁性体の吸引事故は非常によく認知されていた(図2



及び 3)．これは、重量物の吸引事故は死亡者が発生しうる重大事故になるため<sup>5-9)</sup>、過去に安全教育や啓蒙活動が進められてきた結果であると考えられる。しかしながら MR 装置への磁性体の吸引事故は最も発生件数の多く日常的な注視が必要な安全管理事項であり、かつ診療放射線技師以外の職種が吸引事故の発生者であることも少なくない<sup>3),4)</sup>．従って、診療放射線技師以外の職業者と合同トレーニングを行い、磁界に対する認識（特に撮影時以外にも磁界が発生していること）の更なる啓蒙を進めることが望ましいと考えられる。

Factor3：「MR 装置に関する安全の認知度」については、「検査に関する安全の認知度」と同程度の認知度であった（図 2 及び 3）．現在主流の MR 装置は液体ヘリウムを冷媒として使用した超電導マグネットであり、超伝導状態では常に大電流が静磁場を発生させるコイルを流れ続けている。加えて大出力の傾斜磁場装置などの付帯設備も設置されており、これらのことは、MR 検査室では機械設備から漏電などが元で火災が発生しうることを意味する。クエンチの発生頻度は非常に低く、診療放射線技師以外が日常的に注意を払う必要のある事項ではないが、緊急時にクエンチしたヘリウムの白煙を患者が火災と誤認する例もあるため、火災や自然災害などの非常時において適切な対応が取れるよう、全ての医療スタッフがどのような現象であるかを知っておくべきであろう。

最後に、医療機器の安全管理の現状に関しては、平成 19 年 3 月 30 日付けで厚生労働省医政局指導課より改正医療法（医療法第 6 条の 10、及び医療法施行規則第 1 条の

11 第 2 項第 3 号平成 19 年 4 月 1 日施行)の通達があった<sup>18)</sup>．この通達では、「病院、診療所又は助産所の管理者は、医療機器に係る安全管理のための体制の確保に係る措置を講じなければならない」とあり、ア)医療機器安全管理責任者の設置、イ)従業者に対する医療機器の安全管理のための研修実施、ウ)医療機器保守点検計画の策定と保守点検実施、エ)医療機器仕様に関する安全情報収集と安全使用のための改善方策の実施、について講じなければならないと定められている<sup>17)</sup>．従って、MR 装置の安全管理は施行前と比較してより厳重さが求められている状況にあるといえる。ただし、病院の医療安全体制の状況をみると、安全管理のための委員会（医療安全管理委員会等）や研修の体制は、ほとんどの病院で整備されているが<sup>18)</sup>、実際の管理は職種ごとの責任者が行っており、研修対象者は当該医療機器に携わる医療従事者のみであることがほとんどである。しかしながら、前述のように MR 装置運用時のトラブルは、磁性体の吸引による受傷、金属による火傷、超伝導マグネットのクエンチによる冷媒放出による窒息、クエンチダクトからの冷媒放出による凍傷など、重大な人的災害を引き起こす可能性が包含されている。従って、MR 装置の安全な運用、すなわち患者及び作業者の安全確保の観点から、改めて MR 検査に携わるエキスパートだけでなく全ての医療スタッフ（MR 検査の非エキスパート集団を含む）への安全知識の認知度を底上げの必要性を訴えたい。そのためには、全職種を対象とした安全教育の中に MR の安全に関する基本知識を盛り込むことが望ましいと考えられる。

## E. 結論

本研究では、MR 装置の安全な運用の手立てとなる、医療従事者の間でのリスクコミュニケーションの方向性について検討を行った。その結果、診療放射線技師以外の職業者では、MR 装置と磁界の関係はよく認知されており、加えて、MR 検査を受けた経験があれば、ある程度検査に関する安全意識に関する知識も持ち合わせていた。ただし、MR 検査を受けた経験は全体的な認知度を底上げする効果はあるが、そもそも認知度の低い要因にまで影響を与えるものでなかった。

これらの結果と普段の病院の体制や MR 装置の利用状況を考慮すると、病院の医療安全の体制として、診療放射線技師以外の職業者に対して有効な対策や配慮として、下記のことを提案する。

① MR 装置の発生する磁界の関係については、潜在的に認知度が高い。ただし、容易に連想できる吸引事故以外の側面からの説明も必要である。

② 検査の施行に関する安全意識に関係する事項については、過去に MR 検査を受けた経験がある場合、ある程度の知識を与えるが、全般に認知度は低い。診療放射線技師以外の職業者に対しては、MR 検査をオーダーする当事者として理解を促すため、また、体内金属（インプラント）のある場合の立ち入りについて周知するため、一般的な検査に関する安全知識の説明が必要である。

③ MR 装置のハードウェア（冷媒や電源

などの付帯設備を含む）に関しても、安全に関する認知度は低い。しかしながら、冷媒関連事故は MR 操作者以外も巻き込まれる可能性があることから、火災や自然災害などの非常時において迅速で適切な処置を講じることのできるよう、どの医療スタッフについても等しく知識の共有が求められる。例えば、クエンチダクトの意味や、排出場所の周知と立ち入り制限の必要性、加えて火災と間違えられやすいことの説明が必要である。

④ 非常時においては、立ち入りの可能性のある全ての関係者に対し詳細な情報を周知しようとすることは現実的ではなく、むしろ、MR 検査室の担当者やその周囲の医療職の者がこのような専門知識の無い不特定の進入者の行動を予測することが必要である。

## 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（2013）東日本大震災による MR 装置 602 台の被害状況報告．日本磁気共鳴医学会誌 33，92-119.

・山口さち子，中井敏晴（2013）医療系職員の磁気共鳴画像技術の利用における安全意識調査．労働安全衛生研究，in press.

・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，山口さち子，中井敏晴（2013）東日本大震災の被災地に

における MR 装置被害の実態調査報告. 日本放射線技術学会誌, in press.

## 2. 学会発表

・山口さち子, 町田好男, 土橋俊男, 磯田治夫, 野口隆志, 中井敏晴 (2013) 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. 第 41 回日本磁気共鳴医学会, 講演抄録集, p419.

・引地健生, 山口さち子, 中井敏晴, 土橋俊男, 前谷津文雄, 町田好男 (2013) 東日本大震災の地震動によるマグネット移動の要因解析—アンカー固定の有無と震度について—. 第 41 回日本磁気共鳴医学会, 講演抄録集, p328.

・磯田治夫, 市川和茂, 小山修司, 中井敏晴, 町田好男, 土橋俊男, 山口さち子, 野口隆志 (2013) 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. 第 41 回日本磁気共鳴医学会, 講演抄録集, p329.

・引地健生, 前谷津文雄, 阿部喜弘, 菱沼誠, 町田好男, 山口さち子, 中井敏晴 (2013) 東日本大震災におけるマグネット移動損傷について—建屋構造と設置方式による違いと震度毎の発生頻度—. 第 3 回東北放射線医療技術学術大会, p105.

## 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 23 年医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告.

<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/11/dl/1-3.pdf>

2) 医療機器の一般的名称とクラス分類. 薬事日報社.

3) 引地健生. MRI 検査における安全管理—事故事例の検討—日職災医誌. 2004 ; 52 : 257- 264.

4) 土井司, 山谷裕哉, 上山毅, 他. MR 装置の安全管理に関する実態調査の報告 思った以上に事故は起こっている. 日本放射線技術学会誌. 2011 ; 67(8) : 895-904.

5) 川光秀昭, 土橋俊男, 宮地利明, 他. 3T-MR 装置の安全管理. 日本放射線技術学会誌. 2008 ; 64(12) : 1575-1599.

6) 土橋俊男. いま改めて 3T MRI の安全性を考える (3T MRI の吸引事故を防ごう). インナービジョン. 2012 ; 27(9) : 66-67.

7) (独) 医薬品医療機器総合機構. PMDA 医療安全情報. 2011 ; 26.

8) Guidance for industry and FDA Staff - Criteria for Significant Risk investigations of magnetic resonance diagnostic devices. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health, 2003.

9) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement AMENDMENT TO THE ICNIRP “STATEMENT ON MEDICAL MAGNETIC RESONANCE (MR) PROCEDURES: PROTECTION OF PATIENTS”. Health Physics Society 2009 ; 97 : 259-261.

10) 西村健司. MRI のクエンチに関する多

- 角的考察. 日本放射線技術學會雜誌. 2008 ; 64(3) : 388-390.
- 11) 宮地利明. MRI の安全性. 日本放射線技術學會雜誌. 2003 ; 59(12) : 1508-1516.
- 12) 日本工業規格. JIS Z 4951 磁気共鳴画像診断装置-基礎安全及び基本性能. 2004.
- 13) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys 1994 ; 66 : 100-106.
- 14) 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.
- 15) 黒田輝. ASTM 基準に基づく MRI 適合性評価. 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 ; 86-106.
- 16) 山口さち子, 中井敏晴, 村中博幸, 土橋俊男, 山田直明, 黒田 輝, 鎮西清行, 吉川典子, 川光秀昭, 原田潤太, 森川茂廣, 吉川宏起. MR 検査の安全性についてのアンケート実施報告書. 日本磁気共鳴医学会雑誌. 2011 ; 31(3) : 151-166.
- 17) 厚生労働省医政局長通知. 2007 ; 医政発第 0330010 号.
- 18) 厚生労働省. 平成 17 年医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告の概要.  
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/05/>

表 1 設問番号及び内容

| 番号                                                                                                                                                              | 設問                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Q1                                                                                                                                                              | MRI は X 線検査と異なり電離放射線被曝の無い医療検査である                |
| Q2                                                                                                                                                              | MRI の装置や検査の安全基準は JIS で定められている                   |
| Q3                                                                                                                                                              | MRI は磁場（静磁場）を利用した画像診断のための検査手法である                |
| Q4                                                                                                                                                              | MRI で使用される範囲の静磁場は生体への有害な影響は知られていない              |
| Q5                                                                                                                                                              | MRI の静磁場は検査で使用する時以外でも発生している                     |
| Q6                                                                                                                                                              | MRI の静磁場は、配電盤のスイッチを切ったり、停電で電源が遮断されている場合でも発生している |
| Q7                                                                                                                                                              | MRI の撮影装置の近くに金属体（磁性体）を近づけると、装置に向かって強く金属体が引き込まれる |
| Q8                                                                                                                                                              | MRI の撮影室に持ち込んでよい機材を示す表示が定められている                 |
| Q9                                                                                                                                                              | MRI に吸引された酸素ボンベによる死亡事故の事例がある                    |
| Q10                                                                                                                                                             | MRI には液体窒素や液体ヘリウムなどの超低温冷媒が使用されている               |
| Q11                                                                                                                                                             | 過去にきわめて特殊な条件下で液体ヘリウムが気化し MRI が爆発した事故があった        |
| Q12                                                                                                                                                             | 撮影室内で液体ヘリウムが急激に気化すると酸素濃度が減少し窒息する危険性がある          |
| Q13                                                                                                                                                             | MRI の機械設備は火災の原因になりうる                            |
| Q14                                                                                                                                                             | 「MR 適合性」とは、医用材料や機器が MRI による検査が可能かを示すものである       |
| Q15                                                                                                                                                             | 「MR 適合性」を確認する標準的な試験方法がある                        |
| Q16                                                                                                                                                             | MR 検査では、通常のコンタクトレンズであっても可能ならば外した方がよい            |
| Q17                                                                                                                                                             | MR 検査では、条件設定次第では検査中に微弱な神経刺激が起きることがある            |
| Q18                                                                                                                                                             | MR 検査では、検査で発生する騒音で一過性の聴力障害が発生することがある            |
| Q19                                                                                                                                                             | MR 検査では、体内金属（インプラント）による発熱や痛みが起きる可能性がある          |
| Q20                                                                                                                                                             | MRI の撮影用コイルにより、火傷が起きることがある                      |
| 選択肢                                                                                                                                                             |                                                 |
| <input type="checkbox"/> 聞いたことがあり内容も理解している<br><input type="checkbox"/> 聞いたことがある<br><input type="checkbox"/> 断片的に聞いたことがある<br><input type="checkbox"/> 知らない初めて聞いた |                                                 |

表 2 回答者の基本属性

| 年齢             | 度数   | %    |
|----------------|------|------|
| 20 代           | 25   | 10.2 |
| 30 代           | 72   | 29.3 |
| 40 代           | 78   | 31.7 |
| 50 代           | 60   | 24.8 |
| 60 代以上         | 6    | 2.4  |
| 無回答            | 5    | 1.6  |
| 合計             | 246  | 100  |
| 性別             | 度数   | %    |
| 女              | 43   | 17.5 |
| 男              | 166  | 67.5 |
| 無回答            | 37   | 15   |
| 合計             | 246  | 100  |
| MR 検査を受けた経験の有無 | 度数   | %    |
| 検査無            | 83   | 33.7 |
| 検査有            | 125  | 50.8 |
| 無回答            | 38   | 15.4 |
| 合計             | 246  | 100  |
| 職種             | 度数   | %    |
| 臨床工学技士         | 104  | 42.7 |
| 診療放射線技師        | 51   | 20.7 |
| 看護師            | 40   | 17.1 |
| その他            | 18   | 7.7  |
| 医師             | 17   | 6.9  |
| 臨床検査技師         | 11   | 5.7  |
| 無回答            | 5    | 2.0  |
| 合計             | 246* | 100  |

\*重複回答があった場合は、最も業務比率が高いと考えられる回答を選択した。

表3 A.職種, B.MR 検査を受けた経験別の尺度得点

| A.職種<br>尺度得点             |                |   |      |                |   |      |         |
|--------------------------|----------------|---|------|----------------|---|------|---------|
|                          | 診療放射線技師 (N=51) |   |      | その他医療職 (N=190) |   |      | P value |
|                          | Mean           | ± | S.D. | Mean           | ± | S.D. |         |
| Q1                       | 4.0            | ± | 0.0  | 3.3            | ± | 0.8  | <0.001  |
| Q2                       | 3.9            | ± | 0.4  | 2.5            | ± | 1.1  | <0.001  |
| Q3                       | 4.0            | ± | 0.0  | 3.5            | ± | 0.6  | <0.001  |
| Q4                       | 3.8            | ± | 0.5  | 2.7            | ± | 0.9  | <0.001  |
| Q5                       | 3.9            | ± | 0.5  | 2.8            | ± | 1.1  | <0.001  |
| Q6                       | 4.0            | ± | 0.0  | 2.3            | ± | 1.2  | <0.001  |
| Q7                       | 4.0            | ± | 0.0  | 3.6            | ± | 0.7  | <0.001  |
| Q8                       | 3.9            | ± | 0.4  | 3.0            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q9                       | 3.8            | ± | 0.5  | 2.6            | ± | 1.2  | <0.001  |
| Q10                      | 4.0            | ± | 0.0  | 2.6            | ± | 1.1  | <0.001  |
| Q11                      | 3.4            | ± | 0.9  | 1.6            | ± | 0.9  | <0.001  |
| Q12                      | 3.5            | ± | 0.9  | 1.7            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q13                      | 3.7            | ± | 0.7  | 2.2            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q14                      | 3.4            | ± | 1.0  | 2.2            | ± | 1.1  | <0.001  |
| Q15                      | 3.0            | ± | 1.1  | 1.5            | ± | 0.8  | <0.001  |
| Q16                      | 3.2            | ± | 1.1  | 1.6            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q17                      | 3.4            | ± | 0.9  | 1.7            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q18                      | 3.3            | ± | 1.0  | 2.0            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q19                      | 3.9            | ± | 0.5  | 2.5            | ± | 1.0  | <0.001  |
| Q20                      | 3.8            | ± | 0.7  | 2.4            | ± | 1.1  | <0.001  |
| B.MR 検査を受けた経験の有無<br>尺度得点 |                |   |      |                |   |      |         |
|                          | 経験あり(N=87)     |   |      | 経験あり(N=74)     |   |      | P value |
|                          | Mean           | ± | S.D. | Mean           | ± | S.D. |         |
| Q1                       | 3.4            | ± | 0.8  | 3.3            | ± | 0.7  | N.S.    |
| Q2                       | 2.6            | ± | 1.1  | 2.3            | ± | 1.0  | N.S.    |
| Q3                       | 3.5            | ± | 0.6  | 3.4            | ± | 0.7  | N.S.    |
| Q4                       | 2.8            | ± | 0.9  | 2.6            | ± | 1.0  | N.S.    |
| Q5                       | 2.9            | ± | 1.2  | 2.7            | ± | 1.1  | N.S.    |
| Q6                       | 2.5            | ± | 1.3  | 2.2            | ± | 1.2  | N.S.    |
| Q7                       | 3.7            | ± | 0.6  | 3.5            | ± | 0.8  | <0.05   |
| Q8                       | 3.1            | ± | 1.0  | 2.8            | ± | 1.1  | <0.05   |
| Q9                       | 2.7            | ± | 1.2  | 2.4            | ± | 1.3  | N.S.    |
| Q10                      | 2.7            | ± | 1.2  | 2.5            | ± | 1.1  | N.S.    |
| Q11                      | 1.6            | ± | 1.0  | 1.5            | ± | 0.9  | N.S.    |
| Q12                      | 1.8            | ± | 1.1  | 1.6            | ± | 0.9  | N.S.    |
| Q13                      | 2.1            | ± | 1.0  | 2.2            | ± | 1.1  | N.S.    |
| Q14                      | 2.3            | ± | 1.1  | 2.0            | ± | 1.1  | <0.05   |
| Q15                      | 1.6            | ± | 0.9  | 1.4            | ± | 0.7  | N.S.    |
| Q16                      | 1.7            | ± | 1.0  | 1.4            | ± | 0.8  | <0.05   |
| Q17                      | 1.8            | ± | 1.0  | 1.6            | ± | 1.0  | N.S.    |
| Q18                      | 2.0            | ± | 1.0  | 1.9            | ± | 1.0  | N.S.    |
| Q19                      | 2.6            | ± | 1.0  | 2.4            | ± | 1.1  | N.S.    |
| Q20                      | 2.7            | ± | 1.1  | 2.1            | ± | 1.1  | <0.001  |

得点は Mean±S.D.で示す。N.S.：統計的有意差なし。

表4 全回答の尺度得点を元にした因子分析の結果

| 因子負荷量           |                   |       |       |       |
|-----------------|-------------------|-------|-------|-------|
|                 |                   | F1    | F2    | F3    |
| <b>Factor 1</b> | ( $\alpha=0.90$ ) |       |       |       |
|                 | Q18               | .904  | -.113 | -.031 |
|                 | Q19               | .820  | .179  | -.163 |
|                 | Q17               | .806  | -.166 | .229  |
|                 | Q20               | .627  | .179  | .029  |
|                 | Q16               | .529  | .008  | .205  |
|                 | Q14               | .489  | .100  | .216  |
| <b>Factor 2</b> | ( $\alpha=0.78$ ) |       |       |       |
|                 | Q3                | .022  | .802  | -.095 |
|                 | Q7                | -.106 | .790  | .008  |
|                 | Q1                | .028  | .636  | .011  |
|                 | Q4                | .303  | .410  | .019  |
|                 | Q8                | .061  | .384  | .159  |
|                 | Q9                | .138  | .351  | .175  |
| <b>Factor 3</b> | ( $\alpha=0.90$ ) |       |       |       |
|                 | Q12               | .158  | -.105 | .787  |
|                 | Q11               | .046  | -.075 | .776  |
|                 | Q13               | .065  | .007  | .747  |
|                 | Q10               | -.065 | .214  | .667  |
|                 | Q6                | .034  | .221  | .548  |
|                 | Q5                | -.052 | .396  | .459  |
| 因子間相関係数         |                   |       |       |       |
|                 | F1                | 1.000 | .596  | .747  |
|                 | F2                | .596  | 1.000 | .686  |
|                 | F3                | .747  | .686  | 1.000 |
| 固有値の分散の合計       |                   |       |       |       |
|                 | 固有値の分散 (%)        | 46.6  | 5.9   | 3.2   |
|                 | 固有値の累計 (%)        | 46.6  | 52.5  | 55.8  |

得点は Mean $\pm$ S.D.で示す。N.S.：統計的有意差なし。



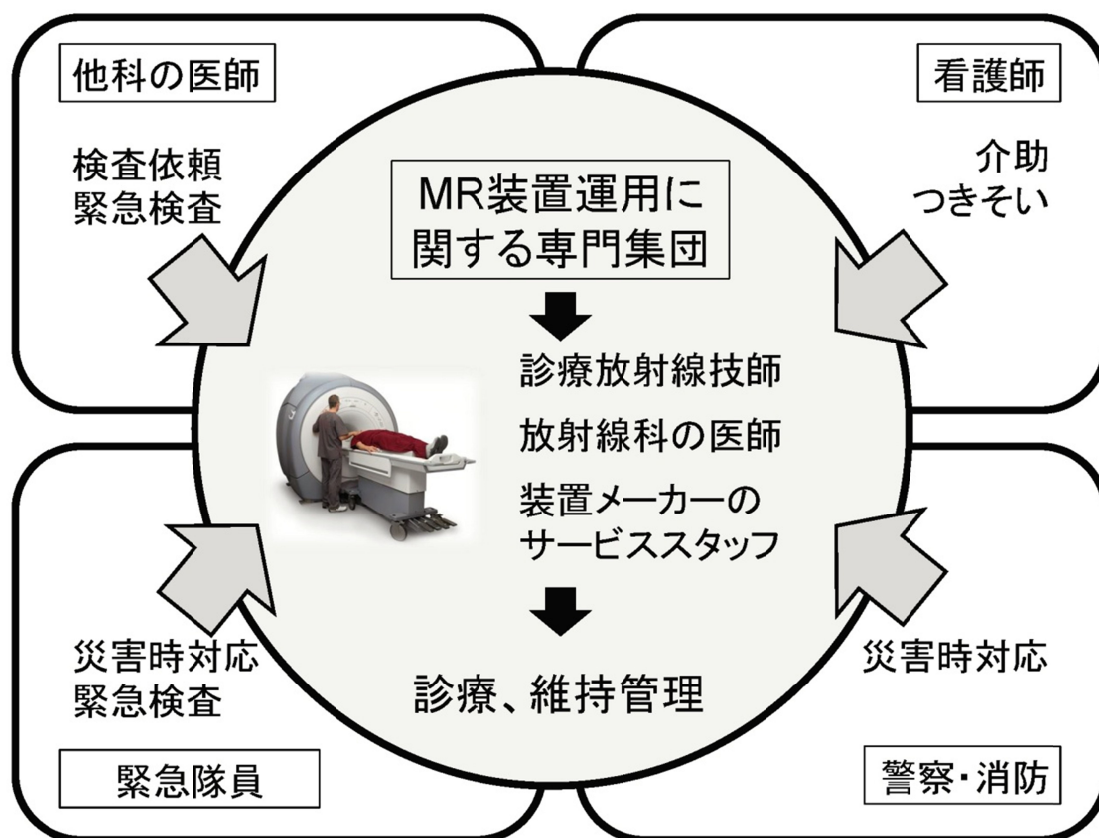


図1 MR装置の運用に関わる集団

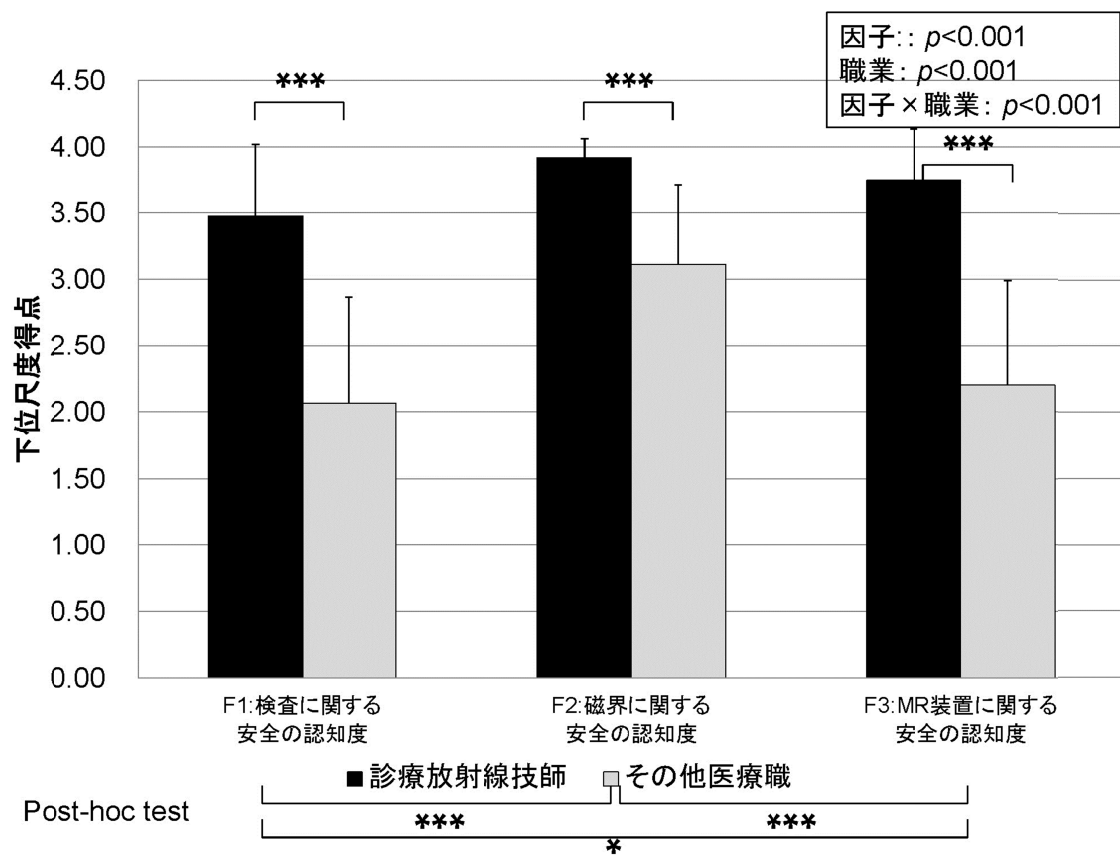


図 2. 因子分析により抽出された 3 因子の職種別の下位尺度得点. \*:  $p < 0.05$ . \*\*\*:  $p < 0.001$ .

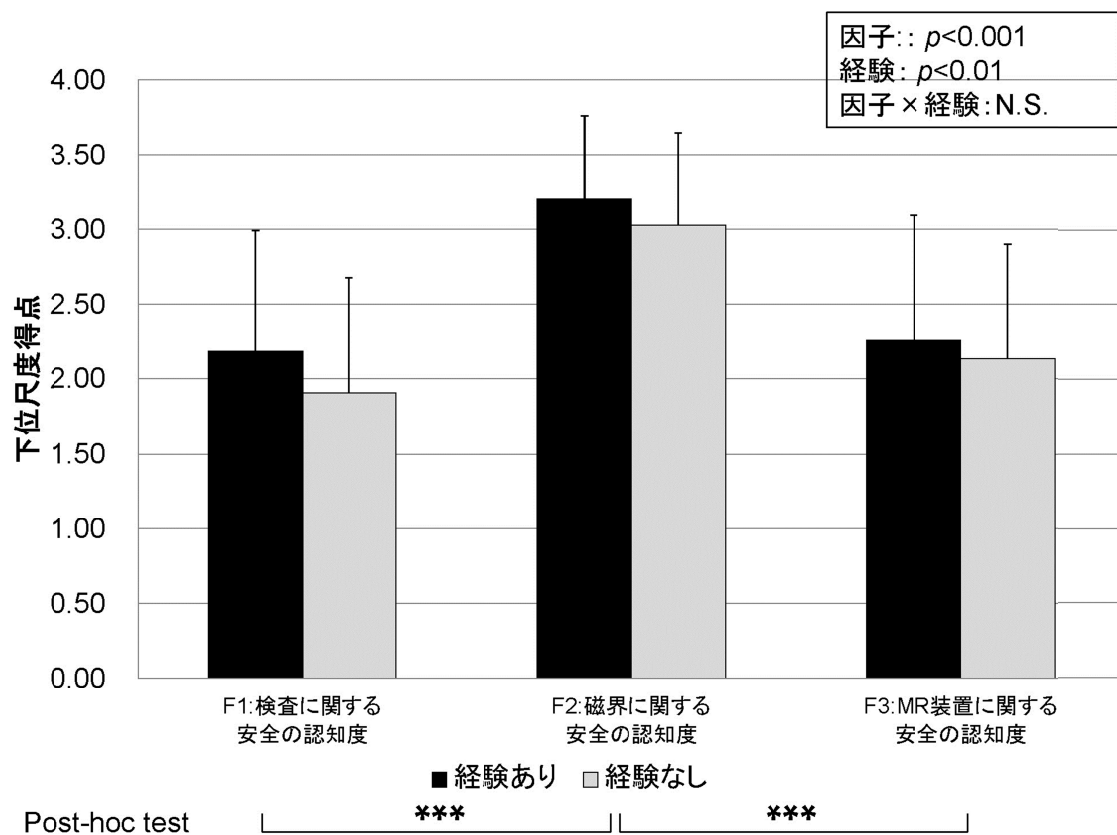


図3 その他医療職間における、因子分析により抽出された3因子の過去のMR検査を受けた経験有無別の下位尺度得点。\*\*\*:  $p < 0.001$ .



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

震災時の MR 検査室の防災対策について

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たところ、緊急地震速報の有用性が確認されたため、これが設置されていた施設から当時の詳細な情報を入手し、検討した。さらに、東海、東南海、南海地震が想定されている東南海地区（中部地方 7 県、徳島県）の緊急地震速報システム設置状況などの現状を把握するためにアンケート調査を施行した。

また、防災対策においては、防災マニュアルに従った日頃の訓練が大切である。この立案や啓蒙に役立つと考えられ、本研究事業に関連してなされた指針案や提言案の報告とパブリックコメントの募集が昨年 2013 年 9 月の第 41 回日本磁気共鳴医学会の『ワークショップ 3 「震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保」』でなされた。この経緯も報告する。

昨年度の本研究事業において、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を行ったが、その自由記述の内容を解析したところ、緊急地震速報の有用性が確認された。このため、これが設置されていた施設から当時の詳細な情報を入手し、検討する必要があると思われた。さらに、マグニチュード 9 級の「南海トラフ巨大地震」の発生が予測されている東南海地域における緊急地震速報システム設置状況などの現状をアンケート調査により把握し、今後の MR 検査室の防災に役立てる必要があると考えられた。

防災対策においては、防災マニュアルに

従った日頃の訓練が大切である。このマニュアルの立案や啓蒙に役立てるための指針と提言の策定を本研究事業で進めているが、その原案の報告と、原案に対するパブリックコメントの募集を昨年 2013 年 9 月の第 41 回日本磁気共鳴医学会の『ワークショップ 3 「震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保」』で行ったので、集まったパブリックコメントを報告する。

本報告では「第 41 回日本磁気共鳴医学会の『ワークショップ 3』の概要について」、「東日本大震災における緊急地震速報の有用性の検討」、「東南海地区における MR 検査室の防災対策の状況調査」の 3 研究のそれぞれを分けて以下に記載する。

## **I. 第 41 回日本磁気共鳴医学会の「ワークショップ 3」におけるパブリックコメント募集について**

### **I-A. 研究目的**

本研究「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」に必要なパブリックコメントを募集するために、2013 年 9 月開催の第 41 回日本磁気共鳴医学会において『ワークショップ 3「震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保」』（平成 25 年 9 月 21 日、10:10～11:10）が行われた。このワークショップの概要を以下に報告する。

### **I-B. ワークショップの概要**

#### **(1) ワークショップの目的**

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災直後、日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会（委員長：中井敏晴）は、震災後の MR 装置の安全管理として重要と考えられる項目を「災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言」にまとめ、3 月 15 日に暫定版として公表した。その後、中井らは本研究事業により東日本大震災による MR 装置の被災状況調査を平成 24 年に実施し、その実態を明らかにした(2)。平成 25 年度の事業では、上記被災状況調査の結果を基に本研究事業関係者、防災や建築の専門家を含めた外部有識者と MR 装置メーカー 5 社の意見を取り入れ、今後発生が予想される大震災に備えるための「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」、「MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の 2 指針・1 提言の 1 次修正案を策定した。

第 41 回日本磁気共鳴医学会大会（大会長、原田雅史徳島大学教授；場所、アスティ徳島）において開催された『ワークショップ 3「震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保」』では、上記 2 指針・1 提言の 1 次修正案の背景、目的、その概要を周知して大会参加者から意見や助言を得ることを目的とした。また、今後「南海トラフ巨大地震」の発生が予測される和歌山県の現況が報告された。

#### **(2) 資料の配布**

ワークショップは大会 3 日目であったため、大会 1 日目から 3 日の午前中に、2 指針・1 提言の 1 次修正案を第 41 回日本磁気共鳴医学会大会の許可を得て、学会受付近傍にて参加者に印刷物として配布した。本大会の出席者（1421 名）に対して準備された 1200 部の資料が配布された。

#### **(3) ワークショップ**

##### **【1】防災のためのガイドライン作成の必要性と必要条件（報告者：中井敏晴）**

ガイドライン策定にあたり、①具体的な数値情報や事実関係が公開されている客観的事実に基づいていること、②具体的なリスクを想定した内容であること、③具体的手段や手順を明示することにより現場にとって実施可能な内容であること、④防災の専門家や MR 装置メーカー等多様な立場の意見ならびにパブリックコメントを求めることにより作成過程が透明で可視化されていること、⑤特定のバイアスを排除し、作成の当事者に利益相反があってはならないこと、等が挙げられた。

## 【2】災害時における MR 装置の安全管理に関する指針（1 次修正案、報告者：中井敏晴）

本指針では東日本大震災等の被害状況から判明した事項を基にして、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ことが述べられた。

### （1）発災時における緊急的対処

①患者の安全確保、②職員の安全確保、③2 次災害の防止、④MR 装置の保全措置の 4 項目、次に、MR 装置と検査室建屋の被災程度の把握

### （2）被災状況の分類

MR 装置と建物の被害状況として以下が紹介された。A. MR 装置が設置されている建物が倒壊、大破し MR 装置が使用不能、B. MR 装置の設置状況に重大な異常が認められる、C. MR 装置の建屋が一部損傷を受けている、D. MR 装置に重大な異常は認められないが、人命救助の必要等の理由により緊急に検査の要請がある、E. 上記のいずれにも該当しない。

### （3）設置状況の緊急点検項目

### （4）MR 装置の重大な損傷と見做される事項

### （5）静磁場発生の周知とクエンチ対策

### （6）復帰に向けた準備、システム管理全般

## 【3】MR 検査室の防災指針（1 次修正案、報告者：引地健生）

本指針では東日本大震災による MR 装置の被害状況の調査結果から、震災による被害の最小化、震災後の MR 装置の安全管理と復帰の迅速化を念頭においた対策として有効と考えられる次の事項が集約されたこと

が述べられた。

### （1）MR 装置の設置方法

### （2）建物構造（特に免震構造の有用性）

### （3）防災情報システムの活用（緊急地震速報）

### （4）MR 装置室の防災点検

### （5）防災訓練

初期対応の訓練に際して考慮すべき事項として、①緊急地震速報システムの有無、②患者用寝台が着脱式であるか否か、③患者状態が独歩可能か担送必要かの 3 点が挙げられた。

### （6）防災計画における留意点

## 【4】MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言（報告者：土橋俊男）

MR 装置には、クエンチ（消磁）ボタン、緊急電源遮断ボタン（スイッチ）、緊急撮影停止ボタン（スイッチ）、緊急排気ファン手動ボタン（スイッチ）、寝台フリーボタン等、数多くの緊急スイッチが装備されており、仕様・設置場所・デザインなどは各社で大きく異なっている。東日本大震災の被災調査でもボタンを押下した際の装置の挙動について十分には把握されていない実態が指摘された。このため、国内共通表記シールの提案がなされた。

## 【5】指定発言「和歌山県下における MRI 装置の状況 大地震および津波による大災害に対する安全対策に向けて」（報告者：木戸義照）

地震災害に対する対策の現状を把握するため、研究会「和歌山 MR サロン」において、装置の固定方法、施設の海拔および海岸からの距離、建築構造などのアンケート調査

が実施され、回答施設のうち 56%が海岸線からの距離が 3 km以下、44%が海拔 10m 以下、免震構造が 23%、制振構造が 4%、マグネット本体の設置方式はアンカーボルトあるいはエポキシ樹脂による固定方式が 65%、非固定方式・台座配置方式・その他が 35%であった。南海トラフを震源とするマグニチュード 8 以上の地震が起こる確率は、今後 30 年以内に 60～70%と予測され、今後の課題としては、①新機種導入時に防災を考慮すること、②被災後安全対策の啓発活動を推進すること、③学会や地域の研究会等との情報交換のためのネットワークを充実させることが挙げられた。

## 【6】フロアからのパブリックコメント募集

全般的な意見として「2 つの指針については、磁気共鳴医学会をはじめ、関連学会のホームページからダウンロードできるようにすること」、「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」に対しては「復帰の手順をフローチャート化するとわかりやすいと思う」、「MR 検査室の防災指針」に対しては「マグネットの移動など電源を入れることを止めることが望ましいケースについて明確に示す方がよい」、「MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」に対しては「ぜひ国内統一のシールを作成してください」等、貴重な意見を収集することができた。

## 【7】ワークショップ後のパブリックコメント収集状況

第 41 回日本磁気共鳴医学会において 10 件のコメントが書面により寄せられた。「第

21 回岩手医用画像研修会」において 1 件、中部地方の MR 担当関係者から 5 件の意見やコメントが寄せられた。これらが、2 指針・1 提言の 2 次修正案の原案（4）に反映された。

### I-C. 考察

ワークショップの出席者は 50 名であったが、ワークショップ前までの 3 日間午前中に大会出席者に 2 指針・1 提言の 1 次修正案を 1200 部配布できたことは、これらの指針・提言について、広く啓蒙できたと思われた。また、様々な意見やコメントが寄せられ、2 次修正案の原案となったことは、MR 関係者の総意が反映されたことになったと考えられた。

また、本研究報告書の次章以降に関係する緊急地震速報、防災訓練についても啓蒙できたと思われた。

### I-D. 結論

第 41 回日本磁気共鳴医学会大会期間中、出席者に対して「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の 1 次修正案と「MR 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」を配布し、また、本ワークショップにおいて、これら 2 指針・1 提言の概要を報告したことは、今後発生が予想される大地震に対する MR 装置・検査室の防災対策の必要性を、地元の徳島・高知・和歌山の地元 3 県からの参加者も含めた多くの MR 検査関係者に啓蒙でき、地域医療への貢献ができたものとする。また、2 指針・1 提言を修正するための、パブリックコメントも得ることができた。



## Ⅱ. 東日本大震災における緊急地震速報の有用性の検討

### Ⅱ-A. 研究目的

昨年度の本研究分担者の研究事業で、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 (2) の内容を解析した結果、緊急地震速報の有用性が確認された (3)。このため、これが設置されていた 3 施設から当時の詳細な情報を入手し、検討することとした。東日本大震災から約 2 年 5 か月後に行われた。

### Ⅱ-B. 方法

東日本大震災の被災時に緊急地震速報を受信していた 3 施設の MR 担当者に対する追加の聞き取り調査 (平成 24 年度の分担研究 1 参照) として、次の項目について尋ねた (資料 1「東日本大震災における緊急地震速報の調査項目」参照)。

【1】貴院の「緊急地震速報」のシステムについて

(1-1)「警報 (具体的な地震到達予想時刻や予測震度は示されない)」と「予報 (具体的な地震到達予想時刻や予測震度が示される)」のいずれか？

(1-2)「配信事業者」、「予報業務許可事業者」、「受信装置」などの情報について

(1-3) 全館放送または MR 検査室のみまたは携帯電話の受信か

【2】東日本大震災における「緊急地震速報」について

(2-1) 速報受信から主要動 (本震) までの時間

(2-2) 速報受信から主要動まで、どの

ような行動ができたか

【3】「緊急地震速報」の「予報」で時間が示されたことについて

(3-1) どのように感じたか

(3-2) 有用であったか

【4】「緊急地震速報」を加味した日常の防災訓練について

(4-1)「緊急地震速報」の情報を加味した防災訓練を震災前に行っていたか否か

(4-2) 具体例について

(4-3) 現在の訓練について

(4-4) 緊急地震速報」を加味した『災害時対応マニュアル』、あるいは「緊急地震速報」を加味した『防災訓練マニュアル』等について

【5】小さい地震の受信や誤報への対応について

【6】「緊急地震速報」のメリット・デメリットについて

### Ⅱ-C. 結果

【1】貴院の「緊急地震速報」のシステムについて

(1-1)「警報 (具体的な地震到達予想時刻や予測震度は示されない)」と「予報 (具体的な地震到達予想時刻や予測震度が示される)」のいずれか？

3 施設とも予報であったが、1 施設については、混乱が増すとの考えで、警報と地震到来予測秒数のみが全館放送された。

(1-2)「配信事業者」、「予報業務許可事業者」、「受信装置」などの情報について

配信事業者、予報業務許可事業者の情報ははっきりしない施設があった。受信装置は 3 施設とも異なっていた。

(1-3) 全館放送または MR 検査室のみ

## **たは携帯電話の受信か**

3 施設ともに、全館放送であった。

## **【2】東日本大震災における「緊急地震速報」について**

### **（2-1）速報受信から主要動までの時間**

約 10 秒が 2 施設、5 秒から 10 秒が 1 施設であった。

### **（2-2）速報受信から主要動まで、どのような行動ができたか**

1 施設（東日本大震災の 2 日前の 3 月 9 日 11 時頃発生 of 震度 5 弱の地震で、緊急地震速報を経験した施設）では、当時 MR 撮像中の 1 名の担当者が、警報が鳴った直後に扉を開けて MR 装置の寝台を下げて患者の安全確保を行い、他の 1 名は柵と扉を押さえて避難経路を確保した。

他の施設（東日本大震災の 2 日前の 3 月 9 日 11 時頃発生 of 震度 5 弱の地震で、緊急地震速報を経験した施設）では、MR 担当技師は、撮像の停止、ドアの解除、MR 室に入って患者のテーブルをガントリーから全部出したところで地震に遭遇し、患者の体に全身で覆いかぶさり、落ちないように押さえた。隣室の患者入れ替え待ちの CT 担当者も対応し、緊急換気ファンのスイッチをいれてから MR 撮影室に 2 名で、患者が寝台から落ちないように抑えた。残りの 1 施設では、MR 担当者は強い揺れのために何もできなかったと報告している。

## **【3】「緊急地震速報」の「予報」で時間が示されたことについて**

### **（3-1）どのように感じたか**

3 施設のうち、1 施設では日ごろから地震防災訓練をしており、「緊急地震速報（予報）」で地震到来時間が示されても慌てることは

なかったとの回答であった。

また、上記の施設を含め、2 施設で、東日本大震災の 2 日前の 3 月 9 日 11 時頃発生 of 震度 5 弱の大きな揺れの時に、緊急地震速報が鳴り、この経験が役立ち、東日本大震災では、慌てずに的確に体が動いたとの回答している。そのうちの 1 施設では、3 月 9 日の地震時に今後の地震に対する対応を関係者内で確認する機会があり、緊急地震速報がなったら、直ぐに撮影の停止、すぐさま患者のテーブルを出すこと、クエンチ対策として緊急ファンを回して入室などを確認していたことが、東日本大震災であわてずに行動でき、最短での対応につながったとの回答であった。

他の 1 施設では、初めて実際に聞いた「緊急地震速報（予報）」に対し、何が起こったのかがよくわからず、本震到来前に被害を最小にする行動ができなかったと回答があった。

### **（3-2）有用であったか**

1 施設からは、主要動までの到来時間のカウント中も、かなりの揺れを感じながらも、「主要動までまだ時間がある」と冷静さを保つことができ、有用な行動ができたとの回答であった。

## **【4】「緊急地震速報」を加味した日常の防災訓練について**

### **（4-1）「緊急地震速報」の情報を加味した防災訓練を震災前に行っていたか否か**

3 施設とも行っていなかった。ただし、1 施設は、2 日前の 3 月 9 日 11 時頃発生 of 震度 5 弱の大きな揺れの時に、緊急地震速報が鳴り、今後の地震の対応について関係者での打合せが、東日本大震災での対応のり

ハースルになったと認識している。

#### **(4-2) 具体例について**

3 施設とも具体例はなし。

#### **(4-3) 現在の訓練について**

2 施設からは、MR 検査室における地震防災訓練は実施していないと回答があった。このうち、1 施設では、建屋免震装置のために東日本大震災時の揺れで物理的な被害を全く受けなかったため、通常の装置故障時と同じく、被験者の安全確認、退避誘導にて対応できるとの判断で、MR 検査室における地震防災訓練は実施していないと回答があった。

#### **(4-4) 「緊急地震速報」を加味した「災害時対応マニュアル」、あるいは「緊急地震速報」を加味した「防災訓練マニュアル」等について**

1 施設では、「緊急地震速報」を加味したマニュアルを作成中、他の 2 施設では、ないとの回答であった。

### **【5】小さい地震の受信や誤報への対応について**

「緊急地震速報」が鳴ったら、誤報でも必ず検査を止め、患者を出して安全を確認してから検査を続行することに決めている施設が 1 施設、推定震度による MR 装置運転停止を決めていない施設が 2 施設であった。

緊急地震速報の誤報や小さな地震に対しては、担当者の判断で検査の一時中止や患者を出しての声掛けなどを行っていた施設が 2 施設あった。

また、東日本大震災直後は誤報が多かったが、その後の緊急地震速報のシステム改良により、誤報は減ったとの回答があった。

### **【6】「緊急地震速報」のメリット・デメリットについて**

2 施設からは、緊急地震速報が鳴れば、主要動到来までの時間に患者の安全確保のためにできることがあるので、有用との回答を得た。また、この緊急地震速報を活かすには、この速報が鳴った時にどのように行動するかを予め話し合い、決めておく必要が指摘された。

デメリットは誤報により検査を中止した場合、検査時間の延長により、込み合っている検査のやり繰りが難しくなることが指摘された。

### **II-D. 考察**

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で緊急地震速報が導入されていたのは 3 施設であり、そのシステムは具体的な地震到達予想時刻や予測震度が示される「予報」であり、全館放送された。ただし、1 施設では、混乱を招くとの配慮から予測震度は放送されなかった。速報受信から主要動までの時間はほぼ 10 秒程度であり、東日本大震災の 2 日前の地震でこの緊急地震速報を経験していた施設では、東日本大震災の緊急地震速報をうまく活用し、患者の安全確保に有効に利用できたことが分かる。このことは、緊急地震速報を地震防災訓練の一つとして組み込み、地震到達予想時刻までの時間や各病院の状況（検査に携わるスタッフ数とその陣容、操作室と検査室の位置関係、MR 寝台が電動式または手動式であるか、患者が自律的に動けるか、患者移動に補助が必要かなど）により、様々なパターンを想定して訓練する必要がある

ことが理解できる。この MR 検査室の防災訓練の内容は、前章で紹介した「MR 検査室の防災指針」に様々なパターンとして挙げられており、これを参考にした防災訓練を行えば、効果があると思われた。

緊急地震速報のデメリットは、その誤報による MR 装置停止に伴う、検査の一時中止であり、その後の検査遂行に支障が生じると危惧する声もあったが、緊急地震速報システムの改良により、誤報は少なくなっているようである。

本研究の限界は、調査対象が少ない点であるが、有用な情報が含まれていたと考えられた。

## **II-E. 結論**

大震災における「緊急地震速報（予報）」は MR 検査室における患者安全確保のために有用であるとともに、これを活かすには MR 検査室の地震防災訓練に「緊急地震速報（予報）」の活用を含めた訓練が必要であることが示唆された。

## **III. 東南海地区における MR 検査室の防災対策の状況調査**

### **III-A. 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被災調査の自由記述の内容を解析したところ、緊急地震速報の有用性が確認された。また、東海、東南海、南海地震などが同時発生するマグニチュード 9 級の「南海トラフ巨大地震」の発生が予測されている東南海地区である中部・近畿・四国地方には、「南海トラフ巨大地震」に伴う多くの被害が想定されている。このため、中部地方 7 県、徳島県に緊急地震速報を含む MR 検査室の防災対策などの現状を把握するアンケート調査を実施した。

### **III-B. 方法**

#### **調査対象施設**

文献に記載されている 2013 年 4 月現在の MRI 設置施設名簿（5、6）から静岡県、愛知県、三重県、岐阜県、福井県、石川県、富山県、徳島県の MR 装置設置施設名を抽出し、各県の研究協力者がその確認を行った。その結果、静岡県 166、愛知県 214、三重県 79、岐阜県 91、福井県 49、石川県 67、富山県 63、徳島県 50 の総計 780 施設が確認された。

#### **調査票**

今回の調査に使用した調査票は資料 1 に示す「東南海地区における MR 検査室の防災対策の現状調査アンケート」である。

## **(1) 施設の基本情報**

- (1-1) 施設の規模
- (1-2) MR 装置の設置階
- (1-3) MR 施設の構造
- (1-4) 海拔
- (1-5) 海岸・河口からの距離

## **(2) 「緊急地震速報」の認知度**

- (2-1) 気象庁の「緊急地震速報」の認知度
- (2-2) 緊急地震速報の「予報」と「警報」の違いの認知度

## **(3) 「緊急地震速報」の導入頻度とその種類**

- (3-1) 院内全館の導入の有無とその種類（予報又は警報）
- (3-2) MR 検査室固有の「緊急地震速報」システムの有無

## **(4) 過去の「緊急地震速報」の放送または受信頻度とその対応**

- (4-1) 過去の「緊急地震速報」の放送または受信頻度
- (4-2) 放送または受信直後に取られた行動

## **(5) 地震防災訓練と「緊急地震速報」**

- (5-1) 地震防災訓練時の「緊急地震速報」を活用した訓練の有無とその内容
- (5-2) 「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに「緊急地震速報」が加味されているか否か
- (5-3) 「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに記載されている「緊急地震速報」受信後の MR 検査室での行動

## **(6) MR 検査室での「緊急地震速報」放送後の行動**

- (6-1) MR 検査室の地震防災訓練での「緊

急地震速報」を活用した訓練の有無

(6-2) MR 検査室の地震防災訓練での「緊急地震速報」を活用した訓練の内容

(6-3) MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動

## **(7) MR 検査室の安全に関する情報「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の認知度**

(7-1) 昨年 2013 年 9 月に開催された第 41 回日本磁気共鳴医学会の『ワークショップ 3 「震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保」』に関連、または、本年 1 月 15 日付で日本磁気共鳴医学会ホームページに掲載された安全性情報 震災における MR 検査室の安全に関する情報により、「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の一部または全部の閲覧の有無

## **調査票の回収方法と集計**

調査票の送付と回収は名古屋大学大幸キャンパスを発着点とした郵送により行った。2014 年 1 月 29 日に調査票を送付し、発送 2 週間後の 2014 年 2 月 13 日（木）までに届いた回答の集計結果を本報告に記載する。回答票には回答者個人や施設を特定できる情報は含まれない。回答内容はエクセルを用いた集計表に入力作業を行った。選択枝の設問については、各々の設問に対する各県と全県の度数をグラフに纏めた（縦軸は%、棒グラフ内の数字は施設数）。施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係はグラフにした。また、自由記述の設問については、項目を抽出し、度数を纏めた。

## **(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、疫学調査に準じて実施するために、本学の生命倫理委員会の承認を得た。

### III-C. 結果

#### 回収率

送付された 780 通のうち 218 通の回答があり、回収率 27.9%であった（2 月 13 日時点）。各県別では、静岡県 41/166（24.7%）、愛知県 61/214（28.5%）、三重県 22/79（27.8%）、岐阜県 37/91（40.7%）、福井県 10/49（20.4%）、石川県 19/67（28.4%）、富山県 18/63（28.6%）、徳島 10/50（20.0%）であった（回収数/送付数[回収率]）。

#### （1）施設の基本情報

##### （1-1,2）施設の規模と設置階

施設の規模を図 1 に示す。各県により、施設規模の分布は様々である。富山県では入院設備がない MR 施設が 40%を占める。全体としては、101～300 床が最も多く、次いで 100 床以下、301～500 床、入院設備なし、501 床以上であった。入院設備がない病院でも多くの MR 装置があることが分かる。

MR 装置の設置階を図 2 に示す。多くの施設で MR 装置は 1 階に設置されており、2 階、地下 1 階がそれに続く。愛知県では、3 階、4 階に設置されている病院もあった。地下は 12 件（5.5%）であった。

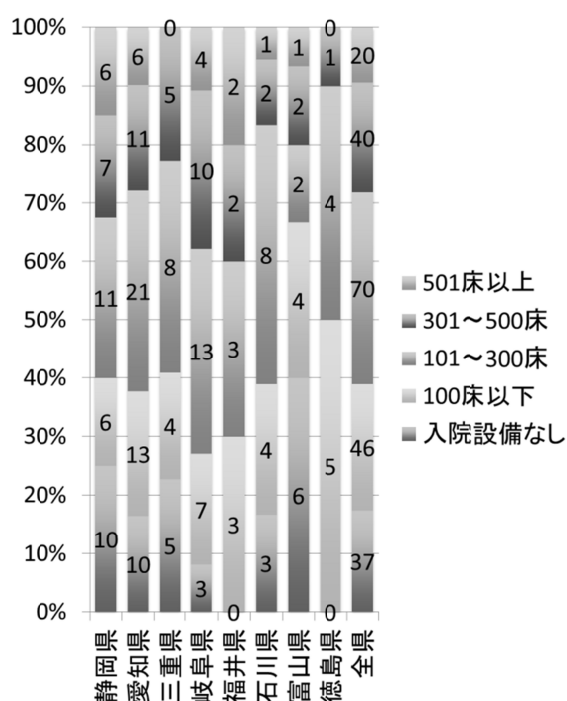


図 1. 施設の規模

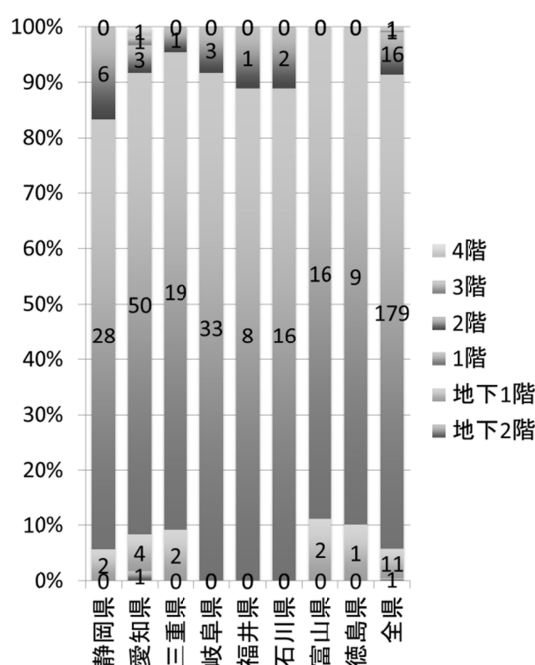


図 2. MR 装置の設置階

### (1-3) MR 施設の構造

MR 施設の構造を図 3 に示す。耐震構造は何れの県も 50%以上を占めていた。全体で見ると耐震構造は約 67%、免震構造はこれに次ぎ 14%であった。

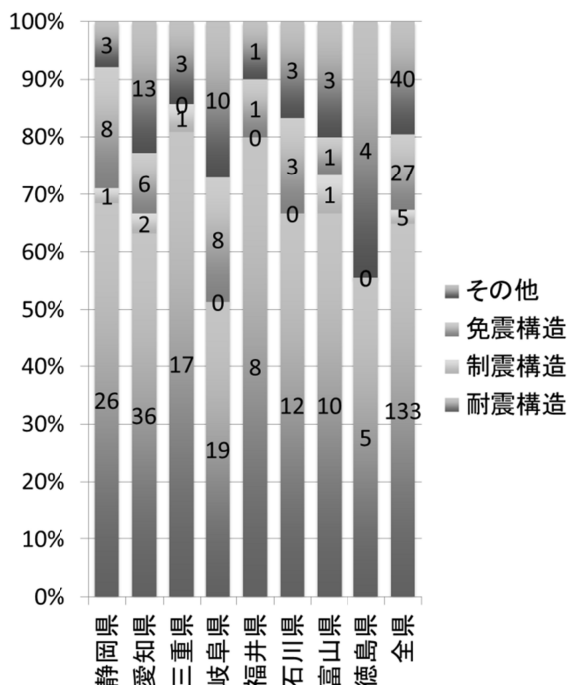


図 3. MR 施設の構造

### (1-4) 海岸・河口からの距離

海岸・河口から各施設までの距離を図 4 に示す。海岸・河口から施設までの距離が 2.5km 以下であるかどうかについては、福井県は約 10%、愛知県は約 15%、静岡県、三重県は約 23%、富山県、石川県は約 30%、徳島県は 40%であった。岐阜県、福井県は 80%の施設が海岸・河口から 10km 以上離れており、海岸・河口から相対的に遠い場所に立地している施設が多かった。海に面しない岐阜県で 10%が該当すると回答しており、津波が遡上する可能性のある大規模河川を念頭に置いていると考えられる。

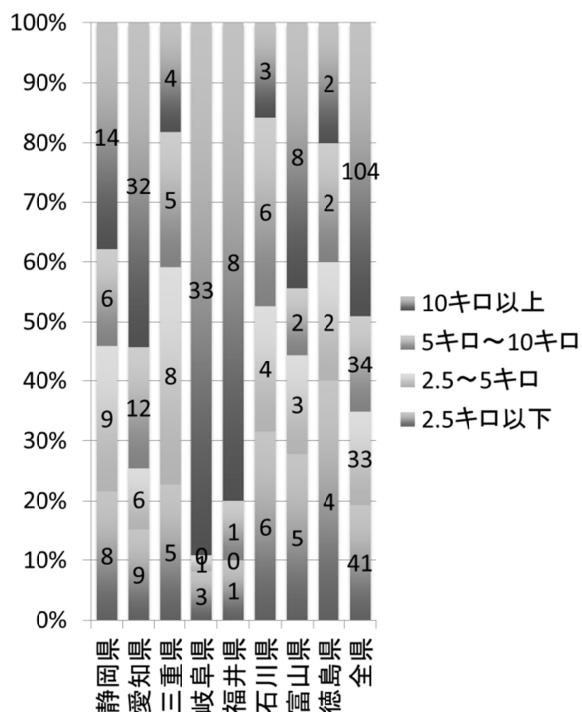


図 4. 海岸・河口から施設までの距離

### (1-5) 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係

施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係について静岡県を図 5、愛知県を図 6、三重県を図 7、岐阜県を図 8、福井県を図 9、石川県を図 10、富山県を図 11、徳島県を図 12、全県を図 13 に示す。海拔が 13m 以下で、海岸・河口からの距離が 2.5km 以下は静岡県 2/41(4.9%)、愛知県 8/61(13.1%)、三重県 3/22(13.6%)、岐阜県 0/37(0%)、福井県 1/10(10%)、石川県 5/19(26.3%)、富山県 3/18(16.7%)、徳島県 3/10(30%)、全県で 29/219(13.2%)であった(該当施設数/全回答施設数[%])。福井県では海拔-5m で海岸・河口からの距離が 2.5km 以内の施設が 1 施設あった。

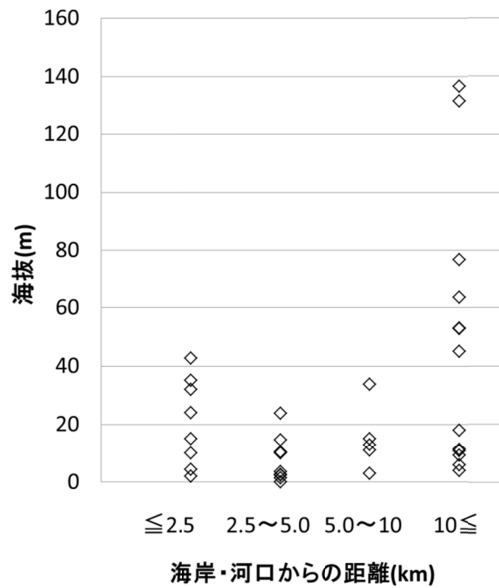


図5. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（静岡県）

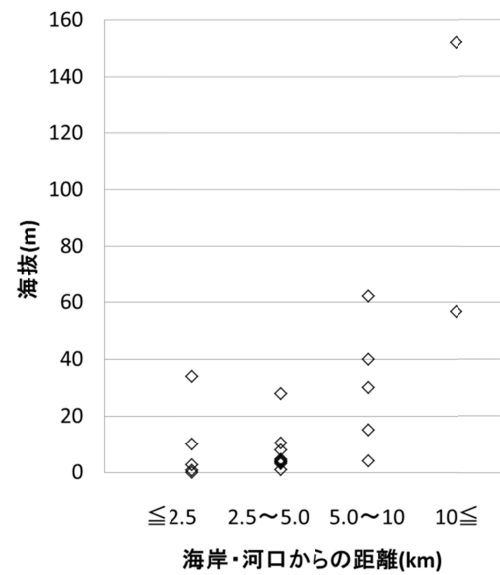


図7. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（三重県）

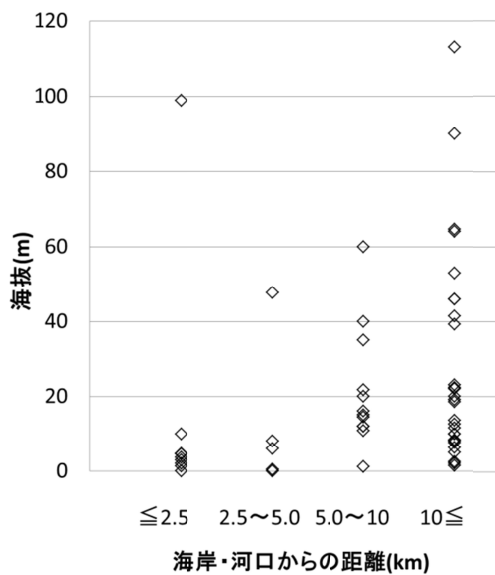


図6. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（愛知県）

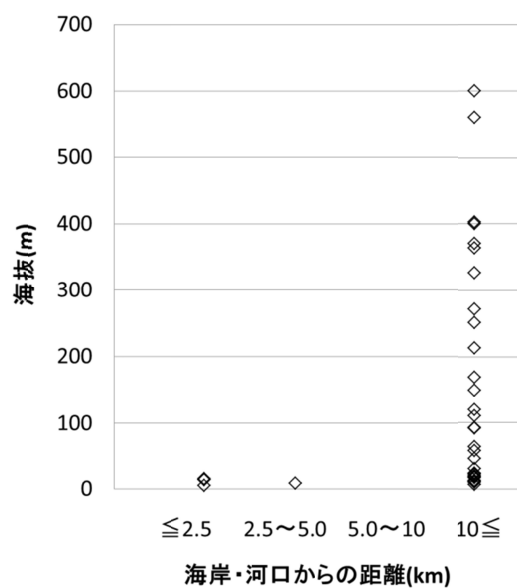


図8. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（岐阜県）



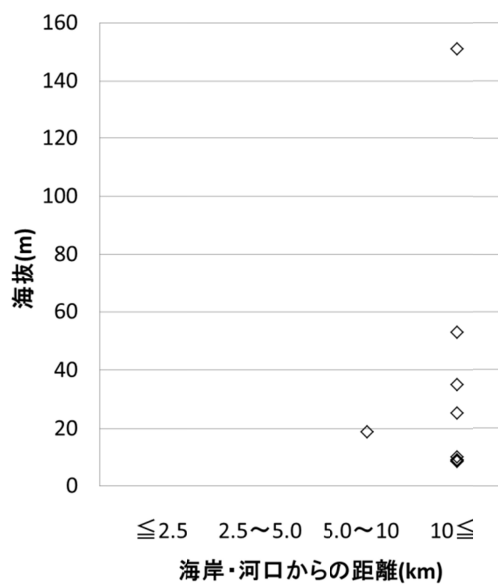


図9. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（福井県）

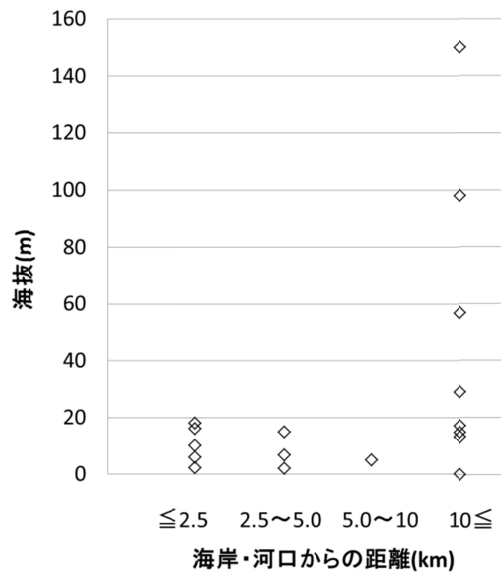


図11. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（高山県）

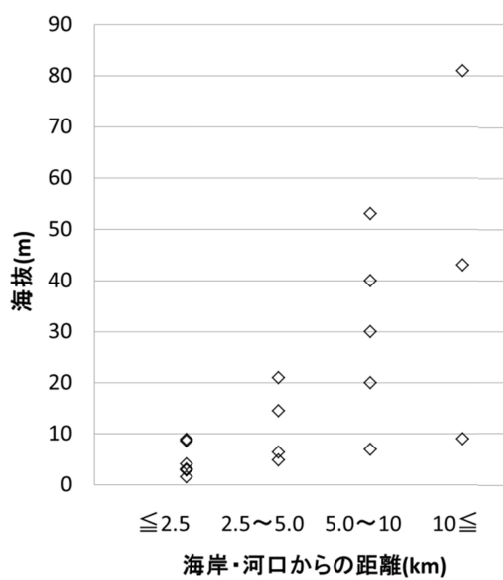


図10. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（石川県）

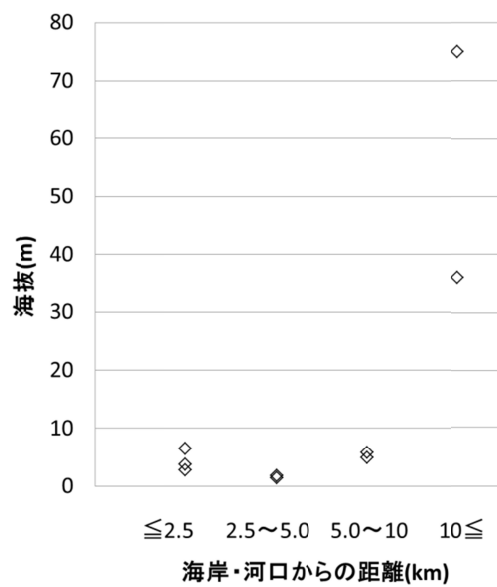


図12. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（徳島県）

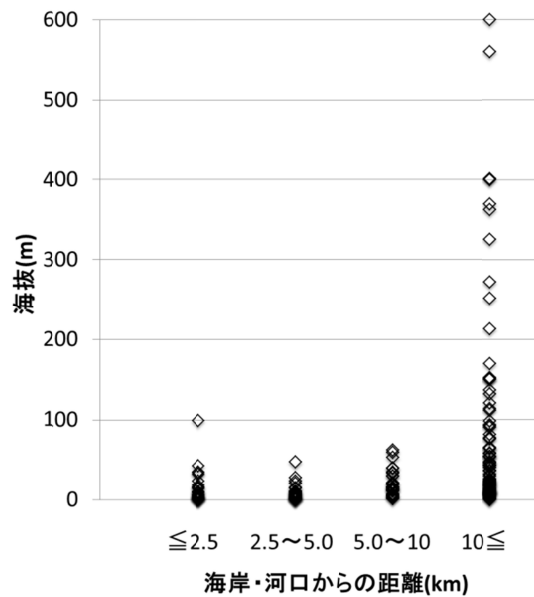


図 13. 施設の「海拔」と「海岸・河口からの距離」の関係（全県）

## （2）「緊急地震速報」の認知度

### （2-1）気象庁の「緊急地震速報」の認知度

気象庁の「緊急地震速報」の認知度を図 14 に示す。良く認知されていることが分かる。

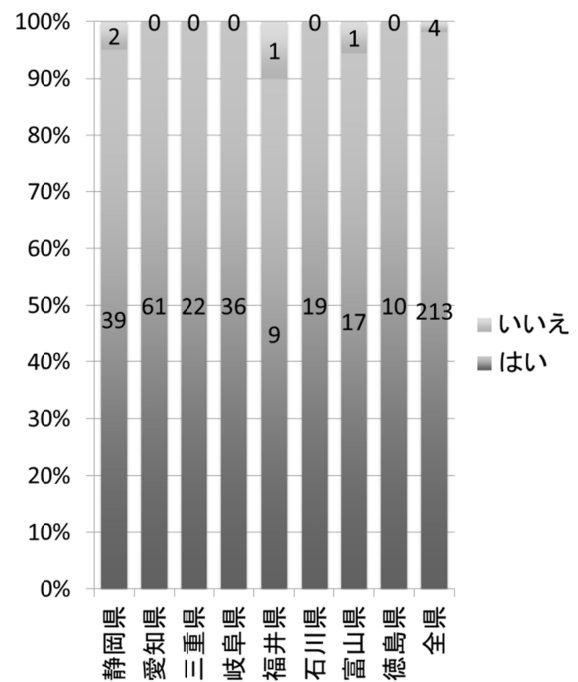


図 14. 「緊急地震速報」の認知度

### （2-2）緊急地震速報の「予報」と「警報」の違いの認知度

緊急地震速報の「予報」と「警報」の違いの認知度を図 15 に示す。35%程度がこの違いを理解していた。

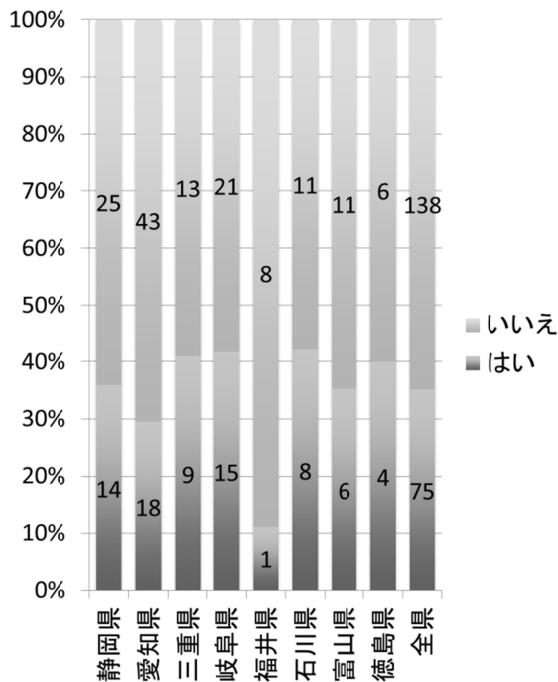


図 15. 緊急地震速報の「予報」と「警報」の違いの認知度

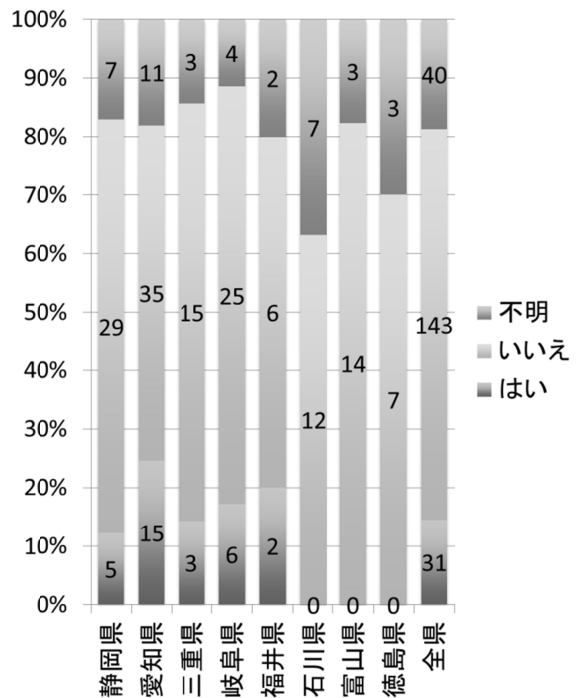


図 16. 院内全館導入の有無

### (3) 「緊急地震速報」の導入頻度とその種類

#### (3-1) 院内全館の導入の有無とその種類 (予報又は警報)

「緊急地震速報」の院内全館の導入の有無を図 16 に、また、その種類を図 17 に示す。「緊急地震速報」の院内全館の導入は愛知県が進んでおり約 24%、次いで福井県、岐阜県、三重県、静岡県の順に多い。石川県、富山県、徳島県では「緊急地震速報」が導入されているという回答はなかった。愛知県では「緊急地震速報（予報）」が整備されている施設は院内全館放送のうち約 1/3 に認められた。その他の県では「緊急地震速報（予報）」は整備されていなかった。

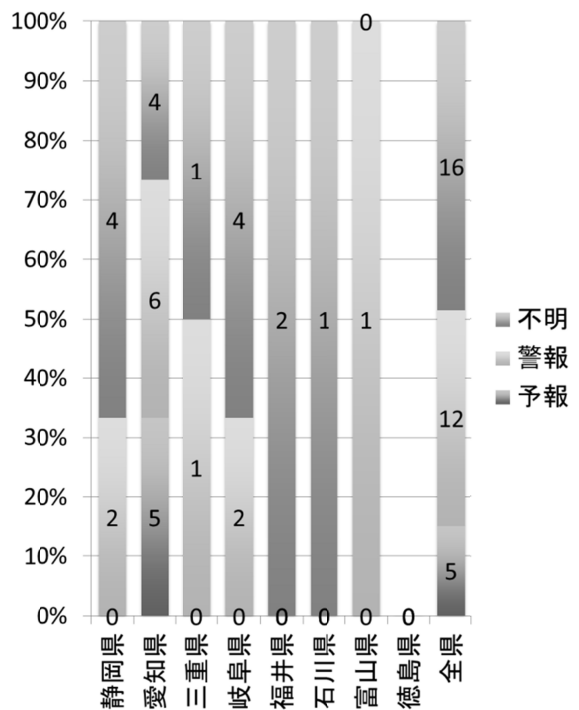


図 17. 院内全館で導入されている緊急地震速報の種類

### (3-2) MR 検査室固有の「緊急地震速報」システムの有無

個人的な携帯電話の利用 22 件 (10%)、院内 PHS の利用 1 件、アマチュア無線の利用 1 件があった。

### (4) 過去の「緊急地震速報」の放送または受信頻度とその対応

#### (4-1) 過去の「緊急地震速報」の放送または受信の有無

過去の緊急地震速報の放送または受信の有無を図 18 に示す。各県ではこの割合は 0%～約 60%に渡り、平均では、44%であった。

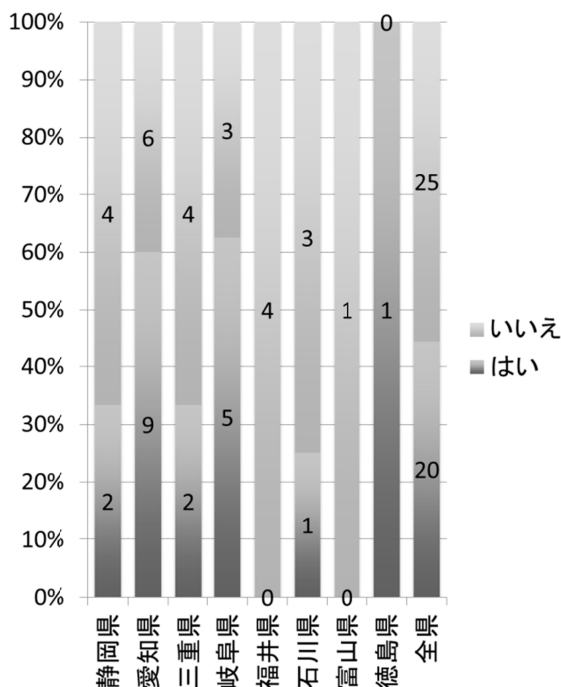


図 18. 過去の「緊急地震速報」の放送または受信頻度

#### (4-2) 放送または受信直後に取られた行動

20 施設のうち、MR 室のドアを開けた 5 件 (25%)、特に行動できなかった・しなかつ

た 5 件 (25%)、検査を中止し患者・職員の安全確保 3 件 (15%)、情報収集(TV の利用や総括部による) 2 件 (10%)、避難経路の確認 1 件 (5%)、安全が確認できるまで検査を中断 1 件 (5%)、情報確認後、院内 LAN にて通知 1 件 (5%)、携帯電話による安否確認 1 件 (5%) の回答があった。

### (5) 地震防災訓練と「緊急地震速報」

#### (5-1) 地震防災訓練時の「緊急地震速報」を活用した訓練の有無とその内容

これを行っているが、具体的な内容の記載のない回答が 12 件 (5.5%)、患者・職員の安全確保が 1 件あった。緊急地震速報が整備された 31 施設のうち 13 施設で地震防災訓練時の緊急地震速報を活用した訓練がなされているとすれば、41.9%の施設での活用となる。

#### (5-2) 「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに「緊急地震速報」が加味されているか否か

「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに「緊急地震速報」が加味されているか否かを図 19 に示す。各県 5～30%の違いがあるが、平均 17%程度の施設で、緊急地震速報が加味されたマニュアルが作成されていた。

緊急地震速報の院内全館導入件数が 31 件に対し、緊急地震速報がマニュアルに加味されているのが 36 件であることから、緊急地震速報が院内全館に導入されている施設にはこの活用を含めたマニュアルがあると推定された。

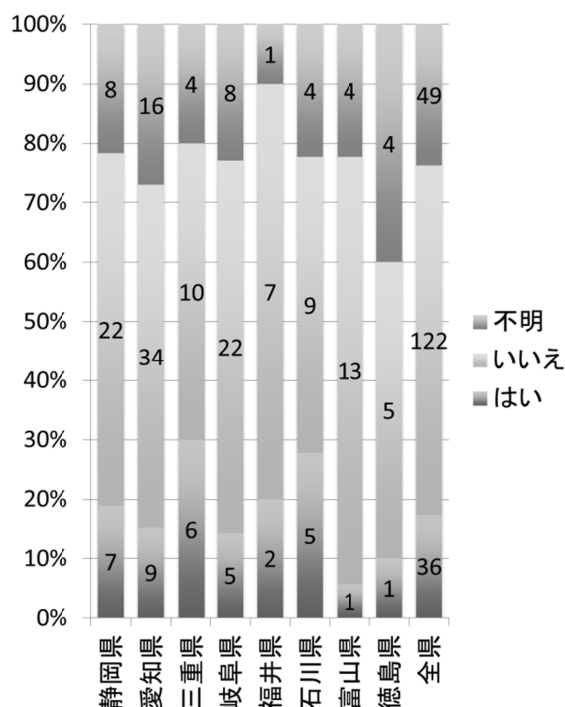


図 19.「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに「緊急地震速報」が加味されているか否か

### (5-3) 「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに記載されている「緊急地震速報」受信後の MR 検査室での行動

次の 7 件の回答が寄せられた：検査を一時中断し(患者を降ろす)様子を伺い安全なようであれば再開する；ただちに検査を中止し患者を避難場所へ誘導する；現場対応が示されている；現在マニュアルは作成中ではあるが、検査は即中止、安全対策マニュアルにて行動；マニュアルには共通事項の記述のみであるが、アクションカード(発災後)には”クエンチ”、”磁場状態”の確認と状況に応じた立ち入り禁止措置の記述あり；検査中はドアを開ける、その他は避難準備をする；災害時における MR 装置の安全管理に関する提言に則っている。

## (6) MR 検査室での「緊急地震速報」放送後の行動

### (6-1) MR 検査室の地震防災訓練での「緊急地震速報」活用した訓練の有無

MR 検査室の地震防災訓練において「緊急地震速報」を活用した訓練の有無を図 20 に示す。各県では 5%未満で、全県としては、約 3%であった。緊急地震速報の院内全館導入件数の 31 件に対し、MR 検査室の防災訓練は 6 件(19%)にのみ行われていると推定された。

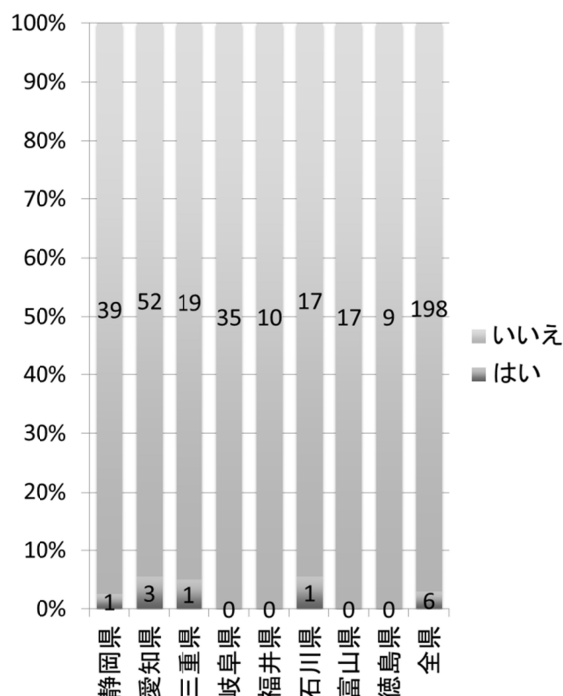


図 20. MR 検査室の地震防災訓練で「緊急地震速報」を活用した訓練の有無

### (6-2) MR 検査室の地震防災訓練で「緊急地震速報」を活用した現時点での訓練内容

次の 4 件の回答が寄せられた：ただちに撮影中止とし、患者様をガントリーより退避行動に移る；検査を中止し、速やかに職員、患者の安全を確保する；検査室ドアを

開け避難経路を作る；スキャンを止めてただちにガントリー外へ出し可能な限り検査室から退出させる。

### (6-3) MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動

「緊急地震速報」が流れた時、「緊急地震速報を聞いてから主要動（本震）が到達するまで」に MR 検査室ですべき行動の回答項目全体の度数を図 21 に示す。

- 患者の避難・退避・安全確保
- 検査の中止・中断
- ドアの閉鎖・施錠
- クエンチへの対応
- MR装置の保全
- 院内の緊急対応へ参加
- 人的被害の有無などの報告
- MR装置の電源を落とす
- 職員の避難・退避・安全確保
- 避難経路の確保
- 二次災害の防止措置
- 緊急地震速報を患者へ伝達
- 他の部署の手伝い
- その他

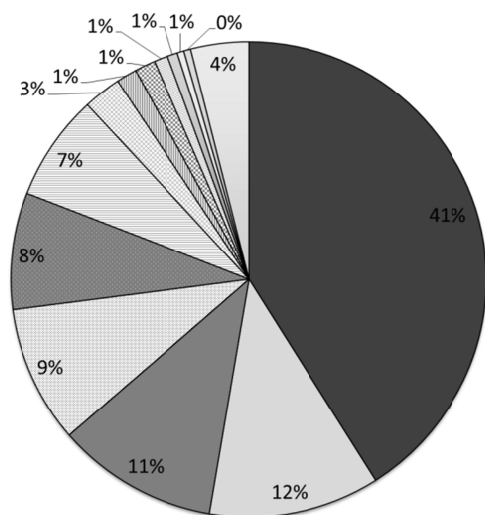


図 21. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動(全体)

また、第 1 優先順位として回答された項目の度数を図 22、第 2 優先順位として回答された項目の度数を図 23、第 3～6 順位として回答された項目の度数を図 24 に示す。

- 患者の避難・退避・安全確保
- 検査の中止・中断
- 避難経路の確保
- MR装置の電源を落とす
- 操作者の安全確保
- その他

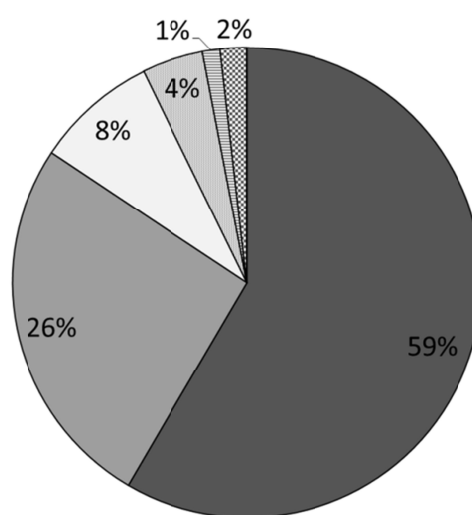


図 22. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動(第 1 優先順位)

- 患者の避難・退避・安全確保
- 装置の電源を落とす・緊急停止
- ドアの閉鎖・施錠
- 職員の避難・退避・安全確保
- ▨ 避難経路の確保・ドアの開放
- ▨ 検査の中止・中断
- 緊急地震速報を患者へ伝達
- ▨ 二次災害の防止措置
- ▨ 強制排気ファンの起動
- その他

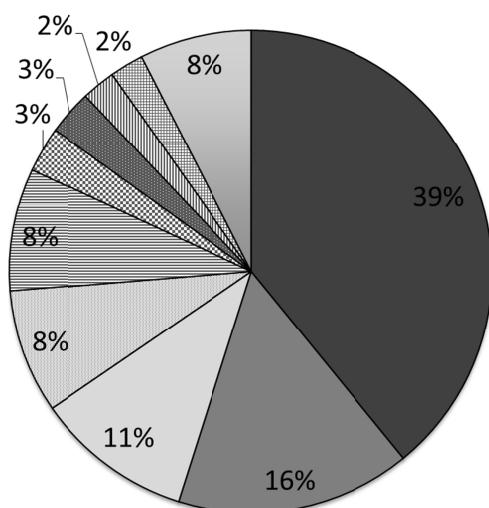


図 23. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動(第 2 優先順位)

- 職員の避難・退避・安全確保
- 患者の避難・退避・安全確保
- 装置の電源を落とす
- 検査室の閉鎖
- クエンチへの対応
- 避難経路の確保
- MR装置の保全
- 院内の緊急対応へ参加
- 二次災害の防止措置
- 他の部署の手伝い
- 人的被害の有無などの報告

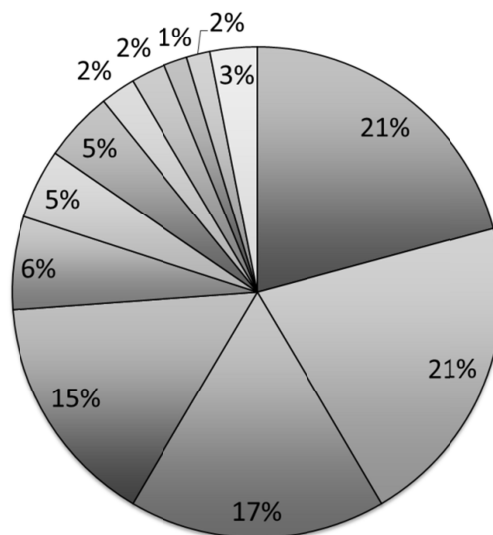


図 24. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動(第 3～6 順位)

#### (7) MR 検査室の安全に関する情報「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の認知度

このアンケートは磁気共鳴医学会第 41 回大会におけるワークショップの開催から約 4 か月後に、また、これらの指針が学会ホームページに掲載されてから 2 週間後における「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の認知度を図 22 に示し、これは約 25%であった。

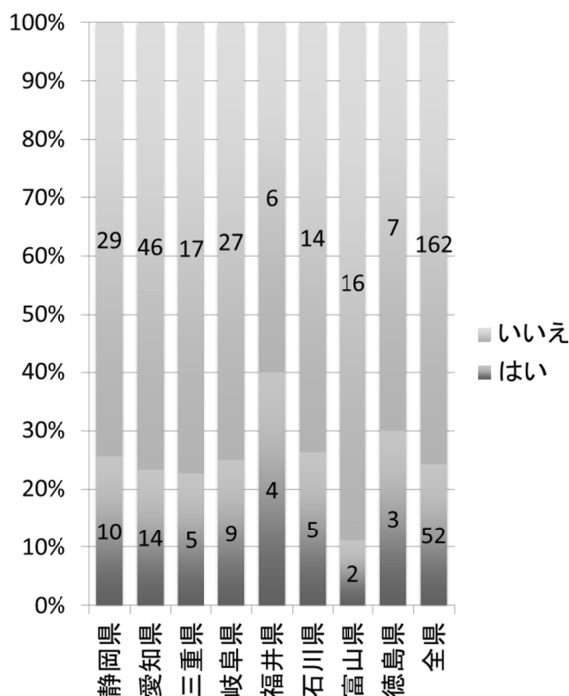


図 25. 「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の閲覧の有無

### Ⅲ-D. 考察

#### (1) 施設の基本情報

施設規模については、101～300 床 (約 25%) が最も多く、平成 24 年度の調査対象(2)となった施設割合(29.9%)よりやや少ないが同様の傾向であった。

設置階は、1 階が多く(82%)、高知でなされた先行調査(80%)とほぼ同様であった。地下は全県で 13 件(6%)であり、高知の先行アンケート(10%)よりもやや低かった。

施設の構造については、耐震構造が約 70%、免震構造が約 10%であり、平成 24 年度の調査報告(2)の各々 67.8%、9.0%とほぼ同じであった。

平成 24 年度の調査報告では東日本大震災による津波による MR 施設の浸水被害は、

施設の海拔が 13m 以下、海岸・河口からの距離が 3km 以下で認められたと報告されている(7)。今回の調査では、「海拔」が 13m 以下で「海岸・河口からの距離」が 2.5km 以下の施設は全体の 13%であり、この平均以上の比率を示したのが徳島県、石川県、富山県であった。

#### (2) 「緊急地震速報」の認知度

地震波には P 波(秒速約 7km)と S 波(秒速 4km)があり、地震波の P 波によって引き起こされる揺れが初期微動、後から伝わってくる S 波による強い揺れは主要動(本震)で、後者が被害をもたらす。先に伝わる初期微動を検知した段階で、主要動が伝わる前に危険が迫っていることを知らせるのが、緊急地震速報である。また、緊急地震速報には「警報(具体的な地震到達予想時刻や予測震度は示されない)」と「予報(具体的な地震到達予想時刻や予測震度が示される)」がある。

本研究では、緊急地震速報は良く認知されている(97.7%)が、これに予報と警報があることは十分に理解されていなかった(34.4%)。

#### (3) 「緊急地震速報」の導入頻度とその種類

緊急地震速報が院内全館で導入されているのは全県でみると約 15%であるが、各県での導入頻度には違いがあり、その導入が報告されていない県がある。また、主要動までの到達時間がカウントされる予報システムが警報システムよりも少ない。一方で、携帯電話を身近に置いて、活用しようとする MR 担当者(約 10%)もいた。



平成 24 年度の本研究事業で、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 (2) の内容を解析した結果、緊急地震速報の有用性が確認された (3)。また、本研究報告書第 2 章での報告のように、緊急地震速報により、地震の主要動が到達する前に患者の安全確保を行うことが重要である。これらのことを考えると、「緊急地震速報 (予報)」が十分に普及していない事実は地震防災上、大きな課題であると考えられた。

#### **(4) 過去の「緊急地震速報」の放送または受信頻度とその対応**

緊急地震速報の院内放送設備がある施設で、過去に速報が放送された施設は、約 44% あった。この回答のうち、25%で、MR 検査室のドアを開け、患者救出を行おうとする行動に出た担当者もいる一方、25%では何も行動できなかった・しなかったとの回答であった。本研究報告書第 2 章で報告したように、主要動が到達する約 10 秒程度の間に、直ぐに患者救出の行動をとれるか否かが重要である。以下に述べる緊急地震速報を加味した防災訓練が重要になると思われる。

#### **(5) 地震防災訓練と「緊急地震速報」**

「緊急地震速報」が院内全館導入されている 31 施設に対し、「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに「緊急地震速報」が加味されていると回答した施設は 36 施設であるため、緊急地震速報が整備されている施設では、これを加味した防災訓練がマニュアルに記載されていると考えられた。しかし、実際に地震防

災訓練時に「緊急地震速報」を活用した訓練は、31 施設中 13 施設 (41.9%) で行われているのみで、残りの施設では行われていない可能性があった。

「災害時対応マニュアル」あるいは「防災訓練マニュアル」などに記載されている「緊急地震速報」受信後の MR 検査室での行動については、7 件の回答があったのみであり、緊急地震速報が整備された全ての施設で MR 検査室に関連する記述がなされている訳ではなかった。なお、記載されている内容は、本研究報告書第 1 章でふれた防災指針に記載されている項目が含まれていた。また、MR 検査室の地震防災訓練で「緊急地震速報」を活用した訓練は 6 件で、「緊急地震速報」が院内全館導入 31 施設からの回答とすると 19%の施設のみであった。

#### **(6) MR 検査室での「緊急地震速報」放送後の行動**

訓練マニュアルに「緊急地震速報」受信後の MR 検査室での行動が記載されていた施設では、「緊急地震速報」を活用した MR 検査室の地震防災訓練が概ね実施されていると思われた。また、記載されている訓練内容は、本研究報告書第 1 章でふれた防災指針に記載されている項目が含まれていた。

また、MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動を緊急地震速報システムがない施設も含め、本アンケートで尋ねた。尋ね方は選択枝ではなく、回答者が自由に想起する形で回答を求めたところ、検査を中止し、患者の避難・誘導に相当する行動が想起されていることが確認された。なお、記載されている内容は、

本研究報告書第 1 章で触れた防災指針に記載されている項目が含まれていた。

### **（７）MR 検査室の安全に関する情報「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の認知度**

本報告書第 1 章で報告したように、平成 25 年 9 月 21 日に開催された第 41 回日本磁気共鳴医学会大会で 1421 名に対し、1200 部の「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の資料が配布された。これはアンケート送付約 5 か月前であった。また、日本磁気共鳴医学会ホームページの安全性情報「震災における MR 検査室の安全に関する情報「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」が掲載されたのは本年 1 月 15 日で、アンケートまでに約 1 か月しか経ていない。これらを考えると約 25% の施設で閲覧されているのは、少なくないと思われるが、今後も啓蒙を続ける必要がある。

また、本研究で中部 7 県と徳島県の MR 装置が設置されているほぼ全施設にアンケートを送付し、緊急地震速報その他の内容を尋ねたことは、緊急地震速報の利用を含めた MR 検査室の防災対策のあり方を啓蒙する効果もあったと期待される。

### **Ⅲ-E. 結論**

中部 7 県と徳島県の MR 設置施設に対し、緊急地震速報設置状況などを含めた震災時の MR 検査室の防災対策の現状を把握するアンケートを行った結果、緊急地震速報の普及は約 14%と少なく、また、これらの施設で防災訓練にこのシステムを加味してい

るのは 19%と少ないことが判明した。今後、緊急地震速報の普及を図ることが MR 検査室を含めた病院全体の震災対策に役立つと考えられる。

### **引用文献**

1. 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸義照、磯田治夫、村田和子、第 41 回日本磁気共鳴医学会大会 ワークショップ 震災時の地域医療を支える MR 検査の安全確保、日本磁気共鳴医学会雑誌 2014 (in press)
2. 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 33、92-119、2013
3. 磯田治夫、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 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」平成 24 年度 総括・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』
4. 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、小山修二、村田和子、水口紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、

町田好男 MR 検査室における震災対策  
－ 防災対策と緊急対処のための 2 指  
針について 日本磁気共鳴医学会雑誌  
(投稿中)

5. MRI 設置施設名簿 (Part1) 新医療  
2013 年 6 月号 146-148
6. MRI 設置施設名簿 (Part2) 新医療  
2013 年 7 月号 154-161
7. Nakai T, Maeyatsu F, Adachi K,  
Musashi Y, Hikichi T, Hishinuma M,  
Abe Y, Yamaguchi S, Machida Y,  
Yoshioka K, The Tsunami Disaster and  
MR Scanners in the Great East Japan  
Earthquake in 2011. Magnetic  
Resonance in Medical Sciences, 13,  
2014 (in press)

## G. 研究発表

### (1) 論文

1. 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. 引地健生、中井敏晴、土橋俊男、木戸  
義照、磯田治夫、村田和子、第 41 回日  
本磁気共鳴医学会大会 ワークショッ  
プ 震災時の地域医療を支える MR 検  
査の安全確保、日本磁気共鳴医学会雑  
誌 34、6-13、2014

3. 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、小山修二、村田和子、水口  
紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、  
町田好男 MR 検査室における震災対策  
－ 防災対策と緊急対処のための 2 指  
針について 日本磁気共鳴医学会雑誌  
(投稿中)

### (2) 学会発表

1. 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
2. 磯田治夫 東日本大震災による MR 装  
置の被災状況、AIMS (Advanced  
Imaging Multimodality Seminars)  
Abdominal Imaging 2013 セッショ  
ン 1 造影剤・安全性(ベルサール汐留)  
2013 年 10 月 5 日
3. 磯田治夫、市川和茂、小山修司、中井  
敏晴、町田好男、土橋俊男、山口さち  
子、野口隆志、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、第 41 回日本  
磁気共鳴医学会大会 O-3-311、日本磁  
気共鳴医学会雑誌 33、S329、2013
4. 山口さち子、町田好男、土橋俊男、磯  
田治夫、野口隆志、中井敏晴、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、第 41 回日本磁気共

鳴医学会大会 P-2-173、日本磁気共鳴  
医学会雑誌 33、S419、2013

**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（名古屋大学脳とこころの研究センター）

山口さち子（独立行政法人労働安全衛生総合研究所）

前谷津文雄（財団法人 宮城厚生協会 泉病院）

引地健生（栗原市立栗原中央病院）

松井正人（気象庁 地震火山部管理課）

佐藤栄児（防災科学技術研究所）

土橋俊男（日本医科大学付属病院 放射線科）

村田和子（高知医療センター放射線科）

水口紀代美（医療法人治久会もみのき病院放射線科）

木戸義照（和歌山労災病院放射線科）

原田雅史（徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部放射線科学分野）

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）

岩瀬大祐（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）

長村晶生（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）

安田岳史（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）

米山祐也（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）

村中良之（福井県立病院 放射線室）

藤原康博（福井大学医学部附属病院放射線部）

大家伸介（石川県立中央病院医療技術部放射線室）

森下 毅（恵寿総合病院放射線課）

森 光一（富山大学附属病院放射線部）

石黒優二（富山県立中央病院画像技術科）

竹田浩康（浜松医科大学医学部附属病院放射線部）

大川剛史（地方独立行政法人静岡県立病院機構 静岡県立総合病院放射線技術室）

笠井治昌（名古屋市立大学病院中央放射線部）

畑井博晶（豊橋市民病院放射線技術室）

北島秀登（岐阜県立多治見病院中央放射線部）

恋田昭洋（国民健康保険坂下病院放射線技術科）

浅沼源示（三重大学医学部附属病院中央放射線部）

市場義人（鈴鹿回生病院放射線科）

## 協力組織

公益社団法人日本放射線技術学会中部部会MRI 研究会（東海ブロック）

公益社団法人日本放射線技術学会中部部会MRI 研究会（北陸ブロック）

公益社団法人 静岡県放射線技師会

公益社団法人石川県診療放射線技師会



## 資料 1

### アンケート調査ご協力をお願い

東海、東南海、南海地震などが同時発生するマグニチュード 9 級の「南海トラフ巨大地震」の発生が予測され、中部・近畿・四国地方にも多くの被害が想定されています。医療現場でも多くの被害が予想され、震災対策が必要です。その中で、MR 装置は他の画像診断装置と異なり電源を遮断しても静磁場が発生し続けるだけでなく、超伝導磁石のクエンチが生じた場合には周囲の酸素濃度が低下し、危険です。検査再開の前に、電気系統や機械部分、冷却システム、ガス配管などの総合的な安全点検を行い、不慮の事故や火災を予防しなければなりません。また、MR 装置は、その特性から立ち入りが限られた空間となっており、災害時の対処も院内の他の部門とは異なる対応が必要とされます。

3 年前の東日本大震災における MR 装置の被害状況調査と今後の指針・提言作成のため、独立行政法人国立長寿医療研究センターの中井 敏晴 先生を中心とし、平成 24、25 年度厚生労働科学研究費補助金で「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」という研究事業が進行中でございます。

詳しい情報は下記をご覧ください。

<https://sites.google.com/site/MRsafetyunderearthquake/h24report>

本研究事業で、震災時の MR 装置内の患者救出において、気象庁の「緊急地震速報」の有用性が示唆されました。この「緊急地震速報」の現状などをアンケートで調べさせて頂き、今後の震災対策の一助とさせて頂きたいと存じます。ご協力をお願い申し上げます。

**本年〇〇月〇〇日（金）必着でご返送頂けますと幸甚でございます。**

なお、地震防災に有用と考えられます防災科学技術研究所の情報も同封いたしました。

- 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、震災時のMR装置内の患者救出に果たす「緊急地震速報」の現状などを調査することを目的としています。
- 本検査にご同意いただ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。
- 回答者がわ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>

〒461-8673 名古屋市東区大幸南一丁目 1 番 20 号

名古屋大学 脳とこころの研究センター/大学院医学系研究科 医療技術学専攻 脳とこころの科学講座 磯田 治夫 TEL: 052-719-3154 E-mail: isoda@met.nagoya-u.ac.jp

**アンケートは次項より始まります。**

**以下のアンケートは、各施設の MR 担当者の方にお答え頂きたく存じます。**

まず、地震波には P 波（秒速約 7km）と S 波（秒速 4km）があり、地震波の P 波によって引き起こされる揺れが初期微動、後から伝わってくる S 波による強い揺れは主要動（本震）で、後者が被害をもたらします。先に伝わる初期微動を検知した段階で、主要動が伝わる前に危険が迫っていることを知らせるのが、緊急地震速報になります。また、緊急地震速報には「警報（具体的な地震到達予想時刻や予測震度は示されない）」と「予報（具体的な地震到達予想時刻や予測震度が示される）」があります。

**以下にご記入下さい。**

選択枝のあるものは該当する（ ）に○を、その他は記述をお願い致します。

1. 気象庁の「緊急地震速報」をご存知でしょうか？

はい（ ）、いいえ（ ）

2. 上記 1 に「はい」と答えた方に伺います。緊急地震速報に「予報」と「警報」があることはご存知でしたでしょうか？

はい（ ）、いいえ（ ）

3. 貴施設では、「緊急地震速報」は院内全館で導入されていますか？

はい（ ）、いいえ（ ）、不明（ ）

4. 上記 3 で「はい」と答えた方に伺います。貴施設の院内全館で導入されている「緊急地震速報」は「予報」か「警報」の何れでしょうか？

予報（ ）、警報（ ）、不明（ ）

5. MR 検査室で、固有の「緊急地震速報」の運用がございましたら、具体的にお書き下さい（例えば、個人的に携帯電話を用いる、MR 検査室にインターネットの緊急地震速報を導入している、など）。

（ ）

6. 上記 3 で「はい」、5 で記載された方に伺います。今までに実際の地震に際し「緊急地震速報」が放送されたり、受信されたことがありますか？

はい（ ）、いいえ（ ）

7. 上記 6 に「はい」と答えた方に伺います。この直後に、取られた行動は何でしょうか？具体的にお書き下さい。

（ ）



8. 貴施設では地震防災訓練の時に「緊急地震速報」が放送され、「緊急地震速報」を活用した訓練を行っていますか？（例えば、「緊急地震速報」が流れた直後に〇〇をすることになっており、これを行っている、など）  
( )

9. 貴施設の『災害時対応マニュアル』あるいは『防災訓練マニュアル』などに「緊急地震速報」は加味されていますか？  
はい ( )、いいえ ( )、不明 ( )

10. 上記9に「はい」と答えた方に伺います。貴施設の『災害時対応マニュアル』あるいは『防災訓練マニュアル』などにMR検査室での対応の記述がございましたら、具体的な内容を下記にお書き下さい。（例えば、「緊急地震速報」が流れた場合、MR検査室では〇〇をすることになっている、など）  
( )

11. 貴施設のMR検査室の地震防災訓練では、「緊急地震速報」活用した訓練を行っていますか？（例えば、「緊急地震速報」が流れた場合にMR検査室では〇〇をすることになっており、訓練時にこれを行っている、など）  
はい ( )、いいえ ( )、不明 ( )

12. 上記11で「はい」の場合に、具体的な内容をお書き下さい。  
( )

13. MR検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にした方が良いと思われることを順位を付けて記載をお願い致します。  
( )  
( )  
( )  
( )  
( )  
( )

14. 貴施設のMR装置の設置階は何階でしょうか？  
( ) 階

15. 貴施設の規模についてお答え下さい。  
入院設備なし ( )、100床以下 ( )、101～300床 ( )、  
301～500床 ( )、501床以上 ( )

16. MR 装置が設置されている建物の構造についてお答え下さい。

**耐震構造 (     )、制震構造 (     )、免震構造 (     )、その他 (     )**

17. 貴施設は海拔約何メートルに建築されていますか？

恐れ入りますが、下記のサイトにアクセスし、操作をお願い致します。

「標高がわかる web 地図を試験公開」

[http://www.gsi.go.jp/johofukyu/hyoko\\_system.html](http://www.gsi.go.jp/johofukyu/hyoko_system.html)

<http://saigai.gsi.go.jp/2012demwork/checkheight/index.html>

**海拔 (     ) メートル**

18. 貴施設は海岸・河口より最短距離でどれ位離れているかお答え下さい。

**2.5 キロ以下 (     )、2.5 キロ～5 キロ (     )、  
5 キロ～10 キロ (     )、10 キロ以上 (     )**

19. 貴施設の所在地は下記の何れでしょうか？

**高知県 (     )、徳島県 (     )、和歌山県 (     )、三重県 (     )、  
愛知県 (     )、静岡県 (     )、岐阜県 (     )、福井県 (     )、  
石川県 (     )、富山県 (     )**

20. 昨年 2013 年 9 月に開催された第 41 回日本磁気共鳴医学会で、『ワークショップ 3

「MRI の震災対応について」に関連し、「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針（一次修正案）」、「MR 検査室の防災指針（一次修正案）」、「MRI 装置の緊急停止システムの仕様統一に関する提言」の資料が広く配布されました。また、本年 1 月 15 日付で、日本磁気共鳴医学会ホームページの安全性情報 震災における MR 検査室の安全に関する情報に「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」が公開されました。これらの一部または全部を既にご覧になりましたか？

**はい (     )、いいえ (     )**

お忙しい中、アンケート調査にご協力頂き、どうもありがとうございました。

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

超伝導型 MR 装置使用者へ提供すべきクエンチ予知のための工学的情報について

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 東日本大震災における MR 装置の被災状況に関する質問紙による調査および訪問聞き取り調査をとおして、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た結果、その多くがクエンチに関連した不安であることが 2012 年度の調査で明らかとなった。

本年度の工学的調査は、主にクエンチ予知のために必要な MR 装置固有の工学的特性を、定量的に把握するための装置情報について調査した。その結果、そのほとんどは使用者に提供されておらず、使用者自ら調査し、それぞれの“数値”を想定する必要があることが分かった。

クエンチに至る過程のどの位置に現在在るかを判断するには、「液位」「液位減少速度」「最低液位」「消磁に要する時間」を、“数値”的に想定する必要がある。またクエンチ発生の前に、「カバーの取り外し」「クライオスタット内圧放出口周辺」「室外放出配管の接続部」「建物内放出配管経路」「屋外放出口周辺」の点検が必要となる。と同時に、それら工学的情報の意味と活用法を明確にすべきであることが分かった。

A. 研究目的

クエンチという超伝導マグネット固有の事象について工学的資料を調査すると同時に、2012 年度に実施した超伝導マグネットおよびクライオスタットのクエンチ時の挙動に関する工学的調査結果を精査し、実際に有効な使用者の不安要因解消のための情報にまとめることを目的とした。

2012 年度の工学的調査では、主にクエンチがもたらす MR 設置環境の変化を中心に調査

を行った。クエンチという事象そのものの設置環境への侵襲挙動を装置使用者が正しく知ることによって、“何が起きるか分からない不安”については解消できると考えたからである。結果としてクエンチ事例の画像・映像から、“この程度のことが起こる”という説明資料が得られた。

しかし 2012 年度の被災調査の結果を精査すると、クエンチに関わる不安要因には“何時それが起こるか分からない不安”や“クエ

ンチに備えて何をすれば良いか分からない不安”も強くあることが分かった。

そこで工学的調査班は、“クエンチ予知のための診断方法”と“クエンチ発生リスクを低くするための手段”について検討することとした。

## B. 研究方法

### 工学的調査方法

2012 年度に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およびクライオスタットの挙動に関する不安要因を分析した結果、クエンチに関わる不安内容が多かった。その内、“クエンチによる MR 装置設置環境への侵襲挙動が分からない不安”については提供すべき資料収集できたが、“何時クエンチに至るかが分からない不安”や“何を施せばクエンチ発生を回避できるかが分からない不安”については、詳しい情報入手には至らなかった。

2013 年度は前年度に実施した工学的調査結果を精査しかつ不足情報については昨年度同様、強制クエンチによる消磁作業に立会い補った。また MR 装置メーカーからの聞き取り調査を実施した。

## C. 研究結果

### 工学的調査項目の抽出

“何時クエンチに至るかが分からない不安”解消のためには、現在の MR 装置の状態把握が不可欠となる。すなわちクエンチ発生原因となりうる必要確認項目について調査し、現

在 MR 装置の超伝導マグネットが、クエンチに至る過程のどの状態に在るかを判断する必要がある。

クエンチ発生原因のうち、『液体ヘリウム液位の低下』に起因したクエンチ予知に際し、把握が必要とされる項目を検討した。クライオスタット搭載冷凍機の停止も、真空劣化による断熱不良の発生も、クエンチ発生の直接原因とはならず、それによって液位低下が起きた結果、クエンチに至るという基本は変わらない。

具体的には以下の項目を“量”的に確認あるいは想定する必要がある。

1. 液体ヘリウム液位
2. 液位減少速度
3. 最低液位
4. 消磁に要する時間

また予測されたクエンチ発生の前には、MR 装置設置環境の以下の各項目の点検と確認が必要となる。

5. 液体ヘリウム槽内圧確認のための  
マグネットカバーの取り外し方法
6. クライオスタット内圧放出口周辺  
および室外放出配管の接続部
7. 建物内放出配管経路
8. 屋外放出口周辺

以上各項目の点検および確認手段、手順、器具について調査対象とした。

### 工学的調査結果

#### 1. 液体ヘリウム液位の確認

MR 装置の超伝導マグネットは、液体ヘリウムでの十分な冷却状態が常に必要となる。

十分な冷却状態は、液位が許容最低液位以上に貯蔵されていることで確認する。

平常時の液位は、撮像コンソール画面、機械室内に設置された液体ヘリウム専用の液位計(通常液面計と呼ばれている)で確認できる。しかしコンソール画面でのみ確認できるMR装置もあり、コンソールを立ち上げてからでしか確認できないこともある。また停電時の液位は確認できないMR装置が多い。ほとんどのMR装置の超伝導マグネットで使用されている液体ヘリウム液面計は、連続表示型超電導式液面計<sup>1)</sup>が用いられている。正常な動作には液位表示画面を持つ専用の電源が必要であり、テスター等で電圧や抵抗を測定すればよいものではないことを知っておく必要がある。その動作原理については資料1.を参照のこと。

液面計の停電時の動作についてMR装置メーカーの回答は様々であり、バッテリー駆動が可能な装置はなく、単独電源で駆動可能であるとの明確な回答も無かった。

本項目の調査結果は「MR 検査室の防災指針 4.4 液体ヘリウムの残量確認方法」に反映させた。

## 2. 液位減少速度の確認

液面計が動作可能であればそれを使って残量確認するのは当然として、稼動できない場合も、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性から、現時点の液位予測はある程度可能である。

しかし何らかの異常があった場合には、日頃の液位減少特性は変化するので、異常発生

以降、時間の経過と共に液体ヘリウム残量は不確かなものになってくるので、設置環境の被災の程度にもよるが、MR 装置の被災状況の第一印象が“軽度”であれば、1 時間ごとからの液面計の記録を取り続けることが望ましい。

このことから液面計の単独動作機能は重要であると思われる。

また平常時の液位推移記録が参考にならない場合の、異常時の液位変化特性についても明確な回答を数値で出せるメーカーは無く、冷凍機停止後、数日は液位がクエンチ発生下限界を下回ることはないなどの曖昧な表現であった。装置ごとに固有の液位減少速度変化を持つことから、一概に参考データを示すことはできないとのことであった。

本項目の調査結果も「MR 検査室の防災指針 4.4 液体ヘリウムの残量確認方法」に反映させた。

## 3. 最低液位：クエンチ発生の限界残量

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。

A: 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。

B: 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。

C: 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。

D: 専門技術者がクエンチリスクを承知で補充可能な液位。

E: すぐにクエンチしてしまうであろう最低

液位。  
というように最低液位には必要対応内容によって段階がある。<sup>2)</sup> ここでは D ないし E の液位を調査した。

各メーカーが取扱説明書などで明示している最低液位は B までであり、C についてはサービス窓口にご相談することを促すにとどまっている。D および E については、他の状況によっても数値が異なるため、一概に参考データを示すことはできないとのことであった。あるメーカーは電源による消磁作業が可能な液位を示している。消磁するにしても一定以上の液位が必要となるとのことであった。

以上の調査結果も「MR 検査室の防災指針 4.4 液体ヘリウムの残量確認方法」に反映させた。

#### 4. 消磁に要する時間

昨年度の工学的調査で 2 件の電源による消磁に立会い、その 1 件は機材到着から 1 時間半で消磁が始まり、そこから約 30 分で完了したことを報告している。<sup>2) 164P</sup> またもう一件も点検を含む準備作業が 1 時間ほど長いだけで約 3 時間ですべての作業が完了した。

強制クエンチによる消磁作業は、準備に約 1 時間、磁場消失まで数秒、クエンチ影響が環境から消えるまで約 1 時間であった。

しかしこれら作業は、手配から機材搬入までに要する時間がまちまちであり、メーカーも平常時の緊急対応にのみ標準対応時間を示しているが、災害時の状況によっては不確定となることが述べられている。

被災時に MR 装置がなんらかの異常を示し、

避難時に無人放置が予想される場合や、液位減少率が増加して持ち時間が限られることが予想される場合は、強制クエンチ法により消磁することを直ちに検討しなければならないと予想される。またあるメーカーは、社の方針として磁性体吸着引き剥がしには一切応じられない旨、発言があったことも考慮しておく必要がある。

強制クエンチについても、「MR 検査室の防災指針 4.9 緊急消磁ボタン(クエンチボタン)の確認」に反映させた。

#### 5. 液体ヘリウム槽内圧確認のための

##### マグネットカバーの取り外し方法

被災時の超伝導マグネットの状態診断には液体ヘリウム槽の残留液量(液位)の確認と同時に、液体ヘリウム槽の内圧確認が必要となる。また内圧に何らかの異常が確認されたら、クライオスタットからの内圧放出配管周辺の様子を観察する必要がある。

それら圧力計、内圧放出配管類は MR 装置のマグネットカバーの内側にあり、通常運転時には確認できない。また各社各様のカバーであり、取り付け取り外し要領も異なっている。昨年度および今年度調査で、既設 MR 装置撤去を他社メーカーのサービス員の手で行われるケースを 4 件経験したが、いずれもカバー取り外しには苦戦し、撤去を前提にしていたゆえ、一部を破壊しなければ外せないケースもあった。このことから、メーカーごとにカバーの形式が異なることを承知しなければならない。ただしメーカーが提供するメンテナンスマニュアルにはその手順が記

載されているので、それを確認すれば“壊す”ことは避けられよう。

クライオスタット上部のカバー内の様子と圧力計の例を資料2に示す。中には比較的簡単にカバーが外せる構造のものもあるが大半は厄介であり、液体ヘリウム槽内圧と内圧放出配管周辺を日々点検記録するのは困難が予想される。

## 6. クライオスタット内圧放出口周辺

および室外放出配管との接続部の点検  
これも同じく資料2を参照のこと。

クエンチ前にこの部位の点検が必要な理由は、クエンチ時に発生する配管外表面での空気の液化時に、液体となった空気成分：液体酸素、液体窒素が、流れ落ちる先に受け皿となる部分が在るか否か知っておくことにある。また外観上、修復・補強が必要な箇所には事前に作業をしておきたい。あるいはそこからガスヘリウムが多少漏れ出す可能性を承知しておく必要がある。実際、強制クエンチ立合い調査で、多少ではあるが3例の漏れ出しを観測している。

## 7. 建物内放出配管経路

MR用超伝導マグネットの設置室内から、屋外放出口までの、建物内ヘリウムガス放出配管経路を、よく承知している使用者は少なかった。この経路が長いかわかり、何処を通過して何処で曲がり、何処から屋外に出ているかは、クエンチ前に承知しておきたいことのひとつである。この天井裏配管の表面でも、大量の空気が液化し流れ落ちる様子を観測し

ている。その様子を資料3に示す。

通常は天井裏点検口から一部が確認できる。できれば経路となる部屋、廊下などの壁貫通位置についても、図面で資料を用意しておきたいところである。MR装置保有機関の施設課に図面資料がある場合もあるが、建て屋施工図であることが多く、素人には分かり辛いので、専門家、メーカーサービス員などの第三者に説明できる資料を予め用意しておくことが望ましい。中にはMR装置メーカーがサイト情報として持っている場合もある。

ちなみに配管系統図にとどまらず、医療機関の電源系統図もある程度用意しておいてほしいとのメーカーからの要望も聞かれた。緊急対応を要請する場合に備えて、予め用意しておくことが望ましい。

## 8. 屋外放出口周辺

屋外放出口の周辺もクエンチ前に点検しておく必要がある。放出口周辺に、MR装置設置時には無かった建造物が追加配置されているケースがある。また設置計画時にはクエンチ時の極低温ヘリウムガスの放出口であることが考慮されていないケースや、放出ヘリウムガスの届く範囲の正確な予想ができていないケースがある。なるべく多くの事例を調査し、類似のケースに照らし合わせて、既設屋外放出口の噴出状況を想定する必要がある。

屋外放出口の例と、クエンチ発生時のヘリウムガスの様子を資料4に示す。ここには今回映像分析をした昨年度(2012)の調査情報と、今年度(2013)追加調査した情報を紹介する。

## 2013 年度実施調査記録

### 1. 強制クエンチによる消磁事例 ケース 5

＊ケース番号は 2012 年度からの通算

#### 1-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場：1.5T 鉄シールド型

シム方式：電流シム方式

クライオスタット：20K 2stage 冷凍機

20K／50K シールド冷却型

ヘリウム内容量：フル容量 1000 L

内圧：0.4 psi

#### 1-2. 作業

##### 1-2-1. 作業工程

消磁のための強制クエンチ作業、昇温のための断熱真空解放作業、すべての圧力開放作業について作業手順を追って写真撮影した。

12:30 緊急排気出口の確認

13:00 撮影機材セッティング打ち合わせ

13:20 撮影機材セッティング

13:30 クエンチ前の準備

13:40 圧力開放バルブオープン

13:45 冷凍機停止

13:55 強制クエンチによる消磁

14:20 クライオスタット断熱真空の  
解放作業開始

14:30 冷凍機のガス抜き処理

15:20 真空解放作業完了

15:30 真空解放後の処置作業完了

15:45 真空解放後の状況確認

翌日、全圧力が開放されていることおよびすべての部位が昇温方向に向かっていることを確認した。

##### 1-2-2. 屋外放出口の確認

消磁作業の前にヘリウムガスの排気口の確

認を行った。排気口は病院裏手にあり、マグネットからの配管長さは約 5m 程度で、ヘリウムの排気量はかなり多いため、排気のフードが飛ぶ可能性もあり、また、排気口の金網も目詰まりしている状況だったので、フードや金網を取り外した。マグネットの内圧は 0.4 psi で、クエンチさせる前に開放し、内圧を下げて、排気の確認を行った。

##### 1-2-3. 消磁のための強制クエンチ

このケースの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設置した。

クエンチを発生する前のヘリウムのレベルは 49.8%、クエンチ後は 1.1%となった。しかし真空解放時のヘリウムの排気管の状況から考えると、実際にはクエンチ後、ほぼ空になっていたと思われる。

##### 1-2-4. クエンチ中の周囲観測

屋外放出口からの冷たいヘリウムガスの噴出する様子を、このケースでは、周辺建物の全景が映し込める画角で撮影した。また室が良放出配管の外表面で液化する空気の様子も撮影した。

噴出する白煙(冷たいヘリウムガス)は、隣接する高層階病室からも観察されたとのことであった。また室外放出口の配管とクライオスタット放出口は鉛直の直管で、途中にベロー形状のフレキシブルホースがあり、その外面では大量の液体空気が発生した。

以上の映像から得た画像を資料 5. に紹介する。



## 2. 強制クエンチによる消磁事例 ケース6

本ケースでは強制クエンチ実施が夜間になり、クエンチダクトおよび屋外放出口付近のヘリウムの噴出状況の撮影ができなかった。

### 2-1. マグネットシステム概要

主コイル発生磁場：0.5T 鉄シールド型

シム方式：電流シム方式

クライオスタット：20K 2stage 冷凍機

20K／50K シールド冷却型

ヘリウム内容量：フル容量 530 L

### 2-2 作業

#### 2-2-1 工程記録

- 17:00 消磁のための準備作業開始
- 17:10 クエンチダクト出口の確認
- 17:20 圧力開放バルブオープン
- 17:35 冷凍機停止
- 18:00 強制クエンチによる消磁準備  
緊急減磁装置動作不良
- 18:10 断熱真空層真空解放作業開始  
ヘリウムを蒸発させて強制的  
にクエンチさせた。
- 18:30 冷凍機のガス抜き処理
- 18:45 冷凍機取り外し作業完了
- 19:30 真空解放作業完了
- 19:50 真空解放後の処置作業完了

#### 2-2-2 強制クエンチによる消磁

MR マグネット室の壁に設置された緊急減磁装置はバッテリーが劣化し、チャージランプも点灯せずバッテリーチェックでもランプは点灯しない状態であった。さらにはマグネットヒーターと接続するケーブルも短くて接続できないと思われたので、緊急減磁装置で

の強制クエンチを断念し、断熱真空層に微量のヘリウムガスを注入し、液体ヘリウム蒸発量を増加させて液位低下によるクエンチ誘発法を実施した。しかし液体ヘリウム液位はシステムが落ちていたので測定することはできなかった。システムを落とす直前の記録から約 50%と推定した。

断熱真空層へ微量のヘリウムガスを注入すると、蒸発ガスの流れる音が大きくなり、放出配管表面に着氷が観測され、内圧計も上昇したがバースティングディスクは破れなかった。バースト圧より低く設定されている逆止弁が作動して室内にヘリウムガスが噴き出したので逆止弁を抑え、室内にヘリウムガスが排出しないように処置した。

液位は確認できなかったがマグネットがクエンチしたのは、おそらく液体ヘリウムが完全に無くなった以降も、しばらくは超伝導状態を維持していたと考えられる。そのことはバースティングディスクが動作しなかったことと、配管内を通るガス量に変化する様子があったことから推察された。

### D. 考察

今回の工学的調査で得られた情報は、クエンチ予知に必要な定性的な情報ばかりで、定量的な情報の多くは得られなかった。必要な定量的情報は、各 MR 装置固有のものが多く、MR 装置メーカーも提供に苦慮するものが多いことがうかがわれる。

冷凍機が停止しているときの、液位減少速度など、重要な“数値”が提供されていない。

### 液位下限界(E)について

例えば液位下限界(E)については、MR 装置メーカーすら経験的にしか承知していないケースが多く、ましてや公式な提供数値の提供は不可能な様子であった。

実際、低温工学的に解釈を施しても、仮定が多すぎて一般化は難しい。例えば液面計による液位表示にしても、メーカーが違えば同じ管理数値は適応できない。理由は液体ヘリウム槽内のコイル配置形状が異なり、同じ液位でもクエンチの発生リスクは異なること、液面計の配置も、槽内上部にしか配置しない設計と、槽内上下すべてにわたって液位測定する設計がある。また、コイルのコンポーネントの内、ガス層に露出させられない部位の高さも、設計によって異なっているので、同じ液面計の配置であっても、設計によっては異なる液位下限界(E)が存在する。

液位下限界の明示については、装置の性能を保障する設計の自由度の中で、固有の特性を法や基準で定めることも困難と思われる。しかし保障を伴わないある程度の参考値は提供可能と考えられるので、使用者、提供者の相互の歩み寄りが必要と思われる。

### 液位減少速度の確認について

設置環境の被災の程度にもよるが、MR 装置の被災状況の第一印象が「軽度」であれば、被災前の最終液位記録と日頃の液位減少特性および液体ヘリウム槽内圧変動特性と被災後の詳細な内圧記録から、現時点の液位予測は可能である。

□液位が一定に低下する MR 装置

一定期間ごとに液体ヘリウムを補給しなければならない MR 装置は、この記録が有効である。実際メーカーによっては「液位ログシート」を用意して定期的な記録付けを推奨している。この記録は表形式になっているが、できれば同時にグラフ化しておくことが望ましい。それによって日々の変化に異常の無いたことが一目で確認できる。液位記録のみで液位減少速度が確認できるのは、常に蒸発ヘリウムガスを系外へ放出している MR 装置に限られる。

何らかの異常がクライオスタットに生じた場合、それが液体ヘリウム槽への熱侵入量の増加、シールド冷凍機の冷凍能力低下など、液体ヘリウム減少速度に関係するか否かの診断には、この液位記録から作成されたグラフが有効な材料となる。

- ・減少の傾きが大きくなっている場合は熱侵入量が平常時より増えたことを表している。
- ・ある時、降下曲線に減少方向へのトビがあった場合は、一時的な内圧放出があった可能性があり、その後の傾きに変化は無ければ、熱侵入量の増減は無いといえる。

以上は、平常時に液位記録を使用する簡単な診断方法であり、被災時の診断にはさらに詳細な記録分析が必要となる。すなわち熱侵入量増加や冷凍機能力異常の有無の判定だけではなく、その増加や異常が進行しているか否かも分析し診断する必要が生じる。液位減少速度の時間変化の記録が必要となるので、被災後は、記録時間間隔を 1 時間程度に変更

する必要がある。正常であることの診断が出るまでこの記録を取り続け、液位減少速度に変化が無いことを確認する。

- ・たとえ熱侵入量増加の傾きが得られても、その傾きに変化が無ければ不具合の進行は無いと判定できる。

- ・もし液位減少速度曲線が上に凸の場合は、さらに液位減少速度が増加する可能性があり、持ち時間計算の根拠を推定することが難しくなる。

この場合は何らかの熱侵入量が時間と共に増加している可能性と、冷凍機の冷凍能力の低下が進行していることが疑われる。

すなわち変化の変化を記録しないと、現状の不具合が変化するものなのか否かがつかめない。

#### □一定液位保持型の MR 装置

定期的に液体ヘリウムの補給を必要としない超伝導マグネットについても、週に1回程度の液位記録は有用である。この場合、液位計(液面計)の指示値記録の他に、液体ヘリウム槽内圧の記録も必要である。

このタイプの装置には4 K(ケルビン)の冷却が可能な冷凍機が搭載されていて、冷凍機は常に最大冷凍能力で液体ヘリウムの蒸発を抑えている。液体ヘリウム槽内圧の変化は、その一定の最大冷凍能力(ワット)に対して、熱負荷の増減を示すことになる。その冷凍能力は冷却している対照の温度によって多少異なるので、大まかな異常診断にしか適応できないことが多い。

MR 装置の使用者と提供者の間に信頼関係があれば、保障を伴わない数値の提供はあり得ると考えられる。災害発生時の双方の切実度を考えると、工学的情報の提供は必要と思われるが、双方共に専門的知識を備える必要性が感じられる。

#### E, 結論

本継続調査で、追加実験実施および得られている工学データの精査を通して、「MR 検査室の防災指針」策定の根拠となる多くの工学的知見を得た。さらに継続的に調査研究は行わなければならないが、調査対象については確定方向に向かっていると思われる。しかし2年目の工学的調査として、昨年度出した結論に付加すべき新たな結論は出ていない。すなわち昨年度の結論の冒頭の「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」の確信を深めるにとどまった。

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も継続すべき課題である。

## 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、榎田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、磯田治夫、小山修二、村田和子、水口紀代美、木戸義照、野口隆志、梁川 功、町田好男 MR 検査室における震災対策 — 防災対策と緊急対処のための2 指針について 日本磁気共鳴医学会雑誌 (投稿中)

### 2. 学会発表

- ・野口 隆志、端 健二郎、大木 忍、中井 敏晴 被災時に MR 装置の運転・管理関係者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第 88 回 2013 年秋季低温工学・超電導学会 抄録集 109 (低温工学 第 48 巻)、2013 年 12 月 5 日、名古屋
- ・野口隆志、端健二郎、大木忍 MR 装置の運転・管理者へ提供すべき超伝導マグネットの工学的情報の検討、第 41 回日本磁気共鳴医学会大会 #O-3-310、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S328、2013
- ・山口さち子、町田好男、土橋俊男、磯田治夫、野口隆志、中井敏晴、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、第 41 回日本磁気共鳴医学会大会 P-2-173、日本磁気共鳴医学会雑誌 33、S419、2013

## 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

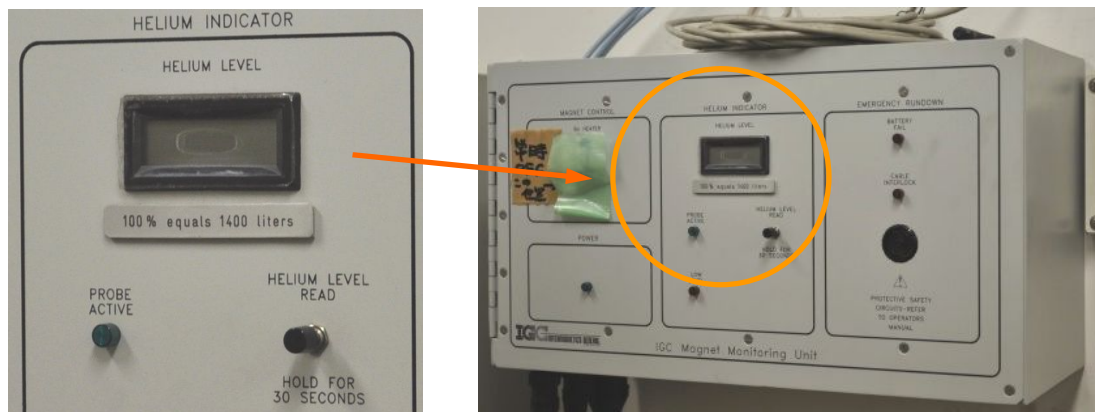
- (1) 社) 低温工学協会 信貴豊一郎 編、超伝導・低温工学ハンドブック、134 頁、液面計測の実際、オーム社。平成 5 年 11 月 30 日、ISBN 4-274-02255-2
- (2) 中井敏晴他、平成 24 年度 厚生労働科学研究日補助金 総括・分担研究報告書、大震災における MRI 装置に起因する 2 次災害防止と被害最小化のための防災基準の策定、172 頁、平成 25 年 3 月

## 研究協力者一覧

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  
酒井修二 物質・材料研究機構

## 資料1 超伝導式液体ヘリウム液面計

液体ヘリウム液面計は MR 装置メーカーによって異なるばかりではなく、装置の型式、マグネットメーカーによっても異なる場合がある。設置場所も各メーカーによって異なるかあるいは医療施設によってことなる。多くは機械室に設置されており、目立つ場所に設置されているケースは少ない。



「緊急減磁装置」「Z<sub>0</sub>シム PCS スイッチ」と一体ボックスになった壁掛け型



左は他の機能機器との組み合わせ型 右は液面計単独型 AC100V で単独動作可能

## □超伝導型液体ヘリウム液面計の動作原理の簡単な紹介

液体ヘリウム槽内の液面に対して垂直方向に張られた超伝導線の、上下両端抵抗を測定することで、液面深さを検出する原理だが、テスターなどで測定可能な電気抵抗ではなく、一定の電流を通電しながら上下両端に発生する電圧を測定し、抵抗に換算した後、液面を表示させる。

素子全長： $L$  液中に没している超伝導線の長さ＝液深さ： $L_f$

液面が素子下端にあるときの抵抗： $R_0$

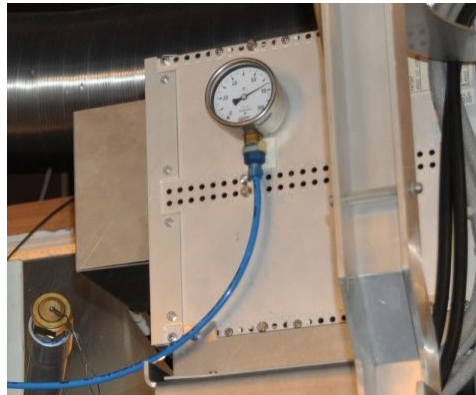
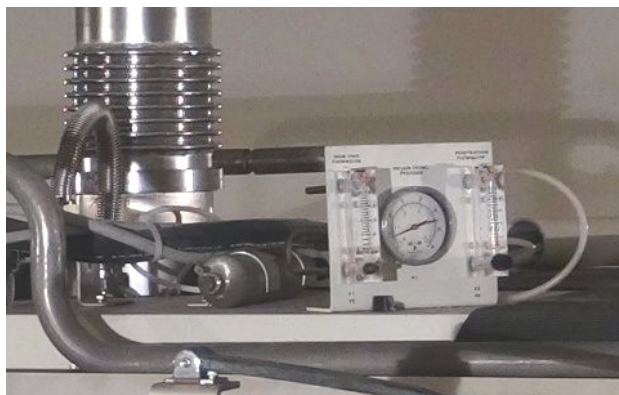
液面が素子の途中( $L_f$ )にあるときの抵抗： $R_g$  とすると 深さ( $L_f$ )は

$$L_f = L / R_0 \times (R_0 - R_g) \quad \text{と表せる。}$$

\*抵抗： $R_g$  はガス層に露出した超伝導素子の常伝導部分の抵抗である。

これが成り立つためには、超伝導線の超伝導部分と常伝導部分の境目が、ちょうど液面と一致していなければならない。すなわち抵抗測定電流( $I_{op}$ )は、ガスで冷却された部分は常伝導に転移し、液中はすべて超伝導のままであるような電流値でなければならない。その値は 50mA ～250mA、波形は定電流あるいは矩形波と様々である。

## 資料2 ヘリウム槽内圧確認用圧力計 および内圧放出口周辺の霜着き例



ヘリウム槽の内圧確認用圧力計は、ほとんどマグネット上部カバー内に設置されている。上の写真2枚は、いずれも強制クエンチ前の、通常の圧を示している。



上の写真は2枚とも、強制クエンチ終了直後の様子で、圧力はともに大気圧付近を示している。クエンチ直後なので大量に霜が着いているが、ガス放出時に、霜が何処に着くかを考える参考なる。



左の写真は、あるMR装置のマグネットの上部カバーとサイドカバーを外した状態で、中身は古いタイプのマグネットだが、カバー外形と外し方などはあまり変わっていない。

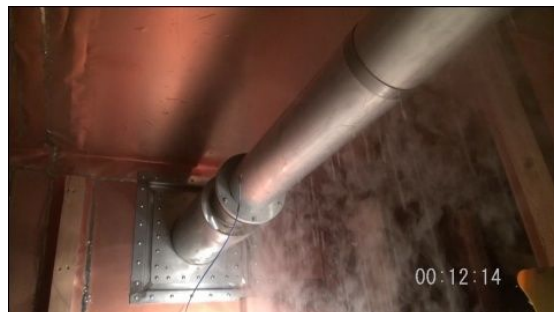
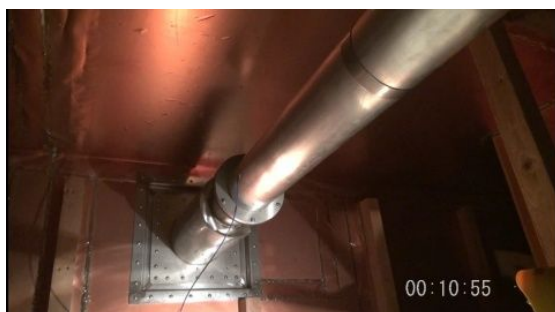
メーカー、型式によって外し方は異なるので、取扱説明書で確認しておく必要がある。



### 資料3 天井裏の屋外放出配管と大量放出時にできる液体空気の様子

クライオスタットのヘリウム放出口の配管は、天井から天井裏へ向かう配管と取り合い、屋外に面した壁の、屋外放出口へ続く。この室外へ出る部分もマグネットカバーを外さないと目視できない。

右の写真は、マグネット室内の天井裏点検口から見上げた、天井裏配管である。このケースの点検口は開口部がかなり広い。



左は強制クエンチ前、右は強制クエンチの約1分半後の液体空気が流れ落ちる様子



上部カバー内でも液体ヘリウム槽内圧の放出口周辺で、液体空気が流れ落ちている。この液体空気が流れ落ちる先が凹状の形をしていると、そこに液体窒素、液体酸素の混合液が溜まり、やがて窒素が蒸発し液体酸素のみとなって危険である。

資料4 屋外放出口形状とクエンチ時の放出ヘリウムの振る舞い例



クエンチ前の屋外放出口 00:15



クエンチ直後のヘリウムの様子 00:18



約 30 秒後の様子



約 5 分後の治まり始めた頃の様子

このケースの場合、屋外放出口は軒下の奥に設置されている。また放出方向(このケースでは下方向)に平板が取り付けられているので、放出口下は、冷たいヘリウムガスが直接吹きかかることはないが、ヘリウムの白煙は軒下を埋め、窓のある建屋外面を舐めるように上昇して行く。事前にこのような流れの行く先についても予測をしておきたい。



放出口の様子 1.

05:04



放出口の様子 2.

05:19



資料5 2013 年度実施調査取得情報

クエンチ時の屋外放出口の様子



屋外放出口の設置場所



屋外放出口を下から覗いた内部の様子



屋外放出口部分は建屋の隙間にある。



その隙間内は敷地から離れると見えない。



める可能性があったので事前に取り外した。そのため放出ヘリウムガスは、建屋壁面から水平に噴出することとなった。

このケースの場合、強制クエンチ前に屋外放出口を点検したところ、金網の網目は細かくかつゴミが付着していた。バースティングディスクが破裂したときの最大噴出量によって配管内圧が高まる可能性があったので、事前に金網を外した。放出配管：クエンチダクトの内圧が高まると、経路の途中で継ぎ目が外れる可能性があった。

また建屋外壁に取り付けられた放出口カバーも、接合部分が傷んでいたことと、下向きに放出すると他の配管など建造物を傷

## 高層病棟とクエンチ時に放出されるヘリウムの白煙



00:00:54 クエンチ直前



00:05:56 クエンチ直後



00:06:10 クエンチ発生約 15 秒後 既に白煙は建屋上にまで広がっている。

上の写真 2 枚は、左がクエンチ 2 秒後の白煙が出始めた時、右は約 15 秒後の放出がピークに向かう頃のもので、建屋全体との比較から、白煙はかなり遠方からも確認できることを承知しておく必要がある。ちなみに写真手前は車が行き来する構内道路である。

屋外放出口から噴射する白煙は、遠方から見ると火災発生時の煙のように見える。強制クエンチを実施する際は、院内関係者はもちろん、遠くの病棟、近隣住宅、消防関係者にも知らせておく必要が感じられる。

屋外放出口ほぼ正面から見た噴出ヘリウムの様子



04:22 強制クエンチ直前



04:22a クエンチ発生直後



04:23 風に影響される白煙



04:29



04:45



04:55 撮影機材を白煙が覆った瞬間

今回、安全のために屋外放出口のカバーを外したので、放出口付近では建屋壁面から水平に噴出したが、壁面から離れたヘリウムの白煙は風に流され、方向を変えながら上昇していった。



## 室内放出配管：クエンチダクト



クエンチ前



クエンチ発生数分後



00:00



00:11

クエンチによる内圧放出が治まりかけたときでも、しばらくは配管壁面での空気の液化は続いている。このケースではマグネット設置室内へのヘリウムの漏れ出しは無かった。しかし大量の空気の液化現象は観測でき、その流れ落ちる先がマグネットを覆うカバー内部であり、視界から消えてしまうことが分かった。

マグネット上部の放出配管表面で液体空気・固体空気ができる様子



クライオスタット上部を真上から見た写真

クエンチによって増加した内圧は、クライオスタット上部のメインの放出配管に付いた破裂板：バースティングディスクを動作(破裂)させ、室外放出配管(クエンチダクト)を通して室外へ出てゆく。その間に放出路の配管表面に液体空気ができる。



メイン放出配管

左の写真は上の写真の“メインの放出配管”を拡大したものであり、表面が濡れたようになっているのが分かる。これは液化された液体空気であり、配管下に回って流れ落ちている。

右の円形フランジ内には破裂板が挟み込まれている。



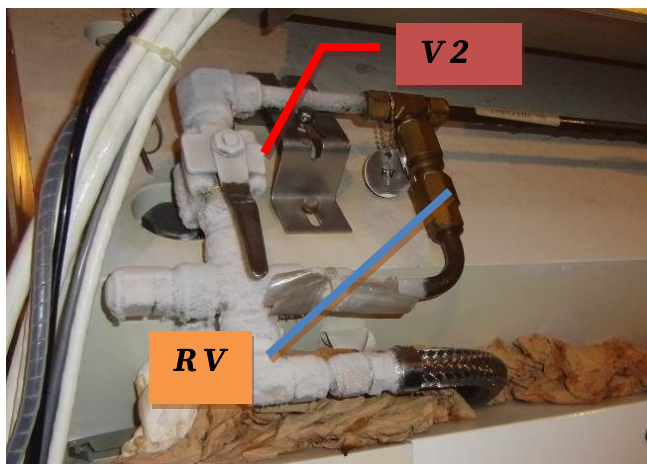
メイン放出配管表面の拡大写真

さらに表面を拡大すると、流れる液体空気に混ざって、酸素、窒素以外の気体が白い固体となって流れる様子が分かる。

この液体空気は重力にしたがって流れている。内圧が弱まるとこの液化現象も終わり、表面は白い霜で覆われる。



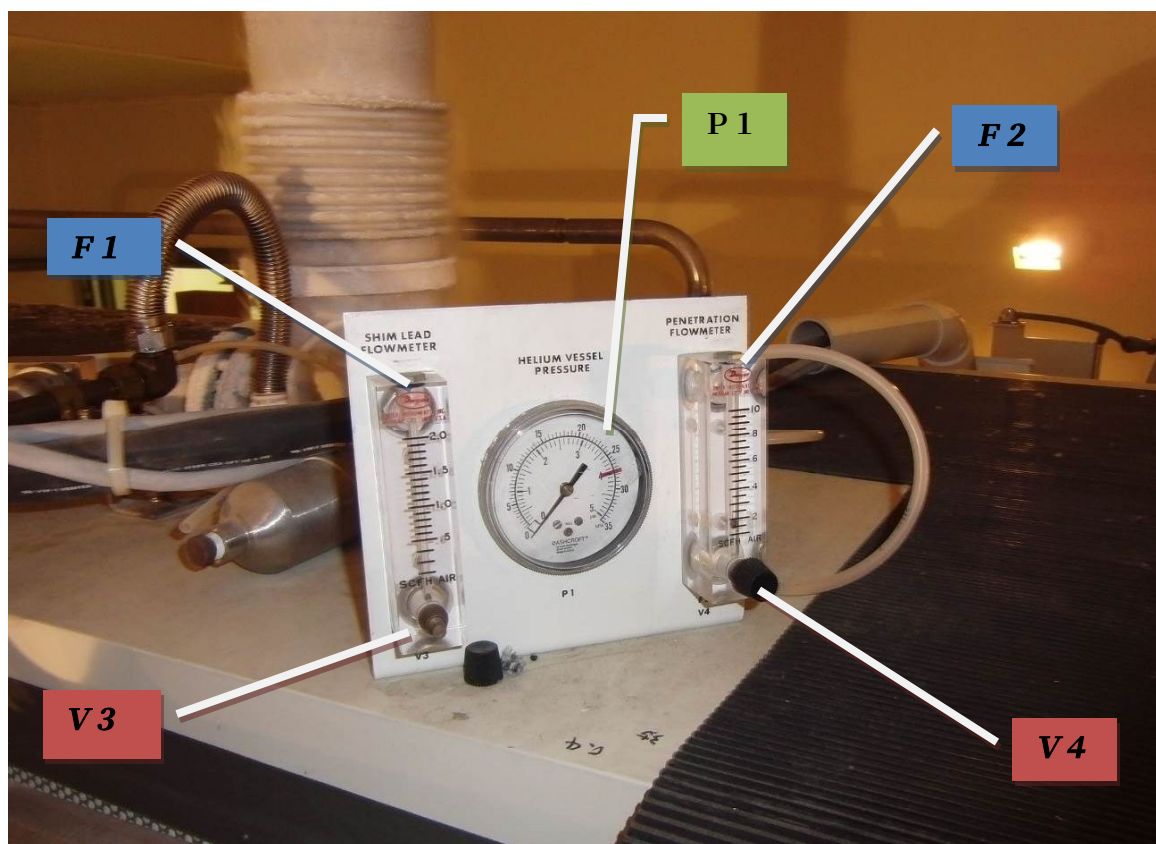
マグネットカバー内の圧力計、バルブ、内圧放出配管



ヘリウム排気系写真

ヘリウム注入系写真

RV：逆止弁 V2：内圧開放弁 V1：内圧保持型注液ポート元弁



クライオスタット上部 写真

F1：シムリード冷却用ガス流量計 F2：アクセスポート冷却用ガス流量計  
V3：シムリード用流量調節弁 V4：アクセスポート用流量調節弁  
P1：ヘリウム槽内圧計

### 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 |
|-------|---------|------|----|-----|-----|
|       | 該当なし    |      |    |     |     |