

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。

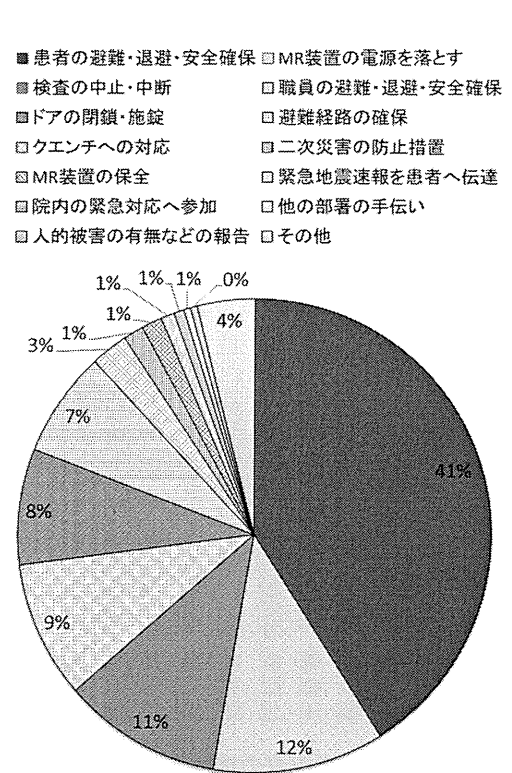


図 21. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動 (全体)

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。

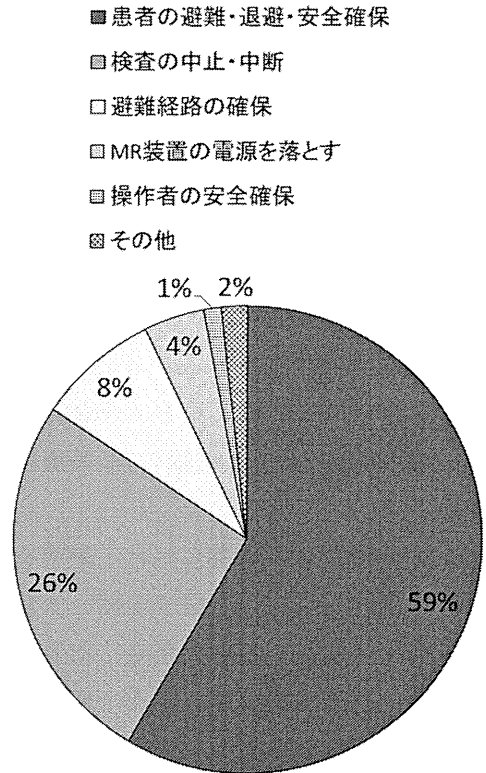


図 22. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」にすべき行動 (第 1 優先順位)

- 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

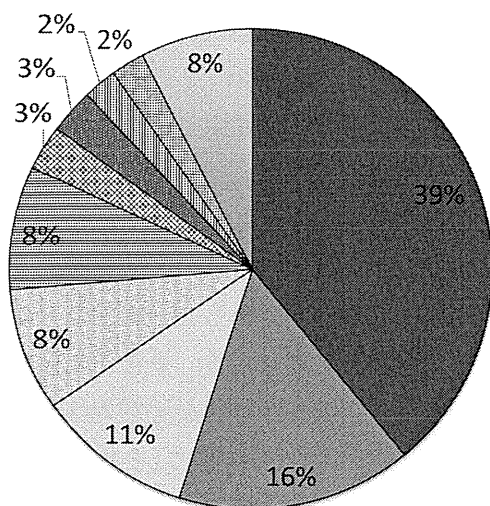


図 23. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、
「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」
にすべき行動(第 2 優先順位)

- 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

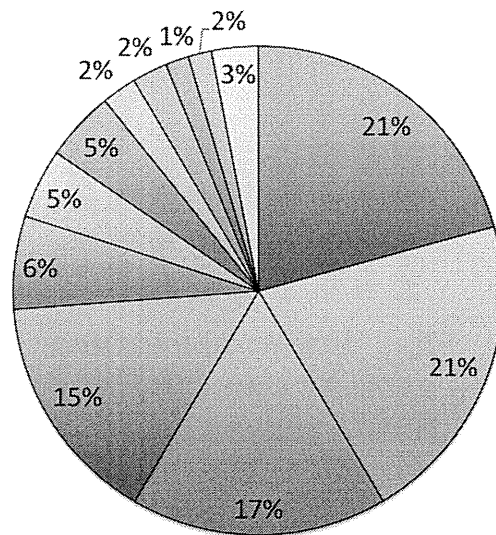


図 24. MR 検査室で「緊急地震速報」が流れた場合、
「緊急地震速報を聞いてから本震が到達するまで」
にすべき行動(第 3～6 順位)

(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。

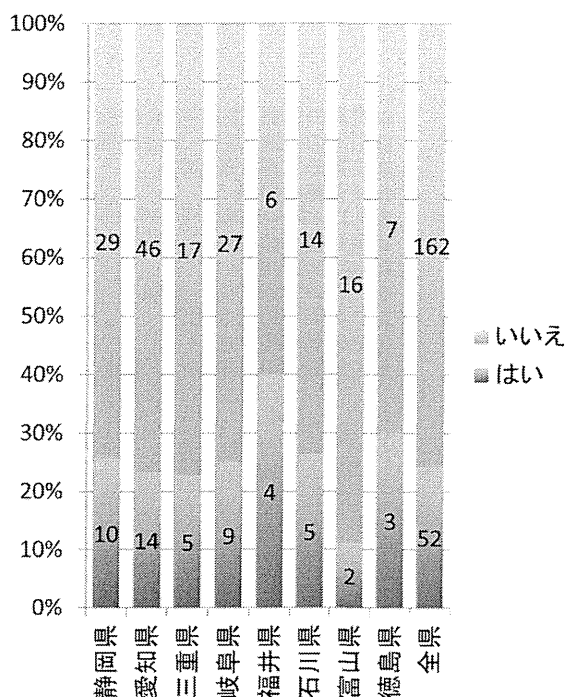


図 25. 「災害時における MR 装置の安全管理に関する指針」、「MR 検査室の防災指針」の閲覧の有無

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、礪田治夫、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、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、礪田治夫、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. 礪田治夫、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、榊田喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、礪田治夫、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、武蔵安德、菱沼 誠、
阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田
喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、
磯田治夫、野口隆志、梁川 功、町田
好男 東日本大震災による MR 装置被
災調査の実施報告 日本磁気共鳴医
学会誌 33、92-119、2013
2. 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、武蔵安德、菱沼 誠、
阿部喜弘、石森文朗、砂森秀昭、榊田
喜正、松本浩史、栗田幸喜、藤田 功、
磯田治夫、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(バルサルウ留)
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」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://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り、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¹⁾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。²⁾ 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。^{2) 164P} 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ていなければならない。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 冷凍機のカス抜き処理

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ある。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