

ヘリウム回収ガスバッグの油混入および流出の原因と対策

○西崎 修司^{A),B)}、多田 康平^{A),B)}

京都大学工学研究科技術室^{A)}、京都大学環境安全保健機構低温物質管理部門^{B)}

1. はじめに

京都大学桂キャンパス極低温施設は 2006 年の稼働開始から 15 年以上が経過し、経年劣化による不具合が発生している。2024 年 9 月には、ヘリウム回収ガスバッグから油の流出が確認された。本来、油が存在しないはずのガスバッグ内からの油流出は、入口または出口からの油浸入が原因と考えられる。

本発表では、原因究明のプロセスを説明し、油混入および流出を防止するための具体的対策について報告する。

2. ガスバッグからの油流出

ガスバッグは、2006 年に導入した株式会社スカイピア製 30 m³の角形二重膜タイプ（図 1）であり、2024 年 9 月にガスバッグ付近から大量の油流出が確認された（図 2）。油流出の原因を探った所、ガスバッグ周辺で油は使用していないため、ガスバッグに油が混入し、経年劣化、もしくは油混入が原因でガスバッグに穴が開き、ガスバッグ内に溜まった油が流出した可能性が高いという結論に至った。

ガスバッグから油流出している事からガスバッグに穴が開いているのは確かなので、ヘリウム漏洩を懸念した。しかし、ガスバッグの膨らみも普段の状態とあまり変わらなく、代替品もないため、そのまま使う事とした。2025 年 3 月に新しいガスバッグ



図 1 ヘリウム回収ガスバッグ



図 2 ヘリウム回収ガスバッグから油漏洩

を今あるガスバッグと並列に増設するため、ガスバッグの穴によるヘリウム漏洩の程度は、新ガスバッグ導入後、確認する事にした。

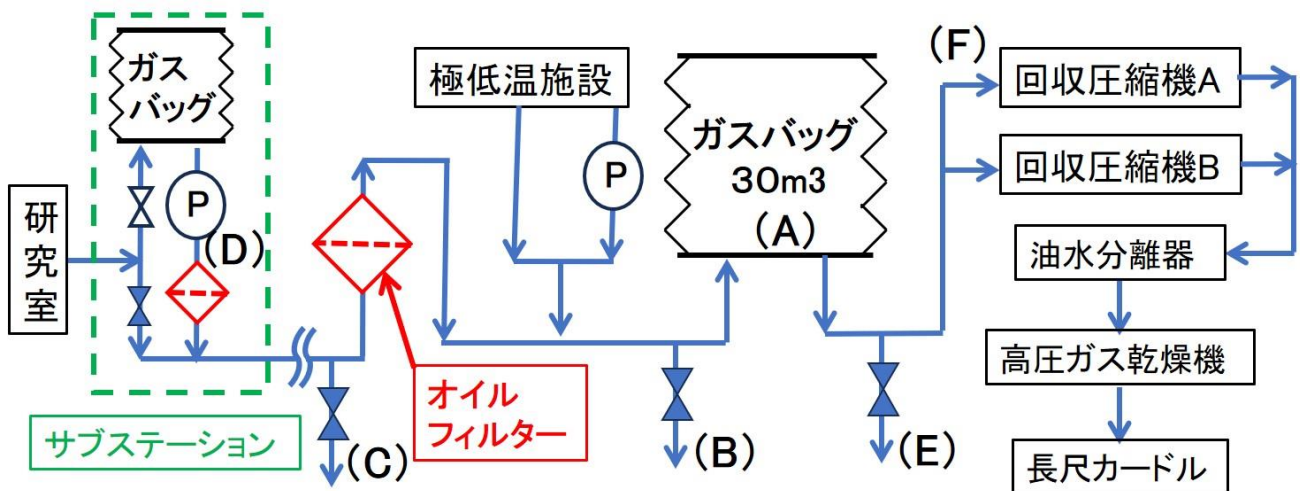


図 3 京都大学桂キャンパスのヘリウム回収システム概略図

3. ガスバッグの油混入の原因

ガスバッグへの油混入の原因を探るため、ヘリウム回収システム（図3）を確認する。

3.1 ガスバッグ一次側

ガスバッグの一次側を見ると、研究室で回収したヘリウムガスは、サブステーションのガスバッグに一時的に貯蔵され、オイルフィルター（図4）を通過して、ロータリーポンプで回収配管に送り込まれる。共同溝の回収配管を通ったヘリウムガスは、極低温施設に到達し、オイルフィルター（図5）を通り、オイルは除去され、ガスバッグに貯蔵される。オイルフィルターは、設置以来交換していなかったため、フィルター機能の劣化が懸念された。

また、極低温施設内で回収したヘリウムガスは、オイルフィルターを通らず直接ガスバッグに導かれる。ヘリウム液化機系内を真空引きするメカニカルブースターポンプ（図6）には、オイルミストトラップが付いているが、それをオイルが通過するとガスバッグに直接オイルが流入する。ヘリウム液化機を稼働する前に水素成分除去のため毎回真空引きをしているが、メカニカルブースターポンプの運転頻度と油減少量に鑑みるとガスバッグ油混入の主原因としては考えにくい。

ガスバッグ、および回収配管から出てきた液体とポンプ油の色を比較した（図7）。図7の（A）から（F）のラベルは、図3の配管の位置と対応させている。（A）は、ガスバッグから流出した油で、かなり茶色が濃い。500 mL程度を容器に確保できたが、総流出量は、その数倍の数リットルにも及ぶと見込んでいる。（B）は、ガスバッグ入口の回収配管から出てきた油で、若干量確保した。（A）と同じ濃い茶色であり、（A）と同じ成分だと考えられる。（C）は、フィルター前の回収配管から出てきた油で、約1リットル確保した。（A）と異なり薄い黄色でガスバッグ内で酸化、もしくはガスバッグとの化学反応により、色



図4 サブステーションのポンプとオイルフィルター



図5 ガスバッグ入口のオイルフィルター



図6 メカニカルブースターポンプ

が濃くなる可能性も考えられる。（D）は、サブステーションのロータリーポンプの油であり、ほぼ無色透明に近く、酸化などにより、（C）の色に近づく可能性がある。

ガスバッグ増設のため、ガスバッグ入口配管を切断した所、フィルター後の配管は、若干の油が出てくる程度で、大量の油が流出するほどではなかった（図8）。

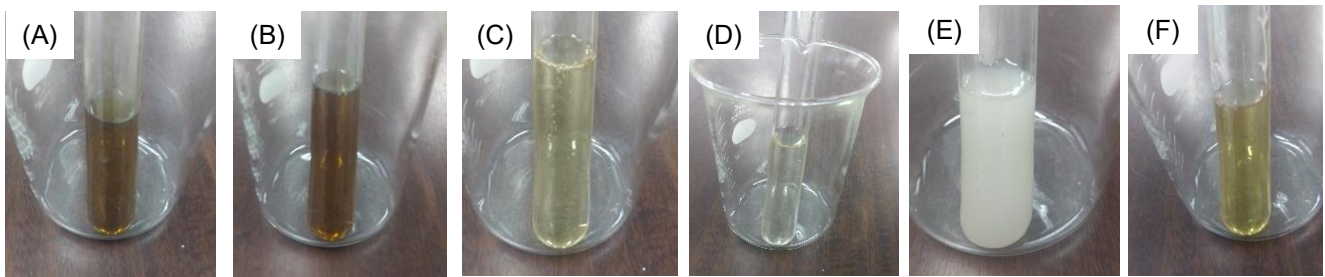


図7 油の色比較：(A) ガスバッグからの流出油、(B) ガスバッグ入口、(C) フィルター前、(D) サブステーションのロータリーポンプ油、(E) ガスバッグ出口、(F) 回収圧縮機の潤滑油

3.2 ガスバッグ二次側

ガスバッグの二次側を見ると、ガスバッグにヘリウムガスが十分溜まると、回収圧縮機（図9）が稼働し、ヘリウムガスを15 MPaまで加圧し、油水分離器で油を除去後、高圧ガス乾燥機で水分を除去し、長尺カードルに貯蔵する。ガスバッグ出口から油が混入するには、ヘリウムガスが逆流するしかない。ヘリウムガスの逆流は、運転停止工程や長時間運転中の圧抜き工程のように回収圧縮機が高圧運転状態から圧力を下げる時に、溜まった圧力をガスバッグに戻す工程で発生する。回収圧縮機の入口には、油が不純物として含まれるドレンを貯める容器があり、逆流の際にドレンがガスバッグに混入する可能性がある。実際、回収圧縮機A号機から出るのはずのドレンが数年間出て来ず、行方不明であり、ガスバッグに混入した可能性も考えられる。

ガスバッグ、および回収配管から出てきた混入物と潤滑油の色を比較した（図7）。（E）は、ガスバッグ出口の回収配管から出てきた油で、若干量確保した。色は白濁しており、ガスバッグから流出した（A）と全く異なる成分だと考えられる。見た目から水と油が混合したドレン成分と同じと考えられる。（F）は、回収圧縮機の潤滑油で、薄い黄色に近く、（E）とは、別成分である。

ガスバッグ増設のため、ガスバッグ出口配管を切断した所、配管内側にドレンが付着しており、ガスバッグにドレン混入の可能性が考えられる（図10）。

4. ガスバッグの油混入の対策

ガスバッグへの油混入対策を実施する。

4.1 ガスバッグ入口

ガスバッグ入口（図5）のオイルフィルターのエレメントを交換した。フィルター内部に油が大量に溜まっておらず、油まみれでもなかった。フィルター前の回収配管には、油が溜まり易いので、こまめに油抜きをすることが重要である。

4.2 ガスバッグ出口

ドレンが逆流してガスバッグに混入する可能性も捨てきれないため、ガスバッグと回収圧縮機との間にフィルターを設置することを検討中である。

4.3 ガスバッグ増設

ガスバッグが1基だけの場合、ガスバッグに不具合が起こった場合、対処できなくなる。経年劣化の影響もあり、いつガスバッグに問題が発生するかわからないため、2025年3月に新しいガスバッグが増



図8 ガスバッグ入口配管からの油漏れ



図9 回収圧縮機

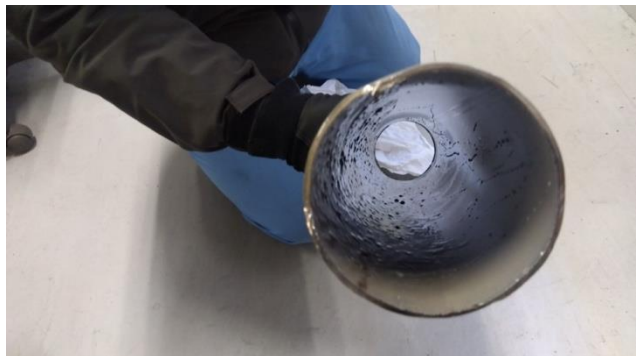


図10 ガスバッグ出口配管に付着するドレン

設予定である。この増設により、不具合の起こったガスバッグの点検が可能となり、油流出箇所や気密検査などが可能となる。

5. 考察

今回は、油の見た目により混入ルートと原因を推察し、可能性を検討した。しかし、もっと確実な証拠を得るためには、流出物の成分分析などが必要である。質量分析をすれば、ある程度、何に由来する油なのか検討可能であると考えられる。

6. まとめ

ガスバッグに油が混入し、流出した。フィルター前に大量の油が確認された事から、劣化したフィルターを通り抜けた油がガスバッグに混入し、蓄積した可能性が高い。今後、新ガスバッグ増設により、様々な検査を実施して、油混入の原因を特定し、効果的な対策実施を目指す。