

ヘリウム回収ガスバッグ鉄枠損壊の原因と今後の安全対策

○西崎 修司、 多田 康平

京都大学 大学院工学研究科 技術部

1. はじめに

2021年8月27日に、京都大学大学院工学研究科附属桂インテックセンター（桂キャンパスBクラスター）のヘリウム回収ガスバッグが膨らみ過ぎたため、その鉄枠が損壊し、使用不能となる事故が発生した。webカメラモニター、異常警報発生時連絡システム、安全弁・安全器といった事故防止のための複数の安全装置を設置していたが、それぞれの装置につき様々な理由で正常に機能せず、事故を防ぐことができなかった。本発表では、事故の概要、事故の原因および今後の安全対策などを報告する。

2. ヘリウム回収システムの概要

京都大学桂キャンパスでは、各研究室で使用されたヘリウムを、建物ごとに設置されたサブステーション内のガスバッグ(3-6m³)に一旦回収している。ヘリウム純度に問題が無ければ、ガスバッグに溜められたヘリウムガスを自動的にポンプで送り出し、共同溝中の配管を通して、Bクラスター極低温施設のガスバッグ(30m³)に集約して回収している。

ガスバッグは、通常の状態では、人が操作することなく、自動的に運転している。桂キャンパスではサブステーションはキャンパス内の8ヶ所に点在しており、寒剤担当者は常にすべてのガスバッグの運転状況を監視しているわけではない。一方で、処理能力を超えた量のヘリウムガスがガスバッグへ送り込まれると、ガスバッグは膨らみ過ぎて、最悪の場合ガスバッグの破裂などの重大な事故に至るおそれがある。桂キャンパスでは、ガスバッグの安全な運用に資するため3種類の安全装置を併用しているが、最近ではそれらの運用に問題があった。次章で、安全装置の概要とそれらの問題点について述べる。

3. ヘリウム回収システムの安全装置と問題点

3-1. webカメラモニター

webカメラモニターは、ガスバッグにwebカメラを設置し、ネットワークを介して寒剤利用者がガスバッグの運転状況を即時に確認することで、ヘリウム充填時の速度調整などに利用してもらうことを意図するものである。

しかしながら最近では、webカメラモニターは、現有のヘリウム液化システム(OSがWindowsXPで、すでにサポートが終了している。)と同じネットワークに接続していたため、セキュリティの問題から、webカメラモニターを外部(極低温施設以外の学内を含む。)から接続できないように設定していた。そのため、学内の寒剤利用者がwebカメラに接続できず、ガスバッグの運転状況を確認することができない状態であった。

3-2. 異常警報発生時連絡システム

異常警報発生時連絡システムとは、ガスバッグの膨らみ過ぎなど異常事態が生じた場合、ガスバッグ関連機器がキャンパス内担当部局へ自動的に警報を発報、この担当部局が自動警報を確認したのち直ちに寒剤担当者へ電話連絡して、寒剤担当者がその異常に対応する、という連絡システムのことである。

異常警報発生時連絡システム導入当時は、寒剤の取り扱いに不慣れな利用者も多く、たびたび担当部局から連絡が入り、そのつど寒剤担当者が対応していた。最近では、利用者が寒剤の取り扱いに慣れてきたことと、寒剤担当者側でポンプの始動タイミングを早めに設定したこともあり、ガスバッグの膨らみ過ぎがあまり発生しなくなっていた。たまたま膨らみ過ぎとなっても、これはたまたまガスバッグが比較的膨らんでいたタイミングで充填を始めたために生じたもので、すぐにポンプが始動してガスバッグが萎み始めるため、あまり問題にもならなかった。そのため、異常警報の頻度も低くなり、また、これまで重大な事故は起きなかったため、気の緩みもあり、以前に比べ自動警報を重要視していなかった。

3-3. 安全弁

安全弁は、ガスバッグ内圧が設定圧力を超えると、弁が自動的に開いてヘリウムガスを大気放出することで、ガスバッグ本体や関連設備の損傷を防ぐためのものである。当初は設定圧力9000Paの機械式安全弁が設置されていた。

ガスバッグ本体は大気圧下で使用し、設計圧力が約300Paのため、安全弁の設定圧力が高すぎるのではないかとの懸念が生じた。そこで、安全弁の代わりに、注入する油の量により設定圧力を変更できる



図1 油封入式安全器



図2 外側に大きく湾曲した鉄柵

油封入式安全器（図1）に取り替えた。当初、安全器の設定圧力を200 Paに設定していたが、ヘリウム充填の度にヘリウムガスを大気放出していた。設定圧力を上げてみても大気放出は解決されなかった。調査の結果、安全器の分岐が悪いことが原因だった。本来安全器はガスバッグ入口付近で分岐すべきだが、回収配管の途中で分岐していたため、大気圧のガスバッグの内圧ではなく、少し高めの回収配管の内圧により、安全器が反応していた。安全器では大気放出を止めることができなかつたため、異常警報発生時連絡システムが機能している限りにおいて安全と判断し、仕方なく、安全器の入口弁を閉じていた。

4. ガスバッグ鉄柵損壊事故の概要

異常警報発生時連絡システムにより、2021年8月27日13時半頃にBクラスターのガスバッグで上限異常（膨らみ過ぎ）警報が発生したとの電話連絡が、担当部局から同日16時ごろに寒剤担当者へ来たため、寒剤担当者側においてこのガスバッグに何らかの異常が発生していることを検知した。直ちにwebカメラモニターでこのガスバッグを確認したが、カメラ越しでは異常を確認できなかった。

その後、異常警報のリセットのためにサブステーションに入り状況を確認したところ、側面の鉄柵が外に向かって大きく湾曲し、鉄柵を固定していたボ



図3 鉄柵湾曲のため、柵ごと固定ネジが破断

ルト数本が破断しているとともに、下柵も外に向かって湾曲していた（図2-4）。鉄柵が変形したことでガスバッグ天板の車輪が鉄柵のガイドレールから外れていた（図5）。ガスバッグは、封じ切りの状態で



図4 下面の鉄枠も湾曲

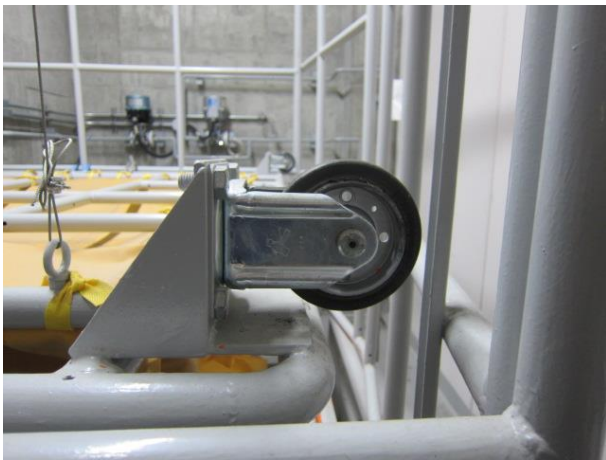


図5 鉄枠の湾曲でガイドレールから外れた車輪

徐々に萎んでいくことが確認されたため、それ自身も損傷を受けているものと判断された。

ガスバッグが正常に機能しない状態のため、使用停止とした。復旧完了までの当面の間、研究室からのヘリウムガスは、ガスバッグを介さずバイパスライン（別系統の配管）を通して、直接極低温施設で回収することとした。

5. ガスバッグ鉄枠損壊事故の原因

事故当日、破損したガスバッグを利用していたのはひとつの研究室のみであり、その研究室は当日、13時から13時半ごろにかけてNMR装置に液体ヘリウムを充填していた。事後調査でその研究室に充填の状況を確認したところ、普段の充填圧力（およそ0.01–0.02 MPa）より高めの圧力（およそ0.03 MPa）で充填していたことが分かった。また、その研究室ではNMRの管理者が最近交代し、寒剤の利用に充分慣れていなかったことも分かった。

これらのことから、その研究室がNMR装置への充填の際に、充填速度が速すぎて、ガスバッグの処理量を超えたことでガスバッグが膨らみ過ぎたため、



図6 webカメラモニター 管理者画面



図7 webカメラモニター 利用者画面

鉄枠を損傷したことが直接の原因と考えられる。これは上限異常警報が13時半過ぎに発生していることや、鉄枠の損傷の状況と矛盾しない。さらに、ガスバッグの膨らみ過ぎという異常事態が発生しても、利用者がwebカメラでガスバッグの運転状況を確認できないために利用者の側で異常を検知できなかったこと、異常警報発生時連絡システムによる寒剤担当者への連絡が遅れたことで寒剤担当者の側でも迅速に対応できなかったこと、安全器の入口弁を閉止していたため自動でガスバッグを保護する機能も働かなかったこともまた、今回の事故を防げなかった要因と考えられる。

6. 事故後の安全対策

6-1. webカメラモニター

事故の後、webカメラのネットワークをヘリウム液化システムから独立させることでネットワークの問題を解消し、Raspberry Piを用いて集中管理することにした（図6）。また、希望する利用者にwebカ

表 1 危機判断：現実と認識の関係

		認 識	
		危機と判断	危機でないと判断
現 実	危機	迅速な対応、クライシスマネジメント (危機が発生したあとの対処)	ぼんやりエラー（見逃しの三振） (対応の遅れやパニック発生で被害拡大)
	危機でない	うっかりのエラー（空振りの三振） (繰り返されると「狼少年」とみなされる)	組織の安定・信頼、リスクマネジメント (危機発生前に損失等の回避や低減を計画)

メラへのアクセス情報を公開し、充填中に利用者が研究室からwebカメラにアクセスしてガスバグの運転状況を確認できるようにした（図7）。

6-2. 異常警報発生時連絡システム

異常警報発生時連絡システムを以前より重要視することがなくなったため、今回の事故を含め、担当部局からの電話連絡が遅れる場合があることが問題のひとつであった。そのため、この異常警報発生時連絡システムでお世話になるこの担当部局には、今後、異常警報発報時には直ちに寒剤担当者まで電話連絡を頂けるように申し合わせた。

6-3. 安全弁

今後、油封入式安全器を機械式安全弁に戻し、この安全弁が正しく機能するよう、設定圧力や設置場所を改善することを検討している。

6-4. その他

研究室によっては教職員の異動や学生の卒業などにより、液体ヘリウムを使用するNMRなどの装置の管理者が交代することも考慮せねばならない。webカメラモニターへのアクセス方法や、安全なヘリウム充填の方法などを盛り込むことで、これまでより充実した寒剤利用者への教育を実施していく必要がある。

7. 危機管理論

今回の事故に至った要因について、危機管理論の観点から再度考えてみたい。表1に現実での危機の有無と危機判断の関係を示す。危機管理において、危機であるものを危機である、危機でないものを危機でない、と正しく判断することは重要である。ごく些細な変化をもとに、確かに危機であるものに対して素早く対応することが求められたり、また逆に、ある兆候が全て重大な危機となるとは限らず、本当に危機であるのか否かを見極めることも求められたりする。

現実と認識が合致する場合、危機であるならば、危機に迅速に対応し、損失回避や被害の低減を目指すクライシスマネジメントを行う。他方、危機でないならば、時間的余裕があるため、事故発生前に損

失等の回避や低減を図るリスクマネジメントを行う。

現実と認識にズレがある場合、現実には危機であるのに、認識は危機でないと判断したならば、危機があるのに気付いていないぼんやりエラー状態であり、知らぬ間に被害が拡大する状態である。他方、現実には危機でないにもかかわらず、認識は危機であると判断することも適切でない。これが繰り返されるならば、イソップ物語の「狼少年」のように、肝心な時に適切な対応ができなくなる。

今回の事故のそれぞれの安全装置がどのような状態だったか表1と照らし合わせてみる。webカメラモニターについては、寒剤利用者は、そもそもwebカメラに接続できず情報不足のため、現実には危機があったとしても危機でないと判断することしかできないぼんやりエラー状態だった。異常警報発生時連絡システムについては、現実には危機があっても、今まで危機でなかったから危機でないと判断したため、連絡が遅れて被害が拡大したぼんやりエラー状態だったといえる。安全弁・安全器について、当初は不適切な設定や設計だったので、実際は危機でないものを危機であるとの過剰反応を繰り返し、「狼少年」とみなされるうっかりエラー状態に陥った。この「狼少年」状態を避けるため、安全器の入口弁を閉めた結果、危機の有無の判断ができなくなるぼんやりエラー状態となり、危機を認識し対処することができなかった。

上述した事故後の安全対策によって、利用者および寒剤担当者は必要な情報を適時に得ることができ、適切な対応ができると考えられる。また、これらの人的要因が仮に働かなくても、安全弁によって機器側での適切な対応が可能となることで、事故を回避できるようになると考えられる。

8. まとめ

ヘリウム回収ガスバグの鉄棒破損事故の概要と、複数の安全装置が機能せず事故を防げなかった原因、および今後の対策について報告した。また、今回の事故に至った要因を危機管理論の観点からも考察した。

※本稿は令和3年度核融合科学研究所技術研究会で発表されたものです。