

MRI 装置撤去時の爆発事故に関する調査経過報告

日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会
三森文行¹， 上野照剛²

¹国立環境研究所 ²東京大学大学院医学系研究科

福島県いわき市で平成 15 年 10 月 4 日に発生した上記事故については、当事者である東芝メディカルシステムズ株式会社により中間報告がなされている（後述）。これに関連して日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会（上野照剛委員長）においても MRI 安全撤去に関する調査を行った。調査は、低温工学協会・低温工学会（野口隆志安全性検討委員会委員長）と連携して実施することとし、10 月 31 日に、事故を起こした装置と同じ磁場強度をもつ 1.5T MRI 装置の撤去工事を見学するとともに、今回の事故の原因についての考察を行った。下記に、1. 当事者による事故原因中間報告、2. 磁石撤去作業の手順、3. 事故原因についての考察、4. 事故の誘因と対策について報告を行う。

作業者による事故原因中間報告

いわき市松村総合病院における MRI 撤去作業中の事故については、東芝メディカルシステムズ株式会社より、平成 15 年 10 月 28 日に自主調査による原因の推定結果が報告されている（<http://www.toshiba-medical.co.jp/tmd/apology2.html>）。これによれば、事故前日に通常は取り外すことのないクエンチパイプの破裂板が取り除かれ、ヘリウム容器内に大気が吸引され氷結を起こし、ヘリウム槽が閉塞した（図 1）。事故当日このままの状態、真空バルブを開放したので、閉塞ヘリウム槽内でヘリウム

の急速気化がおり、容器そのものが爆発したとされている。

磁石撤去作業の手順

超伝導磁石を用いた MRI 装置の撤去に際して、どのような工程で作業が行われるのかを把握し、上記のような事故が再度起こることを防止するために、超伝導磁石の消磁、残留液体ヘリウムの廃棄、真空槽の開放にかかる作業の実態を見学した。撤去作業はおおむね次のような手順で進められた。

① 消磁

磁石はまず電源装置を接続し、約 1 時間半で field の電流値 394A から 0A まで、プログラムモードで消磁された。消磁開始に先立ち、カレントリードを挿入するとともに、気化したヘリウムガスはクエンチパイプより建物外に排出できる接続とした（通常、気化ガスは逆止弁を介して外界へ放出され、クエンチパイプの主パイプは破裂板で閉鎖されている）。この過程でのヘリウムガス排出量は通常よりは大きくクエンチパイプが着霜するが、排出口で目立つほどではない。消磁終了後カレントリードを抜く。

② 残留液体ヘリウムの蒸発排出

消磁後、クライオスタットの真空をコントロールしながら破ることにより、外界から液体ヘリウム槽への熱の流入を増やし、残留液体ヘリウムを 2 時間程度かけて気化させる（時間

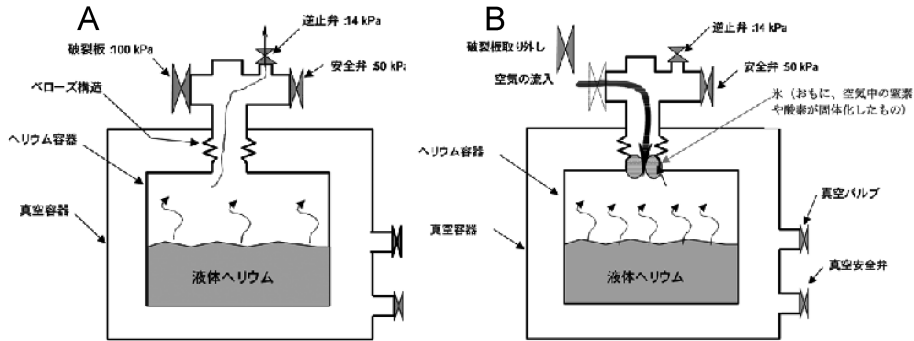


図 1. MRI 容器（クライオスタット）の模式図。A：正常動作時，B：事故時，原因と考えられる氷結がネックチューブ部位に示される。（東芝メディカルシステムズ株式会社製（http://www.innervision.co.jp/report/back/rep_03_12_07m.html））。

は残留ヘリウム量に依存しよう)。これは下記の過程で進められる。

クライオスタットの真空安全弁（図 1 参照）のボルトを緩めた後，真空バルブの三方弁にポンプを接続し真空排気した後，真空弁を開く。三方弁の一方にヘリウムガスボンベを接続し，ヘリウムガスを 200～300 ml 真空槽内に導入すると，真空槽内の熱伝導の上昇によりヘリウム蒸発量が增大する。当初のヘリウムガス排気量はさほどではないが，クエンチパイプ排出口では白煙が認められる。

ヘリウム槽の圧を確認しながら真空槽に導入するヘリウムガスを増量し，気化排出を早める。この過程の後期においてはクエンチパイプ排出口の白煙は相当量にのぼり，建物外壁に沿って上方に広がる様子はかなり目立つ。

最後は，真空槽内に外気を導入し，真空槽を常圧に戻す。この過程で，クライオスタット外部は内部から冷却され着霜する。

③ クライオスタット外回りの処理

クライオスタット内のヘリウムが蒸発し終わった後に，冷凍機のコールドヘッドを取り除く。ヘリウムガス排気経路のパイプをヒートガ

ンで昇温し，着水を取り除く。作業開始から約 5 時間で作業を終了した。

事故原因についての考察

今回の撤去見学で，カレントリード挿入の際に，クライオスタット内部の電極部分（図 1 では省略されているが，着氷部位にはヘリウム槽に沈められた超伝導コイルの終端である電極が設置されている）が，流入した外気により着霜しているのを実見することができた。作業に当たっては，この氷結は暖めたカレントリードの挿入を繰り返すことにより取り除くことができる。氷結はこのような作業により電極面からは取り除かれるが，クライオスタット外部に放散されるわけではなく，さらに深部に進む可能性がある。

ヘリウム槽の排気については，クライオスタット外部においては，(1)逆止弁を介した通常経路，(2)破裂弁に仕切られたクエンチライン，(3)ヘリウム槽内部の昇圧によって開放される安全弁，の少なくとも 3 箇所が用意されている。しかし，前述の電極部（ネックチューブ）

2004 年 3 月 19 日受理

別刷請求先 〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2 国立環境研究所環境ホルモندیオキシン研究プロジェクト生体機能評価研究チーム 三森文行

はこれらの3個の経路が分岐する前のヘリウム側にある(図1参照)。したがって、この部分が閉塞されると気化したヘリウムガスの放出経路はなくなり、爆発の危険が生じる。これまでもクライオスタットの爆発には至らなくとも、ネックチューブが吹き飛ぶ事故は起こった例があるようである。

今回の事故では、前日に破裂弁が取り除かれ、ネックチューブ部に外気が流入し、氷結が起り得る状態で1日放置された点に原因があると見られている。確かに、この部位はわずかにカレントリード挿入口を開いただけで着霜が起り得るが、1日の開放で容器自体を爆発に導くほどの耐圧をもった氷結が生ずるか否か疑問が残る。この点に関しては、前述のとおり、カレントリード部の氷結、除去を繰り返す、又はヘリウム槽の不用意な開放を繰り返すことにより、長期間にわたってかなり強固な氷結が形成され、最後の1日間のヘリウム槽の開放によって閉塞が完成したと見る向きもある。

さらに、真空槽の解除に当たって、今回のように内圧をコントロールしながらヘリウムガスを真空槽に導入するようなやり方では危険が少ないと思われるが、真空を一気に破り、槽内のヘリウムガス圧が急上昇するような場合には危険が大きいと考えられる。

事故の誘因と対策

MRI 超伝導磁石の廃棄に際しては、(1)今回のように、電源を接続しての消磁、液体ヘリウムの気化、昇温の手順を踏む場合のほか、(2)ク

エンチボタンを押して、一気に消磁、ヘリウムの気化を行う。(3)真空バルブを開けて、クエンチを誘発する。という3通りが行われているという。撤去費用が計上されない場合が多く、費用のかからない(2)、(3)が採用されやすい傾向にある。

上記作業の施工に際しても、最も望ましいのは、磁石を設置した専門業者が過去の履歴を参照して、消磁、撤去を行う場合である。しかし、MRIの買い替えに際して、新しい機種に据付業者が撤去機種について不案内のままに作業をする場合もあるという。さらに、極端な場合は、MRI設置室の施工工務店が改築作業のかたわら、撤去を行う場合もあると聞く。このような場合には、磁石の履歴を知り、作業内容を把握しながら撤去を行うといったことは望むべくもない。

撤去作業のおかれているこのような状況は、同様の事故が起こる誘因になると考えられる。MRIの買い替え、廃棄に際しては、超伝導磁石や低温容器の専門家の立会いのもとに正規の手順を踏んだ消磁、残留液体ヘリウムの処理が行われるようMRI利用者は責任をもつべきであろう。

謝 辞

共同で調査を行った低温工学協会・低温工学会の野口隆志氏に感謝いたします。また、今回のMRI撤去作業の見学を快諾いただいた榊日立製作所日立総合病院、榊古河電工エンジニアリングサービスに感謝いたします。