



Title	事故例から学ぶNMR, MRIに潜むさまざまな危険
Author(s)	池上, 貴久
Citation	大阪大学低温センターだより. 2009, 146, p. 10-14
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4072
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

事故例から学ぶNMR, MRIに潜むさまざまな危険

蛋白質研究所 池上 貴久（内線4334）

私は蛋白質研究所でNMRを用い、蛋白質の立体構造を解析しています。NMRは、いつ爆発するか分からないような他の理化学実験機器に比べ、かなり安全な機械の一種であると思います。それ故、MRIが病院にも置かれるわけです。しかしながら、ある程度の危険を予測できないと意外な事故により命を落とすこともありうるということをここで記述したいと思います。

NMRは強い磁石である

ボンベ

人間は磁力を感じる事が出来ないので、いくら強磁場に気を付けているつもりでもうっかりと忘れてしまうことが多いのです。次の話は7年前にいたドイツの研究室で起こったことですが、被害者は固体700MHz-NMRの隣を、キャリアに載せた気体窒素ボンベ（50L）を押しながら通過しようとしていました。部屋が狭く、磁石から1m程度しか離れていませんでした。被害者はポスドクであり磁力については一応は知っているのですが、手でボンベが傾かないように抑えながら通過しようとし



たそうです。しかし、ボンベが磁石の方に飛んでいく力は人間独りの力で防げるものではなく、気が付いた時には、手のひらをボンベと磁石の間に挟んでしまい、3本の指の骨を複雑骨折してしまいました。

液体窒素デュアー

NMR磁石に液体窒素を入れる場合、そのデュアータンクは絶対に非磁性でないといけません(図1)。そこまでは知っていても、そのデュアーを載せている足下の台車にまで注意を向ける人は少ないようです。10年程前、学生が500MHz-NMRに液体窒素を入れようとした時、このデュアーを磁石に近付け過ぎてしまいました。そして、4つある車輪の内の2つが支点として床に付いたまま、残りの2つの車輪部が持ち上がってしまい、この台車ごとデュアーがNMR磁石の底部に吸い付いてしまいました。もちろん磁石は即座にクエンチを起こしました。

掃除機

今度は私自身が800MHz-NMR室の床に掃除機をかけている時、その掃除機を移動させるつもりで手でぶら下げて立ってしまいました。すると、掃除機の高さとNMR磁石の底部がほとんど同じ高さとなってしまう、驚く程の力で掃除機本体が磁石に吸い寄せられた経験があります。その時は磁石に到達する前に引き戻すことが出来たので大惨事を免れましたが、非常に危ない一瞬でした。

クレジットカード

これも蛋白研の800MHz-NMRで起きました(図2)。その日、事務員の方が核磁気共鳴棟の壁の工事のために磁石と壁の間(2m隙間ほど)に入って作業を行っていました。大抵はNMR室に入る前に財布などを身から外すものです。しかし、何度も出たり入ったりしているうちに一度だけ外すのを忘れてしまったようです。不運な事にその人は腰のベルトにカードや携帯電話入れのポシェットをぶら下げており、その中に30枚に及ぶ磁気カードを入れていました。それらのカードが無効になっているのに気付いたのは帰りの電車の駅で、自動改札にいつもの定期券を入れた途端に閉め出されてしまった時のようです。お気の毒にもその後、銀行や郵便局、レンタルビデオ屋さんなどへの連絡に終われる羽目になったそうです。

その他にもさまざまな磁性体が不意にNMRやMRIにくっつきます。下記のウェブサイトの写真集が多いに参考になることでしょう。http://www.simplyphysics.com/flying_objects.html

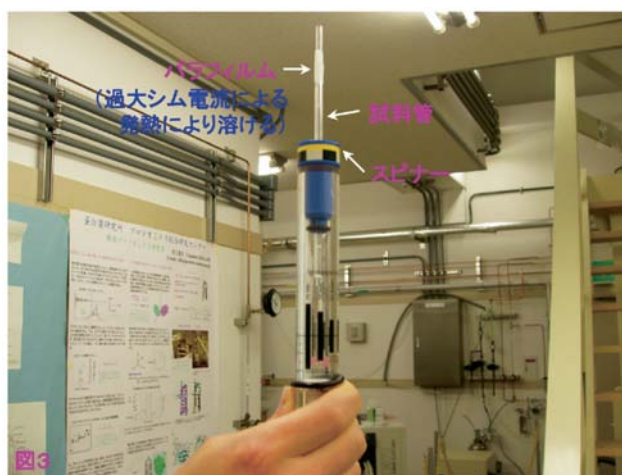
磁石からは酸素が出てこない

私自身はNMR室での酸欠による事故をまだ聞いたことがありません。おそらく最も危ないのは超伝導が破れ磁石がクエンチしてしまった時でしょう。クエンチが起こると磁石から霧状の窒素とヘリウムが吹き上げ、数秒で部屋内が真っ白になってしまいます。その前に一目散に逃げれば大丈夫ですが、逃げないで花火のような感じで見入ってしまうと酸欠で死亡する恐れがあります。人間が酸素の少ない空気を吸い込んだ時、まるで水中で苦しくなるような状況になるのかと思っていたら意外にもそうではないようです。噂で聞いただけですが、少しずつ酸素濃度が低くなった時は眠るように死んでしまいます。また急に酸欠になった場合は、もっと呼吸をしようという反射が自然に起こってしまうのですが、酸素濃度の低い空気を吸い込むと逆に体内(血液内)の酸素が引き出

されてしまい、ますます酸欠症状が進むようです。そして逃げたり助けを呼ぶための筋肉も動かなくなり失神して倒れます。そのため、たとえ水中で3分間以上息を止めれる自信があっても、一度でも酸素の少ない気体を吸っただけで簡単に死んでしまい、後で周りの人達は「逃げようと思えば逃げれたのに、どうして死んでしまったのか?」と不思議に思うってしまうのです。酸素の少ない空気は、いわば猛毒ガスと同じなのだと思います。

磁石にはさまざまな電流が流れている

NMR磁石の静磁場はかなり精密に作られていても、実際には試料溶液部分の上下左右でかなり異なる強さになってしまいます。それを補正するためにシムコイルと呼ばれる小さなコイルが磁石本体の随所に散りばめられており、それらにそれぞれ異なる電流を流すことにより全体でバランスをとりながら磁場の均一性を高めています。そのシム電流値を調整するには一つ一つの値を手動で変えながら信号を検討するというように、いわば職人芸的な技術が必要です。もちろん、現在は自動で調整する機能も付いていますので我々はそれを当然のごとく使っていました。ところが自動とは恐ろしいもので、通常では考えられないような大きな電流値も平気でシムコイルに流してしまうのです。この種の事故が800MHzマシンで起こった際、理由は分からないまま、とにかく試料管が磁石から出てこないということで業者にSOSを依頼しました。きっと試料管に貼ったシールなどが邪魔をして試料管が磁石の上部から出てこないのだらうと安易に考えていたのですが、実際はとんでもない原因でした。なんと、シムコイルに過大電流が流れていたためにコイルが発熱し、試料管が200℃以上に熱せられ、スピナーと呼ばれるプラスチック部分や試料管の上部に巻いてあったパラフィルムが溶けてしまっていたのです(図3)。そして、その溶解物が磁石の中心を通っている管(ボア)に吸着してしまったのです。本来ならばボアの洗浄も比較的簡単に行えるのですが、この800MHzは大きい上にさらに繊細な極低温検出器も備えていたために、驚くほど高額な修理代となってしまいました。自動と言えども、なるべく目を離さないように監視しておく方が良さそうです。



液体窒素や液体ヘリウムは気化すると体積が700倍になる

現在の中大型NMR磁石は、超伝導を利用しています。そのため、静磁場を生み出すためのコイルは1~4Kの液体ヘリウム数百Lの中に置かれ、その周りを液体窒素が取り巻いています。大きな鉄物などをくっつけてしまったり、磁石を揺らしてしまったりして超伝導が破れクエンチが起こった場合、たいていは磁石の上部から圧力が逃げるので、酸欠に気をつければ一応は安全です。しかし、He、N₂用のポート(図1の煙突参照)の内部などが水分で凍り付き栓が出来てしまった場合、



図4 1985年 スイスで夜中に起こった 600MHz NMR 磁石の爆発現場

運が悪いと大爆発を起こすことがあります。私は実際に爆発現場に出会った事はありませんが、(株)ブルカーバイオスピン社の山本昭彦様より興味深い写真を有り難くも頂きましたので是非ご紹介したいと思います。

図4は20年以上も前ですが(株)Bruker社のスイス工場で夜中に起こった爆発事故の様子だそうです。磁石の製造がほぼ完成し出荷直前に中の冷媒を抜いてから輸送するのですが、週末の夜になってしまったために技師はまだ冷媒を全て抜き切らないうちに帰宅してしまいました。そして、夜中に冷媒出口が何らかの理由で凍りついてしまい、爆発が起こったのでした。周りに銀紙のようなものが飛び散っていますが、これは磁石の中にあった熱絶縁体 (insulator) です。この事故で驚くべきことは、その爆発の凄まじさです。部屋の天井までもが破壊されてしまっている様子を見ると、もし、部屋内に人がいたらと想像すると恐ろしい限りです(上記に記したウェブサイトでもMRIの爆発事故の写真が載っていますのでご覧ください)。実は日本でも2003年に福島県いわき市の病院でMRI磁石の爆発が起き、8人が重軽傷を負うという大惨事になりました。He, N₂は燃えないとは言え、爆発の際の破片や爆風による衝撃は相当なものといえるでしょう。

液体窒素や液体ヘリウムはたいへん冷たい

その他、大した事故ではありませんが、低温火傷は時々あります。例えば、図2は800MHz-NMRにHeを充填している最中の様子ですが、終了後にHe充填用transfer-tubeの両端をデュアーと磁石から引き抜きます。その際は革手袋をしているので大丈夫なのですが、その後安心して素手で触ってしまい翌日まで痛い目に合う



ことがあります。また、横着をして右手だけ革手袋をはめ左手は素手などの場合に、うっかり素手で触ってしまう場合もあります。Heの温度は 4K ですので、もし低温と高温を逆転させれば、引き抜いた直後のtransfer-tubeは真っ赤に爛れた300℃以上の灼熱棒ということになります。

また、保護眼鏡をかける人は少ないと思いますが、その必要性を痛感した事もありました。ちょうど図 2 のようなタンクにtransfer-tubeを差し込もうとしていました。しかし、このデュアーは背丈が高いので椅子を横に置いてその上に立って作業をしていました。デュアーの上には栓があるのですがその栓が固くなかなか外れなかったので一生懸命頑張っておりました。そしてやっと外れた瞬間、それまでの10分間程の格闘の間に高まった内圧のためにデュアー内のヘリウム気体（液体）が二階の天井まで吹き上げたのでした（写真のデュアータンクの 4 – 5 倍の高さまで噴出）。椅子の上に乗っていたので、もし、たまたま顔がその栓の上の位置にあれば悲惨な結果になっていたと思います。

人間はいろいろと注意されても実際にはその危険性をなかなか実感できないものです。そこで最も効率良い注意法は、事故例を学ぶことだと思います。NMRに限らず冷媒を使う実験系の方は、似たような危険性を抱えていることと思いますので、是非、作業の際に上記を思い出して頂き、事故を未然に防いで頂きたいと思います。