

第7回  
安全工学フォーラム

講演資料集

社団法人日本工学アカデミー

安全知の共有作業部会

講 演

NMR / MRI の “強磁場” と “クエンチ” 後の振る舞い

明星大学

野 口 隆 志

## 磁場と安全 ～知っておきたい強磁場のリスクと対策～

# NMR/MRIの“強磁場”と “クエンチ”後の振る舞い

明星大学 理工学部 総合理工学科  
電気電子工学系 非常勤講師  
野口 隆志

2012-02-28 安全工学フォーラム

1

## 要点の整理

2012-02-28

- ・ 昨年(2011.3.11)の震災直後から、NMR/MRIの“放置”の問題と対策に特化して情報発信してきた。
- ・ しかしその問題に触れる前に、高磁場やクエンチ、極低温容器破裂という現象そのものについて関係者間で共有しておかなければならないと思い始めている。
- ・ ここでも、まずNMR/MRIの固有の現象そのものを紹介し、それらが危険なのか否かを問い、現象感を共有した上で“放置”の問題についてご意見を伺おうと思う。

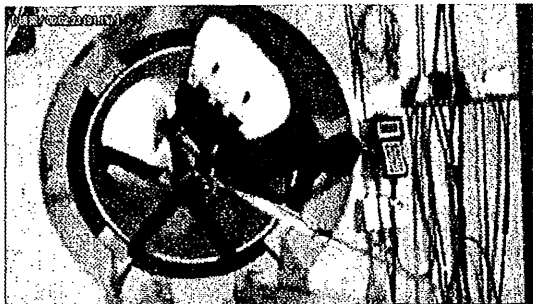
2

## まずはそれが危険なのかどうか…？

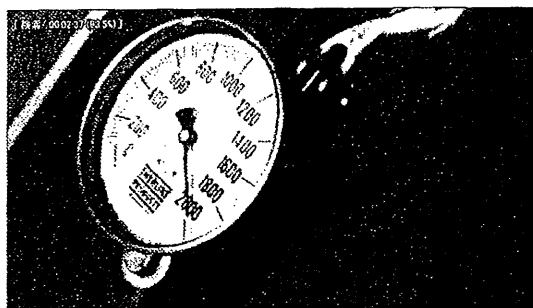
- 日常に無い強磁場の危険  
日常に無い⇒想像がつかない …それも危険要因  
強力な磁石ならそこそこ知っている …故に危険
- 原因不明で不意に発生するクエンチの危険  
“クエンチ”が、どんなものかを知らない  
不意に発生⇒何が起きたのかすら判らない  
“クエンチ”についてKY＝危険予知できるか？
- 日常に無い極低温ガス放出の危険  
ドライアイスより…液体窒素より冷たい？  
時に容器は高圧ガス破裂を起こす

3

## まず非日常的強磁場の映像を…



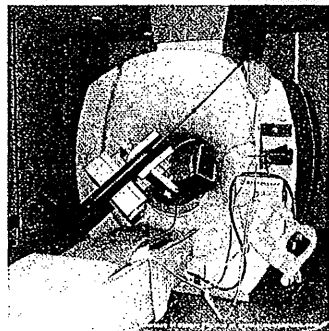
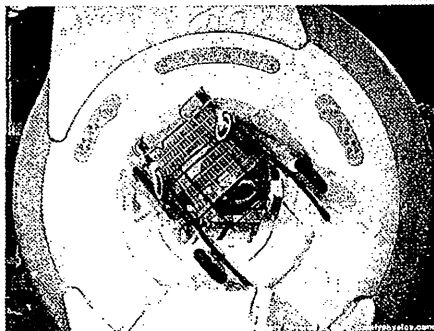
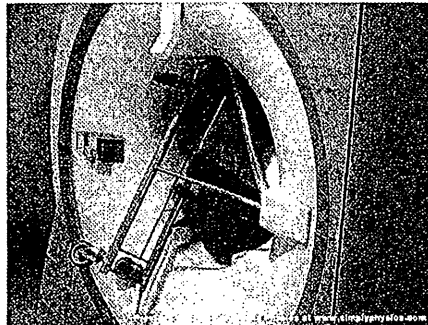
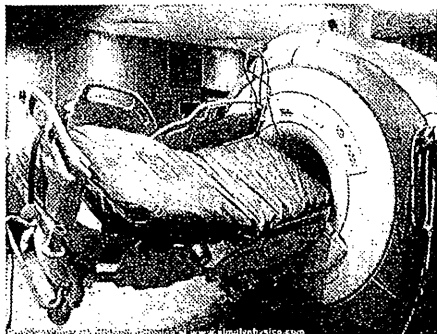
- 4 TのMRIの  
ボア入り口に入り  
込ませた椅子



- その時のマグネッ  
トへの吸着力は  
2000 lb＝約900kg

4

# 強磁場に飛び込んでいった物



5

まずはそれが危険なのかどうか…です。

## ▪ 日常に無い強磁場の危険

日常に無い⇒想像がつかない …それも危険要因  
強力な磁石ならそこそこ知っている …故に危険

## ▪ 原因不明で不意に発生するクエンチの危険

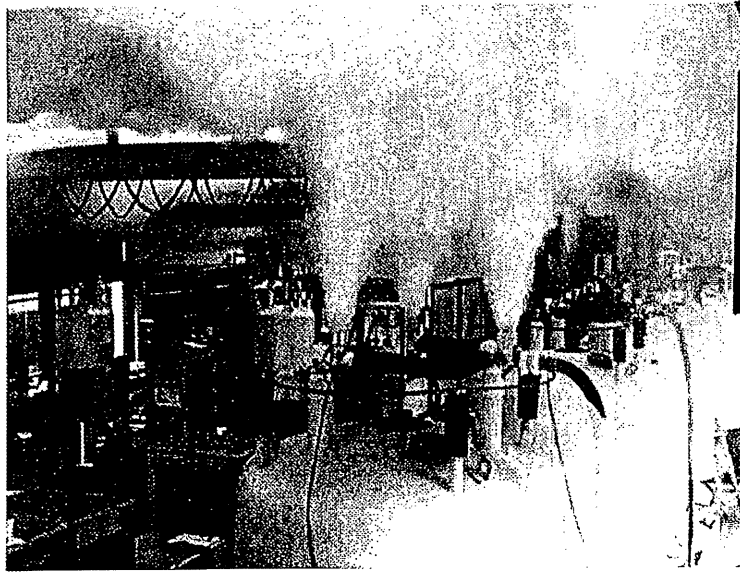
“クエンチ”が、どんなものかを知らない  
不意に発生⇒何が起きたのかすら判らない  
“クエンチ”についてKY=危険予知できるか？

## ▪ 日常に無い極低温ガス放出の危険

ドライアイスより…液体窒素より冷たい？  
時に容器は高圧ガス破裂を起こす

6

## 700MHz NMR magnet



- NMR工場内でのクエンチ
- どうも隣のマグネットも連鎖クエンチを起こしている様子

7

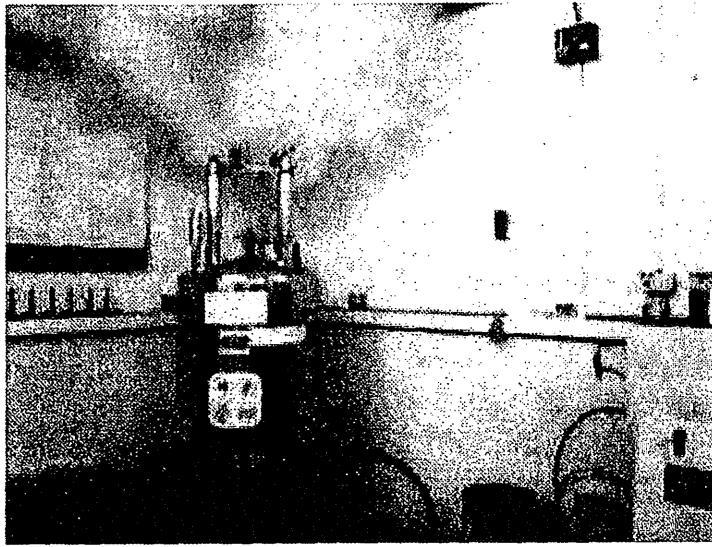
## 600MHz NMR のクエンチ



- 国内大学分析センター600MHzマグネットのクエンチ
- 励磁中にクエンチ発生は例が多い。

8

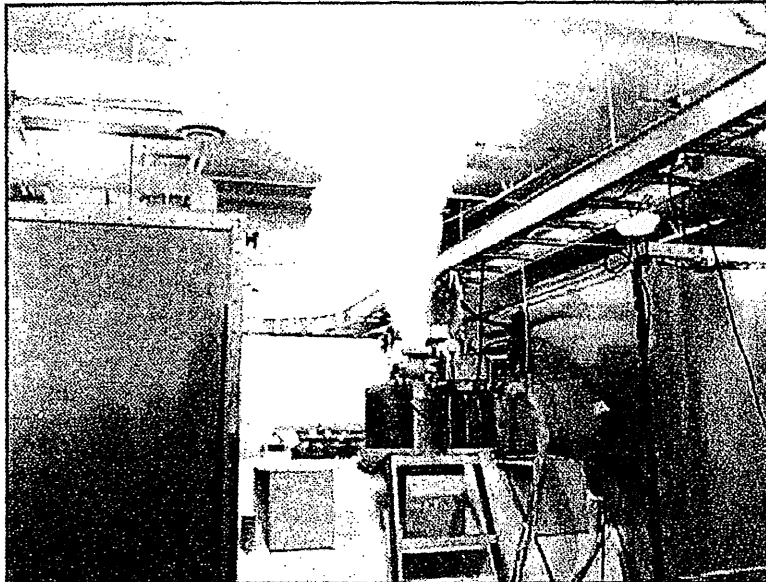
## 小型NMR 400MHz Quench



- 消磁するためにクエンチさせたものらしい。
- 強制クエンチの方法は断熱真空層へヘリウムガスを少量いれて液体ヘリウムを蒸発させる方法。

9

## MRI 1.5T Quench



- 工場らしきところで発生したクエンチ
- 冷凍機に異常が出た後、液体ヘリウムの蒸発が増えた後のこと

10



## 1.5T MRIの強制クエンチ



- マグネットへ直接ヘリウムガスを吹き付け、強制クエンチさせたときの放出口付近の画像
- 室内はいったん白煙に満ちた。

11

## MRI強制昇温時に発生した液体空気



- MRI撤去のため、消磁の後、消温するために液体ヘリウムを強制蒸発させた時に、配管表面に発生した液体空気

12



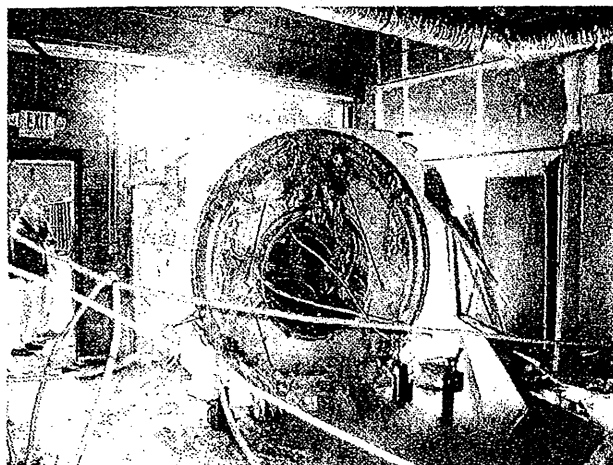
## まずはそれが危険なのかどうか…？

- ・ 日常に無い強磁場の危険  
日常に無い⇒想像がつかない …それも危険要因  
強力な磁石ならそこそこ知っている …故に危険
- ・ 原因不明で不意に発生するクエンチの危険  
“クエンチ”が、どんなものかを知らない  
不意に発生⇒何が起きたのかすら判らない  
“クエンチ”についてKY=危険予知できるか？
- ・ 日常に無い極低温ガス放出の危険  
ドライアイスより…液体窒素より冷たい？  
時に容器は高圧ガス破裂を起こす

13

## 米国でのMRI破裂事故

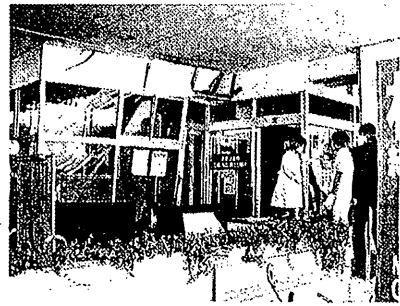
着磁されていないMRIの  
破裂事故現場



14

## 2003年10月04日 MRI破裂事故：福島・いわき市の病院で8人重軽傷

- ・ 松村総合病院はいわき市の中心部にあり、この日は午前9時から診療予定だった。爆発のあった午前8時半ごろは、1階待合室で約30人が診療を待っていた。患者の一人は「ドーンと大きな音がして白い煙も出たようだった」と話した。
- ・ 病院によると、爆発が起きた1階のMRI室は病棟の北東端にあり、機器交換作業は午前8時ごろから作業員5人で行われた。室内は爆発でめっちゃめっちゃに壊れ、通路を挟んだレントゲン室にも柱が倒れかかった。1階天井にも大きな穴が開いた。
- ・ MRI室に隣接する事務室では爆発の風圧で書類が散乱し、窓ガラスも窓枠を残してすべて吹き飛んだ。事務所と廊下を挟んで南側にあるレントゲン撮影室も入り口のドアが風圧で中央部分がへこみ、開閉できなくなった。
- ・ 病院と道路を挟んだ広場ではこの日午前8時から植木市が開かれていた。店番の女性（52）は「突然ドーンという音がして、ガラスが路上にまで飛び散った」と驚いていた。
- ・ 松村総合病院によると、病院は地上8階、地下1階建て。206床の入院施設を備え、いわき市では最大規模の総合病院。ある職員は「詳しい原因はまだ分からないが、いまのところ患者にけが人が出ていないとみられるのが不幸中の幸い」と語った。



15

## MRIの高圧ガス破裂の映像



- ・ 不慮の事故とはいえ高圧ガス破裂の威力を端的に表している。
- ・ 輸送途中なのでマグネットがクエンチしたわけでは無さそう。

16

## NMR/MRIの“放置”について

永久電流型超伝導マグネットの“放置”…。  
そこで懸念される危険要因について考える。

- (1) 日常に無い強磁場の危険
- (2) 不意に発生するクエンチの危険
- (3) 日常に無い極低温気体放出の危険

これらは、関係技術者にとっては不可解現象ではないが、一般には不思議現象となる。

関係技術者？ は……何処にいる？

17

- ・ MRIやNMRで使用される超伝導マグネットは“永久電流型マグネット”と呼ばれ、初期励磁後、電源が取り外されたあとも外部からの電力供給なしに“強磁場”を発生し続ける。
- ・ それを“消磁”するには、再び電源を取り付け、ある程度の電力が必要となる。
- ・ 地震・火災・洪水などに見舞われた際、長期間その場を第三者に明け渡す必要が生じた場合は『停止⇒消磁⇒昇温⇒圧力開放』の処置を検討しなければならない。

18

## 無策に“放置”することの危険

- ・ NMRやMRIは消磁作業を行わなければ、例え火災にあっても…水に浸かっても…日常に無い“強磁場”を発生し続ける。
- ・ 超伝導マグネットは、時に“クエンチ”という固有の現象を起こして数メガワットの発熱源となる。
- ・ その発火は液体ヘリウム中で発生し、容器内圧を急激に増加させ、時に火災と見まがう白煙を放出する。しかもそれは冷たい。そして高圧ガス容器の破裂を引き起こす。

19

## 課題として

- ・ NMR/MRIの振る舞いを危険とするか否か？
- ・ 消磁方法に“自然消磁”を検討できないか？
- ・ どの範囲にどの様に“危険を知らしめる”か？

こんなことが“放置”の今後の課題と考えている。  
以下の工程に何かしら規準が必要かもしれない。

停止させ ⇒ 消磁し  
⇒ 昇温し ⇒ 圧力開放する。

20

# 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

Sachiko Yamaguchi-Sekino<sup>1</sup>, Yoshio Machida<sup>2</sup>, Toshio Tsuchihashi<sup>3</sup>, Haruo Isoda<sup>4</sup>, Takeshi Noguchi<sup>5</sup>, and Toshiharu Nakai<sup>6</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Occupational Safety and Health, Japan, Kawasaki, Kanagawa, Japan, <sup>2</sup>Tohoku University, Graduate School of Medicine, Miyagi, Japan,

<sup>3</sup>Department of Radiology, Nippon Medical School Hospital, Tokyo, Japan, <sup>4</sup>Nagoya University, Graduate School of Medicine, Aichi, Japan, <sup>5</sup>National Institute for

Material Science, Ibaraki, Japan, <sup>6</sup>NeuroImaging & Informatics, National Center for Geriatrics and Gerontology, Aichi, Japan

## Introduction

The Great East Japan Earthquake (GEJE, magnitude 9.0), the largest one in the modern Japanese record, attacked east Japan at 14:16 (JST), on March 11, 2011. The Kobe earthquake in 1995 (magnitude 7.3) was the first large one after MR scanners became popular in medical facilities. Since the Kobe earthquake, anchoring of the radiological facilities has been the main concern to prevent earthquake disasters. Not only earthquake-proof structures but also seismic vibration control and base isolation of the building have been employed for new medical facilities in this decade. In order to evaluate the potential risk to MR scanners and consider patient safety under large earthquakes, we have performed a survey study to investigate damages in MR scanners caused by GEJE. The effectiveness of anchoring of MR scanners and seismic strengthened building structures for damage prevention were also investigated.

## Material and Methods

Questionnaires were mailed to the 984 facilities installed with MR scanners in the seven prefectures of east Japan including areas that severely devastated by the earthquake (Iwate, Miyagi, Fukushima, and Ibaragi) and neighboring areas (Chiba, Saitama, and Tokyo). The followings were inquired, 1) basic information of the facility, MR scanners installed and the magnitude of the earthquake experienced, 2) the details of damages to the MR scanners, 3) anchoring for each MR scanner, and 4) building structure of MR room. Chi-square ( $\chi^2$  test) test was used to examine the relationship between the damages in MR scanners and seismic intensities. Binominal logistic regression analysis was performed to evaluate the effectiveness of anchoring and building structures for damage prevention.

## Results

Responses were obtained from 456 facilities (collecting rate 46 %) installed with 602 MR scanners ( $\leq 0.5$  T: 144 units, 1 T: 31, 1.5 T: 371,  $\geq 3$  T: 54, and higher than 4 T: 2). The number of superconducting magnet was 472, permanent magnet 129 and 1 were unknown type. Base isolation structure was employed in 8.2 % of the buildings and conventional earthquake-proof structure was 68.0 %. Anchoring of the MR scanner was performed in 396 (65.8 %) scanners.

Significant differences were observed in the ratio of damages between seismic scale (SS) 5 (SS5- and SS5+) and SS over 6 (SS6 and SS7) ( $\chi^2$  test,  $p < 0.05$  or  $p < 0.001$ ). Since the SS over 4 was reported from 94.7 % of the facilities in these 7 prefectures, it was not possible to estimate the difference between the risk of damages by common earthquake (SS under 5) and that by this large earthquake. Frequencies of the typical damages were displacement of magnets (ratio to the total 251 facilities experienced SS5: 7.2 % / ratio to the 150 facilities experienced SS over 6: 25.2 %,  $p < 0.001$ ), failure of chiller or air-conditioning (25.8 % / 74.2 %,  $p < 0.001$ ), and rapid decrease of liquid helium (40.7 % / 59.3 %,  $p < 0.05$ ).

Logistic regression analysis suggested that anchoring for MR facilities reduced the occurrence of quake-induced damages (odds ratio (OR), 0.26; 95 % confidence interval (CI) 0.17 to 0.40;  $p < 0.001$ , Fig.1). And this damage preventive effect was observed in both SS5 (OR, 0.31; 95 % CI 0.15 to 0.63;  $p < 0.001$ ) and SS over 6 (OR, 0.26; 95% CI 0.14 to 0.49;  $p < 0.001$ ).

Then, effectiveness of seismic strengthened building structures (1) earthquake-proof structures (N=408) or 2) base isolation (including seismic vibration control, N=58)) against quake-induced damages in MR scanners were examined. Significant decrease in quake-induced damages was observed in base isolation group (OR, 0.26; 95% CI 0.09 to 0.73;  $p < 0.05$ ) compared with earthquake-proof structures.

## Discussion and Conclusion

The characteristics of GEJE were disasters by Tsunami and failure of basic infrastructure (electricity, water, communication) in very wide area. However, quake-induced damages were still observed generally in this earthquake. Indeed, it was confirmed that the extent of damage was significantly different between SS5 and SS over 6. Then, relationships between damages and anchoring were investigated to examine effectiveness of its safeguarding against quake-induced damages. As shown in Fig. 1, anchoring for MR facilities reduced the quake-induced damages and it was demonstrated that anchoring is an efficient way for quakes. Recently, in Japan, any fixation methods have been implemented for almost of all newly installed MR scanners but types of fixation are different among facilities. Next challenge is to define the feature of each fixation against quake-induced damages in MR scanners. And it was also confirmed that nobody was severely injured in MR scanners. Odds ratio revealed that base isolation was very useful to prevent damages in MR scanner.

As the future direction, training for evacuation, establishing standard protocol of emergency shut down of MR scanners and onsite checking of MR scanners by MR operators, and equipment of emergency power plant to cover the chiller of MR scanners will further ensure the MR safety under earthquake.

Acknowledgement: This investigation was supported by Health and Labour Sciences Research Grants, Research on Region Medical, Japan.

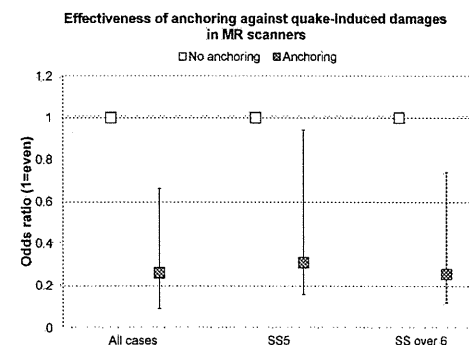


Fig. 1 The odds ratio of the occurrence of quake-induced damages in MR scanner.

## 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

Study of engineering information of the superconducting magnet to be provided  
to the operator of the MR systems in the disaster.

野口 隆志, 端 健二郎, 大木 忍(NIMS); 中井 敏晴(国立長寿医療研国立長寿医療研究センター)  
NOGUCHI Takashi, HASHI Kenjiro, OHKI Shinobu(NIMS); NAKAI Toshiharu(NCGG)  
E-mail: NOGUCHI.Takashi@nims.go.jp

### 1. はじめに

東日本大震災に起因した MR 装置の被災状況に関する被災状況調査を行ってきた。質問紙および聞き取り調査の結果を分析すると、MR 装置の運転・管理関係者の不安要因は、超伝導マグネットのクエンチに関する工学的情報の不足によって招かれるケースが多いことが解った[1]。本調査研究の目的は、MR 装置用超伝導マグネットを運転・管理する医療関係者に、どのような工学的情報を提供すれば不安要因を低減できるかを検討することにある。

### 2. 質問紙および聞き取り調査の結果

調査対象は大きな被害があった1都5県の MR 装置を有する機関で、602 台の被災時の MR に関する諸情報が収集できた。特に危険を感じた事象として回答項目に記載されていない事象など MR 装置の破損状況についての自由記述は 34 件あった。そのうちクエンチの不安が最も多く、その背景は停電による液体ヘリウム液位の低下である。液体ヘリウム液位が低下すればクエンチ発生の可能性は増すという定性的な理解は広く行き届いていることがうかがえる。しかし臨床検査担当者の不安事項を分析すると、その9割が超伝導マグネットのクエンチに対する漠然とした不安を背景としており、クエンチに関する工学的情報の不足によって招かれるケースが多いことが解った。クエンチを知り、クエンチに至るか否かを診断し、クエンチ回避策が実施できれば、多くの不安要因を解消できると考えられる。

### 3. 工学的調査方法

4 台の超伝導型 MR 装置の強制クエンチに立会い、強制クエンチ実施前の状態記録、クエンチ過程のマグネットおよび設置環境の挙動、実施後の変化などを観測調査し、使用者が必要とする工学的情報を具体化する方法について検討した。またその調査実験を実施する過程で装置使用者から聞き取り調査を行い、工学的情報不足が不安につながることを確認した。

### 4. 調査結果

実際のクエンチを観測し、いろいろな不安要因を確認した。“クエンチ”を知り、“クエンチに至るか否か”を診断し、“クエンチ回避策”を実施できることで、多くの不安要因が解消できることが期待できた。また MR 装置に関する初期点検および復旧立ち上げ作業を設置機関の職員主導で実施した装置は 309 台(調査対象装置 602 台の内)であったことが、本調査研究の重要性根拠として挙げられる。

実際の4台の強制クエンチの観測結果として、主磁場は 1 秒以内におよそ 1/4 以下となりおよそ 10 秒以内に消失し、内圧は逆止弁動作の後破裂弁動作が起り、放出配管表面温度が液体空気液化温度(78.8K)以下となる放出時間は約 10 分であった(図1)。ただし本調査で実施した事前点検は、クエンチさせることを前提に行われたため、クエンチ回避策そのものは実施できなかった。

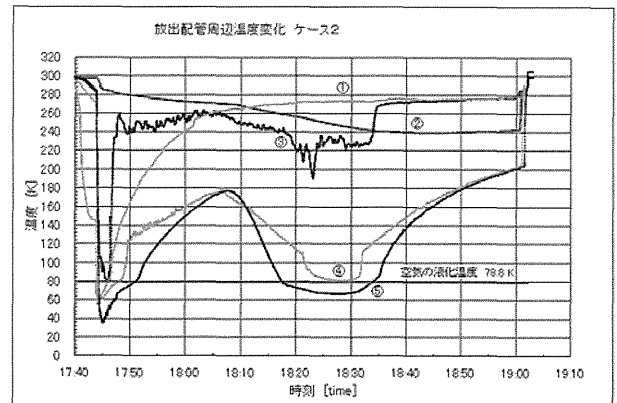
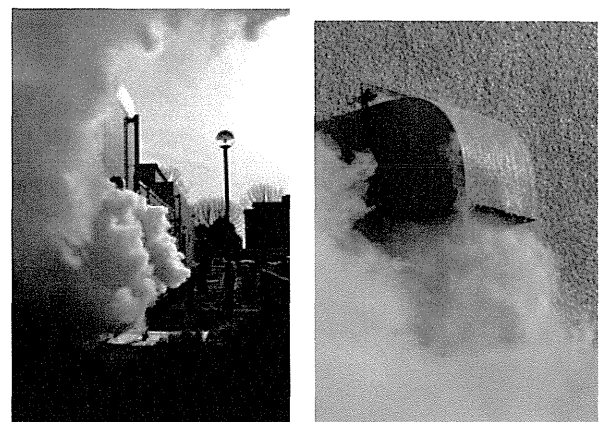


図1 クエンチダクト表面温度変化の経緯



(a)クエンチ直後の放出口 (b)放出口カバーの空気の液化  
図2 屋外放出口付近の様子

### 5. まとめ

事前点検、クエンチ過程での点検、クエンチ後の確認項目が明らかとなった。被災時の超伝導マグネットの初期診断および処置方法に関する情報不足を補うことで、被災時に関係者が抱く不安はある程度補えると期待できる。

しかし冷凍機が止まってからの液位減少速度の変化情報、実施の最低液位情報などは現場に提供されていないことが不安残留の原因となっていることも分かった。

本被災調査および工学的調査は、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』の一環として実施された。

### 参考文献

1. 中井敏晴他、東日本大震災による MR 装置 602 台の被害状況報告、磁気共鳴医学会誌、Vol. 33 (2013) No.2 p.92-119

セッション 06：テーマⅡ

25：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～  
清野真也<sup>1</sup>、丹治一<sup>2</sup>、町田好男<sup>3</sup>、山口さち子<sup>4</sup>、中井敏晴<sup>5</sup>、  
<sup>1</sup>独立行政法人 福島県立医科大学附属病院 放射線部、<sup>2</sup>北福島医療センター放射線技術科、<sup>3</sup>東北大学大学院医学系研究科保健学専攻画像情報学分野、<sup>4</sup>（独）労働安全衛生総合研究所保健障害予防研究グループ、<sup>5</sup>（独）国立長寿医療研究センター神経情報画像開発研究室  
【背景】東日本大震災では多数の医療機関が被災し、多数の医療機器にも大きな被害を及ぼした。本調査報告は平成 24 年度厚生労働科学研究費補助研究事業「大震災における MR 装置に起因する 2 次災害防止と災害最小化のための防災基準策定」に伴い行われた被災地調査アンケートおよび訪問調査において得られた結果を福島県に集約して報告する。【目的】東日本大震災において MR 装置に発生した被害状況を基に、緊急非難、復帰作業時に障害になった事象を明らかにし、今後の防災対策に役立てることを



目的とした。【方法】福島県内の MR 装置保有施設 74 施設に郵送にて調査票を送付した。調査項目は、被害状況、復帰状況、患者の安全確保、人的被害、復帰費用、今後の対応、震災直後の緊急提言への進捗度などである。また、調査票から得られた情報を基に、特に注目される被害がある施設について施設の了解を得た上で訪問調査を行った。【結果】43 施設（回収率 65.8%）から調査票の回収が得られた。装置ベースでは 60 台からのデータである。被害状況は①チラー（冷却系）や空調機の故障 23.5% ②マグネットの移動 18.8% ③屋外機設置状況の異常 17.6% であった。復旧作業の状況としては①病院スタッフによる点検のみで再稼働させた 46.9% が多く、支障となった要因としてはメーカーによる点検を待てなかったという時間的余裕不足が読み取れた。訪問調査では震災直後の行動としては MR 装置の安全確認よりも患者の安全確保と誘導を最優先に考えていることがうかがえた。反面震災後の MR 装置の管理として、損傷を受けた MR 装置の危険性の認識の甘さを垣間見た。

26：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震動による影響～  
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  
栗原市立栗原中央病院 放射線科 宮城厚生協会泉病院  
国立病院機構盛岡病院 厚生会仙台厚生病院 東北大学大学院医学系研究科保健学専攻 労働安全衛生総合研究所 国立長寿医療研究センター

【目的】東日本大震災の強震動により、MRI 装置は様々な損害を被った。宮城県はほぼ全域が震度 6 弱以上を記録し、装置本体への損傷の程度は甚大なものであった。その中でもマグネット本体の揺動や台座からの滑落移動は最も多い被害として報告され、クエンチダクトの損傷など 2 次的被害も誘発した。今後も発生が予想される巨大地震に対して有効な防災対策を策定するための基礎的資料として、東日本大震災で経験したマグネット移動損傷について報告する。【方法】厚生科研費事業「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」のアンケート調査と 2 次（訪問）調査の結果から、MRI 装置が設置された建屋構造やマグネット本体の設置方式の違いによる影響ならびに気象庁震度階毎のマグネット移動の発生頻度について分析した。対象は、アンケート調査に回答した岩手・宮城・福島・茨城・千葉・東京・埼玉各県の 458 施設、603 装置である。但し、建屋構造の影響に関しては宮城県内でアンケート調査に回答した 65 施設、84 装置を対象とした。【結果】1. 宮城県内で免震構造建屋に設置されたアンカー固定した 2 装置ならびにアンカー固定しない 4 装置の計 6 装置については、いずれもマグネット移動はなかった。2. 震度が上がるほど有意にマグネット移動の頻度は上昇し、震度 6 弱以上で顕著だった。3. 震度別の全般的な被害の発生頻度については、アンカー固定した装置は震度 5 強以上で発生頻度がほぼ一定となったのに対して、アンカー固定しない装置は震度 6 弱以上でより高頻度となった。しかし、両者に統計的有意差は認められなかった。

27：MR 検査における震災時の患者救出について

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  
国立病院機構盛岡病院 放射線科 宮城厚生協会泉病院 栗原市立栗原中央病院 厚生会仙台厚生病院 東北大学大学院医学系研究科保健学専攻 盛岡赤十字病院 岩手県立中央病院 福島県立医科大学附属病院 北福島医療センター

【目的】東日本大震災において、揺れや停電等により患者の救出の困難さを実感した。今回、震災時の MR 室からの患者救出について問題点等を検討し今後の防災に向けた課題の抽出や改善すべき点を報告する。【方法】平成 24 年度実施した厚生労働科学研究費補助による宮城、岩手、福島、茨城、千葉、東京、埼玉の 7 県を対象にした被災調査（アンケート調査（研究代表者 国立長寿医療研究センター中井敏晴））の回答結果（983 通発送 458 通回収）、および、宮城県内の特に注目される施設への聞き取り調査結果から、震災時の MR 室からの患者救出に関する状況、対応方法、課題などについて検討した。【結果】震災時に MR スキャン

中であった対象施設は全国 271 件 46.3%、宮城 35 件 45.5% であった。この中で震災時の MR 装置に関連した患者被害は 9 件報告されたが、重症例はなかった。しかし、大きな揺れによる寝台のずれや停電により寝台が引き出せない、下降できない、また脱着式の寝台においても脱着不可能になったなどの救出時のリスクとなる報告があった。一方で、訪問調査では、緊急地震速報の設備を備えた 3 施設において、大きな揺れの前に患者を救出でき有用という回答が報告された。【考察】震災時の患者救出は、大きな揺れや停電等により非常に困難を伴う。従って、手動での寝台の引き出し方法や下降方法、また、脱着式寝台であっても非磁性体のストレッチャーを用意するなど、事前の準備が必要だと思われる。また、迅速な患者救出のためには、患者の状態や装置の違いなどに応じた対応方法の確認と日常からの防災訓練が重要であると思われる。

28：東日本大震災による MR 装置の被害からみた震災後の MR 装置の復旧手順

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  
国立病院機構盛岡病院 国立病院機構盛岡病院 栗原市立栗原中央病院 厚生会仙台厚生病院 東北大学大学院医学系研究科保健学専攻 盛岡赤十字病院 岩手県立中央病院 福島県立医科大学附属病院 北福島医療センター

【目的】東日本大震災では震災後の MR 装置の安全管理と復帰の迅速化を念頭においた対策が必要とされた。そこで、復旧手順に関し有効と考えられる事項を集約し報告する。【方法】東日本大震災による MR 装置被災調査の実施報告（研究代表者 国立長寿医療研究センター中井敏晴）により判明した事項を基に各メーカーの手順や資料等の収集調査を行い、復旧手順策定に関する論点を整理した。【結果】調査実施報告では、震度 5 を境に MR 装置に被害がみられ震度が増すにつれメーカー関与の必要性が増加した。復帰に関しては、担い手が病院スタッフのみとする全体回答は 39.5% 185 施設と最も多く、復旧判断上で最も困った自由記載回答の最多は装置メーカーへの不在不通とされた（全体 22 件、宮城 8 件）。各メーカーの手順等からは、その多くが災害の種類や程度、クエンチ対策など災害時の MR 検査の安全に関する緊急提言指針に沿った項目となっている一方で、停電後のヘリウム蒸発量や温度などのマグネット管理に関する情報は、装置固有のユーザーごとの復旧手順とされた。【考察】復旧後の再稼働の判断では正常動作、画質精度、システム維持の確認となる。施設全体を考慮した MR システム管理全般のチェックが必要で、監視装置が普段示している数値の把握、テスト撮影画像と比較できる正常画像データなどの準備など、平時からメーカーとの検討の上施設として具体的方針を定めていくことが重要といえる。

### 0-3-309 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-

○引地 健生<sup>1</sup>、山口さち子<sup>2</sup>、中井 敏晴<sup>3</sup>、土橋 俊男<sup>4</sup>、前谷津文雄<sup>5</sup>、町田 好男<sup>6</sup>

<sup>1</sup>栗原市立栗原中央病院 放射線科、<sup>2</sup>労働安全衛生総合研究所 健康障害予防研究グループ、

<sup>3</sup>国立長寿医療研究センター 神経情報画像開発研究室、<sup>4</sup>日本医科大学付属病院 放射線科、

<sup>5</sup>宮城厚生協会泉病院 放射線室、<sup>6</sup>東北大学大学院医学系研究科 保健学専攻画像情報学分野

【目的】東日本大震災の強震動により、MRI装置は様々な損害を被った。その中でもマグネット本体の摺動や台座からの滑落移動は最も多い被害として報告され、クエンチダクトの損傷など2次的被害も誘発した。東海・東南海・南海の各地域に今後予想される巨大地震に対して有効な防災対策を策定するための基礎資料として、東日本大震災で経験したMR装置被害の発生要因を解析し報告する。

【方法】厚生労働省「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」のアンケート調査結果から、MR装置への全般的な被害ならびにマグネット移動に関して、アンカー固定の有無による影響の違いと気象庁震度階毎の被害の発生頻度についてカイ二乗検定を行い分析した。対象は、アンケート調査に回答した岩手・宮城・福島・茨城・千葉・東京・埼玉各県の458施設、603装置である。

【結果】1. MR装置への全般的な被害傾向については、アンカー固定していない場合に対してアンカー固定した場合の方が被害の発生頻度は有意に少なかった。2. マグネット移動については、気象庁震度階を震度4以下、震度5弱と震度5強、震度6弱以上の3段階に区分してその発生頻度を比較した。震度が上がるほど有意に移動の頻度は上昇し、震度6弱以上で顕著だった。3. アンカー固定ありとアンカー固定なしの場合について、震度別の全般的な被害の発生頻度について比較した。アンカー固定した装置は震度5強以上で発生頻度がほぼ一定となったのに対して、アンカー固定しない装置は震度6弱以上でより高頻度となった。しかし、両者に統計的有意差は認められなかった。

【結論】アンカー固定の有無について、震度別の被害発生頻度に有意差は認められなかったが、MR装置への全般的な被害の抑制にはアンカー固定が有効と考えられる。マグネット移動は震度6弱以上で頻度が上昇する。

### 0-3-310 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

○野口 隆志、端 健二郎、大木 忍

独立行政法人物質・材料研究機構

【目的】東日本大震災に起因したMR装置の被災状況に関する調査結果[1]を背景とする本研究の目的は、超伝導マグネットを運転・管理する臨床検査関係者に、どのような工学的情報を提供すれば不安要因を低減できるか検討することにある。

また被災調査によると、被災したMR装置に関する初期点検および復旧作業を設置機関の職員主導で実施した装置は309台(調査対象装置602台中)であった。この事実も、臨床検査現場へ工学的情報を提供する重要性の根拠とした。

【方法】撤去する超伝導型MR装置の消磁のための強制クエンチに立会い、強制クエンチ実施前の状態記録、クエンチ過程のマグネットおよび設置環境の挙動、実施後の変化などを観測調査し、クエンチのリスクを使用者が判断するために必要な工学的情報を検討し、それを得る方法を検討した。またその調査実験を実施する過程で、装置使用者から、臨床検査現場でクエンチの理解に必要な工学的情報項目を確認した。

【結果】消磁のための強制クエンチを4例観測した。主磁場は1秒以内に半分以下となり、約10秒以内に消失する。内圧は逆止弁作動の後破裂弁が作動して開放が始まる。放出配管表面温度が空気液化温度(78.8K)以下となっている時間は約10分間であった。本調査で実施した事前点検はクエンチさせることを前提に行われたため、クエンチ回避策そのものの検証はできなかった。また被災当事者の不安事項を分析すると、その9割が超伝導マグネットのクエンチに対する漠然とした不安を背景としており[1]、平常時でもクエンチに関する工学的情報の不足によって不安が潜在するケースが多いことが解った。クエンチを知り、クエンチに至るか否かを診断し、クエンチ回避策が実施できれば、多くの不安要因を解消できると考えられる。

【結論】強制クエンチの事前点検、クエンチ過程での点検、クエンチ後の確認項目が明らかとなった。被災時の超伝導マグネットの初期診断および処置方法に関する情報不足を補うことで、被災時に関係者が抱く不安はある程度低減されることが期待できる。

[1] 中井敏晴他、東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告、磁気共鳴医学会誌、第33巻2号 92-119頁 2013年

## P-2-172 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

○石森 文朗<sup>1</sup>、土橋 俊男<sup>2</sup>、藤田 功<sup>3</sup>、栗田 幸喜<sup>4</sup>、榊田 喜正<sup>5</sup>、松本 浩史<sup>5</sup>、砂森 秀昭<sup>6</sup>、  
中井 敏晴<sup>7</sup>

<sup>1</sup>聖麗メモリアル病院 放射線科、<sup>2</sup>日本医科大学付属病院 放射線科、

<sup>3</sup>さいたま市立病院 中央放射線科、<sup>4</sup>埼玉県済生会栗橋病院 放射線技術科、

<sup>5</sup>千葉大学医学部附属病院 放射線部、<sup>6</sup>水戸済生会総合病院 放射線技術科、

<sup>7</sup>国立長寿医療研究センター研究所

【目的】東日本大震災におけるMRI装置の被害事象、復旧作業等の情報の中で、関東地区(東京、埼玉、千葉、茨城)の傾向を分析し、今後起こりうる巨大地震(東海・東南海・南海連動型地震など)に備えた震災対策において課題となる事項を抽出して検討する。【方法】2012年6月～8月に実施したMRI装置の被災調査(総回答数458施設)で得られたデータの中で、上記4県のデータ(281施設)について被害状況、復旧状況、患者の安全確保、人的被害、震災直後の対応などについて特徴を分析した。【結果】関東地区では三陸海岸の沿岸地域(岩手、宮城)で見られた津波による浸水被害は見られない一方で、地震の激しい揺れによるMRI装置の破損(マグネットの移動やマグネット装備品の損壊、クエンチダクトの損傷)は震度6弱以上の地域で特に多く見られた。クエンチは地震の第一波の到来とともに発生した即時発生例以外に、原因不明の事例も報告されたが、インフラ障害の持続が主たる原因となったと考えられる遅延クエンチの事例は確認されなかった。【考察】関東地区で津波によるMRI装置の被害が見られなかった理由は、津波の規模の違いだけでなく、海岸に極めて近接した所に設置された施設が少ないという地理的な背景によるものと考えられる。震度6弱以上の地域で特にMRI装置の損傷事例が多かったが、設置建屋が免震化されていた施設では重大な被害は発生していない。建物竣工後に可能な処置としてはガントリのダンパー設置、床免震の施行や免震シート(滑り免震)の設置などが挙げられる。揺れに対する対策を進めることで、震災時の病院機能が確保するためのシステム構築 - 例えば建屋の免震化や免震装置の設置費用を補助するなど - が必要であろう。

## P-2-173 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

○山口さち子<sup>1</sup>、町田 好男<sup>2</sup>、土橋 俊男<sup>3</sup>、磯田 治夫<sup>4</sup>、野口 隆志<sup>5</sup>、中井 敏晴<sup>6</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人労働安全衛生総合研究所、<sup>2</sup>東北大学大学院医学系研究科 画像情報学分野、

<sup>3</sup>日本医科大学付属病院 放射線科、

<sup>4</sup>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、

<sup>5</sup>独立行政法人物質・材料研究機構、<sup>6</sup>国立長寿医療研究センター

【目的】平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、東北3県と茨城、千葉、埼玉、東京を対象としたアンケート調査の結果より、多数のMR装置の被害が確認されている[1]。本研究では、地震発生から最も初期に精度の高い場所・時間情報を得ることが可能なパラメータである「震度」に着目し、東日本大震災におけるMR装置被災の背景要因探索のための第一次検討を行った。

【方法】東日本大震災によるMR装置被災調査の全国集計データを利用した。震度は震度5未満、震度5、震度6以上の3群とした。統計解析はSPSS(IBM社)を用いて行った。各要因の関連性は $\chi^2$ 検定で検討を行った。

【結果】台数ベース(N=603)のデータについては、「MR装置の被害状況と震度」、「アンカー固定とMR装置の被害状況」、「設置建屋とMR装置の被害状況」、「復帰状況と震度」、「検査時の状況と復帰状況」について、施設ベース(N=458)のデータについては、「MR装置の破損状況と震度」、「復旧の状況と震度」、「災害時のMR検査の安全確保に関する指針と震度」との関連について検討した。その結果、抽出された事項は1)震度の上昇とMR装置被災度の相関、2)アンカー固定のMR装置被災防止への有効性、3)建物構造との関係において、耐震性建屋のMR装置被災防止への有効性、4)震度の上昇とMR装置被災後の自己復旧率の低下、であった。また、今後の検討課題として1)MR装置の自己復旧困難な施設における、復旧時までのMR装置の安全管理方法の検討必要性、2)施設への情報伝達手段の検討必要性、3)災害時のMR装置の安全管理に関して、発信時期と想定読者の検討必要性、について検討が必要であると示唆された。

【結論】本研究では東日本大震災における、主として震度とMR装置の被害内容の関係性について検討を行った。今後はこれらの事項に関する更なる解析と対応策について検討予定である。

[1] 中井敏晴他、東日本大震災によるMR装置602台の被害状況報告、磁気共鳴医学会誌第33巻2号 92-119ページ

## WS3 震災時の地域医療を支えるMR検査の安全確保

○中井 敏晴

国立長寿医療研究センター

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、医療従事者が患者搬送中に津波の犠牲になった事例も報告されている。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、震災時における医療器機の安全確保は重要な課題となる。震災における医療器機の安全は、大きく2つの視点から捉えることができる。ひとつは、医療器機そのものが震災により患者や職員に危害を与える危険性であり、もうひとつは震災の影響で生じた不具合が事故や致命的な故障の原因となる可能性である。

MRI装置は国内で5000台以上が稼働し日常診療でも重要な役割を果たしているが、低温冷媒、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、期待される医療の一端を担うことが求められる。日本磁気共鳴医学会では震災直後(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提言」を策定した。さらに、平成24年度に厚生労働省の研究事業として東北・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、震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い、その調査結果を公表したところである(日本磁気共鳴医学会誌第33巻、92-119、2013)。

目下、今回の調査結果に基づいて以下の3文書の策定を進めており、本ワークショップではこの3文書の原案を提示し、パブリックコメントを募集する。

①「災害時におけるMR装置の安全管理に関する指針」(上記緊急提言の改訂): 震災発生後のMR装置の安全管理に関する要点事項を扱う。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、震災時に緊急的に行うべき事項、震災直後の状況把握、本格的な復帰に入るまでの間の対処、復帰に向けた考え方などを記述する。

②「MR検査室の防災指針」: 東南海や首都直下で発生する地震を念頭において、東日本大震災の教訓を基にしたMR検査室の防災対策として考えられる事項を扱う。MR装置の設置時にユーザーが注意すべき事項、MR検査室が入る建物構造、緊急地震速報等の防災情報システムの活用、防災訓練で考慮すべき事項などを記述する。

③「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。MRI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が多いが、それらの仕様が装置メーカーによって異なっており、標準化が求められるので、現場からの意見を集約した提言を行う。

今回のような大震災では多数のMR装置が同時に影響を受け、MR装置メーカーも被災し、さらには社会インフラの機能麻痺も著しい。特に被害の著しい地域では概ね2-3週間は自力での対応となったことが今回の調査結果によっても裏付けられている。医療施設が自らMRIの被災状況を点検する標準的な手順を確立できれば、使用再開の可否がより客観的に判断できよう。また、不用意な装置使用による故障の誘発や遅延性のクエンチの発生を未然に防ぐ対策にもなり、震災後の病院機能の回復全体に貢献できると考えられる。