

ヘリウム液化機 L280 タービンのトラブルとその対策

○金本 真知 ^{A)B)}、藤澤 真士 ^{A)B)}

^{A)}東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 コアファシリティセンター

^{B)}東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 極低温研究支援センター

1. 概要

東京科学大学大岡山キャンパスで起こったヘリウム液化機 L280 タービン(Linde 社製)のトラブル^[1]について報告する。起動時にタービンが回り始めず液化が不可能になってしまうという深刻なトラブルであるが、一度本体から取り外して組み立てなおすとなぜか動いたため、液体ヘリウムの供給停止やヘリウムガスの大気放出などの損失を伴う事態までは至っていない。2026 年 2 月現在でも原因は未だ不明でトラブルは継続中である。以下では時系列に沿ってトラブルの詳細を説明する。

2. トラブル詳細

2.1 2022/10/27

初めて不具合が確認されたのは 2022/10/27 で、液化運転を始めようとしたところ、直列に 2 段あるうちの後段のタービン(以後タービン 2 と呼ぶ)が回転せず、“Coldbox Turbine 2 pressure ratio in-/Out too high-”というエラーメッセージが出て液化機が緊急停止するというトラブルが起こった(図 1)。何度か起動をかけてみたが、同様のエラーが出て動かなかった。この時点では 2 つの可能性が考えられた。(1)タービンは回っているが計測系が働いていない。(2)タービンが回っていない。

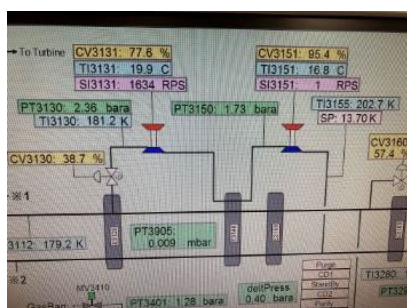


図 1 モニターPC の画面。右側のタービンが回っていない。

まず(1)について確認を行った。コネクタを外し速度センサー本体の抵抗値を計測したところ、問題ない値であった。また、発振器からダミー信号を送るとモニター上で回転数が変化した。これらのことか

ら、計測系の問題である可能性が低くなり、(2)の可能性が高まったため、タービンを取り外し内部を確認することになった。タービンを取り外すと LP ラインが大気にさらされるため、液化機内部を昇温する必要がある。真空断熱槽に窒素ガス約 1 L を入れ、熱交換ガスとした。

2.2 2022/11/2~11/10

11/2 にタービンを液化機から取り外し、内部を確認した。タービンの羽は綺麗で傷などは確認できなかった(図 2)。指で触ると特に抵抗なく回転した。問題点が見つからなかったため、再度組み立てなおして運転してみると、タービン 2 は回転し、ヘリウムを液化することができた。その後 11/4 にも正常に運転できたが、11/7 にまた止まってしまった。熱交換ガスを入れ昇温し、11/10 にタービンを再び取り外した。タービンベアリングガスの逆止弁が固着することがあるらしいのでそれも確認したが、問題はなかった。タービンを指で回した際にごくわずかな引っ掛かりを感じる部分があったが、それが不調の原因であるとは考えづらかった。前回同様に組み立て直すとなぜかまた動いた。



図 2 上:タービン(上側)。下:タービン(下側)。指で触ると抵抗なく回転する。異常はない。

2.3 2022/11～2025/12

原因が分からないまま直ってしまったが、その後、2024/12 までの 2 年と少しの間は一度も止まることなく液化ができていた。しかし、気になる点として、タービン 2 が回り始めるタイミングがだんだんと遅くなっていた。液化機の運転を開始すると HP ラインからタービンへつながるバルブがゆっくりと開き、ガスが流れ始める。タービン 1 はガスが流れ始めたらほとんど同時に回り始めるが、タービン 2 はかなり遅れて回り始めていた。図 4 はタービン 2 が回り始めた瞬間のタービン 1 の回転数をグラフにしたものである。時間の経過につれてタービン 2 が回りにくくなっていることが分かる。また、それとは別に気温の影響も見取れる。夏になって気温が上がるとグラフが少しだけ下向きになり、冬になると上向きに戻る。念のため 2024 年から冬季の寒い時期には電気毛布を用いてタービンを温めてから運転を行った。前日から電気毛布を点けばなしにすると安全装置が働いて切れてしまうので、コンセントを予約でオンオフできるデジタルタイマーを使用した。

2025/1/6 に再びタービン 2 が動かなくなったが、前回同様に液化機内部を昇温してタービン 2 を取り外して組み立て直すと再び動くようになった。その後 2025/12 までは止まらず運転することができた。

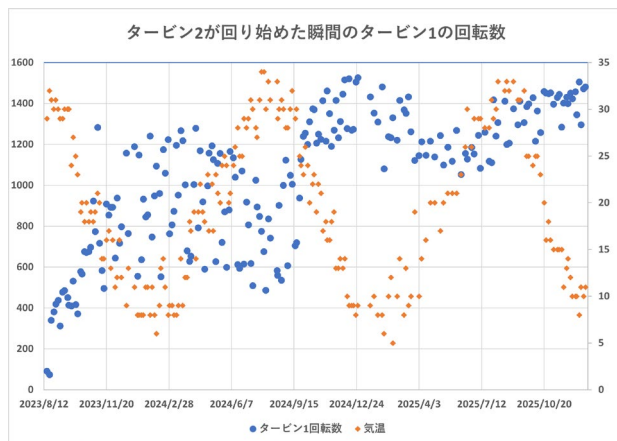


図 4 タービン 2 が回り始めた瞬間のタービン 1 の回転数。数字が大きいくほど回りにくい。

2.4 2026/1/6～16

2026/1/6 に同様の症状でタービン 2 が回らなくなった。1/8 にタービン 2 を取り外して組み立て直し、運転を試みたが、今度はなぜかタービン 1 も回らなくなってしまった。翌 1/9 に運転を試みたところ、タービン 1 は回ったが、タービン 2 が回らず、起動に失敗した。複数回起動をかけたが、タービン 1 は回ったり回らなかったりで、タービン 2 は一度も回らなかった。念のため計測系のチェックを行っ

たが、異常はなかった。

週明けの 1/13 の運転では、Linde 社からのアドバイスで、タービンベアリングガスの圧力を変えてみることにした。タービンベアリングガスは起動時に外部からガスを流すことでタービンを浮かせて回転しやすくするためのものだが、圧力が高いとかえって回りにくくなってしまうこともあるらしい。液化機の起動をかけるとベアリングガスのバルブが開くので、その後にレギュレーターを調整して圧力を変化させる。初期の 4.8 bar(ゲージ圧)から下げていくと、4.0 bar と 3.5 bar ではタービン 1 だけが回り、タービン 2 は回らなかった。3.0 bar では逆にタービン 1 が回らず、タービン 2 だけが回った。再び圧力を上昇させていくと、4.0 bar でタービンが両方とも回り、液化をすることができた。

翌 1/14 にベアリングガスは 4.0 bar のまま運転を試みたが、タービン 1 が回らず、タービン 2 だけが回った。その後ベアリングガスの圧力を変えながら 1/16 までの間に数十回も起動をかけたが、いずれもうまくいかなかった。タービン 2 は一度も回らず、タービン 1 は回ったり回らなかったりであった。タービン 1 はベアリングガスの圧力が高いと回りやすい傾向はあったが、再現性はあまり高くなかった。1/16 に熱交換ガスを入れて液化機内部を昇温した。

2.5 2026/1/19～

1/19 に液化機を起動すると、なぜかあっさりと起動に成功した。内部の温度の影響があるのかもしれない。その後 1/22 も起動に成功したが、1 週間あけて 1/30 の起動では動かなかった。再び昇温すると 2/2 は起動に成功した。それから 2/5, 9, 12, 16, 19 と 6 回連続で起動に成功しており、2、3 日おきだと起動しやすいのかもしれない。

3. 対策

液化が長期間できなくなった際の損失を最小限に抑えるべく、対策を講じている。長期間ヘリウム液化ができなくなると、回収したヘリウムガスを貯めておく長尺容器がいっぱいになり、貴重なヘリウムガスを放出しなくてはならない。液化不能になってからの時間的猶予を増やすため、一部の長尺容器を空にして切り離して運用している。また、運用している容器の圧力も低めに維持している。

根本的な対策としてタービンのオーバーホールを検討している。2,3 カ月を要し、その間の液化はできなくなってしまうので、回収ヘリウムガスをできるだけ放出しなくて済むよう計画を立てる必要がある。

本学すずかけ台キャンパスにヘリウムガスを輸送して液化を代行することを考えている。

4. まとめ

2022/10 にヘリウム液化機 L280 のタービン 2 が動かないというトラブルが発生した。取り外して目視しても問題点は見当たらず、再組立てによって直った。その後しばらくは運転できていたが、時間とともに状況は悪化しているようであった。2025/1 に一度止まり、その後 1 年は問題なく動いたが、2026/1 からより深刻な事態となった。タービン 2 だけでなくタービン 1 も止まるようになった。現在はベアリングガスを調整することなどによって何とか長期間止まることなく運転ができています。タービンのオーバーホールを検討中である。

参考文献

[1] 藤澤真士 東京工業大学 極低温研究支援センターだより No. 36 (2022)