

ヘリウム液化機の温度コントロール方法の改善

低温センター ○後藤裕之、近藤 裕、宮内幹雄

1. はじめに

低温センターではヘリウム液化機を用いて液体ヘリウムを製造し学内の利用者に供給している。このヘリウム液化機はデジタル計装システムにより全自動で運転されているが、より効率良い運転を行えるように様々なプログラムの変更を加えてきた。今回はその一例を報告する。

まず、ヘリウム液化機について説明する。図1はヘリウム液化機の略図である。圧縮機によって常温のヘリウムガスを1.5Mpaに圧縮したのち、液体窒素(LN₂)で予冷する。その後タービンによる断熱膨張、J-T弁での温度降下により4.2K(-269℃)の液体ヘリウム(LHe)を作り出している。本報告では液体窒素(77K、-196℃)で予冷されたヘリウムガス温度(図1中 TI105)のコントロール方法を改善し、安定化させたことについて述べる。

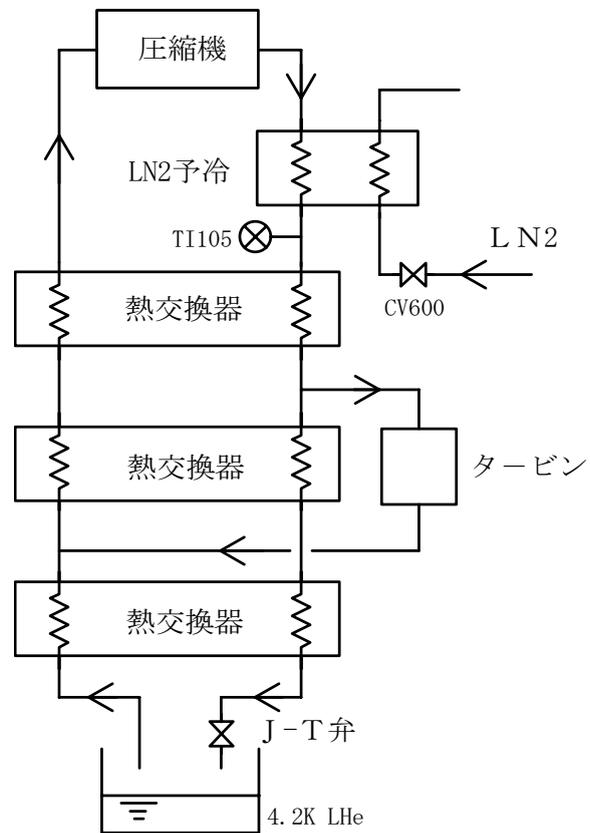


図1 ヘリウム液化機略図

2. 温度コントロールシステムと問題点

TI105の温度は、ヘリウム液化機に流入する液体窒素供給バルブ(図1中 CV600)の開度を変えることでコントロールされている。この液体窒素は貯槽(CEタンク)から供給されていて、ヘリウム液化機運転中は絶えず流れ込むようになっている。また、低温センターでは液体ヘリウムのみならず、液体窒素の供給も行っており、これもCEタンクから取り出し供給している。つまり同じCEタンクからヘリウム液化機用と供給用に液体窒素を使っている。このため液体窒素を小分け容器に充填すると、ヘリウム液化機への液体窒素の流量が変化しTI105温度が大きく変動してしまう問題が起きてしまっていた。

改善前の温度変化のトレンドグラフを図2に示す。トレンドグラフ中の開始から1時間10分はヘリウム液化機の予冷運転で、CV132が閉じたところから液化が開始される。その後TI105は設定値(82K)となるようにコントロールされている。そして開始から約1時間30分後、液体窒素を小分け用容器に充填しはじめるとTI105は79Kまで下がる。(図2中 ①部) 充填終了後、徐々に温度が上がり最大で94Kまで上昇していた。(図2中 ②部) この間の温度差約15Kである。さらに開始から約3時間30分後にも同様にTI105が79Kまで下がった後に94Kまで上昇している。

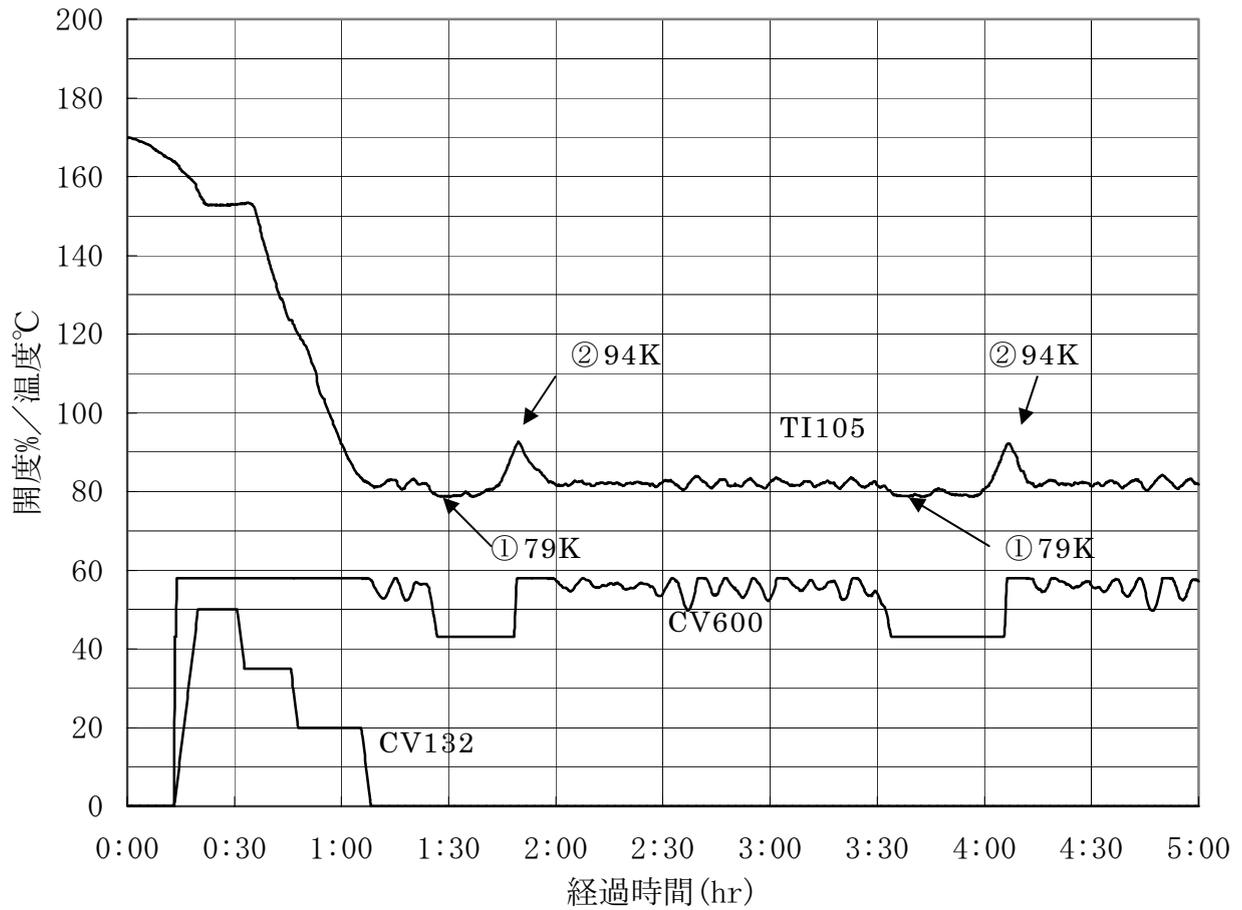


図2 改善前の温度変化トレンドグラフ

ヘリウム液化機は TI105 が低いほど単位時間あたりの液体ヘリウム生産量(液化率)がよくなる傾向がある。しかし、上で述べたような液体窒素充填後に温度上昇が発生すると、その間の液化率は悪くなってしまいう状況になる。そこでコントロールプログラムの改善を行うこととした。

3. コントロールプログラムの改善

改善前の TI105 温度コントロールプログラムのブロック図を図3に示す。

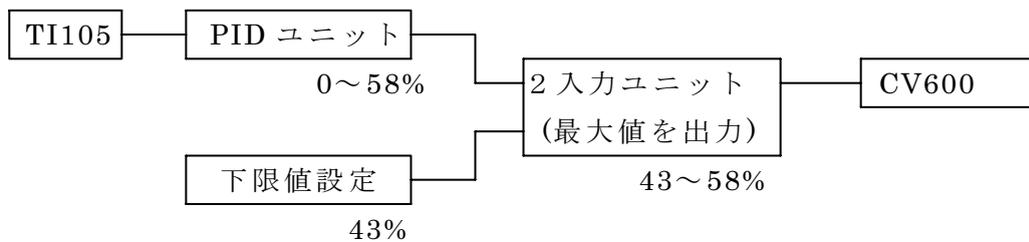


図3 改善前の温度コントロールブロック図

このプログラムの動作内容は、TI105 温度をモニターし開度調節器(PID ユニット)にて設定値に近づくよう最適なバルブ開度を 0~58 の範囲内から算出する。そして、その結果

とバルブ下限値とを 2 入力ユニットで比較し、大きい値のほうを CV600 の開度として出力する。これは CV600 を常に関開け、液体窒素を流し続けるようにするためである。このようにして運転中の CV600 開度は 43～58%の範囲内になるようコントロールされていた。

TI105 温度上昇の原因は CV600 の反応が遅く、温度が上がってもなかなか開いていかないことにあった。そこでまず PID ユニットの計算パラメータを変更し反応を早くすることを試みた。

$$\text{PID 算出値} = \text{MV} + (100 \text{En} / \text{P}) + (\text{T} \cdot \text{En} / \text{P} \cdot \text{Ti})$$

ここで MV：前回の計算結果、En：設定値と現在の温度の差、T：サンプリング時間
P：比例帯、Ti：積分時間である。

計算式から P を小さくすれば、バルブの反応が早くなる。そうすれば温度上昇は抑えられると考えられた。そこで P を 40 から 20 に変更して運転を行った。しかし実際にはあまり効果は見られず、定常時に温度が不安定になるという欠点があらわれてしまった。

これより、PID ユニットの計算式の変更だけではバルブの反応は早くならないことが判明した。その後、次のような原因をつきとめ対策を行った。

変更前の場合、液体窒素の充填中に TI105 温度が下がると PID 算出値は 0 となる。しかしここで、下限値が 43 と設定されていたため実際の CV600 開度は 43%となる。そして充填が終わり TI105 が上昇してくると PID 算出値は 0 から増えていくが、CV600 は 43%のままである。その後に PID 算出値が下限値である 43%を超えて CV600 が開き始める頃には、TI105 は 90K 以上にまで上昇してしまう。つまり PID の算出結果が 0 になることと、バルブ開度が PID 算出値と異なることが温度上昇の原因であった。そこで、これらの問題の対策をした。改善後の温度コントロールブロック図を図 4 に示す。

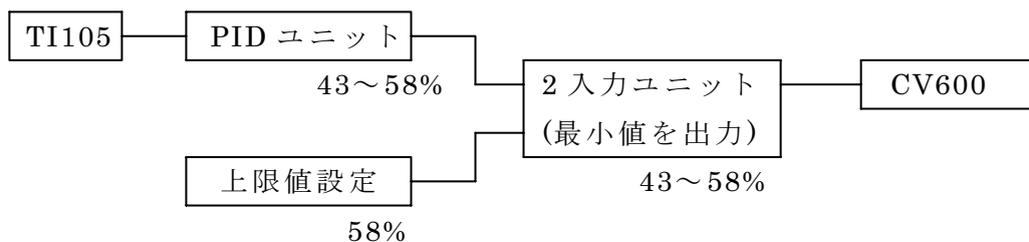


図 4 改善後の温度コントロールブロック図

改善後は PID ユニットでの算出値範囲を 43～58 にし 0%まで下がらないようにした。さらに、この PID 算出値が直接 CV600 開度となるように、2 入力ユニット出力条件を最小値を出力するように変えた。そのために下限値設定としていたものを、上限値設定に変更した。この結果、TI105 温度が設定値以上に上がるとすぐに CV600 が開き始めるようになり、バルブの反応速度を早くすることができた。

4. 結果

以上の対策により温度上昇は 86K まで抑えられるようになった。この後、CV600 下限 (=PID 算出値下限)を 43 から 44%に変更することで、温度上昇は 85K に抑えられた。さら

に TI105 設定値を 82 から 81K に変更し、温度上昇は 84K まで抑えることができるようになった。これは、液体窒素の充填の行われていない定常時における温度変動とほぼ同じである。これで液体窒素充填には影響をうけない温度コントロールが可能となった。改善を行った後のトレンドグラフを図 5 に示す。

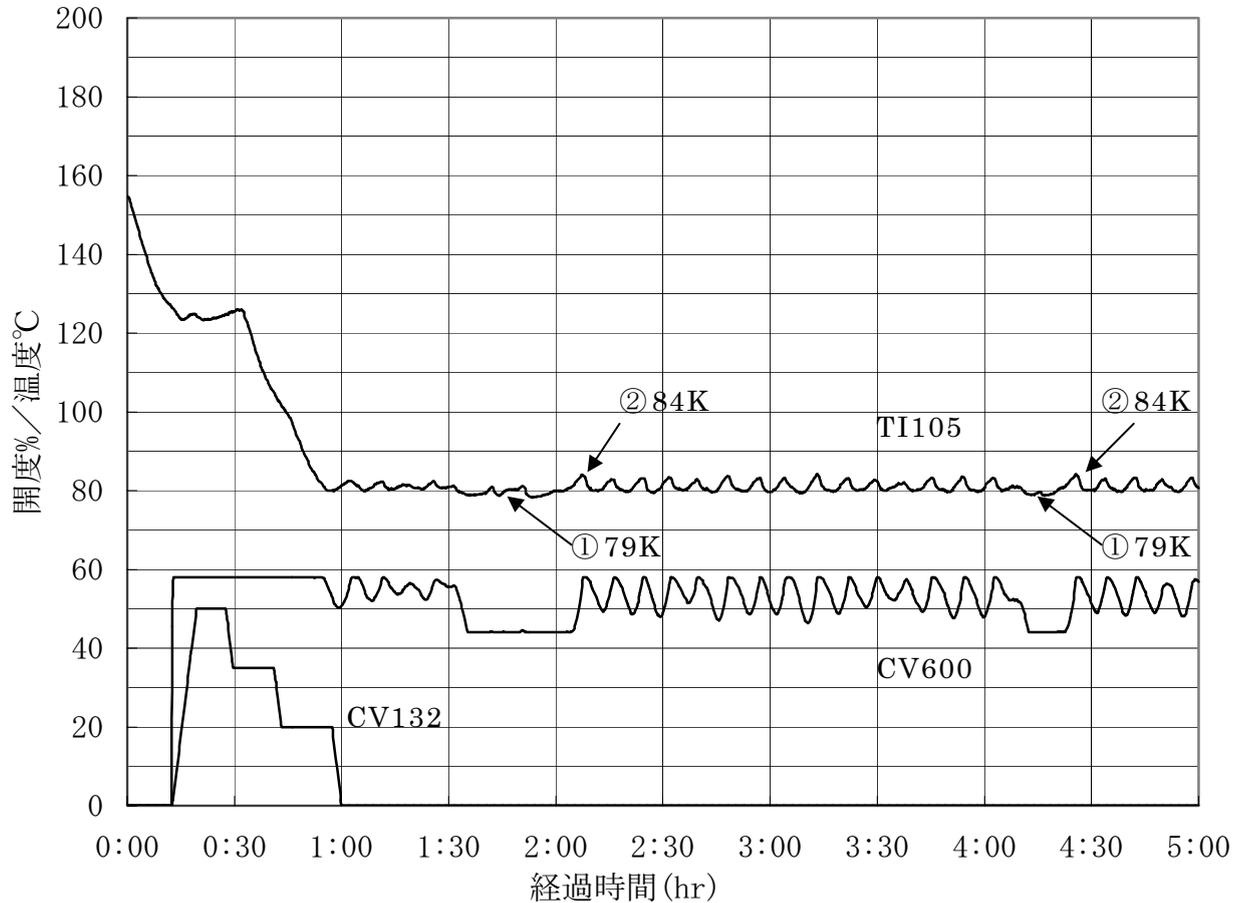


図 5 改善後の温度変化トレンドグラフ

5. まとめ

温度コントロールプログラムを改善することによって、79~94K と 15K の温度変動幅であったものが、79~84K と 5K にまで縮めることができた。当初の目標であった TI105 温度の安定化はほぼ達成できた。つぎに液化率への影響であるが、これについては現在測定中ではあるが、定常時には以前より数リットル程度良いデータも出てきている。また以前は液体窒素充填後に液化率が悪くなることがあったが、改善後は今のところみられない。今後はさらにデータ測定を重ね、TI105 設定温度と液化率の関係を調べていく計画である。