

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、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

- ・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

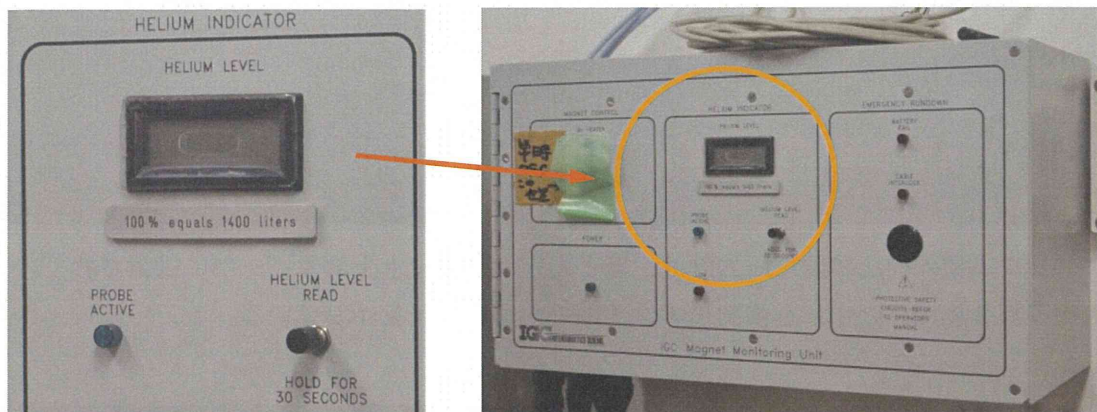
- (1) 社) 低温工学協会 信貴豊一郎 編、超伝導・低温工学ハンドブック、134 頁、液面計測の実際、オーム社。平成 5 年 11 月 30 日、ISBN 4-274-02255-2
- (2) 中井敏晴他、平成 24 年度 厚生労働科学研究日補助金 総括・分担研究報告書、大震災における MRI 装置に起因する 2 次災害防止と被害最小化のための防災基準の策定、172 頁、平成 25 年 3 月

研究協力者一覧

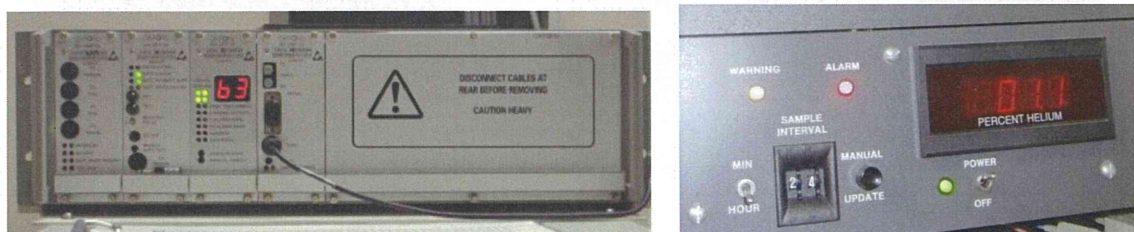
中井敏晴 国立長寿医療研究センター
端健二郎 物質・材料研究機構
大木 忍 物質・材料研究機構
酒井修二 物質・材料研究機構

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」「Z₀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、一定の電流を通电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

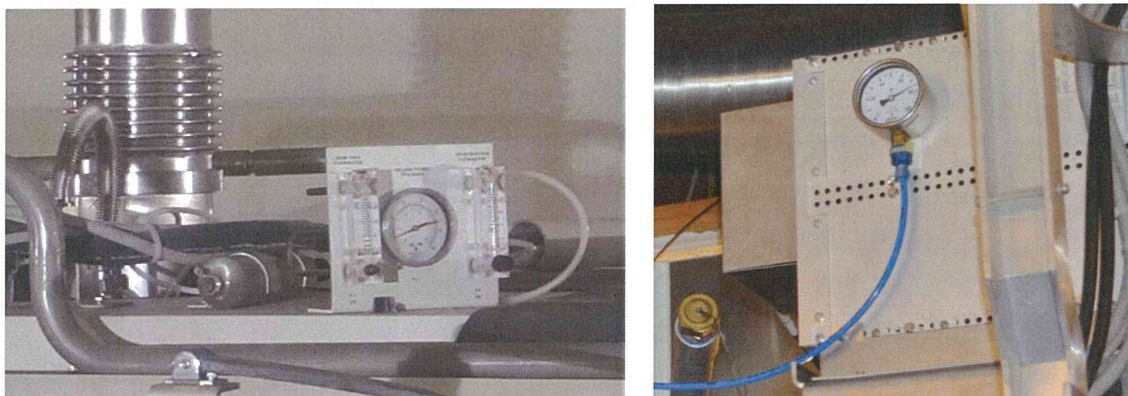
液面が素子の途中(L_f)にあるときの抵抗： R_g とすると 深さ(L_f)は

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

*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。



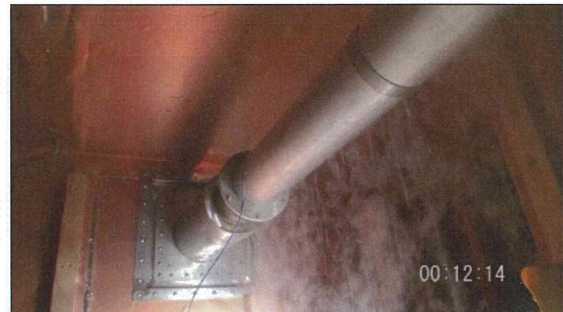
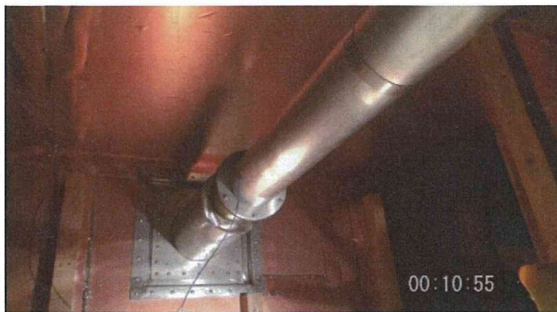
左の写真は、あるMR装置のマグネットの上部カバーとサイドカバーを外した状態で、中身は古いタイプのマグネットだが、カバー外形と外し方などはあまり変わっていない。

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



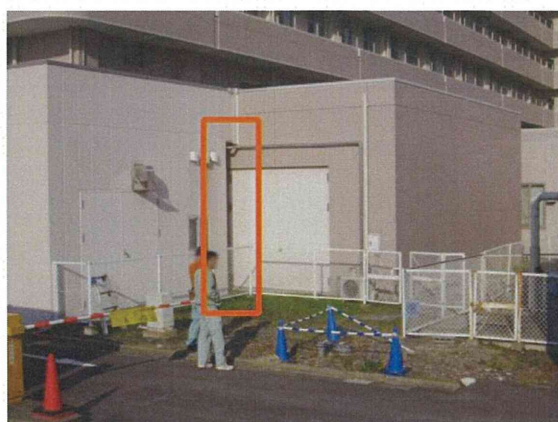
屋外放出口の設置場所



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

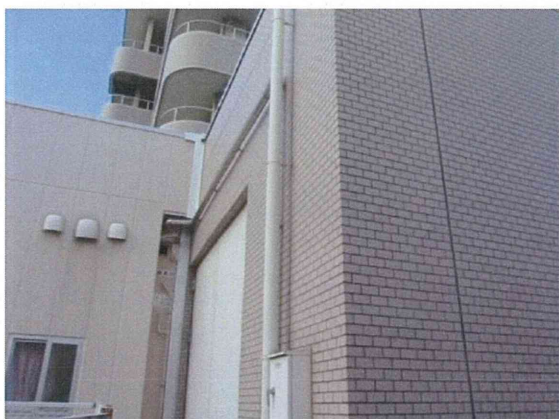


00:06:10 クエンチ発生約 15 秒後 既に白煙は建屋上にまで広がっている。

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



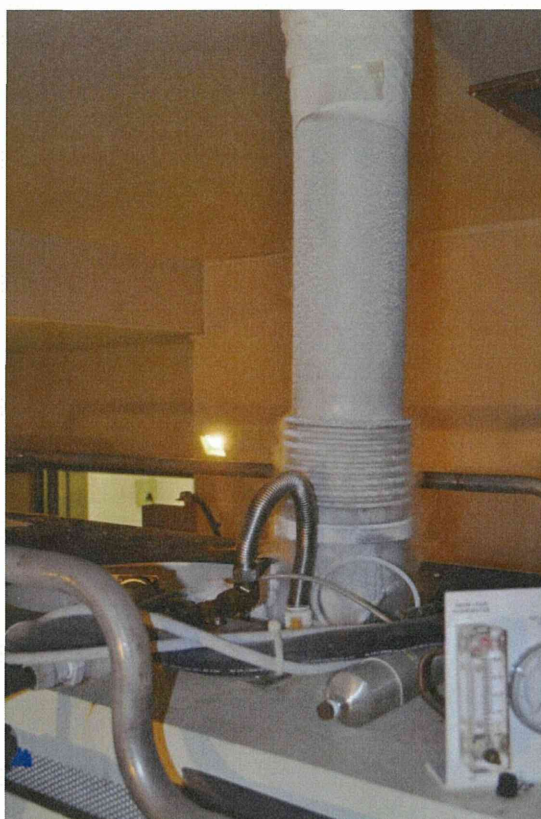
04:55 撮影機材を白煙が覆った瞬間

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



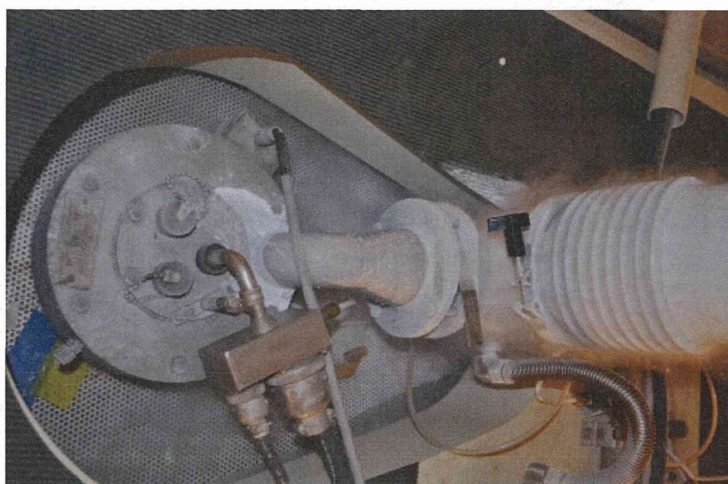
00:00



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。

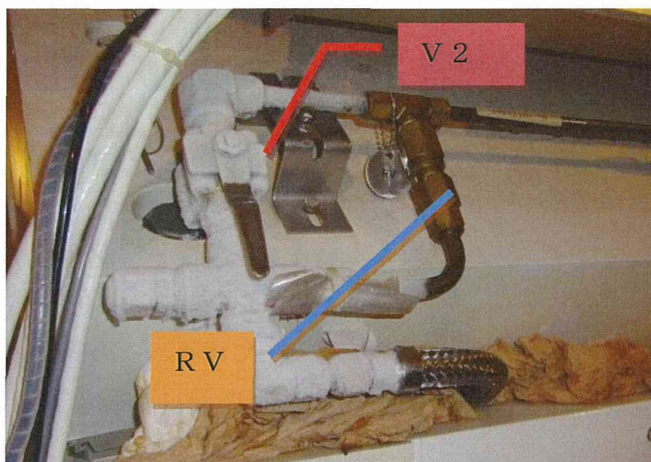


メイン放出配管表面の拡大写真

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。

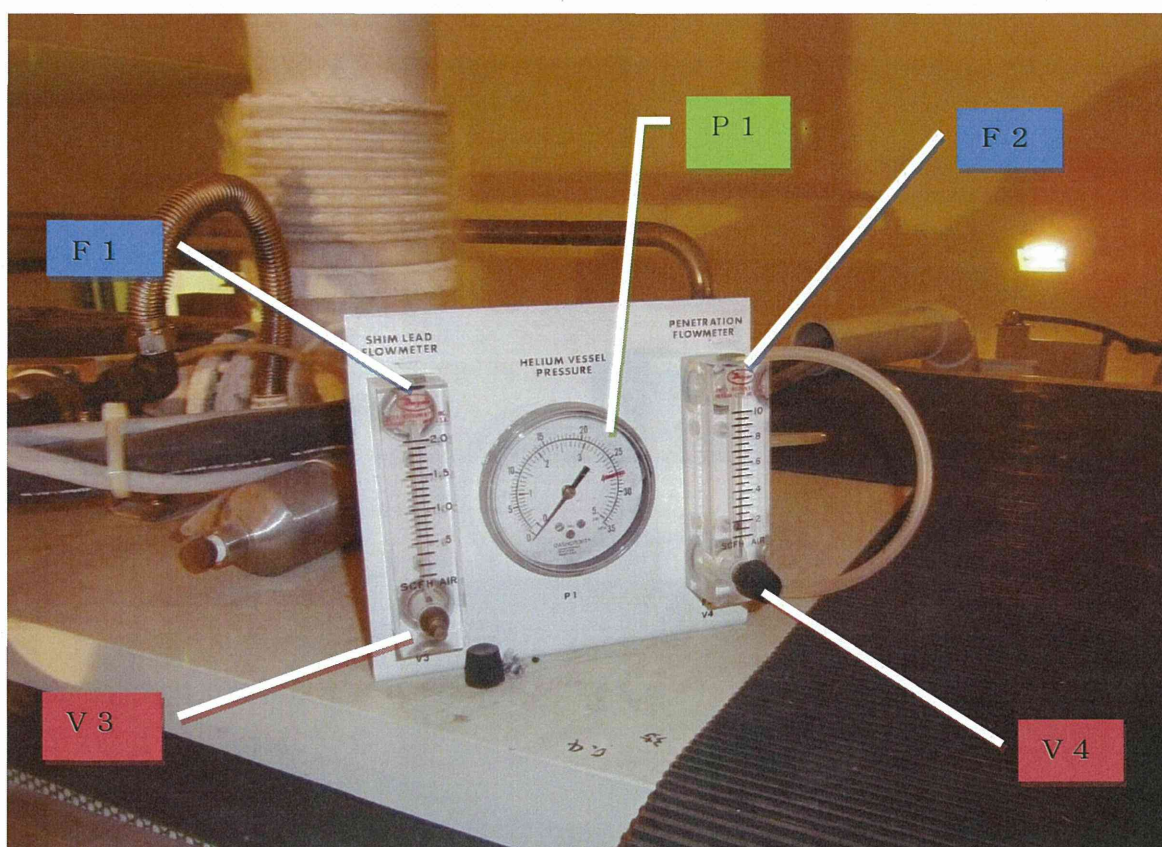
マグネットカバー内の圧力計、バルブ、内圧放出配管



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

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
（H24-医療-一般-011）

平成25年度 総括・分担研究報告書（平成26年3月）

発行責任者	研究代表者	中井敏晴
発行	愛知県大府市森岡町源吾35番地	
	独立行政法人	国立長寿医療研究センター
	長寿医療工学研究部	神経情報画像開発研究室
	TEL	0562-44-5651（内線 5633）
	FAX	0562-46-7827

