

Operation of Helium Refrigerator for SRC

Tomoyuki Dantsuka^{1,A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Kazunari Yamada^{A)}, Masayuki Kase^{A)}

^{A)}RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198, Japan

Abstract (英語)

Operation of the He refrigerator for SRC was stopped in 2008 due to oil from the compressor contaminating the refrigerator. It took six months to investigate and recover from the problem. Subsequent operation started in September, and has been very stable thanks to a complete recovery process. This report describes details of the investigation and recovery.

The cryogenic system for SRC started operation in the autumn of 2005. The system successfully cooled-down the large superconducting magnets for SRC to carry out magnetic field measurements and beam commissioning from 2006 to 2007. However operation of the refrigerator itself was not very satisfactory, and it had to be stopped every two months due to degradation of cooling power. Investigation of impurities such as H₂O and N₂ was carried out during operation, but did not suggest any reason why the cooling capacity degrades in such short period of two months.

SRC He冷凍機の運転状況

1. はじめに

SRC用大型He冷凍システムは今まで原因不明の不具合によりタービン流量が低下してしまい長くても2ヶ月半程度の連続運転しかできなかった。また、冷却運転中はヘリウムガス中の不純物を吸着運転するためにコールドボックス内の80K吸着器を交互に切り替えて運転するのだが、吸着筒を使用後再生する際にバルブにより封じ切ることができなかった。常温では封じ切ることができるためにガスの純度が悪くコールドボックス内部配管に閉塞が起きていると考えられていた。そのために複数の分析計を設置しガスの純度を調査するとともにヘリウム圧縮機入口などの低圧部分より空気が混入しないように改善を実施してきた。

2. 油の混入

80K吸着器を封じることができなかったのは、それぞれのバルブに原因があると考えバルブシートの点検及び交換を実施した。その際に交換したバルブシートが黒色に変色しており(図1参照)、さらに細かな金属片が付着していることが判明した。このことより、バルブに問題があったために封じることができなかったのだと我々は判断した。しかし、同様のトラブルを抱えていたBigRIPS用大型He冷凍システムのバルブシートの交換を実施した際に先端部に液体の付着が認められ、液体の成分分析をしたところHe圧縮機の油であることが判明した。そのため再度SRC用冷凍システムについても詳細に調査したところ、第1HXと80K吸着器入口部分に油溜りが

確認された(図2参照)。これにより、コールドボックス入口から油が流入し低温で固化し閉塞するため流量が低下し連続運転ができなかったものと思われる。また、80K吸着器を封じ切るバルブにも固化した油が付着したため再生時に封じ切る事ができなかったと思われる。通常のヘリウム冷凍システムにおいて液体のような不純物が混入することは非常に稀であり、油が連続運転の障害になっている事は考えにくかった為に発見が遅れてしまった。



図1：黒色化したバルブシート

¹ E-mail: gakkai@kasokuki.com



図 2 : 配管に溜まっている油



図 3 : 油が付着しているT1フィルター



図 4 : 熱交換器内部の金属片

3. 状況確認

油汚染の正確な状況を把握するためSRC冷凍システム内部を確認した。第1第2タービン内部、第1第2タービン入口フィルターを取り外し確認したところ、微小な油滴がそれぞれ確認された。油はフィルター全体に広がっており、さらに粉化した活性炭が付着し真っ黒になっていた（図3図5参照）。この事により80K吸着器は油により汚染されて吸着能力以上の油の流入により下流に油を流出していることが確認された。さらに本来80K吸着器は酸素窒素をターゲットとしているが油により汚染された活性炭では酸素窒素を吸着することはできないため吸着材の交換が必要であり、微量ではあるがコールドボックス内部は全域が油に汚染されている可能性が出てきた。また内部に多量の金属片が確認された（図4参照）。これにより、油とコンタミを取り除く未だ例を見ない大掛かりな洗浄作業を行う事となった。



図 5 : 粉化した活性炭

4. 洗浄

He圧縮機出口よりコールドボックス内ほぼ全域が洗浄範囲となったが、コールドボックス内の洗浄には様々な問題があり困難を極めた。洗浄液には素材的に問題がないことを確認した上でフロンMSDS（アサヒクリン AK-225、科学名：HCFC-225ca）を使用した。洗浄の判定にはNVR検査（Non Volatile

Residue：不揮発性残渣）を実施した。コールドボックス内はおおまかに第1-5熱交換器、第6-7熱交換器、80K吸着器、第1-4タービン、20K吸着器、気液分離器、配管から構成されている。第1-5熱交換器は横型であることから据え置きのままでは下半分した洗浄することができない。さらに内部で金属片が多量に確認されたこともあり、それらを吸い取るだけでは不十分であると考え、HX1-5熱交換器だけを取り外し外部に持ち出し専門業者により洗浄することになった。その際、熱交換器の向きを変更できるようにし、循環洗浄、漬け置き洗浄を繰り返し実施した。これにより第1-5熱交換器全域を洗浄することができたのだが、本冷凍機で一番大きな熱交換器ということもありコンタミの除去には膨大な時間がかかった。第6-7熱交換器は周囲の配管形状や配管を切断してしまうと再接が不可能なためにコールドボックス内に据え置きのまま洗浄を行った。HX1-5とは異なり縦型の熱交換器であったため油洗浄に関してはほぼ全域を洗浄できるのだが、内部の金属片の問題が解決できないために熱交換器の出口にメッシュフィルターを追加することにより危険性のある大きさのコンタミに対処した。80K吸着器においては、複雑に入り乱れた配管構造のために取り出して交換することが容易ではない。そこで80K吸着器に使用されているフェルトフィルターにおいて、付け置きによる洗浄試験を実施した結果、漬け置きでも油が除去できることがわかった。中に充填されている活性炭は油を多量にすっているために全て抜き出し、新しい活性炭を充填することとし、フェルトフィルターは漬け置き洗浄とした。80K吸着器より下流に活性炭の粉が流出していた問題について出口フェルトフィルターの性能評価試験を実施した結果、しっかりフェルトが機能した場合にはフィルターより活性炭の粉が流出しないことが分かった。このことからSRC用冷凍システムの出口フェルトフィルターにおいてフィルターの不備が想定されたために新規にフェルトフィルターを追加した。冷凍能力を保持するためには圧力損失を最低限に抑える必要があるためにフィルターを2つ並列に設置した。また、フィルターの状態を確認できるようになっているため、今後定期的に確認していく予定である。第1-4タービンは全て工場に持ち帰り洗浄を実施した（図6参照）。20K吸着器においては新規のものと交換しさらに活性炭の充填密度に不安があったために再充填を実施した。気液分離器は、ヘリウム液溜め部分に漬け置き洗浄を実施した。内部には金属片が多量に散乱しており、それらの除去作業も実施した。配管はそれぞれに分割されており、それぞれ個別に洗浄を実施した。SRCへ接続されている配管の漬け置き洗浄のNVR値を検証しコントロールデューワーへの油の流出は極微量であったためにSRC本体においては洗浄を実施していない。また

ヘリウム圧縮機出口からコールドボックス入口までの配管においてはコンタミを除去するための循環洗浄と油を洗浄するための漬け置き洗浄を実施した。ヘリウム圧縮機入口側の配管においては、油の発生源へ戻る配管のため洗浄を実施していない。以上で油によって汚染されていた範囲のほとんどを洗浄することができた。



図6：洗浄中の第1-5熱交換器

5. 改造

次に洗浄した系内に今後大量の油が流入することがないようにHe圧縮機を改造した（図7参照）。従来は4段までしかなかったオイルセパレータを6段のオイルセパレータへと増強した。これにより今後の油流入量は格段に減少しているはずである。また冷凍機側にも万が一油の流入が合った場合に対して改造を実施した。まずコールドボックス入口に焼結金属タイプのフィルターを追加した。以前のものはメッシュのストレーナであったために油に対しては効果が無かった。80K吸着器において充填されている活性炭が油により汚染されているかどうかの確認及び粉化し目減りした際の補充用として充填口をフランジにより閉止できるように変更を行った。これにより、定期的に活性炭の状態を確認することができるようになった。また充填口にスプリングによる活性炭の押し付けができるように80K、20K吸着器ともに改造を実施した。さらに、先にも述べたように80K吸着器出口に増設したフィルターは交換や確認ができるようになっている。これらの改造により、多少の油の流入にも今後はメンテナンスで対応できるシステムとなった。

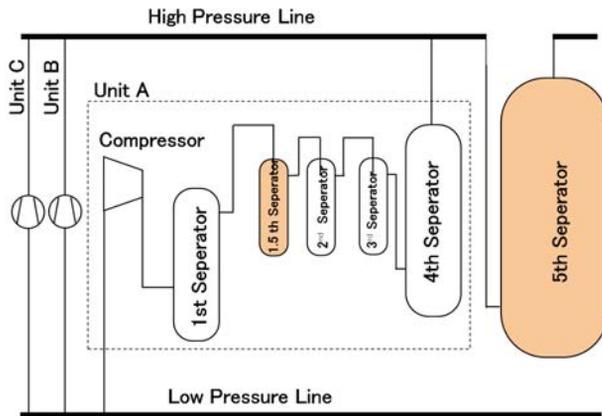


図7：圧縮機オイルセパレータ

6. 性能試験

今回の改修では、改修前と比較しもはや別の冷凍機とっていいほどの変更を実施したために冷凍能力の低下が懸念されていたが、9月4日に実施された冷凍能力試験において1378.2Wの冷凍能力が確認された。納入時の冷凍能力が1410.4Wだが、運転時の条件やフィルターなどの増設により圧力損失が改造前より増加していることを考慮すれば、十分な冷凍能力である。

7. 連続運転

2008年9月より冷却運転を実施した。その後、今までのようにタービン流量（T1流量）は低下することなく2009年5月末まで約250日運転を行うことができた（図8参照）。このことから以前よりも4倍近い期間連続運転をしてもT1流量が低下せずに安定して運転できることが分かった。

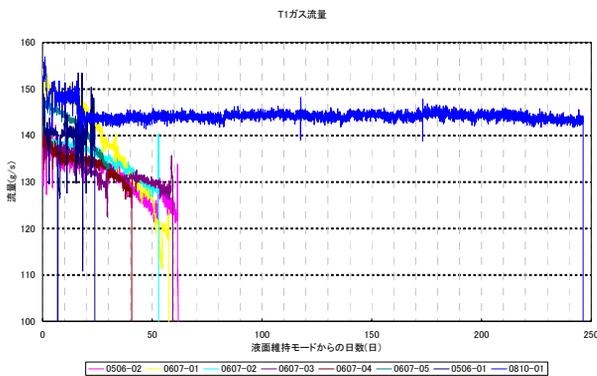


図8：T1流量比較

8. 監視

今後は再度コールドボックスに油が混入しないように監視する必要がある。そのため、コールドボックス入口フィルターに微差圧計を設置し常時監視できるようにした。また、圧縮機出口の油分濃度の変

化を監視するために、各コアレスサーの油戻し弁の動作回数及び動作間隔の監視も行う。さらに運転中の圧縮機出口の油分濃度は40ppb以下であることがコールドトラップによる測定で分かった。さらに高精度な油分測定技術を模索していく必要がある。

9. 新たな問題

復旧確認作業中8月26日に気液分離器内において高圧側から低圧側へのリークが発見された。当初、今回の改修工事によるものかと考えられたが、過去のデータを確認した結果、2006年9月、2005年12月にも同様のリークが確認された為、おそらく運転開始時よりあったものと推測される。漏れ量について詳細な検討を重ねた結果、概算であるが冷凍能力の8.3Wのロスであることが確認された。しかし、今後リーク量が急激に増加する可能性もあり経過の観察に注意が必要である。



図9：気液分離機内部